



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

NARJARA TÉRCIA PIMENTEL

**A CONTRIBUIÇÃO DOS MORCEGOS NO *INPUT* DE ENERGIA NA FORMA DE
GUANO PARA *BAT CAVES* NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Recife
2021

NARJARA TÉRCIA PIMENTEL

**A CONTRIBUIÇÃO DOS MORCEGOS NO *INPUT* DE ENERGIA NA FORMA DE
GUANO PARA *BAT CAVES* NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Zoologia

Orientador: Prof^o. Dr. Enrico Bernard

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Claudina Queiroz, CRB4/1752

Pimentel, Narjara Tércia

A contribuição dos morcegos no *input* de energia na forma de guano para *bat caves* no semiárido nordestino / Narjara Tércia Pimentel- 2021.

122 folhas: il., fig., tab.

Orientador: Enrico Bernard

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Recife, 2021.

Inclui referências e apêndices

1. Chiroptera 2. *Bat caves* 3. Ambientes cársticos
I. Bernard, Enrico (Orientador) II. Título

581.467 CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2021-092

NARJARA TÉRCIA PIMENTEL

**A CONTRIBUIÇÃO DOS MORCEGOS NO *INPUT* DE ENERGIA NA FORMA DE
GUANO PARA *BAT CAVES* NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Aprovada em: 22/02/2021

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Enrico Bernard (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Lavras

Dr. Juan Carlos Vargas Mena (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Profº. Dr. João Pedro Souza Alves (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Dra. Bruna Martins Bezerra (Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Eder Silva Barbier (Suplente Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha querida mãe, minha maior apoiadora, e aos meus queridos
padrinhos – sempre presentes em minha vida.

(Dedico)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço imensamente pela minha vida e minha saúde e por poder desfrutá-la da melhor forma! Agradeço a Deus por ter me dado o prazer de vir filha de uma mulher maravilhosa, guerreira e que sempre batalhou para me proporcionar o melhor... à minha querida mamãe, todo o meu carinho e eterna gratidão. Te amo muito!

Ao meu orientador, Prof.º Dr. Enrico Bernard, que apostou em mim há 4 anos atrás, quando me trouxe para Recife para desenvolver um projeto com cavernas. Desde então, aprendi e cresci muito com os seus ensinamentos. Agradeço também por confiar a mim este projeto, que, mais uma vez, foi tão gratificante concluir. Muito obrigada por toda paciência, palavras amigas e acolhedoras nos momentos de precisão, ao tempo que sempre dedicou atenção às minhas necessidades e aos ensinamentos que foram fundamentais para a construção desta dissertação.

Ao Piló (Luís Beethoven Piló), parceiro e amigo, que contribuiu para a realização desta dissertação e com quem tanto aprendi em campo.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela bolsa de estudos e financiamento desta pesquisa.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação da Biodiversidade: Aída Otálora-Ardila, Ana Cláudia Jardelino, Aline Frias, Carina Rodrigues, Carolina Goecking, Eder Barbier, Edson Leal, Fernanda Ito, Fernanda Silva, Frederico Hintze, Jennifer Barros, Jennifer Silva, Larissa Ito, Marília Barros, Mariana Delgado. Muitos de vocês já não estão conosco mais no laboratório, mas cada um contribuiu para o meu crescimento pessoal e profissional e tornou a vida em Recife mais alegre. Agradeço o acolhimento (afinal, nunca é fácil um lugar desconhecido, mas vocês tornaram muito mais interessante e amena a distância de casa), a amizade, os campos, os momentos de descontração (ah... bons momentos, inclusive) e às excelentes prosas... então, muito obrigada a todos vocês!

À Aída Otálora-Ardila e ao Jonathan Ramos Ribeiro, agradeço o auxílio com os *scripts* no R. Ao Eder Barbier agradeço as orientações indiretas, as conversas, o auxílio em campo e por sempre estar disponível para ajudar. Ao Frederico Hintze, agradeço o auxílio com a acústica, os campos e também por estar sempre disponível para ajudar. A Fernanda Ito, Jennifer Barros, Gabriel Guedin, pela amizade, momentos de descontração e pelo auxílio em campo. Ao Edson Leal, pelo auxílio em campo. Ao Marcos Vinicius da Silva, amigo da República e para a vida, pela amizade e pelo auxílio com os gráficos de superfície e com o mapa de localização das cavernas.

À oportunidade de estudar na Universidade Federal de Pernambuco, com excelência e qualidade de ensino, que muito contribuiu em minha formação profissional. Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal e a todos os funcionários, em especial aos coordenadores Dr. Ulisses Pinheiro e Dra. Bruna Bezerra, e ao Manoel O. Guimarães Jr., pela atenção, auxílio e competência nas demandas administrativas junto ao Programa.

Ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN), ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), à Anglo American Minério de Ferro S.A. e ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Catimbau (PELD Catimbau – na figura dos Profs. Marcelo Tabarelli e Inara Leal), por todo o apoio logístico prestado, direto e indiretamente.

A todos os responsáveis, técnicos, gestores ambientais e biólogos/morcególogos com quem tive o prazer de trabalhar nessa jornada, em especial: Diego Bento (CECAV/RN), os queridos Uilson Campos e Iatagan Freitas (CECAV/RN), Paulo Maier (ICMBio/CE), Flávia Regina ICMBio/CE), Tereza Raquel e Cícero Simão (voluntários no ICMBio/CE), Patrício Rocha, Juan Carlos, Messias (Emmanuel), Gustavo Urbietta, muito obrigada por todo o aprendizado, prosas e muitas risadas, meus amigos!

A todos os guias (esporádicos e permanentes) e demais pessoas que me acompanharam e auxiliaram nas atividades de campo e que foram de extrema importância para a realização deste trabalho, em especial ao Genivaldo (guia no PARNA do Catimbau) e ao Clébio Rodrigues (guia na Terra Indígena Kapinawá), que me acompanham desde o princípio.

À Residência Estudantil Bem-Estar (meu primeiro lar em Recife), que tão bem me acolheu, em especial a D. Edy (Ednalva), Neidinha (Rose Neide) e Lu (Luciana), pelo carinho que sempre tiveram por mim. E a todos os amigos e colegas que lá fiz.

Aos meus queridos padrinhos (Madalena, Urs e Valéria), que estiveram comigo e acreditaram em mim, sempre me apoiando em minhas conquistas. Amo muito vocês!

Aos amigos de Porto de Galinhas Késsia, D. Vera, Ana, André e Ian, pessoas com quem pude contar até aqui. Em especial, agradeço a Allyne, uma pessoa querida, por me receber e abrir a porta da sua casa, me acompanhar, cuidar e apoiar com todo carinho durante esta etapa. A ela também a gratidão por me apresentar as belezas de Porto e os encantos do Nordeste!

Aos amigos espeleólogos, antigos e novos, que sempre me proporcionam momentos inesquecíveis nas maravilhas subterrâneas.

Ao Grupo de Pesquisa e Extensão em Espeleologia Guano Speleo (meu primeiro contato com a espeleologia), em Belo Horizonte, que me mostrou as inúmeras possibilidades sobre esse

ambiente único e maravilhoso, que são as cavernas. Agradeço também a todos os momentos de aprendizado e descontração junto com vocês. Vocês são os irmãos que eu escolhi!

Aos amigos Denise, Douglas, Elisângela, Letícia e Verônica, por estarem sempre presentes, mesmo que a distância, dando todo apoio e carinho. Também amo muito vocês!

Aos amigos da Quíron, da PUC, de Parauapebas, de São Paulo... por me proporcionarem momentos de descontração, boas risadas e por sempre me receberem tão bem.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram até aqui para minha formação... o meu mais sincero obrigada!

“Nenhum saber é completo.”

(Galileu Galilei)

RESUMO

Cavernas são abrigos essenciais para centenas de espécies de morcegos e, frequentemente, desde espécies nectarívoras até frugívoras, insetívoras e hematófagas são encontradas em uma mesma caverna. As cavernas, de forma geral, apresentam elevada estabilidade ambiental, e essa estabilidade é desejável para um abrigo em potencial, pois suas características microclimáticas são muitas vezes importantes para sua seleção pelos morcegos. Além da diversidade de espécies, algumas cavernas também podem abrigar populações excepcionalmente grandes, de dezenas de milhares até milhões de indivíduos. Essas são as chamadas *bat caves* e/ou *hot caves*, cuja temperatura é mais elevada devido ao calor corporal irradiado das altas densidades de determinadas espécies de morcegos. Os morcegos, além de prestarem serviços ambientais no ambiente externo, como polinização, dispersão de sementes e controle de insetos (alguns inclusive, considerados pragas agrícolas), ainda contribuem de forma vital para os ecossistemas cavernícolas. O guano trazido diariamente por morcegos para dentro das cavernas é identificado como essencial para a manutenção de ecossistemas inteiros, pois representa em alguns casos o único ou principal *input* de energia para centenas de outras espécies da biota cavernícola. Apesar de relevante, poucos estudos se propuseram a abordar o aporte de guano dos morcegos em ambientes cavernícolas sob o ponto de vista quantitativo, e menos ainda na região Neotropical. Assim, o presente estudo visou avaliar as contribuições dos morcegos no *input* de guano em cinco *bat caves* no Nordeste do Brasil, levando em consideração a riqueza e o tamanho das populações de morcegos nessas cavernas, identificando e estimando os depósitos de guano e suas taxas de acumulação por caverna e também estimando o *input* trazido para dentro das cavernas pelos morcegos insetívoros. Para a coleta de dados foram realizados: i) censos populacionais, utilizando técnica não invasiva e contagens automatizadas, ii) resgate do registro de dados da temperatura da caverna, iii) captura e pesagem dos morcegos para estimar o consumo de insetos por noite, iv) instalação de coletores de guano por 96 horas e medidores graduados no piso da caverna para estimar o acúmulo e velocidade de deposição do guano, respectivamente, e v) montagem de *grids* regulares para estimar a profundidade e o volume de guano em alguns setores da caverna. Esse estudo mostrou que a abundância de morcegos nessas *bat caves* varia bastante inter- e intracavernas, indicando abrigos com alto dinamismo de ocupação. Variações também foram observadas na quantidade de insetos ingeridos pelos morcegos por noite, o que resultou em um aporte de guano espacial e temporalmente heterogêneo nas cavernas. Ainda assim, todas as cavernas amostradas continham depósitos de guano volumosos em seus interiores, confirmando e reforçando o papel

dos morcegos como agentes do *input* de energia – na forma de guano – nesses ambientes. Os resultados apontam ainda que as variações na temperatura da caverna são influenciadas pela quantidade de morcegos em seu interior, permitindo que o monitoramento da temperatura seja usado na reconstrução de padrões de uso dos abrigos pelos morcegos. Este estudo fornece dados quantitativos sobre as contribuições ambientais prestadas pelos morcegos, cuja identificação e quantificação estão entre as prioridades para a conservação de morcegos no Brasil, além de contribuir com informações sobre a interação morcego-caverna.

Palavras-chave: Ambientes cársticos. *Bat caves*. Brasil. Chiroptera. Guano de morcego. *Input* de energia.

ABSTRACT

Caves are essential shelters for hundreds of bat species, and often from nectarivores to frugivores, insectivores and hematophagous species are found in the same cave. Caves, in general, have high environmental stability and such stability is desirable for a potential shelter, as their microclimate characteristics are often important for roost selection by bats. In addition to species diversity, some caves can also host exceptionally large bat populations, from tens of thousands to millions of individuals. Such roosts are called bat caves and/or hot caves, and their temperature is higher due to the body heat radiated from the high densities of certain species of bats. In addition to providing environmental services in the external environment – such as pollination, seed dispersal and insect control – bats also play an essential contribution to cave ecosystems. The guano daily brought by bats into the caves is identified as essential for the maintenance of entire ecosystems, as it represents in some cases the only or main energy input for hundreds of other cave species. Although relevant, few studies have proposed to address the bat guano input in cave environments from a quantitative point of view, and even less in the Neotropical region. Thus, the present study aimed to evaluate the contributions of bats to guano input in five bat caves in Northeastern Brazil, considering species richness and size of bat populations in those caves, identifying and estimating guano deposits and their rates of accumulation per cave, and also estimating the input of guano brought into the caves by insectivorous bats. For data collection we i) conducted population censuses, using a non-invasive automated counting technique, ii) recorded and analyzed cave temperature data, iii) captured and weighted bats to estimate insect consumption per night, iv) installed guano collectors and graduated meters on the floor of caves to estimate the amount and speed of guano accumulation, and v) assembled regular grids to estimate the depth and volume of guano deposits in some cave sectors. The abundance of bats varied greatly between and within caves, indicating highly dynamic occupation. Variations were also observed in the amount of insects ingested by bats per night, which resulted in a spatially and temporally heterogeneous guano input in the caves. Even so, all the sampled caves contained bulky guano deposits inside, stressing the role bats play as agents of energy input – in the form of guano – in those environments. Our results also indicated that variations in the temperature of the cave are influenced by the number of bats inside, allowing temperature to be used in the reconstruction of cave use patterns by bats. This study provides quantitative data on the contributions made by bats to cave ecosystems – whose identification and quantification are among the priorities for

bat conservation in Brazil – and provided unprecedented information on the bat-cave interaction for bat caves in the Neotropics.

Keywords: Bat caves. Bat guano. Brazil. Chiroptera. Energy input. Karstic environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do processo de formação das cavidades naturais subterrâneas, promovidas por reações químicas	24
Figura 2 – Representação das zonações que podem ser encontradas em uma cavidade	25
Figura 3 – Bloco-diagrama representando uma caverna e outros habitats subterrâneos, bem como suas interconexões	27
Figura 4 – “Compartimentos” de habitats desde o sistema epígeo até uma macro-caverna. Em vermelho, as categorias de morfologia diferenciada mais frequentemente associada a cada compartimento e, em verde, as categorias ecológico-evolutivas de organismos associada a cada compartimento e, em verde, as categorias ecológico-evolutivas de organismos associadas às suas morfologias preferenciais (ou mais frequentemente encontradas)	28
Figura 5 – Algumas espécies encontradas em cavernas, no Brasil.....	29
Figura 6 – Filogenia molecular para a ordem Chiroptera	31
Figura 7 – Indivíduos do gênero <i>Pteronotus</i>	37
Figura 8 – Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil	40
Figura 9 – Área de estudo localizada nos estados de Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE), região Nordeste, Brasil	65
Figura 10 – Riqueza de espécies nas cavernas amostradas entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020	80
Figura 11 – Abundância de morcegos nas <i>bat caves</i> Meu Rei – PE, Furna do Morcego – PE, Casa de Pedra – SE, Caverna do Urubu – SE e Furna do Urubu – RN, entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020	81
Figura 12 – Flutuações na temperatura da última câmara da caverna Meu Rei, no PARNA do Catimbau – PE, de julho de 2014 a outubro de 2020.....	82
Figura 13 – Flutuações na temperatura interna da Furna do Morcego, na Reserva Indígena Kapinawá – PE, de outubro de 2018 a fevereiro de 2020.....	83
Figura 14 – <i>Boxplot</i> comparando o peso total dos indivíduos das espécies <i>Pteronotus gymnonotus</i> para as cavernas Furna do Morcego (PE), em maio e outubro de 2019; Casa de Pedra (SE), em fevereiro de 2019 e Caverna do Urubu (SE), em janeiro de 2019, e <i>Pteronotus personatus</i> (Casa de Pedra (SE), em fevereiro de 2019 e Caverna do Urubu (SE), em janeiro de 2019), saindo (<i>out</i>) e retornando	

(*in*) para os abrigos na mesma noite, contendo a mediana e o desvio padrão das amostras 86

Figura 15 – Quantidade de guano acumulado e pesado *in loco* (em $\log_{10} - \text{g/m}^2/96\text{h}$) por coletor, com seus respectivos rótulos. O eixo x representa o número de coletores instalados nas cavernas Meu Rei – PE, em maio, agosto e outubro de 2019; Furna do Morcego – PE, em fevereiro, maio e agosto de 2019; Casa de Pedra – SE, em janeiro de 2020; Caverna do Urubu – SE, em janeiro de 2020 87

Figura 16 – Variação no volume do guano acumulado nas cavernas Meu Rei – PE (A) e Furna do Morcego – PE (B) entre fevereiro e maio de 2019, respectivamente a outubro de 2019 88

Figura 17 – Gráfico de superfície da variação na profundidade do guano acumulado nas áreas medidas, para a as cavernas Casa de Pedra (SE) – em janeiro de 2020, Furna do Urubu (RN) – em fevereiro de 2020 e Caverna do Urubu (SE) – em janeiro de 2020 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Bat caves</i> estudadas, contendo o município e a unidade federativa, segundo o cadastro do CECAV (2017) e suas respectivas coordenadas geográficas	72
Tabela 2 – Espécies registradas nas <i>bat caves</i> com indicação das cavernas onde foram registradas	79
Tabela 3 – Capturas de morcegos das espécies <i>P. gymnonotus</i> e <i>P. personatus</i> , para estimativa do consumo de insetos por noite	85
Tabela 4 – Análise descritiva das variáveis de profundidade das áreas de medição no pacote de guano e índice de conforto	88
Tabela 5 – Modelo de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis de profundidade das áreas de medição no pacote de guano e índice de conforto	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CANIE	Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas
CAP	Captura
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CF	Constituição Federal
CNS	Cavidades naturais subterrâneas
CO	Cavernícola oportunista
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Casa de Pedra
CRI	Cartório de Registro de Imóveis
CU	Caverna do Urubu
CV	Coefficiente de variação
DF	Decreto federal
DP	Desvio padrão
EC	Essencialmente cavernícola
ECO	Ecolocalização
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FLIR	<i>Forward Looking Infra-Red</i>
FM	Furna do Morcego
Fru	Frugívoro
FU	Furna do Urubu
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
g.	Gramas
GDE	Grau de dependência espacial
GEO-EAS [®]	Geostatistical Environmental Assessment Software
Hem	Hematófago
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IN	Instrução normativa
Ins	Insetívoro
IUCN	International Union for Conservation of Nature
Ks	Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

LI	Licença de instalação
LP	Licença prévia
Máx.	Máximo
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio ambiente
MMS	Meio subterrâneo superficial
Mín.	Mínimo
MR	Meu Rei
Nec-Pol	Nectarívoro-polinívoro
n (S)	Número total de morcegos saindo
n (R)	Número total de morcegos retornando
OBS	Observação
Oni	Onívoro
PARNA	Parque Nacional
PE	Pernambuco
PH	Projeção horizontal
PNMA	Plano Nacional do Meio Ambiente
RN	Rio Grande do Norte
SBE	Sociedade Brasileira de Espeleologia
SE	Sergipe
SISBio	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
SPU	Secretaria do Patrimônio da União
TR	Termo de Referência
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
Vol	Volume
VU	Vulnerável
\bar{x} AS	Média do comprimento do antebraço dos morcegos saindo
\bar{x} AR	Média do comprimento do antebraço dos morcegos retornando

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	SISTEMAS CÁRSTICOS: ORIGENS E CARACTERIZAÇÃO DAS CAVERNAS	23
2.2	AMBIENTES SUBTERRÂNEOS E A BIOTA ASSOCIADA	26
2.3	ORDEM CHIROPTERA E SUA IMPORTÂNCIA PARA ECOSSISTEMAS CAVERNÍCOLAS	30
2.4	<i>BAT CAVES</i> E A IMPORTÂNCIA DO GUANO PARA MANUTENÇÃO DOS ORGANISMOS CAVERNÍCOLAS	33
2.5	POTENCIAL ESPELEOLÓGICO DO BRASIL	38
2.6	CONSERVAÇÃO DE AMBIENTES CAVERNÍCOLAS	41
2.7	LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA BRASILEIRA: ALTERAÇÕES E IMPLICAÇÕES	42
3	A CONTRIBUIÇÃO DOS MORCEGOS NO INPUT DE ENERGIA NA FORMA DE GUANO PARA BAT CAVES NO SEMIÁRIDO NORDESTINO	61
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	98
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A – REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS ENTRADAS DAS BAT CAVES	112
	APÊNDICE B – ESBOÇO DO MAPA TOPOGRÁFICO DA CAVERNA MEU REI, LOCALIZADA DENTRO DO PARNA DO CATIMBAU, NO MUNICÍPIO DE TUPANATINGA – PE	113
	APÊNDICE C – ESBOÇO DO MAPA TOPOGRÁFICO DA CAVERNA FURNA DO MORCEGO, LOCALIZADA NA TERRA INDÍGENA KAPINAWÁ, DIVISA COM O PARNA DO CATIMBAU, NO MUNICÍPIO DE IBIMIRIM – PE	114
	APÊNDICE D – ESBOÇO DO MAPA TOPOGRÁFICO DA CAVERNA CASA DE PEDRA, LOCALIZADA NO POVOADO RIBEIRA, NO MUNICÍPIO DE CAMPO DO BRITO – SE	115

APÊNDICE E – ESBOÇO DO MAPA TOPOGRÁFICO DA CAVERNA DO URUBU, LOCALIZADA NA FAZENDA SÃO JOSÉ, NO MUNICÍPIO DE DIVINA PASTORA – SE	116
APÊNDICE F – ESBOÇO DO MAPA TOPOGRÁFICO DA CAVERNA FURNA DO URUBU, LOCALIZADA NO LAJEDO DO MEIO, NO MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA – RN	117
APÊNDICE G – ABUNDÂNCIA DE MORCEGOS NAS <i>BAT CAVES</i> , COM CONTAGENS REALIZADAS EM ANOS ANTERIORES E INCORPORADOS AOS DADOS DO TRABALHO	118
APÊNDICE H – REGISTRO FOTOGRÁFICOS DAS METODOLOGIAS APLICADAS	120
APÊNDICE I – REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS NESTE ESTUDO	121
APÊNDICE J – REGISTRO FOTOGRÁFICO DA ESTRUTURA CONHECIDA COMO <i>APSE FLUTES</i> (A E B) (TUBOS LONGOS E VERTICAIS QUE SE FORMAM NO TETO DA CAVERNA), PRESENTE NA <i>BAT CAVE</i> FURNA DO MORCEGO, EM PERNAMBUCO, LOCALIZADA NA CÂMARA DE CONCENTRAÇÃO DOS <i>PTERONOTUS</i>	122

1 INTRODUÇÃO

As cavernas são abrigos essenciais para centenas de espécies de morcegos (ALTRINGHAM, 1996). Esses locais apresentam elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, e temperatura e umidade constantes (POULSON; WHITE, 1969; CULVER, 1982), em comparação com o ambiente externo. Essa estabilidade é desejável para um abrigo em potencial, pois suas características microclimáticas são muitas vezes importantes para a seleção pelas espécies (KUNZ, 1982; GUNN, 2003; ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004). Diversas espécies de morcegos têm sido reportadas demonstrando grande afinidade com o ambiente cavernícola, utilizando-os como abrigos diurnos (ARITA, 1993). No Brasil, 72 das 181 espécies ocorrentes já foram registradas em cavernas (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018), e esse número pode ser mais elevado se considerarmos o grande potencial cavernícola do país. Atualmente estão registradas cerca de 21.000 cavernas no Brasil (CECAV, 2020), porém com estimativas que podem alcançar cerca de 310.000 cavernas (PILÓ; AULER, 2011).

Cavernas são consideradas ambientes ameaçados mundialmente (MAMMOLA, 2019). As ameaças que recaem sobre esses ambientes incluem o desmatamento da área do entorno (TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015), urbanização, atividades agrícolas, industriais e mineração (TRAJANO, 2000; REBOLEIRA *et al.*, 2011; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015; SUGAI *et al.*, 2015), contaminação dos aquíferos subterrâneos por metais pesados e poluição por agroquímicos (REBOLEIRA *et al.*, 2013; DI LORENZO *et al.*, 2015, 2018), turismo (MOLDOVAN *et al.*, 2003) e mudanças climáticas (MAMMOLA *et al.*, 2018). De fato, a proteção de ambientes cavernícolas é identificada como prioritária globalmente (MAMMOLA *et al.*, 2018). No Brasil, Bernard *et al.* (2012) elencaram 17 tópicos que podem influenciar na conservação de morcegos. Destes, o mais preocupante foi a redução na proteção das cavidades naturais subterrâneas, devido às alterações na legislação brasileira sobre proteção ao patrimônio espeleológico. Tais alterações flexibilizam a proteção das cavernas, tornando-se uma forte ameaça aos morcegos, fazendo com que espécies associadas às cavernas sejam mais susceptíveis a impactos decorrentes da destruição de seus abrigos (BERNARD *et al.*, 2012).

Os morcegos detêm os recordes de maiores congregações entre os mamíferos, variando de poucos indivíduos até milhares convergindo para um único abrigo (KUNZ, 1982). Quando uma enorme colônia de morcegos se estabelece em grandes câmaras conectadas a outras porções de uma caverna por passagens estreitas, a temperatura tende a ser muito elevada (gerada pelo calor corporal dos morcegos), não raramente atingindo 40 °C. Estas cavernas são

conhecidas também como “*hot caves*” (LADLE *et al.*, 2012). No entanto, uma caverna que apresenta uma enorme colônia de morcegos não necessariamente constitui uma caverna quente, pois a manutenção de altas temperaturas depende não apenas da presença de morcegos, mas também da arquitetura da caverna (FERREIRA, 2019b). Nesse sentido, nem toda *bat cave* é uma *hot cave*, mas toda *hot cave* é uma *bat cave*. O conceito de *bat cave* precisa ser melhor definido, e uma possível definição poderia ser “aquelas cavernas que abrigam colônias de morcegos que modificam, devido à sua presença, todo o ambiente trófico e climático da caverna, independentemente do número absoluto de morcegos” (FERREIRA, 2019b). Outra abordagem poderia ser a excepcionalidade do tamanho daquela população em relação às demais populações conhecidas. De qualquer forma, uma *bat cave* chama a atenção pelo número elevado de morcegos em seu interior (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Esse tipo de caverna pode atingir temperaturas muito altas devido ao calor corporal irradiado das altas densidades de determinadas espécies de morcegos (JUBERTHIE, 2000) e da decomposição do guano (PECK *et al.*, 1998). As cavernas quentes são reportadas no Caribe, principalmente nas Antilhas (DE LA CRUZ, 1992), em Cuba (SAMPREDO *et al.*, 1977; TEJEDOR *et al.*, 20005; MANCINA *et al.*, 2007) e Porto Rico (RODRÍGUES-DURÁN, 1995, 1998; RIVERA-MARCHAND; RODRÍGUES-DURÁN, 2001). Cavernas quentes continentais foram descritas no México (DALQUEST; HALL, 1949), Venezuela (DE LA CRUZ, 1992; ARENDS *et al.*, 1995), e no nordeste do Brasil (ROCHA *et al.*, 2011; FEIJÓ; ROCHA, 2017; VARGAS-MENA *et al.*, 2018; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Nas regiões neotropicais, a família Mormoopidae é o principal grupo associado às cavernas quentes – contendo espécies insetívoras, embora frequentemente compartilhem o ambiente com espécies das famílias Phyllostomidae e Natalidae (LADLE *et al.*, 2012).

As principais contribuições ao meio ambiente conferidas pelos morcegos estão relacionadas à dispersão de sementes, à polinização, ao controle das populações de insetos noturnos, incluindo pragas agrícolas e vetores de zoonoses (BOHMANN *et al.*, 2011; BOYLES *et al.*, 2011; KUNZ *et al.*, 2011; MASLO *et al.*, 2017), e ao consumo de vertebrados (FENTON *et al.*, 1992). Além disso, quando retornam diariamente aos seus abrigos em cavernas e defecam nesses locais, os morcegos também contribuem com um aporte de energia que é essencial para esses ambientes, trazendo matéria orgânica, na forma de guano (BERNARD *et al.*, 2018). Um fator intrínseco às *bat caves* são os extensos pacotes de guano (GNASPINI-NETTO, 1989; HERRERA, 1995; FERREIRA; MARTINS, 1998, FERREIRA *et al.*, 2000a; FERREIRA *et al.*, 2000b), provenientes principalmente de morcegos insetívoros. Entretanto, outros tipos de guano podem estar presentes, incluindo aqueles compostos por sementes, restos de frutos e

sangue. Esses depósitos de guano podem variar em quantidade, distribuição, velocidade de acumulação, e em função do tamanho da colônia de morcegos (ZILER; YANCEY, 2019).

Apesar de relevante ecologicamente, poucos estudos se propuseram a abordar o aporte de guano dos morcegos em ambientes cavernícolas sob o ponto de vista quantitativo, e menos ainda na região Neotropical (FERRERIRA *et al.*, 2007; SPERANDEI *et al.*, 2019; TRAJANO, 2019). E considerando todo o cenário de pressões e ameaças envolvendo as cavidades naturais subterrâneas e o seu entorno, promovido principalmente por setores importantes para a economia brasileira (e.g., mineração e agronegócio), bem como as redes de interações de sua biota, nesta dissertação eu investiguei a contribuição direta dos morcegos no *input* de guano em *bat caves* contendo populações numerosas de morcegos do gênero *Pteronotus*, no semiárido nordestino. Tive como objetivo quantificar o guano depositado pelos morcegos no interior das cavernas, correlacionando-o com o tamanho da população e o forrageio diário dos indivíduos. Também foi objetivo aqui identificar espacialmente esses depósitos e estimar as taxas de acúmulo do guano, buscando elementos para discutir de forma mais detalhada e quantitativa a relação morcego-guano-caverna. Em última instância, os dados gerados podem ser usados como ferramentas para importantes estratégias de manejo e conservação desses ecossistemas únicos e das espécies que neles habitam. Esta dissertação está composta por um Referencial Teórico e por um capítulo apresentado na forma de artigo científico, apresentados a seguir.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS CÁRSTICOS: ORIGENS E CARACTERIZAÇÃO DAS CAVERNAS

Cavidades naturais subterrâneas (CNS), popularmente conhecidas como cavernas, grutas, lapas, tocas, abismos, furnas ou buracos, são componentes de um sistema amplo e complexo, denominado carste, formado por vários sistemas menores, com diversas formas em sua superfície (GINES; GINES, 1992; AULER *et al.*, 2001, AULER, 2013). O conceito de carste, assim como o conhecimento científico em geral, evoluiu com o tempo. Os primeiros estudos foram realizados em uma região calcária na atual Eslovênia e Croácia, e também alguns países adjacentes (GAMS, 1993). Localmente conhecido como *kras*, o termo foi posteriormente germanizado para *karst* em alemão, dando origem ao vocábulo “carste”. A palavra, em servo-croata, significa “campo de pedras calcárias” e, após internacionalização do termo, passou a designar todas as regiões do planeta que possuam características semelhantes às da região do carste clássico (AULER; PILÓ, 2019). Esses sistemas podem ser caracterizados como um complexo dinâmico em constante modificação, principalmente por ação da água (atuando na formação, moldagem e deposição de inúmeras feições) (GILBERT *et al.*, 1994).

Baseando-se na distribuição de rochas carbonáticas que se encontram em condições geográficas e climáticas favoráveis à dissolução, terrenos cársticos ocupam uma parcela significativa da superfície da Terra, algo em torno de mais de 13% das terras emersas (FORD; WILLIAMS, 2007; WILLIAMS, 2008; WILLIAMS; FONG, 2010). Esses sistemas são constituídos basicamente de grandes massas rochosas carbonáticas nas quais se observam duas áreas de importância: a zona de recarga e a de descarga hídrica. A zona de recarga consiste de feições externas, como as dolinas, que determinam a captura e veiculação das águas superficiais para os compartimentos subterrâneos. Dessa forma, uma das peculiaridades das regiões cársticas é a reduzida quantidade de drenagens superficiais, já que a maior parte da água infiltra e flui por condutos subterrâneos, e o fato de a rocha matriz ser dissolvida por água acidificada (AULER; PILÓ, 2019), que adentra o sistema subterrâneo desencadeando inúmeras consequências, dentre elas a formação de condutos e galerias (GILBERT *et al.*, 1994) e o transporte e deposição de sedimentos (FERREIRA, 2004) (Figura 1).

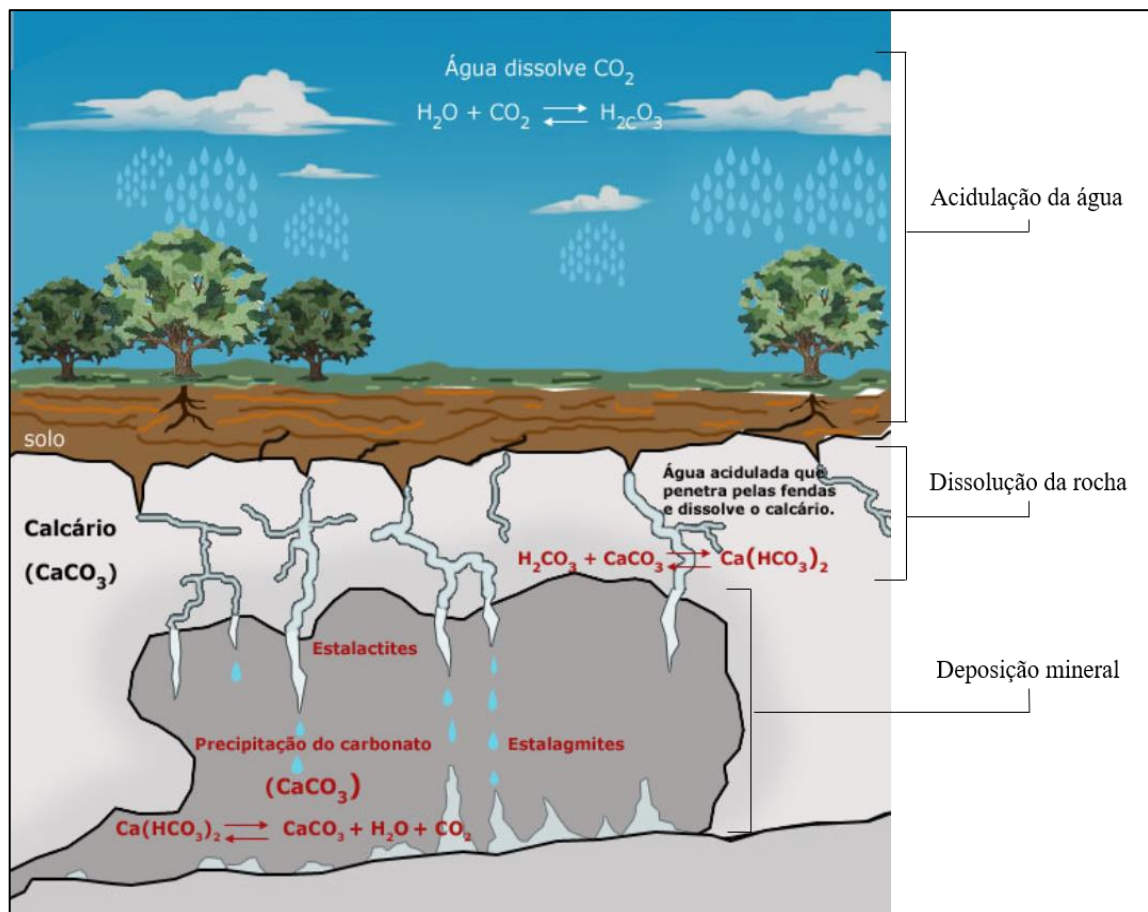
Com relação à origem da fonte de acidez é possível reconhecer dois grandes grupos de cavernas. As cavernas epigênicas são aquelas geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteóricas (de chuva ou de rios superficiais), provocando a dissolução da rocha matriz que, de forma lenta e contínua, formam os condutos,

que são suas galerias e passagens (Figura 1). Esse processo pode evoluir de forma descendente (singênese) ou ascendente (paragênese) (AULER; PILÓ, 2019). O processo básico que provoca a geração das formas cársticas em regiões calcárias pode ser sintetizado pela equação (AULER; PILÓ, 2019):



A água de chuva (H_2O) absorve dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e se torna ácida devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3). Essa água, ao entrar em contato com a rocha, já é capaz de dissolver o calcário, gerando feições cársticas superficiais. Essa mesma água, ao penetrar no solo, absorve ainda mais dióxido de carbono associado a raízes de plantas e húmus. Ao atingir a rocha, a água estará ainda mais ácida, gerando formas de dissolução no contato solo-rocha, e também cavernas (AULER; PILÓ, 2019) (Figura 1). A formação dessas galerias pode também ser feita, em um segundo momento, por desmoronamentos da rocha na qual a caverna está inserida, sendo que muitas das cavernas de grande dimensão podem ter tido esse tipo de gênese (AULER *et al.*, 2001).

Figura 1 – Representação do processo de formação das cavidades naturais subterrâneas, promovidas por reações químicas.



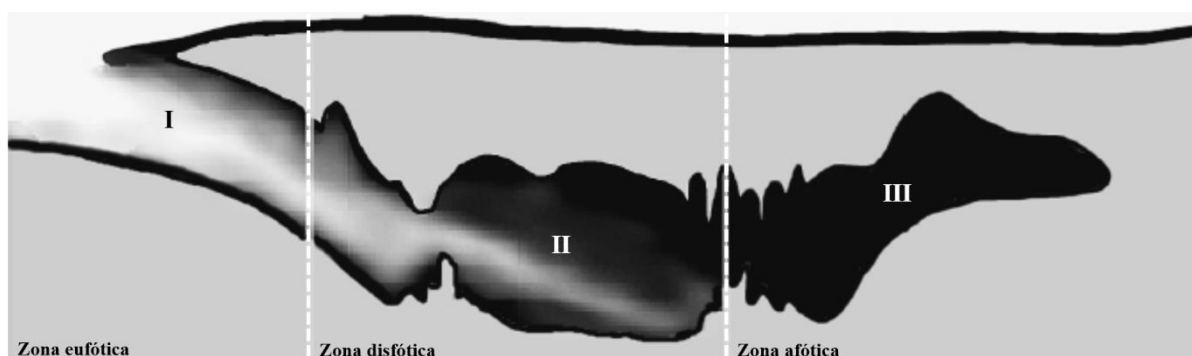
Fonte: Adaptado de LINO, 2001.

No entanto, muitas outras cavernas ocorrem devido à ação química de águas ascendendo de grandes profundidades, ou acidificadas – normalmente, ácido carbônico ou ácido sulfúrico – no interior do maciço rochoso. Essa categoria recebe o nome de cavernas hipogênicas (AULER; PILÓ, 2019).

As cavidades naturais subterrâneas podem ser encontradas em vários tipos de rochas, principalmente naquelas mais solúveis, como as carbonáticas (GINES; GINES, 1992), fato que não exclui a possibilidade de se encontrar cavernas em outras litologias como quartzitos, dolomitos e arenitos (WHITE; CULVER, 2005; AULER; PILÓ, 2005; HARDT *et al.*, 2010). Os maiores registros de presença de cavernas, em número e magnitude, são apontados para as rochas carbonáticas (RUBBIOLI *et al.*, 2019).

O ambiente cavernícola possui ainda algumas peculiaridades, tais como tendência à estabilidade ambiental, ausência permanente de luz, umidade elevada e temperatura constante, principalmente em áreas mais distantes da entrada (POULSON; WHITE, 1969). Nesse ambiente também podem ser distinguidas até três zonas ambientais caracterizadas pelas diferenças entre luminosidade, temperatura e distribuição de organismos (CAMACHO, 1992) (Figura 2): I) Zona de entrada (*eufótica*) – onde a luz incide diretamente e tanto a temperatura quanto a umidade relativa do ar acompanham as variações externas; II) Zona de penumbra (*disfótica*) – há incidência indireta de luz e flutuações de temperatura menores quando comparadas às da zona de entrada; III) Zona *afótica* – região onde há absoluta ausência de luz e habitual tendência à estabilidade ambiental.

Figura 2 – Representação das zonações que podem ser encontradas em uma cavidade.



Fonte: WHITE; CULVER, 2012. Adaptado por Narjara Pimentel (autora).

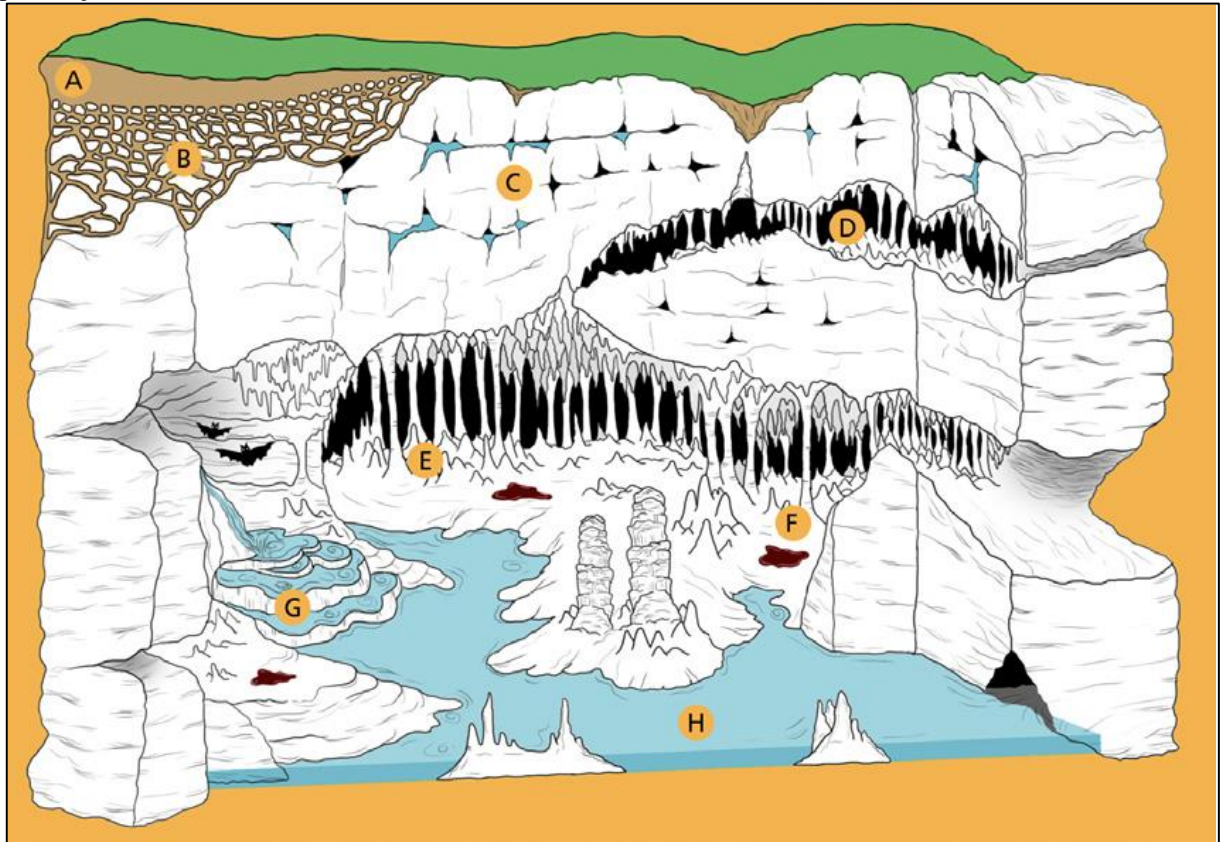
Uma vez que as zonas de entrada de cavernas são áreas onde as variações ambientais são fortemente influenciadas pelo ambiente do entorno, fatores como luminosidade, temperatura e umidade também apresentam variações diárias e sazonais (CULVER, 1982). Segundo PROUS *et al.* (2004), regiões próximas às entradas demonstram gradientes de

modificações estruturais, biológicas e físicas, criando uma zona de transição entre os sistemas epígeos (externo) e hipógeos (subterrâneo). Essa região localiza-se em uma zona diferenciada pelo equilíbrio entre a disponibilidade de recursos (característica epígea) e pela estabilidade ambiental (característica hipógea). Isso indica que a zona de entrada pode funcionar como um filtro entre esses dois ambientes adjacentes, permitindo que somente organismos pré-adaptados possam atravessar e se estabelecer no ambiente cavernícola (FERREIRA, 2019a).

2.2 AMBIENTES SUBTERRÂNEOS E A BIOTA ASSOCIADA

Os ambientes subterrâneos compreendem extensas redes de espaços de diferentes dimensões e graus distintos de conectividade (FERREIRA, 2019a) (Figura 3). Dentro dessa perspectiva, vários organismos, desde invertebrados diminutos até animais de grande porte, podem utilizar as cavernas (FERREIRA, 2010; DANTAS; DONATO, 2011; MARTIN-SOLANO *et al.*, 2016). Microrganismos, por exemplo, são capazes de circular entre essas diminutas fissuras e estabelecer populações viáveis entre esses espaços (FERREIRA, 2010). Por outro lado, o uso de cavernas por animais de maior porte também é bem documentado, incluindo desde registros fósseis da megafauna do Pleistoceno (CARTELLE; HARTWIG, 1996; CZAPLEWSKI; CARTELLE, 1998; DANTAS *et al.*, 2005; DONATO *et al.*, 2008; DANTAS *et al.*, 2008; XAVIER *et al.*, 2008), até lontras, serpentes, gambás, cachorros-domato e antas, do presente (DANTAS; DONATO, 2011; MARTIN-SOLANO *et al.*, 2016, KOPPE, 2019a; KOPPE, 2019b).

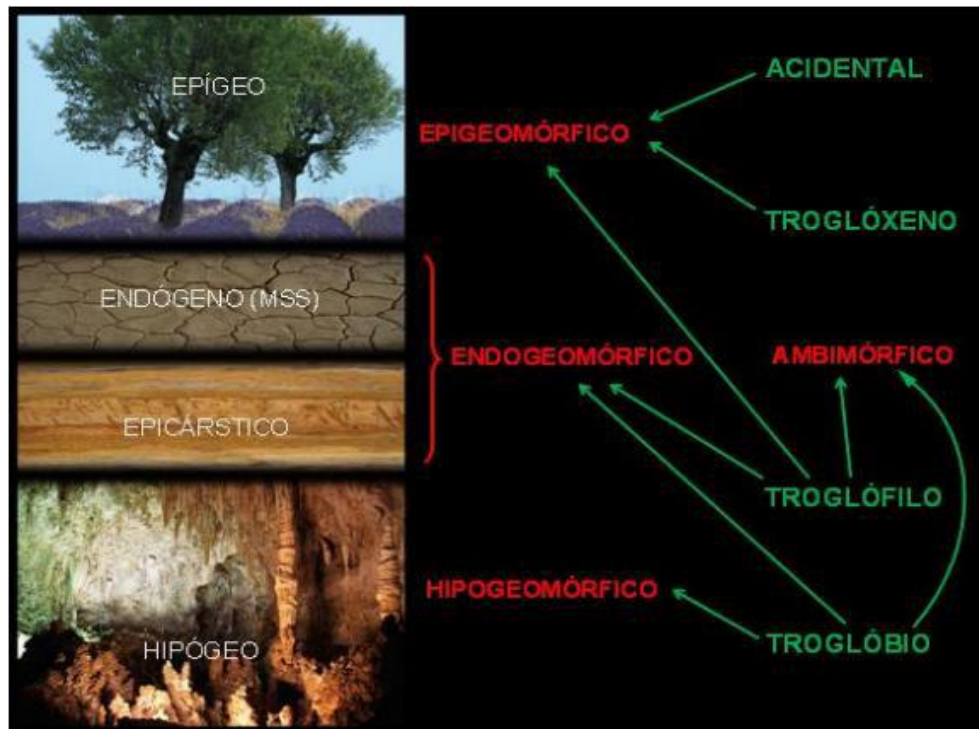
Figura 3 – Bloco-diagrama representando uma caverna e outros habitats subterrâneos, bem como suas interconexões. A) Solo; B) Meio Subterrâneo Superficial (MSS); C) Epicarste; D) Galerias fósseis; E) Espeleotemas em galeria hidrologicamente ativa; F) Guano; G) Poças d'água em represas de travertinos (águas de percolação); H) Nível de base.



Fonte: Retirado de FERREIRA, 2019a e ilustrado por Ana Clara Moreira Viana.

O horizonte em contato com o ambiente epígeo (superfície), denominado endógeno, é composto por espaços intersticiais do solo, sendo acessado e colonizado por organismos que estão presentes nesse substrato, através das minúsculas aberturas existentes, ou de forma ativa, pelos animais fossoriais (FERREIRA, 2010). Nesse contexto, o local de contato entre o solo e as rochas fragmentadas é denominado meio subterrâneo superficial (MSS) (Figura 4). Logo abaixo, situa-se o meio epicárstico, constituído de espaços ainda mais reduzidos, existentes entre os blocos rochosos das rochas encaixantes abaixo do solo profundo e de rochas fragmentadas, além das discontinuidades e fendas na rocha. Esses espaços se mantêm sob influência hídrica por todo o ano, sendo colonizados por organismos bastante especializados. Abaixo do epicarste, tem-se o meio hipógeo, tipicamente referenciado como cavernas (FERREIRA, 2010) (Figura 4). A ausência permanente de luz característica desse ambiente impede o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes, que são os principais produtores dos ambientes epígeos (POULSON; WHITE, 1969; FERREIRA; MARTINS, 1999b; TOBLER, 2008). De maneira geral, o ambiente hipógeo varia menos que o ambiente epígeo circundante (FERREIRA *et al.*, 2000a).

Figura 4 – “Compartimentos” de habitats desde o sistema epígeo até uma macro-caverna. Em vermelho, as categorias de morfologia diferenciada mais frequentemente associada a cada compartimento e, em verde, as categorias ecológico-evolutivas de organismos associadas às suas morfologias preferenciais (ou mais frequentemente encontradas).



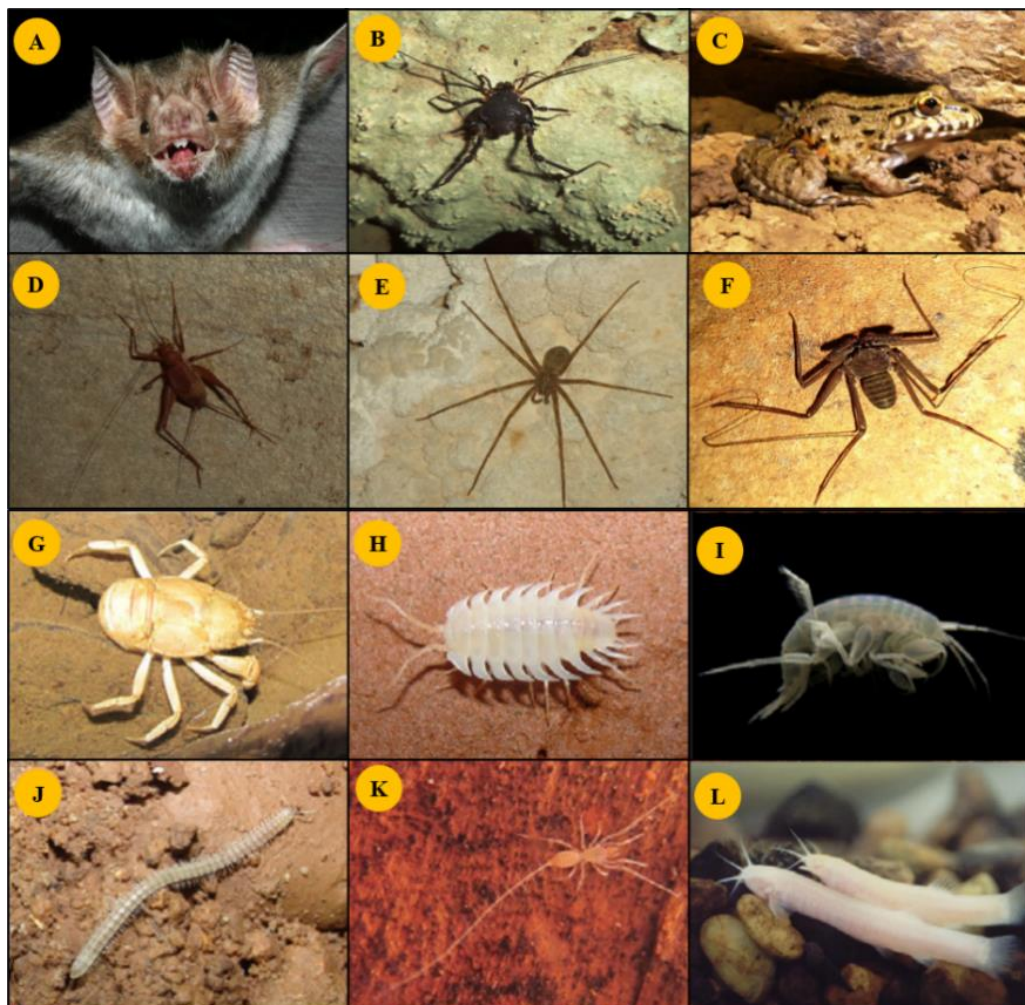
Fonte: Retirado de Ferreira, 2010.

Devido às características ambientais inerentes ao ambiente cavernícola, os organismos que o habitam podem ser altamente especializados, com modificações morfológicas, fisiológicas e comportamentais distintas. O sistema proposto por Schinner-Racovitza (1907) e modificado por Holsinger e Culver (1988) classifica os organismos cavernícolas em três categorias: os troglóxenos, os troglófilos e os troglóbios.

Os troglóxenos (*troglos* = caverna, *xenos* = estrangeiro) são organismos que utilizam os ambientes subterrâneos como abrigo e alimentação, em sua maioria, mas que dependem do ambiente externo para completar seu ciclo de vida (FERREIRA, 2010). São comumente encontrados nas porções da caverna próximo à entrada, entretanto, alguns desses organismos podem habitar partes mais internas das cavernas, como é o caso dos morcegos, ou ainda dos sapos e opiliões (FERREIRA *et al.*, 2009; FERREIRA, 2010) (Figuras 5A a 5C). Os morcegos são os principais importadores biológicos de matéria orgânica provenientes do ambiente epígeo, podendo eventualmente sustentar ecossistemas inteiros, principalmente em cavernas permanentemente secas (FERREIRA, 2010). Já os troglófilos (*troglos* = caverna, *filos* = que tem afinidade) podem completar seu ciclo de vida no ambiente hipógeo, assim como no ambiente epígeo (DONATO *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2009; SANTANA *et al.*, 2010;

FERREIRA, 2010). Como exemplo, podemos citar grilos, aranhas, amblipígios entre outros (Figuras 5D a 5F). E, por fim, os troglóbios (*troglos* = caverna, *bios* = vida) são organismos restritos aos ambientes cavernícolas, portanto, podem apresentar especializações em sua morfologia, fisiologia e em seu comportamento (FERREIRA; MARTINS, 1999a; FERREIRA; MARTINS, 2001; FERREIRA *et al.*, 2000b). Exemplos incluem *Aegla cavernicola*, *Iuiuniscus iuiuensis*, *Spelaeogammarus titan*, *Dobrodesmus mirabilis*, *Eukoenenia maquinensis*, *Trichomycterus itacarambiensis* (FERREIRA, 2019a) (Figuras 5G a 5L).

Figura 5 – Algumas espécies encontradas em cavernas, no Brasil. De A a C – espécies troglógenas; de D a F – espécies troglófilas; G a L – espécies troglóbias.



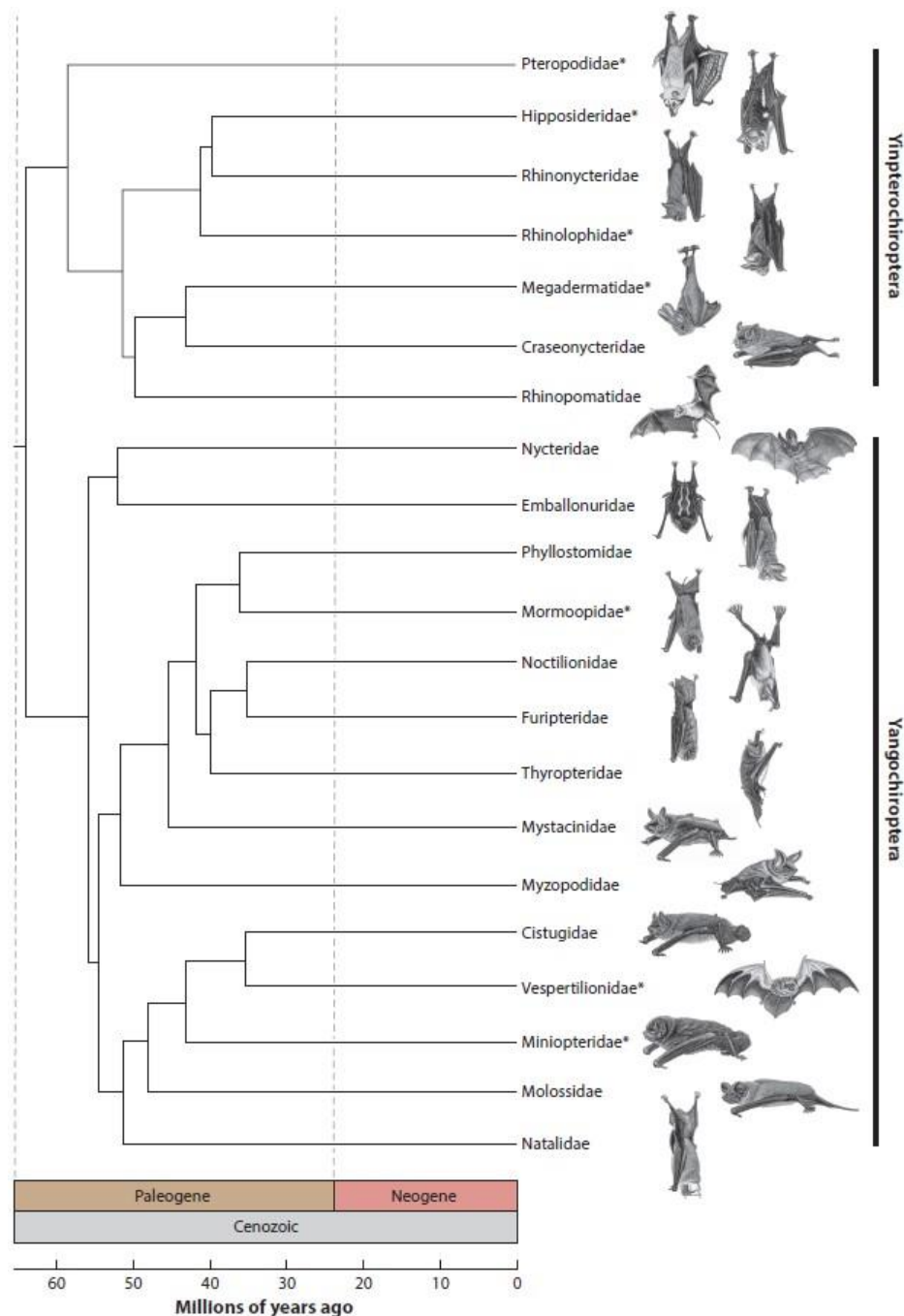
Fonte: A) *Desmodus rotundus*. Foto de Roberto L. M. Novaes, retirada de Morcegos do Brasil. Disponível em: <http://morcegosdobrasil.blogspot.com/search/label/Desmodus%20rotundus>; B) Opilião (Opiliones: Pachylinae), Pains (MG). Foto de Narjara Pimentel (autora – acervo pessoal); C) Anuro, Diamantina (MG). Foto de Narjara Pimentel (autora – acervo pessoal); D) *Endecous* sp. (Ensifera: Phalangopsidae), Pains (MG). Foto de Narjara Pimentel (autora – acervo pessoal); E) *Enoploctenus* sp., Pains (MG). Foto de Narjara Pimentel (autora – acervo pessoal); F) Amblipígio (Amblypygi: Charinidae), Pains (MG). Foto de Narjara Pimentel (autora – acervo pessoal); G) *Aegla cavernicola* (Decapoda: Aeglidae), Iporanga (SP); H) *Iuiuniscus iuiuensis* (Isopoda: Styloniscidae), Iuiu (BA); I) *Spelaeogammarus titan* (Amphipoda: Artesiidae), Santa Maria da Vitória (BA); J) *Dobrodesmus mirabilis* (Polydesmida: Dobrodesmidae), Ituaçu (BA); K) *Eukoenenia maquinensis* (Palpigradi: Eukoeneniidae), Cordisburgo (MG); L) *Trichomycterus itacarambiensis* (Siluriformes: Trichomycteridae), Itacarambi (MG). Fotos de G a L são fotografias de Rodrigo Lopes Ferreira, retiradas de Ferreira, 2019a.

Dentre os troglótenos, os morcegos são os principais responsáveis pelo fluxo energético nas cavernas. Ao retornarem todos os dias para seus abrigos, esses animais introduzem recursos orgânicos nesses ambientes, através de suas fezes (FERREIRA; MARTINS, 1999b; TOBLER, 2008), bem como de suas próprias carcaças (TRAJANO, 1995; FERREIRA *et al.*, 2000b). Assim, a importância desse aporte de energia reforça a necessidade do estudo e quantificação do papel desempenhado pelos morcegos em ambientes cavernícolas.

2.3 ORDEM CHIROPTERA E SUA IMPORTÂNCIA PARA ECOSISTEMAS CAVERNÍCOLAS

Os morcegos pertencem à Ordem Chiroptera (Chordata: Mammalia), que representa cerca de 25% de todas as espécies de mamíferos conhecidas (SIMMONS *et al.*, 2005; FENTON; SIMMONS, 2015; TEELING *et al.*, 2018). Os morcegos apresentam uma ampla distribuição geográfica entre os mamíferos silvestres (SIMMONS, 2005). Essa ordem encontra-se dividida em duas subordens: a Yinpterochiroptera, incluindo a família Pteropodidae (anteriormente classificada como megaquirópteros – raposas voadoras) e seis famílias anteriormente classificadas como microquirópteros, e a subordem Yangochiroptera, incluindo as quatorze famílias restantes de microquirópteros (ALTRINGHAM, 1996; SIMMONS; CIRRANELLO, 2019) (Figura 6). As famílias que ocupam a região Neotropical são todas pertencentes a Yangochiroptera. O inventário mais recente reporta 181 espécies para o Brasil, distribuídas em 68 gêneros e 9 famílias: Emballonuridae, Phyllostomidae, Mormoopidae, Noctilionidae, Furipteridae, Thyropteridae, Natalidae, Molossidae e Vespertilionidae (GARBINO *et al.*, 2020), colocando-os como a segunda ordem de maior riqueza entre os mamíferos brasileiros (ABREU *et al.*, 2020).

Figura 6 – Filogenia molecular para a ordem Chiroptera.



Fonte: Retirado de Teeling *et al.*, 2018.

A elevada diversidade taxonômica e a ampla ocorrência desse grupo podem ser atribuídas às inúmeras especializações, como a ecolocalização e a capacidade de voar, possibilitando a esse grupo a exploração de diversos nichos não antes ocupados por mamíferos (THOMAS *et al.*, 2004). Tais adaptações torna-os, portanto, aptos para a utilização de dietas variadas como a insetívoria, carnívoria, piscívoria, frugívoria, nectarívoria e hematofagia (KUNZ; PIERSON, 1994; NOWAK, 1994). Especializações para diferentes hábitos

alimentares, por sua vez, requerem uma ampla diversificação nas adaptações morfológicas e comportamentais relacionadas a tais estratégias, contribuindo para a grande variedade de formas encontradas nesse grupo (PAVAN, 2014).

As principais contribuições ao meio ambiente conferidas pelos morcegos estão relacionadas à dispersão de sementes, sendo mencionados como reflorestadores, à polinização, ao controle das populações de insetos noturnos, incluindo pragas agrícolas e vetores de zoonoses (BOHMANN *et al.*, 2011; BOYLES *et al.*, 2011; KUNZ *et al.*, 2011; MASLO *et al.*, 2017), e ao consumo de vertebrados (FENTON *et al.*, 1992). Somente na região Neotropical, 62 famílias e pelo menos 858 espécies vegetais dependem de morcegos para sua dispersão ou polinização (SMITH *et al.*, 2004; GEISELMAN; DEFEX, 2015). A insetivoria também é bastante comum nos morcegos neotropicais. A predação de insetos é fruto da história evolutiva (WETTERER *et al.*, 2000; MONTEIRO; NOGUEIRA, 2011; PAVAN, 2014), força de mordida e constituição do crânio das espécies (SANTANA; DUMONT, 2010; PAVAN, 2014). Adaptações nos crânios das diferentes espécies permitem que algumas delas consumam uma gama maior de insetos, incluindo situações de dietas espécie-específicas (FREEMAN, 1981). Diversas ordens da classe Insecta participam da dieta dos morcegos, como Lepidoptera, Hemiptera, Diptera, Hymenoptera, Orthoptera e até Blattodea (BOYLES *et al.*, 2011; SALINAS-RAMOS *et al.*, 2015; MASLO *et al.*, 2017; ARRIZABALAGA-ESCUADERO *et al.*, 2018).

Quando se alimentam, espécies de morcegos também prestam serviços ecossistêmicos essenciais para a qualidade da vida humana (MEA, 2005). Os morcegos atuam em várias categorias desses serviços (GHANEM; VOIGT, 2012; BREDET *et al.*, 2012). Nos últimos anos, os serviços ecossistêmicos prestados pelos morcegos através da insetivoria, por exemplo, têm sido valorados, especialmente aqueles relacionados à agricultura (BOYLES *et al.*, 2011; KUNZ *et al.*, 2011; GHANEM; VOIGT, 2012; KASSO; BALAKRISHNAN, 2013; RICCUCCI; LANZA, 2014), sendo o controle de artrópodes herbívoros – incluindo as pragas agrícolas – o mais apontado (KUNZ *et al.*, 2011; GHANEM; VOIGT, 2012; TAYLOR *et al.*, 2017; KEMP *et al.*, 2019). De acordo com BOYLES *et al.* (2011), nos Estados Unidos, o valor dos serviços de supressão de insetos daninhos prestados pelos morcegos insetívoros é de cerca de US\$ 22,9 bilhões por ano para o setor agrícola (variando de US\$ 3,7 a 53 bilhões ao ano). Na África do Sul, estudos apontam que morcegos evitam danos causados às plantações de macadâmia por percevejos (Família Pentatomidae) da ordem de US\$ 3,6 milhões em 2009 (SCHOEMAN, 2009) a US\$ 15,3 milhões em 2017 (TAYLOR *et al.*, 2017). Estudos recentes relatam também o consumo de pragas agrícolas por morcegos em vinhedos localizados ao sul da Europa

Ocidental (BAROJA *et al.*, 2019). Contudo, esse benefício pode ir além do valor monetário dos serviços de supressão de pragas, se a cultura afetada for, por exemplo, de produtos básicos, como arroz na Tailândia (WANGER, *et al.*, 2014), a macadâmia na África do Sul (TAYLOR, *et al.*, 2018), ou o milho nos Estados Unidos (MAINE; BOYLES, 2015).

Além de participarem de diferentes relações ecológicas no ambiente epígeo, esses indivíduos contribuem de forma vital para o ambiente hipógeo. Quando retornam diariamente aos seus abrigos em cavernas e defecam nesses locais, os morcegos contribuem com um *input* essencial de energia para esses ambientes, trazendo matéria orgânica na forma de guano (BERNARD *et al.*, 2018).

Frequentemente, várias espécies de morcegos, incluindo desde nectarívoros até frugívoros, insetívoros e hematófagos, são encontradas em uma mesma caverna (TRAJANO, 1985; ARITA, 1996; RODRÍGUEZ-DURÁN, 1998), reforçando o caráter social desses animais e a importância conservacionista desses ambientes (MICKLEBURGH, *et al.*, 2002; PARSONS, *et al.*, 2003; GOODMAN, *et al.*, 2005; RATCLIFFE; TER HOFSTEDE, 2005). Essa relação de co-habitação é favorecida pela diversidade microclimática que um abrigo pode oferecer, pela disponibilidade de abrigos em uma região, ou ambos (TWENTE, 1955; TRAJANO, 1985).

No Brasil, diversas espécies de morcegos têm sido reportadas demonstrando grande afinidade com o ambiente cavernícola, utilizando-os como abrigos diurnos (ARITA, 1993), e 72 das 181 espécies ocorrentes já foram registradas em cavernas (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Esse número, no entanto, é subestimado, considerando que um número muito reduzido de cavernas foi inventariado para morcegos no Brasil. Para ser considerada cavernícola não basta que a espécie seja amostrada em caverna, é necessário que ela utilize o abrigo de forma permanente (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014). Assim, estudos que contemplem os ambientes cavernícolas e a sua biota *stricta* são importantes, uma vez que muitos desses abrigos são essenciais para a sobrevivência e reprodução de diversas espécies.

2.4 BAT CAVES E A IMPORTÂNCIA DO GUANO PARA MANUTENÇÃO DOS ORGANISMOS CAVERNÍCOLAS

Os morcegos detêm os recordes de maiores congregações entre os mamíferos, variando de poucos indivíduos até milhares convergindo para um único abrigo (KUNZ, 1982). Quando uma enorme colônia de morcegos se estabelece em grandes câmaras conectadas a outras porções de uma caverna por passagens estreitas, a temperatura tende a ser muito elevada (gerada pelo calor corporal dos morcegos), não raramente atingindo 40 °C. Estas cavernas são

conhecidas também como “*hot caves*” (LADLE *et al.*, 2012). No entanto, uma caverna que apresenta uma enorme colônia de morcegos não necessariamente constitui uma caverna quente, pois a manutenção de altas temperaturas depende não apenas da presença de morcegos, mas também da arquitetura da caverna (FERREIRA, 2019b). Nesse sentido, nem toda *bat cave* é uma *hot cave*, mas toda *hot cave* é uma *bat cave*. O conceito de *bat cave* precisa ser melhor definido, e uma possível definição poderia ser “aquelas cavernas que abrigam colônias de morcegos que modificam, devido à sua presença, todo o ambiente trófico e climático da caverna, independentemente do número absoluto de morcegos” (FERREIRA, 2019b). Outra abordagem poderia ser a excepcionalidade do tamanho daquela população em relação às demais populações conhecidas. De qualquer forma, uma *bat cave* chama a atenção pelo número elevado de morcegos em seu interior (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019).

Esse tipo de caverna pode atingir temperaturas muito altas devido ao calor corporal irradiado das altas densidades de determinadas espécies de morcegos (JUBERTHIE, 2000) e da decomposição do guano (PECK *et al.*, 1998). De fato, Dalquest e Hall (1949) descreveram temperaturas extremamente altas durante uma visita a uma caverna nas montanhas Tuxtla, Veracruz, México, utilizada como abrigo por milhares de *Pteronotus personatus* (WAGNER, 1843) e *Pteronotus davyi* (GRAY, 1838). *Bat caves* têm características físicas e biológicas distintas, pois geralmente apresentam entrada única e relativamente pequenas, baixa circulação de ar, alta densidade de morcegos (dezenas a centenas de milhares), temperatura ambiente em torno de 28-40 °C e umidade relativa acima de 90% (SILVA-TABOADA, 1979; DE LA CRUZ, 1992). E essas cavernas representam um tipo de ecossistema onde o microclima mais estável e extremo e o guano abundante são vitais para a manutenção da riqueza cavernícola (GNASPINETTO, 1992; FERREIRA, 2004) e afetam fortemente o espaço onde esses organismos cavernícolas vivem, a exemplo de artrópodes, gastrópodes e micróbios (HASTINGS *et al.*, 2007).

As cavernas quentes são reportadas no Caribe, principalmente nas Antilhas (DE LA CRUZ, 1992), em Cuba (SAMPREDO *et al.*, 1977; TEJEDOR *et al.*, 20005; MANCINA *et al.*, 2007) e Porto Rico (RODRÍGUES-DURÁN, 1995, 1998; RIVERA-MARCHAND; RODRÍGUES-DURÁN, 2001). Cavernas quentes continentais foram descritas no México (DALQUEST; HALL, 1949), Venezuela (DE LA CRUZ, 1992; ARENDS *et al.*, 1995) e no nordeste do Brasil (ROCHA *et al.*, 2011; FEIJÓ; ROCHA, 2017; VARGAS-MENA *et al.*, 2018; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Populações excepcionais de morcegos também são reportadas para os Estados Unidos, nas *bat caves* do Parque Nacional Carlsbad Caverns, no Novo México, e na Bracken, no Texas, onde estima-se populações de milhões de indivíduos de

Tadarida brasiliensis (HRISTOV *et al.*, 2010). Na Malásia, estima-se que a caverna Deer, no Parque Nacional Gunung Mulu, contenha cerca de dois milhões de *Chaerophon plicata* (CLEMENTS *et al.*, 2006).

Essas cavernas se distinguem em duas categorias em relação à temperatura, na região Neotropical: o primeiro tipo são aquelas cavernas aquecidas por convecção, com o ar quente subindo da planície abaixo e adentrando cavernas verticais em altitudes mais elevadas (FUREY; RACEY, 2015). O morcego *Macroderma gigas*, endêmico da Austrália, utiliza cavernas desse tipo, no Parque Nacional Monte Etna, Queensland, durante a sua gravidez e lactação, uma vez que as fêmeas experimentam condições termoneutras e não precisam despende tanta energia para manter uma temperatura corporal constante alta (FUREY; RACEY, 2015). O segundo tipo de caverna são as aquecidas pelos próprios morcegos, sendo caracterizadas por uma entrada reduzida, geralmente ao nível do solo, que se estende por uma série de câmaras, ao longo das quais um gradiente de temperatura é estabelecido, tendendo a aumentar nas áreas mais internas. Estas cavernas normalmente são ocupadas por um alto número indivíduos com taxas metabólicas basais baixas, como ocorre, por exemplo, com as espécies *Mormoops blainvillei*, *Pteronotus quadridens* e *Monophyllus redmani*, que selecionam a parte mais quente com temperatura próximo a 35°C, na caverna Cucaracha, Porto Rico, onde se aproximam da termoneutralidade (RODRIGUEZ-DURÁN; LEWIS, 1987; RODRIGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; RODRIGUEZ-DURÁN, 2009; LADLE *et al.*, 2012), e as espécies de *Pteronotus gymnonotus* e *P. personatus* (ROCHA *et al.*, 2011; FEIJÓ; ROCHA, 2017; VARGAS-MENA *et al.*, 2018; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019).

As condições microclimáticas estáveis e a alta umidade produzida pela alta densidade de morcegos suportam um grande número de outros animais (JUBERTHIE, 2000), especialmente invertebrados detritívoros residentes no solo que se alimentam, principalmente, do guano abundante depositado nesse ecossistema (VANDEL, 1965; BARR, 1968; HOWARTH, 1983; TRAJANO, 2012). Ao estudar as comunidades de guano brasileiras, Gnaspini-Netto (1989) propôs que espécies de invertebrados podem apresentar preferências por tipos distintos de guano (guano insetívoro, frugívoro ou hematófago). Segundo esse autor, algumas famílias foram encontradas apenas em tipos específicos de guano. No entanto, a dependência de alguns grupos de invertebrados à tipos específicos de guano não é tão forte quanto se pensava anteriormente. Por exemplo, dermestídeos, considerados pelo antigo autor como específicos do guano de morcego insetívoro, foram encontrados no guano frugívoro. Isópodes e piolhos, considerados específicos do guano frugívoro, foram encontrados no guano hematófago. Finalmente, pseudoescorpiões e ácaros considerados específicos do guano

insetívoro foram encontrados em guano de morcego hematófago (FERREIRA *et al.*, 2007). Como mencionado anteriormente, a maioria dos invertebrados presentes no guano são detritívoros generalistas capazes de consumir muitos tipos de recursos orgânicos. Portanto, os padrões de associação parecem ser fortemente determinados pelo tipo e quantidade de recursos disponíveis em cada sistema de cavernas em particular, ao invés de preferências específicas da espécie (FERREIRA, 2019b).

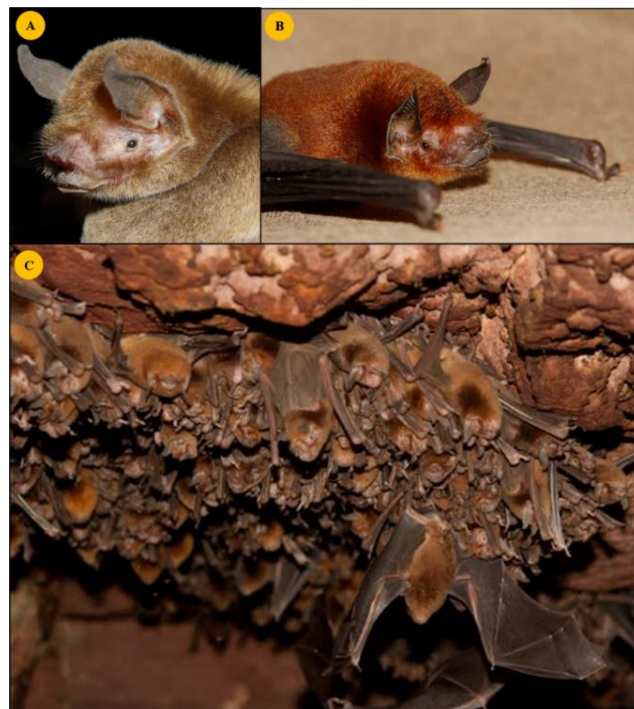
Em *bat caves*, os extensos pacotes de guano são provenientes, principalmente, de morcegos insetívoros, uma vez que são os animais mais abundantes, o que não exclui a existência de outros tipos de guano, já que os espaços podem ser divididos com outras espécies. Esses morcegos produzem guano constituído de exoesqueletos triturados e partes desarticuladas de insetos, sendo rico em ureia e outros compostos nitrogenados (GNASPINI-NETTO, 1989). Nesse tipo de guano encontram-se espécies de Pseudoescorpionida, Coleoptera, Diptera e larvas de Lepidoptera (FERREIRA; MARTINS, 1999b).

A partir do momento em que é depositado, o guano passa a ser colonizado por espécies pioneiras que iniciam o processo de sucessão ecológica. Esse processo é caracterizado pelas mudanças que ocorrem na fauna associada, influenciada pelas alterações físico-químicas do guano. Uma vez que os organismos autotróficos não estão presentes nesse tipo de ambiente, as mudanças nas comunidades são classificadas como sucessão heterotrófica (GEE; GILLER, 1987). De acordo com Decu (1986) e Ferreira e Martins (1999b), os dípteros são os primeiros colonizadores do guano, que chegam até esse recurso atraídos pelo odor da fermentação amoníaca, junto com protozoários e nematodos que já estão presentes nas fezes dos morcegos. Assim que os dípteros se instalam, aparecem as formas predadoras e parasitárias como coleópteros (e.g., Staphylinidae e Histeridae) e himenópteros. Ácaros e colêmbolos costumam ser igualmente atraídos. Com o passar do tempo, aparecem os predadores de maior porte, como quilópodes e aranhas. Nos depósitos mais velhos, é comum encontrar Oligochaeta (DECU, 1986).

Assim, considera-se que a relação morcegos-caverna-fauna cavernícola representa uma associação ecológica altamente especializada, complexa e frágil, pois a manutenção de comunidades inteiras de espécies guanóbias e por vezes troglóbias depende da presença, frequência e da quantidade de morcegos e de seu guano nesses locais. Perturbações nas congregações de morcegos ou na estrutura do abrigo podem resultar em colapsos de ecossistemas cavernícolas inteiros, levando em alguns casos à extinção local de populações de troglóbias quando o *input* de guano é inferior a limites mínimos dentro das cavernas (GNASPINI-NETTO, 1992; FERREIRA, 2004).

Nas regiões neotropicais, a família Mormoopidae é o principal grupo associado às cavernas quentes, embora frequentemente compartilhem o ambiente com espécies das famílias Phyllostomidae e Natalidae. Essa família abriga os gêneros *Pteronotus* e *Mormoops*. O gênero *Pteronotus* tem distribuição mais ampla e suas espécies colonizam desde o Texas, no sudoeste dos EUA, até a região central do Brasil, estendendo-se para as Pequenas e Grandes Antilhas (SIMMONS; CONWAY, 2001), oeste dos Andes até o Peru (PATTON; GARDNER, 2007). Essa família habita uma grande variedade de habitats, desde florestas úmidas a regiões subtropicais áridas e semiáridas inferiores a 3.000 metros de altitude (PATTON; GARDNER, 2007). O gênero inclui 15 espécies existentes, atribuídas a 3 subgêneros: *Pteronotus*, incluindo *P. davyi* (GRAY, 1838), *P. fulvus* (THOMAS, 1892) e *P. gymnonotus* (WAGNER, 1843); *Chilonycteris*, incluindo *P. macleayi* (GRAY, 1839), *P. quadridens* (GUNDLACH, 1840), *P. personatus* (WAGNER, 1843) e *P. psilotis* (SMITH, 1972); e *Phyllodia*, incluindo *P. parnellii* (GRAY, 1843), *P. pusillus* (ALLEN, 1917), *P. portoricensis* (MILLER, 1902), *P. mexicanus* (MILLER, 1902), *P. mesoamericanus* (SMITH, 1972), *P. fuscus* (ALLEN, 1911) e *P. rubiginosus* (WAGNER, 1843) e *P. alitonus* (PAVAN *et al.*, 2018). No Brasil ocorrem as espécies: *P. rubiginosus*, *P. personatus*, *P. gymnonotus* e *P. alitonus* (Figura 7A e 7B).

Figura 7 – Indivíduos do gênero *Pteronotus*.



Fonte: A) *Pteronotus gymnonotus*. Foto de Roberto L. M. Novaes, retirada de Programa de Pesquisa em Biodiversidade – PPBio. Disponível em: https://ppbio.inpa.gov.br/en/Bat_Library/Species/Pteronotus_gymnonotus; B) *P. personatus*. Foto de M. Dewynter, retirada de Inventaire National du Patrimoine Naturel. Disponível em: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/443668?lg=en. C) Colônia formada por indivíduos de *Pteronotus*. Foto de Roberto L. M. Novaes, retirada de Morcegos do Brasil: Bats from Brazil. Disponível em: <http://morcegosdobrasil.blogspot.com/2010/12/pteronotus-gymnonotus.html>.

As espécies do gênero *Pteronotus* são gregárias, utilizando exclusivamente as cavidades naturais subterrâneas como abrigos diurnos e formando colônias mistas que podem exceder os milhares de indivíduos (SILVA-TABOADA, 1979; DE LA TORRE; MEDELLIN, 2010; ROCHA *et al.*, 2011) (Figura 7C). Essas aglomerações observadas nessas espécies podem ser consequência de sua susceptibilidade à temperatura, auxiliando os indivíduos na termorregulação (DE LA TORRE; MEDELLIN, 2010).

A dieta de todo o gênero é insetívora e, apesar de consumir uma elevada proporção de coleópteros (ROLFE; KURTA, 2012), apresenta uma alta diversidade de outros artrópodes, como lepidópteros, dípteros, ortópteros, himenópteros e homópteros (MANCINA, 2005; ROLFE; KURTA, 2012). As espécies desse gênero também variam em tamanho, desde *P. quadridens* (tamanho do antebraço = 35-40 mm) até *P. parnellii* (tamanho do antebraço = 48-66 mm) (SIMMONS; CONWAY, 2001).

Considerando que as *bat caves* conhecidas para o Brasil são formadas basicamente por morcegos do gênero *Pteronotus*, estudar essas espécies é fundamental para entender melhor as próprias *bat caves*.

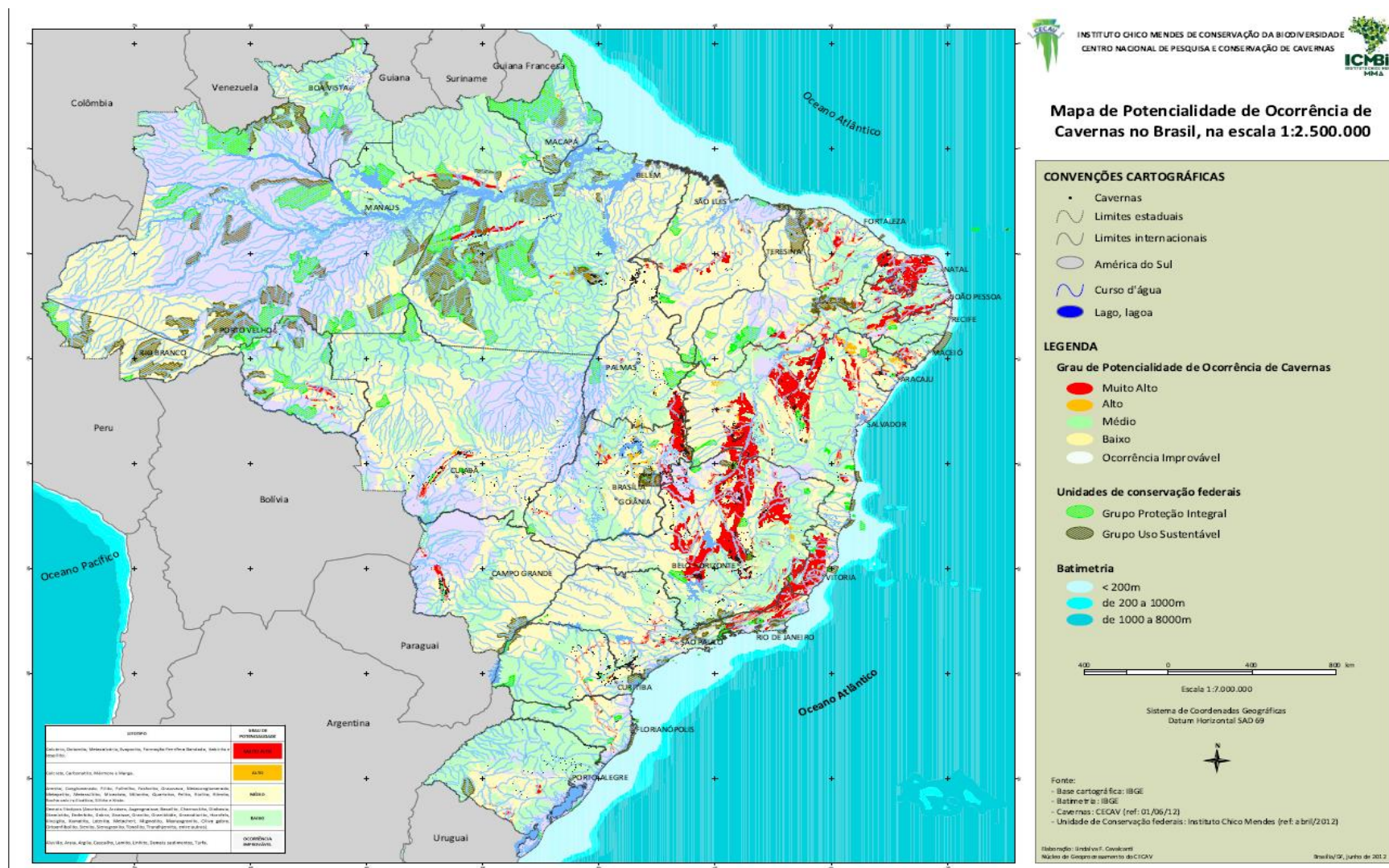
2.5 POTENCIAL ESPELEOLÓGICO DO BRASIL

Apresentando uma extensão continental, o Brasil possui condições bastante favoráveis à ocorrência de cavidades naturais subterrâneas em seu território, bem como a existência dessas cavidades em variados tipos de litologias (AULER; PILÓ, 2010). A cada ano, com o avanço dos estudos em áreas cársticas, tem aumentado significativamente o número de cavernas conhecidas no Brasil. Segundo a Base de Dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), o Brasil conta, atualmente, com 21.242 registros de cavidades naturais subterrâneas (CECAV, 2020). No entanto, as diversas regiões com lacunas de informações sugerem que o potencial nacional se situe num panorama muito superior a esse, estimando que as regiões cársticas abriguem cerca de 310.000 cavernas (PILÓ; AULER, 2011).

Além de subestimado, o conhecimento sobre as cavernas brasileiras é espacialmente heterogêneo: Minas Gerais, Pará e Bahia concentram o maior número de registros. Até 2018, os estados anteriormente citados eram acompanhados dos estados de São Paulo e Goiás, perdendo espaço neste ano (2020) para o Rio Grande do Norte, que hoje ocupa a quarta posição em número de cavernas em seu território (CECAV, 2020). Ademais, na região Nordeste, o conhecimento para alguns estados é extremamente escasso. Na base de dados do CECV, para Paraíba e Alagoas, por exemplo, são citadas 19 e 12 cavernas, respectivamente, indicando que

esses estados se encontram claramente subamostrados. Paradoxalmente, esse baixo número de registros contrasta com o alto potencial espeleológico do semiárido. O mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas para o Brasil (Figura 8), produzido pelo CECAV, traz cinco classes de grau de potencialidade: 1) Muito Alta; 2) Alta; 3) Média; 4) Baixa; e 5) Ocorrência Improvável. Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará contêm porções com o mais alto potencial espeleológico, indicando uma clara necessidade de maiores estudos sobre a real riqueza de cavernas nesses estados (CECAV, 2012).

Figura 8 – Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil.



Fonte: Elaborado por Lindalva F. Cavalcanti – Núcleo de geoprocessamento (CECAV, 2012).

O estado da Bahia se destaca quando o assunto são as maiores cavernas conhecidas no Brasil, com quatro cavernas entre as cinco maiores, no *ranking* das 50 maiores cavernas registradas: 1^a – Toca da Boa Vista, em Campo Formoso, com 114.000 m; 2^a – Toca da Barriguda, também em Campo Formoso, com 35.000 m; 4^a – Lapa Doce II, em Iraquara, com 16.500 m; e 5^a – Gruta do Padre, em Santana/Santa Maria da Vitória, com 16.400 m (AULER; RUBBIOLI, 2019).

Dentre os recordes de profundidade, o estado de Minas Gerais se destaca com as mais profundas cavernas, ocupando as três primeiras posições das 12 listadas no *ranking* para o Brasil, sendo: 1^a – Gruta do Centenário, em Mariana, com desnível de 484 m; 2^a – Gruta da Bocaina, em Mariana/Catas Altas, com desnível de 404 m; e a 3^a – Gruta Alaouf, também em Mariana, com desnível de 294 m (RUBBIOLI, 2019).

Levando-se em consideração as áreas com alto potencial apontados para o Brasil no mapa elaborado pelo CECAV e a estimativa apresentada por Piló e Auler (2011), o potencial espeleológico do Brasil é, ainda, enorme. Estima-se que menos de 5% das cavernas existentes tenham sido identificadas (PILÓ; AULER, 2019). Em comparação, nos países mais desenvolvidos na identificação e exploração de cavernas, como Itália e França, com áreas equivalentes ao Estado de Minas Gerais, cerca de 40 mil cavernas são conhecidas. O baixo investimento em pesquisa, o pequeno número de espeleólogos, as dificuldades de acesso, dentre outros motivos, justificam o reduzido conhecimento que ainda se tem do nosso potencial espeleológico (PILÓ; AULER, 2019), entretanto, há uma grande necessidade de preenchimento das lacunas de informações acerca do patrimônio espeleológico brasileiro.

2.6 CONSERVAÇÃO DE AMBIENTES CAVERNÍCOLAS

Devido ao forte desenvolvimento econômico, alguns ecossistemas brasileiros encontram-se em delicada situação de conservação, o que reflete diretamente em sua biota associada (MITTERMEIER *et al.*, 2005), sendo que a fragmentação e a perda de habitats são consideradas um dos principais fatores dessa degradação (WU, 2013; WILSON *et al.*, 2016). Atividades antrópicas como agricultura e mineração também contribuem para a alteração da paisagem (TEWS *et al.*, 2004; DORRESTEJIN *et al.*, 2015; DUARTE *et al.*, 2015). A perda de habitat tem sido o principal critério para a inclusão de espécies de morcegos na Lista Brasileira de Fauna Ameaçada, uma vez que pode resultar em declínio populacional e diminuição da distribuição das espécies (BERNARD *et al.*, 2012).

Cavernas são considerados ambientes ameaçados mundialmente (MAMMOLA, 2019). As ameaças que recaem sobre esses ambientes incluem desmatamento da área do entorno (TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015), urbanização, atividades agrícolas, industriais e mineração (TRAJANO, 2000; REBOLEIRA *et al.*, 2011; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015; SUGAI *et al.*, 2015), contaminação dos aquíferos subterrâneos por metais pesados e poluição por agroquímicos (REBOLEIRA *et al.*, 2013; DI LORENZO *et al.*, 2015, 2018), turismo (MOLDOVAN *et al.*, 2003) e mudanças climáticas (MAMMOLA *et al.*, 2018). De fato, a proteção de ambientes cavernícolas é identificada como prioritária em algumas situações. No Brasil, Bernard *et al.* (2012) elencaram 17 tópicos que podem influenciar na conservação de morcegos no Brasil. Destes, o mais preocupante foi a redução na proteção das cavidades naturais subterrâneas, devido às alterações na legislação brasileira sobre proteção ao patrimônio espeleológico, tornando-se uma forte ameaça aos morcegos, já que cavernas são um dos principais abrigos utilizados por esse grupo (KUNZ, 1982), tornando espécies associadas a cavernas mais susceptíveis a impactos decorrentes da destruição de seus abrigos (BERNARD *et al.*, 2012).

No Brasil, sob o ponto de vista de conservação da fauna cavernícola, o Decreto nº 6.640/2008 reduziu a proteção das cavernas, uma vez que, após a sua publicação, apenas as cavernas consideradas de “máxima relevância” passaram a contar com a prerrogativa de proteção integral, enquanto as cavidades de “alto, médio e baixo grau de relevância” ficaram passíveis de impactos negativos irreversíveis, mediante análise de licenciamento ambiental (BRASIL, 2009; 2017). Essas alterações têm elevado potencial de impacto sobre a fauna cavernícola – em especial morcegos – e, não por acaso, a proteção de cavernas é apontada como prioridade máxima para a conservação de morcegos no Brasil (BERNARD *et al.*, 2012). Subpopulações de espécies de morcegos dependentes de cavernas podem ser localmente extintas pela destruição de seus abrigos (AGUIAR *et al.*, 2006) e, conseqüentemente, podem levar consigo várias outras espécies troglófilas e troglóbias. A revisão da IN 02/2017 apresentada por Barros *et al.* (2020) com foco em morcegos demonstra que é fundamental e urgente discutir e rever diversos pontos apresentados na Instrução Normativa vigente. Assim, sob o ponto de vista biológico, conservar morcegos e as condições mínimas de seus abrigos deve ser encarado como prioridade quando da intenção da conservação da fauna cavernícola do Brasil como um todo.

2.7 LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA BRASILEIRA: ALTERAÇÕES E IMPLICAÇÕES

No Brasil, na década de 1980, uma atenção maior foi dada ao meio ambiente em relação à utilização, preservação e conservação dos recursos naturais de forma mais sustentável (TIMO, 2017). Dessa forma, normas regulamentadoras na forma de leis, portarias, decretos e instruções normativas (IN) foram estabelecidas desde então, para assegurar a preservação desses recursos, dentre eles, as cavidades naturais subterrâneas (e.g., BRASIL, 2009; 2017).

O arcabouço legal para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro traz avanços e modificações na legislação em âmbito federal (TIMO, 2017; SBE, 2019) que, resumidamente, pode assim ser apresentada em ordem cronológica:

- I. Lei nº 6.938/1981: estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, sendo consolidada pela Constituição Federal, em 1988. Esta lei estabelecia que qualquer utilização de recursos naturais deveria ser precedida de um licenciamento ambiental como forma de garantir o controle sobre o patrimônio natural do País.
- II. Resolução CONAMA nº 9/1986: criou a Comissão Especial para assuntos relacionados ao patrimônio espeleológico, com a participação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) que liderou essa comissão.
- III. Resolução CONAMA nº 5/1987: estabeleceu o Programa Nacional de Proteção do Patrimônio Espeleológico.
- IV. Constituição Federal de 1988: estabeleceu em seu artigo 20 o que seria os bens da união e destacou o uso das cavidades naturais subterrâneas, junto com os sítios arqueológicos e pré-históricos.
- V. Lei nº 7.735/1989: criou o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que viria a ser o órgão executor da PNMA, cuja função seria preservar, conservar, fiscalizar, controlar o uso e fomentar os estudos espeleológicos.
- VI. Portaria nº 887/1990: em junho, o IBAMA publicou essa portaria para garantir a integridade do Patrimônio Espeleológico Brasileiro, estabelecendo uma área de proteção mínima de 250 metros no entorno das cavidades subterrâneas, até que fossem estabelecidas novas métricas que comprovassem a área real de influência desses ambientes, obedecendo às particularidades e características de cada caso.
- VII. Decreto Federal nº 99.556/1990: em novembro, esse decreto definiu o conceito de cavidade natural subterrânea:

Todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem,

desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante. (BRASIL, 2008).

Sendo assim, passaram a ter a sua instalação e funcionamento condicionados ao licenciamento ambiental pelo órgão ambiental competente todos os empreendimentos de qualquer natureza previstos em áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas ou de potencial espeleológico.

- VIII. Resolução CONAMA nº 347/2004: instituída pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), essa resolução objetivou aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, considerando a necessidade de licenciamento ambiental das atividades que afetassem ou pudessem afetar o Patrimônio Espeleológico ou a sua área de influência. Nessa resolução, foi citada pela primeira vez a necessidade de um Plano de Manejo Espeleológico para uso turístico, religioso ou cultural e a questão da compensação espeleológica. Ao IBAMA, foi dada a incumbência de autorizar as licenças de coleta e capturas de animais e produtos minerais, em contexto geral.
- IX. TR CECAV/2006: estabeleceu pela primeira vez o limite dimensional de 5 metros (anteriormente considerado de 20 metros – pelo TR FEAM MG/2005, em escala estadual), para os estudos no contexto do licenciamento ambiental das cavidades naturais subterrâneas.
- X. Decreto Federal nº 6.640/2008: esse decreto alterou os artigos 1º ao 5º e acrescentou os artigos 5-A e 5-B ao Decreto Federal nº 99.556/1990. Essa alteração permitiu classificar as cavidades naturais subterrâneas de acordo com seu grau de relevância (máximo, alto, médio ou baixo), estabelecidos a partir de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos;
- Instrução Normativa (IN) MMA nº 2/2009: regulamentou e definiu metodologias para o DF 6.640/2008. Previu que a localização, instalação, modificação e operação de empreendimentos com potencial de degradação de cavidades naturais subterrâneas, dependeriam de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente, que estabeleceria a respectiva compensação ambiental de acordo com o seu grau de relevância, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente. Cavidades com grau de relevância máximo e sua área de influência não poderiam ser objeto de impactos negativos irreversíveis. Já as cavidades classificadas com grau de relevância

alto, médio ou baixo poderiam ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.

- XI. Portaria MMA nº 358/2009: revitalizou o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico.
- XII. Portaria MMA nº 32/2012: criou o Comitê Técnico Consultivo referente às questões relacionadas à proteção do patrimônio espeleológico;
 - IN ICMBio 30/2012; IN ICMBio 01/2017; IN MMA 02/2017 e IN ICMBio 04/2017: essas INs revisam e definem melhor às anteriores, quanto às metodologias para a classificação das cavidades em relação ao seu grau de relevância.

Sob o ponto de vista da conservação, diversas alterações que ocorreram na legislação brasileira reduziram a proteção aos ambientes subterrâneos, deixando-os cada vez mais expostos e passíveis de danos irreversíveis (CECAV, 2018; SBE 2020; SBEQ, 2020). Mais recentemente, o Ministério de Minas e Energia propôs reduzir ainda mais a proteção das cavernas, mediante revisão da Resolução CONAMA nº 347/2004 e modificações de diversos artigos no Decreto Federal nº 6.640/2008 (e.g., MME, 2020; BRANDÃO, 2020; EFE, 2020). Na prática, a alteração proposta pelo Ministério de Minas e Energia permitirá que, mesmo uma caverna sendo de máxima relevância, poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis para exploração comercial, desde que o empreendedor apresente outra caverna com o mesmo grau de relevância e atributos similares, que será preservada como cavidade testemunho. Entretanto, a ideia de equivalência é extremamente controversa, pois o próprio conceito de similaridade não é unânime dentro da comunidade científica e encontrar cavernas completamente iguais seria impossível. Além disso, é também proposto revogar a responsabilidade do ICMBio em reclassificar as cavernas quanto a sua relevância, que passaria a ser de responsabilidade de qualquer órgão licenciador, ou até mesmo dos empreendedores (SBE, 2019).

A Instrução Normativa MMA nº 2/2017, ainda em vigor, versa sobre os critérios para caracterizar uma cavidade natural subterrânea como de relevância máxima, e seu artigo 7º aponta que serão consideradas desse tipo aquelas cavernas que, entre outros atributos, contiverem: caráter único de formação ou morfologia; dimensões notáveis em extensão, área ou volume; ser abrigo essencial para espécies em risco de extinção ou habitat para espécies especializadas em cavernas (troglóbios) endêmicas ou raras; possuir interações ecológicas únicas ou espeleotemas (formações rochosas que ocorrem tipicamente no interior de cavernas) únicos; presença de população excepcional em tamanho; alta riqueza de espécies (BARROS *et*

al., 2020). A mesma IN nº 2/2017 aponta ainda que serão consideradas de acentuada importância local aquelas cavernas que contiverem população residente de quirópteros (MMA, 2017). *Bat caves* se encaixam dentro desses atributos.

Diante disso, e das pressões e ameaças constantes à conservação das cavernas brasileiras, é fundamental fomentar estudos que busquem ampliar o conhecimento sobre esses ambientes, para a designação legal de proteção destes locais e de suas populações animais.

2.8 REFERÊNCIAS

- ABREU, E. F.; CASALI, D. M.; GARBINO, G. S. T.; LORETTO, D.; LOSS, A. C.; MARMONTEL, M.; NASCIMENTO, M. C.; OLIVEIRA, M. L.; PAVAN, S. E.; TIRELLI, F. P. 2020. **Lista de Mamíferos do Brasil. Comitê de Taxonomia da Sociedade Brasileira de Mastozoologia** (CT-SBMz). Disponível em: <<https://www.sbmz.org/mamiferos-do-brasil/>>. Acessado em: 25 nov. 2020.
- AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; DITCHFIELD, A. D. Plano de Ação para a conservação do morceguinho do cerrado *Lonchophylla dekeyseri*. **Relatório para o Ministério do Meio Ambiente**. PROBIOMA/IMMA, Brasil, 2006.
- ALLEN, J. A. Mammals from Venezuela collected by Mr. M. A. Carriker, Jr., 1909 - 1911. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 30, n., p. 239-273, 1911.
- ALTRINGHAM, J. D. **Bats: biology and behaviour**. Oxford University Press, 1996.
- ARENDT, A.; BONACCORSO, F. J.; GENOUD, M. Basal rates of metabolism of nectarivorous bats (Phyllostomidae) from a semiarid thorn forest in Venezuela. **Journal of Mammalogy**, v. 76, n., p. 947-956, 1995.
- ARITA, H. T. Conservation biology of the cave bats of Mexico. **Journal of Mammalogy**, v. 74, n., p. 693-702, 1993.
- _____. The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. **Biological Conservation**, v. 76, n., p. 177-185, 1996.
- ARRIZABALAGA-ESCUADERO, A.; CLARE, E. L.; SALSAMENDI, E.; ALBERDI, A.; GARIN, I.; AIHARTZA, J.; GOITI, U. Assessing niche partitioning of co-occurring sibling bat species by DNA metabarcoding. **Molecular Ecology**, v. 27, n. 5, p. 1273-1283, 2018.
- AULER, A. S. Karst areas in Brazil and the potential for major caves - an overview. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología**, Caracas, v. 35, p. 1-18, 2013.
- AULER A. S.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**, v. 17, n. 3, p. 70-72, 2005.
- _____. Introdução à espeleologia. In: **I Curso de espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2010.
- _____. Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica. 2019. In: CRUZ, J. B; PILÓ, L. B (Orgs.). **Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. 265 p., 2019.
- AULER, A. S.; RUBBIOLI, E. As maiores cavernas do Brasil, p. 60-87. In: RUBIOLLI, E.; AULER, A. S.; MENIN, D.; BRANDI, R. (Eds.). **Cavernas: atlas do Brasil subterrâneo**. Brasília, ICMBio, 340p., 2019.

AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte, p. 228, 2001.

BAROJA, U.; GARIN, I.; AIHARTZA, J.; ARRIZABALAGA-ESCUADERO, A.; VALLEJO, N.; ALDASORO, M.; GOITI, U. Pest consumption in a vineyard system by the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*). **PLoS One**. v. 14, n., p. 1-13, 2019.

BARR, T. C. Cave ecology and evolution of troglobites. **Evolutionary Biology**, v. 2, n., p. 35-102, 1968.

BARROS, J. S.; GOMES, A. M.; GUIMARÃES, M. M.; DIAS-SILVA, L.; ROCHA, P. A.; TAVARES, V. C.; BERNARD, E. Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**, v. 89, n., p. 1-9, 2020.

BERNARD, E.; AGUIAR, L. M. S.; BRITO, D.; CRUZ-NETO, A. P.; GREGORIN, R.; MACHADO, R. B.; OPREA, M.; PAGLIA, A. P.; TAVARES, V. C. Uma análise de horizontes sobre a conservação de morcegos no Brasil. Pp. 19-35. In: FREITAS, T. R. O.; VIERA, E. M. (Eds.). **Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação**. Sociedade Brasileira de Mastozoologia, Rio de Janeiro, 2012.

BERNARD, E.; PIMENTEL, N. T.; OTÁLORA-ARDILA, A.; HINTZE, F. **Relatório Técnico Geral: Projeto Bat Caves do Nordeste**. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste. Recife, Pernambuco, 2018.

BOHMANN, K.; MONADJEM, A.; NOER, C. L.; RASMUSSEN, M.; ZEALE, M. R. K.; CLARE, E.; JONES, G.; WILLERSLEV, E.; GILBERT, M. T. P. Molecular diet analysis of two African free-tailed bats (Molossidae) using high throughput sequencing. **PloS one**, v. 6, n. 6, p. 21441, 2011.

BOYLES, J. G.; CRYAN, P. M.; MCCracken, G. F.; KUNZ, T. H. Economic importance of bats in agriculture. **Science**, v. 332, n., p. 41-42, 2011.

BRANDÃO, M. **Governo pretende lançar Plano Nacional de Mineração até agosto**. Agência Brasil, Brasília, Distrito Federal, de 10 de setembro de 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-07/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BRASIL. **Decreto de nº 6.640/08, de 7 de novembro de 2008**. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Brasília: Diário Oficial da União, 8 nov. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa Nº 2 de 30 de agosto de 2017**. Define a metodologia para classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2017.

_____. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 02 de 20 de agosto de 2009**. Institui a metodologia de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas. Brasília: Diário Oficial da União, 9 out. 2017. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MMA_criterios_210809.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

_____. MME -Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, Distrito Federal, 2020. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/destaques-do-setor-de-energia/plano-nacional-de-mineracao-2030>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BREDT, A.; UIEDA, W.; PEDRO, W.A. **Plantas e Morcegos** – na recuperação de áreas degradadas e na paisagem urbana. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília – Distrito Federal, 2012.

CAMACHO, A. I. (Ed.). **The natural history of biospeleology**. Madrid: SCIC, 680 p. Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales, 1992.

CARTELLE, C.; HARTWIG, W. C. A new extinct primate among the Pleistocene megafauna of Bahia, Brazil. **Proceedings of the National Academy Sciences**, v. 93, n. 13, p. 6405-6409, 1996.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Potencialidade de ocorrência de cavernas. **ICMBio, sítio eletrônico, página inicial**. ICMBio, 2012. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html>. Acesso em: 26 out. 2020.

_____. **Áreas prioritárias para a conservação do patrimônio espeleológico**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. ICMBio, Brasília, Distrito Federal, 2018.

_____. Inventário anual do patrimônio espeleológico brasileiro. **ICMBio, sítio eletrônico, página inicial**. ICMBio, 2020. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/inventario-anual-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro.html>>. Acesso em: 26 out. 2020.

CLEMENTS, R.; SODHI, N. S.; SCHILTHUIZEN, M.; NG, P. K. L. Limestone Karsts of Southeast Asia: imperiled arks of biodiversity. **Bioscience**, v. 56, n.; p. 733-742, 2006.

CULVER D.C. Cave Life: Evolution and Ecology. In: DE LA TORRE, J. A.; MEDELLÍN, R.A. 2010. *Pteronotus personatus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, v. 42, p. 244-250, 1982.

CZAPLEWSKI, N. J.; CARTELLE, C. Pleistocene bats from cave deposits in Bahia, Brazil. **Journal of Mammalogy**, v. 79, n. 3, p. 784-803, 1998.

DALQUEST, W.W.; HAL, E. R. Five bats new to the known fauna of Mexico. **Journal of Mammalogy**, v. 30, n., p. 424-427, 1949.

DANTAS, M.A.T.; DONATO, C.R. Registro de *Lontra longicaudis* (Olfers, 1818) na caverna da Pedra Branca, Maruim, Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, p. 1-4, 2011.

DANTAS, M. A. T.; DONATO, C. R.; ALMEIDA, E. A. B.; BARRETO, E. A. S. Inventário Espeleológico de Sergipe: As cavernas de Laranjeiras *In*: XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais ...** Montes Claros, Minas Gerais, p. 43-50, 2009.

DANTAS, M. A. T.; DREFAHL, M.; LUCK, G. Fossil occurrences of Subfamilies Scelidotheriinae Ameghino, 1904 and Toxodontinae Trouessart, 1898 in “Bom Pastor” cave, northeastern Bahia state, Brazil. *In*: CALVO, J. O. et al. (Eds.), 2008. **Actas de Resúmenes III Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados**. Talleres Gráficos, Neuquén, Argentina, p. 73, 2008.

DANTAS, M. A. T.; ZUCON, M. H.; RIBEIRO, A.M. Megafauna pleistocênica de Garau, Sergipe, Brasil. **Revista de Geociências**, UNESP, v. 24, n. 3, p. 277-287, 2005.

DE LA CRUZ, J. Bioecología de las grutas de calor. **Mundos Subterráneos**, v. 3, n., p. 7-22, 1992.

DE LA TORRE, J. A.; MEDELLÍN, R. A. *Pteronotus personatus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, v. 42, n. 1, p. 244–250, 2010.

DECU, V. **Some considerations on the bat guano synusia**. Travaux de l’Institute de Spéologie “Emile Racovitza”, v. 25, n., p. 41-51, 1986.

DI LORENZO, T.; DI MARZIO, W. D.; SPIGOLI, D.; BARATTI, M.; MESSANA, G.; CANNICCI, S.; GALASSI, D. M. P. Metabolic rates of a hypogean and an epigean species of copepod in an alluvial aquifer. **Freshwater Biology**, v. 60, n., p. 426–435, 2015.

DONATO, C. R.; DANTAS, M. A. T.; BARRETO, E. A. DE S. Ocorrência de morcegos fósseis (*Myotis* sp.) na caverna do Bom Pastor, Paripiranga, Bahia, Brasil. *In*: Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, 6, 2008. **Boletim de Resumos**. Ribeirão Preto, USP, p. 85-86, 2008.

DONATO, C. R.; SILVA, E. J.; BARRETO, E. A. S.; ALMEIDA, E. A. B.; DANTAS, M. T. Análise preliminar da classificação ecológica dos representantes faunísticos da caverna de Pedra Branca, Laranjeiras, Sergipe. *In*: Congresso Internacional Sobre Manejo da Fauna Silvestre na Amazônia e América Latina. **Boletim de Resumos** – 2006. Ilhéus, Bahia, 2006.

DUARTE, M. H. L.; SOUSA-LIMA, R. S.; YOUNG, R. J.; FARINA, A.; VASCONCELOS, M.; RODRIGUES, M.; PIERETTI, N. The impact of noise from open-cast mining on Atlanticforest biophony. **Biological Conservation**. v. 191, n., p. 623–631, 2015.

EFE – Agência EFE. **Plano para mineração pode afetar Amazônia e economia brasileira, diz estudo**. Washington, EUA, de 18 setembro de 2020. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/efe/2020/09/18/plano-para-mineracao-pode-afetar-amazonia-e-economia-brasileira-diz-estudo.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

FEIJO, A.; ROCHA, P. A. Morcegos da Estação Ecológica Aiuaba, Ceará, nordeste do Brasil: Uma unidade de proteção integral na Caatinga. **Mastozoología Neotropical**, v. 24, n., p. 333–346, 2017.

FENTON, M. B.; ACHARYA, L.; AUDET, D.; HICKEY, M. B. C.; MERRIMAN, C.; OBRIST, M. K.; SYME, D. M.; ADKINS, B. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. **Biotropica**, v. 24, n. 3, p. 440-446, 1992.

FENTON, M. B.; SIMMONS, N. B. **Bats: a world of science and mystery**. University of Chicago Press, 2015.

FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, D. M.; DONATO, C. R.; ALMEIDA, A. B.; SILVA, E. J.; BARROS NETO, H. M. C.; SOUZA, S. S.; SANTANA, M. E. V.; DANTAS, M. A. T. Levantamento da herpetofauna da gruta Raposinha, Laranjeiras, Sergipe - dados preliminares In: XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2009b, Montes Claros, MG. **Anais ...**, p. 63-68, 2009.

FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2004.

_____. Análise de impactos ambientais em terrenos cársticos e cavernas. In: II Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Brasília: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 2010, v., p. 123-148. Disponível em: <http://www4.icmbio.gov.br/cecav//modulos/downloads/Curso_Espeleologia_Licenciamento_Ambiental.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

_____. Biologia subterrânea: conceitos gerais e aplicação na interpretação e análise de estudos de impacto ambiental, p. 129-167, 2019. In: PILÓ, L. B.; CRUZ, J. B. (Orgs.). **Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Instituto Chico Mendes de Conservação Da Biodiversidade, Brasília, 265 p., 2019a.

_____. Guano communities. In: WHITE, W. B., CULVER, D. C., PIPAN, T. (Eds.). **Encyclopedia of caves**, 3rd edn. Academic Press, Cambridge, p. 474-484, 2019b.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R.P. Guano de morcegos: fonte de vida em cavernas. **Ciência Hoje**, v. 25, n. 146, p. 34-40, 1999a.

_____. Cavernas em risco de “extinção”. **Ciência Hoje**, v. 29, n. 173, p.20-28, 2001.

_____. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, v.12, n. 2, p. 231-259, 1999b.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R.P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a brazilian dry cave. **Ecotropica**, v. 6, n. 2, p. 105-115, 2000b.

FERREIRA, R. L.; NONAKA, E.; ROSA, C. R. Riqueza e abundância de fungos associados ao guano de morcegos hematófagos na Gruta da Lavoura (Matozinhos, MG). **O Carste**, v. 12, n. 1, p. 46-51, 2000a.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; MARTINS, R. P. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. **Tropical Zoology**, v. 20, n. 1, p. 55-74, 2007.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrology and Geomorphology**. Wiley, England, n., p. 562. 2007.

FREEMAN, P. W. Correspondence of food habits and morphology in insectivorous bats. **Journal of Mammalogy**, v. 62, n. 1, p. 166-173, 1981.

FUREY, N. M.; RACEY, P. A. Conservation Ecology of Cave Bats. *In*: VOIGT, C. C.; KINGSTON, T. (Eds.) **Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World**. Chapter. 15, p. 463-500, 2015.

GAMS, I. Origin of the term “Karst”, and the transformation of the Classical Karst (kras). **Environmental Geology**, v. 21, n., p. 110-114, 1993.

GARBINO, G. S. T.; GREGORIN, R.; LIMA, I. P.; LOUREIRO, L.; MORAS, L. M.; MORATELLI, R.; NOGUEIRA, M. R.; PAVAN A. C.; TAVARES, V. C.; PERACCHI, A.L. **Updated checklist of Brazilian bats: versão 2020**. Comitê da Lista de Morcegos do Brasil (CLMB), Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ), 2020. Disponível em: <<https://www.sbeq.net/lista-de-especies>>. Acesso em: 8 set. 2020.

GEE, J. H. R.; GILLER, P. S. **Organization for communities, past and present**. Blackwell Scientific Publications, 1987.

GEISELMAN, C. K.; DEFEX, T. I. **Bat Eco-Interactions Database**. 2015. Disponível em: <<http://www.batplant.org>>. Acesso em: 13 set. 2020.

GHANEM, S.J.; VOIGT, C.C. Increasing awareness of ecosystem services provided by bats. **Advances in the Study of Behavior**, v. 44, p. 279-302, 2012.

GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater Ecology**. Academic Press Limited, San Diego, California, 1994.

GINES, A.; GINES, J. Karst phenomena and biospeleological environments. *In*: Museo Nacional de Ciencias Naturales. **The natural history of biospeleology**. Madrid, Spain, p. 31-55, 1992.

GNASPINI-NETTO, P. **Fauna associated with bat guano deposits from Brazilian caves (a comparison)**. Proceedings of the 10th Intern. Congress of Speleology of Budapest, p. 52-54, 1989.

_____. Bat guano ecosystems: a new classification and some considerations with special references to Neotropical data. **Memoirs de Biospéologie**, v. 19, n., p.135-138, 1992.

GOODMAN, S. M.; ANDRIAFIDISON, D.; ANDRIANAIVOARIVELO, R.; CARDIFF, S. G.; IFTICENE, E.; JENKINS, R. K. B.; KOFOKY, A.; MBOHOAHY, T.; RAKOTONDRAVONY, D.; RANIVO, J.; RATRIMOMANARIVO, F.; RAZAFIMANAHAKA, J.; RACEY, P. The distribution and conservation of bats in the dry regions of Madagascar. **Animal Conservation**, v. 8, n., p. 153-165, 2005.

GRAY, J. E. A revision of the genera of bats (Vespertilionidae), and the description of some new genera and species. **Magazine of Zoology and Botany**, v. 2, n., p. 483-505, 1838.

_____. Description of some Mammalia discovered in Cuba by W. S. MacLeay. **Esq. Annual Natural History**, v. 4, n., p. 1-7, 1839.

_____. Letter addressed to the Curator. **Proceedings of the Zoological Society of London**, p. 50, 1843.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para a Conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 4, p. 1-33, 2014.

GUNDLACH, J. Beschreibung von vier auf Cuba gefangnen Fledermauden. **Archiv für Naturgeschichte**, v. 6, n., p. 356-358, 1840.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. A. F. O Carste: produto de uma evolução ou processo? Evolução de um conceito. **Revista de Geografia**, v. 3, n., p. 100-111, 2010.

HASTINGS, A.; BYERS, J. E.; CROOKS, J. A.; CUDDINGTON, K.; JONES, C. G.; LAMBRINOS, J. G.; TALLEY, T. S.; WILSON, W. G. Ecosystem engineering in space and time. **Ecology Letters**, v. 10, n., p. 153-164, 2007.

HOLSINGER, R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology. **Brimleyana**, v. 14, n., p. 1-162, 1988.

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

HRISTOV, N. I.; BETKE, M.; THERIAULT, D. E. H.; BAGCHI, A.; KUNZ, T. H. Seasonal variation in colony size of Brazilian free-tailed bats at Carlsbad Cavern based on thermal imaging. **Journal of Mammalogy**, v. 91, n., p. 183-192, 2010.

JUBERTHIE, C. The diversity of karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKINS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). **Ecosystems of the world-subterranean biota**, Elsevier, Amsterdam., p. 17-29, 2000.

KASSO, M.; BALAKRISHNAN, M. Ecological and economic importance of bats (Order Chiroptera). Hindawi Publishing Corporation, **ISRN Biodiversity**, v. 2013, p. 1-9, 2013.

KEMP, J.; LÓPEZ-BAUCELLS, A.; ROCHA, R.; WANGENSTEEN, O. S.; ANDRIATAFIKA, Z.; NAIR, A.; CABEZA, M. Bats as potential suppressors of multiple agricultural pests: a case study from Madagascar. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 269, n., p. 88-96, 2019.

KOPPE, V. C. A importância do uso de métodos apropriados para amostragem de pequenos mamíferos em estudos bioespeleológicos. In: ZAMPAULO, R. A. (Org.). 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2019. Bonito. **Anais ...** Campinas: SBE, 2019a. p.798-809. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_798-809.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

_____. Mamíferos de médio e grande porte associados a caverna Santa Terezinha, Cocalinho - MT. In: PERCEQUILLO, A. R (Org.). X Congresso Brasileiro de Mastozoologia

e X Encontro Brasileiro para Estudo de Quirópteros, 2019b. Águas de Lindóia - SP. **Caderno de Resumo dos Anais do Congresso**. Disponível em: <<https://www.10cbmz.com.br/evento/10cbmz/trabalhosaprovados/naintegra/2389>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

KUNZ, T. H. **Ecology of bats**. New York, Plenum Press, 425p., 1982.

KUNZ, T. H.; BRAUN DE TORREZ, E.; BAUER, D.; LOBOVA, T.; FLEMING, T. H. Ecosystem services provided by bats. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1223, n. 1, p. 1-38, 2011.

KUNZ, T. H.; PIERSON, E. Bats of the World: na introduction. *In*: NOVAK, R. W. (Ed.). **Walker's bats of the World**. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, p.1-46, 1994.

LADLE, R. J.; FIRMINO, J.V. L.; MALHADO, A. C. M.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Unexplored diversity and conservation potencial of Neotropical Hot Caves. **Conservation Biology**, v. 26, n. 6, p. 978-982, 2012.

LINO, C. F. **Cavernas: o fascinate Brasil subterrâneo**. Gaia, São Paulo, 2001.

MAINE, J. J.; BOYLES, J. G. Bats initiate vital agroecological interactions in corn. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 40, p. 12438–12443, 2015.

MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after. Poulson and White. **Ecography**, v. 41, n., p. 1–21, 2019.

MAMMOLA, S.; GOODACRE, S. L.; ISAIA, M. Climate change may drive cave spiders to extinction. **Ecography**, v. 41, n. 1, p. 233–243, 2018.

MANCINA, C.A. *Pteronotus macleanii*. **Mammalian species**, v. 778, n., p. 1-3, 2005.

MANCINA, C. A.; ECHENIQUE-DIAZ, L. M.; TEJEDOR, A.; GARCIA, L.; DANIEL-ALVAREZ, A.; ORTEGA-HUERTA, M. A. Endemics under threat: na assessment of the conservation status of Cuban bats. *Hystrix-Italian*, **Journal of Mammalogy**, v. 18, n., p. 3-15, 2007.

MARTIN-SOLANO, S.; TOULKERIDIS, T.; ADDISON, A.; POZO-RIVERA, W. E. Predation of *Desmodus rotundus* Geoffroy, 1810 (Phyllostomidae, Chiroptera) by *Epicrates cenchria* (Linnaeus, 1758) (Boidae, Reptilia) in an Ecuadorian Cave. **Subterranean Biology**, v. 19, n., p. 41-50, 2016.

MASLO, B.; VALENTIN, R.; LEU, K.; KERWIN, K.; HAMILTON, G. C.; BEVAN, A.; FEFFERMAN, N. H.; FONSECA, D. M. *Chirosurveillance*: The use of native bats to detect invasive agricultural pests. **PloS one**, v. 12, n. 3, p. 1-10, 2017.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC, USA, 2005. Disponível em: <<http://www.unep.org/maweb/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

MICKLEBURGH, S.P.; HUTSON, A. M.; RACEY, P. A. A review of the global conservation status of bats. **Oryx**, v. 36, n.; p. 18-34, 2002.

MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T. **Hotspots Revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Chicago, The University of Chicago Press, 2005.

MOLDOVAN, O.; RACOVITĂ, G. H.; RAJKA, G. The impact of tourism in Romanian show caves: the example of the beetle populations in the Urșilor Cave of Chișcău (Transylvania, Romania). **Subterranean Biology**, v. 1, n., p. 73–78, 2003.

MONTEIRO, L. R.; NOGUEIRA, M. R. Evolutionary patterns and processes in the radiation of phyllostomid bats. **BMC Evolutionary Biology**, v. 11, n. 1, p. 137, 2011.

NOWAK, R. M. **Walker's Bats of the World**. Baltimore, London. The Johns Hopkins University Press, 1994.

OLIVEIRA, H. F. M.; OPREA, M.; DIAS, R. I. Distributional patterns and ecological determinants of bat occurrence inside caves: A broad scale meta-analysis. **Diversity**, v.10, n. 3, p. 49, 2018.

OTÁLORA-ARDILA, A.; TORRES, J. M.; BARBIER, E.; PIMENTEL, N. T.; LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Thermally-Assisted Monitoring of Bat Abundance in an Exceptional Cave in Brazil's Caatinga Drylands. **Acta Chiropterologica**, v. 21, n. 2, p. 411-423, 2019.

PARSONS, K. N.; JONES, G.; DAVIDSON-WATTS, I.; GREENAWAY, F. Swarming of bats at underground sites in Britain - implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 111, n., p. 63–70, 2003.

PATTON, J. L.; GARDNER, A. L. Family Mormoopidae. *In*: GARDNER, A. L. (Ed.). **Mammals of South America**. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, p. 376-384, 2007.

PAVAN, A. C. D. **Sistemática e história evolutiva do gênero de morcegos neotropical *Pteronotus* (Chiroptera: Mormoopidae)**. 2014. Tese (Doutorado em Biologia (Genética) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PAVAN, A. C.; BOBROWIEC, P. E. D.; PERCEQUILLO, A. R. Geographic variation in a South American clade of mormoopid bats, *Pteronotus* (*Phyllodia*), with description of a new species. **Journal of Mammalogy**, v. 99, n. 3, p.624–645, 2018.

PECK, S.; BALIU, A. R.; GONZALEZ, G. G. The caveinhabiting beetles of Cuba (Insecta: Coleoptera): diversity, distribution and ecology. **Journal of Caves and Karst Studies**, v. 60, n., p. 156-165, 1998.

PILÓ, L. B.; AULER, A. Introdução à Espeleologia. *In*: **III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2011.

_____. Introdução à Espeleologia: Potencialidades das cavernas no Brasil, p. 17-24, 2019. *In*: PILÓ, L. B.; CRUZ, J. B. (Orgs.). **Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Instituto Chico Mendes de Conservação Da Biodiversidade, Brasília, 265 p., 2019.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The Cave Environment, **Science**, v. 165, n., p. 971, 1969.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Delimitation of epigeal-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil. **Austral Ecology**, v. 29, n., p. 374-382, 2004.

RATCLIFFE, J. M.; TER HOFSTEDÉ, H. M. Roosts as information centres: social learning of food preferences in bats. **Biology Letters**, v. 1, p. 72-74, 2005.

REBOLEIRA, A. S.; BORGES, P. A.; GONÇALVES, F.; SERRANO, A. R.; OROMÍ, P. The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region-Portugal: an overview and its conservation. **International Journal of Speleology**, v. 40, n., p. 23-37, 2011.

REBOLEIRA, A. S. P. S.; ABRANTES, N. A.; OROMÍ, P.; GONÇALVES, F. Acute toxicity of copper sulfate and potassium dichromate on stygobiont *Proasellus*: general aspects of groundwater ecotoxicology and future perspectives. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 224, p. 1550, 2013.

RICCUCCI, M.; LANZA, B. Bats and insect pest control: a review. **Vespertilio**, v. 17, n., p. 161- 169, 2014.

RIVERA-MARCHAND, B.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Preliminary observations on the renal adaptations of bats roosting in hot caves in Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, v. 37, n., p. 272-274, 2001.

ROCHA, P. A.; FEIJÓ, J. A.; MIKALOUSKAS, J. S.; FERRARI, S. F. First records of mormoopid bats (Chiroptera, Mormoopidae) from the Brazilian Atlantic Forest. **Mammalia**, v. 75, n., p. 295-299, 2011.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Metabolic rates and thermal conductance in 4 species of Neotropical bats roosting in hot caves. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 110, n. 4, p. 347-355, 1995.

_____. Bat assemblages in the West Indies: the role of caves. Pp. 265-280. *In: Island bats: evolution, ecology and conservation* (FLEMING, T. H.; RA CEY, P. A. (Eds.). University of Chicago Press, Chicago, 560 pp, 2009.

_____. Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. **Journal of Mammalogy**, v. 79, n., p. 141-146, 1998.

RODRIGUEZ-DURÁN, A.; LEWIS, A. R. Patterns of population size, diet and activity time for a multispecies assemblage of bats at a cave in Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, v. 23, n., p. 352-360, 1987.

RODRIGUEZ-DURÁN, A.; SOTO-CENTENO, J. A. Temperature selection by tropical bats roosting in hot caves. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, n. 6, p. 465-468, 2003.

ROLFE, A. K.; KURTA, A. Diet of Mormoopid Bats on the Caribbean Island of Puerto Rico. **Acta Chiropterologica**, v. 14, n., p. 369-377, 2012.

RUBBIOLI, E. As mais profundas cavernas do Brasil, p. 265-273. *In*: RUBIOLLI, E.; AULER, A. S.; MENIN, D.; BRANDI, R. (Eds.). **Cavernas: atlas do Brasil subterrâneo**. Brasília, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 340p., 2019.

RUBIOLLI, E.; AULER, A. S.; MENIN, D.; BRANDI, R. **Cavernas: atlas do Brasil subterrâneo** (1ª Ed.). Brasília, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 340p., 2019.

SALINAS-RAMOS, V. B.; HERRERA, M. L. G.; LEÓN-REGAGNON, V.; ARRIZABALAGA-ESCUADERO, A.; CLARE, E. L. Dietary overlap and seasonality in three species of mormoopid bats from a tropical dry forest. **Molecular Ecology**, v. 24, n. 20, p. 5296-5307, 2015.

SANTANA, M. E. V.; SOUTO, L. S.; DANTAS, M. A. T. Diversidade de invertebrados cavernícolas da Toca da Raposa, Simão Dias, Sergipe: o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. **Scientia Plena**, v. 6, n. 12, p. 1-8, 2010.

SANTANA, S.; DUMONT, E. R. Do roost-excavating bats have stronger skulls? **Biological journal of the Linnean Society**, v. 102, n. 1, p. 1-10, 2010.

SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia. Legislação Sobre Cavernas do Brasil. **SBE, sítio eletrônico, página inicial**. SBE, 2019. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/legislacao>>. Acesso em: 29 set. 2020.

SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia. SBENotícias, de 5 de maio de 2020, p. 4-7. **Boletim eletrônico da sociedade Brasileira de Espeleologia**, sítio eletrônico, edição 407, 18 p., 2020. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/sbenoticias/SBENoticias_407.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SBEQ – Sociedade Brasileira para o Estudos de Quirópteros. Nota técnica 02/2020, de abril de 2020. Nota enviada ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio/MMA) sobre proposta de alteração pelo Ministério das Minas e Energia dos Decretos 99.556/1990 e 6.640/2008, que tratam da proteção de cavernas de máxima relevância. **SBEQ, sítio eletrônico, página notícias**. SBEQ, 2020.

SCHOEMAN, P.S. Key **Biotic Components of the Indigenous Tortricidae and Heteroptera Complexes Occurring on Macadamia in South Africa**. 2009. Ph.D. thesis, North West University, Potchefstroom, 165 p., 2009.

SILVA-TABOADA, G. Los murciélagos de Cuba. **Editorial Academia**, La Habana, Cuba, 1979.

SIMMONS, N. B. Chiroptera. Pp. 312-529. *In*: WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (Eds.). **Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference**. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2005.

SIMMONS, N. B.; CIRRANELLO, A. L. Bats Species of the World: A taxonomic and geographic database. New York, **American Museum of Natural History**, 2019. Disponível em: <www.batnames.org>. Acesso em: 9 set. 2020.

SIMMONS, N. B.; CONWAY, T.M. Phylogenetic relationships of mormoopid bats (Chiroptera: Mormoopidae) based on morphological data. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 258, n., p. 97, 2001.

SIMMONS, N. B.; WILSON, D.; REEDER, D. Order Chiroptera. *In*: WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (Eds.). **Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference**. Johns Hopkins University Press, Baltimore, p. 312-529, 2005.

SMITH, J. D. **Sistemática da família de quirópteros Mormoopidae**. Publicação diversa, Museu de História Natural, Universidade de Kansas, p. 56:1-132, 1972.

SMITH, N.; MORI, A. S.; HENDERSON, A. (Eds.). **Flowering plants of the Neotropics**. Princeton University Press, 2004.

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., p. 279–295, 2015.

SUGAI, L. S. M.; OCHOA-QUINTERO, J. M.; COSTA-PEREIRA, R.; ROQUE, F. O. Beyond above ground. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n., p. 2109–2112, 2015.

TAYLOR, P. J.; GRASS, I.; ALBERTS, A. J.; JOUBERT, E.; TSCHARNTKE, T. Economic value of bat predation services – a review and new estimates from macadamia orchards. **Ecosystem Services**, Elsevier, v. 30, p. 372-381, 2018.

TAYLOR, P. J.; MATAMBA, E.; STEYN, J. N. K.; NANGAMMBI, T.; ZEPEDA-MENDOZA, M. L.; BOHMANN, K. Diet determined by Next Generation Sequencing reveals pest consumption and opportunistic foraging by bats in macadamia orchards in South Africa. **Acta Chiropterologica**, v. 19, n., p. 239-254, 2017.

TEELING, E. C.; VERNES, S. C.; DAVALOS, L. M.; RAY, D. A.; GILBERT, T. P.; MYERS, E.; BAT1K CONSORTIUM. Bat biology, genomes, and the Bat1K Project: To generate Chromosome-Level genomes for all living bat species. **Annual review of animal biosciences**, v. 6, p. 23-46, 2018.

TEJEDOR, A.; TAVARES, V.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, D. Newrecords of hot-cave bats from Cuba and the Dominican Republic. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología**, v. 39, n., p. 10-15, 2005.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M.C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 1, p. 79-92, 2004.

THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. **Echolocation in Bats and Dolphins**. Chicago, The University of Chicago Press, 2004.

TIMO, M. B. Legislação Espeleológica Brasileira. **Instituto Minere - IM, sítio eletrônico, página inicial**. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/entenda-a-legislacao-espeleologica-brasileira>>. Acesso em: 29 set. 2020.

TOBLER, M. Divergence in trophic ecology characterizes colonization of extreme habitats. **Biological Journal**, Linnean Society, v.95, p. 517-528, 2008.

TRAJANO, E. Ecologia de populações de morcegos cavernícolas em uma região cárstica do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 2, n. 5, p. 255–320, 1985.

_____. Protecting cave for the bats or bats for the cave. **Chiroptera Neotropical**, v. 1, n. 2, p.19-22, 1995.

_____. Protecting caves for the bats or bats for the caves?. **Chiroptera Neotropical**, v. 1, n., p.1-21, 2012.

_____. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology, and conservation. **Biotropica**, v. 32, n., p. 882–893, 2000.

VANDEL, A. **Biospeleology**: the biology of cavernicolous animals. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 1965.

VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; BENTO, D. M.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R. A.; VENTICINQUE, E. M. Diversity of cave bats in the Brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte state. **Mastozoologia Neotropical**, v. 25, n., p. 199–212, 2018.

WAGNER, J. A. Diagnosen neuer Arten brasilischer Handflugler. **Archiv für Naturgeschichte**, v. 9, n., p. 365-368, 1843.

WANGER, T. C.; DARRAS, K.; BUMRUNGSRI, S.; TSCHARNTKE, T.; KLEIN, A. M. Bat pest control contributes to food security in Thailand. **Biological Conservation**. v. 171, p. 220–223, 2014.

WETTERER, A. L.; ROCKMAN, M. V.; SIMMONS, N. B. Phylogeny of phyllostomid bats (Mammalia: Chiroptera): data from diverse morphological systems, sex chromosomes, and restriction sites. **Bulletin of the American Museum of Natural history**, n. 248, p. 1-200, 2000.

WHITE, W. B.; CULVER, D. C. Definition of cave. *In*: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Eds.). *Encyclopedia of Caves Primarera* (1ª Ed.). **Elsevier**, Academic Press, California, p. 255-264, 2005.

_____. Definition of cave. *In*: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Eds.). *Encyclopedia of Caves Primarera* (2ª Ed.). **Elsevier**, Academic Press, California, 966 p., 2012.

WILLIAMS, P. **World Heritage Caves and Karst: A Thematic Study**: A global review of karst World Heritage properties: present situation, future prospects and management requirements. Switzerland: IUCN, 2008.

WILLIAMS, P.; FONG, Y. T. **World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0**. SGGES, University of Auckland, New Zealand, 2010. Disponível em: <https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/>. Acesso em: 26 out. 2020.

WILSON, M.C.; CHEN, X. Y.; CORLETT, R. T.; DIDHAM, R. K.; DING, P.; HOLT, R. D.; HOLYOAK, M.; HU, G.; HUGHES, A.C.; JIANG, L.; LAURANCE, W. F.; LIU, J.; PIMM, S. L.; ROBINSON, S. K.; RUSSO, S. E.; SI, X.; WILCOVE, D. S.; WU, J.; YU, M. Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. **Landscape Ecology**, v. 31, n. 2, p. 219-227, 2016.

WU JG. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. **Landscape Ecology**, v. 28, n., p. 1-11, 2013.

XAVIER, M. C. T.; DANTAS, M. A. T.; SANTANA, C. C. DA S. A coleção de fósseis da megafauna pleistocênica do Laboratório de Arqueologia da Universidade do estado da Bahia, Senhor do Bonfim, Bahia. **Paleontologia em Destaque**, v. 23, n. 61, p. 13-14, 2008.

3 A CONTRIBUIÇÃO DOS MORCEGOS NO INPUT DE ENERGIA NA FORMA DE GUANO PARA *BAT CAVES* NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

RESUMO

Cavernas são abrigos essenciais para centenas de espécies de morcegos e, de forma geral, apresentam elevada estabilidade ambiental. Essa estabilidade é desejável para um abrigo em potencial, pois suas características microclimáticas são muitas vezes importantes para a sua seleção. Morcegos detêm os recordes de maiores congregações entre os mamíferos, chegando a situações em que milhões de indivíduos convergem para *bat caves*, e algumas destas cavernas se destacam por apresentar elevada temperatura. O guano trazido diariamente pelos morcegos para dentro das cavernas é identificado como essencial para a manutenção de ecossistemas inteiros, pois representa em alguns casos o único ou o principal *input* de energia para centenas de outras espécies da biota cavernícola que não são capazes de sair desses ambientes. Assim, o presente estudo visou avaliar quantitativamente as contribuições dos morcegos no aporte de guano em cinco *bat caves* no Nordeste do Brasil, levando em consideração a riqueza e o tamanho das populações de morcegos nessas cavernas, identificando e estimando os depósitos de guano e suas taxas de acumulação por caverna, e também estimando o aporte para o interior das cavernas pelos morcegos insetívoros. Esse estudo mostrou que a abundância de morcegos nessas *bat caves* varia bastante inter- e intra-cavernas, indicando abrigos com alto dinamismo de ocupação. Variações também foram observadas na quantidade de insetos ingeridos pelos morcegos por noite (estimada de 0,7 a 2,5 gramas por animal), o que resultou em um aporte de guano espacial e temporalmente heterogêneos nas cavernas. Ainda assim, todas as cavernas amostradas continham depósitos de guano volumosos em seus interiores, confirmando e reforçando o papel dos morcegos como agentes de aporte de guano para esses ambientes. Os resultados apontam ainda que as variações na temperatura da caverna são influenciadas pela quantidade de morcegos em seu interior, permitindo que o monitoramento da temperatura seja usado na reconstrução de padrões de uso dos abrigos pelos morcegos. Este estudo fornece dados quantitativos sobre as contribuições ambientais prestadas pelos morcegos, assunto que está entre as prioridades para a conservação de morcegos no Brasil, além de contribuir com informações sobre a interação morcego-caverna.

Palavras-chave: Ambientes cársticos. *Bat caves*. Brasil. Chiroptera. Guano de morcego. *Input* de energia.

ABSTRACT

Caves are essential shelters for hundreds of bat species and, in general, have high environmental stability. As a potential shelter, such stability is desirable, as microclimate characteristics are often important for roost selection by bats. Bats hold records for the largest congregations among mammals, when millions of individuals converge to bat caves, some of them with high temperatures. The guano brought daily by bats into the caves is identified as essential for the maintenance of entire ecosystems, as it is in some cases the only or the main energy input for hundreds of other cave species not able to leave those environments. Thus, the present study aimed to quantitatively assess the bat guano input in five bat caves in Northeastern Brazil, considering species richness and size of bat populations in those caves, identifying and

estimating guano deposits and their rates of accumulation per cave, and also estimating the input into the caves by insectivorous bats. The abundance of bats varied greatly between and within caves, indicating a highly dynamic occupation. Variations were also observed in the amount of insects ingested by bats per night (estimated from 0.7 to 2.5 grams per animal), resulting in a spatially and temporally heterogeneous input of guano in the caves. All the sampled caves contained bulky guano deposits inside, stressing the role of bats as agents of guano input to these environments. Variations in the temperature of the cave were influenced by the number of bats inside, allowing temperature to be used in the reconstruction of cave use patterns by bats. This study provides quantitative data on the environmental contributions made by bats, a topic that is among the priorities for bat conservation in Brazil, and provided unprecedented information on the bat-cave interaction for bat caves in the Neotropics.

Keywords: Bat caves. Bat guano. Brazil. Chiroptera. Energy input. Karstic environments.

3.1 INTRODUÇÃO

As cavernas são abrigos essenciais para centenas de espécies de morcegos (ALTRINGHAM, 1996). Esses locais apresentam elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, e temperatura e umidade constantes (POULSON; WHITE, 1969; CULVER, 1982), em comparação com o ambiente externo. Essa estabilidade é desejável para um abrigo em potencial, pois suas características microclimáticas são muitas vezes importantes para a seleção pelas espécies (KUNZ, 1982; GUNN, 2003; ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004). Diversas espécies de morcegos têm sido reportadas demonstrando grande afinidade com o ambiente cavernícola, utilizando-os como abrigos diurnos (ARITA, 1993). No Brasil, 72 das 181 espécies ocorrentes já foram registradas em cavernas (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018), e esse número pode ser mais elevado se considerarmos o grande potencial cavernícola do país. Atualmente estão registradas cerca de 21.000 cavernas no Brasil (CECAV, 2020), porém com estimativas que podem alcançar cerca de 310.000 cavernas (PILÓ; AULER, 2011).

Cavernas são consideradas ambientes ameaçados mundialmente (MAMMOLA, 2019). As ameaças que recaem sobre esses ambientes incluem o desmatamento da área do entorno (TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015), urbanização, atividades agrícolas, industriais e mineração (TRAJANO, 2000; REBOLEIRA *et al.*, 2011; SOUZA-SILVA *et al.*, 2015; SUGAI *et al.*, 2015), contaminação dos aquíferos subterrâneos por metais pesados e poluição por agroquímicos (REBOLEIRA *et al.*, 2013; DI LORENZO *et al.*, 2015, 2018), turismo (MOLDOVAN *et al.*, 2003) e mudanças climáticas (MAMMOLA *et al.*, 2018). De fato, a proteção de ambientes cavernícolas é identificada como prioritária globalmente (MAMMOLA *et al.*, 2018). No Brasil, Bernard *et al.* (2012) elencaram 17 tópicos que podem influenciar na

conservação de morcegos. Destes, o mais preocupante foi a redução na proteção das cavidades naturais subterrâneas, devido às alterações na legislação brasileira sobre proteção ao patrimônio espeleológico. Tais alterações flexibilizam a proteção das cavernas, tornando-se uma forte ameaça aos morcegos, fazendo com que espécies associadas às cavernas sejam mais susceptíveis a impactos decorrentes da destruição de seus abrigos (BERNARD *et al.*, 2012).

Os morcegos detêm os recordes de maiores congregações entre os mamíferos, variando de poucos indivíduos até milhares convergindo para um único abrigo (KUNZ, 1982). Quando uma enorme colônia de morcegos se estabelece em grandes câmaras conectadas a outras porções de uma caverna por passagens estreitas, a temperatura tende a ser muito elevada (gerada pelo calor corporal dos morcegos), não raramente atingindo 40 °C. Estas cavernas são conhecidas também como “*hot caves*” (LADLE *et al.*, 2012). No entanto, uma caverna que apresenta uma enorme colônia de morcegos não necessariamente constitui uma caverna quente, pois a manutenção de altas temperaturas depende não apenas da presença de morcegos, mas também da arquitetura da caverna (FERREIRA, 2019b). Nesse sentido, nem toda *bat cave* é uma *hot cave*, mas toda *hot cave* é uma *bat cave*. O conceito de *bat cave* precisa ser melhor definido, e uma possível definição poderia ser “aquelas cavernas que abrigam colônias de morcegos que modificam, devido à sua presença, todo o ambiente trófico e climático da caverna, independentemente do número absoluto de morcegos” (FERREIRA, 2019b). Outra abordagem poderia ser a excepcionalidade do tamanho daquela população em relação às demais populações conhecidas. De qualquer forma, uma *bat cave* chama a atenção pelo número elevado de morcegos em seu interior (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Esse tipo de caverna pode atingir temperaturas muito altas devido ao calor corporal irradiado das altas densidades de determinadas espécies de morcegos (JUBERTHIE, 2000) e da decomposição do guano (PECK *et al.*, 1998). As cavernas quentes são reportadas no Caribe, principalmente nas Antilhas (DE LA CRUZ, 1992), em Cuba (SAMPREDO *et al.*, 1977; TEJEDOR *et al.*, 20005; MANCINA *et al.*, 2007) e Porto Rico (RODRÍGUES-DURÁN, 1995, 1998; RIVERA-MARCHAND; RODRÍGUES-DURÁN, 2001). Cavernas quentes continentais foram descritas no México (DALQUEST; HALL, 1949), Venezuela (DE LA CRUZ, 1992; ARENDS *et al.*, 1995), e no nordeste do Brasil (ROCHA *et al.*, 2011; FEIJÓ; ROCHA, 2017; VARGAS-MENA *et al.*, 2018; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Nas regiões neotropicais, a família Mormoopidae é o principal grupo associado às cavernas quentes – contendo espécies insetívoras, embora frequentemente compartilhem o ambiente com espécies das famílias Phyllostomidae e Natalidae (LADLE *et al.*, 2012).

As principais contribuições ao meio ambiente conferidas pelos morcegos estão relacionadas à dispersão de sementes, à polinização, ao controle das populações de insetos noturnos, incluindo pragas agrícolas e vetores de zoonoses (BOHMANN *et al.*, 2011; BOYLES *et al.*, 2011; KUNZ *et al.*, 2011; MASLO *et al.*, 2017), e ao consumo de vertebrados (FENTON *et al.*, 1992). Além disso, quando retornam diariamente aos seus abrigos em cavernas e defecam nesses locais, os morcegos também contribuem com um aporte de energia que é essencial para esses ambientes, trazendo matéria orgânica, na forma de guano (BERNARD *et al.*, 2018). Um fator intrínseco às *bat caves* são os extensos pacotes de guano (GNASPINI-NETTO, 1989; HERRERA, 1995; FERREIRA; MARTINS, 1998, FERREIRA *et al.*, 2000a; FERREIRA *et al.*, 2000b), provenientes principalmente de morcegos insetívoros. Entretanto, outros tipos de guano podem estar presentes, incluindo aqueles compostos por sementes, restos de frutos e sangue. Esses depósitos de guano podem variar em quantidade, distribuição, velocidade de acumulação, e em função do tamanho da colônia de morcegos (ZILER; YANCEY, 2019).

Apesar de relevante ecologicamente, poucos estudos se propuseram a abordar o aporte de guano dos morcegos em ambientes cavernícolas sob o ponto de vista quantitativo, e menos ainda na região Neotropical (FERRERIRA *et al.*, 2007; SPERANDEI *et al.*, 2019; TRAJANO, 2019). Nesse contexto, o presente estudo visou avaliar as contribuições dos morcegos no aporte de guano em cinco *bat caves* no Nordeste do Brasil, buscando: I) acessar a riqueza de espécies de morcegos nas cavernas; II) estimar o tamanho das populações residentes de morcegos dessas cavernas; III) identificar e estimar o volume dos depósitos de guano; IV) estimar o *input* de guano trazido para dentro da caverna pelos morcegos; e V) estimar as taxas de acumulação de guano por caverna. Se o aporte de guano for proporcional ao tamanho das colônias, e se essas colônias não forem estáveis, então esperamos uma variação temporal e espacial na deposição de guano dentro das cavernas.

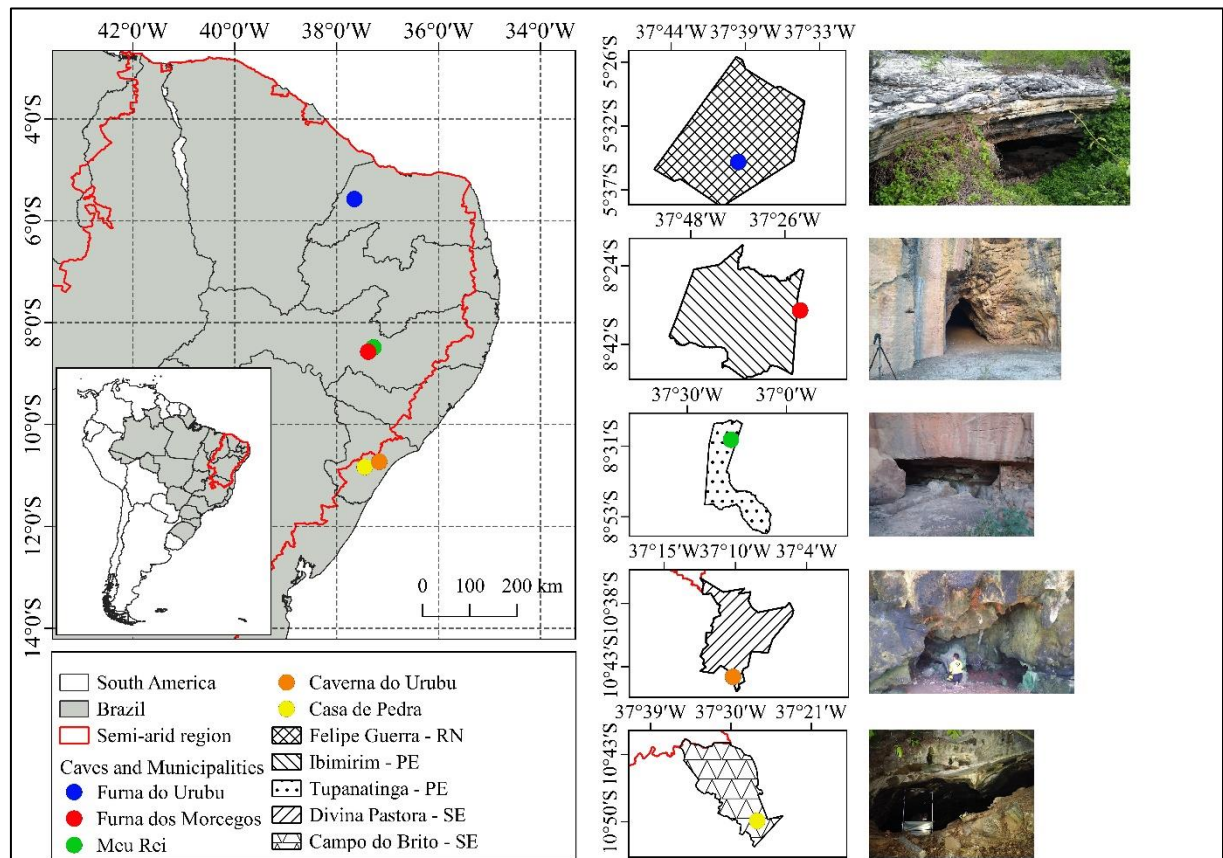
3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Áreas de estudo

Este estudo foi realizado em cinco cavernas, localizadas em três estados da região Nordeste do Brasil (Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Norte) (Figura 9; Apêndice A). Em comum, todas essas cavernas foram estudadas no Projeto “*Bat Caves* do Semiárido do Brasil”, que visou identificar e caracterizar *bat caves* no Nordeste do Brasil, subsidiado com recursos oriundos de compensação ambiental da mineradora Anglo American Minério de Ferro S.A.

destinados ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio/MMA) por meio do Termo de Compromisso Ambiental 1/2016, em decorrência do processo de Licenciamento LP + LI 142/2015.

Figura 9 – Área de estudo localizada nos estados de Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE), região Nordeste, Brasil. Os pontos representam as cavernas amostradas: Azul – Furna do Urubu/RN; Vermelho – Furna do Morcego/PE; Verde – Meu Rei/PE; Laranja – Caverna do Urubu/SE e Amarelo – Casa de Pedra/SE.



Fonte: Elaborado por Marcos Vinícius da Silva.

A seguir, são apresentadas as características espeleológicas de cada um dos locais amostrados, reunidos por estados:

1. Pernambuco: O estado de Pernambuco, de acordo com o mapa de potencialidade de cavernas (ver sessão “*Sistemas cársticos e o Potencial espeleológico no Brasil*” do referencial teórico), possui áreas com alto potencial espeleológico (CECAV, 2012). Essas áreas situam-se principalmente nas regiões do Parque Nacional (PARNA) do Catimbau e da Reserva Indígena Kapinawá, limítrofe com o PARNA do Catimbau na porção Sul. O PARNA do Catimbau, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (SNUC, 2000) criada em 13 de dezembro de 2002, localiza-se 285 km a oeste da capital Recife, abrange parte dos municípios de Ibimirim

(Sertão, Sertão do Moxotó), Buíque e Tupanatinga (Agreste, Vale do Ipanema) (SNE, 2002) e apresenta uma área de cerca de 62.300 hectares. Situa-se na zona de transição entre as mesorregiões do Agreste e Sertão e microrregiões do Vale do Ipanema e Sertão do Moxotó, de Pernambuco, e na divisa entre as ecorregiões da Depressão Sertaneja Meridional e do Raso da Catarina, na região semiárida, em pleno domínio da Caatinga (VELOSO *et al.*, 2002). A Reserva Indígena Kapinawá abrange apenas o município de Ibimirim. A Reserva Indígena (CF/88, Lei nº 6.001/73 – Estatuto do Índio, Decreto nº 1.775/96), regularizada pela União (FUNAI, 2019) e registrada no CRI e SPU (Decreto s/n – 14/12/1998), ocupa uma área de cerca de 12.400 hectares, com 14 aldeias: Quiri D’alho, Lagoa, Puiú, Maria Preta, Malhador, Colorau, São João, Cajueiro, Carnaúba, Caldeirão, Baixa da Palmeira, Coqueiro, Batinga e Mina Grande (Aldeia Sede) (ISA, 2011).

Os registros contidos no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) para o Estado indicam um total de 270 cavernas, sendo Buíque, Ibimirim e Tupanatinga os municípios com maior número de cavernas, com 89, 62 e 58 cavernas, respectivamente (CANIE/ICMBio, 2020).

Segundo a classificação Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo BSw'h` com temperatura anual variando de 25 °C a 30 °C e precipitação anual média em torno de 700 mm (ANDRADE *et al.*, 2017; DELGADO-JÚNIOR; ALVES, 2017). A estação de seca dura de 6 a 8 meses (agosto-fevereiro), sendo novembro o mês mais seco, e a estação chuvosa se concentra nos meses de março a julho, sendo maio o mês com maior índice pluviométrico (SADMET/INMET, 2013). Na região existem diferentes formações vegetais, incluindo Caatinga arbustivo-arbórea, Caatinga arbustiva com predominância de elementos de Cerrado, Caatinga arbustiva com elementos de campos rupestres e Caatinga arbustiva perenifolia (AZEVEDO; BERNARD, 2015).

Em Pernambuco, as cavernas estudadas foram:

- A *bat cave* Meu Rei (08°29'14.1"S, 37°16'48.8"O) está inserida no município de Tupanatinga, dentro do PARNA do Catimbau. Essa caverna encontra-se em litologia arenítica, possui desenvolvimento horizontal e projeção horizontal de 162,5 m (CECAV, 2014), e o acesso se dá por uma única entrada, de formato retangular e de teto rebaixado (Tabela 1; Apêndice A). A caverna é dividida em quatro câmaras amplas (Apêndice B) e possui espeleotemas apenas do tipo estalactite na primeira câmara, próximo à entrada e em pouca quantidade. A caverna está inserida em alta vertente, com vegetação do entorno composta por Caatinga arbustivo-arbórea. Anos atrás, a caverna era utilizada para cultos religiosos, e ainda hoje é possível observar alterações provenientes dessa prática em seu interior, além de vestígios

recentes de presença humana, como fogueiras e lixo, próximo à entrada. O piso de mais da metade da caverna é recoberto por guano de morcegos insetívoros, fitófagos e hematófagos, sendo o primeiro tipo o mais abundante e concentrado na quarta câmara, devido à alta densidade de morcegos que essa caverna abriga. Há registro de dez espécies, divididas em três famílias, co-habitando esse abrigo: Phyllostomidae (*Anoura geoffroyi*, *Carollia perspicillata*, *Desmodus rotundus*, *Diphylla ecaudata*, *Glossophaga soricina*, *Lonchorhina aurita* e *Tonatia bidens*), Natalidae (*Natalus macrourus*) e Mormoopidae (*Pteronotus gymnonotus* e *Pteronotus personatus*) (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). As espécies *L. aurita* e *N. macrourus* são listadas como “Vulneráveis” pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). As espécies de *P. gymnonotus* e *P. personatus* são as mais abundantes nesse abrigo, elevando-o à categoria de *bat cave*. Essa caverna é monitorada desde 2014, como parte de um projeto de longo prazo realizado pelo Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação da Biodiversidade (UFPE), sendo objeto de estudo de alguns projetos (e.g., AZEVEDO; BERNARD, 2015; JORDÃO, 2019; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019; BARBIER, 2020). Além disso, registros constantes da temperatura e contagens periódicas do número de morcegos presentes nessa caverna vem sendo realizadas desde o início do monitoramento (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019).

- A *bat cave* Furna do Morcego (08°34'14.1"S, 37°22'55.4"O) está situada na Reserva Indígena Kapinawá, próxima à aldeia do Quiri D'alho, no município de Ibimirim. Essa caverna que também está inserida em rocha arenítica, possui desenvolvimento horizontal e projeção horizontal de 44 m (CECAV, 2017) e seu acesso se dá por uma entrada única e ampla (Tabela 1; Apêndice A). A caverna é dividida em duas câmaras amplas (Apêndice C) e está inserida em baixa vertente, com vegetação do entorno composta por Caatinga arbustivo-arbórea. É uma caverna conhecida por toda a comunidade indígena, porém não há vestígios de utilização da caverna pelos moradores. Vestígios arqueológicos podem ser observados na entrada desta caverna, através de pinturas rupestres. Todo o piso da caverna é coberto por guano de morcegos insetívoros, sendo esse guano mais abundante na câmara à esquerda onde se concentram numerosas colônias de morcegos (Apêndice C). Não há formação de espeleotemas em seu interior. Na câmara de concentração dos morcegos há uma cúpula com diversas reentrâncias, bastante desenvolvida. Há registro de cinco espécies, divididas em três famílias, co-habitando esse abrigo: Phyllostomidae (*C. perspicillata*, *Lonchophylla* spp.), Emballonuridae (*Peropteryx* spp.) e Mormoopidae (*P. gymnonotus* e *P. personatus*) (E. LEAL, com. pessoal). Nenhuma espécie presente nessa caverna é listada como “Vulnerável” pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). Aqui também, as

espécies *P. gymnonotus* e *P. personatus* são as mais abundantes e, assim como a caverna Meu Rei, essa caverna vêm sendo monitorada desde 2017 pelo mesmo laboratório e com as mesmas finalidades: registros constantes da temperatura e da dinâmica populacional no abrigo. Contagens dos morcegos para essa caverna são realizadas desde 2017 (LEAL; BERNARD – dados não publicados), período em que essa caverna foi identificada dentro do projeto para localização e caracterização das *bat caves* no Nordeste do Brasil e cadastrada na Base de Dados Geoespacializados das Cavernas do Brasil (CECAV/ICMBio, 2017 – disponível em <https://sicae.sisicmbio.icmbio.gov.br/usuario-externo/login>).

2. Sergipe: O estado de Sergipe também possui áreas com alto potencial espeleológico, de acordo com o mapa de potencialidade de cavernas (CECAV, 2012). Mesmo contendo um número considerável de cavidades naturais, o carste sergipano apresenta dimensões reduzidas quando comparados com as potencialidades cársticas brasileiras. O endocarste é visualizado em quase toda a sua totalidade, e já foi verificada a ocorrência de dolinas, sendo mais restrita (ALMEIDA *et al.*, 2006). O relevo sergipano se desenvolve em rochas da Formação Riachuelo (Cretáceo Inferior) e apresenta em sua composição estratigráfica: arenitos, folhelhos, calcários, calcarenitos e dolomitos (SANTOS *et al.*, 1998). Um levantamento mais extenso em busca de cavernas foi realizado nos municípios de Laranjeiras e Simão Dias, no entanto, se conhecem cavernas também nos municípios de Itabaiana, Canindé de São Francisco, Lagarto, Divina Pastora, Nossa Senhora do Socorro, Poço Verde, Maruim, Macambira, Tobias Barreto, Campo do Brito e São Domingos (SBE, 2018).

Os registros contidos no CANIE para o Estado indicam um total de 114 cavernas, sendo Laranjeiras, Simão Dias, Canindé de São Francisco e Divina Pastora os municípios com maior representatividade, com 17, 15, 14 e 10 cavernas, respectivamente (CANIE/ICMBio, 2020).

O clima da região é o Tropical Atlântico, conferido pela localização do estado, situado entre os trópicos e muito próximo ao mar, com temperaturas variando entre 26 °C e 32 °C e precipitação média em torno de 1.600 mm na zona litorânea e 700 mm na zona agreste (ARAÚJO, 2012). O período chuvoso ocorre entre os meses de abril e agosto, especialmente no mês de maio (SEMARH/SRH, 2019). Os municípios onde se localizam as cavernas estão inseridos dentro de remanescentes, na transição dos domínios de Caatinga e Mata Atlântica, onde o avanço da expansão agrícola e a pecuária são as principais causas da atual situação de fragmentação da vegetação (DONATO; RIBEIRO, 2011; DONATO *et al.*, 2014; GOMES *et al.*, 2015):

Em Sergipe, as cavernas estudadas foram:

- A *hot cave* Casa de Pedra (10°50'03.0"S, 37°27'03.6"O) – assim designada por apresentar temperaturas mais elevadas nos salões internos (informações sobre esse tipo de cavernas estão contidas na sessão “*Bat caves e a Importância do guano para manutenção dos organismos cavernícolas*” do referencial teórico), com média de 35 °C (J. BARROS, com. pessoal) – está inserida no município de Campo do Brito. Essa caverna encontra-se em litologia calcária, possui desenvolvimento horizontal e projeção horizontal de 210 m (CECAV, 2017), e o acesso se dá por uma entrada única, de formato retangular e teto rebaixado (Tabela 1; Apêndice A). A caverna apresenta seis câmaras (Apêndice D) e é bastante ornamentada em toda sua extensão. Possui espeleotemas do tipo estalactites, estalagmites, cortinas, escorrimento e coraloídes em grande quantidade. Está inserida em média vertente e está encoberta pela vegetação que é predominantemente arbórea. Não há indícios de utilização dessa caverna pelos moradores do entorno. O piso de parte da caverna é recoberto por guano, preferencialmente produzido por espécies insetívoras, que se concentra nas câmaras mais internas. Entretanto, outros tipos de guano também foram observados em pontos isolados da caverna, como guano de morcegos hematófagos (próximo à entrada) e guano de morcegos frugívoros, logo após o conduto da entrada. Essa cavidade também concentra populações numerosas em seu interior ocupando os salões mais internos. Há registro de nove espécies, divididas em três famílias, coabitando esse abrigo: Phyllostomidae (*A. geoffroyi*, *C. perspicillata*, *D. rotundus*, *G. soricina*, *L. aurita* e *Phyllostomus hastatus*), Natalidae (*N. macrourus*) e Mormoopidae (*P. gymnonotus* e *P. personatus*) (BERNARD *et al.*, 2018). Assim como a caverna Meu Rei, esta caverna é abrigo de duas espécies listadas como “Vulneráveis” pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014): *L. aurita* e *N. macrourus*. Aqui também, a alta densidade de morcegos é conferida pelas colônias de *P. gymnonotus* e *P. personatus*. Essa caverna também funciona como maternidade para algumas espécies, como já foi verificado com as duas espécies de *Pteronotus* citadas acima e *L. aurita* (BERNARD *et al.*, 2018).

- A *bat cave* Urubu (10°43'58.1"S, 37°09'56.0"O) está inserida no município de Divina Pastora. Essa caverna encontra-se em litologia calcária, possui desenvolvimento horizontal e projeção horizontal de 195 m (CECAV, 2017), e pode ser acessada por três entradas – todas reduzidas e de teto rebaixado (Tabela 1; Apêndice A). Está inserida em baixa vertente e seu entorno imediato apresenta cobertura vegetal arbórea de porte médio, tipicamente de áreas antropizadas devido à presença de pastagem no entorno (com predomínio de gramíneas) para forrageio animal e pela presença de espécies exóticas invasoras, com extensas ilhas de bambus (*Bambusa* sp.) (SANTANA JÚNIOR *et al.*, 2018). A caverna está dividida em quatro câmaras, sendo a primeira um amplo salão que se conecta com as entradas (Apêndice E) e apresenta

espeleotemas esparsos e em pouca quantidade do tipo estalactites, coraloides e cortinas. Não há indícios de utilização dessa caverna pelos moradores do entorno. O piso de quase toda a caverna é recoberto por guano, preferencialmente insetívoro, que se concentram em parte do primeiro salão, e em câmara próxima a esse salão, acessada por um teto baixo em sua lateral direita. Entretanto, outros depósitos também podem ser observados em pontos isolados da caverna, como guano de morcegos hematófagos (uma extensa poça localizada próximo a uma das entradas) e guano de morcegos frugívoros, no centro do amplo salão. Há registro de sete espécies, divididas em três famílias, co-habitando esse abrigo: Phyllostomidae (*D. rotundus*, *G. soricina*, *L. aurita* e *P. hastatus*), Emballonuridae (*Peropteryx* cf. *macrotis*) e Mormoopidae (*P. gymnonotus* e *P. personatus*) (BERNARD *et al.*, 2018). Nenhuma espécie presente nessa caverna é listada como “Vulnerável” pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). Aqui também há uma alta densidade de morcegos conferida pelas colônias de *P. gymnonotus* e *P. personatus*, que podem ser observadas ocupando duas áreas desse abrigo (Apêndice B4) (BERNARD *et al.*, 2018).

3. Rio Grande do Norte: Assim como Pernambuco e Sergipe, o Rio Grande do Norte possui extensa área com alto potencial espeleológico, de acordo com o mapa de potencialidade de cavernas (CECAV, 2012). A heterogeneidade da estrutura geológica deste Estado, propicia a formação de diferentes feições cársticas: a Bacia Potiguar com os calcários do Grupo Apodi no norte do Estado – Formação Jandaíra, o Embasamento Cristalino na porção sul, os mármores da Formação Jucurutú e os Arenitos da Formação Açu. No entanto, são nos calcários do Grupo Apodi – Formação Jandaíra que estão inseridas pouco mais de 60% das 1.284 cavernas atualmente conhecidas no Estado (BENTO *et al.*, 2017; CANIE/ICMBio, 2020).

Os registros contidos no CANIE para o Estado indicam que essas 1.284 cavernas, estão inseridas majoritariamente nos municípios de Felipe Guerra, Baraúna, Governador Dix-Sept Rosado e Martins, com 356, 322, 147 e 92 cavernas, respectivamente (CANIE/ICMBio, 2020). O relevo do município de Felipe Guerra apresenta-se principalmente na forma de afloramentos calcários popularmente conhecidos como “lajedos”, onde são comuns falhas, fraturas, lapiás, dolinas, entre outras feições típicas de regiões cársticas.

O clima da região é predominantemente do tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen-Geiger, caracterizado por um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa atrasando-se para o outono. As chuvas anuais médias de longo período situam-se em torno de 670 mm, evaporação de 1.760 mm e um déficit de água de 1.000 mm, durante nove meses. As precipitações são irregulares e, de modo geral, são significativas e ocorrem no período de

fevereiro a julho, concentrando-se a maior parte de março a junho. A umidade relativa apresenta-se bastante variável, normalmente entre 59 e 76%, e a temperatura média anual em torno de 28 °C (IDEMA, 2005).

No Rio Grande do Norte, a caverna estudada foi:

- A *bat cave* Furna do Urubu (05°34'22.8''S, 37°39'08.8''O), está inserida no município de Felipe Guerra. A caverna encontra-se em litologia calcária, possui desenvolvimento horizontal e projeção horizontal de 250 m (CECAV, 2017) e pode ser acessada por uma entrada única e ampla, encaixada no lajedo (Tabela 1; Apêndice A). Está inserida em baixa vertente, e seu entorno apresenta cobertura vegetal do tipo Caatinga-arbustiva. A caverna possui dois níveis (o principal e um nível inferior), sendo que o nível inferior conecta o salão amplo da entrada com o salão também amplo, no final da caverna (Apêndice F). Apresenta também espeleotemas do tipo estalactite, cortina serrilhada, coluna, macrotravertino e escorrimento, concentrados no salão da entrada. Pichações e estruturas em cano PVC podem ser observadas no primeiro salão, indicando intervenção antrópica. Ainda nesse salão, vestígios arqueológicos podem ser encontrados – pedaços de cerâmica junto ao escorrimento, próximo à entrada. O piso da caverna é bastante lamacento, podendo ser observadas grandes concentrações de guano de morcegos insetívoros no amplo salão na porção final, e em um pequeno salão no nível inferior da caverna. Pequenas manchas de guano de morcego hematófago também podem ser observadas em pontos isolados da caverna. Há registro de seis espécies, divididas em três famílias, co-habitando esse abrigo: Phyllostomidae (*Artibeus planirostris*, *D. rotundus*, *D. ecaudata* e *T. bidens*), Emballonuridae (*Peropteryx* spp.) e Mormoopidae (*P. gymnonotus*) (VARGAS-MENA *et al.*, 2018). No projeto de identificação e caracterização de *bat caves* no Nordeste do Brasil identificamos através da acústica mais duas espécies utilizando esse abrigo: Molossidae (*Eumops* sp.) e Mormoopidae (*P. personatus*). Sendo assim, o número de espécies usando a Furna do Urubu passou para oito espécies. Nenhuma espécie presente nessa caverna é listada como “Vulnerável” pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). Aqui, também já foi registrada uma alta densidade de colônias de *P. gymnonotus* e *P. personatus*, que foram observadas ocupando duas áreas desse abrigo (Apêndice B5) (BERNARD *et al.*, 2018).

Diferentes espécies ocupam as cavernas acima citadas, entretanto, diante das numerosas colônias de *Pteronotus*, o guano dos morcegos insetívoros predomina em todas essas cavernas.

Tabela 1 – *Bat caves* estudadas: (Meu Rei (PE) – amostrada entre fevereiro e outubro de 2019, Furna do Morcego (PE) – amostrada entre fevereiro de 2019 e janeiro de 2020, Casa de Pedra (SE) – amostrada em julho de 2019 e janeiro de 2020, Caverna do Urubu (SE) – amostrada em julho de 2019 e janeiro de 2020 e Furna do Urubu (RN) - amostrada em julho de 2019 e fevereiro de 2020), contendo o município e a unidade federativa, segundo o cadastro do CECAV (2017) e suas respectivas coordenadas geográficas. Características físicas: litologia (tipo de rocha), PH (projeção horizontal) em metros e quantidade de entradas.

Caverna	Município/Estado	Coordenadas geográficas		Litologia	PH (m)	N°. Entradas	Amostragens
		Latitude	Longitude				
Meu Rei	Tupanatinga – PE	08°29'14.1"S	37°16'48.8"O	Arenito	162,5	1	Fev/19, Mai/19, Ago/19 e Out/19
Furna do Morcego	Ibimirim – PE	08°34'14.1"S	37°22'55.4"O	Arenito	44	1	Fev/19; Abr/19, Mai/19, Ago/19, Out/19 e Jan/20
Casa de Pedra	Campo do Brito – SE	10°50'03.0"S	37°27'03.6"O	Calcária	210	1	Jul/19 e Jan/20
Caverna do Urubu	Divina Pastora – SE	10°43'58.1"S	37°09'56.0"O	Calcária	195	3	Jul/19 e Jan/20
Furna do Urubu	Felipe Guerra – RN	05°34'22.8"S	37°39'08.8"O	Calcária	250	1	Jul/19 e Fev/20

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

3.2.2 Coleta e Análise dos dados

3.2.2.1 Roteiro das atividades em campo

As atividades de campo ocorreram entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020 (Tabela 1). Cada visita às cavernas teve quatro dias de duração. No primeiro dia, foram realizadas a contagem dos morcegos, deixando o abrigo e a instalação dos coletores para acumulação do guano, após a saída de todos os morcegos. No segundo dia, foram realizadas as capturas e pesagem dos morcegos. No terceiro dia, foram feitas a montagem dos *grids* e a medição do volume e profundidade do guano nessa área e a verificação do nível de guano nos medidores graduados. E, no quarto e último dia, foram realizadas a remoção e pesagem do guano acumulado nos coletores e a sua desinstalação, exceto para a caverna Meu Rei, onde os coletores permaneceram montados de maio a outubro de 2019. Cada etapa está detalhada a seguir.

3.2.2.2 Riqueza de espécies de morcegos

A riqueza de espécies foi acessada através de observações *in loco* e captura dos indivíduos dentro dos abrigos, com o auxílio de puçá. Os morcegos foram acondicionados em sacos de tecido e examinados individualmente, onde foram extraídos dados biológicos e morfométricos. O peso foi obtido com o auxílio de balanças (Pesolas®) de 100 g (precisão 1 g) e de 300 g (precisão 2 g). A idade aproximada foi verificada pelo grau de ossificação das epífises falangiais, seguindo Kunz; Parsons (2009). A sexagem foi feita de acordo com a idade (adulto ou juvenil) e verificado quanto ao estágio reprodutivo (machos: ativo ou inativo; e fêmeas: inativa, grávida, lactante ou pós-lactante). Os machos foram categorizados como reprodutivamente ativos quando apresentaram testículos escrotados. Fêmeas grávidas foram identificadas através do apalpamento abdominal para detecção da presença de feto; as lactantes pela ausência de pelos ao redor dos mamilos e presença de secreção de leite; as pós-lactantes pela ausência de pelos ao redor dos mamilos, mas sem presença de leite; e as inativas quando não apresentaram nenhuma das características anteriores (KUNZ; PARSONS, 2009). O tamanho do antebraço direito foi medido com paquímetros digitais (precisão 0,01 mm). A identificação foi feita até o menor nível taxonômico possível, seguindo chaves de identificação de caracteres externos (e.g., GARDNER, 2008; DÍAZ *et al.* 2016). Os morcegos foram capturados e manuseados em campo de acordo com as diretrizes aprovadas pela *American*

Society of Mammalogists (SIKES *et al.*, 2019) e com permissão número 23576/3 (SISBio/ICMBio/MMA).

Para a classificação da riqueza das cavernas, seguimos a proposta de GUIMARÃES; FERREIRA (2014), que a classificaram em quatro categorias: (I) Baixo – até três espécies; (II) Médio – de quatro a seis espécies; (III) Alto – de sete a nove espécies; e (IV) Elevado – acima de nove espécies.

3.2.2.3 Estimativa da abundância de morcegos

Os morcegos nas cavernas Meu Rei (PE) e Furna do Morcego (PE) foram contados 3 e 5 vezes, respectivamente, entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020. Na Casa de Pedra (SE), na Caverna do Urubu (SE) e na Furna do Urubu (RN), foram realizadas duas contagens em cada, no mesmo período. Além dessas estimativas, dados de abundância obtidos em anos anteriores foram incorporados ao trabalho para todas as cavernas de modo a complementar as informações sobre possíveis flutuações populacionais (Apêndice G). Para estimar a abundância dos morcegos, contou-se os indivíduos emergindo dos abrigos para forrageio, utilizando uma técnica não invasiva baseada em imagens geradas por uma câmera térmica infravermelho (FLIR[®], modelo E60) e algoritmos de detecção de movimento (RODRIGUES *et al.*, 2016; TORRES, 2016). A câmera foi instalada na entrada da caverna (Apêndice H) e as gravações tiveram início às 17h30min, com vídeos com duração de 60 a 180 minutos (até não haver mais detecção de morcegos emergindo do abrigo). Foram geradas imagens de 320 x 256 pixels e frequência de captura em 30 Hz (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Os morcegos registrados nas imagens foram contados automaticamente, usando um algoritmo de detecção especificamente desenvolvido para rastrear e contar morcegos (RODRIGUES *et al.*, 2016). Validações do algoritmo em laboratório indicaram margens de erro < 6%, com uma média de erro de aproximadamente 3% (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019).

3.2.2.4 Variação na temperatura das cavernas

Na caverna Meu Rei (PE) foram instalados dois *data loggers* (modelo HOBO[®] U23-001 Pro V2), com precisão de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ e medindo de -40°C a 70°C . Um *data logger* foi instalado na porção mediana da caverna (aproximadamente 60 m da entrada) e o outro na câmara mais interna (aproximadamente 150 m da entrada), onde se concentra a colônia de *Pteronotus* (Apêndice B). Os *data loggers* foram acondicionados em caixas metálicas com

tampas com grade vazada, evitando aprisionamento de ar e aquecimento do aparelho. As caixas foram fixadas diretamente na parede da caverna, aproximadamente 1,70 metros do piso. Os registros de temperatura da Meu Rei foram realizados em intervalos de uma hora (de julho de 2014 a dezembro de 2018), e de 5 minutos desde janeiro de 2019. A leitura e armazenamento dos dados de temperatura foram realizados com intervalos inferiores a dois meses, à exceção do ano de 2020, onde esses intervalos foram superiores a três meses. Para o *download* foi utilizada uma base de leitura óptica de dados por infravermelho HOB0 modelo U-4, conectado ao *data logger*, e através do *software* HOBOWare foi feita a exportação do arquivo em formato .csv. Para essa caverna, apenas os registros do *data logger* localizado na câmara mais interna foram considerados (Apêndice B).

Na Furna do Morcego (PE) foi instalado um *data logger* modelo HOB0® MX2301 (precisão $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$, medindo de -40°C a 70°C) na parte ocupada pelos *Pteronotus* (Apêndice C). A forma de acondicionamento do aparelho foi similar ao da Meu Rei, sendo este instalado à uma altura de 4 metros do chão, aproximadamente. Os registros de temperatura da Furna do Morcego foram realizados desde outubro de 2018, em intervalos de uma hora. A conexão e *download* dos dados deste *data logger* foram realizadas via comunicação sem fio (*bluetooth*), e através do *software* HOB0mobile (instalado no *smartphone*) foi feita a exportação do arquivo também em formato .csv.

As informações de temperatura obtidas com o *software* HOBOWare foram inseridas no programa R v.4.0.2 (R CORE TEAM, 2020). O pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2017) foi usado para elaboração dos gráficos. Os valores foram expressos em médias para cada dia. As oscilações (picos) na temperatura foram consideradas como um *proxy* da presença/ausência de morcegos na caverna (e.g. OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019).

3.2.2.5 Estimativas do consumo de insetos pelos morcegos

Para a estimativa do consumo de insetos pelos morcegos, indivíduos saindo das cavernas para o forrageio ao começo da noite – e, portanto, de barriga vazia (estando a aproximadamente 12 horas em jejum) – foram capturados e pesados, e o mesmo procedimento foi feito em indivíduos retornando aos abrigos no final da mesma noite – e, portanto, de barriga cheia (após o forrageio). Para a captura dos morcegos foi utilizada uma armadilha do tipo harpa (*harp trap*), com quadro de interceptação de 1,50 m x 1,50 m, instalada na entrada principal da caverna (Apêndice H). Os indivíduos foram acomodados individualmente em sacos de algodão e pesados. Para obtenção da massa corporal e dos dados morfométricos foram utilizadas balanças

Pesola® de 100 g (precisão 1 g) e paquímetros (precisão 0,01 mm), respectivamente. Como não houve marcação individual, o comprimento médio do antebraço foi utilizado para verificar a variação de tamanho dos morcegos saindo e retornando ao abrigo. Assim, sem a variação de tamanho, a variação no peso foi atribuída ao consumo de insetos. As capturas na Furna do Morcego (PE) ocorreram em maio de 2019 e outubro de 2019 e somente indivíduos da espécie *P. gymnonotus* foram capturados. Na Casa de Pedra (SE) e na Caverna do Urubu (SE), as capturas ocorreram em fevereiro e janeiro de 2020, respectivamente, e indivíduos de *P. gymnonotus* e *P. personatus* foram capturados. Os dados dos morcegos das cavernas Meu Rei (PE) e Furna do Urubu (RN) não foram considerados devido ao baixo número amostral obtido.

A análise descritiva dos dados quantitativos das amostras do peso de saída e de entrada foi realizada no pacote Excel Microsoft 365® v. 2.1.0.2. Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade de distribuição utilizando o teste Shapiro-Wilk. Uma vez que nenhum conjunto de dados apresentou distribuição normal para um nível de significância de $\alpha = 0,05$, foi utilizado o teste não paramétrico de Wilcoxon para verificar se houve variação no peso dos morcegos entre a saída e o retorno ao abrigo, baseados na diferença entre as medianas das amostras de saída e de entrada para cada caverna. A diferença entre os pesos de entrada e saída foi considerada como decorrente dos insetos consumidos e transformada em porcentagem para equivalência sob o peso médio corporal das amostras dos morcegos saindo. Indivíduos juvenis e fêmeas grávidas foram excluídos das análises. Todas as análises foram realizadas usando o software R v.4.0.2 (R CORE TEAM, 2020). Os valores foram considerados significativos para $p = 0,05$.

3.2.2.6 Acúmulo de guano

Em cada caverna selecionou-se locais com depósitos visualmente evidentes de guano de morcegos insetívoros para a instalação de coletores, geralmente junto das regiões das cavernas que concentravam mais morcegos. Nas cavernas Meu Rei (PE), Casa de Pedra (SE), Caverna do Urubu (SE) e Furna do Urubu (RN) foram instalados 6 coletores (Apêndice B, D, E e F, respectivamente), e na Furna do Morcego (PE), 5 coletores (Apêndice C). As cavernas foram amostradas entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020 (Tabela 1). Os coletores foram instalados após a saída dos morcegos para o forrageio. Cada coletor tinha 1 m x 1 m e era composto por uma tela de filó de malha de 1 mm x 1 mm, suspensa aproximadamente 20 cm do chão e fixada por hastes de alumínio (Apêndice H). Os coletores permaneceram nos locais por 96 horas consecutivas. Após esse período, todo o guano acumulado foi cuidadosamente

removido das telas e acondicionado em embalagens plásticas e pesados em balança digital de 500 g (precisão de 0,1 g) ainda no interior da caverna (peso fresco). Os valores em gramas acumulados nos coletores foram expressos em base logarítmica (\log_{10}) nos gráficos, para melhor visualização dos dados obtidos, uma vez que foram observadas grandes variações.

Além dos coletores, medidores graduados foram instalados no piso nas cavernas Meu Rei e Furna do Morcego (Apêndice H), de forma a permitir a mensuração do acúmulo de guano em mais pontos amostrais. Na caverna Meu Rei, onze medidores foram instalados em maio de 2019 (Apêndice B), e nove medidores na Furna do Morcego, em fevereiro de 2019 (Apêndice C). Os medidores eram compostos por hastes de alumínio graduados em centímetros e todos foram inseridos no piso até 15 cm. Nas visitas posteriores, o volume de guano acumulado foi registrado para cada medidor e expresso na forma gráfica.

3.2.2.7 Estimativas do volume de guano em setores das cavernas

O volume do guano foi estimado em quadrículas (*grids*) amostrais nas cavernas Casa de Pedra (SE) e Urubu (SE), em janeiro de 2020, e na caverna Furna do Urubu (RN) em fevereiro de 2020. Para a estimativa desse volume, foi montada uma malha regular de 1 metro de distância entre pontos amostrais, adaptados à área disponível em cada caverna (Apêndice H) e analisados de forma independente para cada caverna. Para a Casa de Pedra e a Furna do Urubu, apenas uma área da caverna foi medida (Apêndice D e F, respectivamente), e para a Caverna do Urubu, duas áreas diferentes foram medidas (Apêndice E). Uma estimativa da profundidade do guano depositado foi realizada com o auxílio de um vergalhão de aço de 150 cm, afilado na ponta e uma trena de mão, e em cada ponto de interseção da malha foi tomada uma medida de profundidade (cm) (Apêndice H). A medida máxima aferida foi de 150 cm de profundidade. Para pontos com maior profundidade, foi registrado como “> 150 cm” – porém, para todas as estimativas dos cálculos, esses pontos foram considerados como tendo 150 cm de profundidade.

Os dados medidos da variabilidade da profundidade dos pacotes foram submetidos a análise estatística descritiva para obtenção da média, mediana e coeficiente de variação (CV) entre os pontos. O CV foi classificado como baixo quando o $CV < 12\%$, médio quando o $12\% < CV < 24\%$ e alto quando o $CV > 24\%$ (WARRICK; NIELSEN, 1980). Em conjunto, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade dos dados, considerando significativo para $p \leq 0,01$.

Uma análise geoestatística foi realizada com base no cálculo de semivariância clássica. Esse cálculo estimou a estrutura do *grid* e o grau de dependência entre os pontos medidos. A

dependência espacial entre os pontos foi analisada ajustando o modelo de semivariograma com base na estimativa da semivariância usando o programa GEO-EAS® (ENGLAND *et al.*, 1989). Os *grids* amostrais foram ajustados de forma automática e independente para os modelos esférico, exponencial e gaussiano, de acordo com Deutsch *et al.* (1998), de forma a não enviesar as análises e mostrar a variação real. Os modelos foram validados pela análise de *Jackknife* – os valores da média devem ser próximos a 0 e do desvio padrão próximo a 1 (VAUCLIN *et al.*, 1983), caso contrário, o modelo torna-se inválido ou inconsistente.

O grau de dependência espacial (GDE) entre os pontos foi classificado de acordo com a metodologia de Cambardella *et al.* (1994), que sugere forte dependência (Ft) para valores < 25%; dependência moderada (Md) para valores entre 25 e 75%; e dependência fraca (Fr) para valores > 75%. O programa “Surfer 9” (Golden Software, 2010) foi usado para a elaboração dos gráficos de superfície.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Riqueza total de espécies

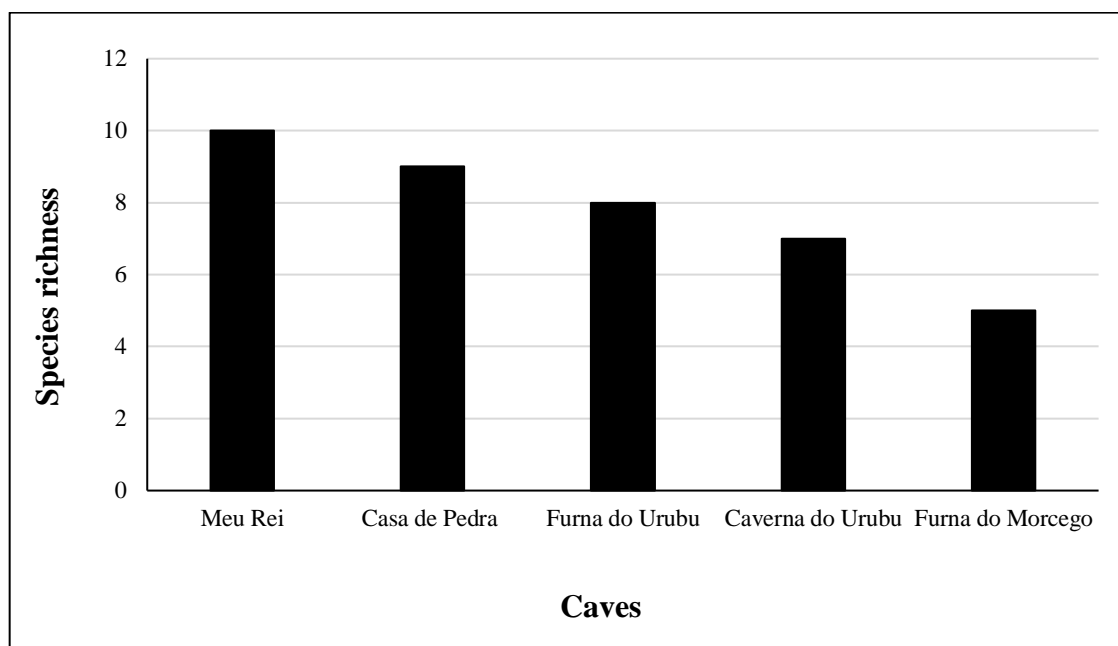
Foram observadas 17 espécies utilizando as *bat caves* estudadas: onze pertencentes a família Phyllostomidae, duas da família Emballonuridae, duas da família Mormoopidae, uma de Molossidae e uma da família Natalidae (Tabela 2). Dentre essas 17 espécies, quatro não puderam ser identificadas. As espécies estão agrupadas em cinco guildas: insetívora, frugívora, hematófaga, nectarívora-polinívora e onívora (Tabela 2). As cavernas que apresentaram maior riqueza foram a Meu Rei (PE) e a Casa de Pedra (SE), com 10 e 9 espécies, respectivamente. A Furna do Morcego foi a caverna que apresentou menor riqueza, com 5 espécies (Tabela 2; Figura 10).

Tabela 2 – Espécies registradas nas *bat caves* Meu Rei (MR) – PE, Furna do Morcego (FM) – PE, Casa de Pedra (CP) – SE, Caverna do Urubu (CU) – SE e Furna do Urubu (FN) – RN, no período de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020, com indicação das cavernas onde foram registradas. Tipo de registro das espécies: Observação (OBS) = observação direta *in loco*; Ecolocalização (ECO) = gravação de sinais de acústicos; Captura (CAP) = captura e soltura dos exemplares. Classificação segundo o uso da caverna: essencialmente cavernícola (EC), cavernícola oportunista (CO). Guilda alimentar = Insetívoro (Ins); Frugívoro (Fru); Hematófago (Hem); Nectarívoro-Polinívoro (Nec-Pol) e Onívoro (Oni). Células vazias = ausência de dados para a espécie.

Família/Subfamília	Espécie	Caverna	Tipo de Registro			Classificação	Guilda alimentar
			OBS	ECO	CAP		
EMBALLONURIDAE							
	<i>Peropteryx</i> spp.	FM; FU	x				Ins
	<i>Peropteryx</i> cf. <i>macrotis</i>	CU		x			Ins
MOLOSSIDAE							
	<i>Eumops</i> spp.	FU	x				Ins
MORMOOPIDAE							
	<i>Pteronotus gymnotus</i>	MR; FM; CP; CU; FU	x	x	x	EC	Ins
	<i>Pteronotus personatus</i>	MR; FM; CP; CU; FU	x	x	x	EC	Ins
NATALIDAE							
	<i>Natalus macrourus</i>	MR; CP	x	x	x	EC	Ins
PHYLLOSTOMIDAE							
Carolliinae	<i>Carollia perspicillata</i>	MR; FM; CP			x	CO	Fru
Demodontinae	<i>Desmodus rotundus</i>	MR; CP;CU;FU	x		x	CO	Hem
	<i>Diphylla ecaudata</i>	MR; FU	x		x	EC	Hem
Glossophaginae	<i>Anoura geoffroyi</i>	MR; CP	x		x	EC	Nec-Pol
	<i>Glossophaga soricina</i>	MR; CP; CU	x		x	CO	Nec-Pol
Lonchophyllinae	<i>Lonchophylla</i> sp.	FM	x		x		Nec-Pol
Lonchorhininae	<i>Lonchorhina aurita</i>	MR; CP; CU	x	x	x	EC	Ins
Phyllostominae	<i>Phyllostomus hastatus</i>	CP; CU	x		x	CO	Oni
	<i>Tonatia bidens</i>	MR	x		x	CO	Oni
Stenodermatinae	<i>Artibeus planirostris</i>	FU				CO	Fru
		FU	x				

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

Figura 10 – Riqueza de espécies nas cavernas amostradas entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020. Meu Rei (PE) – elevada riqueza (> 9 espécies); Casa de Pedra (SE), Furna do Urubu (RN) e Caverna do Urubu (SE) – alta riqueza (7-9 espécies); Furna do Morcego (PE) – média riqueza (4-6 espécies).

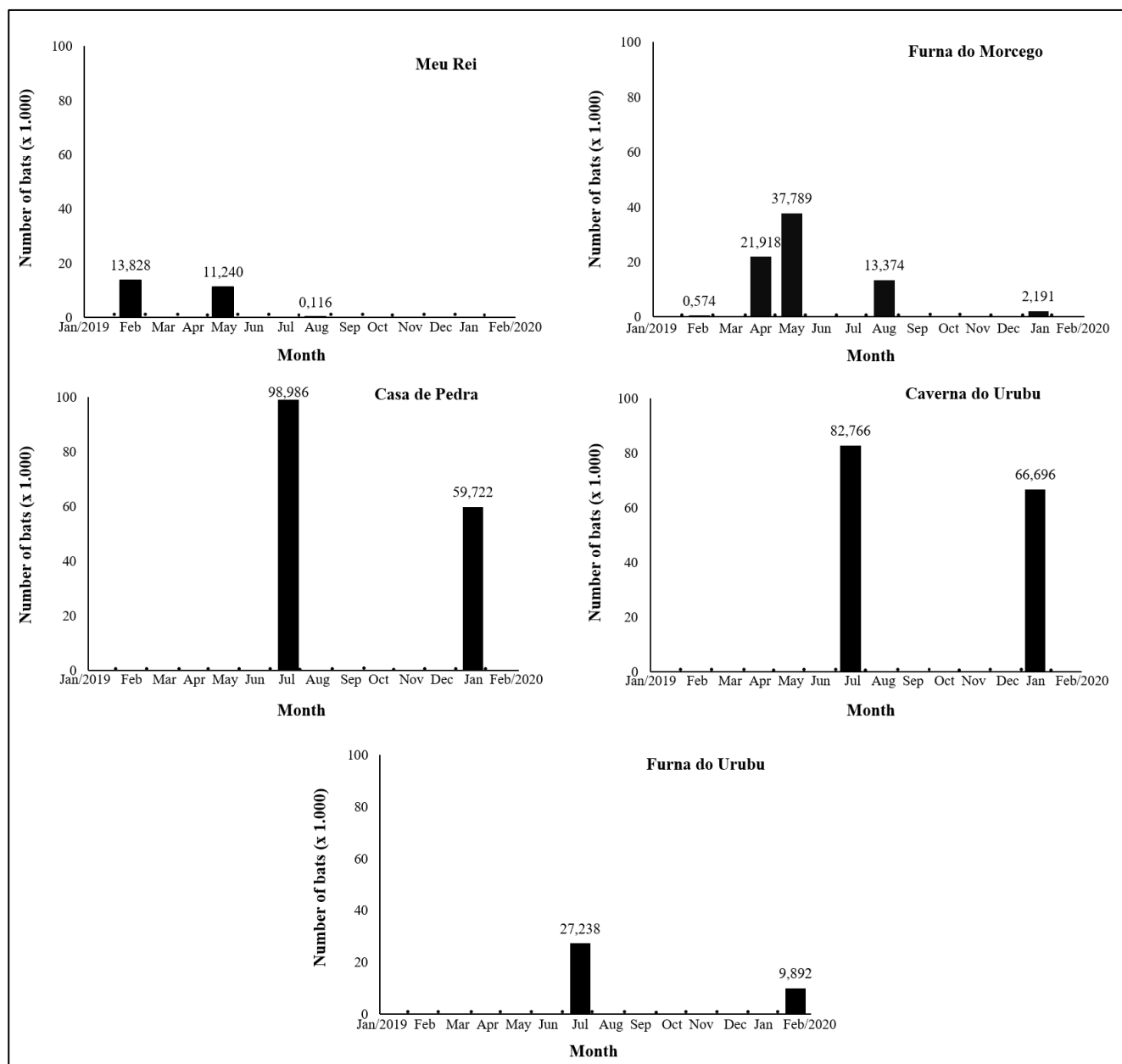


Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

3.3.2 Estimativa da abundância de morcegos

As contagens realizadas entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020 indicaram que a abundância de morcegos na caverna Meu Rei (PE) variou de 116 (agosto de 2019) a 13.828 morcegos (fevereiro de 2019), e na caverna Furna do Morcego (PE) de 574 (fevereiro de 2019) a 37.789 morcegos (maio de 2019) (Figura 11). As contagens na caverna Casa de Pedra (SE) foram de 98.986 morcegos, em julho de 2019 e de 59.722, em janeiro de 2020; na Caverna Urubu (SE) as contagens em julho de 2019 e janeiro de 2020, foram de 82.766 e 66.696 morcegos, respectivamente; e na Furna do Urubu (RN) as contagens foram de 27.238 morcegos em julho de 2019 e de 9.892 morcegos, em fevereiro de 2020 (Figura 11).

Figura 11 – Abundância de morcegos nas *bat caves* Meu Rei – PE, Furna do Morcego – PE, Casa de Pedra – SE, Caverna do Urubu – SE e Furna do Urubu – RN, entre fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020.

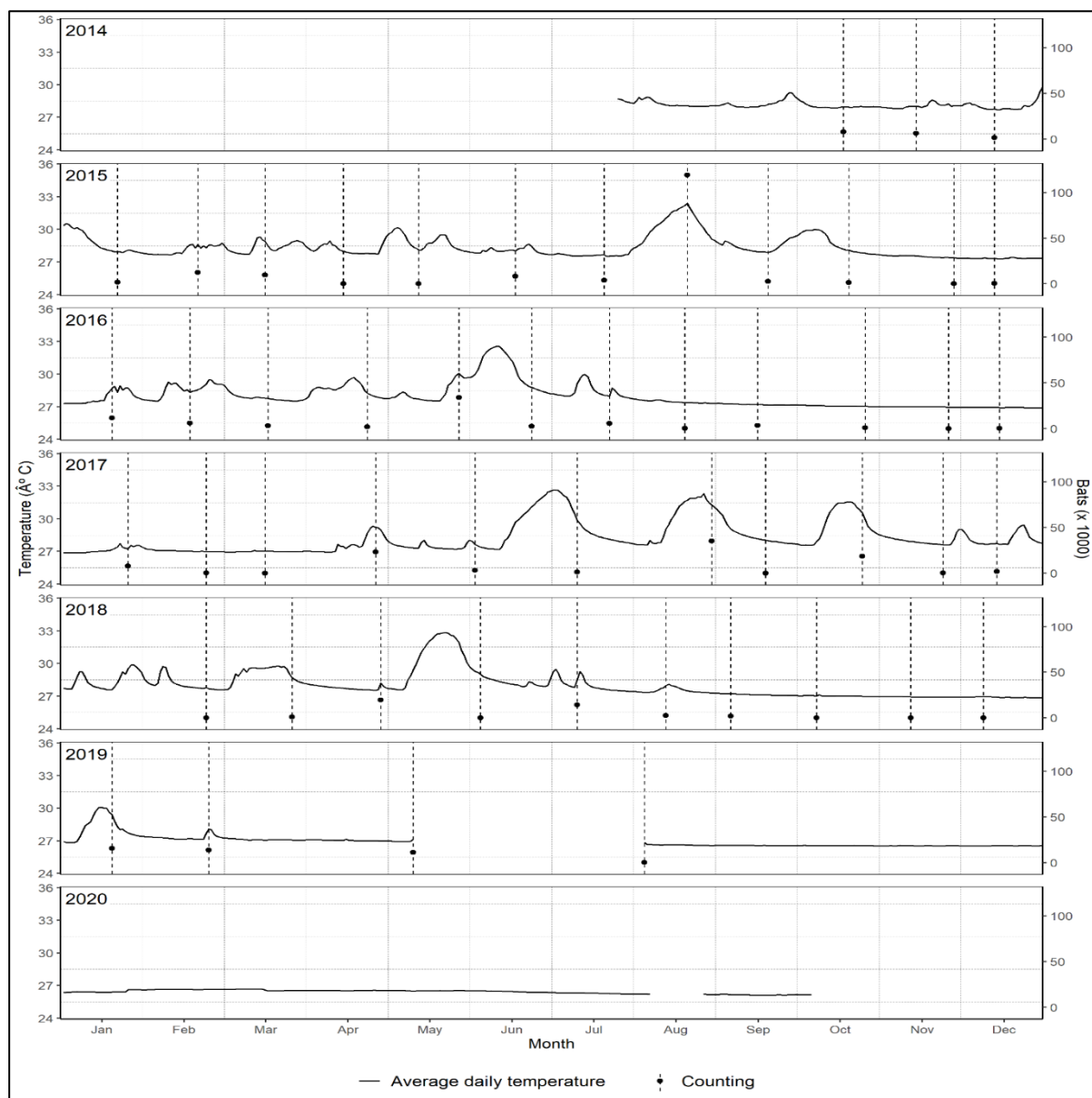


Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

3.3.3 Variação na temperatura das cavernas

Na caverna Meu Rei a temperatura variou de 26,47°C (em janeiro de 2020) até 33,76°C (em agosto de 2015), com média de 27,20°C e amplitude de 7,29°C (Figura 12). Com base nas medições realizadas, foi possível detectar ao menos oito picos de ocupação: dois entre agosto e novembro de 2015, um em junho de 2016, três em julho, agosto e outubro de 2017, um pico em maio de 2018 e um em janeiro de 2019 (Figura 12), indicando que esse abrigo apresentava alta densidade de morcegos nesses períodos.

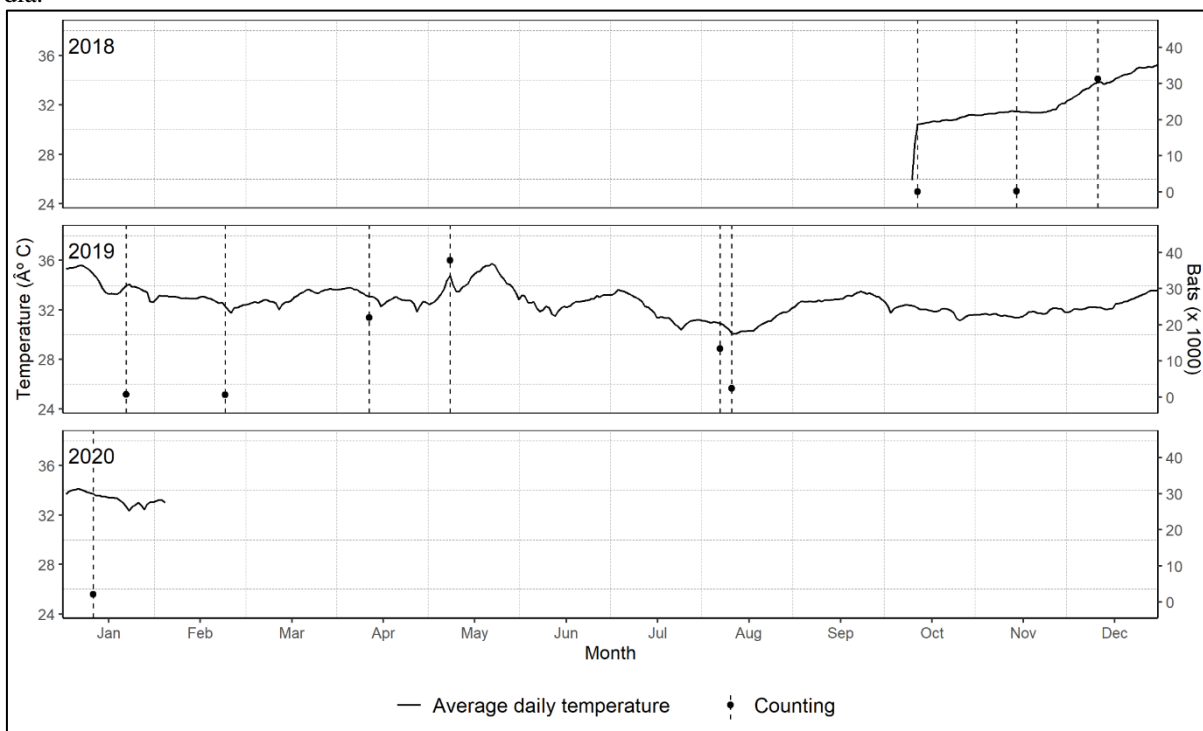
Figura 12 – Flutuações na temperatura da última câmara da caverna Meu Rei, no PARNA do Catimbau – PE, de julho de 2014 a outubro de 2020. As linhas verticais indicam as datas em que houve a contagem dos morcegos, e os pontos, a quantidade de morcegos contados em cada visita à caverna. Os registros indicam a média para cada dia. As interrupções nas linhas de temperatura indicam ausência de registros nos períodos.



Fonte: Elaborado por Jonathan Ramos Ribeiro e modificado por Narjara Pimentel (autora).

Na Furna do Morcego (PE) a temperatura variou de 30,03°C (em agosto de 2019) até 36,81°C (em maio de 2019), com média de 34,27°C e amplitude de 6,78°C (Figura 13). Com base nas medições realizadas, foi possível detectar ao menos três picos de ocupação: um em dezembro de 2018, um no início de janeiro de 2019 e o outro em maio do mesmo ano, coincidindo os dois últimos, com as maiores temperaturas registradas para a caverna (Figura 13), indicando que esse abrigo apresentava alta densidade de morcegos nesses períodos.

Figura 13 – Flutuações na temperatura interna da Furna do Morcego, na Reserva Indígena Kapinawá – PE, de outubro de 2018 a fevereiro de 2020. As linhas verticais indicam as datas em que houve a contagem dos morcegos, e os pontos, a quantidade de morcegos contados em cada visita à caverna. Os registros indicam a média para cada dia.



Fonte: Elaborado por Jonathan Ramos Ribeiro e modificado por Narjara Pimentel (autora).

3.3.4 Estimativas do consumo de insetos

Na Furna do Morcego (PE) só foram capturados espécimes de *P. gymnonotus*. Na primeira captura, em maio de 2019, 260 morcegos foram pesados ($n = 163$ saindo, e $n = 97$ retornando). O peso dos *P. gymnonotus* saindo da caverna variou de 9 a 16 g ($\bar{x} = 12,4$ g), enquanto o peso retornando à caverna variou de 11 a 20 g ($\bar{x} = 13,7$ g) (Tabela 3). Com base nas medianas das amostras, estimou-se que esses indivíduos consumiram aproximadamente 1,0 g de insetos por noite, o que equivale a 7% de seu peso corporal ($W = 3775,5$; $p < 0,001$) (Figura 14). Na segunda campanha, em outubro de 2019, 153 morcegos foram pesados ($n = 114$ saindo, e $n = 39$ retornando). O peso dos *P. gymnonotus* saindo da caverna variou de 10 a 14 g ($\bar{x} = 11,3$ g), enquanto o peso retornando à caverna variou de 12 a 15,5 g ($\bar{x} = 13,4$ g) (Tabela 3). Com base nas medianas das amostras, estimou-se que esses indivíduos consumiram aproximadamente 2,0 g de insetos por noite, o que equivale a 18% de seu peso corporal ($W = 255$; $p < 0,001$) (Figura 14).

Na caverna Casa de Pedra (SE), 316 morcegos foram pesados, sendo 159 saindo ($n = 25$ para *P. gymnonotus*, e $n = 134$ para *P. personatus*) e 157 retornando ($n = 24$ para *P.*

gymnonotus, e $n = 133$ para *P. personatus*). O peso dos *P. gymnonotus* saindo da caverna variou de 8 a 13 g ($\bar{x} = 11,7$ g), enquanto o peso retornando à caverna variou de 12 a 17 g ($\bar{x} = 14,5$ g). Para *P. personatus*, o peso saindo variou de 5 a 9 g ($\bar{x} = 7,3$ g) e o peso retornando à caverna variou de 7 a 11,5 g ($\bar{x} = 8,4$ g) (Tabela 3). Com base nas medianas das amostras para *P. gymnonotus*, estimou-se que esses indivíduos consumiram aproximadamente 2,5 g de insetos por noite, o que equivale a 20% de seu peso corporal ($W = 22.5$; $p < 0,001$) (Figura 14). Para *P. personatus*, estimou-se que os animais pesados consumiram aproximadamente 0,8 g de insetos por noite, equivalente a 10% de seu peso corporal ($W = 4280$; $p < 0,001$) (Figura 14).

Na Caverna do Urubu (SE) foram pesados 242 morcegos, sendo 89 saindo ($n = 23$ para *P. gymnonotus*, e $n = 66$ para *P. personatus*) e 153 retornando ($n = 23$ para *P. gymnonotus*, e $n = 130$ para *P. personatus*). O peso dos *P. gymnonotus* saindo da caverna variou de 10 a 13 g ($\bar{x} = 11,6$ g), enquanto o peso retornando à caverna variou de 11 a 14 g ($\bar{x} = 12,2$ g). Para *P. personatus*, o peso saindo variou de 6 a 10 g ($\bar{x} = 7,5$ g) e o peso retornando à caverna variou de 7 a 11 g ($\bar{x} = 8,7$ g) (Tabela 3). Apesar do valor de p ter sido significativo para essa amostra, não houve diferença expressiva nas medianas dos pesos de saída e entrada para *P. gymnonotus* ($W = 164$, $p = 0.02087$) (Figura 14). Ainda assim, com base nas medianas, a estimativa é que esses indivíduos consumiram cerca de 0,6 g de insetos por noite, equivalente a 5% de seu peso corporal (Figura 14). Para *P. personatus*, estimou-se um consumo aproximado de 1,2 g de insetos por noite, equivalente a 16% de seu peso corporal ($W = 1691.5$; $p < 0,001$) (Figura 14).

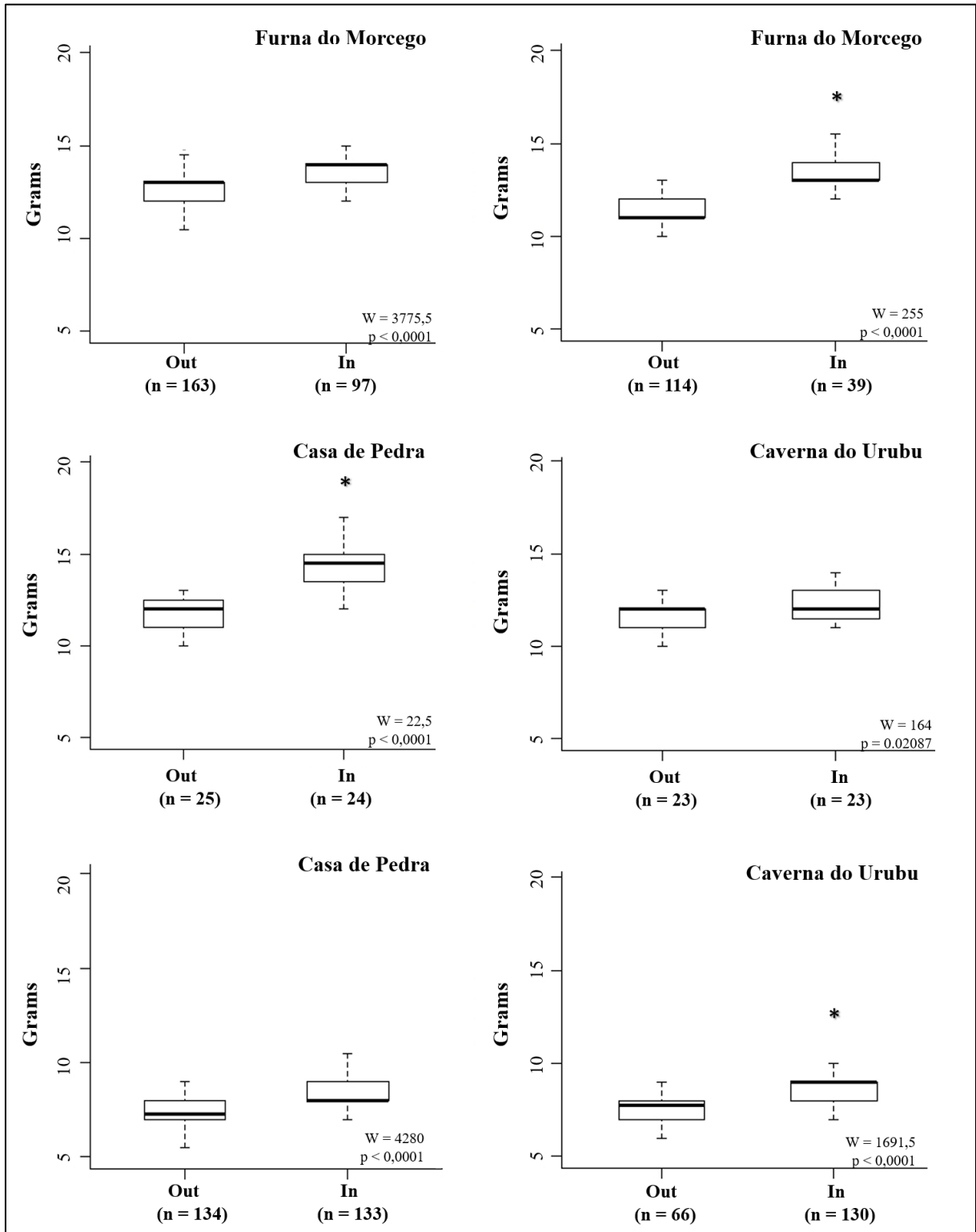
Não houve diferença significativa no tamanho corporal dos morcegos capturados saindo e retornando ao abrigo, para nenhuma das cavernas amostradas (Tabela 3), logo a variação no peso foi atribuída à alimentação.

Tabela 3 - Capturas de morcegos das espécies *P. gymnonotus* e *P. personatus*, para estimativa do consumo de insetos por noite na caverna Furna do Morcego (PE), em 09 de maio e 20 de outubro de 2019; na Casa de Pedra (SE), em 04 de fevereiro de 2020 e na Caverna do Urubu (SE), em 31 de janeiro de 2020. n (S) = número total de morcegos saindo; n (R) = número total de morcegos retornando; \bar{x} = peso médio dos morcegos (g.); \bar{x} AS = média do comprimento do antebraço dos morcegos saindo (mm); \bar{x} AR = média do comprimento do antebraço dos morcegos retornando (mm). Células vazias = ausência de dados para a espécie.

Caverna	Data	<i>Pteronotus gymnonotus</i>						<i>Pteronotus personatus</i>					
		n (S)	\bar{x} (g.)	\bar{x} AS (mm)	n (R)	\bar{x} (g.)	\bar{x} AR (mm)	n (S)	\bar{x} (g.)	\bar{x} AS (mm)	n (R)	\bar{x} (g.)	\bar{x} AR (mm)
Furna do Morcego	09/05/19	163	12,45	51,09	97	13,70	50,24						
Furna do Morcego	20/10/19	114	11,30	50,67	39	13,39	50,60						
Casa de Pedra	04/02/20	25	11,70	50,67	24	14,50	50,75	134	7,32	133	8,40	45,26	45,27
Caverna do Urubu	31/01/20	23	11,60	50,74	23	12,24	50,15	66	7,54	130	8,71	44,81	44,67

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

Figura 14 – *Boxplot* comparando o peso total dos indivíduos das espécies *Pteronotus gymnonotus* para as cavernas Furna do Morcego (PE), em maio e outubro de 2019; Casa de Pedra (SE), em fevereiro de 2019 e Caverna do Urubu (SE), em janeiro de 2019, e *Pteronotus personatus* (Casa de Pedra (SE), em fevereiro de 2019 e Caverna do Urubu (SE), em janeiro de 2019), saindo (*Out*) e retornando (*In*) para os abrigos na mesma noite, contendo a mediana e o desvio padrão das amostras. n = número total de indivíduos capturados. (*) Diferença significativa entre as medianas de saída (*Out*) e entrada (*In*).

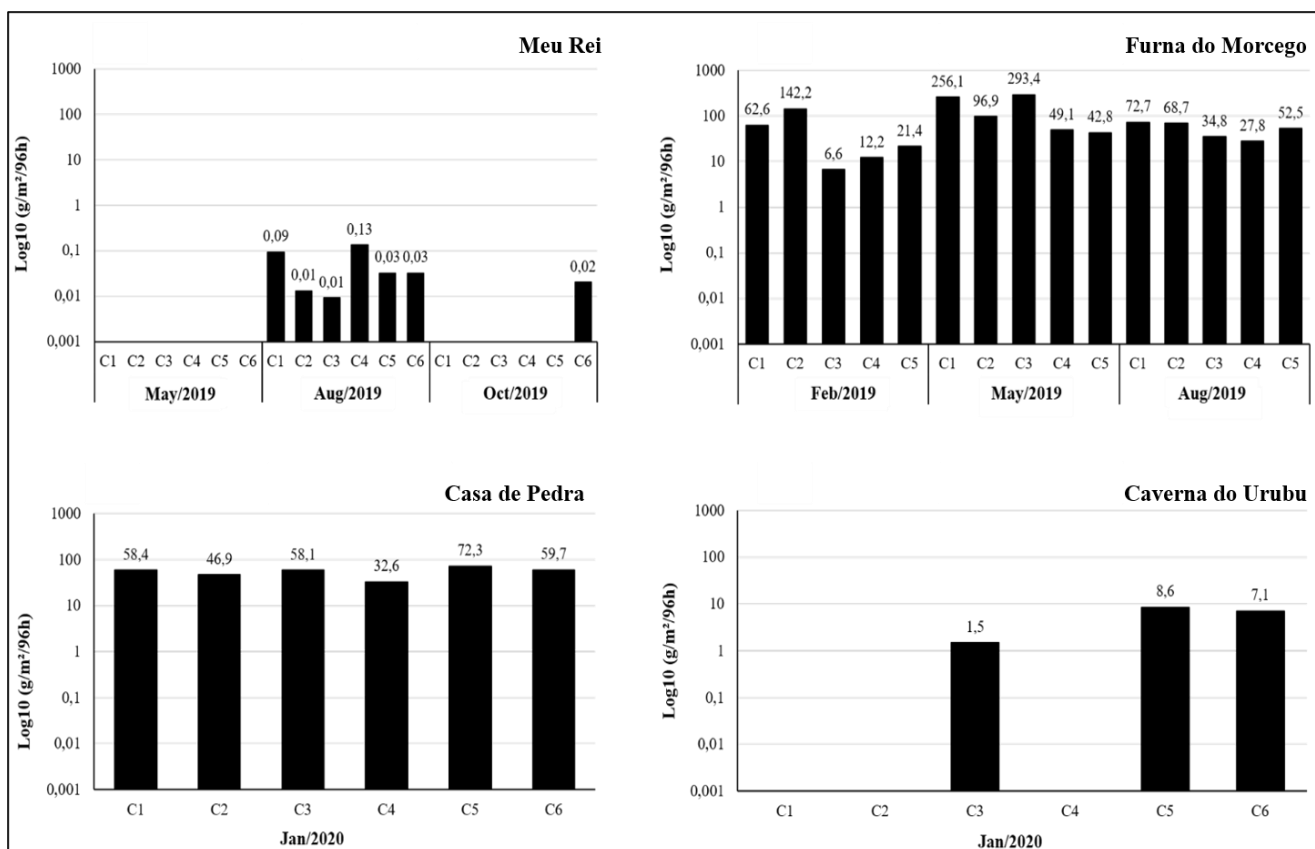


Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

3.3.5 Acúmulo de guano

A taxa de acumulação de guano nos coletores na caverna Meu Rei (PE) variou de 0 a 0,3 g/m²/96h (Figura 15). Na Furna do Morcego (PE), essa taxa variou de 245 a 738,3 g/m²/96h (Figura 15); na Casa de Pedra (SE), essa taxa foi de 328 g/m²/96h (Figura 15); na Caverna do Urubu (SE), a taxa foi de 17,2 g/m²/96h (Figura 15); e na Furna do Urubu (RN) não houve acúmulo de guano em 96h.

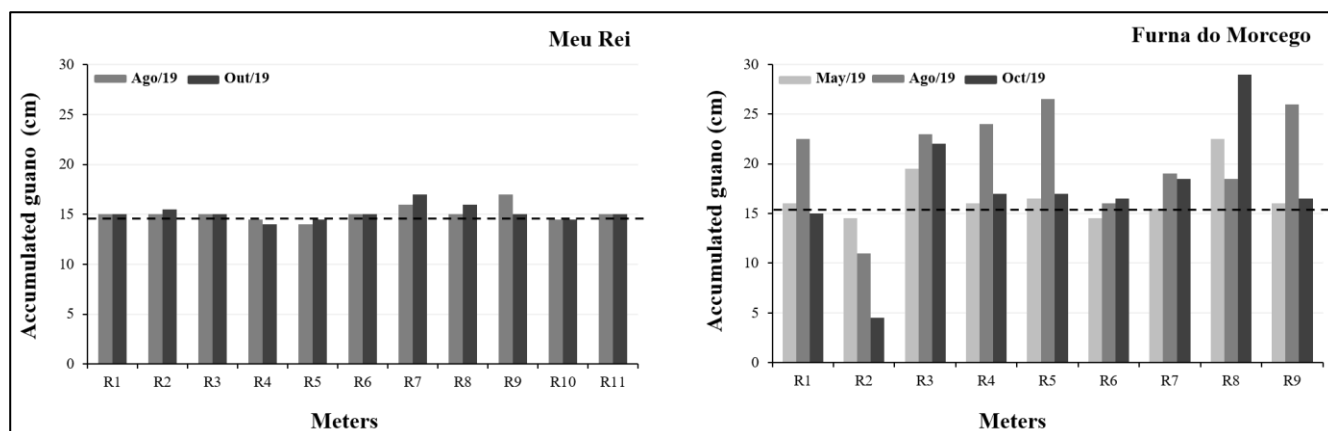
Figura 15 – Quantidade de guano acumulado e pesado *in loco* (em log₁₀ – g/m²/96h) por coletor, com seus respectivos rótulos. O eixo x representa o número de coletores instalados nas cavernas Meu Rei – PE, em maio, agosto e outubro de 2019; Furna do Morcego – PE, em fevereiro, maio e agosto de 2019; Casa de Pedra – SE, em janeiro de 2020; Caverna do Urubu – SE, em janeiro de 2020.



Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

As amostragens com os medidores graduados indicaram que houve pouca variação no nível do guano na caverna Meu Rei (PE): em três dos 11 medidores houve redução de 0,5 a 1 cm, enquanto em outros quatro medidores houve aumento de 0,5 a 2 cm (Figura 16). Nos 4 medidores restantes não houve variação. Na Furna do Morcego (PE), em 1 dos 9 medidores houve redução de 0,5 a 10,5 cm, enquanto em 8 dos 9 medidores houve aumento de 0,5 a 14 cm (Figura 16).

Figura 16 – Variação no volume do guano acumulado nas cavernas Meu Rei – PE e Furna do Morcego – PE entre fevereiro e maio de 2019, respectivamente a outubro de 2019. O eixo x representa o número de medidores graduados instalados em cada caverna. Medidores graduados em cm. A linha pontilhada delimita a graduação em que os medidores foram instalados.



Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

3.3.6 Estimativas do volume de guano em setores das cavernas

O volume de guano na área medida na Casa de Pedra (SE) foi de 18,85 m³ e a profundidade variou de 6,5 a > 150 cm, em 33 pontos medidos ($\bar{x} = 57,11 \pm 48,17$) (Tabela 4). Na Furna do Urubu (RN), o volume da área medida foi de 33,74 m³ e a profundidade variou de 4,5 a > 150 cm, em 29 pontos medidos ($\bar{x} = 116,34 \pm 44,46$) (Tabela 4). Na Caverna do Urubu (SE), esse volume foi de 18,91 m³, variando de 11 a > 150 cm de profundidade, em 25 pontos medidos na área 1 ($\bar{x} = 75,62 \pm 31,68$) e de 8,99 m³, variando de 34,5 a > 150 cm de profundidade, em 12 pontos medidos na área 2 ($\bar{x} = 74,9; \pm 40,00$) (Tabela 4).

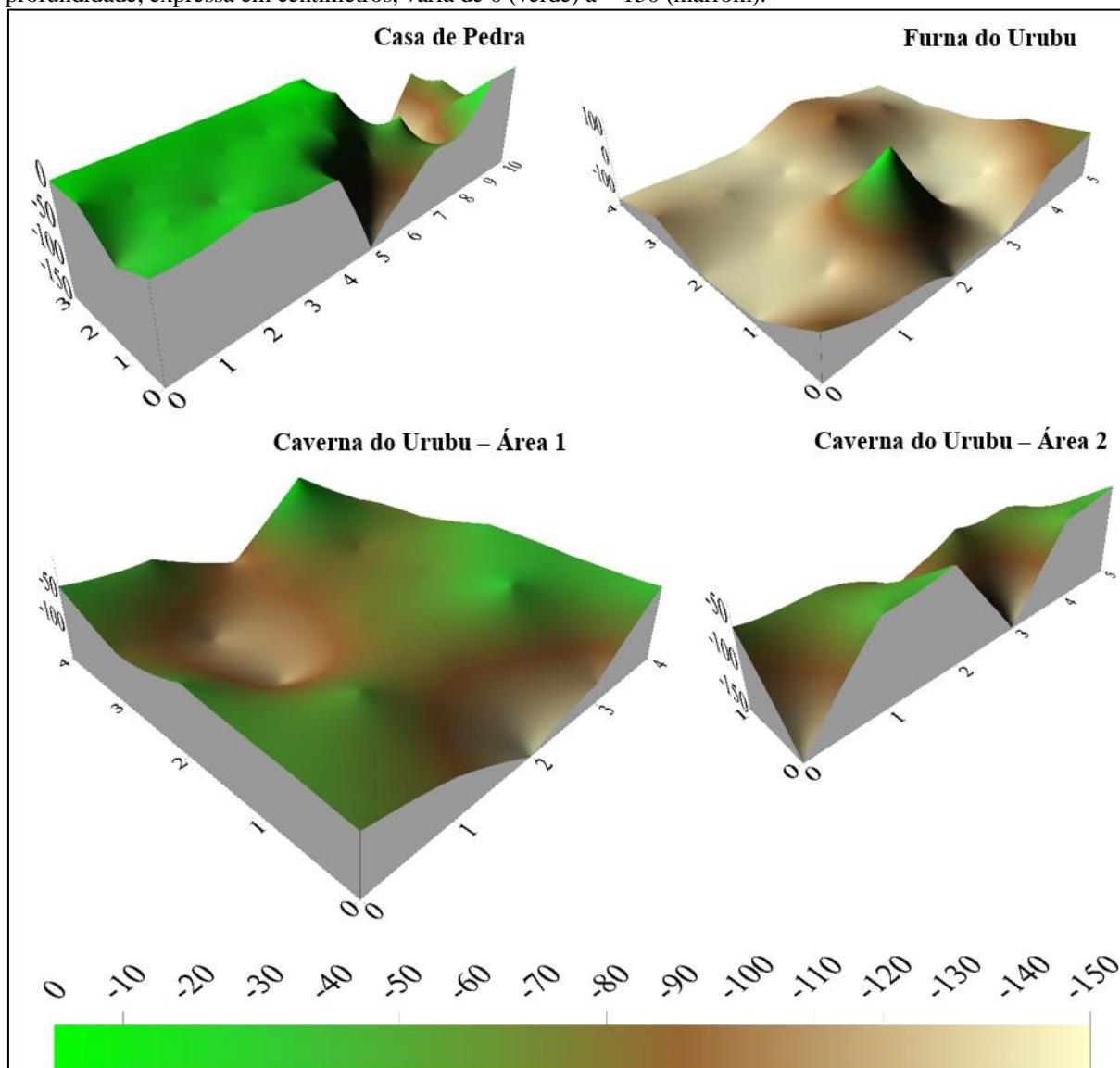
O coeficiente de variação foi alto para todas as cavernas amostradas (Tabela 4), o que indica que existe uma alta variabilidade dos dados ao longo do espaço (Figura 17). Os dados obtidos apresentaram normalidade, que pôde ser confirmada também pela proximidade dos valores obtidos na média e mediana (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise descritiva das variáveis de profundidade das áreas de medição no pacote de guano e índice de conforto. Mín = mínimo; Máx. = máximo; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; A = assimetria; C = curtose; Ks = teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; **Significativo a 1% de probabilidade.

Caverna	Medições									
	Vol. (m ³)	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	A	C	Ks
Casa de Pedra	18,85	57,11	42,00	6,50	150,00	48,17	84,35	0,90	-0,50	0,195**
Furna do Urubu	33,74	116,34	137,00	4,50	150,00	44,46	38,22	-1,24	0,29	0,225**
Caverna do Urubu ¹	18,91	75,62	75,00	11,00	150,00	31,68	41,89	0,37	0,14	0,097**
Caverna do Urubu ²	8,99	74,90	60,30	34,50	150,00	40,00	53,39	1,17	0,30	0,303**

Fonte: Elaborado por Marcos Vinícius da Silva e modificado por Narjara Pimentel (autora).

Figura 17 – Gráfico de superfície da variação na profundidade do guano acumulado nas áreas medidas, para as cavernas Casa de Pedra (SE) – em janeiro de 2020, Furna do Urubu (RN) – em fevereiro de 2020 e Caverna do Urubu (SE) – em janeiro de 2020. O eixo x e y representam a área medida e o eixo z a profundidade. A escala de profundidade, expressa em centímetros, varia de 0 (verde) a – 150 (marrom).



Fonte: Elaborado por Marcos Vinícius da Silva.

A Tabela 5 mostra a geoestatística das variáveis de profundidade das áreas de medição no pacote de guano e índice de conforto para validação dos dados. Os modelos dos semivariogramas ajustados automaticamente pelo programa foi gaussiano para as cavernas Casa de Pedra (SE) e Furna do Urubu (RN), exponencial para a área 1 da Caverna do Urubu (SE), e esférico para a área 2 da Caverna do Urubu (SE). Todos os modelos gerados foram validados, de acordo com o método *Jackknife*, uma vez que apresentaram desvio padrão próximo a 1,0 e média próxima a 0 (Tabela 4). O grau de dependência espacial (GDE) da amostragem entre os pontos foi forte para todas as cavernas desse estudo (Tabela 5).

Tabela 5 - Modelo de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis de profundidade das áreas de medição no pacote de guano e índice de conforto. C0 = efeito pepita; C0+C = patamar; a = patamar (cm); R2 = coeficiente de determinação; C0/(C0+C) = razão do efeito pepita com patamar (GDE) (%); GDE = grau de dependência espacial – Ft (Forte); DP = desvio padrão.

Caverna	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a	R ²	C ₀ (C ₀ +C)	GDE	Jackknife	
								Média	DP
Casa de Pedra	Gaussiano	918,000	3946,000	7,950	0,943	23,264	Ft	0,001	0,987
Furna do Urubu	Gaussiano	143,000	2035,000	1,697	0,985	7,027	Ft	0,063	1,149
Urubu Área 1	Exponencial	91,000	1036,000	1,590	0,964	8,783	Ft	-0,020	1,025
Urubu Área 2	Esférico	24,000	1620,000	1,150	0,000	1,481	Ft	-0,030	1,205

Fonte: Elaborado por Marcos Vinícius da Silva.

3.4 DISCUSSÃO

Esse estudo mostrou que a abundância de morcegos em cinco *bat caves* amostradas no Nordeste do Brasil varia bastante inter- e intracavernas, indicando abrigos com alto dinamismo de ocupação. Variações também foram observadas na quantidade de insetos ingeridos pelos morcegos por noite, o que resulta em um aporte de guano espacial e temporalmente heterogêneos nas cavernas. Ainda assim, todas as cavernas amostradas continham depósitos de guano volumosos em seus interiores, confirmando e reforçando o papel dos morcegos como agentes de aporte de energia – na forma de guano – nesses ambientes. Nossos resultados apontaram ainda que as variações na temperatura da caverna são influenciadas pela quantidade de morcegos em seu interior, permitindo que o monitoramento da temperatura seja usado na reconstrução de padrões de uso dos abrigos pelos morcegos.

3.4.1 Abundância de morcegos

Os morcegos cavernícolas são frequentemente considerados fiéis aos seus abrigos, porém, uma colônia pode se alternar na utilização desses abrigos (ALTRINGHAM, 1996). Em determinados casos, a movimentação entre abrigos pode provocar variações acentuadas no tamanho da população em diferentes períodos (GAISLER; CHYTIL, 2002; SILVA *et al.*, 2009; AYALA TÉLLES *et al.*, 2018; STEPANIAN; WAINWRIGHT, 2018). Essas flutuações acentuadas reforçam o caráter dinâmico de alguns abrigos, o que é corroborado pelos dados deste estudo. Nossas contagens e dados recuperados de anos anteriores para a caverna Meu Rei mostraram, por exemplo, grandes flutuações nas populações, com variações de até 1.025 vezes no número de morcegos no interior da caverna: 116 morcegos em agosto de 2019, e 118.946 morcegos em agosto de 2015 (Figura 11; Apêndice G).

Para as cavernas aqui estudadas, as variações na abundância estão relacionadas à presença de colônias de *P. gymnonotus* e *P. personatus*. Ambas as espécies são conhecidas por formarem grandes congregações (BREDT *et al.*, 1999; SBRAGIA; CARDOSO, 2008; ROCHA *et al.*, 2011; TAVARES *et al.*, 2012; FEIJÓ; ROCHA, 2017; DELEVA; CHAVERRI, 2018; VARGAS-MENA *et al.*, 2018). As flutuações observadas possivelmente têm relação com os períodos reprodutivos (TORRES-FLORES *et al.*, 2012), uma vez que machos e fêmeas podem fazer usos diferentes dos abrigos nesses períodos (MARINKELLE; CADENA, 1972), e as fêmeas reprodutoras podem formar colônias de maternidade, conferindo agregações temporárias para dar à luz, amamentar e desmamar seus filhotes (KUNZ, 1982; DELEVA; CHAVERRI, 2018; PAVAN; TAVARES, 2020). Esses ambientes subterrâneos contêm uma variedade de microhabitats que fornecem condições favoráveis para o estabelecimento de diversas espécies na época reprodutiva (ALTRINGHAM, 1996; LAUSEN; BARCLAY, 2003), como microclimas quentes que podem ser especialmente importantes para a sobrevivência, reprodução e crescimento da prole (TUTTLE, 1976; MCCARTY; WINKLER, 1999; WILCOX; WILLIS, 2016). Visto que as demandas energéticas das fêmeas são elevadas durante a gestação e lactação (KURTA, *et al.*, 1989), a escolha de abrigos que permitam o agrupamento dos morcegos e consequente economia energética de termorregulação (TRUNE; SLOBODCHIKOFF, 1976; CRYAN; WOLF, 2003) pode ser um dos mecanismos mais eficientes para minimizar os custos do investimento na reprodução (ZAHN, 1999). E o calor irradiado por essa alta densidade de fêmeas no abrigo durante a época reprodutiva, pode alterar o microclima da caverna e elevar a temperatura da cavidade (Figuras 12 e 13) em até 10°C (ALTRINGHAM, 1996), tornando essas cavernas *hot caves* (VIZOTTO *et al.*, 1980; RODRÍGUES-DURÁN, 2009; LADLE *et al.*, 2012). Embora durante o presente estudo só tenha sido observada colônia de maternidade na caverna Casa de Pedra (SE), em janeiro de 2020 – para *Pteronotus* e *L. aurita* – isso não indica a ausência de atividade reprodutiva nas demais cavernas, que podem estar sendo utilizadas para cópulas, o que também explicaria a flutuação observada no tamanho dessas populações (MARINKELLE; CADENA, 1972; TORRES-FLORES *et al.*, 2012; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019; PAVAN; TAVARES, 2020).

Além de uma possível associação com fatores reprodutivos, alguns autores discutem as flutuações de populações como resposta positiva à disponibilidade de alimento e às variações de temperatura e pluviosidade do meio externo (HRISTOV *et al.*, 2010; TORRES-FLORES *et al.*, 2012; ROCHA; BICHUETTE, 2016). A disponibilidade de recursos alimentares é comumente regulada por padrões climáticos, tendendo a ser maior no período mais úmido

(BARBOSA *et al.*, 2003), e pode ser um fator determinante para a migração e re/estabelecimento de uma colônia. Estudos conduzidos em algumas localidades na Caatinga indicam a incidência do padrão chuvoso na dinâmica da população de insetos, onde várias ordens como Coleoptera, Hymenoptera e Lepidoptera foram mais abundantes durante o período chuvoso (GUSMÃO; CREÃO-DUARTE, 2004; VASCONCELLOS *et al.*, 2010; NOBRE *et al.*, 2012), podendo favorecer uma sincronidade na ocupação de diversos abrigos subterrâneos. Embora o presente estudo não tenha analisado possíveis relações das variações populacionais com tais fatores, as maiores contagens para as cavernas estudadas (Figura 11) ocorreram no período de baixa pluviosidade, principalmente para as cavernas Meu Rei e Furna do Morcego. A ausência de correlação entre pluviosidade e a abundância de morcegos na Caverna Meu Rei já foi previamente apontada (OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). Dessa forma, a proposta de associação das flutuações observadas com fatores reprodutivos parece mais plausível.

3.4.2 Temperatura das cavernas, *bat caves* e *hot caves*

Cavernas de forma geral são locais que podem ser caracterizados como um ambiente de elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, e temperatura e umidade constantes (POULSON; WHITE, 1969; CULVER, 1982), em comparação com o ambiente externo. Essa estabilidade é desejável para um abrigo em potencial, pois suas características microclimáticas são muitas vezes importantes para a seleção pelas espécies (KUNZ, 1982; GUNN, 2003; ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004).

Diferentes espécies de morcegos têm requisitos ecológicos e fisiológicos específicos, que podem ser afetados pela temperatura e umidade (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004; FUREY; RACEY, 2015), e, portanto, as condições do abrigo e seus arredores podem influenciar a presença de uma determinada espécie (RODRÍGUEZ-DURAN; SOTO-CENTENO 2003; ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004; BU *et al.*, 2014). As temperaturas mais altas, no entanto, podem atuar como um fator limitante para o estabelecimento de espécies específicas (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004). A quantidade de entradas, a estrutura e a distribuição destas entradas entre a caverna e o meio externo pode influenciar no microclima interno (SIMÕES *et al.*, 2015) e favorecer a permanência das populações (ARITA, 1996). Esses fatores são também relacionados à projeção horizontal da caverna e, normalmente, a maior estabilidade ambiental é observada em cavernas com uma maior projeção horizontal e entradas com dimensões reduzidas (FERREIRA, 2004; BARROS *et al.*, 2020). Barros *et al.* (2020)

demonstraram em estudo realizado em cavernas localizadas no Estado do Tocantins, que abrigos com maior desenvolvimento e que apresentam maior variação espacial e maior abundância em microhábitats – porém, mais estáveis do que o ambiente externo – podem suportar um número maior de espécies. Considerando os aspectos de tamanho e características da entrada, as cavernas aqui estudadas têm potencial para apresentar alta estabilidade (BARROS – dados não publicados), levando em consideração que quatro das cinco cavernas apresentam projeção horizontal superior a 150 metros e uma única entrada, sendo exceções, a Furna do Morcego (PE) com projeção horizontal inferior a 45 m e a Caverna do Urubu (SE) com três entradas. Além disso, as características das cavernas – tamanho, temperatura, umidade e índice de estabilidade – e a diversidade de microhábitats contribuem para aumentar a riqueza de morcegos nesses abrigos (BRUNET; MEDELLÍN, 2001; ALLEN *et al.*, 2009; LUO *et al.*, 2013; GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; PHELPS *et al.*, 2016; WIJAYANTI; MARYANTO, 2017; BARROS *et al.*, 2020). De fato, a riqueza das cavernas aqui constatada variou de média a elevada riqueza (Figura 10).

Bat caves e/ou *hot caves* da região Neotropical são consideradas abrigos climaticamente estáveis, podendo se destacar de outras cavidades por sua elevada temperatura (DE LA CRUZ, 1992). Cavernas desse tipo são relatadas no México (DALQUEST; HALL, 1949), Cuba (TEJEDOR *et al.*, 2005), Venezuela (DE LA CRUZ, 1992) e na região do Caribe (RIVERA-MARCHAND; RODRÍGUEZ-DURÁN, 2001; TEJEDOR *et al.*, 2005). Recentemente, sua existência foi apontada para o Brasil por LADLE *et al.* (2012), e estudos têm confirmado tais cavernas no nordeste do país (ROCHA *et al.*, 2011; FEIJÓ; ROCHA, 2017; VARGAS-MENA *et al.*, 2018; OTÁLORA-ARDILA *et al.*, 2019). A elevada temperatura nessas cavernas normalmente é conferida pelo alto número de morcegos em seu interior. Normalmente as taxas metabólicas basais são baixas. Na caverna Cucaracha, em Porto Rico, *Mormoops blainvillei*, *Pteronotus quadridens* e *Monophyllus redmani* selecionam a parte mais quente, com temperatura ambiente próxima a 35°C, onde os indivíduos se aproximam da termoneutralidade (RODRIGUEZ-DURÁN; LEWIS, 1987; RODRIGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; RODRIGUEZ-DURÁN, 2009; LADLE *et al.*, 2012).

Tendo em vista essas modificações na temperatura da caverna ocasionadas pela presença de grandes populações de morcegos, a temperatura é um *proxy* útil para entender a intensidade de uso desses abrigos, podendo inclusive ser uma boa ferramenta para estimar os períodos de maior volume de indivíduos em seu interior e estabelecer possíveis padrões sazonais. O monitoramento térmico que vem sendo realizado nas cavernas Meu Rei e Furna do Morcego tem permitido resgatar e reconstruir a assinatura térmica para essas cavernas (Figuras

12 e 13). Baseado em grandes oscilações da temperatura interna, ao menos oito e três picos de ocupação, respectivamente, puderam ser observados para essas cavernas durante o monitoramento. Um desses picos, para a caverna Meu Rei, coincidiu com as amostragens realizadas e, de fato, a maior temperatura registrada ocorreu simultaneamente com a maior contagem para essa caverna (Figura 12). Para a Furna do Morcego, os picos de temperatura não dispõem de contagens simultâneas (Figura 13), o que pode indicar que a contagem máxima de ~71.000 morcegos em julho de 2017, pode não representar o máximo da população utilizando essa caverna. Assim, na ausência de estimativas populacionais regulares e fidedignas, o monitoramento da temperatura de uma *bat cave* e/ou *hot cave* pode ser utilizado como um indicativo de como a população dessa caverna pode variar e estabelecer possíveis períodos de prevalência dessas grandes populações.

Nesse sentido, cavernas – especialmente as *bat caves* – apresentam-se como importantes locais para monitoramento, uma vez que constituem locais com características bastante distintas e ainda com lacunas de informação. Portanto, todos os processos que ocorrem nas *bat caves*, principalmente relacionados às grandes oscilações nas populações de morcegos – e que podem alterar todo o ecossistema subterrâneo – precisam ser consideradas para fins de consultoria ambiental. Mais além, estudos de impacto ambiental se realizados em um único período ou de formas irregulares, não irão mostrar um panorama completo do quão dinâmico são esses ambientes. Diante dessas constatações, o monitoramento contínuo e de longo prazo das flutuações populacionais de morcegos em caverna no Brasil deveria ser obrigatório nas avaliações de impacto ambiental.

3.4.3 Morcegos insetívoros e sua contribuição ao ambiente externo e cavernícola

3.4.3.1 Consumo de insetos

A grande diversidade de hábitos alimentares presente na ordem Chiroptera é uma característica de destaque dentro do grupo (REIS *et al.*, 2007). Dentre essa diversidade, estão a predação e o controle da população de insetos em regiões tropicais (FLEMING, 1982), podendo incluir vetores e pragas agrícolas (REISKIND; WUND, 2009; BOYLES *et al.*, 2011; JORDÃO, 2019; ROCHA, 2019). Os morcegos insetívoros podem consumir centenas de insetos por hora (TUTTLE, 1988). Whitaker (1995) conduziu um estudo nos Estados Unidos, onde ele estimou que uma colônia com 150 morcegos da espécie *Eptesicus fuscus*, pertencente à família Vespertilionidae, poderia comer quase 1,3 milhões de insetos/ano. Nessa estimativa podem ser

incluídos aproximadamente 600.000 besouros, 158.000 gafanhotos e 335.000 percevejos, todos considerados pragas agrícolas na região (WHITAKER, 1995). Em uma análise do estudo acima, Boyles *et al.* (2011) estimaram que um único indivíduo de *E. fuscus* pode consumir de 4 a 8 g de insetos cada noite durante os períodos de maior abundância.

As cavernas amostradas no Nordeste do Brasil concentram grandes colônias de morcegos insetívoros (*P. gymnonotus* e *P. personatus*), além de colônias bem menores, em comparação com a primeira, de *Eumops* sp., *L. aurita*, *N. macrourus* e *Peropteryx* sp., todas insetívoras. Embora o número de indivíduos de *Pteronotus* capturados por caverna tenha variado, nossas análises indicaram que houve diferença no peso de saída e retorno, com um consumo de 1,0 a 2,5 g de insetos por noite, equivalente a 20% da massa corporal de *Pteronotus gymnonotus*, e um consumo de 1,0 g de insetos/noite para *Pteronotus personatus*, o que equivale a um aumento da massa corporal de até 16% (Figura 14). Assim, colônias numerosas como as estudadas podem consumir uma grande quantidade de insetos por noite, contribuindo para um importante controle dessas populações. Identificar e quantificar esses possíveis serviços ambientais estão entre as prioridades para a conservação de morcegos no Brasil (BERNARD *et al.*, 2012), uma vez que tais dados podem ter importância em ações de conservação, valoração dos serviços ambientais prestados pelos morcegos, e de educação ambiental.

3.4.3.2 Aporte de guano para as *bat caves* pelos morcegos

Principalmente nos trópicos e em regiões com alta biomassa de insetos, os insetívoros aéreos, como Mormoopídeos (e.g., *Pteronotus* spp.) podem ser extremamente abundantes (TRAJANO, 2019) e se agruparem em grandes colônias nas cavernas ao longo do ano, e seus excrementos constituírem constantes fontes de nutrientes para esses ambientes (ZAGMAJSTER, 2019). Portanto, além da prestação de serviços ambientais fora da caverna, os morcegos atuam como importadores de energia do meio externo, sendo muitas vezes os principais responsáveis pelo fluxo energético em cavernas – especialmente naquelas onde não há aporte de nutrientes por outras vias, como enxurradas, rios subterrâneos e aporte por gravidade (FERREIRA; MARTINS, 1999; FERREIRA *et al.*, 2000a).

Um fator intrínseco às *bat caves* é que o guano pode formar extensos depósitos (GNASPINI-NETTO, 1989; HERRERA, 1995; FERREIRA; MARTINS, 1998; FERREIRA *et al.*, 2000a; FERREIRA *et al.*, 2000b). Esses depósitos variam em quantidade, distribuição e velocidade de acumulação, entre e inter-cavernas (Figuras 15, 16 e 17; Tabela 4). Tudo isso

está diretamente ligado ao tamanho das colônias de morcego (ZILER; YANCEY, 2019), como demonstramos aqui. Estima-se, por exemplo, que durante o verão, os 20 milhões de morcegos mexicanos de cauda livre (*Tadarida brasiliensis*) depositem cerca de 50.000 kg de guano por ano na *Bracken Cave*, Texas (ISKALI; ZHANG, 2015).

A Furna do Morcego (PE), amostrada em períodos diferentes, apresentou uma variação de até três vezes no volume máximo de guano acumulado. Quando comparados com as demais cavernas amostradas, e considerando o mesmo período amostral de 96 horas, os valores de acumulação de guano obtidos na Furna do Morcego foram até 42 vezes maiores (Figura 15). Considerando a extensão das cavernas e as possibilidades de um acúmulo ainda maior quando a caverna abriga as maiores populações, percebe-se que o volume de insetos retirados pelos morcegos que habitam estas cavernas pode ser ainda maior, reforçando o papel que esses animais têm no controle de populações de insetos. Medidores graduados como os que utilizamos na Meu Rei (PE) e na Furna do Morcego (PE) também podem ser indicadores da velocidade com que esse guano está sendo depositado. Além disso, eles também podem indicar as áreas de preferência dos morcegos dentro da caverna (Figura 16; Apêndices B e C). Considerando que relativamente pouco se sabe sobre o acúmulo de guano nas cavernas do Brasil (e.g. GUIMARÃES; FERREIRA, 2014) e da região Neotropical, desenvolver estudos que monitorem essa taxa de acumulação pode trazer informações se a entrada de guano na caverna tem alguma relação com a variação sazonal, e a que velocidade e em que quantidade esse guano está sendo depositado, por exemplo.

A metodologia aplicada para estimar a profundidade dos pacotes de guano depositados nas *bat caves* amostradas não foi a ideal, pois não permitia a correta identificação da profundidade máxima dos depósitos de guano. Nesse sentido, indica-se a utilização de amostras (*cores*), por exemplo, que permitam distinguir facilmente as camadas de guano e de sedimento, e a aplicação de um fator de correção nos dados obtidos devido à compactação do material. Portanto, deixamos indicado nesse estudo, com os modelos em 3D (Figura 17), apenas estimativas da profundidade de guano. Estudos acerca desses pacotes de guano presentes nas cavernas são importantes, pois pode haver uma relação direta entre o guano e os depósitos químicos. A caverna Furna do Urubu (RN), por exemplo, que apresentou potencial para depósitos de guano bastante profundos em relação à demais cavernas amostradas, tem esses depósitos apontados na literatura datando de 2.640 anos BP – antes do presente (UTIDA, 2016). Essa mesma estratigrafia foi comparada com datações de uma estalagmite formada nessa caverna, demonstrando importante correlação entre os depósitos de guano e os depósitos químicos na mesma área (UTIDA, 2016).

3.4.3.3 Conhecendo outros processos que ocorrem nas *bat caves*, envolvendo morcegos e o guano

Embora o presente estudo não tenha levado em consideração nenhuma análise acerca dos elementos químicos presentes no guano e sua distribuição, bem como as implicações decorrentes da decomposição desse guano para as *bat caves*, estudos recentes voltados para a química e a morfogênese em cavernas têm trazido novas perspectivas acerca do papel do guano apenas como recursos-chave para a sustentação de comunidades cavernícolas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017). Os ácidos produzidos no processo de decomposição do guano (e.g., sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3), fosfórico (H_3PO_4) e carbônico (H_2CO_3)) (ARROYO *et al.*, 1997; WENDEL, 2015), em conjunto com atividades microbianas, têm sido apontados como causadores do desenvolvimento de formas de corrosão nas *bat caves*, conhecidas como *speleogens*. Essas corrosões podem promover a ampliação das cavernas por ação biogênica (e.g., buracos circulares nos pisos, *guano noches* nas paredes, caneluras de paredes – *flutes*, canais de escoamento nos pisos, pináculos nos pisos, *bell holes* nos tetos) (WENDEL, 2015). Algumas dessas estruturas são apontadas por BARROS *et al.* (2020) como pontos de preferências de certas espécies de morcegos devido às suas características microclimáticas.

Adicionalmente à decomposição do guano na modelagem das cavernas, têm-se indicações de que a própria presença dos morcegos em colônias numerosas também proporcionam alterações importantes nesse ambiente. Quando dezenas de milhares de morcegos se empoleiram em uma caverna, exalam ar quente e úmido cerca de 18 horas por dia, e o teto e as paredes da caverna sofrem uma erosão adicional (WENDEL, 2015). Uma estrutura cuja formação é reportada a partir desse processo são as *apse flutes* – tubos longos e verticais que se formam no teto independentemente da geologia da caverna, uma vez que podem ser encontradas em cavernas onde não há fonte significativa de água (WENDEL, 2015), indicando processos biológicos. Estrutura desse tipo e bastante desenvolvida pode ser observada na Furna do Morcego, em Pernambuco, no salão onde as colônias de *Pteronotus* se concentram (Apêndice J).

Estudos que envolvam os processos acima citados ainda são bastante escassos globalmente, e buscar formas de compreender e elucidar os complexos processos e possíveis transformações que ocorrem nessas *bat caves* ainda é um desafio. Assim, desenvolver estudos que mensurem e apontem as atribuições do guano são de suma importância. Além disso, profundos e antigos depósitos de guano e a caverna em si podem preservar registros importantes acerca de mudanças ambientais (BULL, 1980; SASOWSKY; MYLROIE, 2004; BIRD *et al.*,

2007; WHITE, 2007; BADINO *et al.*, 2014), funcionando como indicadores paleoclimáticos e permitindo a reconstrução de padrões ambientais e climáticos passados da região circundante à caverna, bem como quem a utilizou e de que forma isso aconteceu (BADINO *et al.*, 2014; MAMMOLA *et al.*, 2018; PIPAN *et al.*, 2018; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A preocupação com os ecossistemas cavernícolas e com a limitação desses ambientes para algumas espécies que a utilizam aumentaram nas duas últimas décadas (SCHNEIDER *et al.*, 2011). Fomentar pesquisas que forneçam informações que reforcem a importância de preservação desses ambientes é fundamental. Demonstramos aqui um elevado dinamismo na ocupação de *bat caves* ao longo do tempo. Também demonstramos como a temperatura pode ser uma boa ferramenta para estimar os períodos de maior volume de indivíduos nas *bat caves* e estabelecer possíveis padrões sazonais. Nesse sentido, cavernas são importantes como sítios de monitoramento, principalmente as *bat caves*, que apresentam características tão peculiares, e reforçamos que essas grandes oscilações nas populações de morcegos precisam ser consideradas para fins de consultoria ambiental, indicando que os estudos de impacto ambiental, se realizados em um único período, não irão mostrar um panorama completo do quão dinâmico são esses ambientes.

Além disso, entre as prioridades para a conservação de morcegos no Brasil estão identificar e quantificar as possíveis contribuições ambientais por eles conferidos (BERNARD *et al.*, 2012). Este estudo demonstrou uma contribuição importante dos morcegos para o ambiente epígeo e hipógeo. Eles consomem uma quantidade alta de insetos por noite, contribuindo para o controle dessas populações, e em contrapartida depositam frequentemente no interior das cavernas o produto oriundo de sua alimentação de forma extremamente abundante. Todo esse *input* de energia, além de fornecer microhábitats e fonte de alimento para uma fauna altamente especializada, também pode estar contribuindo para alterações morfológicas dessas *bat caves*. Estudos recentes indicam que para a ocorrência desses processos em cavernas, é necessária uma ocupação por colônias numerosas de morcegos, cujo guano depositado sofrerá intensos processos de decomposição e liberação de gases altamente concentrados capazes de remodelar esse ambiente, auxiliado pelas altas temperaturas geradas pelo calor irradiado por esses animais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017; WENDEL, 2015). Entretanto, a insuficiência de dados acerca da bioengenharia empregada pelos morcegos nas *bat caves* demonstra a necessidade de estudos mais específicos, que visem fomentar e preencher

lacunas. Muitos dos processos genéticos e evolutivos de minerais presentes nesses ambientes, bem como a assinatura geoquímica do guano na formação desses minerais, não foram ainda analisados. Os dados aqui reunidos poderão subsidiar pesquisas futuras sobre os complexos processos que envolvem as *bat caves*.

O cenário atual da proteção do patrimônio espeleológico é preocupante, considerando as recentes discussões sobre alterações na legislação brasileira e as fortes pressões que esses ambientes subterrâneos enfrentam de setores importantes para a economia brasileira (e.g., mineração e agronegócio) (BERNARD *et al.*, 2012). Assim, mais uma vez, confirmamos a excepcionalidade das *bat caves* como ambientes ecológicos únicos e apontamos que a proteção integral dessas cavernas é de alta prioridade para a conservação de morcegos no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. L.; GONÇALVES, D. F.; PAZ, S. P. A.; ANGÉLICA, R. S. Contribuição do guano de morcego na formação de espeleotemas fosfáticos em cavernas ferríferas de Carajás. *In*: RASTEIRO, M. A.; TEIXEIRA-SILVA, C. M.; LACERDA, S. G. (Orgs.). 34º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2017. Ouro Preto. **Anais ...** Campinas: SBE, p.301-311, 2017. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_301-311.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2020.
- ALLEN, L. C.; TURMELLE, A. S.; MENDON, C. A.; M. T.; NAVARA, K. J.; KUNZ, T. H.; MCCracken, G. F. Roosting ecology and variation in adaptive and innate immune system function in the Brazilian free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*). **Journal of Comparative Physiology B**, v. 179, n. 3, p. 315-323, 2009.
- ALMEIDA, E. A. B.; BARRETO, E. A. S.; DA SILVA, E. J.; DONATO, C. R.; DANTAS, M. A. T. Levantamento espeleológico de Sergipe: abordagem geomorfológica da caverna de pedra branca, Laranjeiras, Sergipe. *In*: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Boletim de Resumos** – 2006. Goiânia, Goiás, 2006.
- ALTRINGHAM, J. D. **Bats, biology and behavior**. Oxford University Press, 1996.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B. Water as capital and its uses in the Caatinga. Pp. 281–302. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. **Springer International Publishing**, Cham, Switzerland, 506 p., 2017.
- ARAÚJO, H. M. Clima e Condições Meteorológicas. *In*: SANTOS, V. M. **Geografia de Sergipe**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2012. Disponível em: <http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/14332316012013Geografia_de_Sergipe_Aula_3.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- ARENDs, A.; BONACCORSO, F. J.; GENOUD, M. Basal rates of metabolism of nectarivorous bats (Phyllostomidae) from a semiarid thorn forest in Venezuela. **Journal of Mammalogy**, v. 76, n., p. 947-956, 1995.
- ARITA, H. T. Conservation biology of the cave bats of Mexico. **Journal of Mammalogy**, v. 74, n., p. 693-702, 1993.
- _____. The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. **Biological Conservation**, v. 76, n. 2, p. 177-185, 1996.
- ARROYO, G.; ARROYO, I.; ARROYO, E. Microbiology analysis of Maltravieso Cave (Cáceres), Spain. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 40, n. 2-4, p. 131-139, 1997.
- ÁVILA-FLORES, R.; MEDELLIN, R. A. Ecological, taxonomical and physiological correlates of cave use by Mexican bats. **Journal of Mammalogy**, v. 85, n. 4, p. 675–687, 2004.

AZEVEDO, I. S.; BERNARD, E. Avaliação do nível de relevância e estado de conservação da caverna “Meu Rei” no PARNA Catimbau, Pernambuco. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 5, 2015.

BADINO, G.; CHIARLE, A.; MAMMOLA, S.; ISAIA, M. **An outline of subterranean microclimate phenomenology**. XXVIII European Congress of Arachnology, Università di Torino & Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino, p. 6, 2014.

BARBIER, E.; BERNARD, E.; DANTAS-TORRES, F. Ecology of Antricola ticks in a bat cave in north-eastern Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, v. 82, p. 255-264, 2020.

BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. Pp. 657-694, 2003. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Editora Universitária da UFPE, Recife, 822p., 2003.

BARROS, J. S.; BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. Ecological preferences of Neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. **Basic and Applied Ecology**, v. 45, n., p. 31-41, 2020.

BENTO, D. M.; Cruz, J. B.; FREITAS, J. I. M.; CAMPOS, U. P.; OLIVEIRA, A. F. O patrimônio Espeleológico potiguar após a descoberta da milésima caverna. *In*: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (Orgs.). 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2017. Ouro Preto, Minas Gerais. **Anais...** Campinas, SBE, 2017. p. 227-237. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_227-237.pdf. Acesso em: 06 abr. 2020.

BERNARD, E.; AGUIAR, L.M.S.; BRITO, D.; CRUZ-NETO, A.P.; GREGORIN, R.; MACHADO, R.B.; OPREA, M.; PAGLIA, A.P.; TAVARES, V.C. Uma análise de horizontes sobre a conservação de morcegos no Brasil. Pp. 19-35. *In*: FREITAS, T. R. O.; VIERA, E. M. (Eds.). **Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação**. Sociedade Brasileira de Mastozoologia, Rio de Janeiro, 2012.

BERNARD, E.; PIMENTEL, N. T.; OTÁLORA-ARDILA, A.; HINTZE, F. **Relatório Técnico Geral: Projeto Bat Caves do Nordeste**. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste. Recife, Pernambuco, 2018.

BIRD, M. I.; BOOBYER, E. M.; BRYANT, C.; LEWIS, H. A.; PAZ, V.; STEPHENS, W. E. A long record of environmental change from bat guano deposits in Makangit Cave, Palawan, Philippines. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 98, n. 1, p. 59-69, 2007.

BOHMANN, K.; MONADJEM, A.; NOER, C. L.; RASMUSSEN, M.; ZEALE, M. R. K.; CLARE, E.; JONES, G.; WILLERSLEV, E.; GILBERT, M. T. P. Molecular diet analysis of two African free-tailed bats (Molossidae) using high throughput sequencing. **PloS one**, v. 6, n. 6, p. 21441, 2011.

BOYLES, J. G.; CRYAN, P. M.; MCCracken, G. F.; KUNZ, T. H. Economic importance of bats in agriculture. **Science**, v.1, n., p. 41-42, 2011.

BREDT, A.; UIEDA, W.; MAGALHÃES, E. D. Morcegos cavernícolas da região do Distrito Federal, centro-oeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, n., p. 731–770, 1999.

BRUNET, A. K.; MEDELLÍN, R. A. The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves. **Journal of Mammalogy**, v. 82, n. 4, p. 1114–1122, 2001.

BU, Y.; WANG, Y.; ZHANG, C.; LIU, W.; ZHOU, H.; YU, Y.; NIU, H. Geographical distribution, roost selection, and conservation state of cave-dwelling bats in China. **Mammalia**, v. 79, n. 4, p. 409–417, 2014.

BULL, P. A. Towards a reconstruction of time-scales and palaeoenvironments from cave sediment studies. In: CULLINGFORD, R. A.; DAVIDSON, D. A.; LEWIN, J. **Timescales in geomorphology**, London, John Wiley, p. 177–187, 1980.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501–1511, 1994.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Potencialidade de ocorrência de cavernas. **ICMBio, sítio eletrônico, página inicial**. ICMBio, 2012. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html>>. Acesso em: 26 out. 2020.

_____. **Croqui da Furna do Meu Rei**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, 2 pp, 2014.

_____. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE. **ICMBio, sítio eletrônico, página inicial**. ICMBio, 2017. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

_____. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE. **ICMBio, sítio eletrônico, página inicial**. ICMBio, 2020. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 9 nov. 2020.

CRYAN, P. M.; WOLF, B. O. Sex differences in the thermoregulation and evaporative water loss of a heterothermic bat, *Lasiurus cinereus*, during its spring migration. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n., p. 3381–3390, 2003.

CULVER, D.C. Cave Life: Evolution and Ecology. In: DE LA TORRE, J. A.; MEDELLÍN, R.A. 2010. *Pteronotus personatus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, v. 42, p. 244–250, 1982.

DALQUEST, W. W.; HALL, E. R. Five bats new to the known fauna of Mexico. **Journal of Mammalogy**, v. 30, n., p. 424–427, 1949.

DE LA CRUZ, J. Bioecología de las grutas de calor. **Mundos Subterráneos**, v. 3, n., p. 7–22, 1992.

DELEVA, S.; CHAVERRI, G. Diversity and conservation of cavedwelling bats in the Brunca Region of Costa Rica. **Diversity**, v. 10, n., p. 1–15, 2018.

DELGADO-JUNIOR, G. C.; ALVES, M. Diversidade de plantas trepadeiras do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, v.68, n. 2, p. 347-377, 2017.

DEUTSCH, C.V.; JOURNAL, A. G. **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide** (2ª Ed.). Oxford University Press, New York, p. 369, 1998.

DI LORENZO, T.; CIFONI, M.; FIASCA, B.; DI CIOCCIO, A.; GALASSI, D. M. P. Ecological risk assessment of pesticide mixtures in the alluvial aquifers of central Italy: Toward more realistic scenarios for risk mitigation. **Science of the Total Environment**, v. 644, n., p. 161–172, 2018.

DI LORENZO, T.; DI MARZIO, W. D.; SPIGOLI, D.; BARATTI, M.; MESSANA, G.; CANNICCI, S.; GALASSI, D. M. P. Metabolic rates of a hypogean and an epigean species of copepod in an alluvial aquifer. **Freshwater Biology**, v. 60, n., p. 426–435, 2015.

DÍAZ, M. M.; SOLARI, S.; AGUIRRE, L. F.; AGUIAR, L. M. S.; BARQUEZ, R. B. **Clave de identificación de los murciélagos de Sudamérica**. Publicación Especial n. 2, PCMA - Programa de Conservación de Murciélagos de Argentina, p. 160, 2016.

DONATO, C. R.; RIBEIRO, A. S. Caracterização dos impactos ambientais de cavernas do Município de Laranjeiras, Sergipe. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 12, n., p. 243-255, 2011.

DONATO, C. R.; RIBEIRO, A. S.; SOUTO, L. S. A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. **International Journal of Speleology**, v. 43, n., p. 315- 322, 2014.

ENGLAND, E. J.; SPARKS, A.; ROBINSON, M. D. Geo—EAS (geostatistical environmental assessment software). **Environ. Software** 4, n. 2, p. 70–75, 1989.

FEIJO, A.; ROCHA, P. A. Morcegos da Estação Ecológica Aiuaba, Ceará, nordeste do Brasil: Uma unidade de proteção integral na Caatinga. **Mastozoología Neotropical**, v. 24, n., p. 333–346, 2017.

FERREIRA, R.L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da vida silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2004.

_____. Guano communities. In: WHITE, W. B., CULVER, D. C., PIPAN, T. (Eds). **Encyclopedia of caves**, 3rd edn. Academic Press, Cambridge, p. 474-484, 2019.

FERREIRA, R. L, MARTINS, R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). **Biodiversity Research**, v. 4, n., p. 235–241, 1998.

_____. Guano de morcegos: fonte de vida em cavernas. **Ciência Hoje**, v. 25, n. 146, p. 34-40, 1999.

FERREIRA, R.L.; MARTINS, R. P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a brazilian dry cave. **Ecotropica**, v. 6, n. 2, p. 105-115, 2000a.

FERREIRA, R. L.; NONAKA, E.; ROSA, C.R. Riqueza e abundância de fungos associados ao guano de morcegos hematófagos na Gruta da Lavoura (Matozinhos, MG). **O Carste**, v. 12, n. 1, p. 46-51p, 2000b.

FLEMING, T. H. Foraging strategies of plant-visiting bats. Pp. 287-325, 1982. *In*: KUNZ, T. H. (Ed.). **Ecology of bats**. Plenum Press, New York, 1982.

FUNAI. CF/88, Lei 6001/73 – Estatuto do Índio, Decreto n.º 1775/96. Dispõe sobre o procedimento administrativo de demarcação de terras indígenas. Fundação Nacional do Índio, Brasília, 2019.

FUREY, N. M.; RACEY, P. A. Conservation Ecology of Cave Bats. *In*: VOIGT, C. C.; KINGSTON, T. (Eds.) **Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World**. Chapter. 15, p. 463-500, 2015.

GAISLER, J.; CHYTIL, J. Mark-recapture results and changes in bat abundance at the cave of Na Turoldu, Czech Republic. **Folia Zoologica**, Brno: Institute of Vertebrate Biology, v. 51, N. 1, p. 1-10. 2002.

GARDNER, A. L. **Mammals of South America**: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats. University of Chicago Press, v. 1, 2008.

GNASPINI-NETTO, P. Fauna associated with bat guano deposits from Brazilian caves (a comparison). Proceedings of the 10th Intern. **Congress of Speleology of Budapest**, p. 52-54, 1989.

GOMES, L. A.; DEDA, R. M.; SANTOS, E.; PRATA, A. P. N. Diagnóstico da vegetação do entorno de Cavernas em remanescentes de Mata Atlântica no município de Laranjeiras, Sergipe, Brasil. 2015. *In*: GOMES, L. A.; DEDA, R. M.; SANTOS, E.; PRATA, A. P. N. (Org.), **Centro da Terra. Grupo Espeológico de Sergipe, Cavernas de Laranjeiras**. Serviços Editoriais, Aracaju, 2015.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para a Conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 4, p. 1-33, 2014.

GUNN, J. Climate of caves. *In*: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of caves and karst science**. Fitzroy Dearborn, Routledge, New York, pp 228-230, 2003.

GUSMÃO, M. A. B.; CREÃO-DUARTE, A. J. Diversidade e análise faunística de Sphingidae (Lepidoptera) em área de brejo e caatinga no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n., p. 491-498, 2004.

HERRERA, F. F. Las comunidades de artropodos del guano del guácharos en la cueva del guácharo, Venezuela. **Boletim da Sociedad Venezolana de Espeleología**, v. 29, p. 39-46, 1995.

HRISTOV, N. I.; BETKE, M.; THERIAULT, D. E. H.; BAGCHI, A.; KUNZ, T. H. Seasonal variation in colony size of Brazilian free-tailed bats at Carlsbad Cavern based on thermal imaging. **Journal of Mammalogy**, v. 91, n., p. 183–192, 2010.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN. **Atlas para o Desenvolvimento Sustentável do RN**. 2005. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br/governo/secretarias/idema/atlasdes/atlas.zip>>. Acesso em 11 nov. 2020.

ISA – **Terra Indígenas no Brasil**. Povo Kapinawá retoma território no Sertão de Pernambuco-PE, 2011. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/noticia/105510>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ISKALI, G.; ZHANG, Y. Guano subsidy and the invertebrate community in Bracken Cave: the world's largest colony of bats. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 77, n. 1, p. 28-36, 2015.

JORDÃO, A. C. S. J. **Análise da dieta de morcegos insetívoros em ambientes cavernícolas através de metabarcoding de eDNA**. 2019. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2019.

JUBERTHIE, C. The diversity of karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKINS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). **Ecosystems of the world-subterranean biota**, Elsevier, Amsterdam., p. 17-29, 2000.

KUNZ, T. H. Roosting ecology of bats. Pp. 1–55. In: KUNZ, T. H. (Ed.). **Ecology of bats**, Plenum Press, New York, 425 p., 1982.

KUNZ, T. H.; BRAUN DE TORREZ, E.; BAUER, D.; LOBOVA, T.; FLEMING, T. H. Ecosystem services provided by bats. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1223, n. 1, p. 1-38, 2011.

KUNZ, T. H.; PARSONS, S. **Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats**. Johns Hopkins University, 2009.

KURTA, A.; BELL, G. R.; NAGY, K. A.; KUNZ, T. H. Energetics of pregnancy and lactation in freeranging little brown bats (*Myotis lucifugus*). **Physiological Zoology**, v. 62, n., p. 804-818, 1989.

LADLE, R. J.; FIRMINO, J.V. L.; MALHADO, A. C. M.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Unexplored diversity and conservation potencial of Neotropical Hot Caves. **Conservation Biology**, v. 26, n. 6, p. 978-982, 2012.

LAUSEN, C. L.; BARCLAY, R. M. R. Thermoregulation and roost selection by reproductive female big brown bats (*Eptesicus fuscus*) roosting in rock crevices. **Journal of Zoology**, v. 260, n., p. 235–244, 2003.

LUO, J.; JIANG, T.; LU, G.; WANG, L.; WANG, J.; FENG, J. Bat conservation in china: Should protection of subterranean habitats be a priority? **Oryx: the journal of the Fauna Preservation Society**, v. 47, n., p. 526-531, 2013.

MAMMOLA, S.; GOODACRE, S. L.; ISAIA, M. Climate change may drive cave spiders to extinction. **Ecography**, v. 41, n. 1, p. 233–243, 2018.

MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after. Poulson and White. **Ecography**, v. 41, n., p. 1–21, 2019.

MANCINA, C. A.; ECHENIQUE-DIAZ, L. M.; TEJEDOR, A.; GARCIA, L.; DANIEL-ALVAREZ, A.; ORTEGA-HUERTA, M. A. Endemics under threat: na assessment of the conservation status of Cuban bats. *Hystrix-Italian*, **Journal of Mammalogy**, v. 18, n., p. 3-15, 2007.

MARINKELLE, C. J.; CADENA, A. Notes on bats new to the fauna of Colombia. **Mammalia**, v. 36, n., p. 50–58, 1972.

MASLO, B.; VALENTIN, R.; LEU, K.; KERWIN, K.; HAMILTON, G. C.; BEVAN, A.; FEFFERMAN, N. H.; FONSECA, D. M. *Chirosurveillance*: The use of native bats to detect invasive agricultural pests. **PloS one**, v. 12, n. 3, p. 1-10, 2017.

MCCARTY, J. P.; WINKLER, D. W. IRelative importance off environmental variables in determining the growth off nestling **Tree Swallows Tachycineta bicolor**. *Ibis*, v. 141, n., p. 286-296, 1999.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2014. **Espécies Ameaçadas — Lista 2014**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/lista-deespecies.html>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

MOLDOVAN, O.; RACOVITĂ, G. H.; RAJKA, G. The impact of tourism in Romanian show caves: the example of the beetle populations in the Urşilor Cave of Chişcău (Transylvania, Romania). **Subterranean Biology**, v. 1, n., p. 73–78, 2003.

NOBRE, C. E. B.; IANNUZZI, L.; SCHLINDWEIN, C. Seasonality of fruit-feeding butterflies (Lepidoptera, Nymphalidae) in a Brazilian semiarid area. **ISRN Zoology**, p. 1-8, 2012.

OLIVEIRA, H. F. M.; OPREA, M.; DIAS, R. I. Distributional patterns and ecological determinants of bat occurrence inside caves: A broad scale meta-analysis. **Diversity**, v.10, n. 3, p. 49, 2018.

OTÁLORA-ARDILA, A.; TORRES, J.M.; BARBIER, E.; PIMENTEL, N.T.; LEAL, E.S.B. E BERNARD, E. Thermally-Assisted Monitoring of Bat Abundance in an Exceptional Cave in Brazil's Caatinga Drylands. **Acta Chiropterologica**, v. 21, n. 2, p. 411-423, 2019.

PAVAN, A. C.; TAVARES, V. da CUNHA.; *Pteronotus gymnonotus* (Chiroptera: Moomoopidae). **Mammalian Species**, v. 52, n. 990, p. 40-48, 2020.

PECK, S.; BALIU, A. R.; GONZALEZ, G. G. The caveinhabiting beetles of Cuba (Insecta: Coleoptera): diversity, distribution and ecology. **Journal of Caves and Karst Studies**, v. 60, n., p. 156-165, 1998.

PHELPS, K.; JOSE, R.; LABONITE, M.; KINGSTON, T. Correlates of cave-roosting bat diversity as an effective tool to identify priority caves. **Biological Conservation**, v. 201, n., p. 201-209, 2016.

PILÓ, L. B.; AULER, A. Introdução à Espeleologia. *In: III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2011.

PIPAN, T.; PETRIC, M.; SEBELA, S.; CULVER, D. C. Analyzing climate change and surfacesubsurface interactions using the Postojna Planina Cave System (Slovenia) as a model system. **Regional Environmental Change**, 11 p., 2018.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The Cave Environment, **Science**, v. 165, n., p. 971, 1969.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation or Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 18 jul. 2020.

REBOLEIRA, A. S.; BORGES, P. A.; GONÇALVES, F.; SERRANO, A. R.; OROMÍ, P. The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region-Portugal: an overview and its conservation. **International Journal of Speleology**, v. 40, n., p. 23–37, 2011.

REBOLEIRA, A. S. P. S.; ABRANTES, N. A.; OROMÍ, P.; GONÇALVES, F. Acute toxicity of copper sulfate and potassium dichromate on stygobiont *Proasellus*: general aspects of groundwater ecotoxicology and future perspectives. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 224, p. 1550, 2013.

REIS, N. R.; SHIBATTA, A. O.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. Sobre os morcegos brasileiros. Pp. 17-24, 2007. In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. (Eds.). **Morcegos do Brasil**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

REISKIND, M. H.; WUND, M. A. Experimental assessment of the impacts or Northern Long-Eared Bat on oviposition *Culex* (Diptera: Culicidae) mosquitoes. **Journal of Medical Entomology**, v. 46, n. 5, p. 1037-1044, 2009.

RIVERA-MARCHAND, B.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Preliminary observations on the renal adaptations of bats roosting in hot caves in Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, v. 37, n., p. 272-274, 2001.

ROCHA, A. D.; BICHUETTE, M. E. Influence of abiotic variables on the bat fauna of a granitic cave and its surroundings in the state of São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, v.16, n., p. 1-8, 2016.

ROCHA, I. D. B. **Dieta de morcegos insetívoros urbanos sob uma abordagem DNA metabarcoding**. 2019. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2019.

ROCHA, P. A.; FEIJÓ, J. A.; MIKALAUSKAS, J. S.; FERRARI, S. F. First records of mormoopid bats (Chiroptera, Mormoopidae) from the Brazilian Atlantic Forest. **Mammalia**, v. 75, n., p. 295–299, 2011.

RODRIGUES, E.; TEIXEIRA, J. M.; TEICHRIEB, V.; BERNARD, E. **Multi-objective tracking applied to bat populations**, Pp. 155–159. In: XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2016, IEEE Computer Society, Gramado, Rio Grande do Sul, 240 p., 2016.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Metabolic rates and thermal conductance in 4 species of Neotropical bats roosting in hot caves. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 110, n. 4, p. 347-355, 1995.

_____. Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. **Journal of Mammalogy**, v. 79, n., p. 141-146, 1998.

_____. Bat assemblages in the West Indies: the role of caves. Pp. 265–280. In: **Island bats: evolution, ecology and conservation** (FLEMING, T. H.; RA CEY, P. A. (Eds.)). University of Chicago Press, Chicago, 560 pp, 2009.

RODRIGUEZ-DURÁN, A.; LEWIS, A. R. Patterns of population size, diet and activity time for a multispecies assemblage of bats at a cave in Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, v. 23, n., p. 352–360, 1987.

RODRIGUEZ-DURÁN, A; SOTO-CENTENO, J. A. Temperature selection by tropical bats roosting in hot caves. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, n. 6, p. 465-468, 2003.

SADMET/INMET. **Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos**. Instituto Nacional de Meteorologia. 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/central_servicos/combo_produtos.html>. Acesso em: 10 maio 2020.

SAMPEDRO, M.; FUNDORA, A.; TORRES, O.; DELA OSA, A. V. **Ecological and ethological observations on 2 species of bat dominant in the hot caves of Cuba**. Poeyana Instituto de Zoologia Academia de Ciencias de Cuba, v. 174, n., p. 1-18, 1977.

SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D.; RIZZO, V.; BOURDEAUX, C.; CIESLAK, A; COMAS, J.; FAILLE, A.; FRESNEDA, J.; LLEOPART, E.; MILLÁN, A.; MONTES, A.; PALLARES, S.; RIBERA, I. The deep subterranean environment as a potential model system in ecological, biogeographical and evolutionary research. **Subterranean Biology**, v. 25, n., p. 1-7, 2018.

SANTANA JÚNIOR, J. A. D.; SILVA, E. J. D.; OLIVEIRA, E. V.; PRATA, A. P. D. N. Florística do Entorno de Cavernas em Remanescentes de Mata Atlântica e Caatinga de Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n., p. 192–205, 2018.

SANTOS, R. A.; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P.; LEAL, R. A. **Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe**. Brasília: CPRM-CODISE, 1998.

SASOWSKY, I. D.; MYLROIE, J. E. **Studies of cave sediments**. New York, Kluwer Academic, Plenum Publishers, p. 329, 2004.

SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia. Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil – CNC. **SBE, sítio eletrônico, página inicial**. SBE, 2018. Disponível em: <http://cnc.cavernas.org.br/>. Acesso em 17 jul. 2020.

SBRAGIA, I. A.; CARDOSO, A. Quiróptero fauna (Mammalia: Chiroptera) cavernícola da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 14, n., p. 360, 2008.

SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: Results from an ecosystem level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 765-776, 2011.

SEMARH/SRH. **Dados pluviométricos de Sergipe**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos hídricos. 2019. Disponível em: <https://semarh.se.gov.br/>. Acesso em: 16 out. 2020.

SIKES, R. S.; TRACY, A. T.; JOHN, A. B. II American Society of Mammalogists: levantando os padrões para supervisão ética e apropriada da pesquisa da vida selvagem, **Journal of Mammalogy**, v. 100, n. 3, p. 763-773, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz019>>. Acesso em: 03 fev. 2019.

SILVA, J. P. A.; CARVALHO, A. R.; OLIVEIRA-MOTTA, J. A. Fauna de morcegos (Mammalia, Chiroptera) em cavernas do bioma Cerrado na região de Indiara (Goiás). **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 11, n., p. 209–217, 2009.

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, n., p. 103-121, 2015.

SNE – SOCIEDADE NORDESTINA DE ECOLOGIA. 2002. **Projeto técnico para a criação do Parque Nacional do Catimbau/PE**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco – SECTMA, Recife, 2002.

SNUC BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000.

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., p. 279–295, 2015.

SPERANDEI, V.F.; ALVARENGA, D. A.; GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L.; SILVA, M. S. A influência da heterogeneidade de habitat sobre a similaridade e composição de fauna terrestre cavernícola. In: ZAMPAULO, R. A. (Org.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, 2019. Bonito. **Anais...** Campinas: SBE, 2019. p.751-757. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_751-757.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2020.

STEPANIAN, P. M.; WAINWRIGHT, C. E. Ongoing changes in migration phenology and winter residency at Bracken Bat Cave. **Global Change Biology**, v. 24, n. 7, p. 3266–3275. 2018.

SUGAI, L. S. M.; OCHOA-QUINTERO, J. M.; COSTA-PEREIRA, R.; ROQUE, F. O. Beyond above ground. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n., p. 2109–2112, 2015.

TAVARES, V. D. C.; PALMUTI, C. F. D. S.; GREGORIN, R.; DORNAS, T. T. Morcegos. In: MARTINS, F. D.; CASTILHO, A. F.; CAMPOS, J.; HATANO, F. M.; ROLIM, S. G. (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás: Estudos sobre Vertebrados Terrestres**. Nitro Editorial, São Paulo, Brasil, 2012.

TEJEDOR, A.; TAVARES, V.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, D. New records of hot cave bats from Cuba and the Dominican Republic. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología**, v. 39, n., p. 10-15, 2005.

TORRES, J. M. **Biomonitoramento de uma grande congregação de morcegos no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco**. 2016. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Pernambuco. Recife-PE, 159 p., 2016.

TORRES-FLORES, J. W.; LÓPEZ-WILCHIS, R.; SOTOCASTRUITA, A. Dinámica poblacional, selección de sitios de percha y patrones reproductivos de algunos murciélagos cavernícolas en el oeste de México. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n., p. 1369–1389, 2012.

TRAJANO, E. Biodiversidade na América do Sul. In: CHRISTMAN, M. C.; ZAGMAJSTER, M. (Eds.). **Encyclopedia of Cave**. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia. Chapter 20, p. 177-186, 2019.

_____. Cave faunas in the Atlantic rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 882-893, 2000.

TRUNE, D. R.; SLOBODCHIKOFF, C. N. Social effects of roosting on the metabolism of the pallid bat (*Antrozous pallidus*). **Journal of Mammalogy**, v. 57, n., p. 656-663, 1976.

TUTTLE, M. D. Population ecology of the gray bat (*Myotis grisescens*): factors influencing growth and survival of newly volant young. **Ecology**, v. 57, n., p. 587–595, 1976.

_____. **America's neighborhood bats**. University of Texas Press, Austin, 96p., 1988.

UTIDA, G. **Variações paleoambientais e paleocliáticas durante o Holoceno no Rio Grande do Norte, a parte do estudo de registros geoquímicos de sedimentos de lagos e cavernas**, 2016. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 86 p., 2016.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of American Journal**, v. 47, n. 2, p. 175–184, 1983.

VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; BENTO, D. M.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R. A.; VENTICINQUE, E. M. Diversity of cave bats in the Brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte state. **Mastozoologia Neotropical**, v. 25, n., p. 199–212, 2018.

VASCONCELLOS, A.; ANDREAZZE, R.; ALMEIDA, A. M.; ARAUJO, H. F. P.; OLIVEIRA, E. S.; OLIVEIRA, U. Seasonality of insects in the semiarid Caatinga of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n., p. 471-476, 2010.

VIZOTTO, L. D.; RODRIGUES, V.; DUMBRA, A. J. Sobre ocorrência e dados biométricos de *Pteronotus* (*Pteronotus*) *gymnonotus* (Natterer, in Wagner, 1843) no estado do Piauí (Chiroptera, Mormoopidae). **Revista Nordestina Biologia**, v. 3, n., p. 246–247, 1980.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.), **Applications of Soil Physics**, Academic, New York, v. 2, n., p. 319–344, 1980.

WENDEL, J. Como a respiração do morcego e o guano podem mudar as formas das cavernas, Eos, **Biogeociências**, p. 96, 2015. Disponível em: <<https://eos.org/articles/how-bat-breath-and-guano-can-change-the-shapes-of-caves>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

WHITAKER JR, J. O. Food of the big brown bat *Eptesicus fuscus* from maternity colonies in Indiana and Illinois. **American Midland Naturalist**, p. 346-360, 1995.

WHITE, W. B. Cave sediments and paleoclimate. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 69, n. 1, p. 76–93, 2007.

WICKHAM, H. **R for Data Science**. O'Reilly Media, 2017.

WIJAYANTI, F.; MARYANTO, I. Diversity and pattern of nest preference of bat species at bat-dwelling caves in Gombong Karst, central java, Indonesia. **Biodiversitas**, v. 18, n., p. 864-874, 2017.

WILCOX, A.; WILLIS, C. K. R. Energetic benefits of enhanced summer roosting habitat for little brown bats (*Myotis lucifugus*) recovering from white-nose syndrome. **Conservation Physiology**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2016.

ZAGMAJSTER, M. Bats. In: CHRISTMAN, M. C.; ZAGMAJSTER, M. (Eds.). **Encyclopedia of Cave**. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia. Chapter 13, p. 94-101, 2019.

ZAHN, A. Reproductive success, colony size and roost temperature in attic-dwelling bat *Myotis myotis*. **Journal of Zoology**, v. 247, n., p. 275–280, 1999.

ZILER, K. S.; YANCEY, M. E. Mamíferos e Pássaros – visitantes vertebrados. In: CHRISTMAN, M. C.; ZAGMAJSTER, M. (Eds.). **Encyclopedia of Cave**. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia. Chapter 79, p. 665-668, 2019.

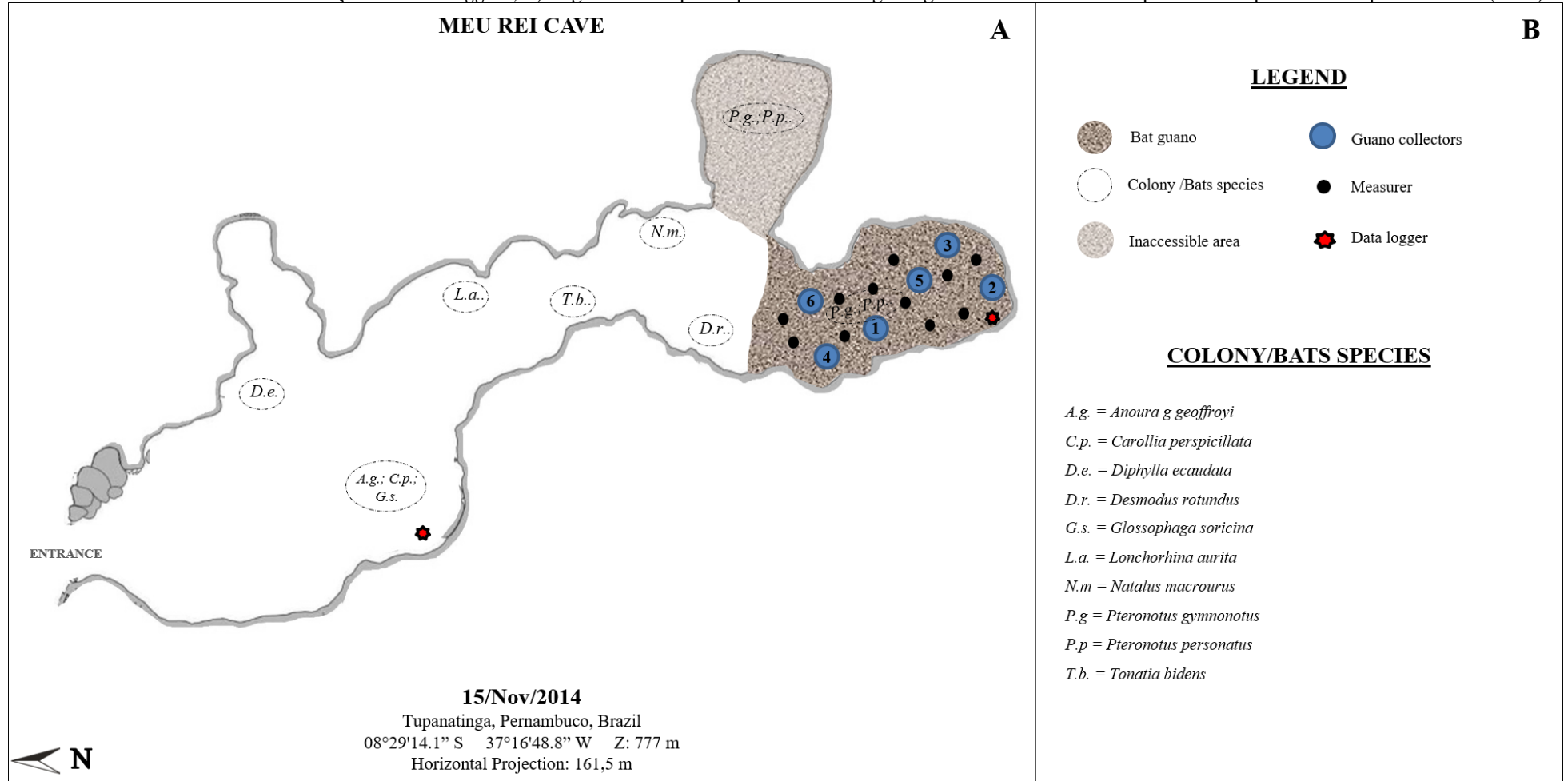
APÊNDICE

APÊNDICE A – Registro fotográfico das entradas das *bat caves*. A) Meu Rei, localizada dentro do PARNA do Catimbau, no município de Tupanatinga – PE; B) Furna do Morcego, localizada na Terra Indígena Kapinawá, na divisa com o PARNA do Catimbau, no município de Ibimirim – PE; C) Casa de Pedra, localizada no Povoado Ribeira, no município de Campo do Brito – SE; D) Caverna do Urubu, localizada na Fazenda São José, no município de Divina Pastora – SE; E) Furna do Urubu, localizada no Lajedo do Meio, no município de Felipe Guerra – RN.



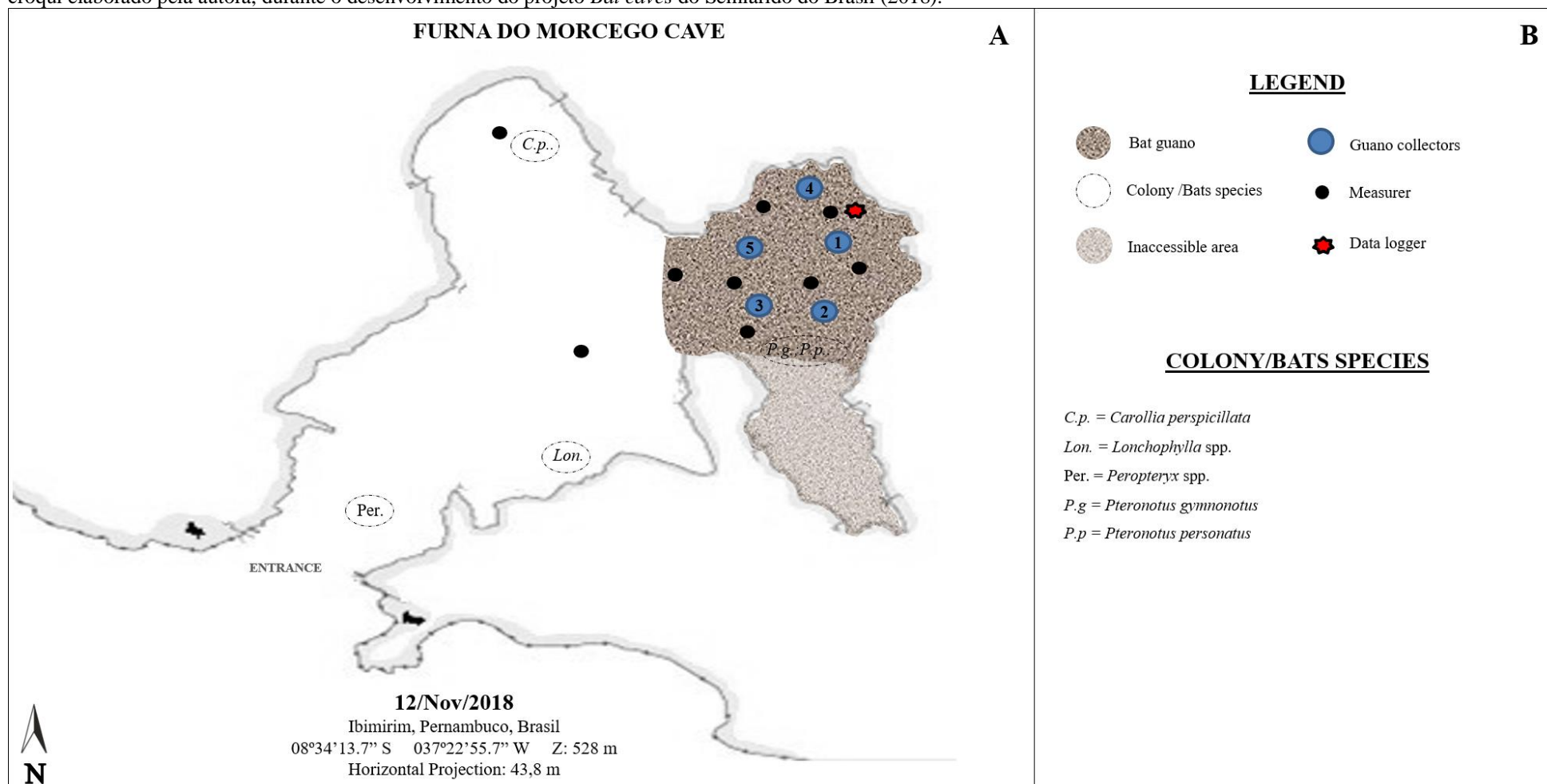
Fonte: Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE B – Esboço do mapa topográfico da caverna Meu Rei, localizada dentro do PARNA do Catimbau, no município de Tupanatinga – PE. A) Indicação das áreas onde as atividades foram conduzidas e localização dos *data loggers*; B) Legenda do mapa e espécies de morcegos registrados na caverna. Adaptado do croqui elaborado pelo CECAP (2014).



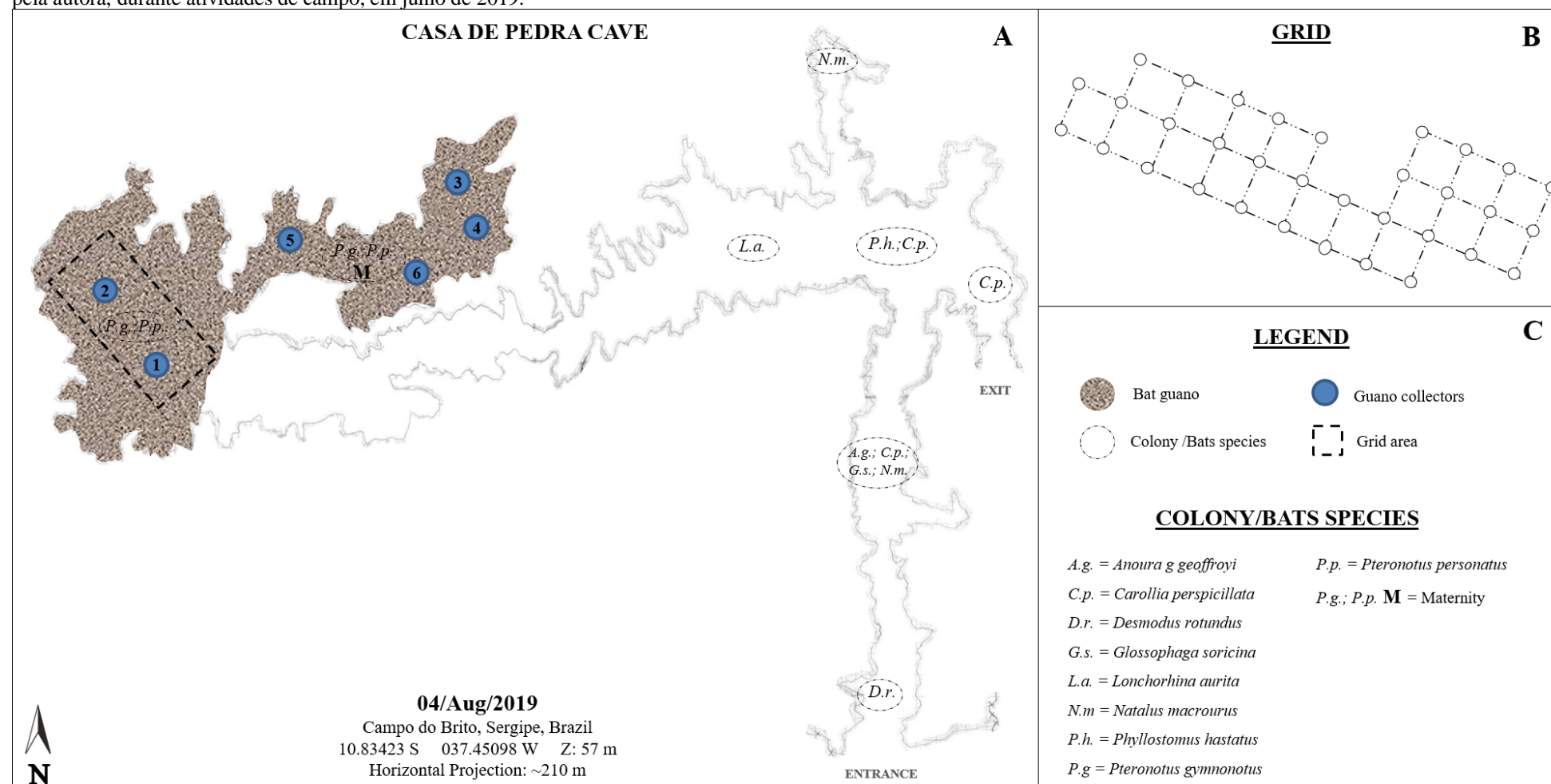
Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE C – Esboço do mapa topográfico da caverna Furna do Morcego, localizada na Terra Indígena Kapinawá, divisa com o PARNA do Catimbau, no município de Ibimirim – PE. A) Indicação das áreas onde as atividades foram conduzidas e localização do *data logger*; B) Legenda do mapa e espécies de morcegos registrados na caverna. Adaptado do croqui elaborado pela autora, durante o desenvolvimento do projeto *Bat caves* do Semiárido do Brasil (2018).



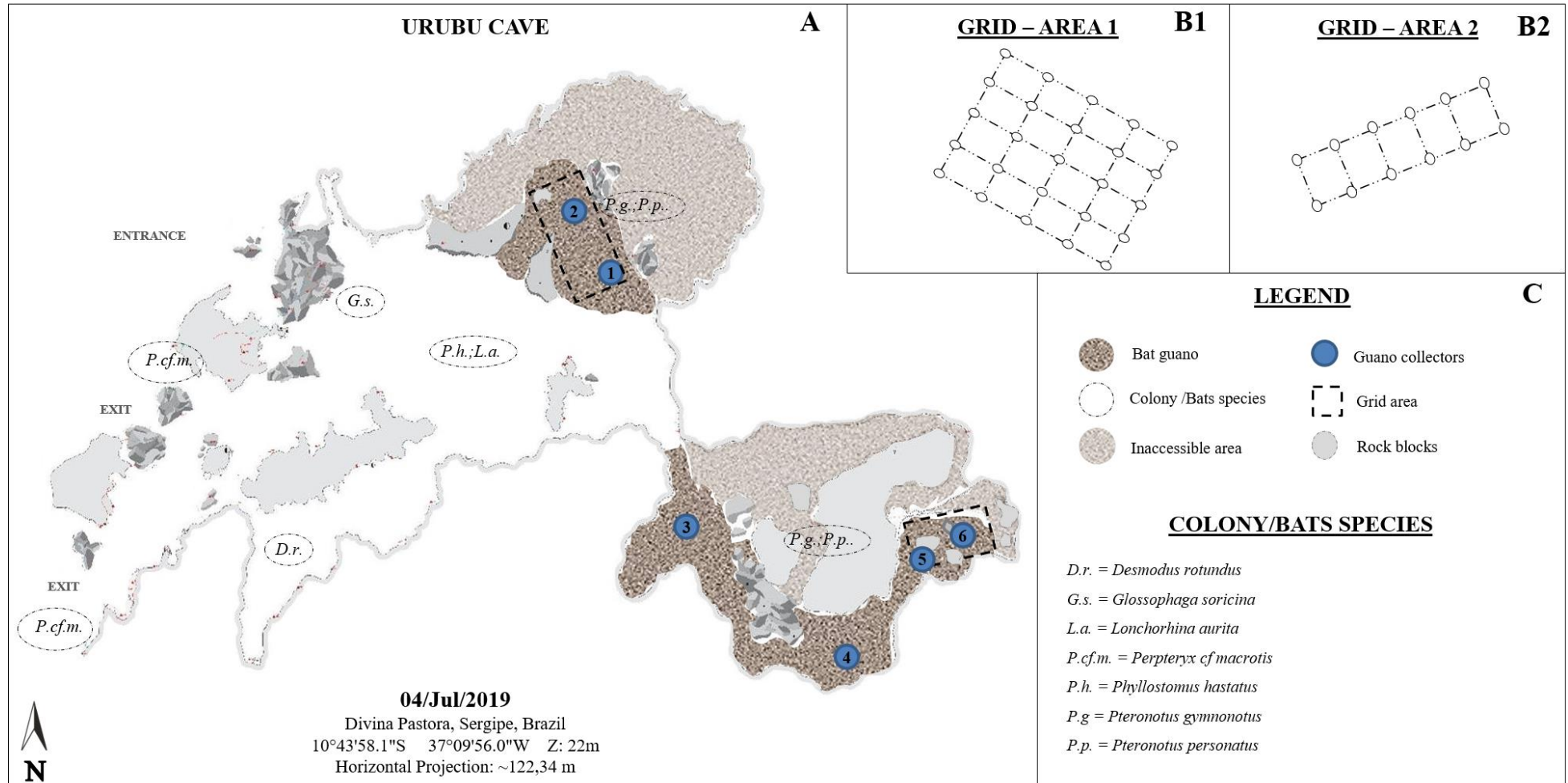
Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE D – Esboço do mapa topográfico da caverna Casa de Pedra, localizada no Povoado Ribeira, no município de Campo do Brito – SE. A) Indicação das áreas onde as atividades foram conduzidas; B) Esquema do *grid* montado na caverna; C) Legenda do mapa e espécies de morcegos registrados na caverna. Adaptado do mapa da caverna elaborado pela autora, durante atividades de campo, em julho de 2019.



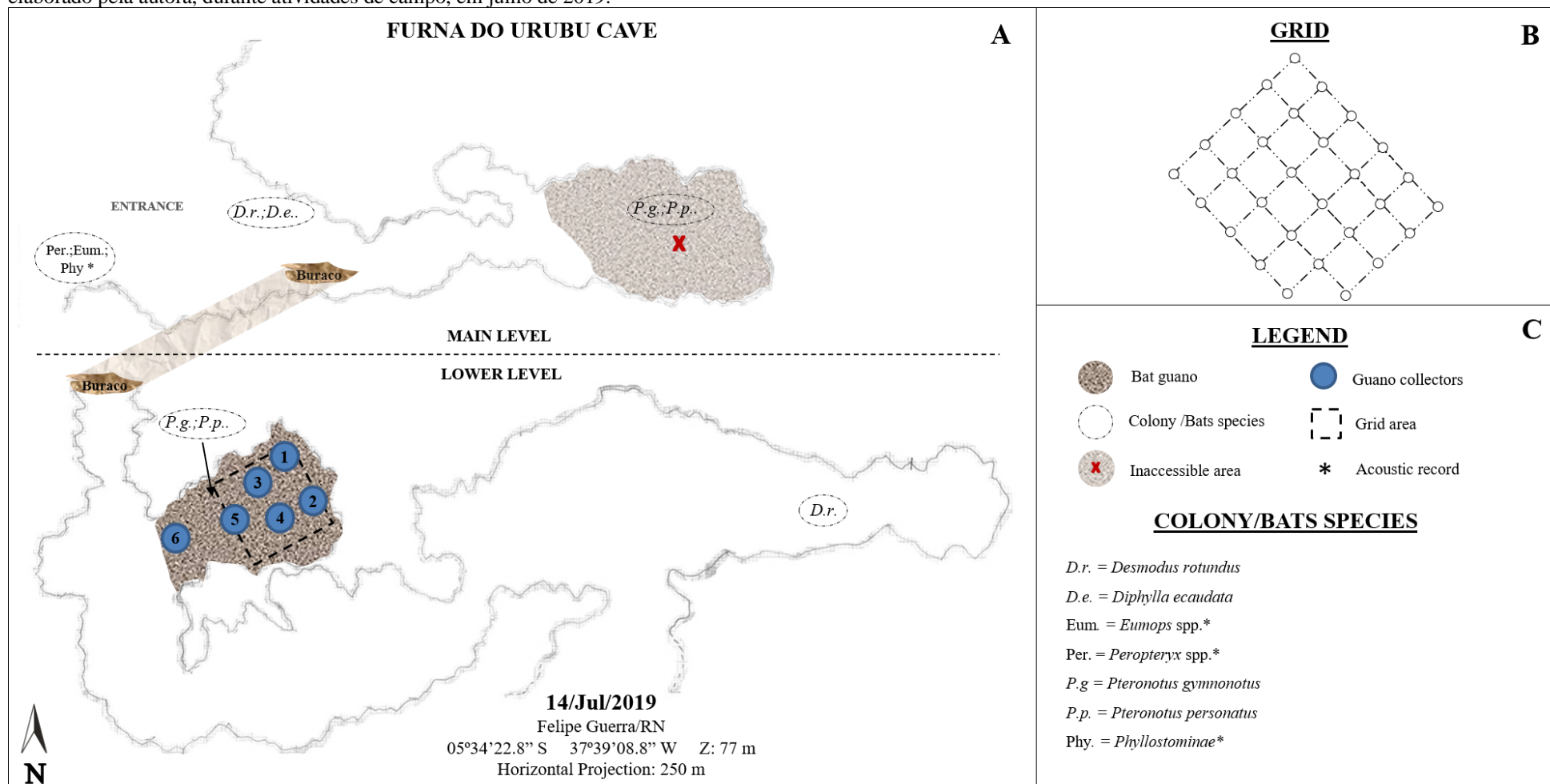
Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE E – Esboço do mapa topográfico da Caverna do Urubu, localizada na Fazenda São José, no município de Divina Pastora – SE. A) Indicação das áreas onde as atividades foram conduzidas; B1 e B2) Esquema dos *grids* montados na caverna; C) Legenda do mapa e espécies de morcegos registrados na caverna. Adaptado do croqui elaborado pelo Grupo de Espeleologia Centro da Terra/SE (2014).



Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE F – Esboço do mapa topográfico da caverna Furna do Urubu, localizada no Lajedo do Meio, no município de Felipe Guerra – RN. A) Indicação das áreas onde as atividades foram conduzidas; B1) Esquema do *grid* montado na caverna; C) Legenda do mapa e espécies de morcegos registrados na caverna. Adaptado do esboço da caverna elaborado pela autora, durante atividades de campo, em julho de 2019.



Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE G – Abundância de morcegos nas *bat caves*, com contagens realizadas em anos anteriores e incorporados aos dados do trabalho.

Caverna	Contagens		
	Data	Gravação (min)	Estimativa
Meu Rei	Outubro/2014	60	8.069
Meu Rei	Novembro/2014	60	6.385
Meu Rei	Dezembro/2014	60	1.658
Meu Rei	Janeiro/2015	60	1.742
Meu Rei	Fevereiro/2015	60	12.486
Meu Rei	Março/2015	60	9.684
Meu Rei	Abril/2015	60	297
Meu Rei	Maio/2015	60	262
Meu Rei	Junho/2015	60	8.199
Meu Rei	Julho/2015	60	4.045
Meu Rei	Agosto/2015	60	118.946
Meu Rei	Setembro/2015	60	2.850
Meu Rei	Outubro/2015	60	1.406
Meu Rei	Novembro/2015	60	258
Meu Rei	Dezembro/2015	60	602
Meu Rei	Janeiro/2016	60	11.655
Meu Rei	Fevereiro/2016	60	5.932
Meu Rei	Março/2016	60	3.182
Meu Rei	Abril/2016	60	1.873
Meu Rei	Maio/2016	60	33.785
Meu Rei	Junho/2016	60	2.391
Meu Rei	Julho/2016	60	5.575
Meu Rei	Agosto/2016	60	284
Meu Rei	Setembro/2016	60	3.365
Meu Rei	Outubro/2016	60	949
Meu Rei	Novembro/2016	60	95
Meu Rei	Dezembro/2016	60	124
Meu Rei	Janeiro/2017	60	7.934
Meu Rei	Fevereiro/2017	60	286
Meu Rei	Março/2017	60	147
Meu Rei	Abril/2017	60	25.170
Meu Rei	Junho/2017	60	3.083
Meu Rei	Julho/2017	60	1.391
Meu Rei	Agosto/2017	60	35.171
Meu Rei	Setembro/2017	60	136
Meu Rei	Outubro/2017	60	18.900
Meu Rei	Novembro/2017	60	364
Meu Rei	Dezembro/2017	60	1.820
Meu Rei	Fevereiro/2018	60	189
Meu Rei	Março/2018	60	1.066
Meu Rei	Abril/2018	60	19.694
Meu Rei	Junho/2018	60	197
Meu Rei	Julho/2018	60	15.116
Meu Rei	Agosto/2018	60	2.733
Meu Rei	Setembro/2018	60	2.207
Meu Rei	Outubro/2018	60	329

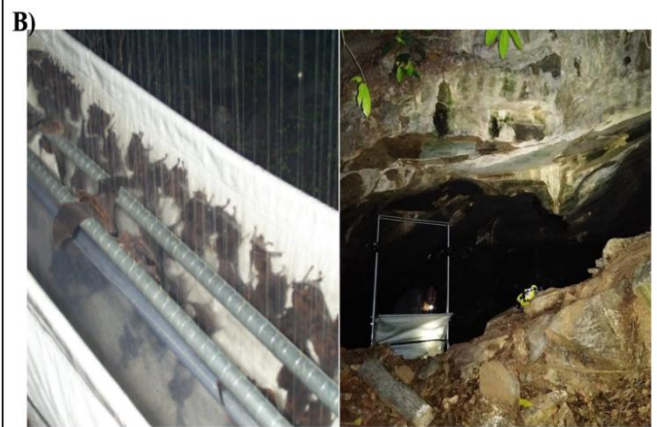
Meu Rei	Novembro/2018	60	87
Meu Rei	Dezembro/2018	60	126
Meu Rei	Janeiro/2019	60	15.760
Furna do Morcego	Julho/2017	86	71.071
Furna do Morcego	Abril/2018	160	37.250
Furna do Morcego	Junho/2018	139	12.975
Furna do Morcego	Julho/2018	150	19.013
Furna do Morcego	Agosto/2018	80	16.180
Furna do Morcego	Setembro/2018	80	3.112
Furna do Morcego	Outubro/2018	109	123
Furna do Morcego	Novembro/201	172	159
Furna do Morcego	Dezembro/2018	185	31.256
Furna do Morcego	Janeiro/2019	117	745
Casa de Pedra	Janeiro/2016	100	137.499
Casa de Pedra	Fevereiro/2017	100	74.292
Caverna do Urubu	Janeiro/2016	140	158.884
Furna do Urubu	Janeiro/2016	90	9.303
Furna do Urubu	Agosto/2017	122	307
Furna do Urubu	Setembro/2018	78	12.764

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

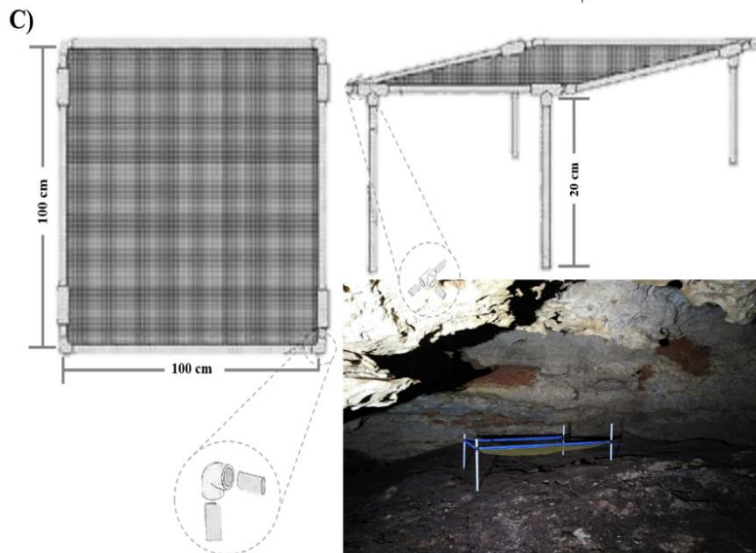
APÊNDICE H – Registro fotográfico das metodologias aplicadas. A) Contagem do número de morcego; B) Captura dos morcegos; C) Coletor para deposição de guano; D) Medidor graduado (cm); E) Grid montado na caverna, de 1 m² – a seta vermelha indica o ponto de interseção onde foram feitas as medidas de profundidade.



Câmera termossensível (FLIR – E60), perpendicular à entrada
Foto: Narjata Tércia Pimentel



Harp trap posicionada na entrada da caverna Casa de Pedra – SE, com ênfase para a forma de captura
Foto: Narjata Tércia Pimentel



Coletor de guano (1 m²)
Foto: Narjata Tércia Pimentel



Medidor graduado (cm)
Foto: Narjata Tércia Pimentel



Grid regular (1 m²)
Foto: Narjata Tércia Pimentel

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE I – Registro fotográfico das espécies identificadas neste estudo. Espécies com círculo vermelho são espécies vulneráveis no Brasil, de acordo com a Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014).

 <p><i>Anoura geoffroyi</i> Foto: Aida Otálora-Ardila</p>	 <p><i>Carollia perspicillata</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>	 <p><i>Desmodus rotundus</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>
 <p><i>Dhiphylla ecaudata</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>	 <p><i>Glossophaga soricina</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>	 <p><i>Lonchorhina aurita</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>
 <p><i>Natalus macrourus</i> Foto: Narjara Tércia Pimentel</p>	 <p><i>Peropteryx cf. macrotis</i> Foto: Roberto L. M. Novaes</p>	 <p><i>Phyllostomus hastatus</i> Foto: Roberto L. M. Novaes</p>
 <p><i>Pteronotus gymnonotus</i> Foto: Aida Otálora-Ardila</p>	 <p><i>Pteronotus personatus</i> Foto: M. Dewynter</p>	 <p><i>Tonatia bidens</i> Foto: Frederico Hintze</p>

Fonte: Elaborado por Narjara Pimentel (autora).

APÊNDICE J – Registro fotográfico da estrutura conhecida como *apse flutes* (A e B) (tubos longos e verticais que se formam no teto da caverna), presente na *bat cave* Furna do Morcego, em Pernambuco, localizada na câmara de concentração dos *Pteronotus*.

