



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

JENNIFER DE SOUSA BARROS PEREIRA

**SELEÇÃO E USO DE CAVERNAS POR MORCEGOS E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA A CLASSIFICAÇÃO
DE RELEVÂNCIA DESTES AMBIENTES**

Recife
2022

JENNIFER DE SOUSA BARROS PEREIRA

**SELEÇÃO E USO DE CAVERNAS POR MORCEGOS E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA A CLASSIFICAÇÃO
DE RELEVÂNCIA DESTES AMBIENTES**

Tese 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 Doutora em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Enrico Bernard

Recife
2022

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB4/1788

Pereira, Jennifer de Sousa Barros

Seleção e uso de cavernas por morcegos e suas implicações para classificação de relevância destes ambientes / Jennifer de Sousa Barros Pereira. – 2022.

188 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Enrico Bernard. .

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, Recife, 2022.

Inclui referências e apêndices.

1. Morcegos. 2. Cavernas - Conservação. 3. Política ambiental. I. Bernard, Enrico (orientador). II. Título.

599.4

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2022-154

JENNIFER DE SOUSA BARROS PEREIRA

**SELEÇÃO E USO DE CAVERNAS POR MORCEGOS E SUAS IMPLICAÇÕES
PARA A CLASSIFICAÇÃO
DE RELEVÂNCIA DESTES AMBIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutora em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Animal

Aprovada em: 20/06/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Enrico Bernard

Orientador

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Membro Externo

Universidade Federal de Lavras

Prof.^a Dra. Bruna Bezerra

Membro Interno

Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Aída Otálora-Ardila

Membro Externo

Instituto de Investigação de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt

Dr. Diego de Medeiros Bento

Membro Externo

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de
Cavernas - ICMBio

Dr. Eder Barbier

Membro Suplente Externo

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro Simões

Membro Suplente Interno

Universidade Federal de Pernambuco

À minha mãe Fernanda Barros, por todo amor, apoio, e por me ensinar todo o infinito conhecimento que a vida necessita e o meio acadêmico não ensina.

Ao meu irmão Caio Barros, que me inspira a querer ser exemplo, e que já, desde jovem, tanto me ensina.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura e organização. Aos coordenadores, Ulisses Pinheiro, Bruna Bezerra, Pedro Nunes e Leandro Vieira, pela disposição em ajudar sempre que preciso. Um agradecimento especial ao Manoel Guimarães, por estar sempre disposto a tirar todas nossas dúvidas e facilitar nossas vidas sempre que possível.

Agradeço a todos os professores do programa pelo conhecimento transmitido nas disciplinas, e a todos que contribuíram durante os meus seminários. Agradeço especialmente aos professores com quem tive a oportunidade de fazer estágio em docência: Bruna Bezerra, Diego Astúa, Pedro Nunes, Pedro Ivo e Luciano Naka, foi realmente um período de grande aprendizado para mim. Aos pesquisadores que formaram minha banca de qualificação, Bruna Bezerra, Diego Astúa e Patrício Adriano Rocha, por suas contribuições valiosas.

Agradeço também a minha banca de defesa pelo tempo gasto revisando esta tese e por todas as valiosas contribuições: Rodrigo Lopes Ferreira, Bruna Bezerra, Diego Bento, Aída Otálora-Ardila. Super Obrigada!!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa concedida. À Anglo American pelo apoio financeiro, e ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN), por todo suporte, e em especial à Vitalane Alves, por toda disposição e agilidade de sempre.

Aos morcególogos que participaram da publicação da revisão da IN 02/17: Augusto Gomes, Maricélio Guimarães, Leonardo Dias, Patrício Rocha e Valeria Tavares. Foi uma honra poder colaborar e aprender com vocês. Aos especialistas que se dispuseram do seu tempo para enviar um *feedback* à proposta de protocolo de classificação de cavernas: Augusto Gomes, Carla Nobre, Daniel Reis, Diego Bento, Drielle dos Santos Martins; Eder Barbier, Leonardo Dias, Lucas Rabelo, Marconi Sousa e Silva, Marília Barros, Marina Martins, Nathalia Yurika, Patrício Adriano da Rocha, Rodrigo Lopes Ferreira e Thiago Castro, meu super obrigada! Agradeço imensamente também a todos que participaram e ajudaram durante os campos: Eder Barbier, Frederico Hitze, Narjara Tércia Pimenetel, Fernanda Ito, Gabriel Guedin, Deibson Bello, Clébio Rodrigues, Patrício Adriano Rocha, Raone Beltrão-Mendes, Juan Carlos Mena, Emmanuel Messias, Gustavo Urbietta, Diego Bento, Uilson Campos, Iatagan Freitas, Paulo Maier, Flávia Regina, Tereza Raquel e Cícero Simão. Essa tese não seria possível sem vocês e por isso eu sou realmente grata.

Ao meu orientador, Enrico Bernard, pela oportunidade e por confiar a mim esse projeto tão importante, pelas discussões e críticas que me ajudaram a evoluir, pela enorme paciência (que eu sei... que as vezes, raras vezes, foi preciso), e pelos momentos de descontração e amizade. Já te admirava antes como referência, sendo sua orientada pude admirar também pela pessoa e pelo orientador que você é, que ainda busca melhorar, e isso é realmente raro de ver na academia hoje dia, então agradeço também pelo exemplo. Por último, mas não menos importante, agradeço por nos mostrar o grande cantor da Xuxa que mora dentro de você.

Agradeço a todos os integrantes do Laboratório de Ciências Aplicadas a Conservação da Biodiversidade, com quem tive o prazer de conviver, aprender e socializar: Aída Otálora-Ardila, Ana Cláudia Jardelino, Carina Rodrigues, Eder Barbier, Edson Leal, Fernanda Ito, Frederico Hintze, Mariana Delgado-Jaramillo, Marília Barros e Narjara Pimentel. Obrigada por me receberem de forma tão acolhedora no lab. e em Recife.

Agradeço especialmente aos queridos amigos e parceiros para campo, bares, churras, carnaval e cantorias: Eder Barbier, Deibson Belo, Narjara Pimentel, Fernanda Ito, Frederico Hintze, e Gabriel Guedin, por me fazerem sentir em casa desde o primeiro momento, por toda amizade, caos e aprendizado. Vocês são incríveis e é uma honra realmente poder compartilhar dessa paixão pelos morcegos (umas plantas e uns besouros agregados) com vocês.

Às pessoas e amigades maravilhosas que Recife me trouxe de presente: Carlos, Leta, Izabela Cavalcante, Eugênio Marcos, Paulo Dias, Johann Brehmer, Gonzalo, Shirley Aldine, Edclécia Barbosa, Bjöörn Eike, Phillip Hanfland, obrigada por me aguentarem e fazerem da vida em Recife superleve e divertida. Um muitíssimo obrigada mais que especial às guerreiras Jess Oliveira, Jerry, e Kátia Cristina, que dividiram um cantinho comigo e à Dayanna Sousa, parceira de todas as horas. Vocês realmente merecem um prêmio.

Agradeço também aos meus amigos mais antigos de Curitiba (Karine Leslie, Juliana Santos, Rafael Lima, Jessica Quintanilha, Caroline Mello, Angie Thaisa, Dwayne Becker, Caroline Godar, Rodrigo Almeida), e a família Zane, minha família de coração: Dona Ruth, minha mana maluca Hildislaine (Dúa), Gildislaine (Gigi), Josylaine (Josy), Dinarilaine (Dinari) e Joycelaine (Joyce) com quem tive o privilégio de crescer e também fazem parte dessa conquista.

Aos amigos que fui fazendo no decorrer desse caminho pelo Brasil atrás de morcego, que estiveram sempre torcendo e acompanhando a minha saga. Em especial, a galera do CEBS, os Speleogaláticos e as pessoas com quem pude trabalhar e aprender seja fazendo consultorias, ou campo de pesquisa. Sinto saudade de cada lugarzinho que passei e guardo com carinho as boas memórias e amigades.

Aos morcegos, esses seres incríveis que já me levaram tão longe, espero que consiga retribuir com um pouquinho que seja para que mais e mais pessoas percebam a importância da sua conservação.

E à minha família, por todo amor, carinho, incentivo, por se fazerem sempre presentes, mesmo distantes: Tio Nando, Tia Maureth, Tia Jóia, Tio Renato, Andhré, Talítha, meu afilhadinho lindo Nicollas. Ao meu little brother Caio Barros, e a minha mãe Fernanda Barros, por entenderem a ausência, e pelo apoio de sempre, nas mais pequenas coisas. Agradeço, principalmente, por ter todos vocês, saudáveis e bem para compartilhar a alegria desse momento. Amo vocês, todo grão de areia, toda gota d'água, toda galáxia, todo universo.

Cordel

Cavernas, são cofres secretos
Que guardam histórias da vida
Não é um hotel fazenda
Mas, a ninguém nega guarida
Abrija organismos vivos
E fatos antigos perdidos

Do Oiapoque ao Chuí neste país amado
Não podemos destruir nem depois de investigado
Um patrimônio importante que guarda
Grande legado

A história é um profeta
De olhar voltado para trás
Nisso, não manda quem governa
Manda quem é capaz
De buscar lá na caverna
Certezas que a história refaz

Tereza Rachel Ribeiro

RESUMO

Cavernas estão entre os abrigos mais importantes para centenas de espécies de morcegos, sendo possível encontrar cavernas com alta riqueza, atingindo até mais de 20 espécies. Essa relação com a caverna pode ser mais ou menos forte, sendo que para algumas espécies chega a ser restrita, como o caso de espécies que formam grandes colônias e dependem das cavernas para manter suas populações. Entretanto, as cavernas são consideradas um dos ecossistemas menos conhecidos e mais vulneráveis, sendo altamente ameaçados por atividades antrópicas, como a mineração. O Brasil conta com 73 espécies de morcegos já registradas em cavernas, incluindo espécies nacionalmente ameaçadas, e outras espécies que formam grandes colônias em cavernas. Considerando que a conservação dos morcegos, bem como de seus abrigos, é necessária, a presente tese é constituída por duas partes, cada uma constituída por dois capítulos. A primeira, focada em ecologia, é composta por um capítulo onde avaliei como as características físicas e ambientais das cavernas influenciam a riqueza, elevada abundância e seleção de habitat em diferentes espécies de morcegos em colônias com milhares de indivíduos. Verifiquei a preferência das espécies do gênero *Pteronotus* por cavernas mais estáveis, bem como uma influência da grande abundância dessas colônias na variação de temperatura nas cavernas. A riqueza foi também relacionada cavernas mais estáveis e com outras espécies apresentando preferências por diferentes características estruturais e climáticas das cavernas. As relações encontradas indicam uma influência indireta de *Pteronotus* na riqueza das cavernas, destacando a importância de proteger essas espécies e as cavernas que lhes servem de abrigo. No segundo capítulo ecológico, utilizei dados de literatura para avaliar a relação da litologia das cavernas com a riqueza de morcegos, a raridade das espécies em cavernas e testar possíveis métodos para a avaliação e determinação de altas abundância para diferentes espécies de morcegos. A riqueza de espécies de morcegos foi menor em litologias ferríferas do que em carbonáticas, a raridade em morcegos em cavernas deve ser avaliada, considerando também o tipo de uso que as espécies fazem das cavernas. E abundâncias excepcionais, podem ser consideradas aquelas com valores iguais ou superiores a cinco vezes a média de abundância regional da espécie. Na segunda parte desta tese, meu foco foi em políticas públicas e conservação de morcegos e cavernas. Assim, no primeiro capítulo da segunda parte, revisei os critérios utilizados para classificar a relevância de cavernas no processo de licenciamento ambiental, com ênfase nos morcegos, e identifiquei diversos pontos que poderiam ser

atualizados. No segundo capítulo focado em conservação, tendo como base em estudos internacionais de priorização de cavernas, elaborei um protocolo para classificação de cavernas, considerando os morcegos como grupo focal. Finalizo propondo o uso e padronização de metodologias essenciais para o estudo de morcegos em ambientes cavernícolas. Neste sentido, o protocolo de classificação de relevância de cavernas proposto, se aplicado no licenciamento ambiental, e com metodologias padronizadas, poderá contribuir para uma análise de relevância mais precisa, ao menos no que tange à proteção dos morcegos e às cavernas por eles utilizadas.

Palavras-chaves: Análise de relevância; Chiroptera; Conservação; Grandes colônias; Licenciamento Ambiental; Políticas Públicas Ambientais.

ABSTRACT

Caves are among the most important roosts for hundreds of species of bats, and it is possible to find caves with high richness, reaching up to more than 20 species. This relationship for some species it is even restricted, as in the case of species that form large colonies and depend on caves to maintain their populations. However, caves are considered one of the least known and most vulnerable ecosystems, being highly threatened by human activities such as mining. Brazil has 73 species of bats already recorded in caves, including nationally threatened species, and other species that form large colonies in caves. Considering that the conservation of bats, as well as their roosts, is necessary, this thesis consists of two parts, each one with two chapters. The first, focused on ecology, is composed of a chapter where I evaluated how the physical and environmental characteristics of caves influence the richness, high abundance and habitat selection in different species of bats in colonies with thousands of individuals. I verified the preference of species of the genus *Pteronotus* for more stable caves, as well as an influence of the great abundance of these colonies on the temperature variation in the caves. Richness was also related to more stable caves and to other species showing preferences for different structural and climatic characteristics of caves. The relationships found indicate an indirect influence of *Pteronotus* on the richness of the caves, highlighting the importance of protecting these species and the caves that serve as their roosts. In the second ecological chapter, I used data from the literature to evaluate the relationship between cave lithology and bat richness, the rarity of species in caves, and to test possible methods for assessing and delimitating high abundance for different bat species. The species richness of bats was lower in iron than in carbonate lithologies, the rarity of bats in caves must be evaluated also considering the type of use that the species make of the caves. And exceptional abundances can be considered those with values equal to or greater than five times the regional average abundance of the species. In the second part of this thesis, my focus was on public policies and conservation of bats and caves. Thus, in the first chapter of the second part, I reviewed the criteria used to classify the relevance of caves in the environmental licensing process, with emphasis on bats, and identified several points that could be updated. In the second chapter focused on conservation, based on international cave prioritization studies, I developed a protocol for classifying caves, considering bats as a focus group. I conclude by proposing the use and standardization of essential methodologies for the study of bats in cave environments. In this sense, the proposed cave relevance classification protocol, if applied in environmental licensing, and with

standardized methodologies, may contribute to a more accurate relevance analysis, at least regarding the protection of bats and the caves used by them.

Keywords: Chiroptera; Conservation; Environmental Licensing; Large colonies; Public Environmental Policies; Relevance analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
2.1	A ORDEM CHIROPTERA.....	18
2.2	MORCEGOS E AMBIENTES SUBTERRÂNEOS	22
2.3	AMEAÇAS E CONSERVAÇÃO DE MORCEGOS.....	27
2.4	LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA NO BRASIL.....	28
3	ECOLOGIA	31
3.1	CORRELAÇÕES ENTRE FATORES FÍSICOS E AMBIENTAIS, ELEVADA ABUNDÂNCIA E RIQUEZA DE MORCEGOS EM CAVERNAS BRASILEIRAS.	31
3.2	PANORAMA GERAL DA QUIROPTEROFAUNA CAVERNÍCOLA BRASILEIRA: UMA AVALIAÇÃO SOBRE RIQUEZA, ABUNDÂNCIA E RARIDADE.....	61
4	CONSERVAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS	99
4.1	ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DE CAVERNAS: UMA REVISÃO DA INSTRUÇÃO NORMATIVA 02/2017 SOB A PERSPECTIVA DOS MORCEGOS	99
4.2	CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA DE CAVERNAS NO BRASIL, COM ÊNFASE EM MORCEGOS.....	120
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE	157
	REFERÊNCIAS	159
	APÊNDICE A - METODOLOGIAS RECOMENDADAS PARA AMOSTRAGEM DE MORCEGOS EM ESTUDOS DE INVENTÁRIO E MONITORAMENTO EM CAVERNAS	171
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DE CAVERNAS: UMA REVISÃO DA IN 02/17 SOB A PERSPECTIVA DOS MORCEGOS	180

1 INTRODUÇÃO

Morcegos pertencem à ordem Chiroptera, a segunda maior dentre os mamíferos, com mais de 1450 espécies e ampla distribuição mundial (SIMMONS; CIRRANELO, 2022). Morcegos são fundamentais para os ecossistemas, desempenhando importantes funções como polinização, dispersão de sementes e controle de insetos (KUNZ et al., 2011). Apesar disso, muitas espécies de morcegos são afetadas pela fragmentação e perda de habitats, bem como por atividades antrópicas, como a mineração, que causa a destruição direta de um de seus principais abrigos, as cavernas (FRICK; KINGSTON; FLANDERS, 2019). Esses ambientes fornecem aos morcegos proteção contra predadores e intempéries climáticas (KUNZ, 1982), sendo que diferentes espécies de morcegos selecionam suas cavernas através de diferenciadas preferências em relação a microhabitats e microclimas disponíveis no interior dos ambientes subterrâneos (BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2020). Essa relação é especialmente importante para algumas espécies que se abrigam restritamente em cavernas (ARITA, 1993), e para espécies que formam colônias com milhares de morcegos, e dependem das cavernas para a manutenção e sobrevivência das suas populações (PAVAN; TAVARES, 2020; ROCHA, 2013).

O Brasil é um país rico em cavernas e em espécies de morcegos, com mais de 22.600 cavernas conhecidas (CECAV, 2021) e ao menos 73 espécies de morcegos já registradas se abrigando nesses ambientes (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; TORRES; BICHUETTE, 2019). Em um cenário de alta riqueza de espécies de morcegos, de elevada ocorrência potencial de cavernas, e de forte pressão sobre os ambientes subterrâneos nas quais dezenas de espécies de morcegos se abrigam, a proteção destes ambientes é identificada como prioritária para a conservação de morcegos no Brasil (BERNARD et al., 2012). Entretanto, o Brasil historicamente tem interesse econômico em atividades mineradoras, atividades estas potencialmente nocivas às cavernas (BRASIL, 2020). Considerando que o país tem expertise tanto na área de pesquisa com quirópteros, quanto em espeleologia, resta utilizar esta expertise para a produção de informações científicas úteis ao processo de tomada de decisões e, tão importante quanto, aprimorar a legislação nacional protetiva de cavernas.

Neste sentido, a presente tese está organizada em duas partes, a primeira focada em aspectos ecológicos da seleção e uso de cavernas como abrigos por morcegos, e a segunda focada na conservação e políticas públicas que envolvem as cavernas e suas populações de morcegos. Antecedem a apresentação destas duas partes, esta introdução e um referencial teórico que versa sobre o grupo dos morcegos, sua relação com os ambientes subterrâneos, as

ameaças que recaem sobre esta relação, a importância da conservação de morcegos e cavernas, e sobre o que diz a legislação espeleológica brasileira.

Minha abordagem ecológica, é apresentada através de dois manuscritos. O primeiro manuscrito, intitulado “*Correlações entre fatores físicos e ambientais, elevada abundância e riqueza de morcegos em cavernas Brasileiras*” teve por objetivo avaliar quais as características físicas e ambientais das cavernas influenciam a riqueza, abundância e a seleção de abrigo em diferentes espécies de morcegos, em cavernas com milhares de indivíduos.

O segundo manuscrito focado em ecologia (“*Panorama geral da quirópteroфаuna cavernícola brasileira: uma avaliação sobre riqueza, raridade e abundância*”) teve como o objetivo preencher lacunas e gerar subsídios para a conservação de morcegos cavernícolas do Brasil. Neste manuscrito foram abordadas, a partir da análise de dados oriundos de uma revisão de estudos já realizados, as seguintes perguntas: 1) Como a riqueza de morcegos é influenciada pela litologia das cavernas? 2) Como avaliar raridade em morcegos em cavernas e quais espécies de morcegos podem ser consideradas raras nas cavernas brasileiras? 3) Como avaliar elevadas abundâncias em diferentes espécies de morcegos em cavernas?

A parte focada em conservação é formada também por dois manuscritos, cujos objetivos são contribuir, por meio de revisões e proposições, para melhorias nas políticas públicas que tratam do licenciamento ambiental envolvendo ambientes cársticos no Brasil. O primeiro artigo intitulado: “*Análise de relevância de cavernas: Uma revisão da Instrução Normativa 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos*”, traz uma revisão dos 10 critérios que consideram morcegos na legislação de análise de relevância de cavernas do Brasil, avaliando sua objetividade, aplicabilidade e indicando quais seriam os pontos que carecem de melhorias sob a perspectiva de conservação dos morcegos. Este artigo foi publicado no Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia, em 2020.

O segundo manuscrito focado em conservação, é intitulado “*Protocolo para classificação da relevância de cavernas no Brasil, com ênfase em morcegos*”. Trata de uma proposta desenvolvida com o intuito de sanar as falhas identificadas no processo de classificação de relevância de cavernas no licenciamento ambiental brasileiro, considerando os morcegos como objeto de estudo. Para isso, 1) realizei uma revisão de estudos anteriores de priorização de cavernas para conservação com foco em morcegos, aplicados em outras partes do mundo, 2) elaborei uma primeira proposta de protocolo a partir das experiências internacionais identificadas, 3) enviei esta versão para apreciação de especialistas; e 4) após *feedback* destes especialistas, realizei correções e revisões que resultaram na atual proposta de um protocolo de classificação de relevância de cavernas aqui apresentada.

Assim, a primeira parte desta tese fornece informações ecológicas que contribuem para o conhecimento sobre o uso e seleção de cavernas por morcegos no Brasil, servindo de suporte para a revisão de critérios e para a elaboração da proposta de classificação de relevância de cavernas apresentadas na segunda parte da tese. Riqueza, raridade e abundância são variáveis necessárias na proposta de classificação de relevância de cavernas, entretanto, estas variáveis podem ser afetadas por diferentes técnicas e abordagens de amostragens. Assim, outra carência identificada no decorrer do desenvolvimento desta tese foi a necessidade de aplicação de metodologias padronizadas quando do estudo de morcegos em ambientes cavernícolas. De forma que finalizo esta tese com considerações finais, e um apêndice com sugestões de metodologias complementares indicadas para uma melhor amostragem de morcegos em cavernas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

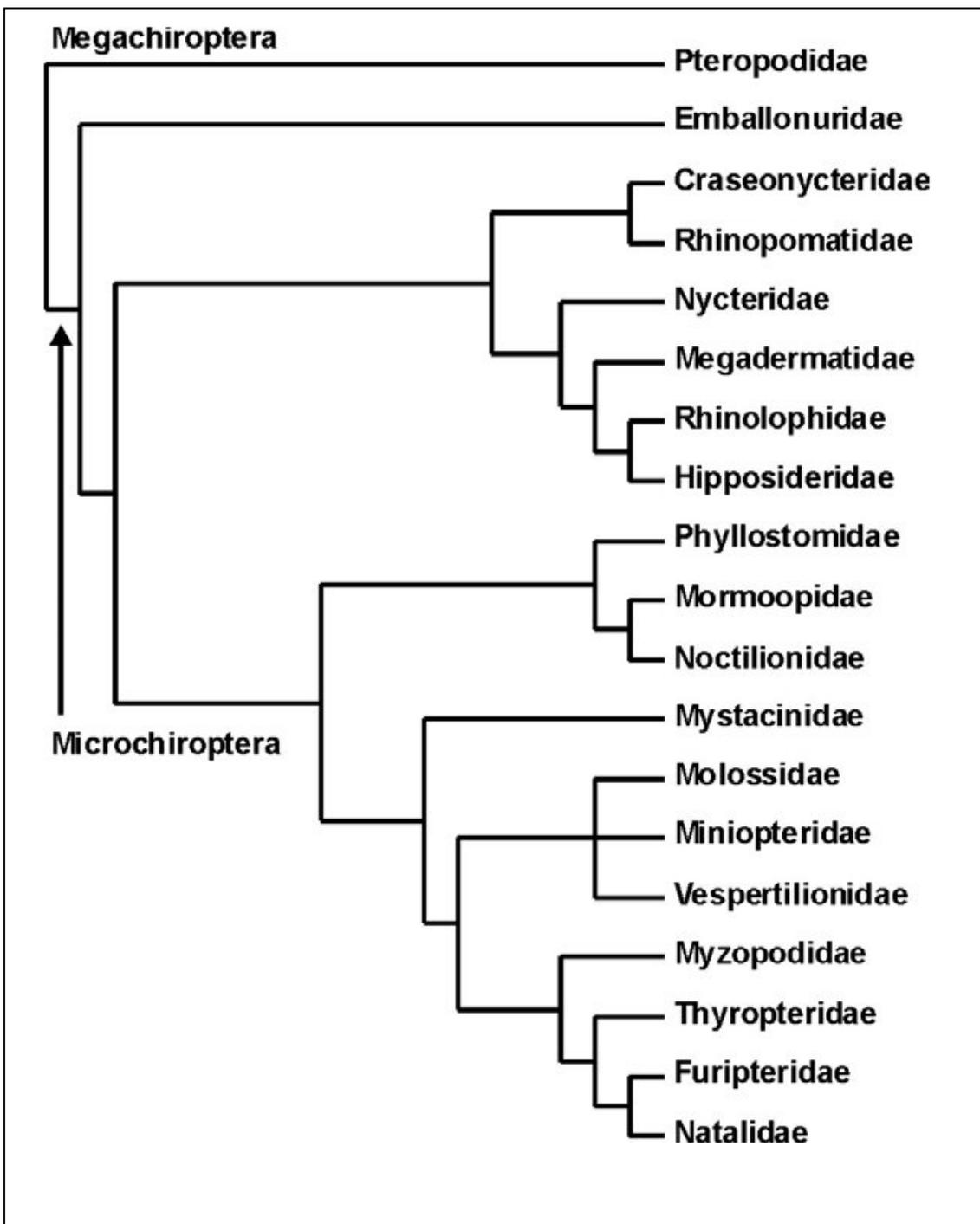
2.1 A ORDEM CHIROPTERA

Morcegos são os únicos mamíferos com capacidade de voo verdadeiro, e essa é apenas uma das várias características que definem e caracterizam estes animais como seres tão extraordinários. Tendo suas mãos adaptadas para o voo, tal característica dá nome à ordem Chiroptera (do grego: kheir = mãos, pteron = asas) a qual pertencem. Em sua história evolutiva, a habilidade de voar permitiu aos morcegos alcançar um maior número de habitats, favorecendo a grande diversificação encontrada no grupo (COOPER; SEARS, 2013), bem como sua ampla distribuição ao redor do mundo. Constituindo cerca de 25% das espécies de mamíferos, a ordem Chiroptera conta, atualmente, com mais de 1450 espécies de morcegos conhecidas (SIMMONS; CIRRANELO, 2022) distribuídas por todos os continentes, exceto a Antártica.

Essa diversidade taxonômica é um reflexo da enorme diversidade morfológica encontrada no grupo, sendo, por muito tempo, a morfologia a principal forma utilizada para se classificar as espécies de morcegos. As subordens Megachiroptera e Microchiroptera (Figura 1), eram ambas consideradas monofiléticas e separavam, levando em consideração caracteres morfológicos, as grandes raposas-voadoras, pertencentes à família Pteropodidae (Megachiroptera), das demais famílias, que compunham a subordem Microchiroptera (SIMMONS, 1994, SIMMONS; GEISELER, 1998; SMITH, 1976).

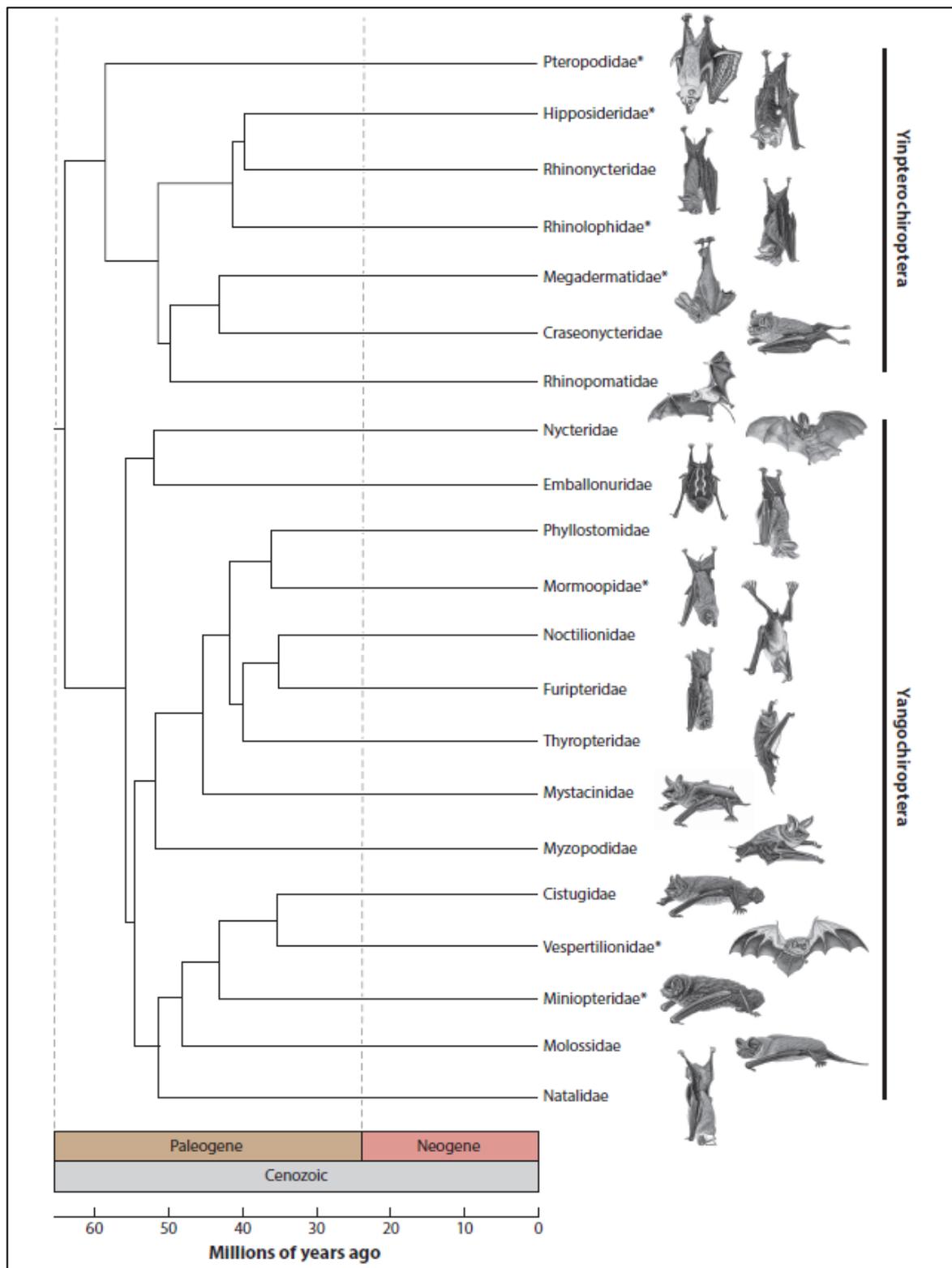
Com o avanço das tecnologias e a implementação de estudos moleculares, novas descobertas surgiram, e a origem evolutiva a partir de um único ancestral (monofilética) de mega e microquirópteros foi questionada. Segundo os estudos moleculares, as raposas-voadoras teriam o mesmo ancestral de alguns grupos de microquirópteros, tornando assim os dois grupos parafiléticos (HUTCHEON; KIRSCH; PETTIGREW, 1998; SPRINGER et al., 2001; TEELING et al., 2002; TEELING et al., 2018). A partir daí, uma nova classificação e nomenclatura vem sendo também utilizada, e os morcegos são divididos atualmente entre as subordens (Figura 2): Yinpterochiroptera, que agrupa a família Pteropodidae e o grupo Rhinolophoidea - composto por seis famílias de microquirópteros, e Yangochiroptera, agrupando as 14 famílias restantes de microquirópteros (SIMMONS; CIRRANELO, 2022). As espécies pertencentes a Yinpterochiroptera (422) ocorrem apenas no Velho Mundo, estando distribuídas pela África, Ásia, Europa e Oceania, enquanto nas Américas (Novo Mundo) ocorrem apenas espécies pertencentes à Yangochiroptera (1033), sendo estas também amplamente distribuídas pelos outros continentes (SIMMONS; CIRRANELO, 2022).

Figura 1. Filogenia da ordem Chiroptera baseada em caracteres morfológicos.



Fonte: Retirado de SIMMONS; GIESELER, 1998.

Figura 2. Filogenia da ordem Chiroptera baseada em caracteres moleculares.



Fonte: Retirado de TEELING et al., 2018.

Para alcançar essa extensa distribuição e elevada riqueza, além do voo, os morcegos ainda contaram com a contribuição de outra importante característica presente no grupo: a ecolocalização (JONES; TEELING, 2006). A ecolocalização é um sistema ativo de orientação,

que permite que os animais colem informações sobre seu entorno a partir da captação dos ecos refletidos pelos sons que eles produzem (GRIFFIN; GALAMBOS, 1941). Nos morcegos, este sistema é característico dos microquirópteros, que produzem sons de alta frequência através da laringe (FENTON, 2013; NEUWEILER, 2000), enquanto na família Pteropodidae apenas as espécies do gênero *Rousettus* são capazes de ecolocalizar, porém o fazem utilizando a língua para emissão dos sinais (ALTRINGHAM, 1996; FENTON, 2013). Através da ecolocalização, os morcegos conseguem, independentemente da disponibilidade de luz, se localizarem espacialmente, perceber a presença, tamanho e distância de obstáculos e presas e ainda se comunicarem socialmente (FENTON, 2016; GOERLITZ et al., 2010; HOLLAND; WATERS; RAYNER, 2004; KALKO; SCHNITZLER, 1989; VOIGHT-HEUCKE; TABORSKY; DECHMANN, 2010). Assim, sem a necessidade de luz para se orientar, os morcegos puderam expandir para nichos noturnos, diminuindo a competição com outros grupos animais e garantindo seu sucesso global (JONES; TEELING, 2006; KUNZ; FENTON, 2006; NEUWEILER, 2000).

Como consequência da diversidade encontrada no grupo, aliada com suas incríveis habilidades para voar e ecolocalizar, as diferentes espécies de morcegos, com suas adaptações morfológicas, podem explorar uma variedade de recursos alimentares, sendo possível encontrar no grupo uma ampla gama de dietas e comportamentos relacionados (KALKO, HANDLEY; HANDLEY, 1996; NOWAK, 1994). Morcegos insetívoros são maioria, constituem cerca de 70% da ordem e podem buscar seu alimento em voo (em áreas abertas ou próximos de superfícies aquáticas) ou ainda capturar suas presas diretamente do substrato (SCHNITZLER; KALKO, 2001). Dentre os morcegos fitófagos, existem aqueles que se alimentam de frutos (FLEMING, 1986) enquanto outras espécies se alimentam do néctar e pólen das plantas (FLEMING; GEISELMAN; KRESS, 2009). Dentre estes nectarívoros, especializações na língua podem diferenciar os grupos e a maneira como eles obtém o alimento (TSCHAPKA; GONZALEZ-TERRAZAS; KNORNSCHILD, 2015). Algumas espécies possuem papilas que retém o néctar enquanto os morcegos fazem movimentos repetidos com a língua, da planta à boca (e.g. Glossophaginae), enquanto outras espécies possuem sulcos laterais na língua, que permitem a absorção do néctar por capilaridade enquanto ela permanece em contato com a planta constantemente (Lonchophylinae) (TSCHAPKA; GONZALEZ-TERRAZAS; KNORNSCHILD, 2015). Existem ainda as espécies carnívoras, que podem se alimentar de uma variedade de pequenos vertebrados, como por exemplo: peixes, anuros, roedores, marsupiais, e mesmo outros morcegos (BROOKE, 1994; CRAMER; WILLIG; JONES, 2001; GARDNER, 1977; PETERSON; KIRMSE, 1969). E, por fim, três espécies neotropicais apresentam uma

dieta bastante especializada, se alimentando de sangue de aves e mamíferos (GREENHALL et al., 1983; GREENHALL et al., 1984; GREENHALL; SCHUTT JR., 1996). Mesmo sendo um número muito pequeno de espécies hematófagas, grande parte do preconceito contra os morcegos é decorrente da falta de conhecimento e errônea generalização em relação a este tipo de dieta. Assim, vale ressaltar que o consumo de sangue humano por essas espécies é apenas ocasional (ITO; BERNARD; TORRES, 2016).

Embora sejam frequentemente associados a estereótipos negativos relacionados a doenças e mitos (e.g. raiva, covid, ou ainda lendas sobre vampiros), os morcegos desempenham importantes funções ecológicas. Em decorrência dos diferentes tipos de alimentação encontrados no grupo, os morcegos possuem significativa contribuição em processos como polinização, dispersão de sementes e controle de populações de insetos. Tais funções são benéficas aos seres humanos, sendo consideradas como serviços ecossistêmicos (KUNZ et al., 2011). Morcegos nectarívoros já foram associados à polinização de mais de 500 angiospermas ao redor do mundo (FLEMING; GEISELMAN; KRESS, 2009), muitas delas de importância econômica, como a agave no México para a produção da tequila (TREJO-SALAZAR et al., 2016), e o pequi no Brasil (GRIBEL; HAY, 1993). Da mesma maneira, a dispersão de sementes realizada por morcegos frugívoros, reconhecida para ao menos 549 espécies de plantas (LOBOVA; GEISELMAN; MORI, 2009), favorecem a restauração vegetal em sistemas agroflorestais (DESHPANDE; KELKAR, 2015; ENRÍQUEZ-ACEVEDO et al., 2020). Na agricultura, o benefício é associado ao controle de insetos, que se alimentam de plantações de interesse econômico, realizado por populações de morcegos insetívoros, que tem o potencial de consumir toneladas de insetos em uma única noite (AGUIAR et al., 2021; KASSO; BALAKRISHNAN, 2013; KUNZ; WHITAKER; WADANOLI, 1995), limitando assim a abundância de pragas agrícolas e contribuindo diretamente para uma economia de bilhões de dólares (BOYLES et al., 2011).

2.2 MORCEGOS E AMBIENTES SUBTERRÂNEOS

Além de suas características singulares, diversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados, morcegos ainda merecem destaque por seu papel fundamental em um dos principais abrigos que utilizam, as cavernas.

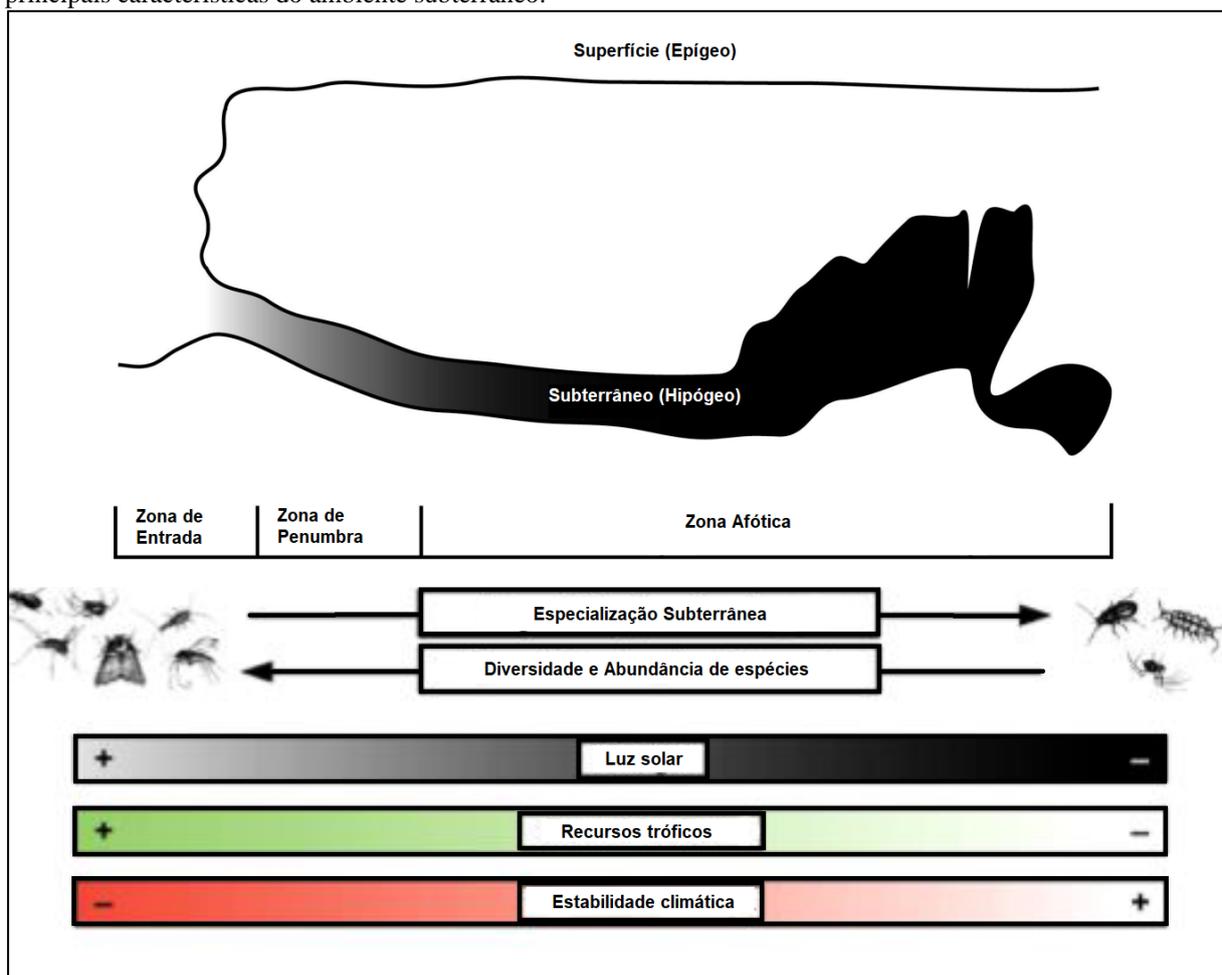
As cavidades naturais subterrâneas, também conhecidas como cavernas, são em grande maioria, formadas através da dissolução de rochas, principalmente pela ação da água ácida (STANFORD; GILBERT; DANIELOPOL, 1994). De forma geral, quando a água da chuva

(H₂O), que absorveu dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera tornando-se ácida a partir da formação do ácido carbônico (H₂CO₃), penetra no solo e entra em contato com a rocha resulta em sua dissolução formando assim condutos e galerias, que em alguns casos formam cavernas (AULER; PILÓ, 2019). Cavidades naturais subterrâneas se desenvolvem em sistemas complexos e dinâmicos, de morfologia e hidrologia característicos, que permanecem em constante modificação (GUTIERREZ et al., 2014; WHITE, 2002). De forma que é possível encontrar cavernas em diversos tipos de litologias, como por exemplo quartizitos, arenitos, ou ainda ferruginosas (WHITE; CULVER, 2005), sendo, entretanto, as carbonáticas (calcários, dolomitos, mármore) as mais comuns e maiores, uma vez que caracterizam – se por sua alta solubilidade (RUBBIOLI et al., 2019). Cavernas de diferentes litologias possuem diferenças estruturais relacionadas às suas dimensões, nível de compactação e conectividade com ambientes externos, fatores que influenciam diretamente a disponibilidade de espaço internos (CULVER; PIPAN, 2009) e conseqüentemente sua ocupação por diferentes organismos.

Como principais características dos ambientes subterrâneos, estão a ausência permanente de luz, alta estabilidade ambiental, umidade elevada e temperatura constante nas porções mais distantes das entradas (POULSON; WHITE, 1969). Tais características podem variar de acordo com o nível de influência que o ambiente externo (epígeo) possui sobre determinada caverna, sendo possível distinguir três zonas ambientais: I) eufótica, é a zona de entrada, onde a incidência de luz é direta e as condições climáticas são fortemente influenciadas por variações externas; II) disfótica, zona de penumbra, onde a incidência de luz e variações climáticas recebem uma menor influência do meio exterior; e III) zona afótica, com ausência completa de luz e tendência a elevada estabilidade ambiental (CAMACHO, 1992). Essa zonação é determinante para a ocorrência e distribuição dos organismos associados às cavernas, com a zona de entrada agindo como um filtro entre o ambiente epígeo (externo) e hipógeo (subterrâneo), favorecendo organismos mais pré-adaptados a se estabelecerem nas regiões mais profundas das cavernas, gerando alto grau de endemismo e raridade (CULVER; PIPAN, 2009; FERREIRA, 2019). Assim, os organismos cavernícolas podem ser classificados, baseado em características morfológicas, ecológicas e evolutivas em: I) troglóbios, organismos de ocorrência restrita aos ambientes subterrâneos; II) troglófilos, organismos de ocorrência facultativa em ambientes subterrâneos, capazes de completar seu ciclo de vida independentemente do meio (epígeo ou hipógeo); e III) troglógenos, organismos que utilizam ambientes subterrâneos como abrigo ou para alimentação, mas que dependem do ambiente externo para completar seu ciclo de vida (HOLSINGER; CULVER, 1988). Dessa forma, os morcegos são troglógenos que fazem uso das cavernas como seus abrigos de maneira eficiente

e permanente (FUREY; RACEY, 2015; KUNZ, 1982), favorecendo ainda a sobrevivência de outros organismos, incluindo troglóbios, através de seu guano. Morcegos saem diariamente para se alimentar e quando retornam à caverna e completam o processo de digestão, depositam no ambiente subterrâneo significativas quantidades de matéria orgânica em forma de guano, o que serve de input energético para muitas espécies da fauna de invertebrados cavernícolas (FERREIRA et al., 2007; FERREIRA, 2019).

Figura 3. Representação esquemática clássica de uma caverna, suas zonações (entrada, penumbra e afótica) e as principais características do ambiente subterrâneo.



Fonte: Adaptado de MOULDS, 2007 e MAMMOLA, 2018.

A utilização de cavernas por morcegos é favorecida por suas habilidades de voo e ecolocalização que permitem que os morcegos consigam explorar regiões mais profundas das cavernas independente da disponibilidade de luz (KUNZ, 1982). Morcegos passam mais da metade de suas vidas em seus abrigos, de forma que fatores como permanência e estabilidade são cruciais na seleção do abrigo (KUNZ, 1982). Assim, a estabilidade estrutural e climática proporcionada pelas cavernas as tornam ótimos abrigos para várias espécies de morcegos,

conferindo proteção contra predadores e adversidades climáticas e favorecendo a interação social, reprodução e cuidado parental (CHRUSZCZ; BARCLAY, 2002; FENTON et al., 1994; McCracken; Lumsden; Kunz, 2006; Willis; Brigham, 2007).

Os fatores que influenciam a seleção de determinada caverna para diferentes espécies de morcegos são variados. Enquanto que para algumas espécies características estruturais como a presença de cúpulas, fraturas ou espeleotemas (ARITA, 1996; BARROS; BERNARD; FERREIRA 2020a; TÉLLEZ et al. 2018) ou o tamanho da caverna (PHELPS et al., 2016; VARGAS-MENA et al., 2020) são os fatores determinantes em sua seleção, outras espécies selecionam seus abrigos por suas condições microclimáticas (AVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004; LIZARRO et al., 2020; RODRÍGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; TORRES-FLORES; LÓPEZ-WILCHIS, 2010), e ainda existem espécies que selecionam as cavernas por fatores da paisagem do entorno (BARROS et al., 2020; PHELPS et al., 2016; VARGAS-MENA et al., 2020). Tal fato é resultado dos requerimentos específicos de cada espécie, em decorrência de suas adaptações fisiológicas, condições reprodutivas específicas, ou ainda como resposta a perturbações ambientais (ROCHA, 2013; TORRES-FLORES; LÓPEZ-WILCHIS; SOTO-CASTRUITA, 2012; WIJAYANTI; MARYANTO, 2017). Morcegos podem ainda utilizar mais de uma caverna regularmente (LEAL; BERNARD, 2021), apresentando muitas vezes uma flutuação bastante dinâmica em sua ocupação (OTÁLORA-ARDILA et al., 2019). O uso e mobilidade entre cavernas podem ser influenciados por disponibilidade de alimentos e composição da dieta, ciclos reprodutivos e segregação sexual de abrigo, capacidade de termorregulação e variação na temperatura ambiental (CARVALHO et al., 2017; LEWIS, 1995; TRAJANO, 1996).

Assim, é possível encontrar cavernas com altas riquezas, atingindo até mais de 20 espécies registradas (BARROS et al., 2021; TORRES-FLORES; SANTOS-MORENO, 2017). Elevadas riquezas geralmente estão associadas a cavernas maiores e mais complexas, que podem oferecer uma maior quantidade de microhabitats, bem como criar uma variação espacial nas condições microclimáticas favorecendo os requerimentos específicos de um maior número de espécies (ALTRINGHAM, 1996; BRUNET; MEDELLÍN, 2001). Alguns casos de cavernas com elevada riqueza, são associados ainda com colônias formadas por centenas ou milhares de indivíduos (ARITA 1993, PÉREZ-TORRES et al. 2015, VARGAS-MENA et al. 2020).

Para espécies que formam grandes colônias (Figura 4), concentrando milhares de indivíduos em um único espaço, a relação com o abrigo pode ser ainda mais crucial, considerando que muitas vezes a sobrevivência de suas populações pode depender dessas

cavernas (RODRÍGUEZ-DURÁN, 2009; WIEDERHOLT et al., 2015). Em regiões temperadas, abrigos utilizados para hibernação de grandes colônias são caracterizados por sua estabilidade microclimática que evita o total congelamento dos morcegos, mas mantêm temperaturas frias o suficiente para que permaneçam em torpor durante o período em que a disponibilidade de alimento é reduzida (RANSOME, 1990). Em regiões tropicais, a temperatura nas cavernas é igualmente relacionada à formação de colônias com elevadas abundâncias, sendo possível identificar duas categorias de cavernas: aquelas aquecidas por convecção, onde a origem de temperaturas elevadas é o meio externo (FUREY; RACEY, 2015), e cavernas quentes (*hot caves*), aquecidas internamente como consequência de grandes concentrações de morcegos (DE LA CRUZ, 1992; SILVA-TABORDA, 1979). No Neotrópico, o primeiro caso é geralmente associado a espécies da família Phyllostomidae (RODRÍGUEZ-DURÁN, 2020), enquanto o segundo é relacionado à família Mormoopidae (RODRÍGUEZ-DURÁN, 1995). Há o registro de cavernas quentes no México (DALQUEST; HALL, 1949), nas Antilhas (DE LA CRUZ, 1992), em Cuba (MANCINA et al., 2007; TEJEDOR et al., 20005), em Porto Rico (RIVERA-MARCHAND; RODRÍGUES-DURÁN, 2001; RODRÍGUES-DURÁN, 1995, 1998), na Venezuela (ARENDS BONACCORSO; GENOUD, 1995; DE LA CRUZ, 1992) e no Brasil (FEIJÓ; ROCHA, 2017; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019; ROCHA et al., 2011; VARGAS-MENA et al., 2018), entretanto relativamente poucos estudos são voltados a entender quais são os fatores determinantes para a seleção de abrigo por colônias formadas de milhares de indivíduos, e as interações ecológicas de coabitação com outras espécies (HERNÁNDEZ-AGUILAR; SANTOS-MORENO, 2020; RODRIGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; TÉLLEZ et al., 2018).

Figura 4. Grande colônia de morcegos formada por espécies do gênero *Pteronotus*.



Fonte: Enrico Bernard.

2.3 AMEAÇAS E CONSERVAÇÃO DE MORCEGOS

Cavernas estão entre os ecossistemas mais ameaçados do mundo, sendo fortemente afetados pela perda de habitat de entorno (SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2015; TRAJANO, 2000), mineração, agricultura e atividades industriais (REBOLEIRA et al., 2011; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2015; SUGAI et al., 2015; TRAJANO, 2000), poluição por agroquímicos (DI LORENZO et al., 2015; REBOLEIRA et al., 2013), turismo (MOLDOVAN; RACOVITĂ; RAJKA, 2003) e ainda pelas mudanças climáticas (MAMMOLA; GOODACRE; ISAIA, 2019). A destruição dos ambientes cavernícolas é indicada como uma das principais ameaças para a conservação de morcegos globalmente, seja por distúrbios antrópicos em menor escala (e.g. caça, vandalismo, turismo nos abrigos), ou em escalas maiores, como a mineração, e os efeitos dessas ações sobre as populações de morcegos são preocupantes e merecem atenção (FRICK et al., 2019). De fato, espécies que se abrigam restritamente em cavernas, e/ou que formam grandes e concentradas agregações são especialmente vulneráveis, uma vez que a destruição completa de seus abrigos pode acarretar,

em casos mais graves, até extinções em populações locais (FUREY; RACEY, 2015). Cerca de 30% das espécies ameaçadas mundialmente são afetadas em decorrência das perturbações antrópicas em seus abrigos (FRICK; KINGSTON; FLANDERS, 2019).

No Brasil, o cenário não é diferente e a proteção das cavernas é um dos desafios mais preocupantes para a conservação dos morcegos no país (BERNARD, et al., 2012). O Brasil é um país rico em cavernas, sendo estimado que aproximadamente 7% do território seja constituído de áreas cársticas (AULER; FARRANT, 1996). São conhecidas mais de 22.600 cavernas já registradas na base do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV, 2021), entretanto essa é ainda uma pequena porção em comparação com as 310.000 cavernas já estimadas para o país (AULER; PILÓ, 2011). Embora esse valor seja considerável, ele é equiparável aos elevados interesses do setor minerário do país (BRASIL, 2020), e ao mesmo tempo o conhecimento atual sobre o uso de cavernas por morcegos no Brasil é muito reduzido, sendo que apenas menos de 3% das cavernas registradas já foram amostradas em relação à quiropterofuna (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018). Dentre as 182 espécies de morcegos que ocorrem no Brasil (GARBINO, et al., 2020; GARBINO; BRANDÃO; TAVARES, 2022), 73 já foram registradas em cavernas (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; TORRES; BICHUETTE, 2019), sendo que das quatro espécies ameaçadas na lista oficial do país, três delas são fortemente afetadas pela destruição das cavernas (BRASIL, 2022b), que está intimamente ligada à demanda nacional e global de extração de minérios como o calcário e o ferro.

2.4 LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA NO BRASIL

O Brasil possui legislação específica que trata do processo de licenciamento ambiental, com o intuito de minimizar e mitigar os impactos negativos de atividades empreendedoras, como a mineração (BRASIL, 1981), entretanto muito há que ser melhorado em sua redação e aplicação.

Antes mesmo da publicação da Constituição Federal Brasileira, o meio ambiente tornou-se foco de discussões e decisões políticas no país, considerando inclusive o patrimônio espeleológico brasileiro. A partir da Lei ° 6938 de 1981, quando foi estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente, fica estabelecido que a exploração dos recursos naturais deveria ser precedida e autorizada através de um processo de licenciamento ambiental. Em 1986, por meio da Resolução COMANA n° 9, foi criada uma Comissão Especial para tratar de assuntos relacionados ao patrimônio espeleológico, liderada pela Sociedade Brasileira de Espeleologia

(SBE). No ano seguinte, por meio da Resolução CONAMA nº5/1987, foi implementado o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, com o intuito de estruturar racionalmente a exploração e/ou proteção de cavernas.

Em 1988, com a publicação da Constituição Federal, as cavidades naturais foram declaradas como bens da União, assim como sítios arqueológicos e pré-históricos. Em 1989, é criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Renováveis (IBAMA), órgão dedicado a fiscalizar, preservar, conservar e controlar o uso e fomentar os estudos em áreas naturais, inclusive em cavernas. Em 1990, por meio da Portaria nº 887/90, o IBAMA dá diretrizes referentes à proteção da paisagem do entorno das cavernas e estabelece que estudos de determinação para área de influência da caverna devem ser realizados, sugerindo a proteção de ao menos 250 metros do entorno até que os estudos de influência fossem consolidados para cada caso. Ainda neste ano, com a publicação do Decreto Federal nº 99.556 de 1990, as cavernas foram consideradas patrimônio cultural brasileiro, prevendo-se assim, sua preservação e conservação, de forma que estudos e pesquisas técnico-científicas, bem com atividades de cunho espeleológico, turístico, recreativo e educativo poderiam ser permitidas.

Em 2004, a Resolução CONAMA nº347/04, com o intuito de aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, ainda que entrando em conflito com o Decreto 99.556/90, instituiu diversas diretrizes para o uso e exploração dos ambientes cavernícolas. Dentre as resoluções, foi indicada a necessidade da realização de Planos de Manejo para uso turístico, religioso ou cultural das cavernas, foi instituído o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), foram definidos os atributos a serem avaliados na análise de impacto às cavernas, assim como formas de compensação, além de determinar como responsabilidade do IBAMA a autorização de licenças de capturas e coleta.

O Decreto Federal nº 6640 de 2008, alterou significativamente o arcabouço legal de proteção de cavernas, estabelecendo que as cavidades naturais subterrâneas sejam classificadas de acordo com seu grau de relevância, podendo ser de máxima, alta, média, ou baixa relevância. No ano seguinte, por meio da Instrução Normativa nº 02/2009, foram definidas as diretrizes para análise de relevância de cavernas, levando em consideração atributos biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos. De acordo com tais normas, às cavernas de máxima relevância é garantida a proteção integral, enquanto cavernas em áreas de licenciamento ambiental classificadas como de alta, média e baixa relevância podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante diferentes níveis de compensação ambiental. Ainda em 2009, a Portaria MMA nº 358/09, instituiu o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.

A publicação do Decreto 6640/08, gerou grande discussão entre variados setores envolvidos com a temática espeleológica, como pesquisadores, órgãos ambientais e indústria (AULER; PILO, 2014; TRAJANO; BICHUETTE, 2010), uma vez que foi considerada por muitos como uma flexibilização e redução na proteção de cavernas (BERNARD, et al., 2012), e por outros como uma oportunidade de aumentar o conhecimento sobre o patrimônio espeleológico brasileiro e dar celeridade ao processo de licenciamento ambiental, entretanto em ambas as perspectivas, vários pontos da normativa careciam de melhorias (JAFFÉ et al., 2016). Em 2017, a revisão da IN 02/09 é publicada como Instrução Normativa 02/2017, atualizando as diretrizes de análise de relevância, e embora melhor do que a primeira versão, ainda com carência de melhorias a serem realizadas.

No que tange aos morcegos, são 10 os atributos considerados na IN 02/17 que contemplam o grupo na classificação de relevância de cavernas, alguns desses atributos carregam subjetividade e margem para diferentes interpretações, o que prejudica o processo do licenciamento ambiental e a conservação dessas espécies e de seus habitats.

Desde 2017, o debate técnico-científico evoluiu e as diferentes esferas envolvidas com estudos espeleológicos procuram estratégias para aliar conservação, objetividade, e eficácia na construção de um processo de licenciamento espeleológico sustentável no Brasil, uma vez que é previsto que a Instrução normativa passe por revisões. Entretanto, em 2022, o Decreto 10935/22 (BRASIL, 2022a), trouxe uma série de modificações ainda mais prejudiciais para a conservação dos ecossistemas cavernícolas (FERREIRA, et al., 2022), estando ainda sob revisão das esferas legais e concomitantemente com processo de elaboração de uma versão atualizada da nova instrução normativa correspondente. Assim, informações ecológicas e ações práticas que possam contribuir com o processo de melhoria para determinação de diretrizes futuras no processo de licenciamento ambiental no Brasil se fazem extremamente necessárias. A identificação do problema por si só é insuficiente para uma efetiva conservação (WILLIAMS; BALMFORD; WILCOVE, 2020), e segundo Mammola et al. (2022) é necessário explorar abordagens baseadas em soluções, propondo e implementando intervenções conservacionistas e posteriormente monitorando sua eficácia.

3 ECOLOGIA

3.1 CORRELAÇÕES ENTRE FATORES FÍSICOS E AMBIENTAIS, ELEVADA ABUNDÂNCIA E RIQUEZA DE MORCEGOS EM CAVERNAS BRASILEIRAS.

ABSTRACT

Bats select their roosts in a species-specific way. This selection is probably related to the different physiological and adaptive needs of each species. Unlike species whose individuals roost solitarily, roost selection is more critical for species forming exceptionally large colonies due to their additional requirements for population maintenance. Using captures, bioacoustics, and automated censuses, we evaluated how physical and environmental variables (cave size, ceiling characteristics, environmental stability, temperature, and humidity) influence the formation of exceptionally large bat colonies, bat species richness and composition in caves in northeastern Brazil. *Pteronotus* (Mormoopidae) colonies were positively related to cave size, stability, and ceiling characteristics. The presence of those colonies strongly influenced temperature variation inside caves. Bat species richness was also influenced by stability. Species other than *Pteronotus* showed a preference for different climatic and ceiling characteristics combined. Our results indicate an indirect influence of the exceptional abundance of *Pteronotus* on the richness and occupation of other species inside caves. On the other hand, caves favor improved coexistence, as they offer a greater range of microenvironments, reducing niche overlap in their interior. *P. gymnonotus* and *P. personatus* stood up as both key- and umbrella species for cave ecosystems, stressing the need for specific conservation strategies for these species and their roosts in Brazil.

Keywords: bat caves, Chiroptera, conservation, ecological preferences, karst environment, *Pteronotus*, roost selection, large colonies.

RESUMO

Morcegos selecionam seus abrigos de maneira espécie-específica. Essa seleção provavelmente está relacionada às diferentes necessidades fisiológicas e adaptativas de cada espécie. Ao contrário de espécies cujos indivíduos abrigam-se solitariamente, para espécies que formam colônias excepcionalmente abundantes, a seleção de abrigos é ainda mais crítica devidos aos requisitos extras para a manutenção de suas populações. Usando capturas, bioacústica e censos automatizados, avaliamos como as variáveis físicas e ambientais (tamanho da caverna, características do teto, estabilidade ambiental, temperatura e umidade) influenciam a formação

de colônias de morcegos excepcionalmente grandes, bem como a riqueza e composição de espécies de morcegos em cavernas no nordeste do Brasil. Colônias de *Pteronotus* (Mormoopidae) foram relacionadas positivamente com o tamanho, estabilidade e características do teto. A presença de tais colônias influenciou fortemente a variação de temperatura dentro das cavernas. A riqueza de espécies de morcegos também foi influenciada pela estabilidade. Espécies diferentes de *Pteronotus* mostraram preferência por diferentes características climáticas e de teto combinadas. Nossos resultados indicam uma influência indireta da abundância excepcional de *Pteronotus* na riqueza e ocupação de outras espécies dentro das cavernas. Por outro lado, as cavernas favorecem uma melhor coexistência das espécies, pois oferecem uma maior variedade de microambientes, reduzindo a sobreposição de nichos em seu interior. Destacamos *P. gymnonotus* e *P. personatus* como espécies-chave e espécies guarda-chuva para ecossistemas cavernícolas, enfatizando a necessidade de estratégias de conservação específicas para essas espécies e seus abrigos no Brasil.

Palavras-chave: ambiente cárstico, *bat caves*, Chiroptera, conservação, grandes colônias, preferências ecológicas, *Pteronotus*, seleção de abrigo.

INTRODUÇÃO

Morcegos cavernícolas selecionam diferentes atributos relacionados a características físicas e ambientais oferecidas pelas cavernas (ARITA, 1996; BRUNET; MEDELLIN, 2001). Enquanto a presença de algumas espécies é associada ao tamanho da caverna, para outras a complexidade, disponibilidade de diferentes microhabitats (como cúpulas, buracos e fraturas), ou as condições microclimáticas (temperatura, umidade ou luminosidade) são variáveis mais importantes (PHELPS et al., 2016; VARGAS-MENA et al., 2020; BARROS et al., 2020a). As preferências ecológicas de cada espécie podem estar associadas a diferentes necessidades como, por exemplo, adaptações fisiológicas das espécies (AVILA-FLORES; MEDELLÍN 2004), condições reprodutivas específicas (ROCHA, 2013) ou ainda como uma resposta a perturbações no ambiente, tais como a intensidade de ruídos ou oscilações na quantidade e intensidade de luz (WIJAYANTI; MARYANTO 2017).

Para algumas espécies de morcegos, a relação com o abrigo é ainda mais crucial uma vez que estas formam grandes colônias com dezenas ou até centenas de milhares de indivíduos e dependem das cavernas para a manutenção de suas populações (RODRÍGUEZ-DURÁN, 2009; WIEDERHOLT et al. 2015). Nas Américas, essas cavernas com populações excepcionalmente numerosas são dominadas pela ocorrência de espécies do gênero *Pteronotus*,

alguns Phyllostomideos, e ainda pela espécie *Tadarida brasiliensis* (RODRÍGUEZ-DURÁN, 2009; LADLE et al., 2012; WIEDERHOLT et al., 2015; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019; RODRÍGUEZ-DURÁN, 2020), estando também associadas com a formação de colônias maternidade (TORRES-FLORES et al. 2012; STEPANIAN; WAINWRIGHT 2018).

No Brasil, essas grandes colônias são formadas principalmente pelas espécies *Pteronotus gymnonotus* e *Pteronotus personatus* e há registros de sua ocorrência na região nordeste e na Amazônia (OTÁLORA-ARDILA et al. 2019). A concentração de milhares de indivíduos nessas cavernas frequentemente aumenta a temperatura e umidade relativa do ar em seu interior (DE LA CRUZ, 1992; RODRÍGUEZ-DURÁN, 1998; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019), podendo atingir até 40°C e mais de 90% de saturação. Para *P. gymnonotus* e *P. personatus* as condições microclimáticas nas cavernas têm influência direta sobre o desenvolvimento pós-natal e o recrutamento da prole (ROCHA, 2013; PAVAN; TAVARES, 2020). Dessa forma, encontrar cavernas que garantam as condições ideais para a formação das grandes colônias é fundamental para a reprodução e manutenção de suas populações.

Os estudos a respeito da seleção de abrigo em morcegos são focados principalmente em sua influência sobre a riqueza e composição de espécies, relacionando o alto número de espécies ao tamanho da caverna, estabilidade ambiental e/ou a disponibilidade de microhabitats no interior da caverna (BRUNET; MEDELLIN, 2001; LUO et al., 2013; PHELPS et al., 2016; WIJAYANTI E MARYANTO, 2017; VARGAS-MENA et al., 2020; BARROS et al., 2020a). Tais estudos têm demonstrado que cavernas maiores e mais estáveis (i.e., com menor influência do meio externo), podem favorecer um maior número de espécies, da mesma forma como cavernas com gradientes de temperatura em seu interior conseguem suprir os requerimentos fisiológicos de mais espécies. Entretanto, para as espécies neotropicais ainda é incipiente o conhecimento a respeito dos fatores que influenciam a formação de colônias com milhares de indivíduos e mais além, como essa elevada abundância pode afetar a coabitação com outras espécies nos abrigos (RODRIGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; TÉLLEZ et al., 2018; HERNÁNDEZ-AGUILAR; SANTOS-MORENO, 2020). Algumas cavernas podem frequentemente abrigar > 100,000 morcegos, e entender a dinâmica em cavernas com populações de abundância altamente excepcional, bem como quais características favorecem a ocorrência de colônias com milhares de indivíduos, pode servir como um passo à frente para estudos futuros de identificação de áreas e cavernas prioritárias para inventários e monitoramento, e ainda como base para estratégias de conservação mais direcionadas (PHELPS et al., 2016). Tais estratégias podem viabilizar a proteção direta dos morcegos, além de beneficiar indiretamente também uma ampla gama de outros organismos cavernícolas

associados ao aporte energético gerado pelo guano dos morcegos nas cavernas (FERREIRA et al., 2007; FERREIRA, 2019).

Utilizando um conjunto de 11 cavernas na região Nordeste do Brasil, o objetivo do presente estudo foi avaliar quais as características físicas e ambientais das cavernas influenciam a formação de colônias de morcegos com abundâncias excepcionalmente elevadas, bem como a riqueza e composição de morcegos nessas colônias. Partimos das seguintes hipóteses: 1) A abundância das grandes colônias de morcegos estará relacionada positivamente ao tamanho e à estabilidade ambiental da caverna, pois cavernas maiores poderiam suportar um número maior de indivíduos e a estabilidade ambiental poderia favorecer a manutenção das grandes populações; 2) A riqueza de espécies será maior em cavernas maiores, mais estáveis, e que possuam maiores gradientes de temperatura e umidade em seu interior; e 3) As diferentes espécies irão apresentar seleção específica por diferentes habitats internos das cavernas, uma vez que cada espécie apresenta requerimentos fisiológicos, ecológicos e comportamentais específicos.

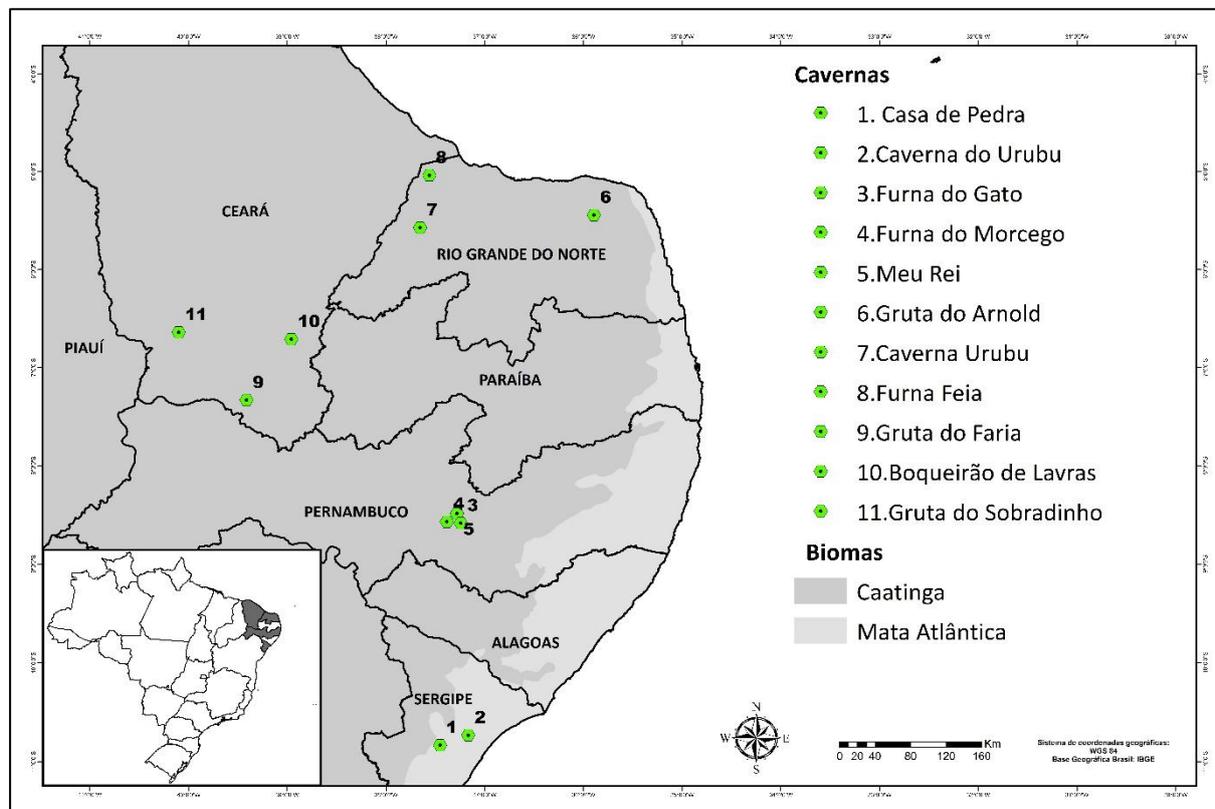
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo. — Foram amostradas 11 cavernas (Tabela 1) distribuídas nos estados de Sergipe (2 cavernas), Pernambuco (3), Rio Grande do Norte (3) e Ceará (3), na região Nordeste do Brasil (Figura 1). As cavernas amostradas diferem em sua formação tendo origem calcária ou arenítica (Tabela 1).

As cavernas de Sergipe estão localizadas em uma área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga, onde predomina o clima Tropical Megatermal, com a estação seca no verão e temperaturas variando entre 23 °C e 27 °C, e com precipitação anual média entre 1000 e 1400 mm, usualmente concentrada nos meses de abril a agosto (ALVARES et al., 2013; ARAGÃO et al., 2013). As demais cavernas estão localizadas no semiárido brasileiro, que faz parte do bioma Caatinga e é caracterizada predominantemente como floresta tropical sazonalmente seca (SILVA et al., 2017). O clima da região é classificado como semiárido quente, com temperaturas variando entre 25° C e 30° C e precipitação anual média variando espaço-temporalmente entre 600 e 1200 mm em sua maior porção, usualmente concentrada nos meses de março a julho (ANDRADE et al., 2017). As cavernas em Sergipe, no Rio Grande do Norte e no Ceará foram amostradas em julho de 2019, enquanto as cavernas em Pernambuco foram amostradas em fevereiro de 2021. Embora as amostragens tenham sido realizadas em

períodos diferentes, as condições de precipitação e temperatura à época da realização de ambas as amostragens foram semelhantes (INMET, 2019; 2021).

Figura 1. Localização da área de estudo no Nordeste do Brasil. Os pontos verdes representam as 11 cavernas amostradas entre 2019 e 2021.



Fonte: A autora (2022).

Coleta de dados abióticos. — Os dados referentes ao tamanho das cavernas foram obtidos através do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE (CECAV, 2019), ou para cavernas não cadastradas uma estimativa do tamanho foi realizada através de um mapeamento topográfico (CAVALCANTI, 1996).

A avaliação da disponibilidade de micro habitats para os morcegos no interior das cavernas foi realizada pela caracterização do teto de cada caverna levando em consideração estruturas que podem ser utilizadas pelas espécies. Assim, foram contabilizados fraturas, cúpulas e buracos (Tabela 1). Fraturas foram consideradas como as rupturas encontradas nas rochas. Cúpulas e buracos são concavidades presentes no teto e foram diferenciadas por suas dimensões: as cúpulas foram definidas por serem maiores em diâmetro do que em profundidade, enquanto os buracos são mais profundos em relação ao seu diâmetro.

A estabilidade ambiental das cavernas foi avaliada por meio do Índice de Estabilidade Ambiental – IEA (e.g. FERREIRA, 2004; BENTO et al., 2016; PELLEGRINI et al., 2016;

BARROS et al., 2020a). O índice (IEA) reflete a estabilidade das cavernas em relação ao meio epígeo, considerando o tamanho da caverna (projeção horizontal - PH), número de entradas (NE), a distância média entre as entradas (DEE) (quando mais de uma) e a largura das entradas (LE), de acordo com as fórmulas:

$$IEA = \ln \left(\frac{PH}{LE} \right), \text{ para cavernas com apenas uma entrada, e}$$

$$IEA = \ln \left[\frac{PH \left(\frac{PH}{\sum LE} \right)}{(NE * DEE)} \right], \text{ para cavernas com mais de uma entrada.}$$

Assim, cavernas maiores com uma única entrada tendem a apresentar maior IEA em relação às menores e/ou com múltiplas entradas (FERREIRA, 2004).

Para avaliar as condições microclimáticas foram calculadas a média e amplitude de temperatura e umidade no interior das cavernas. Foram realizadas 10 medições equidistantes no interior de cada caverna, considerando sua projeção horizontal, seguindo Barros et al., (2020a).

Coleta de dados bióticos. — Para determinar a riqueza em cada caverna foram realizadas incursões diurnas para busca ativa e capturas com puçá. Os morcegos capturados foram identificados em campo com a utilização de chaves de identificação e soltos posteriormente (GARDNER, 2008; DIAZ et al., 2016). A captura dos morcegos foi autorizada pela licença SISBIO 68992-1, e foi realizada de acordo com as normas da American Society of Mammalogists (SIKES et al., 2019), e com autorização nº 114/2019 da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Pernambuco – CEUA/ UFPE. Para confirmação da identificação de espécies dificilmente capturadas (e.g. insetívoros) foram ainda realizadas gravações bioacústicas com detectores de ultrassom (model SM4 – Wildlife Acoustics, Massachusetts, USA) posicionado na saída da caverna durante o mesmo período das filmagens infravermelhas. Os gravadores foram configurados para captar a faixa de frequência de até 384 kHz e 16 bit de profundidade de áudio. Os sinais de ecolocalização gravados foram analisados através do software Raven Pro 1.5 (Cornel Lab of Ornithology, Ithaca), e identificados ao mais alto nível taxonômico possível segundo Arias-Aguilar et al., (2018).

Para a realização da estimativa populacional de cada caverna foi utilizada a técnica não invasiva de censo populacional baseado em imagens infravermelhas termais (e.g. OTÁLORA-ARDILA et al., 2020). Uma câmera termossensível (FLIR E60) foi instalada na saída do abrigo por um período de três horas durante a emergência dos morcegos e, posteriormente, com o uso de um algoritmo especialmente desenvolvido para contagem (RODRIGUES et al. 2016), os morcegos identificados nas imagens captadas foram contabilizados.

Análise dos dados. — Inicialmente, os dados foram testados quanto à normalidade. A análise de correlação de Spearman foi utilizada para avaliar a relação entre a abundância e as demais variáveis (riqueza, projeção horizontal, estabilidade, temperatura e umidade – média e amplitude). Preferiu-se utilizar correlação para avaliar a abundância uma vez que para algumas variáveis (e.g. temperatura e umidade) a abundância atua como variável independente e para outras (e.g. tamanho e estabilidade da caverna) como a variável dependente.

Para avaliar a influência das características da caverna sobre a riqueza de espécies, realizamos regressões lineares com as variáveis: projeção horizontal (PH), índice de estabilidade (IEA), e amplitude da temperatura e da umidade.

Para avaliar a relação entre as características das cavernas e a composição, e com as espécies individualmente, foi realizada uma análise multivariada de abundância baseada em modelos lineares generalizados (WANG et al., 2012). Os modelos foram elaborados com as variáveis: projeção horizontal, índice de estabilidade, média e amplitude da temperatura e umidade, buracos, cúpulas e fraturas. Esta análise foi realizada utilizando o pacote *mvabund*, por meio da função *manyglm* (WANG et al., 2012), no programa R versão 4.0.3 (R CORE TEAM, 2020). Embora a análise avalie abundância, é possível a utilização de dados de presença/ausência através da função *manyglm*. Como os valores de abundância obtidos a partir das contagens com câmeras termais são absolutos para a colônia como um todo sem diferenciar as espécies, utilizamos os dados de presença e ausência nesta análise, com a família de distribuição “binomial” especificada em cada modelo. Para assegurar que a suposição inferida em cada modelo estava correta, foram realizados testes de diagnóstico, através de gráficos da distribuição dos resíduos (Material Suplementar 1 – Figuras MS1 a MS6). A função *anova.manyglm* foi utilizada para avaliar a significância das variáveis preditoras sobre a composição de espécies. Além disso, foram aplicados testes univariados, utilizando o valor de p não ajustado para determinar a resposta individual em cada espécie. Para esta análise foram consideradas apenas aquelas espécies que ocorreram em pelo menos três cavernas, uma vez que a utilização de espécies raras poderia gerar resultados enviesados.

RESULTADOS

Dados Abióticos. — As cavernas variaram em tamanho de 44 a 707 metros de projeção horizontal (Tabela 1). O IEA das cavernas amostradas variou de 2.18 a 6.27 (Tabela 1). A temperatura média nas cavernas variou de 27.1° C a 36.3° C, com amplitudes entre 1.9° C e 9.8° C, enquanto a umidade média registrada foi de 55.8 % a 94.4% com amplitudes entre 8% e 29% (Tabela 1).

Tabela 1. Localização das bat caves amostradas no Nordeste brasileiro entre 2019 e 2021, e suas respectivas rochas constituintes. São apresentados ainda dados abióticos de tamanho (PH), estabilidade (IEA), características físicas do teto (cúpulas, buracos e fraturas) e condições microclimáticas. PH: projeção horizontal; IEA: Índice de Estabilidade Ambiental; Cup: cúpulas; Fra: fraturas; Bur: buracos.

Caverna	Coordenadas		Estado	Município	Tipo de Rocha	PH	IEA	Teto			Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Longitude	Latitude						Cup	Bur	Fra	Média	Amplitude	Média	Amplitude
1. Casa de Pedra	37°27'3.54"O	10°50'3.22"S	Sergipe	Ribeira	Calcário	210	3.66	33	4	24	32.4	5.4	87	21
2. Caverna do Urubu	37° 9'55.94"O	10°43'58.27"S	Sergipe	Laranjeiras	Calcário	195	4.25	55	3	10	27.1	6.5	90.5	11
3. Furna do Gato	37°14'26.47"O	8°35'9.89"S	Pernambuco	Buíque	Arenito	46.8	3.24	19	3	43	28.28	2.6	64.6	22
4. Furna do Morcego	37°22'55.40"O	8°34'14.10"S	Pernambuco	Ibimirim	Arenito	44.5	2.18	48	18	62	32.49	1.9	56.9	14
5. Meu Rei	37°16'48.80"O	8°29'14.10"S	Pernambuco	Tupanatinga	Arenito	162.5	3.36	26	1	76	28.45	3.7	55.8	28
6. Gruta do Arnold	35°53'37.16"O	5°26'36.32"S	Rio Grande do Norte	João Câmara	Calcário	81	4.15	67	18	47	31.7	4.1	90	13
7. Caverna Urubu	37°39'8.83"O	5°34'22.81"S	Rio Grande do Norte	Felipe Guerra	Calcário	250	2.65	29	22	56	30.8	2.3	85.1	29
8. Furna Feia	37°33'31.81"O	5° 2'13.27"S	Rio Grande do Norte	Barauna	Calcário	707.5	4.96	137	12	27	30.5	2.7	82.4	23
9. Gruta do Faria	39°24'45.90"O	7°19'59.00"S	Ceará	Crato	Arenito	150	3.91	21	1	32	28.1	3.5	94.4	22
10. Boqueirão de Lavras	38°57'28.10"O	6°42'45.05"S	Ceará	Lavras da Mangabeira	Calcário	200	3.25	53	31	46	36.3	9.8	90.9	23
11. Gruta do Sobradinho	40° 5'57.13"O	6°38'35.75"S	Ceará	Aiuaba	Arenito	235	6.27	22	3	53	32.2	3.9	88.1	8

Fonte: A autora (2022).

Influência na abundância. — Oito cavernas apresentaram grandes congregações de morcegos, majoritariamente representadas por espécies do gênero *Pteronotus* (Tabela 2). Apenas a caverna Furna Feia apresentou uma grande colônia formada pela espécie *Phyllostomus discolor*. E as cavernas Meu Rei e Furna do Gato não apresentaram grandes colônias. A abundância variou entre 191 morcegos registrados na Furna do Gato e 98.986 morcegos na Casa de Pedra (Tabela 2).

A abundância apresentou correlação positiva com a projeção horizontal ($R_s = 0.67, p < 0.05$), amplitude da temperatura ($R_s = 0.62, p < 0.05$) e com a riqueza ($R_s = 0.60, p < 0.05$). Os valores de correlação entre abundância e a estabilidade ($R_s = 0.34, p > 0.05$), temperatura (média: $R_s = 0.40, p > 0.05$) e umidade (média: $R_s = 0.56, p > 0.05$; amplitude: $R_s = -0.18, p > 0.05$) não foram significativos.

Influência na riqueza. — Foram registradas um total de 18 espécies de morcegos pertencentes a sete famílias (Tabela 2). A riqueza entre cavernas variou de quatro a 10 espécies, sendo a Gruta do Sobradinho a caverna com o maior número de espécies. A riqueza respondeu significativamente de forma positiva à estabilidade ambiental, enquanto para as outras variáveis (projeção horizontal, e amplitude da temperatura e umidade) a resposta não foi significativa (Tabela 3; Figura 2).

Tabela 2. Riqueza, abundância e composição das espécies de morcegos obtidos nas cavernas amostradas no Nordeste brasileiro em 2019 e 2021. 1. Casa de Pedra; 2. Caverna do Urubu; 3. Furna do Gato; 4. Furna do Morcego; 5. Meu Rei; 6. Gruta do Arnold; 7. Caverna Urubu; 8. Furna Feia; 9. Gruta do Faria; 10. Boqueirão de Lavras; 11. Gruta do Sobradinho. Oco: Ocorrência das espécies nas cavernas.

Espécies	Cavernas											Oco.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Pteronotus gymnotus</i>	•	•		•		•	•		•	•	•	8
<i>Pteronotus personatus</i>	•	•		•		•	•			•	•	7
<i>Pteronotus rubiginosus</i>											•	1
<i>Peropteryx macrotis</i>								•			•	2
<i>Peropteryx trinitatis</i>								•				1
<i>Peropteryx kappleri</i>											•	1
<i>Molossus molossus</i>										•		1
<i>Natalus macrourus</i>	•				•	•			•		•	5
<i>Furipterus horrens</i>								•				1
<i>Noctilio leporinus</i>										•		1
<i>Desmodus rotundus</i>	•	•	•		•		•	•			•	7
<i>Diphylla ecaudata</i>			•		•		•	•				4
<i>Phyllostomus hastatus</i>	•	•										2
<i>Phyllostomus discolor</i>								•				1
<i>Lonchorhina aurita</i>	•										•	2
<i>Anoura geoffroyi</i>									•		•	2
<i>Glossophaga soricina</i>	•	•	•	•	•	•			•	•		8
<i>Carollia perspicillata</i>	•		•	•	•	•			•		•	7
Riqueza	8	5	4	4	5	5	4	6	5	5	10	
Abundância	98986	41533	191	619	214	5365	27238	18825	10733	73848	44532	

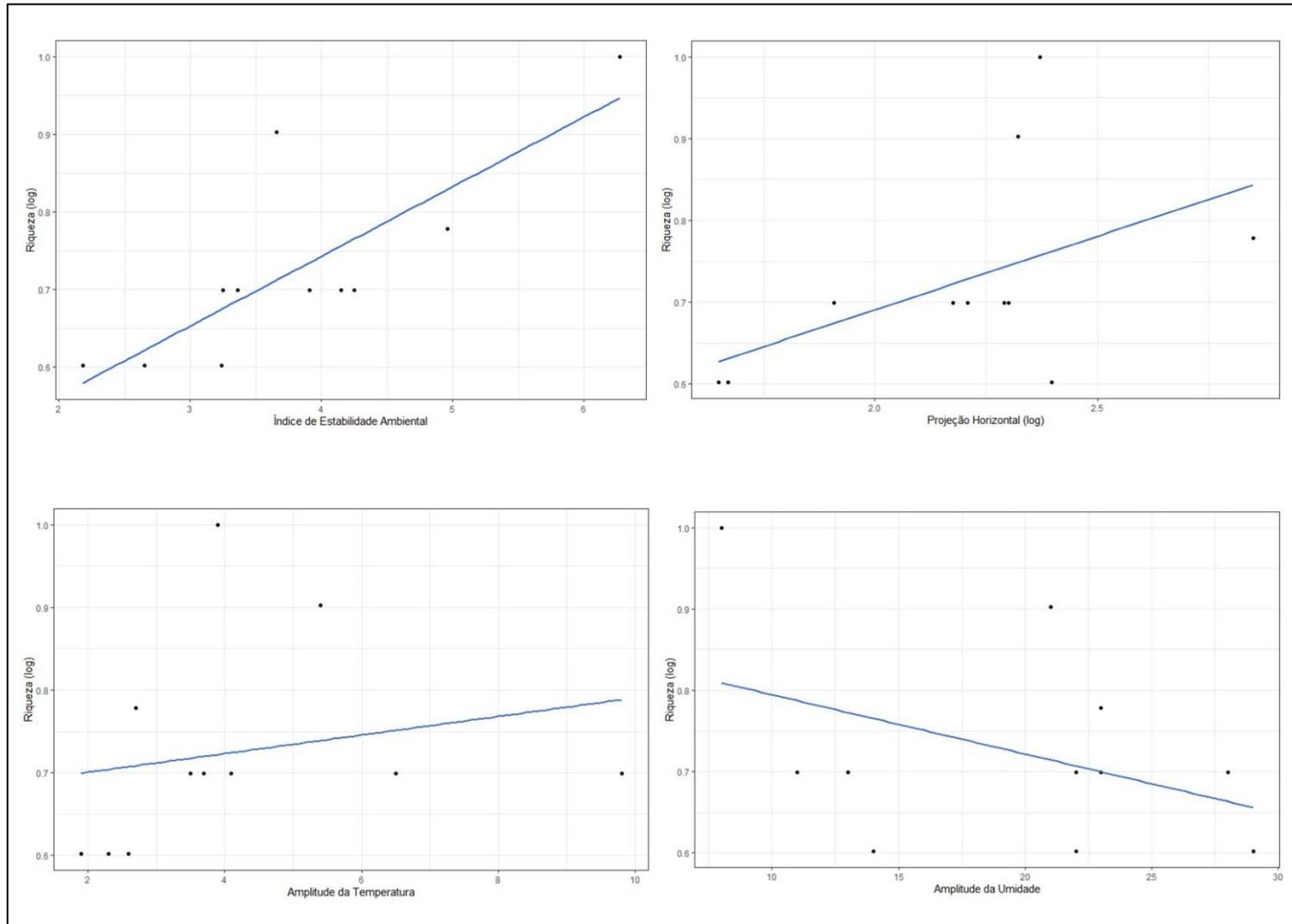
Fonte: A autora (2022).

Tabela 3. Influência das variáveis testadas sobre a riqueza de morcegos em cavernas amostradas no Nordeste brasileiro em 2019 e 2021. São apresentados os valores de p , do coeficiente de correlação (R), do coeficiente de determinação (R^2) ajustado, e da estatística do teste F.

Variáveis	R	R^2 ajustado	F	p
Projeção Horizontal	0.49	0.15	2.89	0.122
Índice de Estabilidade Ambiental	0.78	0.69	15.79	0.003
Amplitude da Temperatura	0.08	-0.10	0.06	0.801
Amplitude da Umidade	0.38	0.15	0.06	0.221

Fonte: A autora (2022).

Figura 2. Regressão linear entre a riqueza de espécies de morcegos e as variáveis físicas e ambientais coletadas nas cavernas localizadas no Nordeste brasileiro e amostradas em 2019 e 2021.



Fonte: A autora (2022).

Espécies e seleção de abrigo. — As espécies mais frequentes foram *Pteronotus gymnonotus* e *Glossophaga soricina*, ocorrendo em oito cavernas (78%), seguidas por *Pteronotus personatus*, *Carollia perspicillata* e *Desmodus rotundus*, ocorrendo em sete cavernas (63%). As espécies que ocorreram em mais de três cavernas e puderam ser analisadas em relação às suas preferências de abrigo foram *Desmodus rotundus*, *Diphylla ecaudata*, *Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Natalus macrourus*, *Pteronotus personatus* e *Pteronotus gymnonotus*.

As variáveis mais significativas para explicar a variação na presença das espécies nas cavernas foram projeção horizontal ($Dev = 51.41$, $p = 0.004$), e a disponibilidade de cúpulas + fraturas ($Dev = 43.83$, $p = 0.001$). Todas as espécies analisadas apresentaram relação com alguma característica do teto das cavernas, seis delas (85%) apresentaram relação com condições microclimáticas, e cinco (71%) com o tamanho das cavernas (Tabela 4).

Ambas as espécies do gênero *Pteronotus* apresentaram relação positiva com o tamanho da caverna, com a quantidade de cúpulas e, como esperado, influenciaram a variação na umidade no interior das cavernas (Tabela 4). Entretanto, *P. gymnonotus* ainda demonstrou relação com o índice de estabilidade e com a quantidade de fraturas, enquanto *P. personatus* foi relacionada também com a presença de buracos.

A espécie ameaçada *N. macrourus* apresentou relação positiva com o tamanho e a estabilidade das cavernas, com presença de cúpulas e fraturas, e com a temperatura média e amplitude da umidade (Tabela 4). A média de temperatura nos locais em que *N. macrourus* foi registrada no interior das cavernas foi de 30.3° C.

As espécies hematófagas foram positivamente relacionadas com características do teto. Enquanto *D. rotundus* apresentou relação positiva com a umidade média e com a presença de cúpulas e buracos, *D. ecaudata* foi relacionada positivamente com buracos e fraturas, e com ambas as variáveis de umidade, entretanto demonstrou relação negativa com a temperatura média (Tabela 4). Para esta espécie a média da temperatura nos locais em que foi registrada dentro das cavernas foi de 29.2° C.

Glossophaga soricina foi positivamente relacionada com o tamanho das cavernas e a presença de buracos e fraturas. *Carollia perspicillata* demonstrou relação positiva também com o tamanho das cavernas, com a presença de fraturas, e ainda com a amplitude de umidade, porém, assim como *D. ecaudata*, apresentou relação negativa com a temperatura média (Tabela 4). Para *C. perspicillata* a média de temperatura registrada foi de 29.8 ° C.

Tabela 4. Influência das variáveis físicas e ambientais nas espécies mais frequentes nas cavernas amostradas no Nordeste brasileiro, entre 2019 e 2021. São apresentados os valores de desvio e de *p* para os modelos aos quais cada espécie respondeu significativamente. *Espécies apresentaram resposta negativa à temperatura média, todas as outras são respostas positivas. PH: projeção horizontal; IEA: Índice de Estabilidade Ambiental; Cup: cúpulas; Fra: fraturas; Bur: buracos; Tmed: temperatura média; Umed: umidade média; Uamp: umidade amplitude.

Modelos	<i>P. gymnonotus</i>	<i>P. personatus</i>	<i>N. macrourus</i>	<i>D. rotundus</i>	<i>D. ecaudata</i>	<i>G. soricina</i>	<i>C. perspicillata</i>
PH						Dev: 14.33 <i>p</i> : 0.00	Dev: 5.85 <i>p</i> : 0.04
Umed				Dev: 9.54 <i>p</i> : 0.01			
Uamp	Dev: 12.67 <i>p</i> : 0.00	Dev: 14.36 <i>p</i> : 0.00			Dev: 12.61 <i>p</i> : 0.02		
Fraturas							Dev: 10.20 <i>p</i> : 0.01
PH+IEA	Dev: 8.24 <i>p</i> : 0.04		Dev: 12.30 <i>p</i> : 0.01				
PH+Tmed		Dev: 6.89 <i>p</i> : 0.04					
Tmed+Uamp			Dev: 12.62 <i>p</i> : 0.00				Dev: 9.83 <i>p</i> : 0.02*
Tmed+Umed					Dev: 10.55 <i>p</i> : 0.02*		
Cup+Fra	Dev: 8.69 <i>p</i> : 0.03		Dev: 10.38 <i>p</i> : 0.01				
Cup+Bur		Dev: 6.98 <i>p</i> : 0.04		Dev: 12.92 <i>p</i> : 0.01			
Bur+Fra					Dev: 6.18 <i>p</i> : 0.04	Dev: 6.71 <i>p</i> : 0.05	

Fonte: A autora (2022).

DISCUSSÃO

Analizamos os fatores que influenciam a abundância de morcegos e a riqueza de espécies em cavernas no nordeste do Brasil e detectamos que a alta abundância estava positivamente relacionada ao tamanho das cavernas. Grandes colônias de *Pteronotus* foram relacionadas às características de estabilidade e teto e a presença de tais colônias influencia na variação de temperatura no interior das cavernas. Além disso, a riqueza geral de espécies de morcegos também foi influenciada pela estabilidade. Espécies diferentes de *Pteronotus* mostraram preferência por diferentes características climáticas e de teto combinadas. Nossos resultados indicam uma influência indireta da alta abundância excepcional de *Pteronotus* na riqueza e ocupação de outras espécies dentro dessas cavernas.

Nossas hipóteses iniciais eram de que: 1) A abundância estaria relacionada com o tamanho e estabilidade das cavernas; 2) A riqueza estaria relacionada também com o tamanho e estabilidade e ainda com a variação de temperatura e umidade no interior das cavernas; 3) As espécies apresentariam respostas diferenciadas às variáveis analisadas. Verificamos que a abundância não foi correlacionada com a estabilidade como esperávamos (hipótese 1), a riqueza

foi positivamente relacionada com a estabilidade (hipótese 2), e, de fato, cada espécie apresentou respostas diferentes de acordo com seus requerimentos específicos (hipótese 3).

O papel das colônias de Pteronotus na variação de temperatura e na riqueza de espécies de morcegos. — Nas cavernas amostradas, a estabilidade ambiental foi a variável determinante para a riqueza. Cavernas mais estáveis sofrem menor influência das variações climáticas do meio externo, favorecendo uma economia no gasto energético em processos fisiológicos como termorregulação, cuidado parental e digestão (TUTTLE; STEVENSON, 1981; LAW; CHIDEL, 2007; ALLEN et al., 2009). Cavernas maiores tendem também a oferecer maior estabilidade ambiental (FERREIRA, 2004), de forma que essas duas variáveis geralmente atuam em conjunto sobre a riqueza (BARROS et al. 2020a). Entretanto, em nossos resultados, a maior caverna amostrada (Furna Feia – 707,5 metros) não foi a que apresentou maior índice de estabilidade ambiental (IEA = 4.96), fruto provavelmente do maior número de entradas, quando comparado, por exemplo, à Gruta do Sobradinho (235 metros), que embora menor, apresentou maior estabilidade (IEA = 6.27) e maior riqueza (10 espécies).

Outro fator importante a se destacar é o papel das colônias de *Pteronotus* para a existência de um gradiente de temperaturas no interior das cavernas, o que pode favorecer um maior número de espécies. Tal fato pôde ser observado através da correlação positiva entre abundância e amplitude da temperatura e quando comparamos novamente a Gruta do Sobradinho, com sua grande congregação formada por uma colônia de *Pteronotus* e amplitude de temperatura de 3.9°C, e a Furna Feia, onde a espécie responsável pela colônia excepcional é *Phyllostomus discolor* e a variação na temperatura foi menor (2.7°C), assim como sua riqueza (seis espécies). O aumento da diversidade de espécies associado com o aumento da população de moormopídeos já foi observado para cavernas em Cuba sendo relacionado apenas às flutuações na composição de espécies (TEJEDOR et al., 2005), sem considerar, porém, a influência direta dos moormopídeos sobre a temperatura das cavernas.

Estudos anteriores demonstraram que colônias numerosas de moormopídeos podem provocar o aumento da temperatura no interior das cavernas (RODRIGUEZ-DURÁN; SOTO-CENTENO, 2003; LADLE et al., 2012; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019). A concentração dessas colônias geralmente ocorre nos salões mais distantes das entradas das cavernas, onde a circulação de ar é menor (LADLE et al., 2012), e a alta densidade de morcegos eleva a temperatura a valores próximos da temperatura corporal média das espécies pertencentes a esse gênero (~37° C), enquanto nas outras porções da caverna as temperaturas são mais amenas. O gradiente de temperaturas encontrado no decorrer da caverna poderia oferecer a um maior

número de espécies condições microclimáticas ideais para suprir suas necessidades metabólicas (RODRIGUEZ-DURÁN, 1995). Assim, a relação positiva entre abundância e riqueza, pode ser explicada por uma influência indireta das grandes colônias de *Pteronotus*.

As espécies analisadas do gênero *Pteronotus* selecionam cavernas mais estáveis para formar suas grandes colônias. A elevada abundância de *P. gymnonotus* e *P. personatus* nessas cavernas aumenta a temperatura em salões específicos, produzindo as câmeras quentes, toleradas por apenas algumas poucas espécies. Um maior número de temperaturas disponíveis (mantidas pela estabilidade da caverna), desde as câmeras quentes até a entrada da caverna, favorece um maior número de espécies, sendo a dinâmica de ocupação dentro das cavernas também influenciada pela presença e localização dessas colônias de *Pteronotus*.

Espécies e seleção de abrigo. — Moormopídeos em geral não toleram baixas temperaturas, uma vez que possuem baixas taxas de metabolismo basal (SILVA-TABOADA, 1979; BONACCORSO et al., 1992; RODRÍGUEZ-DÚRAN, 1995, 2009). Segundo Rocha (2013), *P. gymnonotus* e *P. personatus* são espécies caracterizadas por reduzido cuidado parental. Os neonatos ficam em berçários separados de suas mães na maior parte do dia, e o desenvolvimento dos pelos nesses filhotes é tardio iniciando-se apenas na quinta semana após o nascimento (ROCHA, 2013). Tais fatores podem explicar a necessidade de se abrigar em cavernas com elevada estabilidade ambiental, e classificam essas espécies como estritamente cavernícolas, pois são dependentes da caverna para completar seu ciclo de vida (DE LA TORRE; MEDELLIN, 2010; PAVAN; TAVARES, 2020). A seleção de abrigos específicos relacionados a padrões reprodutivos e populacionais foram encontrados também em *Pteronotus fulvus* e *P. mesoamericanus* no México (HERNÁNDEZ-AGUILAR; SANTOS-MORENO, 2020).

Os microhabitats disponíveis no teto das cavernas foram importantes para todas as espécies analisadas. Quase todas as espécies responderam positivamente a uma combinação de duas das características avaliadas: cúpulas e fraturas (*P. gymnonotus* e *N. macrourus*), cúpulas e buracos (*P. personatus* e *D. rotundus*), ou buracos e fraturas (*D. ecaudata* e *G. soricina*). A exceção foi *C. perspicillata* que respondeu apenas a cavernas com maior quantidade de fraturas. Estudos no México já reportaram a associação de espécies do gênero *Pteronotus* em fendas e cúpulas dentro de cavernas, (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN 2004; TÉLLEZ et al. 2018). Lundberg e McFarlane (2009) demonstraram que a presença de morcegos Phyllostomídeos em cúpulas com forma de sino aumentaram a temperatura nesses locais, e que existe ainda uma relação ideal entre comprimento e largura para que a estrutura abrigue muitos morcegos e consiga conservar uma temperatura ideal. A relação com o aumento da temperatura pode ser o

fator determinante para a preferência de espécies de *Pteronotus* por cúpulas. Tal preferência é evidenciada principalmente em cavernas como a Furna do Morcego, que é pequena e apresentou a menor estabilidade ambiental (IEA = 2.18), entretanto é rica em estruturas no teto, compostas principalmente por cúpulas bem desenvolvidas. Embora tenhamos registrado apenas 619 morcegos, esta caverna já é monitorada há pelo menos dois anos e sua população é maior, alcançando também milhares de indivíduos (PIMENTEL; BERNARD, 2022), com a população apresentando mobilidade entre cavernas (LEAL; BERNARD, 2021).

Todas as outras espécies analisadas quanto à preferência por características do abrigo foram registradas ocupando as porções com condições microclimáticas mais amenas, sendo que todas, com exceção de *Glossophaga soricina*, apresentaram algum tipo de resposta significativa com variáveis de temperatura ou umidade. As diferenças encontradas nas respostas à temperatura média de *Natalus macrourus* (positiva – 30.3° C), *Diphilla ecaudata* e *Carollia perspicillata* (ambas negativas, 29.2° C e 29.8° C, respectivamente), de fato, confirmam a noção de que realmente a amplitude de temperatura no interior das cavernas (influenciada pela abundância de *Pteronotus*) possibilita condições favoráveis a um maior número de espécies. As três espécies também apresentaram relação positiva com a amplitude da umidade. A relação com as condições microclimáticas para essas espécies pode estar relacionada também com manutenção de taxas metabólicas (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN 2004; TORRES-FLORES; LÓPEZ-WILCHIS 2010; LIZARRO et al., 2020) e condições reprodutivas ideais (HERNÁNDEZ-AGUILAR; SANTOS-MORENO, 2020). A relação positiva observada para *Desmodus rotundus* com cavernas de umidade média elevada parece ser um padrão, uma vez que já foi reportada para cavernas em outras regiões de vegetação predominantemente seca (BARROS et al. 2020a; LIZARRO et al., 2020; TORRES-FLORES et al. 2012), geralmente sendo associada à baixa taxa metabólica basal característica da espécie (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004).

Ambientes que oferecem uma ampla gama de variáveis diferenciadas podem exercer forte efeito na dinâmica de distribuição das espécies, propiciando uma coexistência aprimorada (PASTORE et al., 2021). Essa dinâmica foi constatada em nosso estudo, uma vez que as espécies apresentaram relações com diferentes tipos de variáveis (e.g. condições microclimáticas e características do teto), e os ambientes cavernícolas propiciam uma ampla combinação de micro-habitat favorecendo a coabitação.

Implicações para conservação. — Os morcegos em geral são considerados espécies-chave nos ecossistemas (GANNON; BOVARD, 2016). Possuem papel fundamental na polinização,

dispersão de sementes, e controle de insetos nos ambientes epígeos, e no aporte energético nos ambientes subterrâneos, contribuindo inclusive para diversos serviços ecossistêmicos (FERREIRA et al., 2007; GANNON; BOVARD 2016; MEDELLIN et al., 2017). As grandes colônias formadas geralmente por morcegos insetívoros (e.g. *Pteronotus* spp. e *Tadarida brasiliensis*) possuem significativa participação tanto no controle de insetos quanto no aporte energético em cavernas devido à sua abundância elevada (ISKALI; ZHANG 2015; MEDELLIN et al., 2017; PIMENTEL; BERNARD, 2022). Em nosso estudo, evidenciamos ainda a influência que as grandes congregações das espécies de *Pteronotus* possuem sobre a riqueza e a ocupação de morcegos em *bat caves*. A perturbação dessas cavernas poderia reduzir a abundância dessas colônias e alterar a dinâmica na variação de temperatura dentro dessas cavernas, o que poderia prejudicar por consequência a coabitação das outras espécies que nelas se abrigam. Assim, destacamos o carácter de espécie-chave que *P. gymnotus* e *P. personatus* possuem também para as interações ecológicas presentes nessas cavernas no nordeste do Brasil.

Essas espécies poderiam ainda ser vistas como espécies guarda-chuva, uma vez que sua abundância pode propiciar condições para um maior número de espécies dentro das cavernas. *Pteronotus gymnotus* e *Pteronotus personatus* são considerados integralistas, i.e., são encontrados sempre em coabitação com outras espécies (DE LA TORRE; MEDELLÍN, 2010; PAVAN; TAVARES, 2020), e no presente estudo inclusive foram registrados com espécies ameaçadas no Brasil, como *N. macrourus* (BRASIL, 2022b). No México, *P. personatus* também foi registrada coabitando com espécies ameaçadas para o país (TÉLLEZ et al., 2018). Assim, considerando que ações conservacionistas focadas em proteger uma espécie guarda-chuva podem beneficiar outras espécies co-ocorrentes (ROBERGE; ANGELSTAM 2004; BRANTON; RICHARSON 2010), a aplicação dessa estratégia de conservação utilizando as grandes colônias de *Pteronotus* como foco poderia favorecer a proteção de outras espécies de maneira mais rápida e eficaz, uma vez que *bat caves* podem ser facilmente identificadas.

A caracterização de *Pteronotus* spp. como espécies guarda-chuva no Brasil pode ser especialmente importante e necessária. O país passa atualmente por um momento delicado de alterações em sua legislação referente à proteção de cavernas. Segundo a legislação vigente no país, as cavernas que se encontram em áreas de interesse para mineração devem ser classificadas quanto à sua relevância (BRASIL, 2008; BRASIL, 2022a). As diretrizes para essa classificação consideram nove critérios relacionados a morcegos (BRASIL, 2017), sendo que, atualmente, apenas dois deles (espécies ameaçadas e *hot caves*) conferem às cavernas o nível mais elevado de proteção (BRASIL, 2022b), entretanto, mesmo sendo consideradas de máxima relevância para proteção, ainda assim, tais cavernas são passíveis de sofrerem impactos

negativos irreversíveis (BRASIL, 2022b). Adicionalmente ao fato de que tais diretrizes já não eram consideradas satisfatórias para a conservação dos morcegos do ponto de vista de especialistas do país (BARROS et al. 2020b – ver tópico 4.1 desta tese), mais recentemente, alterações na legislação protetiva de cavernas (BRASIL, 2022b) foram realizadas a partir de interesses em beneficiar setores minerários e de energia, e desconsiderando informações científicas importantes (FERREIRA et al., 2022). Assim, neste cenário, torna-se ainda mais importante a geração de conhecimento e a utilização de estratégias conservacionistas que possam subsidiar e sustentar uma melhoria no processo de decisão e proteção de cavernas no Brasil. Nossos resultados podem contribuir nesta discussão, pois eles aumentam o conhecimento a respeito das preferências ecológicas de algumas espécies para seleção de seus abrigos, e elucidam como determinadas cavernas e suas características são fatores essenciais para a ocorrência de colônias com milhares de indivíduos, que por sua vez podem exercer ainda um papel fundamental sobre a riqueza e ocupação das outras espécies de morcegos presentes nessas cavernas. Destacamos, assim, a intrínseca relação que as colônias de *Pteronotus* possuem com determinadas cavernas, e sua importância para sobrevivência e manutenção de suas populações, reforçando que essas cavernas são únicas, singulares e extremamente importantes sob o ponto de vista ecológico e conservacionista.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida a primeira autora. Este manuscrito é fruto da tese de Doutorado da primeira autora junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco (PPGBA/UFPE), e agradecemos à sua Secretaria e Coordenação por todo o apoio recebido. Agradecemos à Anglo American pelo financiamento, e ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN) e ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) pela contribuição na logística para realização dos campos. Eder Barbier, Frederico Hitze, Narjara Tércia Pimenetel, Fernanda Ito, Gabriel Guedin, Deibson Bello, Clébio Rodrigues, Patrício Adriano Rocha, Raone Beltrão-Mendes, Juan Carlos Mena, Emmanuel Messias, Gustavo Urbietta, Diego Bento (CECAV/RN), Uilson Campos (CECAV/RN), Iatagan Freitas (CECAV/RN), Paulo Maier (ICMBio/CE), Flávia Regina ICMBio/CE), Tereza Raquel e Cícero Simão (voluntários no ICMBio/CE) foram indispensáveis durante as atividades de campo e agradecemos a cada um por sua ajuda. E. Bernard é bolsista de produtividade do CNPq.

REFERÊNCIAS

- ALLEN L. C., TURMELLE A. S., MENDONÇA M.T., NAVARA K.J., KUNZ T.H.; MCCracken G.F. (2009). Roosting ecology and variation in adaptive and innate immune system function in the Brazilian free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*). **Journal of Comparative Physiology B**, 179(3), 315–323. <https://doi.org/10.1007/s00360-008-0315-3>.
- ALVARES C. A., STAPE J. L., SENTELHAS P. C., GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDRADE E. M., AQUINO D. N., CHAVES, L. C. G.; LOPES F. B. (2017). Water as capital and its uses in the Caatinga. In Caatinga: Silva J. M. C., Leal I. R.; Tabarelli, M. (Eds). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America** (pp. 281–302). Springer International Publishing.
- ARAGÃO, R., SANTANA, G. R., COSTA, C. E. F. F., CRUZ, M. A., FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. (2013). Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17(3), 243–252. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001>.
- ARITA, H. T. (1996). The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. **Biological Conservation**, 76(2), 177–185. doi:10.1016/0006-3207(95)00105-0.
- ARIAS-AGUILAR, A., HINTZE, F., AGUIAR, L. M. S., RUFRAY, V., BERNARD, E.; PEREIRA, M. J. R. (2018). Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. **Mammal Research**, 63, 231-253. <https://doi.org/10.1007/s13364-018-0367-z>
- ÁVILA-FLORES, R.; MEDELLÍN, R.A. (2004). Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. **Journal of Mammalogy**, 85, 675–687. <https://doi.org/10.1644/BOS-127>
- BARROS, J.S., BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. (2020a). Ecological preferences of neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. **Basic and Applied Ecology**, 45, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.007>
- BARROS, J. S., GOMES, A. G., GUIMARÃES, M. M., DIAS-SILVA, L., ROCHA, P. A., TAVARES, V. C.; BERNARD, E. (2020b). Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**, 89: 1-9.
- BENTO, D. M., FERREIRA, R. L., PROUS, X., SOUZA-SILVA, M. B., BELLINI, C.; VASCONCELLOS, A. (2016). Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. **Journal of Cave and Karst Studies**, 78, 61–71. <https://doi.org/10.4311/2015LSC0111>
- BONACCORSO, F. J., ARENDS, A., GENOUD, M., CANTONI, D.; MORTON, T. (1992). Thermal ecology of moustached and ghost-faced bats (Mormoopidae) in Venezuela. **Journal of Mammalogy**, 73, 365–378. <https://doi.org/10.2307/1382071>

BRANTON, M.; RICHARDSON, J. S. (2010). Assessing the Value of the Umbrella-Species Concept for Conservation Planning with Meta-Analysis. **Conservation Biology**, 25(1) 9–20. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01606.x>.

BRASIL. (2008). Decreto Federal nº. 6.640, de 07 de novembro de 2008. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso: 21 ago 2019.

BRASIL. (2017). Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa N° 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. <https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/IN_02_2017_MMA_30Ago17.pdf>. Accessed 04 May 2022.

BRASIL. (2022a). Decreto Federal nº. 10.935, de 12 de janeiro de 2022. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10935.htm>. Accessed 04 May 2022

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2022b). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria MMA nº 148 de 7 de junho de 2022. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Publicado no DOU de 07.06.2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 20/07/2022.

BRUNET, A. K.; MEDELLIN, R. A. (2001). The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves. **Journal of Mammalogy**, 82(4), 1114–1122. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<1114:TSARIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<1114:TSARIB>2.0.CO;2)

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS (CECAV). 2019. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE**. <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso 05 Jun 2019.

CAVALCANTI, J. A. D. (1996). Mapeamento Espeleológico (2a ed.). **SEE**.

DE LA CRUZ, J. (1992). Bioecologia de las grutas de calor. **Mundos Subterrâneos**, 3, 7-22.

DE LA TORRE, J. A.; MEDELLÍN, R. A. (2010). *Pteronotus personatus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, 42(869), 244-250. <https://doi.org/10.1644/869.1>

DIAZ, M. M., SOLARI, S., AGUIRRE, L. F., AGUIAR, L. M. S.; BARQUEZ, R. M. (2016). Clave de identificación de los murciélagos de Sudamérica. Publicación Especial nº2. **Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina**.

FERREIRA, R. L. (2004). **A medida da complexidade biológica e suas aplicações na conservação e manejo de sistemas subterrâneos**. Doctorate Thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

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

FERREIRA, R. L. (2019). Guano communities. In White, W. B., Culver, D. C.; Pipan, T. (Eds). **Encyclopedia of caves** (3rd ed) (pp. 474-484). Academic Press.

FERREIRA, R. L., BERNARD, E., DA CRUZ JÚNIOR, F. W., PILÓ, L. B., CALUX, A., SOUZA-SILVA, M., ...; FRICK, W. F. (2022). Brazilian cave heritage under siege. **Science**, 375(6586), 1238-1239.

GANNON, M. R.; BOVARD, B. N. (2016). The Value of Bats: Keystone species in the Keystone State. In Butchkoski, C. M., Reeder, D. M., Turner, G. G.; Whidden, H. P. (Eds). **Conservation and ecology of Pennsylvania's Bats** (pp. 5 – 31). The Pennsylvania Academy of Science.

GARDNER, A. L. (editor). (2007 [2008]). **Mammals of South America**. 1. Marsupials, xenarthrans, shrews, and bats. University of Chicago Press.

HERNÁNDEZ-AGUILAR, I.; SANTOS-MORENO, A. (2020). Reproduction and population dynamics of cave-dwelling bats in Costa of Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, 68(3), 785-802.

ISKALI, G.; ZHANG Y. (2015). Guano subsidy and the invertebrate community in Bracken Cave: the world's largest colony of bats. **Journal of Cave and Karst Studies**, 77(1), 28-36. <https://doi.org/10.4311/2013LSC0128>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Meteorologia**. (2019). Dados Históricos: Ano 2019. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 03 jul 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Meteorologia**. (2021). Dados Históricos: Ano 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 03 jul 2022.

LADLE, R. J., FIRMINO, J. V. L., MALHADO, A. C. M.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. (2012). Unexplored diversity and conservation potential of Neotropical hot caves. **Conservation Biology**, 26, 978–982. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01936.x>

LAW, B. S.; CHIDEL, M. (2007). Bats under a hot tin roof: comparing the microclimate of eastern cave bat (*Vespadelus troughtoni*) roosts in a shed and cave overhang. **Australian Journal of Zoology**, 55(1), 49–55. <https://doi.org/10.1071/zo06069>.

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. (2021). Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**. <https://doi.org/10.1080/01650521.2021.1964910>.

LIZARRO, D., AGUIRRE, L. F., PÉREZ-ZUBIETA, J. C., VARGAS, A.; GALARZA, M. I. (2020). Characterization of caves as bat roosts in the brazilian-paranense biogeographic region of Bolivia. **Therya**, 11(3), 390–397. <https://doi.org/10.12933/therya-20-1008>

LUNDBERG, J.; MCFARLANE, D. A. (2009). Bats and bell holes: The microclimatic impact of bat roosting, using a case study from Runaway Bay Caves, Jamaica. **Geomorphology**, 106(1–2), 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.022>

LUO, J., JIANG, T., LU, G., WANG, L., WANG, J.; FENG J. (2013). Bat conservation in China: should protection of subterranean habitats be a priority? **Oryx**, 47(4), 526-531. <https://doi.org/10.1017/S0030605311001505>

MEDELLÍN, R. A., WIEDERHOLT, R.; LOPEZ-HOFFMAN, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. **Biological Conservation**, 211, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. (2018). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I.1.** ed. Brasília, DF: ICMBio/MMA. https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf. Accessed: 15 July 2020.

OTÁLORA-ARDILA, A., TORRES, J. M., BARBIER, E., PIMENTEL, N. T., LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. (2019). Thermally Assisted monitoring of bat abundance in an exceptional cave in Brazil's Caatinga Drylands. **Acta Chiropterologica**, 21(2), 411–423. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2019.21.2.016>

PASTORE, A. I., BARABÁS, G., BIMLER, M. D., MAYFIELD, M. M.; MILLER, T. E. (2021). The evolution of niche overlap and competitive differences. **Nature Ecology and Evolution**, 5, 330–337. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01383-y>

PAVAN, A. C.; TAVARES, V. C. (2020). *Pteronotus gymnotus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, 52, 40-48. <https://doi.org/10.1093/mspecies/seaa003>

PELLEGRINI, T. G., SALES, L. P., AGUIAR, P.; FERREIRA, R. L. (2016). Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, 18, 17–38. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.18.8335>

PHELPS, K., JOSE, R., LABONITE, M.; KINGSTON, T. (2016). Correlates of cave-roosting bat diversity as an effective tool to identify priority caves. **Biological Conservation**, 201, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.023>

PIMENTEL, N. T.; BERNARD, E. (2022). Estimates of insect consumption and guano input in bat caves in Brazil. **Mammal Research**. <https://doi.org/10.1007/s13364-022-00629-3>

R CORE TEAM. (2020). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.Rproject.org/>

ROBERGE, J. M.; ANGELSTAM, P. E. R. (2004). Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. **Conservation Biology**, 18, 76–85. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00450.x>

ROCHA, P.A. (2013). **Quirópterofauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica**. Doctorate Thesis. Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. (1995). Metabolic rates and thermal conductance in four species of Neotropical bats roosting in hot caves. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 110A, 347–355.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. (1998). Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. **Journal of Mammalogy**, 79, 141–146. <https://doi.org/10.2307/1382848>

RODRÍGUEZ-DURÁN, A.; SOTO-CENTENO, J. A. (2003). Temperature selection by tropical bats roosting in caves. **Journal of Thermal Biology**, 28(6–7), 465–468. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(03\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(03)00046-9)

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. (2009). Bat assemblages in the West Indies: the role of caves. In Fleming, T. H.; Racey, P. A. (Eds). **Island bats: evolution, ecology and conservation** (pp. 265–280). University of Chicago Press.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. (2020). Roosting Ecology: The Importance of Detailed Description. In Fleming, T. H., Dávalos, L.; Mello, M. A. R. (Eds). **Phyllostomid Bats: A Unique Mammalian Radiation** (pp. 311–324). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/9780226696263-018>

RODRIGUES, E., TEIXEIRA, J. M., TEICHRIEB, V.; BERNARD, E. (2016). **Multi-objective tracking applied to bat populations**. In 2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), Gramado. p. 155. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7517269>

SIKES, R. S.; Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. **Journal of Mammalogy**, 97, 663–688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>.

SILVA-TABOADA, G. (1979). **Los Murciélagos de Cuba**. Editorial Academia.

SILVA, J. M. C., BARBOSA, L. C. F., LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (2017). The Caatinga: understanding the challenges. In Silva, J. M. C., Leal, I. R.; Tabarelli, M. (Eds). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America** (pp. 3–19). Springer International Publishing

STEPANIAN, P. M.; WAINWRIGHT, C. E. (2018). Ongoing changes in migration phenology and winter residency at Bracken Bat Cave. **Global Change Biology**, 24(7), 3266–3275. <https://doi.org/10.1111/gcb.14051>

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

TÉLLEZ, H. L. A., ÑIGUEZ-DÁVALOS, L. I., OLVERA-VARGAS, M., VARGAS-CONTRERAS, J. A.; HERRERA-LIZAOLA, O. A. (2018). Bats associated to caves in Jalisco, Mexico. **Therya**, 9(1), 29–40. <https://doi.org/10.12933/therya-18-548>

TORRES-FLORES, J. W.; LÓPEZ-WILCHIS, R. (2010). Condiciones microclimáticas, hábitos de percha y especies asociadas a los refugios de *Natalus stramineus* en México. **Acta Zoológica Mexicana**, 26(1), 191–213. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.261687>.

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

TUTTLE, M. D.; STEVENSON, D.E. (1981). Variation in the cave environment and its biological implications. In Stitt, R. (Ed.). **Cave gating, a handbook** (pp. 46-59). National Speleological Society.

VARGAS-MENA, J. C., CORDERO-SCHMIDT, E., RODRIGUEZ-HERRERA, B., MEDELLÍN, R.A., BENTO, D. D. M.; VENTICINQUE, E. M. (2020). Inside or out? Cave size and landscape effects on cave-roosting bat assemblages in Brazilian Caatinga caves. **Journal of Mammalogy**, *101*(2), 464–475. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz206>

WANG, Y., NAUMANN, U., WRIGHT, S.; WARTON, D. (2012). mvabund: an R package for model-based analysis of multivariate abundance data. **Methods in Ecology and Evolution**, *3*, 471-474. doi: 10.1111/j.2041-210X.2012.00190.x

WIEDERHOLT, R., LÓPEZ-HOFFMAN, L., SVANCARA, C., ET AL. (2015). Optimizing conservation strategies for Mexican free-tailed bats: a population viability and ecosystem services approach. **Biodiversity and Conservation**, *24*, 63–82. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0790-7>

WIJAYANTI, F.; MARYANTO, I. (2017). Diversity and pattern of nest preference of bat species at bat-dwelling caves in Gombong Karst, Central Java, Indonesia. **Biodiversitas**, *18*(3), 864–874. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180302>.

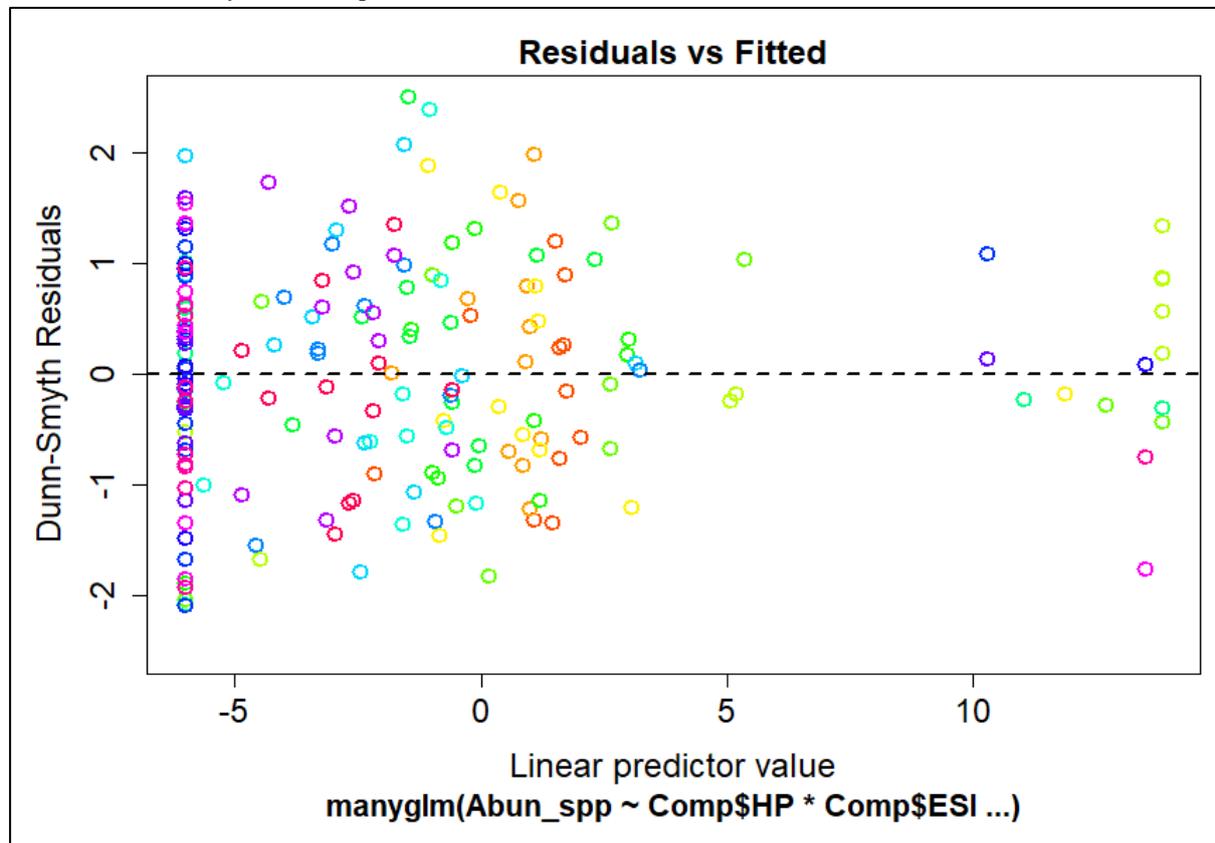
MATERIAL SUPLEMENTAR 1 – Modelos e seus gráficos de distribuição de resíduos.

Figura MS1. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 1. Modelo 1:

```
cave <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$HP*Comp$ESI,
```

```
family = "binomial", K = 1,
```

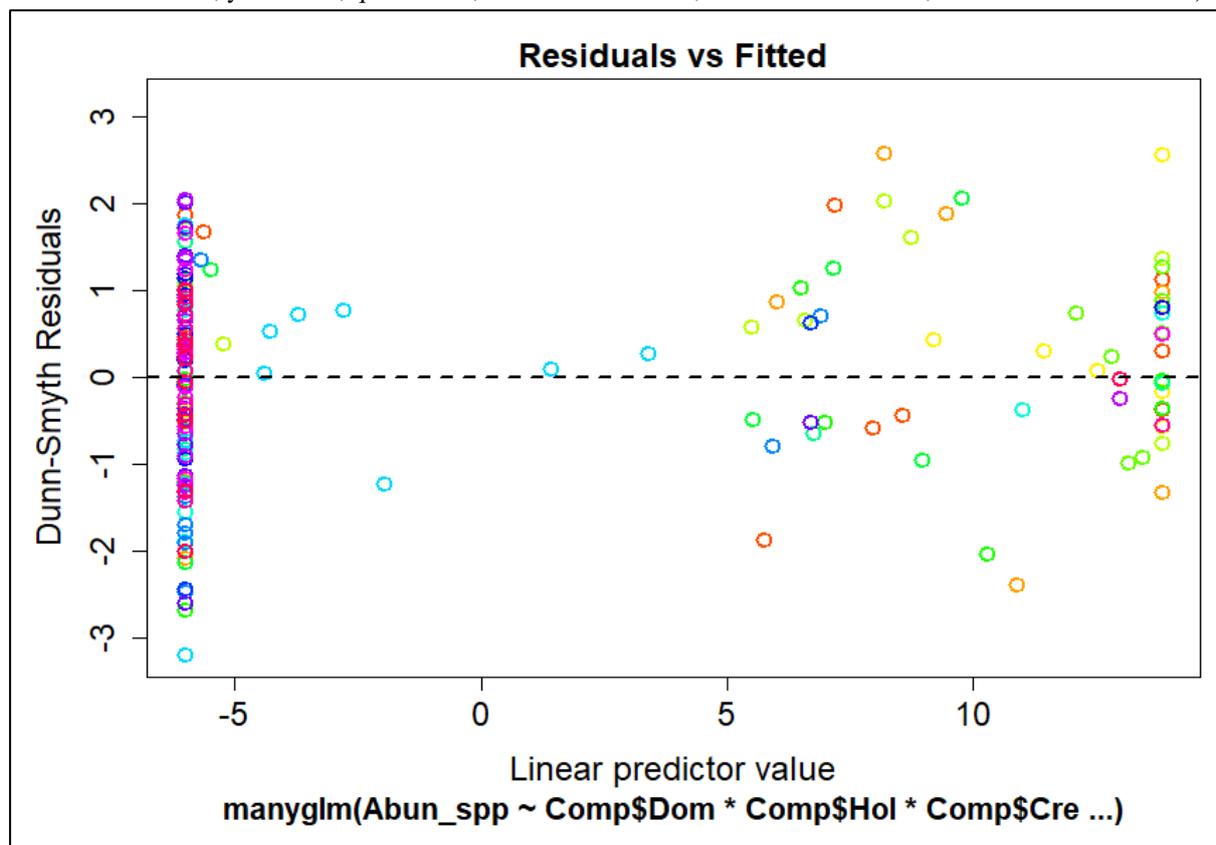
```
x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



Fonte: A autora (2022).

Figura MS2. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 2. Modelo 2:

```
cave1 <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$Dom*Comp$Hol*Comp$Cre,  
  family = "binomial", K = 1,  
  x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



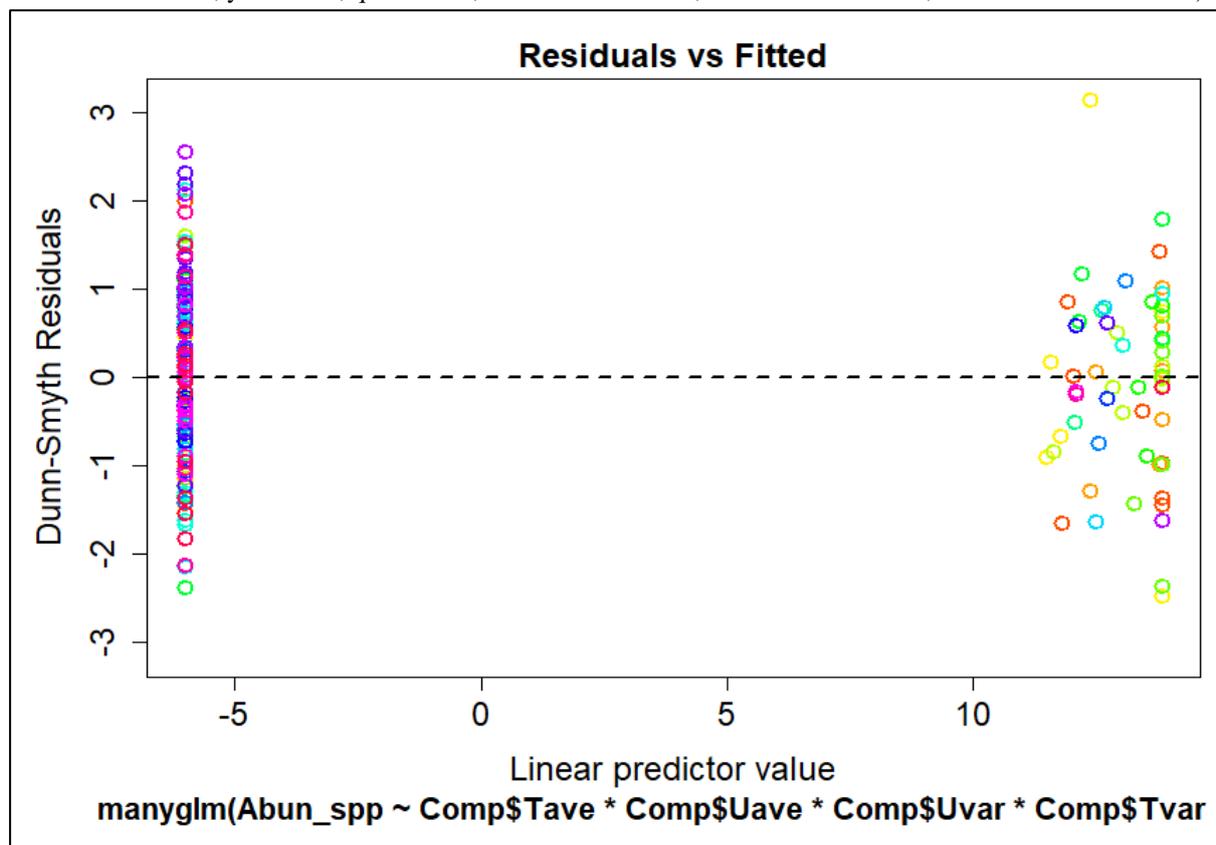
Fonte: A autora (2022).

Figura MS3. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 3. Modelo 3:

```
env <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$Tave*Comp$Uave*Comp$Uvar*Comp$Tvar,
```

```
family = "binomial", K = 1,
```

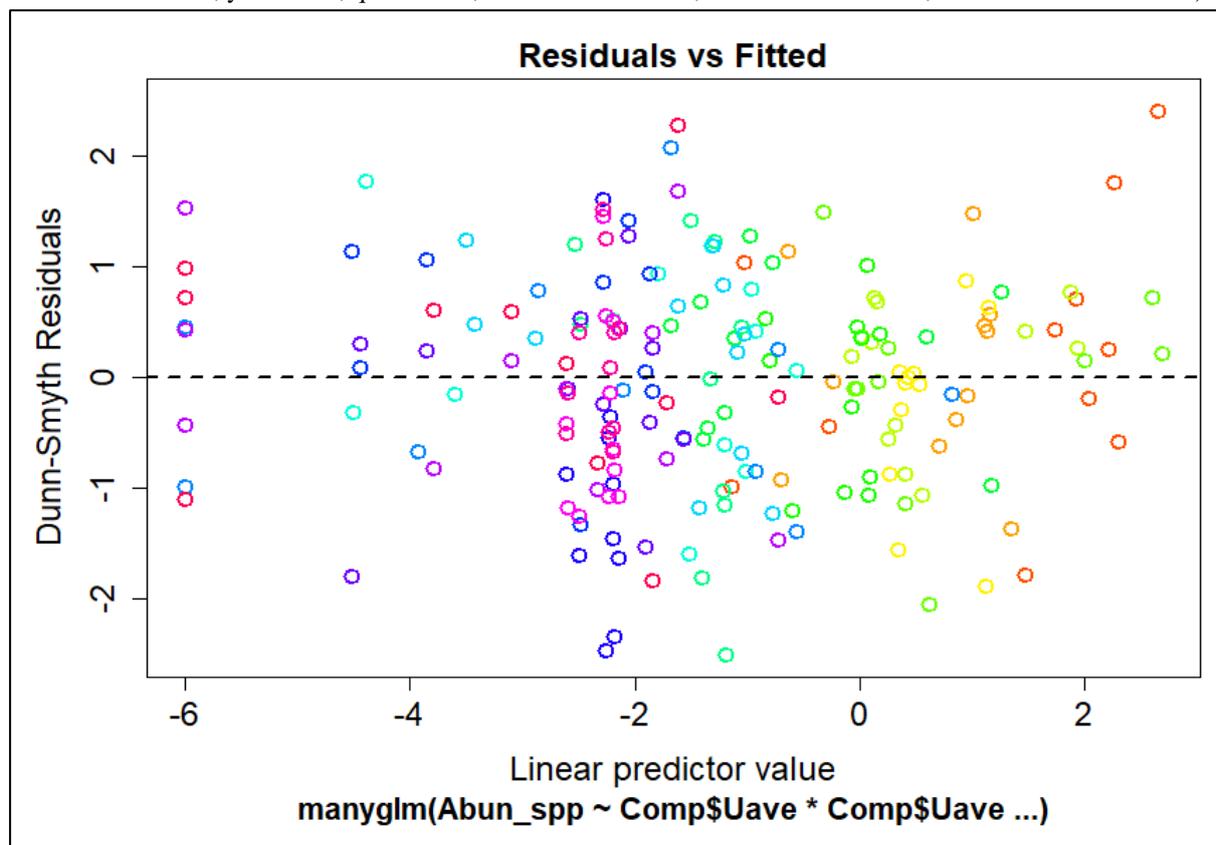
```
x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



Fonte: A autora (2022).

Figura MS4. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 4. Modelo 4:

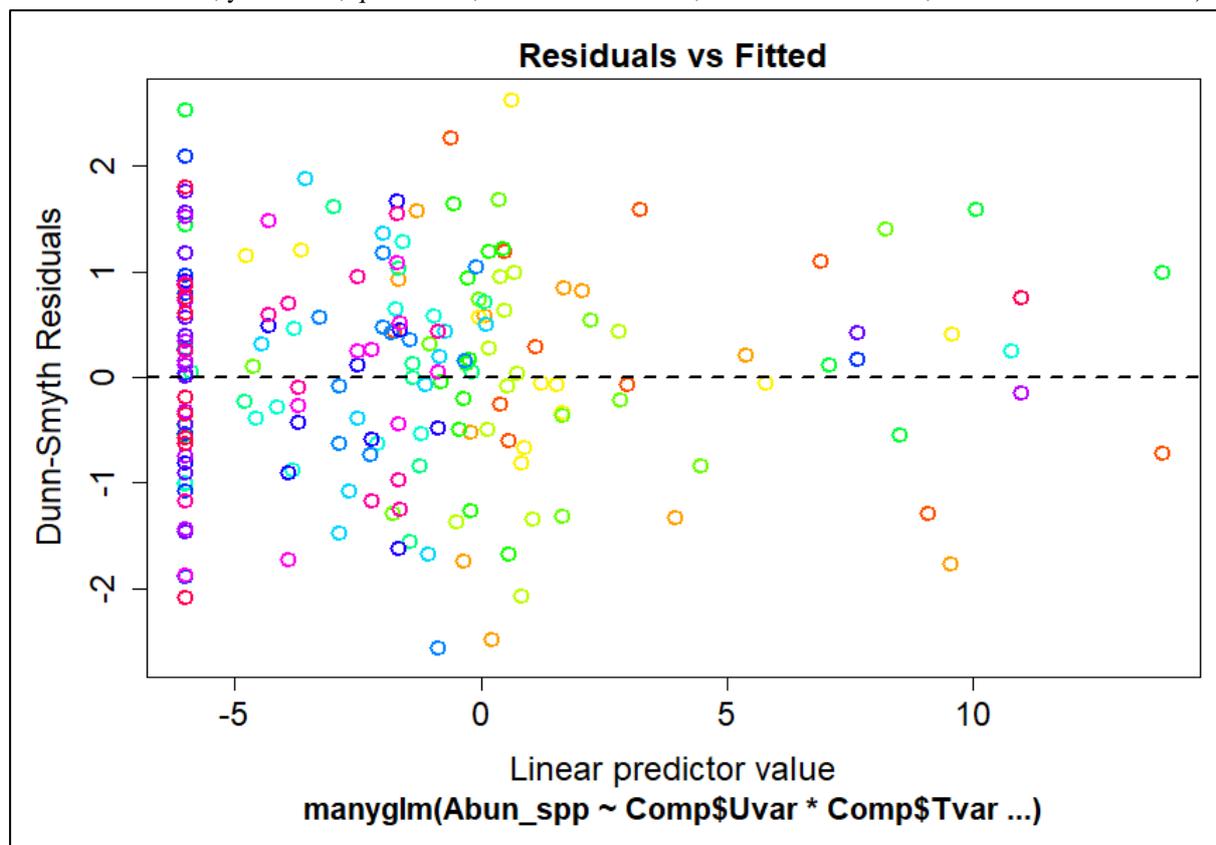
```
env1 <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$Tave*Comp$Uave,  
family = "binomial", K = 1,  
x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



Fonte: A autora (2022).

Figura MS5. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 5. Modelo 5:

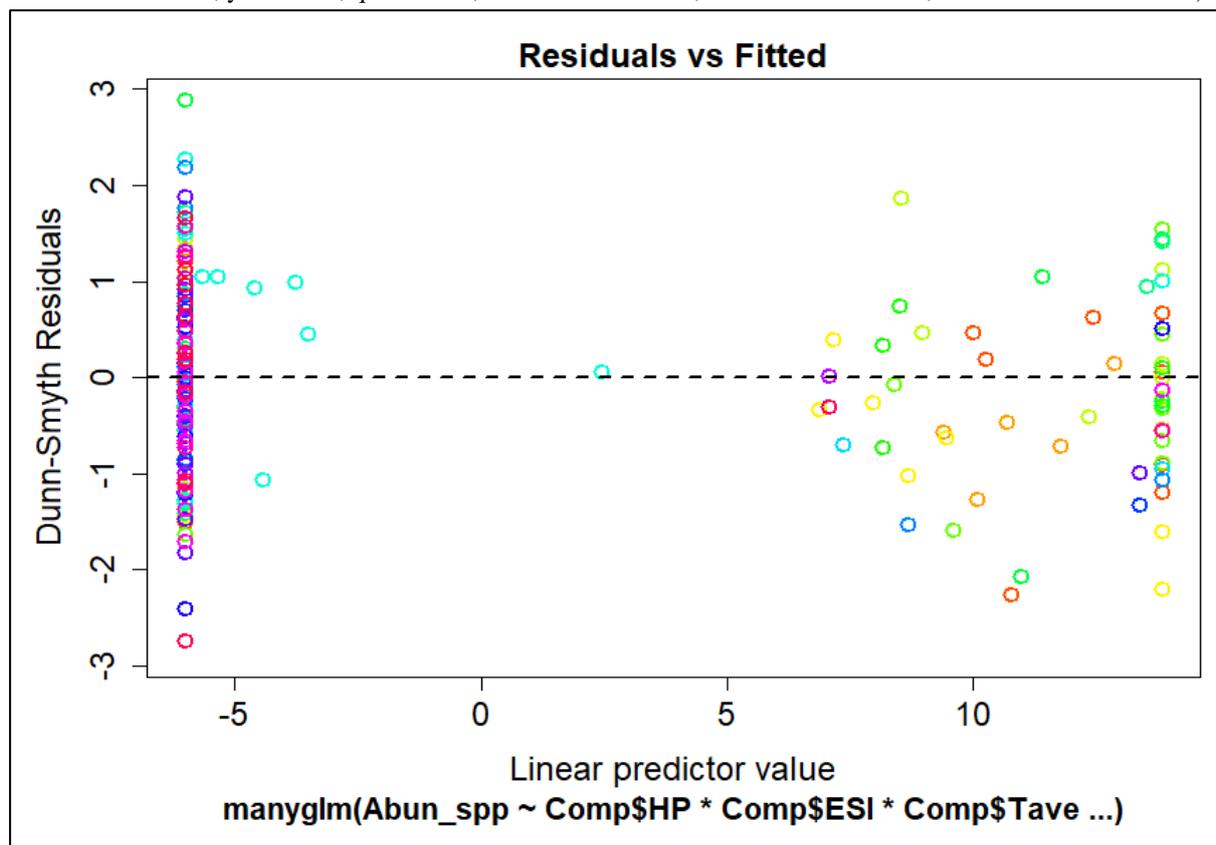
```
env2 <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$Uvar*Comp$Tvar,  
  family = "binomial", K = 1,  
  x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



Fonte: A autora (2022).

Figura MS6. Gráfico da distribuição dos resíduos do modelo 6. Modelo 6:

```
env3 <- manyglm(Abun_spp ~ Comp$HP * Comp$ESI * Comp$Tave * Comp$Uave,  
  family = "binomial", K = 1,  
  x = TRUE, y = TRUE, qr = TRUE, show.coef = TRUE, show.fitted = TRUE, show.residuals = TRUE)
```



Fonte: A autora (2022).

3.2 PANORAMA GERAL DA QUIROPTEROFAUNA CAVERNÍCOLA BRASILEIRA: UMA AVALIAÇÃO SOBRE RIQUEZA, ABUNDÂNCIA E RARIDADE

RESUMO

Cavernas estão entre os abrigos mais importantes para centenas de espécies de morcegos, sendo possível encontrar cavernas com altas riquezas, atingindo até mais de 20 espécies. Entretanto, cavernas podem ser formadas em diferentes litologias (e.g. carbonáticas, ferríferas, quartizíticas ou areníticas) e suas características físicas e estruturais podem influenciar a preferência de diferentes espécies, sendo, inclusive, possível diferenciar as espécies de acordo com seu nível de uso das cavernas. Essa relação das espécies de morcegos e diferentes tipos de usos das cavernas pode refletir uma raridade para algumas espécies nesses ambientes. Entretanto, a determinação de raridade para morcegos em cavernas ainda é complexa, assim como a avaliação de abundância em determinados casos. Embora a relação entre morcegos e cavernas seja já bem estabelecida, existe ainda uma grande lacuna de estudos em ambientes subterrâneos com muitas áreas e cavernas não amostradas, informações esparsas e perguntas não exploradas. O Brasil conta com mais de 22.600 cavernas registradas e 73 espécies de morcegos já foram registradas em cavernas, entretanto, apenas menos de 3% das cavernas conhecidas foram amostradas em relação à quiropterofauna. Assim, utilizando dados de revisão de literatura, este artigo tem por objetivo responder as seguintes questões: 1) Como a riqueza de morcegos é influenciada pela litologia das cavernas? 2) Como avaliar raridade em morcegos em cavernas e quais espécies de morcegos podem ser consideradas raras nas cavernas brasileiras? 3) Como avaliar elevadas abundâncias em diferentes espécies de morcegos em cavernas? Foram 110 estudos avaliados, 534 cavernas amostradas, atualizando para 82 espécies o número de espécies de morcegos válidas para o país ocorrendo em cavernas. A riqueza de espécies apresentou diferenças entre as litologias, com cavernas ferríferas apresentando menores riquezas. Avaliar espécies raras considerando o tipo de uso que fazem do abrigo juntamente com índice de raridade fornece uma informação mais precisa para determinação de raridade, e o melhor método para avaliar a abundância foi utilizar cinco vezes a média da abundância de cada espécie. O presente trabalho fornece um panorama geral a respeito dos morcegos cavernícolas brasileiros, e preenche lacunas em relação à ecologia de abrigo dos morcegos. Além disso, destaca a importância da criação de uma base de dados com informações sobre morcegos cavernícolas brasileiros, para futuras atualizações da lista de espécies ocorrendo em cavernas, espécies raras, colônias de elevada abundância, e para obtenção de dados de colônias maternidade.

Palavras-chave: Chiroptera; cavernas; conservação; índice de raridade; litologia; medidas ecológicas.

ABSTRACT

Caves are among the most important roosts for hundreds of species of bats, and it is possible to find caves with high richness, reaching up to more than 20 species. However, caves can be formed in different lithologies (e.g., carbonate, ferruginous, quartzite or sandstone) and their physical and structural characteristics can influence the preference of different species, and it is even possible to differentiate the species according to their level of cave use. This relationship between bat species and different types of caves uses may reflect a rarity for some species in these environments. However, the determination of rarity for bats in caves is still complex, as is the assessment of abundance in certain cases. Although the relationship between bats and caves is already well established, there is still a large gap in studies in subterranean environments with many areas and caves not sampled, sparse information and unexplored questions. Brazil has more than 22, 600 recorded caves and 73 species of bats have already been recorded in caves, however, only less than 3% of known caves were sampled in relation to chiropterofauna. Thus, using literature review data, this article aims to answer the following questions: 1) How is bat richness influenced by cave lithology? 2) How to assess rarity in bats in caves and which bat species can be considered rare in Brazilian caves? 3) How to evaluate high abundances in different species of bats in caves? There were 110 studies evaluated, 534 caves sampled, updating to 82 species the number of valid bat species for the country occurring in caves. Species richness showed differences between the lithologies, with ferruginous caves showing lower richness. Assessing rare species considering the category of roost use together with the rarity index provides more accurate information for determining rarity, and the best method to assess abundance was to use five times the average abundance of each species. The present work provides an overview about Brazilian cave bats and fills gaps in relation to bats' roost ecology. In addition, it highlights the importance of creating a database with information on Brazilian cave bats, for future updates of the list of species occurring in caves, rare species, colonies of high abundance, and for obtaining data on maternity colonies.

Keywords: Chiroptera; caves; conservation; ecological measurements; lithology; rarity index

INTRODUÇÃO

Medidas de diversidade estão entre os principais parâmetros biológicos utilizados para guiar estratégias de manejo e conservação (FLEISCHMAN; NOSS; NOON, 2006; MAGURRAN, 2004). Análises ecológicas de como essas medidas se relacionam com variáveis ambientais são frequentemente utilizadas para subsidiar ações conservacionistas (MEIR; ANDELMAN; POSSINGHAM, 2004). Proteger localidades com alta riqueza é uma forma eficiente de conservar a biodiversidade e manter funções ecológicas chaves (MYERS et al., 2000). Conhecer a abundância de diferentes espécies pode prover informações úteis de como comunidades funcionam e subsidiar manejos mais efetivos (VERBERK, 2011). Espécies raras são susceptíveis a um maior risco de extinção, e entender o conceito de raridade e a manutenção dessas espécies pode minimizar os efeitos de mudanças atuais e futuras na perda biodiversidade (SOULÉ, 1986).

A fragmentação, perda de habitats e o uso das paisagens por atividades antrópicas já ameaçam cerca de 25% dos mamíferos do planeta (NEWBOLD et al., 2015). Para os morcegos, os mamíferos terrestres mais distribuídos na Terra, a destruição dos ambientes cavernícolas é indicada como uma das principais ameaças para sua conservação globalmente (FRICK et al., 2019).

Cavernas estão entre os abrigos mais importantes e usados por centenas de espécies de morcegos, pois estes ambientes tendem a possuir uma estabilidade estrutural e climática ótima para estas espécies (FENTON et al., 1994; FUREY; RACEY, 2015). A coabitação em cavernas por diferentes espécies de morcegos é comum, sendo possível encontrar cavernas com altas riquezas, atingindo até mais de 20 espécies (BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2021; TORRES-FLORES; SANTOS-MORENO, 2017). As cavernas podem ser formadas em diferentes tipos de rochas, como ferríferas, quartzíticas, areníticas, sendo as mais comuns de origem carbonática (AULER; PILÓ, 2005; RUBBIOLI et al., 2019; WHITE; CULVIER, 2005;). O processo de gênese de cavernas varia de acordo com as diferentes litologias constituintes, geralmente resultando em padrões de configurações e dimensões diferenciadas (CULVER; PIPAN 2009; FORD; WILLIAMS 2007). Um padrão já reconhecido é que cavernas carbonáticas tendem a ser maiores que cavernas de ferro (AULER; RUBBIOLLI; BRANDI, 2002; SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011), e embora estudos já tenham indicado que a riqueza de morcegos pode ser associada ao tamanho das cavernas (ÁVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004; BRUNET; MEDELLÍN, 2001; VARGAS-MENA et al. 2020), poucos estudos avaliaram a influência da litologia no número de espécies de morcegos (SILVA, 2013).

As características estruturais e ambientais das cavernas podem ainda influenciar a preferência de diferentes espécies por se abrigarem nestes ambientes (ARITA, 1996; BRUNET; MEDELLIN, 2001), sendo, inclusive, possível diferenciar as espécies de acordo com seu nível de uso das cavernas (ARITA, 1993). Existem espécies essencialmente cavernícolas, que se abrigam principalmente em cavernas e muitas vezes podem depender desses abrigos para sobrevivência e manutenção de suas populações; espécies usualmente cavernícolas que são aquelas que utilizam cavernas igualmente como outros abrigos; e espécies ocasionalmente cavernícolas, que já foram registradas em cavernas, mas preferem outros tipos de abrigo (ARITA, 1993). Essa relação das espécies de morcegos e os diferentes tipos de usos das cavernas pode refletir uma raridade para algumas espécies nesses ambientes, uma vez que conceitualmente raridade geralmente é associada à especificidade de habitats, distribuição restrita ou ainda baixa abundância (RABINOWITZ, 1981).

Entretanto, a determinação de raridade para espécies de morcegos em ambientes subterrâneos ainda é complexa, assim como a avaliação de abundância em determinados casos. Algumas espécies formam grandes colônias, com milhares de morcegos (HRISTOV et al., 2010; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019; RODRÍGUEZ-DURÁN, 2020; ver também tópico 3.1 desta tese), ocorrendo, geralmente, em cavernas com condições específicas (LADLE, et al., 2012; RODRÍGUEZ-DURÁN, 2020). Para a maioria das outras espécies, o mais comum é o registro de colônias com abundâncias mais discretas (e.g. dezenas ou centenas de indivíduos). Porém, a delimitação do que considerar como alta abundância ainda é objeto de discussão, geralmente com o uso da abundância relativa como medida de avaliação (TANALGO et al., 2018). Entretanto, espécies possuem comportamentos diferenciados e muitas vezes podem apresentar ainda um uso dinâmico das cavernas (LEWIS, 1995), dificultando assim essa avaliação.

De fato, embora a relação entre morcegos e cavernas seja já bem estabelecida, existe ainda uma grande lacuna de estudos em ambientes subterrâneos (MAMMOLA et al., 2019), com muitas áreas e cavernas não amostradas, informações esparsas e perguntas não exploradas. O entendimento das interações ecológicas inter e intraespecíficas, bem como suas relações com o hábitat, são a base para a proposição e implementação de ações conservacionistas mais objetivas e eficazes (PHELPS et al. 2016).

No Brasil, o preenchimento de lacunas pode ser especialmente importante do ponto de vista conservacionista, uma vez que cavernas geralmente estão localizadas em áreas de elevado interesse econômico para atividades mineradoras (FUREY; RACEY, 2015). Atualmente o país passa por alterações em sua legislação que tentam flexibilizar a proteção de cavernas, pondo

em risco os ecossistemas subterrâneos do país (FERREIRA et al., 2022). Adicionalmente, a legislação protetiva de cavernas vigente no país, carece de melhorias em sua redação e aplicabilidade, principalmente no que tange aos morcegos (BARROS et al., 2020 – ver tópico 4.1 desta tese).

O Brasil conta com mais de 22.600 cavernas já registradas na base do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV, 2021). Dentre as 182 espécies de morcegos que ocorrem no país (GARBRINO et al., 2020; GARBRINO et al., 2022), 73 já foram registradas em cavernas, porém, apenas menos de 3% das cavernas registradas foram amostradas em relação à quiropteroфаuna (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; TORRES; BICHUETTE, 2019).

Entretanto, a identificação do problema por si só é insuficiente para uma efetiva conservação (WILLIAMS; BALMFORD; WILCOVE, 2020). Segundo Mammola et al. (2022), é necessário explorar abordagens baseadas em soluções, propondo e implementando intervenções conservacionistas e posteriormente monitorando sua eficácia.

Assim, considerando o incipiente conhecimento a respeito do uso de cavernas por morcegos no Brasil, este artigo tem por objetivo responder às seguintes questões: 1) Como a riqueza de morcegos é influenciada pela litologia das cavernas? 2) Como avaliar raridade em morcegos em cavernas e quais espécies de morcegos podem ser consideradas raras nas cavernas brasileiras? 3) Como avaliar elevadas abundâncias em diferentes espécies de morcegos em cavernas? A partir da criação de um banco de dados que possa servir de modelo e referência em estudos de licenciamento ambiental, espero preencher lacunas ainda existentes e contribuir com o desenvolvimento de estratégias futuras para a proteção de cavernas e de morcegos no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Revisão de literatura. — Para obtenção de dados, foi realizada uma revisão de literatura, considerando artigos, dissertações e teses disponíveis em diferentes plataformas de pesquisa (Web of Science, Google Scholar). A pesquisa foi realizada utilizando as palavras-chaves: “morcegos”, “Chiroptera”, “cavernas”, “Brasil” ou “brasileiras”, assim como seus correspondentes em inglês: “bats”, “caves”, “Brazil”, e “brazilians”, seguindo Oliveira et al., (2018).

Foram coletadas todas as informações disponíveis de cada caverna (nome, ano de amostragem, coordenadas, município, estado, bioma, litologia e tamanho), e dos morcegos (espécies, riqueza, abundância). Informações adicionais como a presença e abundância de maternidades, *hot caves*, espécies com colônias mais abundantes, foram também compiladas a

fim de formar um banco de dados inicial a ser utilizado como possível referência em futuros estudos.

A partir de um total de 110 estudos (Material suplementar 1), foram reunidas informações referentes a 534 cavernas com dados sobre levantamentos de espécies de morcegos no Brasil.

Análise descritiva. — A partir dos estudos avaliados, apresentamos um panorama geral do status das cavernas brasileiras em relação a sua quiróptero fauna. Atualizamos o número de espécies registradas em cavernas, considerando a lista atual de espécies de morcegos no Brasil (GARBINO et al., 2020; GARBINO et al., 2022); Avaliamos a riqueza de acordo com a classificação proposta por Guimarães e Ferreira (2014), que diferencia as cavernas entre baixa (até 3 espécies), média (4 a 6), alta (7 a 9) e elevada riqueza (>10); Avaliamos a presença de espécies ameaçadas de acordo com a Portaria MMA 148/22 referente a lista de espécies ameaçadas do Brasil (BRASIL, 2022); Registramos colônias maternidades e *hot caves* (cavernas com colônias de milhares de indivíduos formadas por espécies do gênero *Pteronotus*).

Análises ecológicas. — Riqueza e litologia: Considerando um total de 416 cavernas, para as quais foi possível obter dados sobre a litologia e tamanho (projeção horizontal), agrupamos as cavernas em quatro grupos de diferentes origens rochosas (SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011): cavernas carbonáticas (calcário, mármore, dolomito), magmáticas (granito e micaxisto), siliciclásticas (quartzito e arenito), e ferríferas (ferro). Utilizamos um modelo linear generalizado (GLM = Riqueza ~ Litologia + Projeção Horizontal + Litologia: Projeção Horizontal), a partir da família de distribuição de Poisson, para avaliar a influência da litologia e do tamanho das cavernas sobre a riqueza de espécies, e realizamos o teste de Tukey para avaliar diferenças significativas na riqueza e tamanho das cavernas entre as litologias. Os dados de tamanho das cavernas foram padronizados para melhor visualização dos dados.

Raridade: O índice de raridade (IR) proposto por Tanalgo et al. (2018), é aplicado para avaliação de espécies raras considerando dada região. O índice leva em consideração a razão entre o número de cavernas amostradas (N) e frequência de ocorrência (f) das espécies registradas, segundo a fórmula:

$$\text{Índice de Raridade (IR)} = N/f$$

Assim, valores maiores que 4.00 indicam que a espécie é rara ou ocorre apenas em algumas cavernas (ocorrência em $\leq 25\%$ das cavernas) e valores próximos a 1.00 indicam que a espécie é comum na maioria das cavernas.

Sua aplicabilidade foi testada utilizando os dados de frequência de ocorrência das espécies de morcegos em cavernas considerando o Brasil como amostra geral e os biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, para os quais foram identificados registros.

Adicionalmente, consideramos o nível de uso de cavernas ao qual cada espécie é associada (ARITA, 1993). Utilizamos como base a classificação adequada às espécies que ocorrem no Brasil, que conta com 13 espécies consideradas essencialmente cavernícolas e 13 usualmente cavernícolas (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; ROCHA, 2013). Atualmente, o número de espécies de morcegos registradas em cavernas no país aumentou, desde a realização destes estudos, assim atualizamos a lista considerando, dentre os novos registros, como ocasionalmente cavernícolas as espécies que, na literatura (GARDNER et al. 2008), utilizam preferencialmente outros tipos de abrigos. Assim, considerando a ocorrência das espécies nas cavernas estudadas, juntamente com seu nível de associação com esses ambientes é possível avaliar dois (distribuição geográfica e especificidade ao habitat) dentre os três componentes de raridade propostos por Rabinowitz (1981).

Abundância: O índice de potencial biótico de Tanalgo et al. (2018), avalia a abundância das populações de morcegos em cavernas através da razão entre a abundância de determinada espécie em uma caverna e a média da abundância da espécie em todas as cavernas amostradas, de forma que espécies com abundância relativa igual a 1.0 compõem populações médias. Entretanto, o índice não considera um limiar para determinação de populações superabundantes, tendo como principal foco utilizar a abundância relativa das espécies justamente para balancear o peso de grandes populações em relação a espécies que formam colônias naturalmente pouco numerosas. Partindo do princípio de que média pode ser uma medida útil para demonstrar diferenças entre populações, consideramos que populações de morcegos com abundâncias excepcionalmente altas poderiam ser tratadas como outliers, que por sua vez são definidos como dados extremos não característicos da distribuição de onde foram amostrados (GOTELLI; ELLISON, 2013). Uma das formas mais utilizadas para identificar outliers é considerar duas vezes o valor do desvio-padrão a partir da média, entretanto em alguns casos esse método pode esconder ou mascarar verdadeiros outliers, ou ainda identificar incorretamente pontos representativos da amostra como outliers (JACKSON; CHEN, 2004). Assim, para testar qual seria a medida ideal para determinação de colônias excepcionais em tamanho, utilizando dados de abundância disponíveis para algumas espécies de morcegos em cavernas brasileiras, calculamos a média da abundância da espécie, aplicamos a soma da média com duas vezes seu desvio-padrão. Alternativamente, testamos também multiplicar a média das populações por três, quatro e cinco ordens de valor, para posterior

seleção de qual seria o método que se adequaria melhor considerando espécies tanto mais especialistas quanto mais generalistas em relação ao uso de abrigos. Utilizamos espécies para as quais foi possível obter dados de abundância para mais de cinco cavernas na revisão realizada. A avaliação dos valores finais obtidos, foi feita levando em consideração, também, o que se sabe sobre a formação de colônias das espécies avaliadas (GARDNER et al. 2008; REIS et al., 2017).

RESULTADOS

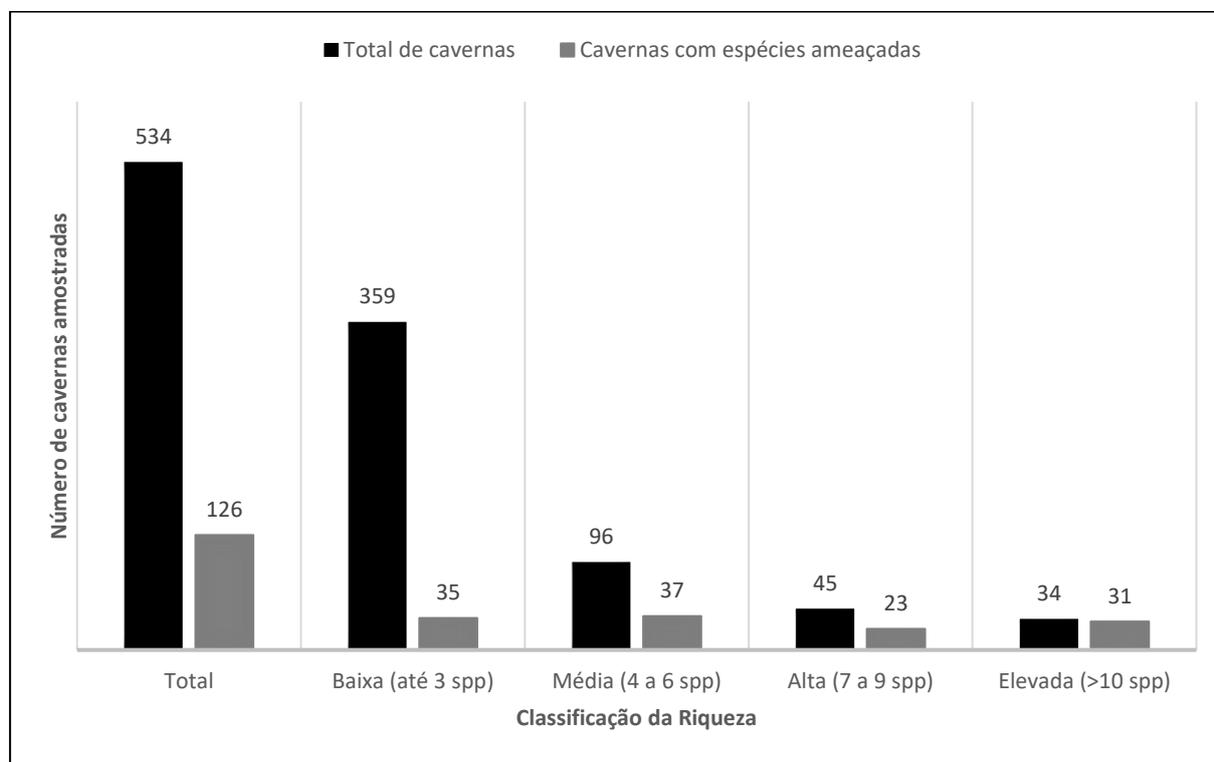
Panorama geral da quiropterofauna cavernícola brasileira

No total, foram registradas 88 espécies de morcegos, presentes em 452 cavernas. Entretanto, para 11 dessas espécies a observação em cavernas foi apenas a partir de registros fósseis decorrentes do Pleistoceno: *Desmodus draculae* (†), *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus davyi*, *Eumops bonariensis*, *Eumops abrasus*, *Eumops perotis*, *Promops nasutus*, *Tadarida brasiliensis*, *Eptesicus fuscus*, *Histiotus velatus*, *Lasiurus blossevilli*, sendo que quatro dessas não ocorrem atualmente no Brasil. Duas outras espécies são consideradas como registros duvidosos para o país: *Artibeus glaucus* e *Platyrrhinus helleri*.

Assim, considerando apenas a lista atual de espécies de morcegos do Brasil, são 82 espécies já registradas em cavernas, o que representa cerca de 45 % das espécies que ocorrem no país.

Dentre as 534 cavernas avaliadas, em 126 (23.6%) foram registradas espécies ameaçadas. Foram 359 cavernas com baixa riqueza, 35 delas com espécies ameaçadas (9.7%), 96 com riqueza média, sendo 37 dessas (38.5%) com espécies ameaçadas, outras 45 cavernas apresentaram alta riqueza, sendo 51.1% (23 cavernas) com espécies ameaçadas, e 34 cavernas de riqueza elevada, com 31 (91.2%) com a presença de espécies ameaçadas (Figura 1). Foram registradas 10 *hot/bat caves*, sendo que para nove delas foram apresentados dados de contagens, com mais de 5.000 indivíduos de morcegos. Nove cavernas também apresentaram algumas informações sobre colônias maternidade das seguintes espécies: *A. geoffroyii*, *C. perspicillata*, *G. soricina*, *D. ecaudata* *F. horrens*, *N. macrourus*, *M. minuta*, *P. gymnotus*, e *P. personatus* entretanto, com poucos registros de abundância.

Figura 1. Número total de cavernas amostradas para a quiropterofauna cavernícola do Brasil nos estudos avaliados na revisão de literatura realizada. São apresentados o número de cavernas em relação as diferentes classes de riqueza, bem como o número de cavernas com a presença de espécies ameaçadas.



Fonte: A autora (2022).

Riqueza e litologia:

Dentre as 416 cavernas avaliadas, foram 203 ferríferas (48.8%), 164 carbonáticas (39.4%), 46 siliciclásticas (11%) e 3 magmáticas (0.72%). A média de tamanho em cavernas ferríferas foi menor do que em cavernas carbonáticas (Figura 2). Cavernas ferríferas variaram em tamanho de quatro a 770 metros (média = 33.6 m), enquanto cavernas carbonáticas variaram de 2.5 a 105.000 metros (média = 1432 m), as siliciclásticas variaram de 3 a 1000 metros (média = 178 m), e cavernas magmáticas variam de 10 a 34 metros (média = 21.3 m).

A riqueza encontrada nas cavernas variou de zero a 26 espécies. Em cavernas ferríferas a média da riqueza foi de 1.8 (DP \pm 1.9), em cavernas carbonáticas foi de 5.0 (DP \pm 4.4), enquanto cavernas siliciclatiscas tiveram média de 3.6 (DP \pm 3.1) e as magmáticas apresentaram média de 4 (DP \pm 2.6). A diferença no número de espécies entre as litologias foi significativa (Figura 3; Tabela 1). A riqueza foi positivamente relacionada com cavernas carbonáticas (GLM: $x^2 = 5.912$; $p < 0.001$) e com o tamanho (Figura. 4; GLM: $x^2 = 8.284$; $p < 0.001$), e teve resposta negativa para as cavernas ferríferas em relação às carbonáticas (GLM: $x^2 = -9.238$; $p < 0.001$). Entretanto, analisando o efeito da interação entre litologia e o tamanho sobre a

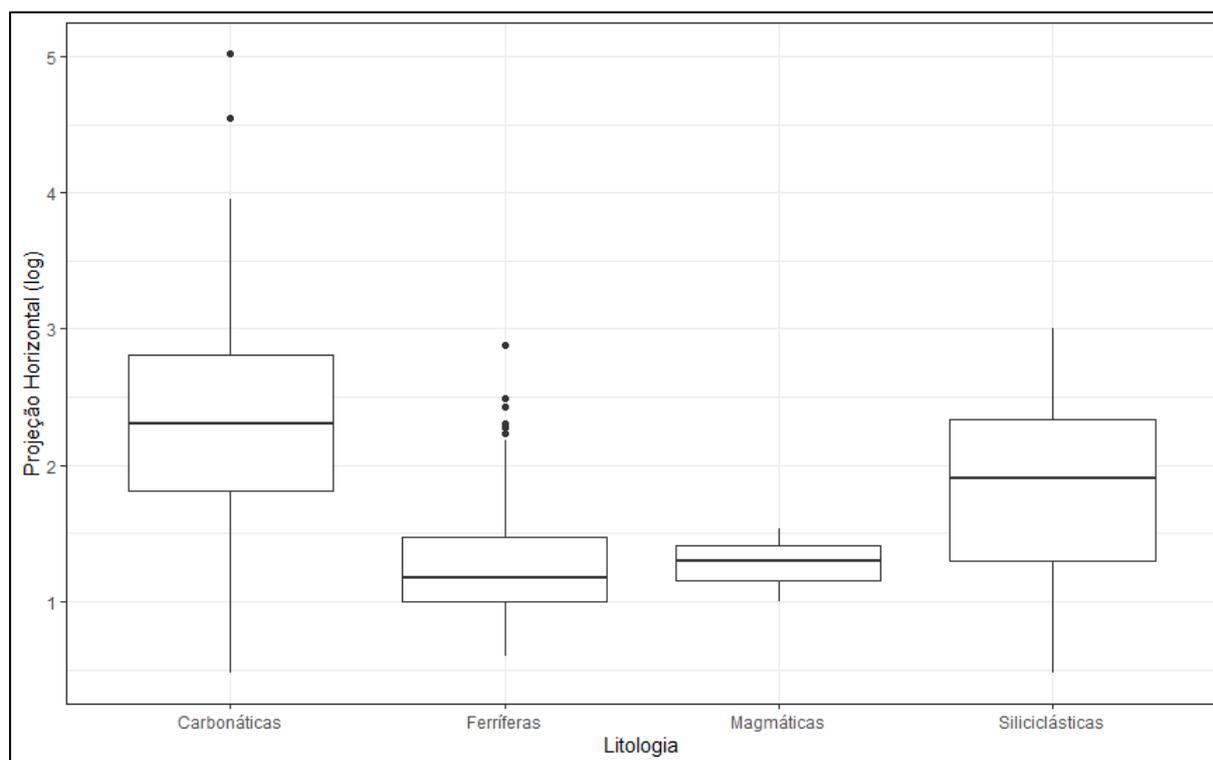
riqueza, cavernas ferríferas maiores podem apresentar também mais espécies (GLM: $x^2 = 7.918$; $p < 0.001$).

Tabela 1. Valores resultantes do Teste de Tukey para comparação de riquezas entre cavernas com litologias diferentes.

Cavernas	Estimado	Erro Padrão	z	p
Ferríferas - Carbonáticas	-1.03916	0.063	-16.511	<0.001
Magmáticas - Carbonáticas	-0.23406	0.29076	-0.805	0.834
Siliciclásticas - Carbonáticas	-0.33100	0.08482	-3.902	<0.001
Magmáticas - Ferríferas	0.80510	0.29341	2.744	0.025
Siliciclásticas - Ferríferas	0.70816	0.09350	7.574	<0.001
Siliciclásticas - Magmáticas	-0.09694	0.29887	-0.324	0.986

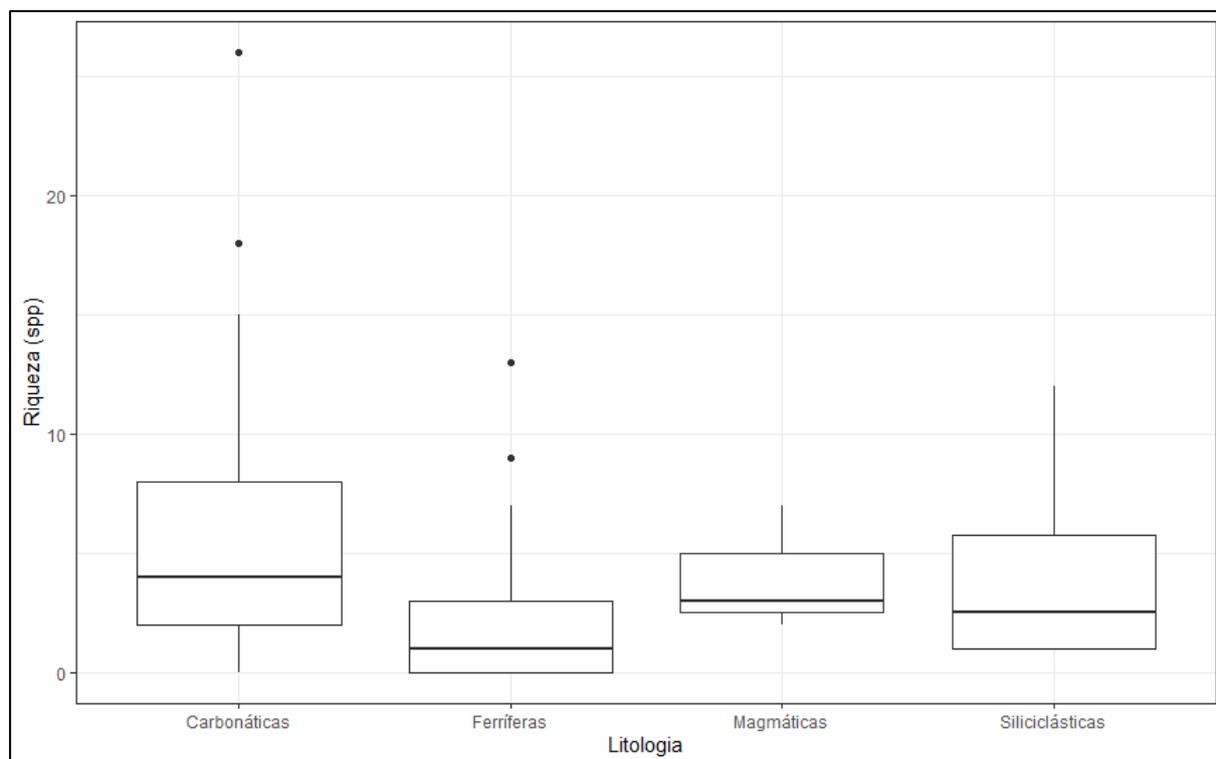
Fonte: A autora (2022).

Figura 2. Relação entre litologias e a projeção horizontal para 416 cavernas amostradas nos estudos sobre a quiropterofauna cavernícola do Brasil, avaliados na revisão de literatura realizada. Os valores de projeção horizontal foram padronizados para melhor visualização dos dados.



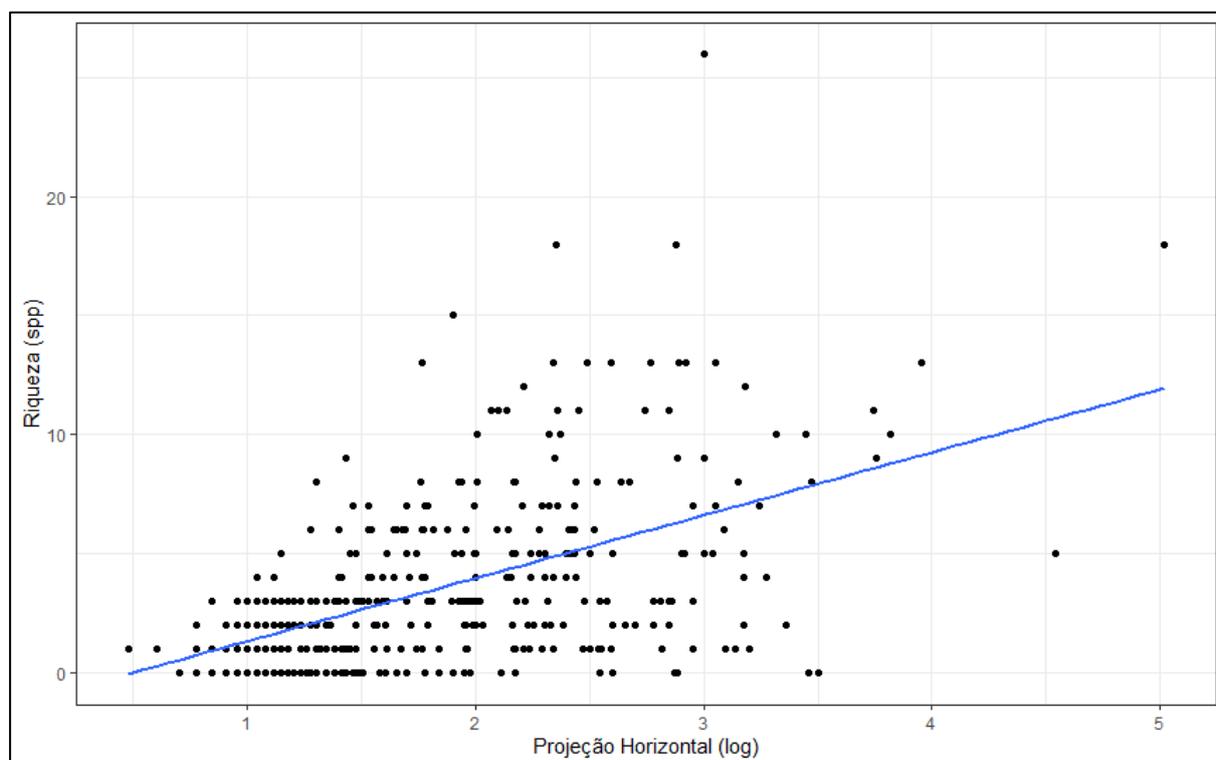
Fonte: A autora (2022).

Figura 3. Relação entre litologias e a riqueza para 416 cavernas amostradas nos estudos sobre a quiropterofauna cavernícola do Brasil, avaliados na revisão de literatura realizada.



Fonte: A autora (2022).

Figura 4. Regressão entre projeção horizontal e riqueza para 416 cavernas amostradas em estudos sobre a quiropterofauna cavernícola no Brasil, nos estudos avaliados na revisão de literatura realizada.



Fonte: A autora (2022).

Espécies raras:

Considerando as 82 espécies presentes na lista de morcegos vigente no Brasil (Tabela 2), as únicas espécies consideradas comuns no país foram *Carollia perspicillata*, *Desmodus rotundus* e *Glossophaga soricina*, registradas respectivamente em 249 (46.9%), 191 (36%) e 175 (33%) cavernas distribuídas por todos os quatro biomas amostrados (Tabela 2).

Em relação aos biomas, foram registradas 30 espécies de morcegos em 205 cavernas na Amazônia, 60 espécies em 114 cavernas no Cerrado, 43 espécies em 114 cavernas na Mata Atlântica, 37 espécies em 78 cavernas na Caatinga (Tabela 2). Foram amostradas ainda 22 cavernas em áreas de transição entre Cerrado e Caatinga e uma em área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, nas quais foi contabilizada a ocorrência de 21 espécies de morcegos.

Das três espécies comuns para o país, *C. perspicillata* foi a única comum em todos os biomas quando analisados em separado (IR: AM=2; CA=3.4; CE=1.5; MA=2.6). *D. rotundus* foi considerado comum na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (IR: CA=3.0; CE=1.6; MA=1.7), enquanto *G. soricina* na Amazônia, Caatinga e Cerrado (IR: AM=3.5; CA=3.1; CE=1.8). Além destas, *Peropteryx kappleri* foi comum na Amazônia (IR=2.7), *Peropteryx macrotis* na Caatinga (IR=2.7) e no Cerrado (IR=3.7), *Artibeus planirostris* apenas para a Caatinga (IR=3.5) e *Chrotopterus auritus* apenas no Cerrado (IR=3.7). Todas as outras espécies foram consideradas raras, apresentando índices de raridade maior que 4 e ocorrendo em menos de 25% das cavernas amostradas em cada bioma (Tabela 2; Figuras 1 e 2).

Um padrão observado foi que espécies ocasionalmente cavernícolas (OC), foram registradas em menos de 5% das cavernas, espécies usualmente cavernícolas (UC), com exceção das comuns (>25% de ocorrência), apresentaram registros entre 5 e 10% das cavernas, e as essencialmente cavernícolas (EC) apresentaram registros variando entre 10 e 20% das cavernas. Entretanto, dentre as usualmente e essencialmente cavernícolas, algumas espécies se destacaram deste padrão. *Lionycteris spurrelli* (UC) foi registrada em cavernas na Amazônia e no Cerrado, correspondendo a apenas 3% das cavernas amostradas em toda sua distribuição que considera os quatro biomas (Tabela 2). As essencialmente cavernícolas *Anoura geoffroy*, *Pteronotus personatus*, *Pteronotus gymnonotus*, *Pteronotus rubiginosus* e *Natalus macrourus* foram registradas em menos de 10% das cavernas (Tabela 2). Enquanto *Lonchophylla dekeisery* (EC), espécie endêmica do Cerrado, ocorreu em 24% das cavernas amostradas para sua distribuição (Tabela 2).

Tabela 2. Lista de espécies registradas em cavernas para o Brasil e por bioma brasileiro. São apresentados os dados da quantidade total de cavernas amostradas (n), número de cavernas em que as espécies ocorrem (Oco), índice de raridade (IR) e porcentagem de ocorrência (%) para cada espécie. *Espécies contabilizadas apenas através de registro fóssil. Espécies em negrito encontram-se na lista de espécies ameaçadas no Brasil (BRASIL, 2022) Categorias de uso de cavernas: EC = Essencialmente cavernícolas; UC = Usualmente cavernícolas; OC = Ocasionalmente cavernícolas. Distribuição: AM = Amazônia; CA = Caatinga; CE = Cerrado; MA = Mata Atlântica.

Espécies	Categorias	Amazônia (n=205)			Caatinga (n=78)			Cerrado (n=114)			Mata Atlântica (n=114)			Brasil				
		Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Distribuição	n	Oco	IR	%
<i>P. kappleri</i>	EC	75	2.7	36.6	1	78.0	1.3	2	57.0	1.8	2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	81	6.6	15.2
<i>P. macrotis</i>	EC	5	41.0	2.4	29	2.7	37.2	31	3.7	27.2	7	16.3	6.1	AM; CA; CE; MA	534	75	7.1	14.0
<i>P. trinitatis</i>	OC	1	205.0	0.5	1	78.0	1.3							AM; CA; CE	419	2	209.5	0.5
<i>R. naso</i>	OC	2	102.5	1.0				1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	3	178.0	0.6
<i>S. leptura</i>	OC							4	28.5	3.5				AM; CA; CE; MA	534	4	133.5	0.7
<i>S. bilineata</i>	OC										1.0	114.0	0.9	AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>M. megalotis</i>	UC	7	29.3	3.4	2	39.0	2.6	13	8.8	11.4	10	11.4	8.8	AM; CA; CE; MA	534	32	16.7	6.0
<i>M. microtis</i>	OC	2	102.5	1.0				6	19.0	5.3	2	57.0	1.8	AM; CE; MA	434	10	43.4	2.3
<i>M. sanborni</i>	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>M. schmidtorum</i>	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE	419	1	419.0	0.2
<i>M. minuta</i>	OC							6	19.0	5.3	3	38.0	2.6	AM; CA; CE; MA	534	10	53.4	1.9
<i>D. rotundus</i>	UC	19	10.8	9.3	26	3.0	33.3	73	1.6	64.0	66	1.7	57.9	AM; CA; CE; MA	534	191	2.8	35.8
<i>D. youngi</i>	OC							5	22.8	4.4	2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	7	76.3	1.3
<i>D. ecaudata</i>	EC	11	18.6	5.4	26	3.0	33.3	34	3.4	29.8	17	6.7	14.9	AM; CA; CE; MA	534	93	5.7	17.4
<i>L. aurita</i>	EC	18	11.4	8.8	8	9.8	10.3	19	6.0	16.7	14	8.1	12.3	AM; CA; CE; MA	534	60	8.9	11.2
<i>C. auritus</i>	EC	2	102.5	1.0	7	11.1	9.0	31	3.7	27.2	21	5.4	18.4	AM; CA; CE; MA	534	62	8.6	11.6
<i>G. crenulatum</i>	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>M. macrophyllum</i>	OC							2	57.0	1.8	2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	4	133.5	0.7
<i>L. silvicola</i>	OC										2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>M. bennetti</i>	UC				3	26.0	3.8	26	4.4	22.8	10	11.4	8.8	AM; CA; CE; MA	534	41	13.0	7.7
<i>P. stenops</i>	OC							4	28.5	3.5				AM; CA; CE; MA	534	5	106.8	0.9
<i>P. discolor</i>	OC				7	11.1	9.0	1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	8	66.8	1.5
<i>P. latifolius</i>	UC	14	14.6	6.8										AM	205	14	14.6	6.8
<i>P. elongatus</i>	OC							8	14.3	7.0				AM; CA; CE; MA	534	8	66.8	1.5

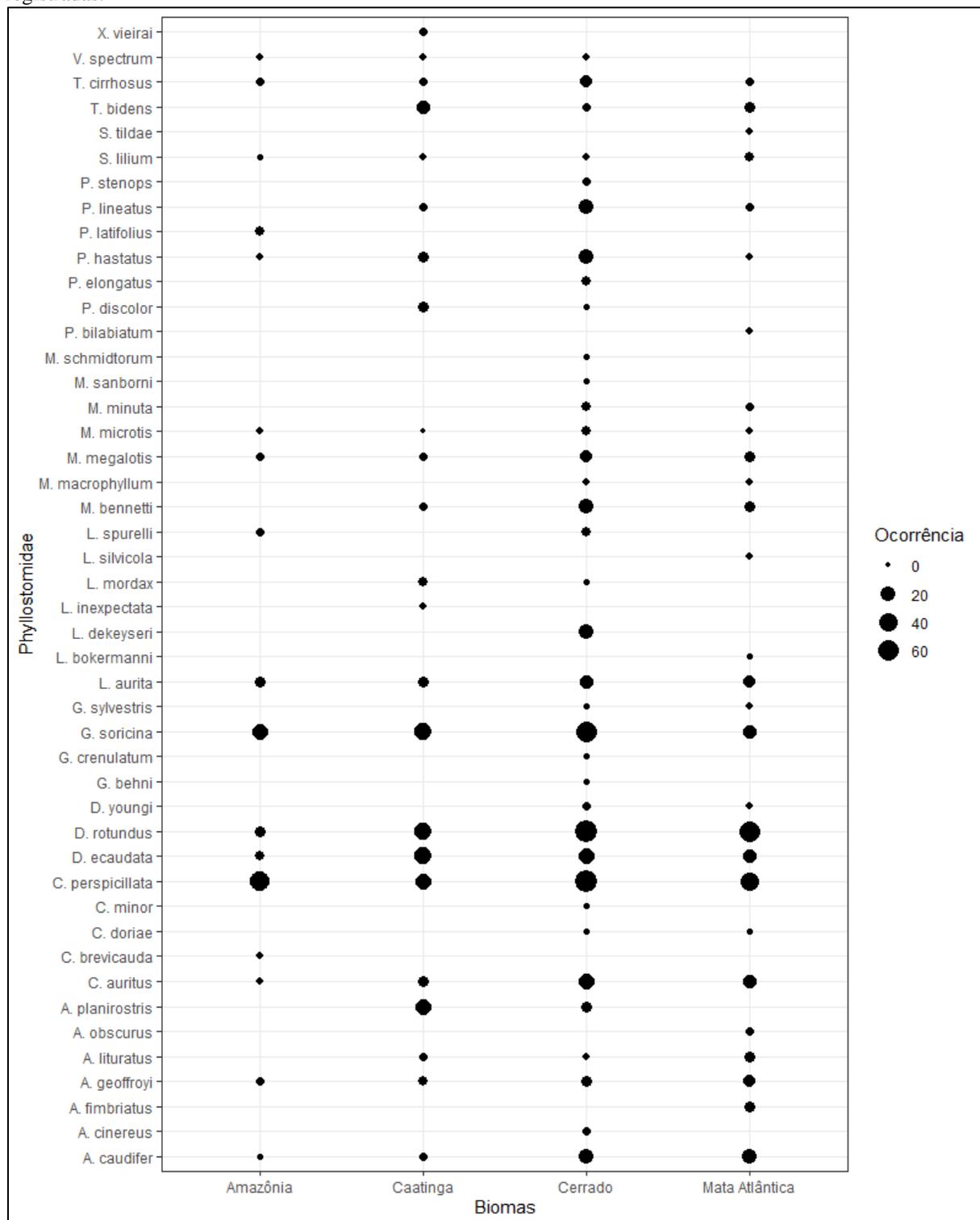
Espécies	Categorias	Amazônia (n=205)			Caatinga (n=78)			Cerrado (n=114)			Mata Atlântica (n=114)			Brasil				
		Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Distribuição	n	Oco	IR	%
<i>P. hastatus</i>	UC	2	102.5	1.0	8	9.8	10.3	28	4.1	24.6	2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	40	13.4	7.5
<i>T. bidens</i>	UC				13	6.0	16.7	5	22.8	4.4	9	12.7	7.9	AM; CA; CE; MA	534	28	19.1	5.2
<i>T. cirrhosus</i>	UC	7	29.3	3.4	2	39.0	2.6	13	8.8	11.4	5	22.8	4.4	AM; CA; CE; MA	534	27	19.8	5.1
<i>V. spectrum</i>	OC	2	102.5	1.0	1	78.0	1.3	2	57.0	1.8				AM; CA; CE	419	5	83.8	1.2
<i>A. caudifer</i>	EC	1	205.0	0.5	3	26.0	3.8	27	4.2	23.7	24	4.8	21.1	AM; CA; CE; MA	534	57	9.4	10.7
<i>A. geoffroyi</i>	EC	7	29.3	3.4	5	15.6	6.4	11	10.4	9.6	13	8.8	11.4	AM; CA; CE; MA	534	37	14.4	6.9
<i>C. minor</i>	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>G. soricina</i>	UC	59	3.5	28.8	25	3.1	32.1	62	1.8	54.4	19	6.0	16.7	AM; CA; CE; MA	534	175	3.1	32.8
<i>L. spurrelli</i>	UC	9	22.8	4.4				6	19.0	5.3				AM; CA; CE; MA	534	16	33.4	3.0
<i>L. dekeyseri</i>	EC							27	4.2	23.7				CE	114	28	4.1	24.6
<i>L. mordax</i>	OC				5	15.6	6.4	1	114.0	0.9				CA; MA	192	5	38.4	2.6
<i>L. inexpectata</i>	OC				1	78.0	1.3							CA	78	1	78.0	1.3
<i>L. bokermanni</i>	OC										1	114.0	0.9	CE; MA	229	1	229.0	0.4
<i>X. vieirai</i>	OC				3	26.0	3.8							CA; CE	214	3	71.3	1.4
<i>C. perspicillata</i>	UC	100	2.1	48.8	23	3.4	29.5	75	1.5	65.8	44	2.6	38.6	AM; CA; CE; MA	534	249	2.1	46.6
<i>C. brevicauda</i>	OC	2	102.5	1.0										AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>G. behni</i>	OC							1	114.0	0.9				CE	114	1	114.0	0.9
<i>G. sylvestris</i>	OC							1	114.0	0.9	2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>A. fimbriatus</i>	OC										10	11.4	8.8	CA; CE; MA	329	10	32.9	3.0
<i>A. lituratus</i>	OC				3	26.0	3.8	2	57.0	1.8	10	11.4	8.8	AM; CA; CE; MA	534	15	35.6	2.8
<i>A. obscurus</i>	OC										4	28.5	3.5	AM; CA; CE; MA	534	4	133.5	0.7
<i>A. planirostris</i>	UC				22	3.5	28.2	12	9.5	10.5				AM; CA; CE; MA	534	34	15.7	6.4
<i>A. cinereus</i>	OC							3	38.0	2.6				AM; CA; CE; MA	534	3	178.0	0.6
<i>C. doriae</i>	OC							1	114.0	0.9	1	114.0	0.9	CA; CE; MA	329	2	164.5	0.6
<i>P. lineatus</i>	UC				2	39.0	2.6	28	4.1	24.6	3	38.0	2.6	AM; CA; CE; MA	534	34	15.7	6.4
<i>P. bilabiatum</i>	OC										2	57.0	1.8	CA; CE; MA	329	2	164.5	0.6
<i>S. lilium</i>	OC	1	205.0	0.5	1	78.0	1.3	2	57.0	1.8	8	14.3	7.0	AM; CA; CE; MA	534	12	44.5	2.2
<i>S. tildae</i>	OC										2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4

Espécies	Categorias	Amazônia (n=205)			Caatinga (n=78)			Cerrado (n=114)			Mata Atlântica (n=114)			Brasil				
		Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Distribuição	n	Oco	IR	%
<i>P. personatus</i>	EC	2	102.5	1.0	6	13.0	7.7				2	57.0	1.8	AM; CA; MA	398	10	39.8	2.5
<i>P. gymnonotus</i>	EC	6	34.2	2.9	2	39.0	2.6	12	9.5	10.5				AM; CA; CE; MA	419	20	21.0	4.8
<i>P. rubiginosus</i>	EC	8	25.6	3.9										AM; CA; CE	205	8	25.6	3.9
<i>P. alitonus</i>	OC	8	25.6	3.9	8	9.8	10.3	3	38.0	2.6	2	57.0	1.8	AM	534	21	25.4	3.9
<i>N. leporinus</i>	OC				2	39.0	2.6	1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	3	178.0	0.6
<i>N. albiventris</i>	OC	1	205.0	0.5										AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>F. horrens</i>	EC	20	10.3	9.8	15	5.2	19.2	17	6.7	14.9	7	16.3	6.1	AM; CA; CE; MA	534	63	8.5	11.8
<i>T. tricolor</i>	OC										1	114.0	0.9	AM; MA	319	1	319.0	0.3
<i>N. macrourus</i>	EC	7	29.3	3.4	13	6.0	16.7	7	16.3	6.1	11	10.4	9.6	AM; CA; CE; MA	534	39	13.7	7.3
<i>E. bonariensis</i> *	OC							1	114.0	0.9				CE; MA	229	1	229.0	0.4
<i>E. abrasus</i> *	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>E. perotis</i> *	OC				1	78.0	1.3	1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>M. temmincki</i>	OC							2	57.0	1.8				AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>M. molossus</i>	OC	1	205.0	0.5	2	39.0	2.6				1	114.0	0.9	AM; CA; CE; MA	534	4	133.5	0.7
<i>M. pretiosus</i>	OC							1	114.0	0.9				CE	114	1	114.0	0.9
<i>N. laticaudata</i>	OC							3	38.0	2.6				AM; CA; CE; MA	534	3	178.0	0.6
<i>N. macrotis</i>	OC	1	205.0	0.5	1	78.0	1.3	2	57.0	1.8				AM; CA; CE; MA	534	5	106.8	0.9
<i>P. nasutus</i> *	OC				1	78.0	1.3	1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>T. brasiliensis</i> *	OC				2	39.0	2.6							AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>E. brasiliensis</i>	OC							2	57.0	1.8				AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>E. diminutus</i>	OC										2	57.0	1.8	AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>H. velatus</i> *	OC							2	57.0	1.8				AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>R. hussoni</i>	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>L. ega</i>	OC							1	114.0	0.9	1	114.0	0.9	AM; CA; CE; MA	534	2	267.0	0.4
<i>L. blossevilli</i> *	OC							1	114.0	0.9				AM; CA; CE; MA	534	1	534.0	0.2
<i>M. levis</i>	OC										4	28.5	3.5	MA	114	4	28.5	3.5
<i>M. nigricans</i>	UC	1	205.0	0.5	2	39.0	2.6	14	8.1	12.3	20	5.7	17.5	AM; CA; CE; MA	534	39	13.7	7.3
<i>M. riparius</i>	OC										5	22.8	4.4	AM; CA; CE; MA	534	5	106.8	0.9

Espécies	Categorias	Amazônia (n=205)			Caatinga (n=78)			Cerrado (n=114)			Mata Atlântica (n=114)			Brasil				
		Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Oco	IR	%	Distribuição	n	Oco	IR	%
<i>M. lavalis</i>	OC							10	11.4	8.8				CA; CE; MA	329	10	32.9	3.0
<i>M. simus</i>	OC										1	114.0	0.9	AM; MA	319	1	319	0.3

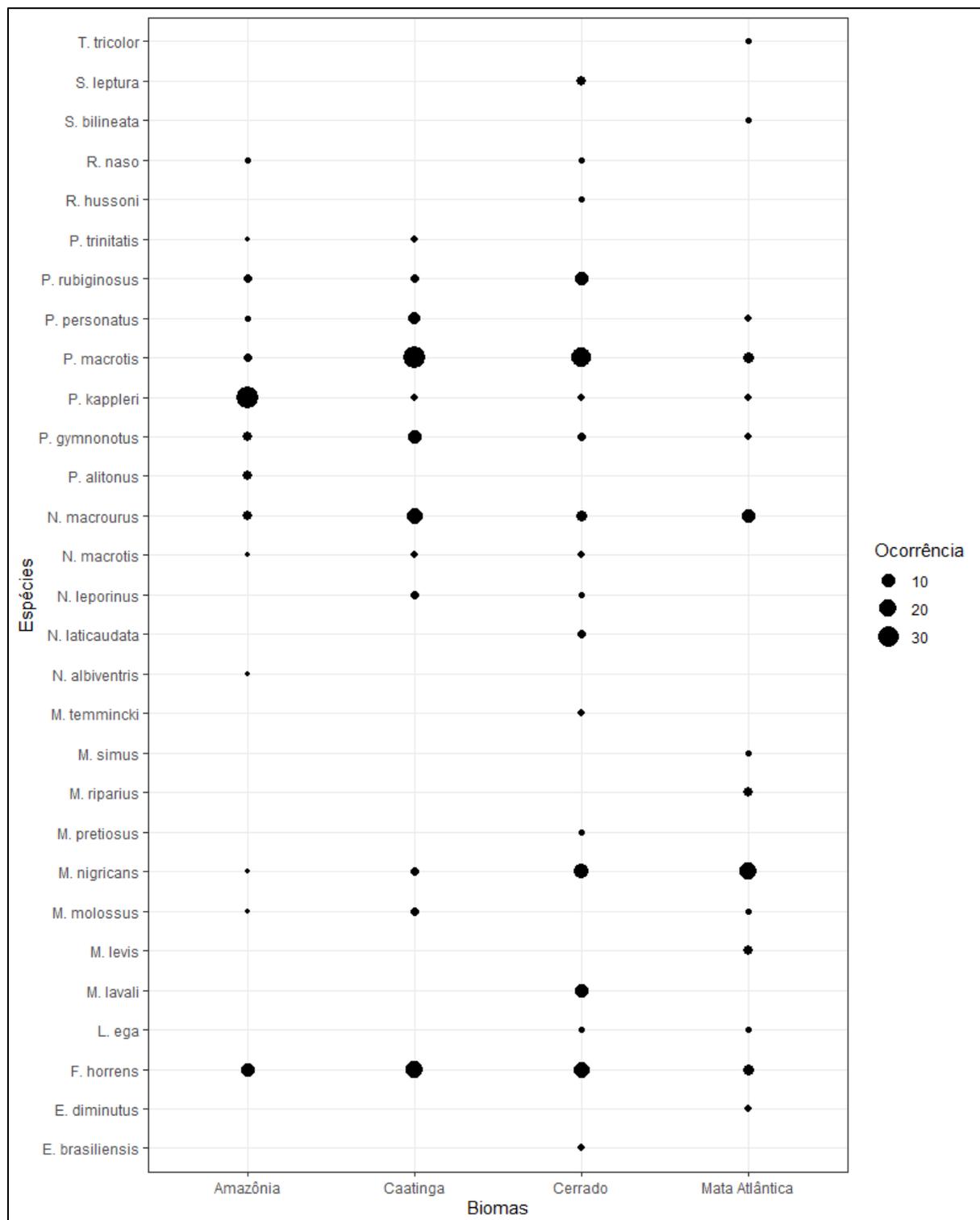
Fonte: A autora (2022).

Figura 5. Frequência de ocorrência em cavernas das espécies de morcegos pertencentes à família Phyllostomidae, nos quatro biomas amostrados. Os valores representam a porcentagem de cavernas em que as espécies foram registradas.



Fonte: A autora (2022).

Figura 6. Frequência de ocorrência em cavernas das espécies de morcegos pertencentes às famílias Emballonuridae, Mormoopidae, Vespertilionidae, Molossidae, Natalidae, Furipteridae, Noctilionidae e Thyropteridae, nos quatro biomas amostrados. Os valores representam a porcentagem de cavernas em que as espécies foram registradas.



Fonte: A autora (2022).

Abundância:

As espécies das quais foi possível obter dados de abundância em mais de cinco cavernas foram: *Anoura caudifer*, *Anoura geoffroyi*, *Carollia perspicillata*, *Desmodus rotundus*, *Glossophaga soricina*, *Lonchorhina aurita* (Tabela 3).

O número de cavernas com dados de abundância variou entre as espécies, de cinco a 43 cavernas (Tabela 3). A abundância na maior colônia de cada espécie variou de 22 morcegos em *A. caudifer* e 616 em *A. geoffroyi*, com abundâncias totais variando entre 57 e 3991 morcegos (Tabela 3). A média e o desvio padrão para cada espécie variou entre 11.4 ± 7.4 em *A. caudifer* e 215.4 ± 227.8 em *A. geoffroyi* (Tabela 3). Os valores obtidos para o teste de determinação de elevada abundância (Média + (2*DP); 3x média; 4x média; e 5x média) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação entre possíveis abordagens para determinação de colônias de elevada abundância. Referência utilizada: * REIS et al., 2017; ** GARDNER et., 2008.

Espécies	Cavernas (N)	Abundância Total	Média \pm DP	Média + (2*DP)	3x Média	4x Média	5x Média	Maior colônia	Referência
<i>A. caudifer</i>	5	57	11.4 ± 7.4	26.2	34.2	45.6	57.0	22	~100*
<i>A. geoffroyi</i>	10	2154	215.4 ± 227.8	671.1	646.2	861.6	1077.0	616	~1000*
<i>C. perspicillata</i>	10	309	30.9 ± 17.7	66.2	92.7	123.6	154.5	64	~1000**
<i>D. rotundus</i>	43	3991	92.8 ± 99	291.0	278.4	371.2	464.0	387	~2000**
<i>G. soricina</i>	11	206	18.7 ± 21.7	62.3	56.2	74.9	93.6	79	~100*
<i>L. aurita</i>	9	710	78.9 ± 78.6	236.1	236.7	315.6	394.4	234	~500*

Fonte: A autora (2022).

Os valores obtidos na avaliação da média + DP, ficaram próximos dos valores reais observados nas amostras (maior colônia), sendo inclusive superados no caso de *D. rotundus* (Tabela 3). O mesmo resultado pôde ser observado para essa espécie em relação aos testes considerando a aplicação de três e quatro vezes a média. Considerando que *D. rotundus* é uma espécie comum em cavernas, e baseado no que é conhecido na literatura sobre a espécie, é válido ponderar que os três primeiros testes (Média + (2*DP); 3x média; 4x média) não refletem o que de fato seria esperado para colônias excepcionais dessa espécie (>2000). O teste utilizando cinco vezes a média, apresenta valores maiores em relação a amostra real observada para todas as espécies, e embora os valores resultantes para as espécies comuns *D. rotundus* e *C. perspicillata* ainda estejam consideravelmente abaixo do que consta na literatura, para outras espécies os valores obtidos estão próximos dos valores de referência (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Panorama geral da quiropterofauna cavernícola brasileira

A partir de um levantamento de estudos em cavernas, foi possível contabilizar um total de 88 espécies de morcegos já registradas em cavernas brasileiras. Inventariar e contabilizar o número de espécies é um dos métodos básicos mais utilizados por biólogos, contribuindo para o entendimento do porquê há variação de espécies entre locais, o que controla essa variação e porque alguns lugares são mais ricos em espécies do que outros (HUTCHINSON, 1959). Esforços de revisão, focados em morcegos cavernícolas no Brasil, vêm sendo desenvolvidos na última década, elevando de 41 para 73 espécies o número de morcegos registrados utilizando esses ambientes no país (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; ROCHA, 2013; TORRES; BICHUETTE, 2019). Aumentamos em 15 o número de espécies registradas, entretanto, acompanhando as atualizações taxonômicas das espécies do país, vale destacar que dentre este total existem registros considerados duvidosos (*Artibeus glaucus* e *Platyrrhinus helleri*) e errôneos (*Pteronotus davyi* e *Eptesicus fuscus*) (GARBINO et al., 2020). Considerando ainda a escala temporal outra ressalva deve ser feita, algumas espécies foram contabilizadas apenas a partir de registros fósseis, incluindo uma espécie extinta (*Desmodus draculae*), e outra que não ocorre mais no Brasil atualmente (*Mormoops megalophylla*) (GARBINO et al., 2020). Assim, em uma avaliação mais precisa, são 82 espécies atualmente válidas registradas para o país ocorrendo em cavernas. Além de adicionar espécies à lista, o registro de *Eptesicus furinalis* (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018) foi retirado, uma vez que a partir de novas referências foi possível verificar que essa espécie havia sido registrada em trilha no caminho para uma caverna e não na caverna propriamente (PATRÍCIO-COSTA, 2008).

O número de cavernas consideradas na presente revisão dobrou em relação à última realizada (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018). Entretanto, ainda é um valor pequeno, cerca de 2.5%, em relação ao número de cavernas registradas para o país (CECAV, 2020), e um valor ínfimo (0.17%) quando considerado a estimativa de cavernas ainda não conhecidas no país, que está em torno de 310.000 cavernas (AULER; PILÓ, 2011). As áreas atualmente amostradas concentram-se em poucas áreas protegidas e perto de grandes centros de estudo (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018). Ampliar as áreas de amostragem e realizar monitoramentos de longo prazo são ações que podem contribuir para o melhor entendimento do uso e ecologia de morcegos em cavernas no Brasil, bem como para sua conservação. Além da ampliação das áreas, uma abrangência maior de estudos focando em estimativas de abundância de forma padronizada e considerando também colônias maternidades se fazem necessárias, uma vez que

foi possível verificar que poucas informações estão disponíveis atualmente, apresentando-se de forma pontual. E este é um fator importante na biologia e ecologia de seleção de cavernas por morcegos (HERNANDEZ-AGUILAR; SANTOS-MORENO, 2020). Tais ações são especialmente necessárias quando consideramos a importância de cavernas como abrigos para espécies ameaçadas, já que em quase 25% das cavernas há o registro de espécies ameaçadas. No Brasil, três das quatro espécies ameaçadas é essencialmente cavernícola, tendo dentre suas principais ameaças a destruição das cavernas (MMA, 2022), e a complementação do conhecimento atual poderia subsidiar melhores estratégias de conservação.

Como a riqueza de morcegos é influenciada pela litologia das cavernas?

Foi possível constatar uma evidente relação entre a riqueza das espécies de morcegos com o tamanho das cavernas, refletida também em sua relação com as litologias, ou seja, por serem menores no geral, cavernas ferríferas provavelmente não irão apresentar elevadas riquezas. A relação da riqueza com o tamanho das cavernas já era esperada, uma vez que cavernas maiores tendem a apresentar um maior número de espécies (BRUNET; MEDELLÍN, 2001; VARGAS-MENA et al. 2020). Em relação à litologia, já foi observado para invertebrados uma diferença na riqueza entre cavernas ferríferas e carbonáticas, neste caso com as ferríferas sendo as mais ricas (SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011). No entanto, para morcegos, o único estudo a respeito não havia encontrado uma relação significativa (SILVA, 2013), de forma que o tamanho diferenciado dos tipos de cavernas pode estar sendo determinante. Assim, considerando que a gênese de cavernas ferríferas resulta geralmente em espaços menores (AULER et al., 2002), avaliar a riqueza de forma diferencial entre litologias e desenvolver estratégias litologia-específicas serão ações mais efetivas para a proteção dos morcegos nestes ecossistemas.

Outros fatores podem ainda estar influenciando a riqueza nas cavernas. A gênese dos diferentes tipos de cavernas resulta em complexidades e estruturação diferencial (CULVER; PIPAN 2009; FORD; WILLIAMS 2007), estudos indicam que espécies de morcegos podem selecionar cavernas por sua complexidade e por características do teto (BRUNET; MEDELLÍN, 2001; BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2020). Além disso, a densidade de cavernas em uma mesma região pode ser outro fator atuando sobre a distribuição das espécies de morcegos em cavernas. De forma que estudos futuros avaliando o efeito das diferentes características estruturais de cavernas carbonáticas e ferríferas, e da densidade de abrigos disponíveis sobre a riqueza podem contribuir de maneira significativa para o entendimento da ecologia de abrigos de morcegos em cavernas.

Como avaliar raridade de morcegos em cavernas e quais espécies podem ser consideradas raras nas cavernas brasileiras?

O índice de raridade proposto por Tanalgo et al., (2018) se mostrou válido para demonstrar diferenças na ocorrência tanto entre espécies quanto entre regiões. Entretanto, sua aplicação é aprimorada quando realizada em conjunto com as categorias de uso de cavernas proposta por Arita (1993). Embora muitas espécies sejam raras em cavernas, essa raridade necessariamente não reflete um status de ameaça ou risco, uma vez que a espécie pode apenas preferir outros tipos de abrigos.

No presente estudo, a grande maioria das espécies foi considerada como rara, quando avaliado apenas o índice de raridade, o que já era esperado. Considerando que a informação obtida através dos estudos utilizados é concentrada em relativamente poucas regiões do Brasil, e que a utilização de biomas abrange uma escala macro, o resultado desta análise infla o número de espécies raras encontrado no país e em cada bioma. Entretanto, quando se analisa a raridade juntamente com o nível de associação da espécie com cavernas, é possível verificar casos de espécies que podem ser consideradas realmente raras, uma vez que consideramos sua distribuição geográfica e a especificidade apresentada com o tipo de abrigo (RABINOWITZ, 1981). Como é caso de *L. spurelli* dentro das usualmente cavernícolas, que apresentou ocorrência reduzida em cavernas para sua distribuição; das as espécies *Anoura geoffroy*, *Pteronotus personatus*, *Pteronotus gymnotus*, *Pteronotus rubiginosus* e *Natalus macrourus* dentro das essencialmente cavernícolas, com sua bem estabelecida especificidade por esse tipo de abrigo; e ainda de *L. dekeyserii*, espécie com distribuição reduzida (endêmica) e alta associação às cavernas. É interessante destacar que espécies como *A. geoffroyi* e as pertencentes ao gênero *Pteronotus* podem formar colônias com elevadas abundâncias, porém são registros pontuais no Brasil e em cavernas específicas (LEAL; BERNARD 2021; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019; REIS; ZAMPAULO; TALAMONI, 2019; ver tópico 3.1 desta tese), exemplificando que a discussão sobre espécies raras é complexa, uma vez que a raridade de uma espécie pode não estar associada a baixas abundâncias.

Apresentamos aqui uma lista que pode servir de referência inicial para avaliação de espécies raras de morcegos em cavernas, bem como uma base de dados com informações referentes a diferentes espécies em variadas regiões do país, possibilitando assim também a realização de análises futuras em escalas regionais ou locais. Apesar disso, é importante ressaltar que existem lacunas no conhecimento sobre o uso de cavernas para muitas espécies, bem como o viés amostral inerente aos estudos de revisão e à escala macro utilizada no presente estudo (OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018). Assim, é altamente recomendado que a base de

dados seja atualizada regularmente e idealmente com dados também decorrentes de estudos de licenciamento ambiental, para atualização contínua da lista de espécies raras.

Como avaliar elevadas abundâncias em diferentes espécies de morcegos em cavernas?

Dentre os métodos testados, utilizar cinco vezes a média regional para avaliar colônias excepcionais pode ser um ponto de equilíbrio entre não superestimar populações de espécies comuns e abundantes, como *D. rotundus*, e ao mesmo tempo valorizar populações de espécies mais associadas às cavernas, como *A. geoffroyi* e *Lonchorhina aurita*.

Assim como para a raridade, a delimitação de abundâncias elevadas em cavernas deve considerar a biologia e ecologia em morcegos em abrigos. Espécies de morcegos possuem requerimentos fisiológicos e comportamentais diferentes (AVILA-FLORES; MEDELLÍN, 2004; TORRES-FLORES; LÓPEZ-WILCHIS, 2010), bem como apresentam diferentes níveis de associação com as cavernas (ARITA, 1993). Assim, para algumas espécies, a formação de colônias com milhares de indivíduos é essencial (ROCHA, 2013). Para outras, espécies ameaçadas por exemplo, colônias com 50 ou 300 indivíduos já são consideradas abundâncias significativas (BARROS et al., 2020). O ideal seria ter a abundância de cada espécie avaliada especificamente. Porém, a quantidade de informações disponíveis sobre as espécies é escassa, impossibilitando essa avaliação mais acurada. Mesmo no presente estudo, apenas poucas espécies puderam ser avaliadas, e considerando que os dados obtidos foram decorrentes de diferentes estudos e métodos de amostragem, os resultados apresentados servem ao propósito de teste inicial e teórico de métodos. Porém, é indicado que essa medida (5x média) seja aplicada em futuros estudos e adequada, se necessário, e que estudos sistematizados de estimativa de abundância tornem-se uma prática, bem como também a criação de uma lista e base de dados com informações de abundância das espécies em cavernas.

CONCLUSÕES

O presente trabalho fornece um panorama geral a respeito dos morcegos cavernícolas brasileiros, e preenche lacunas em relação à ecologia de abrigo dos morcegos. Evidencia uma relação entre a riqueza de morcegos e diferentes litologias, demonstra a importância de avaliar espécies raras considerando o tipo de uso que fazem do abrigo, e ainda propõe uma metodologia para delimitação de altas abundâncias em colônias de morcegos em cavernas.

Além disso, destaca a importância da criação de uma base de dados com informações sobre morcegos cavernícolas brasileiros, para futuras atualizações da lista de espécies ocorrendo em cavernas, espécies raras, colônias de elevada abundância, e para obtenção de dados de colônias maternidade. Sugere-se que esta base de dados e manutenção das listas seja

realizada pela Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ), nos mesmos moldes da lista de espécies de morcegos do Brasil. Sugere-se ainda que esta base de dados seja alimentada com informações acuradas advindas de estudos de licenciamento ambiental e que tais dados fiquem disponíveis para pesquisadores e consultores ambientais.

As cavernas avaliadas no presente estudo atualmente não se encontram em área direta de influência de mineração, sendo decorrentes em sua maioria de estudos técnicos-científicos já publicados. Apesar disso, diversas outras alterações antrópicas podem afetar as cavernas e sua fauna associada, uma vez que sua fiscalização nem sempre é garantida. Assim, identificar e monitorar cavernas que necessitem de estratégias de conservação deve ser um exercício constante da comunidade científica e órgãos ambientais e tal base de dados pode servir para estes propósitos também.

REFERÊNCIAS

- ARITA, H. T. Conservation biology of the cave bats of Mexico. **Journal of Mammalogy**, v. 74, p. 693–702, 1993.
- ARITA, H. T. The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. **Biological Conservation** v. 76, p. 177–185. 1996.
- AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte, p. 228, 2002.
- AULER A. S.; PILÓ, L. B. Introdução à espeleologia. *In: I Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2011.
- ÁVILA-FLORES, R.; MEDELLÍN, R. A. Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. **Journal of Mammalogy**, v. 85, p. 675–687, 2004. <https://doi.org/10.1644/BOS-127>
- 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, p. 31–41, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.007>
- BARROS, J. S.; GOMES, A. G.; GUIMARÃES, M. M.; DIAS-SILVA, L.; ROCHA, P. A.; TAVARES, V. C.; BERNARD, E. 2020. Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**.
- BARROS, J. S.; BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. An exceptionally high bat species richness in a cave conservation hotspot in Central Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 23, n. 1, p. 233-245, 2021.
- BRUNET, A. K.; MEDELLIN, R. A. The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves. **Journal of Mammalogy**, v. 82, n. 4, p. 1114–1122, 2001.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Anuário Estatístico do patrimônio Espeleológico Brasileiro**. Brasília, DF: MMA. 2021. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Anuario/CECAV_-_Anuario_estatistico_espeleol%C3%B3gico_2021.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. New York, Oxford University Press, 2009.

FENTON, M. B.; RAUTENBACH, I. L.; SMITH, S. E.; SWANEPOEL, C. M.; GROSELL, J.; VAN JAARVELD, J. Raptors, and bats: threats and opportunities. **Animal Behavior**, v. 48, n. 1, p. 9–18. 1994. doi: 10.1006/anbe.1994.1207.

FERREIRA, R. L.; BERNARD, E.; DA CRUZ JÚNIOR, F. W.; PILÓ, L. B.; CALUX, A.; SOUZA-SILVA, M.; ...; FRICK, W. F. Brazilian cave heritage under siege. **Science**, v. 375, n. 6586, p. 1238-1239, 2022.

FLEISHMAN, E.; NOSS, R. F.; NOON, B. R. Utility, and limitations of species richness metrics for conservation planning. **Ecological indicators**, v. 6, n. 3, p. 543-553, 2006.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**, British Library Cataloguing in Publication Data. Blackwell Publishers, Oxford. 2007

FRICK, W. F.; KINGSTON, T.; FLANDERS, J. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. **Annals of the New York Academy of Sciences** v. 1469, p. 5–25, 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.

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: 20 jan 2022.

GARBINO, G. S., BRANDÃO, M. V.; TAVARES, V. C. First confirmed records of Godman's Long-tailed Bat, *Choeroniscus godmani* (Thomas, 1903) (Chiroptera, Phyllostomidae), from Brazil and Panama. **Check List**, V. 18, n. 3, p. 493-499, 2022.

GARDNER, A. L. Feeding habits. *In*: BAKER, R. J.; JONES JR., J. K.; CARTER, D. C. (Eds.). **Biology of Bats of the New World Family Phyllostomidae, Part II**. Special Publications the Museum Texas Tech University. Lubbock: Texas Tech Press, 1977. p. 293 350.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **A Primer of Ecological Statistics**. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. 2013.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2 n. 4, p. 1-33, 2015.

HERNÁNDEZ-AGUILAR, I.; SANTOS-MORENO, A. Reproduction, and population dynamics of cave-dwelling bats in Costa of Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 68, n. 3, p. 785-802, 2020.

HRISTOV, N. I.; BETKE, M.; THERIAULT, D. E.; BAGCHI, A.; KUNZ, T. H. 2010. Seasonal variation in colony size of Brazilian free-tailed bats at Carlsbad Cavern based on thermal imaging. **Journal of Mammalogy**, v. 91, n. 1, p. 183-192. 2010.

HUTCHINSON, G. E. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? **The American Naturalist**, v 93, p. 145–159, 1959.

JACKSON, D. A.; CHEN, Y. Robust principal component analysis and outlier detection with ecological data. **Environmetrics**, v.15, n. 2, p. 129–139, 2004. doi:10.1002/env.628

LADLE, R. J.; FIRMINO, J. V. L.; MALHADO, A. C. M.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Unexplored diversity and conservation potential of Neotropical hot caves. **Conservation Biology**, v. 26, p. 978–982, 2012.

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2021.

LEWIS, S.E. Roost Fidelity of Bats: A Review. **Journal of Mammalogy**. v. 76, n. 2. 1995.

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Publishing company, Victoria, 2004.

MAMMOLA, S.; CARDOSO, P.; CULVER, D. C.; DEHARVENG, L.; FERREIRA, R. L.; FIŠER, C.; ... & ZAGMAJSTER, M. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. **BioScience**, v. 69 n. 8 p. 641-650, 2019.

MAMMOLA, S., MEIERHOFER, M. B., BORGES, P. A., COLADO, R., CULVER, D. C., DEHARVENG, L., ...; CARDOSO, P. Towards evidence-based conservation of subterranean ecosystems. **Biological Reviews**. 2022.

MEIR, E.; ANDELMAN, S.; POSSINGHAM, H. P. Does conservation planning matter in a dynamic and uncertain world? **Ecological Letters**, v. 7, p. 615–622, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2022. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria MMA nº 148 de 7 de junho de 2022. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Publicado no DOU de 07.06.2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 20/07/2022.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NEWBOLD, T.; HUDSON, L. N.; HILL, S. L.; CONTU, S.; LYSENKO, I.; SENIOR, R. A.; ...; PURVIS, A. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, v. 520, n. 7545, p. 45–50, 2015.

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.

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, 2018.

PATRÍCIO-COSTA, P. **Levantamento da fauna de morcegos (Chiroptera, Mammalia) do Parque Estadual de Campinhos, Paraná, Brasil**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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, p. 201–209, 2016.

RABINOWITZ, D. Seven forms of rarity. *In*: Synge, H. (Ed.) **The Biological Aspects of Rare Plant Conservation**, Wiley, Chichester pp. 205–217, 1981.

REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; BATISTA, C. B.; LIMA, I. P.; PEREIRA, A. D. **História natural dos morcegos brasileiros** - chave de identificação de espécies. Rio de Janeiro: Technical Books, 2017.

REIS, A. DA S.; ZAMPAULO, R. A.; TALAMONI, S. A. Frequency of leucism in a colony of *Anoura geoffroyi* (Chiroptera: Phyllostomidae) roosting in a ferruginous cave in Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 3, 2019.

ROCHA, P. A. **Quiropterofauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica**. Tese. (Doutorado em Ciências Biológicas – Zoologia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Roosting Ecology: The Importance of detailed description. *In* FLEMING, T. H.; DÁVALOS, L.; MELLO, M. A. R. (Eds.). **Phyllostomid Bats: A Unique Mammalian Radiation**, University of Chicago, 2020. Pp. 311-324.

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

SILVA, M. S.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, n. 8, p. 1713-1729, 2011.

SILVA, L. H. D. D. **Caracterização da fauna de quirópteros (Chiroptera, Mammalia) em diferentes áreas na região cárstica de Minas Gerais-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2013.

SOULÉ, M. E. (Ed.). **Conservation biology**. The science of scarcity and diversity. Sinauer Associates, Inc., Sunderland (Mass.). 584 pages. ISBN 0-87893-795-1. 1986

TANALGO K. C.; TABORA J. A. C.; HUGHES A. C. Bat cave vulnerability index (BCVI): A holistic rapid assessment tool to identify priorities for effective cave conservation in the tropics. **Ecological Indicators**, v. 89, p. 852-860, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.064>

TORRES-FLORES, J. W.; LÓPEZ-WILCHIS, R. Condiciones microclimáticas, hábitos de percha y especies asociadas a los refugios de *Natalus stramineus* en México. **Acta Zoológica Mexicana** (N.S.) v. 26, n. 1, p. 191–213, 2010. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.261687>

TORRES-FLORES, J. W.; SANTOS-MORENO, A. Inventory, features, and protection of underground roosts used by bats in Mexico. **Acta Chiropterologica**, v. 19, p. 439–454, 2017.

TORRES, D. F.; BICHUETTE, M. E. Morcegos cavernícolas depositados na Coleção Científica do Laboratório de Estudos Subterrâneos, UFSCar. **Espeleo -Tema**, v.29, n.1, p. 105-119, 2019.

VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R.A.; BENTO, D. D. M.; VENTICINQUE, E. M. Inside or out? Cave size and landscape effects on cave-roosting bat assemblages in Brazilian Caatinga caves. **Journal of Mammalogy**, v. 101, n. 2, p. 464–475, 2020. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz206>

VERBERK, W. Explaining General Patterns in Species Abundance and Distributions. **Nature Education Knowledge** v. 3, n. 10, p 38, 2011.

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

WILLIAMS, D. R., BALMFORD, A.; WILCOVE, D. S. The past and future role of conservation science in saving biodiversity. **Conservation Letters**, v. 13, e12720, 2020.

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

WILLIAMS, D. R., BALMFORD, A.; WILCOVE, D. S. 2020. The past and future role of conservation science in saving biodiversity. **Conservation Letters** 13, e12720.

MATERIAL SUPLEMENTAR 1 – REVISÃO DE LITERATURA

AGUIAR, L. M. D. S.; DE CAMARGO, W. R.; PORTELLA, A. D. S. Occurrence of white-winged vampire bat, *Diaemus youngi* (Mammalia, Chiroptera), in the Cerrado of Distrito Federal, Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 893–896, 2006.

ARNONE, I. S.; PASSOS, F. C. Levantamento da fauna de morcegos (Chiroptera, Mammalia) do Parque Natural Municipal das Grutas de Botuverá, Botuverá / Sc. **XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia**, p. 108–114, 2003.

ARNONE, I. S.; PASSOS, F. C. Estrutura de comunidade da quiropterofauna (Mammalia, Chiroptera) do Parque Estadual de Campinhos, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 3, p. 573–581, 2007.

ARNONE, I. S. **Estudo da comunidade de morcegos na área cárstica do Alto Ribeira-São Paulo. Uma comparação com 1980**. Tese (Doutorado em Ciências, área de Zoologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BAHIA, G. R.; FERREIRA, R. L. Influência das características físico-químicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária. **Revista Brasileira de Zoociência**, v. 7, n. 1, p. 165–180, 2005.

BARROS, M. F. M. A. **Morcegos (Mammalia: Chiroptera) da caverna Toca da Onça, em São Luis do Purunã, município de Balsa Nova, Paraná, Brasil**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, 2007.

BARROS, J. S.; BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. An exceptionally high bat species richness in a cave conservation hotspot in Central Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 23 n. 1, P. 233-245, 2021.

BARROS, J. S. Família grande, casa aquecida e muitos amigos: Correlações entre fatores físicos e ambientais, elevada abundância e riqueza de morcegos em cavernas Brasileiras (*dados não publicados*). In: **Seleção e uso de cavernas por morcegos e suas implicações para a classificação de relevância destes ambientes**. 2022. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

BASÍLIO, G. H. N.; ARAUJO, J. P. M.; VARGAS-MENA, J. C.; ROCHA, P. A.; KRAMER, M. A. F *Chrotopterus auritus* (Peters, 1856) (Chiroptera, Phyllostomidae): First record for the state of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. **Check List**, v. 13, n. 3, 2017.

BAUMGARTEN, J. E.; VIEIRA, E. M. Reproductive seasonality, and development of *Anoura geoffroyi* (Chiroptera: Phyllostomidae) in central Brazil. **Mammalia**, v. 58, n. 3, p. 415–422, 1994.

BERNARDI, L. F. O.; PROUS, X.; RIBEIRO, M. S.; MASCARENHAS, J.; GENELHÚ, S. M. C.; SIMÕES, M. H.; BEZERRA, T. First record of albinism for the doglike bat, *Peropteryx kappleri* Peters, 1867 (Chiroptera, Emballonuridae). **Subterranean Biology**, v. 30, p. 33–40, 2019.

- BICHUETTE, M. E.; GIMENEZ, E. A.; ARNONE, I. S.; TRAJANO, E. An important site for conservation of bats in Brazil: Passa Três cave, São Domingos karst area, with an updated checklist for Distrito Federal (DF) and Goiás state. **Subterranean Biology**, v. 28, p. 39–51, 2018.
- BLOMSTRÖM, A. L.; LUZ, H. R.; ÖHLUND, P.; LUKENGE, M.; BRANDÃO, P. E.; LABRUNA, M. B.; BERG, M. Novel viruses found in *Antricola* ticks collected in bat caves in the western Amazonia of Brazil. **Viruses**, v. 12, n. 1, p. 1–14, 2019.
- BORDIGNON, M. O. Diversidade de morcegos (Mammalia, Chiroptera do Complexo Aporé-Sucuriú, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 4, p. 1002–1009, 2006.
- BORLOTI, I. S.; PIMENTA, V. T.; DITCHFIELD, A. D. First record of pigmentation disorder in the Fringe-lipped bat *Trachops cirrhosus* (Spix, 1823) (Chiroptera: Phyllostomidae) from southeast Brazil. **Biodiversity Data Journal**, v. 7, 2019.
- BRANDI, I. V.; BARBOSA, M. R.; PAULA, R. G.; ARAÚJO, R. N.; MOURA, R. S. V.; LIMA, H. M. Instrumented geotechnical monitoring of a natural cave in a near mine operation – Towards a sustainable approach to mining and preservation of speleological heritage. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, 2019.
- 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. 3, p. 731–770, 1999.
- CAJAIBA, R. L. Morcegos (Mammalia, Chiroptera) em cavernas no município de Uruará, Pará, Norte do Brasil. **Biota Amazônia**, v. 4, n. 1, p. 81–86, 2014.
- CAMPANHA, R. A. D. C.; FOWLER, H. G. Roosting assemblages of bats in arenitic caves in remnant fragments of Atlantic Forest in southeastern Brazil. **Biotropica**, v. 25, n. 3, p. 362, 1993.
- CARVALHO, F.; CRUZ-NETO, A.; ZOCHE, J. Ampliação da distribuição e descrição da dieta de *Mimon bennettii* no sul do Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 14, n. 2, p. 403–408, 2008.
- CHAVES, P. M. R.; FRANCO, P. A. D.; PEREIRA, V. R. C. Diversidade de morcegos (Mammalia, Chiroptera) em gruta de formação calcária na Fazenda Cantinho, município de Formosa, Goiás (GO). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, p. 8–28, 2009.
- COELHO, D. C.; MARINHO-FILHO, J. Diet and activity of *Lonchophylla dekeyseri* (Chiroptera, Phyllostomidae) in the Federal District, Brazil. **Mammalia**, v. 66, n. 3, p. 319–330, 2002.

COELHO, D. **Relatório do levantamento das espécies de morcegos encontradas nas cavernas da região do Paranoá e Sobradinho: Gruta Volks Clube e Gruta dos morcegos.** 2004a.

COELHO, D. **Relatório do levantamento das espécies de morcegos encontradas nas cavernas da região Planaltina/DF: Dança dos Vampiros e Gruta Água Rasa.** 2004b.

COELHO, D. C. **Levantamento da fauna de morcegos da caverna Casa de Pedra, no município Lagoa da Confusão, TO.** 2006a.

COELHO, D. C. **Levantamento da fauna de morcegos no carste de Felipe Guerra, RN.** 2006b.

CORDERO-SCHMIDT, E.; MEDEIROS-GUIMARÃES, M.; VARGAS-MENA, J. C.; CARVALHO, B., FERREIRA, R. L.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; VENTICINQUE, E. M. Are leaves a good option in Caatinga's menu? First record of folivory in *Artibeus planirostris* (Phyllostomidae) in the Semiarid Forest, Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 18, n. 2, p. 489–497, 2016.

CORDERO-SCHMIDT, E.; BARBIER, E.; VARGAS-MENA, J. C.; OLIVEIRA, P. P.; SANTOS, F. D. A. R.; MEDELLÍN, R. A.; HERREIRA, B. R.; VENTICINQUE, E. M. Natural History of the Caatinga endemic Vieira's flower bat, *Xeronycteris vieirai*. **Acta Chiropterologica**, v. 19, n. 2, p. 399–408, 2017.

COSTA, B. G.; JUNIOR, R. F.; BARROS, J. S.; SILVA, M. S.; FERREIRA, R. L. Estrutura e composição das assembleias de morcegos na serra de São José, Minas Gerais, Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 29, n.1, p. 77-90, 2019.

CUNHA, A. O.; BEZERRA, J. D.; OLIVEIRA, T. G.; BARBIER, E.; BERNARD, E.; MACHADO, A. R.; SOUZA-MOTTA, C. M. Living in the dark: Bat caves as hotspots of fungal diversity. **PLoS ONE**, v. 15, n. 12, e0243494. 2020.

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

DELGADO-JARAMILLO, M.; BARBIER, E.; BERNARD, E. New records, potential distribution, and conservation of the Near Threatened cave bat *Natalus macrourus* in Brazil. **Oryx**, v. 52, n. 3, p. 579–586, 2018.

ESBÉRARD, C. E. L.; MARTINS, L. F. S.; CRUZ, R. C.; COSTA, R. C.; NUNES, M. S.; LUZ, E. M.; CHAGAS, A. S. Aspectos da biologia de *Lonchorhina aurita* no Estado do Rio de Janeiro (Mammalia: Chiroptera: Phyllostomidae). **Bioikos**, v. 10 n. 1-2, p. 46-49, 1998.

ESBÉRARD, C.; MOTTA, J. A.; CALVO, E. M.; FERREIRA, V. M.; CARVALHO, J. C.; CARVALHO, C.; SOUZA, C. R. P.; PIRES, E. A.; ROSA, G. M. V.; REIS, J. S.; ARAÚJO, J. N.; QUEGE, K. E. Morcegos cavernícolas de Mambá e arredores, Goiás, Brasil. *In: 13th International Congress of Speleology*. Brasília: Speleo Brazil. p. 361–364, 2001.

ESBÉRARD, C. E. L.; BERGALLO, H. G. Aspectos sobre a biologia de *Tonatia bidens* (Spix) no estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 2, p. 253–259, 2004.

ESBÉRARD, C. E.; MOTTA, J. A.; PERIGO, C. Morcegos cavernícolas da Área de Proteção Ambiental (APA) Nascentes do Rio Vermelho, Goiás. **Revista Brasileira de Zociências**, v. 7, n. 2, p. 311–325, 2005.

ESBÉRARD, C. E. L.; SANTOS, B. S.; FARIA, D. New *Thyroptera tricolor* Spix records in the Atlantic Forest, Brazil (Chiroptera; Thyropteridae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 2, p. 379–380, 2007.

FADINI, R. F.; CASTRO, A. B. Subterranean watercourses may “rescue” seeds dispersed by fruit-eating bats in caves. **Acta Chiropterologica**, v. 15, n. 1, p. 105–112, 2013.

FARIA, D.; SOARES-SANTOS, B.; SAMPAIO, E. Bats from the Atlantic rainforest of southern Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, 2006.

FELIX, S.; NOVAES, R. L. M.; SOUZA, R. F.; AVILLA, L. S. Bat assemblage in a karstic area from northern Brazil: Seven new occurrences for Tocantins state, including the first record of *Glyphoncycteris sylvestris* Thomas, 1896 for the Cerrado. **Check List**, v. 12, n. 6, 2016.

GENELHÚ, S. M. C.; SIMÕES, M. H.; ASSIS, M. A. C.; RIBEIRO, M. S.; PROUS, X. First report of albinism in a lactating female of the chestnut long-tongued bat *Lionycteris spurrelli* Thomas, 1913 (Chiroptera, Phyllostomidae). **Mammalia**, v. 86 n. 3, p. 257–260, 2022.

GOMES, M. N.; UIEDA, W. Abrigos diurnos, composição de colônias, dimorfismo sexual e reprodução do morcego hematófago *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy) (Chiroptera, Phyllostomidae) no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 3, p. 629–638, 2004.

GOMES, A. M. **Uso de hábitat por morcegos em ecossistemas ferruginosos: um subsídio para conservação.** Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

GOMES, A. M. **Uma luz na escuridão:** desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GONÇALVES, E.; GREGORIN, R. Quirópteros da Estação Ecológica da Serra das Araras, Mato Grosso, Brasil, com o primeiro registro de *Artibeus gnomus* e *A. anderseni* para o Cerrado. **Lundiana**, v. 5, n. 2, p. 143–149, 2004.

GRACIOLLI, G.; RUI, A. M. Streblidae (Diptera, Hippoboscoidea) on bats (Chiroptera, Phyllostomidae) in the northeast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia - Serie Zoologia**, v. s/v, n. 90, p. 85–92, 2001.

GREGORIN, R.; MENDES, L. D. F. Sobre quirópteros (Emballonuridae, Phyllostomidae, Natalidae) de duas cavernas da Chapada Diamantina, Bahia. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 2, n. 86, p. 121–124, 1999.

GREGORIN, R.; CARMIGNOTTO, A. P.; PERCEQUILLO, A. R. Quirópteros do Parque Nacional da Serra das Confusões, Piauí, nordeste do Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 14, n. 1, p. 366–383, 2008.

GUERRA, D.Q. **Chiroptera de Pernambuco**: distribuição e aspectos biológicos. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2 n. 4, p. 1-33, 2015.

JAFFE, R.; PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I.V.; SIQUEIRA, J. O. Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: A quantitative baseline to help establish conservation priorities. **PLoS ONE**, v. 11, n. 12, p. 1–16, 2016.

LEAL, E. S. B.; GOMES-SILVA, F. F.; LIRA, T. D. C.; PRADO NETO, J. G. D.; PASSOS FILHO, P. D. B. Occurrence of *Furipterus horrens* in the state of Paraíba and an update of the distribution of the species in Brazil. **Chiroptera Neotropical**, v. 20, n. 2, p. 1280–1287, 2014.

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2021.

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Morcegos cavernícolas do carste arenítico do Parque Nacional do Catimbau, nordeste do Brasil. **Mastozoología Neotropical**, v. 28, n. 2, p. 001–053, 2021.

LEAL, E. S. B.; RAMALHO, D. F. First record of albinism in a mustached bat (Chiroptera, Mormoopidae) from South America. **Notas sobre Mamíferos Sudamericanos**, v. 03, n. 1, p. 001–008, 2021.

MARTINS, M. A. **Morcegos cavernícolas em uma área de Cerrado no sudeste do Brasil: composição de espécies e uso de abrigo**. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

MARTUSCELLI, P. Avian Predation by the Round-eared bat (*Tonatia bidens*, Phyllostomidae) in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, n. 3, p. 461–464, 1995.

MCNAB, B. K.; MORRISON, P. Observations on bats from Bahia, Brazil. **Journal of Mammalogy**, v. 44 n. 1, p. 21-23, 1963.

- MIKALOUSKAS, J. S. 2007. **Diversidade, dieta e reprodução de morcegos (Mammalia, Chiroptera) da Serra de Itabaiana, Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- MIRANDA, J. M. D.; BERNARDI, I. P. Aspectos da história natural de *Mimon bennettii* (Gray) na Escarpa Devoniana, Estado do Paraná, Brasil (Chiroptera, Phyllostomidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 4, p. 1258–1260, 2006.
- MIRETZKI, M. Morcegos do Estado do Paraná, Brasil (Mammalia, Chiroptera): riqueza de espécies, distribuição e síntese do conhecimento atual. **Papeis Avulsos de Zoologia**, v. 43, n. 6, p. 101–138, 2003.
- MOK, W. Y.; WILSON, D. E.; LACEY, L. A.; LUIZÃO, R. C. Lista atualizada de quirópteros da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 4, p. 817–823, 1982.
- MORAES, L. M.; GOMES, A. M. E.; DA CUNHA TAVARES, V. Distribution, and taxonomy of the common big-eared bat *Micronycteris microtis* (Chiroptera: Phyllostomidae) in South America. **Mammalia**, v. 79, n. 4, p. 439–447, 2015.
- MUÑOZ-LEAL, S.; BARBIER, E.; SOARES, F. A. M.; BERNARD, E.; LABRUNA, M. B.; DANTAS-TORRES, F. New records of ticks infesting bats in Brazil, with observations on the first nymphal stage of *Ornithodoros hasei*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 76 n. 4, p. 537-549, 2018.
- NOVAES, R. L. M.; SOUZA, R. F.; FELIX, S.; JACOB, G.; SAUWEN, C.; AVILLA, L. S. New record of *Furipterus horrens* (Cuvier, 1828) (Mammalia, Chiroptera) from the Cerrado of Tocantins state with a compilation of the known distribution within Brazil. **Check List**, v. 8, n. 6, p. 1359–1361, 2012.
- NOVAES, R. L. M.; SOUZA, R. F.; FELIX, S.; JACOB, G.; SAUWEN, C.; AVILLA, L. S. Occurrence of *Phyllostomus elongatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1810) (Chiroptera, Phyllostomidae) in the Cerrado of Tocantins and a compilation of its Brazilian distribution. **Check List**, v. 10, n. 1, p. 213–216, 2014.
- 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, 2018.
- OTÁLORA-ARDILA, A.; TORRES, J. M.; BARBIER, E.; PIMENTEL, N. T.; BARBOSA LEAL, E. S.; 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.
- PATRÍCIO-COSTA, P. **Levantamento da fauna de morcegos (Chiroptera, Mammalia) do Parque Estadual de Campinhos, Paraná, Brasil**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

PEREIRA, A. S.; ROCHA, P. A.; SANTANA, J. P.; BELTRÃO, R.; RUIZ-ESPARZA, J.; FERRARI, S. F. Consumption of leaves by *Carollia perspicillata* (Chiroptera, Phyllostomidae): A new dimension of the species' feeding ecology. **Mammalia**, v. 82, n. 3, p. 303–307, 2018.

PIMENTEL, N. T.; ROCHA, P. A.; PEDROSO, M. A.; BERNARD, E. Estimates of insect consumption and guano input in bat caves in Brazil. **Mammal Research**, n. 0123456789, 2022.

PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W.; HENRIQUES, A. L.; SILVEIRA, L. T.; MOREIRA, J. R. A.; LOPES, P. R. C.; SILVEIRA, O. T.; PAIVA, R. S.; LINS, A. L. F. A.; VERÍSSIMO, C. U. V.; ARCANJO, S. H. S.; KERN, D. C.; KRAUSE, E. A.; FILHO, M. F. L.; ROCHA, J. B.; SANTOS, W. D. As Grutas Bauxíticas da Serra do Piriá-PA. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Ciências da Terra**, v. 13, p. 65-97, 2001.

PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)**, v. 39, n. 6, p. 61-173, 1995.

PINTO-DA-ROCHA, R.; SESSEGOLO, G. C. Estudo da fauna de Gruta de São Miguel I, Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo. In: ROCHA, L. F. S.; OLIVEIRA, SESS, G. C. (Org.). **Conservando Cavernas**. Quinze anos de espeleologia GEEP-Açungi, Curitiba, 2001. cap. 8, p. 125-135.

PINTO DA ROCHA, R.; SESSEGOLO, G.C.; SIPINSKI, E. A. B. A fauna das grutas de Botuverá, Santa Catarina, Brasil. In: ROCHA, L. F. S.; OLIVEIRA, SESS, G. C. (Org.). **Conservando Cavernas**. Quinze anos de espeleologia GEEP-Açungi, Curitiba, 2001. cap. 9, p. 135-154.

POL, A.; NOGUEIRA, M. R.; PERACCHI, A. L. Primeiro registro da família Furipteridae (Mammalia, Chiroptera) para o Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 3, p. 561–563, 2003.

PORTELLA, A. D. S. **Morcegos cavernícolas e relações parasita-hospedeiro com moscas estreblídeas em cinco cavernas do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2010.

PORTELLA, T. P.; KAKU-OLIVEIRA, N. Y.; BARROS, J. S.; SESSEGOLO, G. C. First record of the vulnerable bat *Furipterus horrens* (Cuvier, 1828) (Chiroptera: Furipteridae) in the state of Paraná, southern Brazil. **Check List**, v. 13, n. 4, p. 127–134, 2017.

PROUS, X.; PIETROBON, T.; RIBEIRO, M. S.; ZAMPAULO, R. D. A. Necrofagia de morcego por um amblipígio (Arachnida, Amblypygi, Phrynididae) em uma caverna no leste da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 47, n. 4, p. 365–368, 2017.

REIS, N. R.; SCHUBART, H. O. R. Notas preliminares sobre os morcegos do Parque Nacional da Amazônia (Médio Tapajós). **Acta Amazonica**, v. 9, n. 3, p. 507–515, 1979.

REIS, A. DA S.; ZAMPAULO, R. A.; TALAMONI, S. A. Frequency of leucism in a colony of *Anoura geoffroyi* (Chiroptera: Phyllostomidae) roosting in a ferruginous cave in Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 3, 2019a.

REIS, A. S.; ZAMPAULO, R. A.; BERNARDI, L. F. O.; TALAMONI, S. A. *Monunguis streblida* (Neothrombidiidae) in Brazil and its parasitic relationships with dipteran ectoparasites (*Anastrebla* and *Trichobius*) of bats. **Parasitology Research**, v. 118, n. 9, p. 2467–2473, 2019b.

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. 3, p. 295–299, 2011.

ROCHA, P. A.; MIKALAUSKAS, J. S.; BOCCHIGLIERI, A.; FEIJÓ, J. A.; FERRARI, S. F. An update on the distribution of the Brazilian funnel-eared bat, *Natalus macrourus* (Gervais, 1856) (Mammalia, Chiroptera), with new records from the Brazilian northeastern. **Check List**, v. 9, n. 3, p. 675–679, 2013a.

ROCHA, P. A.; FEIJÓ, J. A.; DONATO, C. R.; FERRARI, S. F. Leucism in Seba's short-tailed bat, *Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758), from a rock shelter in northeastern Brazil. **Chiroptera Neotropical**, v.19, n 1, p. 1151-1153, 2013b.

ROCHA, P. A.; PEDROSO, M. A.; FEIJÓ, A.; GURGEL FILHO, N.; CAMPOS, B. A.; FERRARI, S. F. Update on the distribution of *Diphylla ecaudata* Spix, 1823 (Mammalia, Chiroptera): New records from the Brazilian northeast. **Check List**, v. 10, n. 6, p. 1541–1545, 2014.

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. 3, 2016.

SALGADO, S. S.; MOTTA, P. C.; AGUIAR, L. M. S.; NARDOTO, G. B. Tracking dietary habits of cave arthropods associated with deposits of hematophagous bat guano: A study from a neotropical savanna. **Austral Ecology**, v. 39, n. 5, p. 560–566, 2014.

SANTANA, R. S. **História natural e padrão de atividade de uma colônia de *Phyllostomus elongatus* (Chiroptera: Phyllostomidae) em uma caverna.** Dissertação (Mestrado em Zoologia de Vertebrados) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SANTOS, C. M. D. **Estudo imuno-histoquímico das células endócrinas do tubo gastrintestinal de morcegos (Mammalia, Chiroptera).** Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

SANTOS, L. L.; MONTIANI-FERREIRA, F.; LIMA, L.; LANGE, R.; FILHO, I. R. B. Bacterial microbiota of the ocular surface of captive and free-ranging microbats: *Desmodus rotundus*, *Diameus youngi* and *Artibeus lituratus*. **Veterinary Ophthalmology**, v. 17, n. 3, p. 157–161, 2014.

SAZIMA, I. Vertebrates as food items of the woolly false vampire, *Chrotopterus auritus*. **Journal of Mammalogy**, v. 59 n. 3, p. 617-618, 1978.

SBRAGIA, I. A.; CARDOSO, A. Quiroptero fauna (Mammalia: Chiroptera) cavernícola da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 14 n. 1, p. 360-365, 2008.

SILVA, S. S. P. DA; GUEDES, P. G.; PERACCHI, A. L. Levantamento preliminar dos morcegos do Parque Nacional de Ubajara (Mammalia, Chiroptera), Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 1, p. 139-144, 2001.

SILVA, J. P. A.; CARVALHO, A. R.; MOTTA, J. A. O. Fauna de morcegos (Mammalia, Chiroptera) em cavernas do bioma Cerrado na região de Indiara (Goiás) **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 11, n. 3, p. 209-217, 2009.

SIQUEIRA, I. G. **Levantamento de Quirópteros em uma caverna no município de Niquelândia-Goiás**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO. 1995.

TADDEI, V. A.; UIEDA, W. Distribution and morphometrics of *Natalus stramineus* from South America (Chiroptera, Natalidae). **Iheringia - Serie Zoologia**, v. s/v, n. 91, p. 123-132, 2001.

TORRES, D. F.; BICHUETTE, M. E. Morcegos cavernícolas depositados na Coleção Científica do Laboratório de Estudos Subterrâneos, UFSCar. **Espeleo -Tema**. v.29, n.1, p. 105-119, 2019.

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, 1984.

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. **Revista brasileira de zoologia**, v. 3, n. 8, p. 533-561, 1987.

TRAJANO, E.; GNASPINI-NETTO, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 7, n. 3, p. 383-407, 1990.

TRAJANO, E. Movements of cave bats in southeastern Brazil, with emphasis on the population ecology of the Common vampire bat, *Desmodus rotundus* (Chiroptera). **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 121, 1996.

TRAJANO, E.; GIMENEZ, E. E. Bat community in a cave from eastern Brazil, including a new record of *Lionycteris* (Phyllostomidae, Glossophaginae). **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 33 n. 2, p. 69-75, 1998.

UIEDA, W.; SAZIMA, I.; STORTI-FILHO, A. Aspectos da biologia do morcego *Furipterus horrens* (Mammalia, Chiroptera, Furipteridae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 40, n. 1, p. 59-66, 1980.

VARGAS-MENA, J. C.; ALVES-PEREIRA, K.; BARROS, M. A. S.; BARBIER, E.; CORDERO-SCHMIDT, E.; LIMA, S. M. Q.; HERREIRA, B. R.; VENTICINQUE, E. M. The bats of Rio Grande do Norte state, northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, n. 2, 2018.

VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R. A.; BENTO, D. D. M.; VENTICINQUE, E. M. Inside or out? Cave size and landscape effects on cave-roosting bat assemblages in Brazilian Caatinga caves. **Journal of Mammalogy**, v. 101, n. 2, p. 464–475, 2020.

VIDAL, L. L. L.; BERNARDI, L. F. O.; TALAMONI, S. A. Host-parasite associations in a population of the nectarivorous bat *Anoura geoffroyi* (Phyllostomidae) in a cave in a Brazilian ferruginous geosystem. **Subterranean Biology**, v. 39, p. 63–77, 2021.

ZEPELINI FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; RIBEIRO, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A.; MARQUES, A. C. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. **Papeis Avulsos de Zoologia**, v. 43, n. 5, p. 93–99, 2003.

ZORTÉA, M.; BASTOS, N.; ACIOLI, T. The bat fauna of the Kararaô and Kararaô Novo caves in the area under the influence of the Belo Monte hydroelectric dam, in Pará, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3 suppl 1, p. 168–173, 2015.

WINGE, H. Jordfundne og nulevende flagermus (Chiroptera) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: med udsigt over flagermusenes indbyrdes slægtskab. **E Museo Lundii**, v. 2, n. 1, p. 1-92, 1892.

4 CONSERVAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS

4.1 ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DE CAVERNAS: UMA REVISÃO DA INSTRUÇÃO NORMATIVA 02/2017 SOB A PERSPECTIVA DOS MORCEGOS

Artigo publicado no periódico Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia (volume: 89, páginas: 1-9) em 2020.¹ (APÊNDICE B).

RESUMO

A relação entre várias espécies de morcegos e ecossistemas cavernícolas é altamente especializada, complexa e frágil. Comunidades de invertebrados cavernícolas são, frequentemente, dependentes do guano dos morcegos para sua sobrevivência, assim como os próprios morcegos dependem também destes abrigos para atividades sociais, proteção, descanso e reprodução. No Brasil, espécies associadas a cavernas tornaram-se mais susceptíveis a impactos decorrentes da destruição de seus abrigos, principalmente após alterações na legislação que flexibilizaram a proteção desses ambientes. A atual legislação determina que cavernas inseridas em áreas passíveis de licenciamento ambiental devem passar por um processo de classificação quanto ao seu grau de relevância. Estas regras estão incluídas na Instrução Normativa 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente. Avaliamos aqui as disposições na IN 02/2017 considerando o grupo dos morcegos como foco específico, e considerando a clareza, objetividade, e aplicabilidade prática da normativa, bem como pontos frágeis e critérios subjetivos que necessitam de modificações. Identificamos trechos cuja redação é subjetiva, vaga ou imprecisa, tornando alguns dos critérios apontados para a designação de relevância problemáticos quando analisados sob o enfoque do grupo dos morcegos. Sugerimos que a IN passe por extensa atualização, com alterações de redação, exclusão de alguns critérios (e.g. espécies com função ecológica importante; troglóxenos obrigatório) e inclusão de outros (e.g. presença de fêmeas grávidas e filhotes).

Palavras-chave: Cavernas; Chiroptera; Instrução Normativa 02/2017; Licenciamento Ambiental.

¹Barros, J. S., Gomes, A. G., Guimarães, M. M., Dias-Silva, L., Rocha, P. A., Tavares, V. C., & Bernard, E. 2020. Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia*, 89: 1-9. (APÊNDICE B).

ABSTRACT

The relationship between bats and cave ecosystems is highly specialized, complex and fragile. Cave invertebrate communities are often dependent on bat guano for their survival, just as bats themselves also depend on these shelters for social activities, protection, rest and reproduction. In Brazil, bat species associated with caves have become more susceptible to the destruction of their roosts, mainly after recent changes in the cave protection policies. The current legislation sets that caves in areas subject to environmental licensing must undergo a classification process to assess their relevance, whose rules are in the Norm 02/2017 of the Ministry of the Environment. Here, we evaluate IN 02/2017 having bats as a focal target, and considering the clarity, objectivity, and practical applicability of the regulation, as well as its pros and cons. We identified parts of the IN 02/2017 whose wording is subjective, vague or imprecise, compromising some of the criteria. We recommend that IN 02/2017 should be revised, with the adaptation of some sections, removal of some criteria (e.g. species with important ecological function; mandatory troglóxens) and inclusion of others (e.g. presence of pregnant females and young).

Key-Words: Caves; Chiroptera; Environmental Licensing; Norm 02/2017.

INTRODUÇÃO

A relação entre morcegos e ecossistemas cavernícolas é altamente especializada, complexa e frágil. A manutenção de comunidades de invertebrados em ambientes cavernícolas depende em grande parte, da presença, frequência e da quantidade de morcegos e de seu guano (FERREIRA, 2004; GNASPINI-NETTO, 1992). Perturbações nas colônias de morcegos ou na estrutura de seus abrigos podem resultar no total colapso de ecossistemas cavernícolas, incluindo eventos de extinção local de populações de troglóbios (espécies que habitam estritamente ambientes subterrâneos), quando ocorre elevada redução no input de guano (FERREIRA, 2004; GNASPINI-NETTO, 1992). Portanto, a proteção das cavernas é fundamental para os morcegos e para as demais comunidades cavernícolas. Além disso, várias espécies de morcegos que se abrigam em cavernas atuam em processos ecológicos fundamentais para a manutenção de ecossistemas em meio epígeo (externo), incluindo a polinização, dispersão de sementes e controle biológico. Processos que frequentemente ocorrem distantes das cavernas, mas são mediados por morcegos que nelas se abrigam (BOYLES et al., 2011; KUNZ et al., 2011; LOBOVA et al., 2009).

Ao menos 72 das 182 espécies de morcegos reconhecidas para o Brasil têm sido registradas utilizando cavernas no país (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2018), um valor alto, porém provavelmente subestimado, considerando o grande potencial cavernícola do país e 60% do território nacional nunca ter sido amostrados para morcegos (BERNARD et al., 2011). Estima-se que o Brasil abrigue mais de 310.000 cavernas (PILÓ; AULER, 2011), mas apenas cerca de 21.000 delas compõem atualmente o banco de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, ligado ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (BRASIL, 2020). Entretanto, menos de 3% destas cavernas foram amostradas em estudos sobre morcegos (OLIVEIRA et al., 2018).

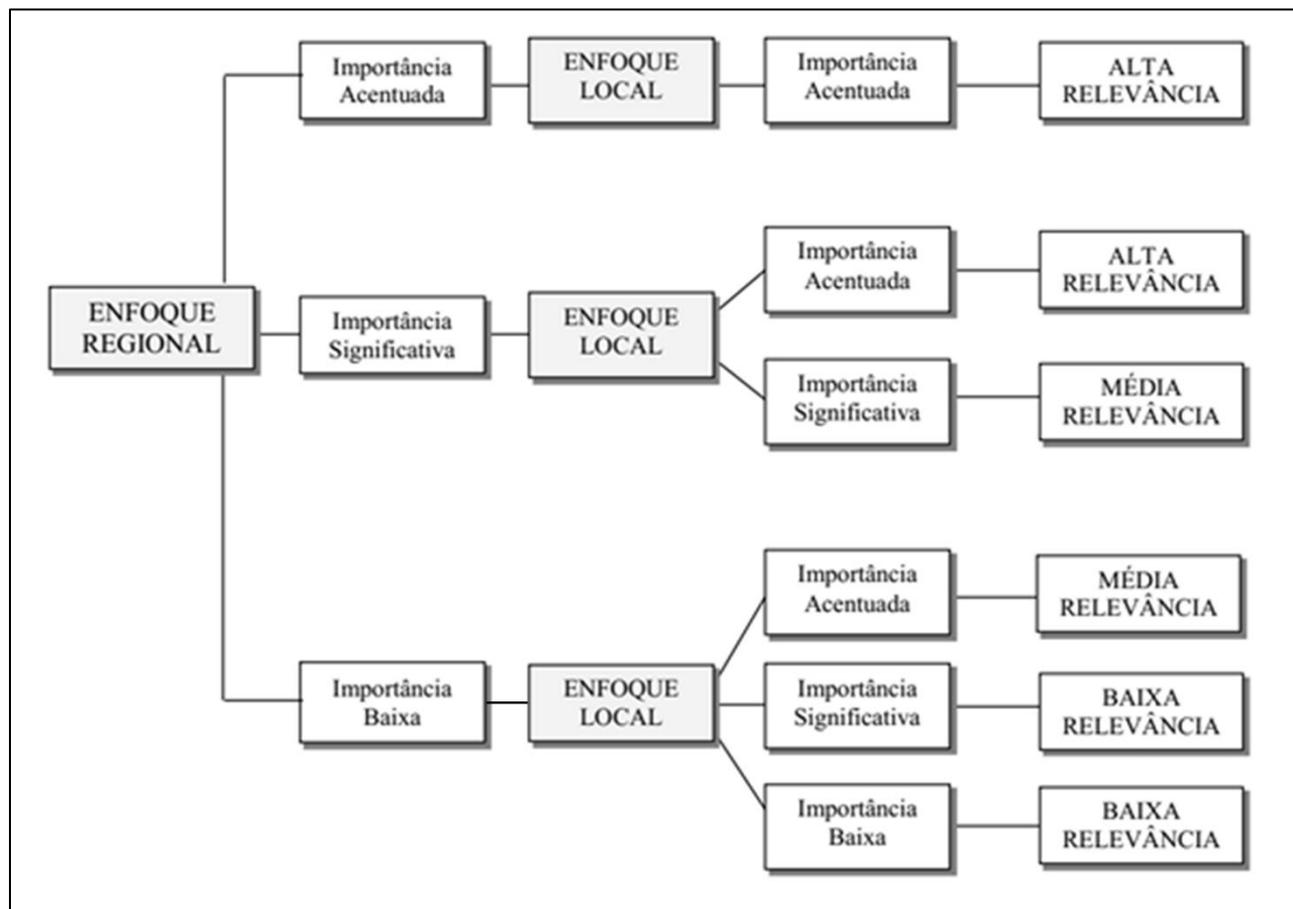
Até 2008, a legislação brasileira responsável sobre o subsolo baseava-se no Decreto 99556/1990, que previa a preservação total do subterrâneo, incluindo, portanto, as cavidades naturais como parte do patrimônio nacional. Entretanto, o Decreto Presidencial 6640 de 07 de novembro de 2008 (BRASIL, 2008) alterou a legislação permitindo a exploração de cavernas no âmbito do licenciamento ambiental mediante análise de relevância das cavidades naturais em áreas de empreendimentos. Esta análise deve ser determinada pela avaliação de atributos biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob os enfoques local e regional (BRASIL, 2008). As normas para esta classificação foram descritas posteriormente na Instrução Normativa 02 de 20 de agosto de 2009, e atualizadas na Instrução Normativa 02 de 30 de agosto de 2017 (daqui por diante IN 02/2017), publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2017).

Na prática, o Decreto 6640 criou um novo cenário para proteção das cavernas brasileiras, uma vez que, após a sua publicação, apenas as cavernas consideradas de “máxima relevância” passavam a contar com a prerrogativa de proteção integral, enquanto que as cavidades de “alto, médio e baixo grau” podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante algum tipo de compensação ambiental. Estas alterações têm elevado potencial de impacto sobre a fauna cavernícola e, não por acaso, a proteção de cavernas é apontada como prioridade máxima para a conservação de morcegos no Brasil (BERNARD et al., 2012).

Contextualização Legal

De acordo com a IN 02/2017, a classificação de relevância de cada caverna é fruto de uma combinação dos níveis de importância da cavidade obtidos sob os enfoques local e regional (figura 1). Vale destacar que uma cavidade classificada como de importância local acentuada terá, independente da classificação regional, uma classe de relevância resultante no mínimo média.

Figura 1: Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais brasileiras segundo a Instrução Normativa 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente. A Classe de Relevância resultante depende de uma combinação das categorias obtidas sob os enfoques local e regional.



Fonte: Instrução Normativa 02/17 (BRASIL, 2017).

Na análise sob os enfoques local e regional, o primeiro passo é a classificação regional caracterizada por uma unidade espeleológica que compreende “a área com homogeneidade fisiográfica, geralmente associada à ocorrência de rochas solúveis, que pode congrega diversas formas do relevo cárstico e pseudocárstico tais como dolinas, sumidouros, ressurgências, vale cegos, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação”. Posteriormente ocorre a classificação local que abrange uma “Unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade”. A determinação das escalas local e regional não é tão objetiva e frequentemente seus limites deverão ser determinados por profissionais das áreas de geociências. É importante que profissionais especialistas em morcegos, com formação e experiência em ecologia, taxonomia e licenciamento trabalhem em conjunto. Ou então trocando informações com os profissionais que irão delimitar as áreas de estudo dentro dos

contextos local e regional, para que atributos específicos relacionados aos morcegos sejam reconsiderados (e.g., espécies raras, população residente).

A IN 02/2017 determina que, mesmo classificada como de máxima relevância de acordo com um dos atributos físicos ou biológicos, a cavidade deve passar pelo processo de classificação sob enfoques local e regional, o que seria justificado pela necessidade de avaliação de impactos decorrentes de empreendimentos/atividades próximas (FERREIRA et al., 2011).

Ainda no âmbito do licenciamento ambiental, a área de influência direta de uma cavidade é definida como a “área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola” (Resolução CONAMA nº 347/2004, Art. 2º, item IV). A mesma Resolução CONAMA determina no § 2º que “a área de influência sobre o patrimônio espeleológico será definida pelo órgão ambiental competente que poderá, para tanto, exigir estudos específicos, a expensas do empreendedor”. Mas logo no § 3º, ela também especifica que “até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de polígono convexa”. Na prática, o que se tem observado é que tem prevalecido um *buffer* de 250 m ao redor da caverna, e raros são os estudos que indicaram que a área de influência deve ser efetivamente maior. Para morcegos, a possibilidade de que estudos específicos possam apontar a delimitação de um novo polígono abre uma discussão importante: a mobilidade dos morcegos pode ser extensa e os 250 m não são suficientes para representar tal influência. Os estudos com rádio telemetria com morcegos no Brasil apontam deslocamentos frequentes de até mais de 10 km a partir do abrigo (e.g. AGUIAR et al., 2014; BERNARD; FENTON, 2003; TREVELIN et al., 2013). Além disso, um estudo recente demonstrou que *Furipterus horrens* (Cuvier, 1828), uma espécie cavernícola e ameaçada no país, responde positivamente a áreas preservadas quando analisados em *buffers* de 1000 metros (BARROS et al., 2020).

Neste sentido, para morcegos a área de influência das cavidades deveria ser exclusivamente maior do que 250 metros. Portanto, a distância estabelecida pela legislação vigente é inadequada e insuficiente para a proteção de morcegos nesses ambientes. O cenário ideal para a conservação dos morcegos incluiria a cobrança obrigatória, dentro do processo de licenciamento, de estudos específicos de telemetria ou marcação/recaptura que apontassem quanto os indivíduos abrigados naquela cavidade se deslocam e como utilizam a matriz, ou ainda a implementação obrigatória de estudos similares em propostas de compensação ambiental. Tal abordagem é fundamental para a delimitação de áreas de influência corretas.

Atributos específicos envolvendo morcegos

Cavernas que apresentam atributos importantes envolvendo a biologia dos morcegos devem ser consideradas de importância acentuada sob o enfoque local. A seguir comentamos de tais critérios e suas definições como na IN 02/2017, e concluímos com uma avaliação concisa e detalhada, em relação ao emprego e proposições, quando pertinentes.

1. Critério: Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais.

Conceito: Cavidade que compreenda um abrigo, ou parte importante do habitat de espécies constantes de lista oficial, nacional ou do estado de localização da cavidade, de espécies ameaçadas de extinção.

Avaliação: O tamanho populacional mínimo para a manutenção da variabilidade genética de uma espécie (e, portanto, para sua perpetuação) deve ser avaliado caso a caso, pois depende de análises ecológicas e moleculares direcionadas a cada espécie. Sendo assim, o termo “populações geneticamente viáveis” não é claro e objetivo. Mais além, apenas a presença de espécies ameaçadas é suficiente para que a caverna seja categorizada como de “máxima relevância”, acentuando a dubiedade deste critério.

Uma cavidade com ocorrência de *Eptesicus taddeii* Miranda, Bernardi & Passos, 2006, *Furipterus horrens*, *Glyphonycteris behnii* (Peters, 1865), *Lonchorhina aurita* Tomes, 1863, *Natalus macrourus* (Gervais, 1856), *Lonchophylla dekeyseri* Taddei, Vizotto & Sazima, 1983, ou *Xeronycteris vieirai* Gregorin & Dietchfield, 2005 deve ser automaticamente classificada como de máxima relevância, pois estas espécies constam da atual Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (ICMBio, 2018). Nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Bahia, que dispõem de listas oficiais estaduais (BAHIA, 2015; FATMA, 2010; FZB, 2014; IAP, 2010; IPMA 2007; RIO DE JANEIRO, 1997; SÃO PAULO, 2018; SEMAD, 2010; SEMAS, 2007), outras espécies devem ainda ser consideradas (Tabela 1).

Posicionamento e proposições: Com um ajuste de redação (a supressão de “populações geneticamente viáveis”) este critério pode ser considerado objetivo, e facilmente aplicável, dessa forma deve ser mantido. Salientamos que a lista nacional vigente de espécies ameaçadas está passando por processo de revisão e atualização, e tão logo uma nova lista seja homologada esta deve passar a ser considerada como referência. O mesmo deve ocorrer para eventuais atualizações em listas estaduais.

Tabela 1: Espécies de morcegos ameaçados de extinção presentes em listas oficiais dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Bahia.

Espécies	Estados
<i>Myotis ruber</i> (É. Geoffroy, 1806)	RS (VU), RJ (VU)
<i>Histiotus alienus</i> Thomas, 1916	SC (CR)
<i>Lasiurus egregius</i> (Peters, 1870)	SC (CR)
<i>Tonatia bidens</i> (Spix, 1823)	SC (CR)
<i>Artibeus cinereus</i> (Gervais, 1856)	PR (VU)
<i>Peropteryx macrotis</i> (Wagner, 1843)	PR (VU)
<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)	PR (VU)
<i>Noctilio albiventris</i> Desmarest, 1818	PR (VU)
<i>Trachops cirrhosus</i> (Spix, 1823)	PR (VU)
<i>Phyllostomus hastatus</i> (Pallas, 1767)	PR (VU)
<i>Sturnira tildae</i> De la Torre, 1959	PR (VU)
<i>Cynomops abrasus</i> (Temminck, 1827)	PR (VU)
<i>Eumops bonariensis</i> (Peters, 1874)	PR (EN)
<i>Eumops hansae</i> Sanborn, 1932	PR (VU)
<i>Molossops neglectus</i> Willians & Genoways, 1980	PR (EN)
<i>Promops nasutus</i> (Spix, 1823)	PR (VU)
<i>Chiroderma villosum</i> Peters, 1860	PR (VU) SP (VU)
<i>Chiroderma doriae</i> Thomas, 1891	PR (VU), RJ (VU)
<i>Platyrrhinus recifinus</i> (Thomas, 1901)	PR (VU), RJ (VU)
<i>Peropteryx kappleri</i> Peters, 1867	SP (CR)
<i>Saccopteryx leptura</i> (Schreber, 1774)	SP (EN)
<i>Lonchophylla peracchii</i> Dias, Esbérard & Moratelli, 2013	SP (VU)
<i>Platyrrhinus incarum</i> (Thomas, 1912)	SP (VU)
<i>Phylloderma stenops</i> (Peters, 1865)	SP (CR), RJ (VU), MG (EN)
<i>Dermanura cinerea</i> Gervais, 1856	RJ (VU)
<i>Mimon bennettii</i> (Gray, 1838)	RJ (VU)
<i>Gardnerycteris crenulatum</i> (É. Geoffroy, 1803)	RJ (VU)
<i>Thyroptera tricolor</i> Spix, 1823	RJ (EN)
<i>Lonchophylla bokermanni</i> Sazima, Vizotto & Taddei, 1978	RJ (VU), MG (EN)
<i>Diaemus youngii</i> (Jentink, 1893)	RJ (VU), MG (VU)
<i>Glyphonycteris sylvestris</i> Thomas, 1896	MG (VU)
<i>Lionycteris spurrelli</i> Thomas, 1913	MG (EN)
<i>Choeroniscus minor</i> (Peters, 1868)	MG (EN), ES (VU)

<i>Lamproncyteris brachyotis</i> (Dobson, 1879)	ES (VU)
<i>Microncyteris hirsuta</i> (Peters, 1869)	ES (VU)
<i>Lichonycteris degener</i> Miller, 1931	ES (VU)
<i>Carollia brevicauda</i> (Schinz, 1821)	ES (VU)

Fonte: A autora (2020).

2. Critério: Interações ecológicas únicas

Conceito: Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico-evolutivo.

Avaliação: Este critério garante proteção integral às cavernas, entretanto a subjetividade do termo "interações ecológicas únicas" dificulta sua aplicação prática em diagnósticos ambientais, e faz-se estritamente necessária a proposição de uma definição clara, da apresentação de exemplos, ou de parâmetros para a valoração de atributos que individualmente ou em conjunto possam caracterizar tais interações.

Interações ecológicas únicas podem incluir um amplo leque de situações, desde a dependência ou preferência específica por um determinado tipo de abrigo ou de condição ambiental dentro do abrigo, até eventos de predação, parasitismo ou comensalismo, por exemplo. No caso dos morcegos, Rocha (2013) apresenta dados relacionados à ecologia termal e a reprodução de *Pteronotus gymnotus* (Wagner, 1843) e *Pteronotus personatus* (Wagner, 1843) ambos aqui considerados estritamente cavernícolas. Fêmeas destas duas espécies são seletivas na escolha desse tipo de abrigo e o sucesso reprodutivo das suas populações depende, incondicionalmente, da estabilidade microclimática propiciada pelas cavernas. Esta íntima associação entre o ambiente reprodutivo destas duas espécies de *Pteronotus* e tais cavernas com condições climáticas bastante específicas configura um exemplo de interação ecológica única. Outro fator a ser levado em consideração é que, mesmo em uma larga escala de paisagem, pouquíssimas cavernas possuem as condições climáticas ideais para abrigarem populações de fêmeas reprodutivas de *Pteronotus*. Em Sergipe, por exemplo, apenas três das mais de 100 cavidades registradas são colonizadas por estas espécies (ROCHA, 2013), reforçando o caráter de interações ecológicas únicas nestas cavernas e tornando-as, literalmente, insubstituíveis.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor definição sobre o que é uma "interação ecológica única", e como esta interação pode ser caracterizada, incluindo ainda possíveis exemplos deste tipo de interações envolvendo morcegos.

3. Critério: Espécies com função ecológica importante

Redação: Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante (polinizadores, dispersores de sementes e morcegos insetívoros) que possuam relação significativa com a cavidade.

Avaliação: A redação atual da IN 02/2017 é problemática, pois permite inferir que a presença de populações de espécies de morcegos nectarívoros, frugívoros ou insetívoros em uma cavidade seria suficiente para considerá-la de importância acentuada sob o enfoque local. Seria possível, portanto, argumentar que qualquer cavidade que contenha alguns indivíduos das famílias Emballonuridae, Vespertilionidae, Mormoopidae, Furipteridae, Thyropteridae, Natalidae e Molossidae – cujas espécies são obrigatoriamente insetívoras - permitiria a sua classificação como de relevância local acentuada. O mesmo poderia ocorrer com algumas espécies de Phyllostomidae e Noctilionidae, e ainda com espécies frugívoras e nectarívoras. Posteriormente, a redação menciona “função ecológica importante” e uma “relação significativa com cavidade”, duas menções subjetivas.

Posicionamento e proposições: Este é um critério subjetivo e que pouco acrescenta ao processo de classificação. Sugerimos que este critério seja excluído, ou absorvido pelo critério que menciona interações únicas. Caso seja mantido, este trecho da IN deve ser melhor redigido, com a definição clara tanto de “função ecológica importante”, quanto de “relação significativa com a cavidade”.

4. Critério: População residente de quirópteros

Conceito: Conjunto de indivíduos pertencentes à mesma espécie, cuja presença contínua na cavidade seja observada por um período mínimo de um mês, caracterizando a inter-relação com o ecossistema cavernícola para a sua sobrevivência.

Avaliação: *A priori*, a definição deste critério parece objetiva, e aponta que a existência de uma “população” de morcegos no interior da cavidade por um período de ao menos um mês é suficiente para classificar esta cavidade como tendo importância acentuada sob o enfoque local. Entretanto, a questão aqui seria a necessidade de monitoramento da caverna para certificar que esta população é residente por um período de mais de 30 dias. A IN menciona ainda que, no caso de levantamentos biológicos estes deverão atender um mínimo de um ciclo anual com pelo menos duas amostragens por ano (seca e chuva). Então, profissionais que forem executar estes inventários devem estar atentos, pois para atender ao critério de verificação de população residente pelo menos uma destas duas amostras mínimas deveria idealmente se estender por um período de 30 dias.

Mas, posteriormente a definição de “residente” abre a possibilidade para alguns questionamentos importantes: E se esta população for residente apenas durante um período do ano (e.g., apenas estação chuvosa)? Como se enquadrariam as situações extremas, (e.g., secas prolongadas por vários anos)? Além disso, é importante ressaltar que, frequentemente, as espécies utilizam um conjunto regional de cavernas, transitando entre abrigos próximos em um intervalo de tempo relativamente curto (GOMES, 2017). Portanto, não necessariamente uma população residente será encontrada em uma mesma caverna em campanhas consecutivas, ainda que esteja utilizando aquele abrigo de forma permanente e que este abrigo seja importante para a manutenção das populações. Morcegos podem utilizar como abrigos “fixos” um conjunto de cavernas em uma escala regional, de modo que a residência de determinada população pode ser afetada caso uma das várias cavidades utilizadas por tal população seja impactada.

Outro ponto importante a ser considerado é que, de acordo com a IN, cavernas com menos de cinco metros serão classificadas com baixo grau desde que não possuam zona afótica, destacada relevância histórico-cultural ou religiosa, ou presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos de significativo valor científico, cênico ou ecológico, ou função hidrológica expressiva para o sistema cárstico. Entretanto, essa determinação não considera a existência de registros de agrupamentos de *F. horrens* e *X. vieirai* - espécies listadas como ameaçadas - em cavernas com menos de cinco metros de desenvolvimento linear (A. Gomes e M. Guimarães, *com. pess.*). Ao ignorar estes registros, cavernas que deveriam ser consideradas como de máxima relevância seriam erroneamente consideradas de baixa relevância simplesmente por um critério de projeção horizontal, sem considerar seus atributos biológicos.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor definição do conceito de populações residentes. A definição exata deve abranger um conjunto de cavidades quando necessário, e também a temporalidade das amostragens e do ciclo de vida das espécies de morcegos. Além disso, necessita-se de padronização das metodologias a serem aplicadas para esta caracterização.

5. Critério: Táxons novos

Conceito: Ocorrência de animais pertencentes à *taxa* ainda não descritos formalmente.

Avaliação: São vedados impactos negativos irreversíveis em cavidades que apresentem ocorrência de táxon novo até sua descrição científica formal. Assim, deveríamos considerar e discutir, para a proteção da cavidade e da espécie nova, que o processo de descrição e a localização do novo registro devem tomar publicidade e que o descritor do novo táxon tenha liberdade para conduzir o processo de descrição até a sua conclusão. Isso seria mais relevante

no caso de novo táxon em local que já experimenta impactos decorrentes de atividades irreversíveis, como a mineração. Há casos de novas espécies de morcegos para o Brasil que se encaixam exatamente nesta situação, mas cuja publicidade e descrição encontram-se embargadas ou retardadas em função dos dados terem sido gerados em consultorias que envolvem cláusula de sigilo. Além disso, outro aspecto importante a ser discutido é que alguns dos novos *taxa* podem corresponder a animais ameaçados de extinção em algum grau. Neste caso, a situação seria composta não apenas por uma espécie nova, mas também por uma espécie ameaçada.

Posicionamento e proposições: Critério objetivo, entretanto embargos decorrentes de cláusulas contratuais de sigilo precisam ser revistos passando por um questionamento de sua validade legal. Estes embargos parecem ferir a Constituição Federal (BRASIL, 1988), que no Inciso IV do 1º Parágrafo do Artigo 225 assim estabelece: “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade (grifo nosso)”.

Mais além, a Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, explicita em seu Artigo 7º que o estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto (grifo nosso) e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados. Esta mesma Resolução, em seu Artigo 11º ainda menciona que, respeitado o sigilo industrial, assim solicitado e demonstrado pelo interessado, o RIMA será acessível ao público. Assim, entendemos que 1) o processo de licenciamento, em especial seu EIA, são de interesse público, 2) cláusulas de confidencialidade e embargos de divulgação referentes à ocorrência de espécies novas ferem o princípio de interesse público, e 3) a ocorrência de uma espécie não descrita pela Ciência não pode, de maneira alguma, ser vista como “sigilo industrial”. Portanto, a conclusão aqui é: estes embargos não encontram respaldo legal, pois tratam na verdade de cláusula meramente comercial/contratual e que, portanto, não podem suplantam a Constituição Federal e as Resoluções do CONAMA. Contudo, essas afirmações precisam ser analisadas sob o ponto de vista jurídico. Propomos também que as atividades que geram impactos irreversíveis nas cavidades sejam vetados até que seja feita a descrição formal das espécies em questão, e até que seja constatado que elas não se enquadram nas categorias de ameaça previstas pela IUCN, seja em nível nacional ou regional.

6. Critério: Riqueza de espécies

Conceito: Estimativa do número de espécies presentes na caverna.

Avaliação: A IN aponta que a riqueza de espécies de morcegos na caverna deve ser classificada em “baixa”, “média” ou “alta”, sem, contudo, indicação dos respectivos valores. A falta destes valores compromete a objetividade e aplicabilidade deste critério.

Posicionamento e proposições: Critério objetivo, porém carece de uma especificação sobre os valores e métodos analíticos específicos, considerando ainda diferentes litologias e desenvolvimentos lineares. Analisando dados para 269 cavernas com inventários de morcegos disponíveis no Brasil, Guimarães & Ferreira (2014) propuseram que podem ser classificadas como cavernas de baixa riqueza aquelas que abrigam de zero a 3 espécies de morcegos, média riqueza de 4 a 6 espécies, alta riqueza de 7 a 9 espécies, e elevada riqueza quando abrigarem mais de 9 espécies. O conhecimento sobre a riqueza de espécies de morcegos nas cavernas brasileiras ainda é bastante incompleto, mas as categorias de Guimarães & Ferreira (2014) poderiam ser utilizadas como um balizador. Ainda assim, seria necessária uma discussão a respeito de particularidades, como uma possível variação nesses valores, de acordo com as litologias e desenvolvimentos lineares diferentes das cavernas.

7. Critério: Diversidade de espécies

Conceito: Medida da diversidade local da caverna (ou diversidade alfa), considerando a variedade (riqueza de espécies) e a abundância relativa de espécies (equitabilidade).

Avaliação: A questão de riqueza de espécies foi previamente discutida no tópico anterior. A IN 02/2017 classifica a diversidade de espécies em “alta”, “média”, ou “baixa”, atribuindo pesos para cada uma delas sem, contudo, indicar as respectivas categorias de valores e metodologias adequadas. Esta classificação vai demandar cuidado especial, pois dependendo da situação há grande chance de erro no cálculo de abundância relativa para morcegos.

Se a estimativa for obtida visualmente, o erro pode decorrer de vários fatores: a) espécies com maior coesão social ou necessidades fisiológicas particulares e cujos indivíduos ficam mais densamente juntos, dificultando contagem precisas; b) a estrutura da caverna, com existência de câmaras utilizadas pelos morcegos, mas inacessíveis por humanos, ou ainda; c) o tipo da superfície das paredes e teto, se liso ou com reentrâncias que podem esconder indivíduos (KLOEPPER et al., 2016). Se as estimativas forem obtidas por captura com redes na saída das cavernas, deve-se levar em consideração: a) a existência de saídas alternativas, b) a seletividade das redes para diferentes espécies, ou até c) mesmo possíveis diferenças de horário na saída das espécies.

Posicionamento e proposições: Critério necessita de especificação de valores, e melhorias e padronização na metodologia empregada na estimativa de abundância. Necessita-se ainda, e

com urgência, de um protocolo detalhado para acessar a abundância de morcegos em cavernas de uma forma sistematizada e padronizada para que diferentes sítios possam ser comparados com precisão. As peculiaridades intrínsecas à diferentes tipos de litologia precisam ser obrigatoriamente consideradas, e a comparação entre diversidades oriundas de diferentes litologias deve ser evitada. Experiências com o uso de imagens termo-sensíveis e algoritmos de detecção de movimento para a contagem mais precisa dos morcegos em uma cavidade já estão sendo realizadas no país há pelo menos quatro anos (OTÁLORA-ARDILA et al., 2019). Os resultados já obtidos são muito superiores às contagens manuais, com taxas de erro inferiores a 1% em alguns casos e contagens que ultrapassam, em alguns casos, 150 mil morcegos, feitos de maneira padronizada e replicável.

O caminho a ser buscado deve passar pela padronização dos censos, pela independência de um observador humano, com conseqüente redução de erro nas contagens, e pelo caráter menos invasivo da abordagem. Ressaltamos a importância da precaução na utilização de redes de neblina em entradas de cavernas, uma vez que tal metodologia pode ser prejudicial em cavernas com grandes colônias de morcegos. Abordagens que busquem a automatização e padronização das contagens, respeitando o rigor científico necessário, devem ser estimuladas, e consideradas para a adoção preferencial em estudos de impacto ambiental, por exemplo.

8. Critério: Troglóxico obrigatório

Conceito: Troglóxico que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida.

Avaliação: Morcegos são frequentemente classificados como troglóxicos, i.e., organismos que utilizam frequentemente ambientes cavernícolas, mas necessitam de ambientes de superfície para completar seu ciclo de vida (SKET, 2008). A IN 02/2017 menciona troglóxico obrigatório, que é o troglóxico que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida. Entretanto, não há menção sobre quais são essas espécies. Neste sentido, nem todas as espécies de morcegos poderiam assim ser classificadas (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014), e novamente o conhecimento limitado sobre a biologia das espécies de morcegos no Brasil torna também tal classificação imprecisa.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor especificação quanto às espécies que se enquadram na categoria de troglóxico obrigatório. Sugerimos a substituição do critério “troglóxico obrigatório” por outros parâmetros ecológicos e/ou referentes à biologia das espécies mais eficazes para mensurar a importância das cavidades para determinados morcegos residentes. Por exemplo, a existência de fêmeas grávidas ou com filhotes no interior

da cavidade. Este atributo é mais objetivo, de fácil diagnose, e indica que as cavidades escolhidas por fêmeas de certas espécies para a gestação e cuidado parental pós-natal são essenciais para a sobrevivência e recrutamento de novas gerações nas populações estudadas. Se constatado que estas cavernas são usadas com fins reprodutivos frequentemente, isso já seria suficiente para considerar que a cavidade em questão tem importância acentuada. Neste cenário, cavernas identificadas como essenciais ou muito importantes para a reprodução de populações deveriam contar com proteção máxima, independente do seu status de ameaça.

9. Critério: População excepcional em tamanho

Conceito: Conjunto de indivíduos da mesma espécie com número excepcionalmente grande de indivíduos.

Avaliação: Sítios que concentram grandes congregações animais têm elevada importância para a conservação por pelo menos três razões: 1) valor desproporcional para a sobrevivência das espécies; 2) estas espécies podem ser particularmente vulneráveis quando presentes em tais congregações; e 3) o elevado número de indivíduos presentes nestas congregações promove sua ampla participação em interações ecológicas (MITTERMEIER et al., 2003). Cavernas com populações excepcionais de morcegos cumprem estes requisitos e não resta dúvida que estes abrigos devam gozar de máxima proteção.

Entretanto, a classificação de uma população de morcegos como excepcional carrega um componente subjetivo, e que pode variar entre espécies, locais e litologias. Nesse sentido, a discussão a respeito do número acima do qual uma população seria considerada excepcional se torna necessária. Estudos recentes em Sergipe, Pernambuco e Pará apontam que algumas cavernas ultrapassam os 150 mil indivíduos em seu interior (E. Bernard, *com. pess.*). Mas até o momento, estas concentrações excepcionais são formadas basicamente por espécies do gênero *Pteronotus*. Colônias de dezenas ou até centenas de milhares de indivíduos apontam que essas “cavernas especiais” são fundamentais para a dinâmica ecossistêmica em nível de paisagem, pois interagem e predam com populações de diversas espécies de insetos. Outros estudos no Rio Grande do Norte também já apontaram concentrações de mais de 8.000 *Phyllostomus discolor* (Wagner, 1843), um valor muito inferior às concentrações de *Pteronotus*, mas não menos excepcional considerando que a literatura relata abrigos com cerca de, no máximo, 400 indivíduos (KWIECINSKI, 2006). Da mesma forma, uma caverna que contenha, por exemplo, 30 a 50 *N. macrourus* ou 300 indivíduos de *Lonchophylla* certamente contém uma população excepcional para estas espécies.

O tamanho que atribuirá excepcionalidade à população em uma caverna precisará ser considerado caso a caso, e esse sem dúvida deverá ser objeto de discussão por parte da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ). Não obstante tal critério classifica as cavernas apenas no nível de “alta” relevância, de maneira que estas poderiam ainda sofrer impactos negativos irreversíveis mediante algum tipo de compensação, o que acaba sendo um dano inconcebível para tais populações.

Posicionamento e proposições: Com ajustes, este critério pode se tornar objetivo e aplicável. Propõe-se aqui que os valores que determinam a excepcionalidade de uma população sejam vinculados ao contexto regional. Assim, poderia ser considerada excepcional aquela população cujo número de indivíduos supera em pelo menos cinco vezes a média regional. Tal abordagem retiraria a subjetividade da classificação de excepcionalidade, consideraria diferenças espécie-específicas, e litologia-específicas. Tal abordagem exigiria ainda que populações de outras cavidades precisariam ser avaliadas para a determinação da excepcionalidade de uma dada cavidade. Permitindo assim, a ampliação do conhecimento sobre populações, riqueza e raridade locais e regionais, melhorando a qualidade do processo de avaliação de impactos.

10. Critério: Espécie rara

Conceito: Ocorrência de organismos representantes de espécies cavernícolas não troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante

Avaliação: Novamente a redação menciona apenas a presença do organismo, sem vinculação a valor específico. Assim como na discussão do atributo anterior, o mais indicado é que a classificação da raridade deveria ser avaliada caso a caso, sem a abordagem de “único valor para todos”. Além de variar entre espécies, locais e litologias, a raridade depende frequentemente do método de amostragem. A predominância do uso de redes majoritariamente armadas até três metros de altura distorce as amostragens, tornando-as tendenciosas para o registro de espécies de Phyllostomidae (CUNTO; BERNARD, 2012).

Estudos baseados no registro de sinais de ecolocalização têm mostrado que espécies que eram até então consideradas raras são abundantes e amplamente distribuídas (eg. HINTZE et al., 2019). A verdade é que, infelizmente, o conhecimento sobre a distribuição e tamanho populacional das espécies de morcegos brasileiros está bem aquém do ideal (BERNARD et al., 2012). Poucos foram os locais inventariados de maneira sistematizada e completa, e menos ainda são os sítios que recebem monitoramento padronizado de médio-longo prazo. Ainda, o

critério de raridade exige que outras cavernas sejam amostradas em escala local ou regional para permitir comparações.

Posicionamento e proposições: Com ajustes, este critério pode se tornar objetivo e aplicável. Uma alternativa para mitigar o problema poderia ser a elaboração de uma “lista nacional de espécies raras”, chancelada pela SBEQ. O “Checklist of Brazilian bats” (NOGUEIRA et al., 2018), que organizou sobremaneira a ocorrência e validade de registros para espécies no Brasil, é um modelo a ser seguido e mostra que a mobilização da comunidade quiropterológica para assuntos aplicados pode gerar excelentes resultados.

CONCLUSÕES

Conforme mostrado nesta análise, desde a IN 02/2009 – e com a atual IN 02/2017 – houve alterações significativas nos processos de geração de impactos sobre cavernas no Brasil. Reconhecemos os progressos entre a publicação da IN 02/2009 e 02/2017 e que a intenção dessas instruções normativas é tornar o processo de licenciamento envolvendo cavidades mais objetivo e baseado em variáveis mensuráveis. Entretanto, a redação e melhor definição destas variáveis necessitam de aprimoramento. A análise apresentada aqui deve ser vista como um diagnóstico feito por profissionais com experiência na interface entre morcegos e cavernas. Entretanto, ela é inicial e não esgota uma discussão sobre a melhoria da IN 02/2017. Sugerimos futuras discussões sejam ampliadas e trabalhadas de forma mais específica e especializada. Considerando que o atual presidente é também um dos autores deste ensaio, a Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros - SBEQ se propõe a cumprir tal tarefa.

A IN 02/2017 estabelece que ela deverá ser revista em um prazo máximo de cinco anos. Em tempos de forte ataque sobre a legislação ambiental brasileira por setores contrários, é importante que o processo de redação de Instruções Normativas – documentos essenciais para aplicação dos decretos – seja liderado pelo CECAV/ICMBio, e conte com a ampla participação da sociedade e comunidade científica, para que os pontos aqui mencionados sejam discutidos, esclarecidos, melhorados e aplicados. Certamente vários dos argumentos aqui apresentados podem ter interpretações diferentes das que expusemos e a opinião de outros profissionais é fundamental. Um marco legal claro e efetivo faz-se necessário, e a IN deve ser considerada neste sentido. Se bem conduzido, com a ampla participação da comunidade quiropterológica brasileira, há a possibilidade de que a IN 02/2017 evolua, o que é essencial para a proteção dos morcegos brasileiros, sobretudo no contexto dos processos de licenciamento ambiental.

AGRADECIMENTOS

Esta avaliação é, em parte, fruto de discussões do Grupo de Trabalho de Morcegos Cavernícolas no Brasil, abrigado na Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros, entre 2014 e 2019. J.S Barros agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001), e à Anglo American pela concessão de recursos de pesquisa no âmbito do Projeto “Seleção e uso de cavernas por morcegos e suas implicações para a classificação de relevância destes ambientes”. A. Gomes agradece ao Instituto Prístino pelo apoio na realização de sua pesquisa de mestrado nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo. M. Guimarães agradece ao Centro de Estudos em Biologia Subterrânea do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, e a bolsa de estudos concedida pela CAPES. P.A. Rocha agradece a CAPES/PNPD pela bolsa de pós-doutorado (Processo 88882.317933/2019-01). V. Tavares agradece a CAPES e ao CNPq por auxílios e bolsas concedidas e a SBEQ, gestão 2017-2019, pelo apoio ao GT de morcegos cavernícolas. E. Bernard agradece ao Departamento de Zoologia e à Universidade Federal de Pernambuco, por darem suporte às suas pesquisas com morcegos no Brasil, ao CNPq pela bolsa de produtividade, e também a todas as instituições que financiam ou financiaram suas pesquisas. Diego de Medeiros Bento, Analista Ambiental do CECAV/ICMBio fez comentários importantes em uma versão preliminar deste texto. Da mesma forma, Diego Loretto e três revisores anônimos também contribuíram para a melhoria de uma versão inicial deste texto. Agradecemos a todos pela leitura crítica e construtiva.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR LMS, BERNARD E, MACHADO RB. 2014. Habitat use and movements of *Glossophaga soricina* and *Lonchophylla dekeyseri* (Chiroptera: Phyllostomidae) in a Neotropical savannah. **Zoologia** 31(3):223-229. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702014000300003>.
- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente. 2015. **Lista de espécies ameaçadas da Bahia**. Disponível em: http://www.meioambiente.ba.gov.br/gestor/Consultas/ConsultaPublicacao.php?pub_id=4512. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- BARROS JS, BERNARD E, & FERREIRA RL. 2020. Ecological preferences of Neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. **Basic and Applied Ecology**. <http://doi:10.1016/j.baae.2020.03.007>.
- BERNARD E, AGUIAR LMS, BRITO D, CRUZ-NETO AP, GREGORIN R, MACHADO RB, OPREA M, PAGLIA AP, TAVARES VC. 2012. Uma análise de horizontes sobre a

conservação de morcegos no Brasil. Pp. 19–35, In Freitas TRO & Vieira EM (Eds.), **Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação**. Vol. II. Sociedade Brasileira de Mastozoologia, Rio de Janeiro, Brasil.

BERNARD E, AGUIAR LMS, MACHADO RB. 2011. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? **Mammal Review** 41:23–39. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2010.00164.x>.

BERNARD E, FENTON MM. 2003. Bat mobility and roosts in a fragmented landscape in central Amazonia, Brazil. **Biotropica** 35(2): 262-277. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00285.x>.

BOYLES JG, CRYAN PM, MCCRACKEN GF, KUNZ TH. 2011. Economic importance of bats in agriculture. **Science** 332:41-42. DOI: 10.1126/science.1201366.

BRASIL. Decreto Federal nº. 6.640, de 07 de novembro de 2008. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 10 nov. 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm. Acessado em: 21 de agosto de 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa MMA nº. 002, de 20 de agosto de 2009. Estabelece uma metodologia específica para a determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/in%2002_mma_comentada.pdf. Acessado em: 21 de agosto de 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2017. 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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2020. Relatório estatístico cavernas por unidade federativa. **Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas**. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true. Acessado em: 20 de abril de 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 1986. **Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acessado em: 23 de outubro de 2019

FERREIRA CF, CRUZ JB, REINO JCR. 2011. Instrução Normativa No 2, de 20 de agosto de 2009 – Comentada. Pp. 180 -188, In **Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas**, III Curso de Espeleologia Licenciamento Ambiental (Apostila), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, D.F.

FERREIRA RL. 2004. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos.** Tese Doutorado em Ciências Biológicas (Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade de Minas Gerais. Minas Gerais. Brasil.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. FATMA. **Lista das espécies de fauna ameaçada de extinção de Santa Catarina.** Relatório Técnico Final. Disponível em: http://www.fatma.sc.gov.br/upload/Fauna/relat9500rio_t9500cnico_final_lista_esp9500cies_a mea9500adas.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

FUNDAÇÃO ZOOBOTANICA DO RIO GRANDE DO SUL. FZB. 2014. **Lista das espécies de fauna ameaçadas de extinção no Rio Grande do Sul.** Disponível em: http://www.fzb.rs.gov.br/upload/1396361250_lista_categoria.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

GNASPINI-NETTO P. 1992. Bat guano ecosystems: a new classification and some considerations with special references to Neotropical data. **Memoirs de Biospéologie** 19:135–138.

GOMES AM. 2017. Uma luz na escuridão: **Desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância.** Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas (Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade de Minas Gerais. Minas Gerais. Brasil.

GUIMARÃES MM, FERREIRA RL. 2014. Morcegos cavernícolas do Brasil: Novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia** 2(4):1-33.

HINTZE F, ARIAS-AGUILAR A, DIAS-SILVA L, DELGADO-JARAMILLO M, SILVA CR, JUCÁ T, & RAMOS PEREIRA MJ. 2019. Molossid unlimited: extraordinary extension of range and unusual vocalization patterns of the bat, *Promops centralis*. **Journal of Mammalogy**. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz167>.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. IAP. 2010. **Lista de fauna ameaçada do Paraná.** Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=56582&indice=1&totalRegistros=15>. Acessado em: 17 de julho de 2020.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. 2018. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I / -- 1. ed. -- Brasília, DF: ICMBio/MMA.** Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf. Acessado em: 15 de julho de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA DA MATA ATLÂNTICA. IPMA. 2007. **Espécies de Fauna ameaçada de extinção no estado do Espírito Santo.** Disponível em: http://www.herpetologiamuseunacional.com.br/pdfs/carlos_cruz/Gasparini_et_al_2007_Especies_da_Fauna_Amea%C3%A7adas_do_ES.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

KLOPPER LN, LINNENSCHMIDT M, BLOWERS Z, BRANSTETTER B, RALSTON J, SIMMONS JA. 2016. Estimating colony sizes of emerging bats using acoustic recordings. **Royal Society Open Science** 3(3):160022. <http://doi:10.1098/rsos.160022>.

KUNZ TH, MURRAY SW, FULLER NW. 2011. Bats. Pp. 45-54, In White WB and DC Culver (Eds.), **Encyclopedia of caves**. Second Edition. Academic Press. MA, USA.

KWIECINSKI GG. 2006. *Phyllostomus discolor*. **Mammalian Species** 801:1-11. <https://doi.org/10.1644/801.1>.

LOBOVA TA, GEISELMAN CK, MORI AS. 2009. Seed Dispersal by Bats in the Neotropics. **Memoirs of The New York Botanical Garden**. The NYBG Press, New York.

MITTERMEIER RA, GIL PR, KONSTANT WK et al. 2003. Wildlife spectacles. CEMEX-Agrupación Sierra Madre-Conservation International. Mexico.

NOGUEIRA MR, LIMA IP, GARBINO GST, MORATELLI R, TAVARES VC, GREGORIN R, and PERACCHI AL. 2018. **Updated checklist of Brazilian bats: versão 2018**. Comitê da Lista de Morcegos do Brasil—CLMB. Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (Sbeq). Disponível em: <http://www.sbeq.net/updatelist>. Acessado em: 11 de maio de 2020

OLIVEIRA HFM, OPREA M, DIAS RI. 2018. Distributional patterns and ecological determinants of bat occurrence inside caves: A broad scale meta-analysis. *Diversity* 10:49. doi.org/10.3390/d10030049.

OTÁLORA-ARDILA A, TORRES JM, BARBIER E, PIMENTEL NT, LEAL ESB, BERNARD, E. 2019. Thermally-assisted monitoring of bat abundance in an exceptional cave in Brazil's Caatinga drylands. **Acta Chiropterologica** 21(2): 411–423. <http://doi:10.3161/15081109ACC2019.21.2.016>.

PILÓ LB, AULER A. 2011. Introdução à Espeleologia. In **III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**, pp. 7-23. ICMBio/CECAV, Brasília, Brasil.

RIO DE JANEIRO. Decreto 15.793 de 04 de junho DE 1997. **Dispõe sobre a criação Rio-Diversidade – Programa de conservação das espécies raras e ameaçadas de extinção**. Disponível em: <https://institutolife.org/wp-content/uploads/2018/11/Lista-da-Fauna-Ameacada-de-Extincao-RJ.pdf>. Acessado em: 11 de maio de 2020.

ROCHA PA. 2013. **Quiropterofauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica**. Tese de doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia), Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. Paraíba.

SÃO PAULO. 2018. **Lista de espécies ameaçadas de extinção em São Paulo**. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63853-27.11.2018.html>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. SEMAD. 2010. **Lista de espécies da fauna ameaçadas de extinção de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. SEMAS. Resolução 054/2007. **Homologa a lista de espécies ameaçadas de flora e fauna do estado do Pará**. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/lista-de-esp%C3%A9cies-amea%C3%A7adas-de-extin%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.

SKET B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History** 42:1549-1563. DOI: 10.1080/00222930801995762.

TREVELIN LC, SILVEIRA M, PORT-CARVALHO M, HOMEM DH, CRUZ-NETO AP. 2013. Use of space by frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a restored Atlantic Forest fragment in Brazil. **Forest Ecology and Management** 291:136-143. DOI : 10.1016/j.foreco.2012.11.013

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA DE CAVERNAS NO BRASIL, COM ÊNFASE EM MORCEGOS

RESUMO

Ambientes subterrâneos estão entre os ecossistemas mais vulneráveis do planeta. No Brasil, a situação não é diferente e esses ambientes frequentemente se sobrepõem com áreas que experimentam forte pressão antrópica. Até 2008, a legislação brasileira determinava a necessidade de preservação e conservação integral das cavidades naturais e seu entorno como parte do patrimônio espeleológico nacional. Entretanto, os Decretos 6640/08 e 10935/22, e as IN 02/09 e IN 02/17, alteraram esta condição, determinando que cavidades naturais localizadas em áreas de interesse para o desenvolvimento de empreendimentos passem por uma classificação quanto ao seu grau de relevância, enquadrando-as em “máxima, alta, média ou baixa” relevância. Vários atributos são considerados no processo de categorização da relevância das cavernas no Brasil e ao menos dez desses atributos envolvem diretamente o grupo dos morcegos, entretanto, de forma geral, tais atributos não foram considerados satisfatórios do ponto de vista dos morcegos e carecem de revisão. Assim, tendo como base experiências internacionais de métodos utilizados para priorização de cavernas, uma proposta de protocolo para classificação de relevância de cavernas no Brasil, com foco em morcegos foi desenvolvida, enviada para apreciação de especialistas e novamente revisada e atualizada. A versão final do protocolo compreende três classes de proteção e considera os seguintes critérios: 1) Proteção Integral: presença de espécies ameaçadas, *hot caves*, e cavernas com abundância altamente excepcionais; 2) Proteção restritiva: presença de colônias maternidade e táxons novos; e 3) Proteção baseada em relevância: presença de espécies raras e riqueza. Critérios de proteção integral classificam automaticamente a caverna como de máxima relevância, critérios de proteção restritiva já seriam suficientes para classificarem as cavernas como de alta relevância, e critérios baseado em relevância são avaliados em conjuntos com demais critérios para classificar a caverna entre baixa, média ou alta relevância. Com essa proposta, esperamos contribuir para o aperfeiçoamento dos critérios adotados no processo de classificação de relevância de cavidade naturais subterrâneas praticado atualmente no licenciamento ambiental brasileiro.

Palavras-chave: Chiroptera, cavernas, conservação, licenciamento ambiental, políticas públicas.

ABSTRACT

Caves are among the most vulnerable ecosystems on the planet. In Brazil, the situation is no different and these environments often overlap with areas that experience strong anthropic pressure. Until 2008, Brazilian legislation determined the need for integral preservation and conservation of natural cavities and their surroundings as part of the national speleological heritage. However, Decrees 6640/08 and 10935/22, and IN 02/09 and IN 02/17, changed this condition, determining that, natural cavities located in areas of interest for environmental licensing undergo a classification as to their degree of relevance, framing them in “maximum, high, medium or low” relevance. Several attributes are considered in the process of caves classification of relevance in Brazil and at least ten of these attributes directly involve the group of bats, however, in general, such attributes were not considered satisfactory from the point of view of bats and need to be revised. Thus, based on international experiences of methods used to prioritize caves, a proposal of a protocol for the classification of relevance of caves in Brazil, focusing on bats, was developed, sent to experts for appreciation and again revised and updated. The final version of the protocol comprises three classes of protection and considers the following criteria: 1) Full Protection: presence of threatened species, hot caves, and caves with highly exceptional abundance; 2) Restrictive protection: presence of maternity colonies and new taxa; and 3) Relevance-based protection: presence of rare species and richness. Full protection criteria automatically classify the cave as maximum relevance, restrictive protection criteria would be enough to classify the caves as high relevance, and criteria based on relevance are evaluated in sets with other criteria to classify the cave between low, medium, or high relevance. With this proposal, we hope to contribute to the improvement of the criteria adopted in the process of caves classification of relevance currently practiced in the Brazilian environmental licensing.

Keywords: Chiroptera, caves, conservation, environmental licensing, public politics.

INTRODUÇÃO

Cavernas são ambientes naturais subterrâneos associados à ausência de luz e estabilidade nas condições de temperatura e umidade (CULVER; PIPAN, 2009), e que podem abrigar elevada biodiversidade, adaptações extremas em sua biota e alto nível de endemismo (MAMMOLA et al., 2019). Apesar dessas singularidades, em todo o planeta os ecossistemas subterrâneos têm sofrido cada vez mais os efeitos negativos da influência antropogênica (MEDELLIN; WIEDERHOLT; LOPEZ-HOFFMAN, 2017; POLAK; PIPAN, 2011; TUTTLE, 1979), sendo relativamente ainda mais vulneráveis do que outros ecossistemas (ELLIOTT, 2000; HAMILTON-SMITH; EBERHARD, 2000; MAMMOLA, et al. 2019). Entre os impactos mais comuns estão a mineração, urbanização, poluição, erosão do solo, vandalismo e degradação (ELLIOTT, 2004; MEDELLIN, 2003; MEDELLIN; WIEDERHOLT; LOPEZ-HOFFMAN, 2017; MAMMOLA; GOODACRE; ISAIA, 2019).

A situação de pressão sobre os ambientes cavernícolas não é diferente no Brasil. Com dimensões continentais, estima-se que o país abrigue mais de 310.000 cavernas e a ocorrência desses ambientes frequentemente se sobrepõe com áreas que experimentam forte pressão antrópica (AULER; PILÓ, 2011). Esta sobreposição é particularmente problemática se considerarmos a extensão e a importância econômica das atividades de setores como o agronegócio e a mineração no Brasil (SIQUEIRA-GAY; SONTER; SÁNCHEZ, 2020). Até 2008, a legislação brasileira determinava a necessidade de preservação e conservação integral das cavidades naturais e seu entorno como parte do patrimônio espeleológico nacional, e seu uso poderia ocorrer somente dentro de condições específicas, conforme o exposto no Decreto 99556/1990. Entretanto, os Decretos 6640 de 2008 e 10935 de 2022 (BRASIL, 2008, 2022), alteraram esta condição, determinando que cavidades naturais localizadas em áreas de interesse para o desenvolvimento de empreendimentos passem por uma classificação quanto ao seu grau de relevância, enquadrando-as em “máxima, alta, média ou baixa” relevância. Pela normativa vigente, até mesmo as cavernas de “máxima relevância” podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis em casos específicos, mediante licenciamento ambiental, e com algum tipo de compensação ambiental (BRASIL, 2008, 2022).

Vários atributos eram considerados no processo de categorização da relevância das cavernas no Brasil, incluindo aspectos biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob os enfoques local e regional (BRASIL, 2008; 2022). Ao menos dez desses atributos envolvem diretamente o grupo dos morcegos (BARROS et al., 2020), o que é pertinente, considerando a riqueza de espécies deste grupo e sua intrínseca relação com cavernas, mas sobretudo considerando a importância que

esses animais têm para os ambientes cavernícolas (FENOLIO et al., 2006; GNASPINI, 2012). De maneira geral, os morcegos são essenciais na manutenção da diversidade cavernícola, pois contribuem como fonte de recurso energético por meio da deposição de guano (FERREIRA; PROUS; MARTINS, 2007), permitindo a existência de toda uma cadeia trófica de invertebrados que dependem direta ou indiretamente dos recursos trazidos pelos morcegos (GNASPINI, 2012). As cavernas, por sua vez, tendem a garantir uma maior estabilidade ambiental em relação ao meio epígeo, além de proteção contra predadores, e desta maneira são consideradas bons abrigos e favorecem a interação social, reprodução e o cuidado parental para diversas espécies de morcegos (FUREY; RACEY, 2015).

O Brasil abriga uma das mais ricas faunas de morcegos do mundo, com 182 espécies registradas no país pertencentes a nove famílias (GARBINO et al. 2020; GARBINO; BRANDÃO; TAVARES, 2022). Ao menos 82 destas espécies utilizam cavernas como abrigo (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; TORRES; BICHUETTE, 2019; ver tópico 3.2 desta tese). Embora elevado, esse número tende a ser efetivamente maior considerando o grande potencial de ocorrência destes ambientes no país e pelo fato de que menos de 10% do território nacional foram minimamente amostrados para morcegos (BERNARD; AGUIAR; MACHADO, 2011; DELGADO-JARAMILLO et al. 2020).

Apesar da evidente relação entre morcegos e cavernas, poucos são os estudos que utilizam morcegos como elemento focal no processo de seleção de cavernas prioritárias para a conservação (FURMAN; OZGUL, 2002; NEUBAUM et al., 2017; PHELPS, et al., 2016; TANALGO et al., 2018). Morcegos podem – e em determinados casos devem – ser utilizados como *surrogates* ou guarda-chuvas para a proteção de cavernas. Este é o caso, por exemplo, de cavernas que abrigam espécies de morcegos ameaçadas de extinção (e.g. DELGADO-JARAMILLO; BARBIER; BERNARD, 2018; TANALGO et al., 2018), e ainda cavernas que abrigam colônias de morcegos com abundâncias excepcionalmente elevadas (ver tópico 3.1 desta tese). No caso do Brasil, a legislação já prevê que tais cavernas devem gozar de proteção, mas ainda assim permite a possibilidade de autorização de impactos negativos (BRASIL, 2008, 2022).

Embora a legislação brasileira preveja a necessidade de estudos de impacto ambiental para setores que causam impactos às cavernas – como a mineração, por exemplo (BRASIL, 1986) – e embora o país tenha um arcabouço legal que trata especificamente da proteção dos ambientes cavernícolas (BRASIL, 2008, 2022), alterações na legislação brasileira (BRASIL, 2008, 2022) e a apresentação de planos de governo para o setor mineral (BRASIL, 2020) apontam para a tentativa de flexibilização de normas e procedimentos que envolvem a proteção

das cavernas no país. Estas alterações expõem os ecossistemas cavernícolas a impactos irreversíveis, incluindo a destruição total destes ambientes (BERNARD, et al., 2012; BERNARD et al., 2021; FERREIRA et al., 2022; LANGER, 2001; MURGUIA; BRINGEZU; SCHLDACH, 2016). Adicionalmente, os critérios que consideram morcegos no processo de análise de relevância de cavernas, determinados na legislação vigente (IN 02/2017), de maneira geral não foram considerados satisfatórios do ponto de vista biológico e carecem de revisão (BARROS et al. 2020 – ver tópico 4.1 desta tese). Assim, propostas de alteração da legislação e dos critérios de classificação da relevância das cavidades brasileiras devem obrigatoriamente ser precedidas de cuidadoso debate técnico-científico, dada a importância do assunto e dos impactos decorrentes que tais alterações podem gerar.

De forma a contribuir com esta discussão, apresento aqui uma proposta de critérios a serem considerados em uma eventual revisão da Instrução Normativa 02/17 que norteia a classificação de relevância de cavernas para o Brasil. Neste processo, foi dada ênfase aos morcegos, parti das normativas já existentes para o país, e me baseei em iniciativas similares existentes em outros países, visando sintetizar uma proposta que reúne o rigor científico necessário e justificado, com a objetividade e viabilidade necessárias no processo de licenciamento ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Revisão de literatura. — De forma a melhor embasar a discussão sobre critérios de relevância de cavernas no Brasil, realizei uma revisão de diferentes métodos para priorização de cavernas utilizadas na Turquia (FURMAN; OZGUL, 2002), nos Estados Unidos (NEUBAUM et al., 2017) e nas Filipinas (PHELPS, et al. 2016; TANALGO et al., 2018), bem como também dos procedimentos adotados atualmente no Brasil (BRASIL, 2017). Os quatro estudos internacionais foram selecionados, pois, após revisão de literatura, foram os únicos estudos identificados que utilizam morcegos como foco principal para priorização de cavernas para proteção. Os métodos foram avaliados a partir de questões norteadoras, abrangendo cinco eixos principais e as informações obtidas foram sumarizadas em tabelas para melhor visualização e avaliação (Material suplementar 1 – Tabelas Suplementares 1 a 5). Os eixos considerados na análise foram 1) Legislação, 2) Aspectos Biótico, 3) Aspectos Abióticos, 4) Metodologia, e 5) Classificação (Tabelas Suplementares 1 a 5). Os critérios foram analisados quanto à objetividade e aplicabilidade.

Proposta de Protocolo para classificação de cavernas. — A partir da análise dos critérios utilizados nos estudos anteriormente realizados elaborei uma proposta de protocolo de classificação de cavernas prioritárias para conservação. Para a elaboração da proposta, além dos estudos internacionais já mencionados, foi considerada ainda uma revisão crítica com foco em morcegos da IN 02/2017, realizada por um grupo de especialistas do Brasil (BARROS et al., 2020 – ver tópico 4.1 desta tese). Nesta primeira versão foram incluídos os seguintes critérios: 1) Presença de espécies ameaçadas; 2) Presença de colônias maternidades; 3) *Hot caves*; 4) Colônias excepcionais em tamanho; 5) *Táxons* novos; 6) Riqueza; 7) Espécies Raras; 8) Abundância relativa; e 9) Critérios de vulnerabilidade.

Feedback de especialistas. — Ainda que as experiências internacionais forneçam uma boa base para determinação de critérios a serem utilizados para classificação de cavernas, é necessário que tais critérios sejam aplicados de forma coerente com a realidade das espécies de morcegos do Brasil (e.g. elevada riqueza de espécies de morcegos, elevada disponibilidade de cavernas, dimensões continentais de distribuição). Com intuito de ter a participação da comunidade técnico-científica na discussão, a primeira versão da proposta de protocolo foi encaminhada para apreciação de um total de 15 especialistas de diferentes áreas, (e.g. envolvidos com órgãos ambientais responsáveis e fiscalizadores do licenciamento ambiental, biólogos consultores e pesquisadores das áreas de quirópteros e espeleologia).

Correções, alterações e versão final do Protocolo. — Após o feedback dos especialistas e extensa revisão, elaborei uma versão atualizada do protocolo de classificação. Critérios abióticos que avaliam a influência de atividades antrópicas sobre as cavernas não possuem significativa contribuição no âmbito do licenciamento ambiental, de forma que não foram incluídos na proposta de classificação revisada. Os critérios que foram mantidos, foram adequados levando em consideração ambos os Decretos 6640/08 e 10935/22, uma vez que suas atualizações ainda estão em tramitação nas instâncias governamentais responsáveis. A determinação de aplicação de alguns critérios, nomeadamente: riqueza, populações excepcionais em tamanho e espécies raras, foi baseada em análises complementares (ver tópico 3.2 desta tese).

RESULTADOS

Experiências internacionais. — Os cinco métodos de classificação de cavernas avaliados apresentaram diferenças em todos os cinco eixos norteadores.

Legislação: Dentre os estudos avaliados, apenas o realizado nos Estados Unidos menciona legislação, resumindo as iniciativas já utilizadas pelos órgãos ambientais do país. Os estudos da Turquia e ambos os estudos nas Filipinas, são focados apenas na pesquisa científica com fins conservacionistas.

Aspectos bióticos: O estudo que mais diferiu neste aspecto foi o de Tanalgo e colaboradores (2018), realizado nas Filipinas, uma vez que considerou frequência de ocorrência, quesito não avaliado nos outros quatro métodos, e ainda mensurou espécies endêmicas e ameaçadas por meio da atribuição de *scores*, ao invés da utilização da presença ou ausência. Os países localizados em regiões temperadas (EUA e Turquia) incluíram ainda em suas avaliações os diferentes tipos de usos que os morcegos podem fazer da caverna (i.e., hibernáculo e/ou maternidade), o que para as espécies dessas regiões é bastante característico. O diferencial da IN 02/2017 (Brasil) nesse eixo é que esta norma considera também a importância ecológica das espécies e possíveis interações ecológicas duradouras, raras ou incomuns.

Aspectos abióticos: não foram considerados nas avaliações da Turquia e EUA. Nas Filipinas, Tanalgo e colaboradores (2018) consideraram critérios físicos e ambientais das cavernas que podem facilitar a influência antrópica sobre as cavernas, e conseqüentemente impactar as comunidades de morcegos, tais como acessibilidade, esforço de exploração, tamanho das entradas e os diferentes usos antrópicos possíveis para a caverna. Também nas Filipinas, o estudo de Phelps et al. (2016) baseou a priorização em características das cavernas, tanto estruturais (e.g. complexidade e tamanho) quanto em diferentes tipos de impactos e influência antrópica.

Metodologia: A maneira utilizada para coleta de dados bióticos foi semelhante em todos os estudos, com a captura dos morcegos realizada através de redes-de-neblina e puçás. Ambos os estudos realizados nas Filipinas não consideraram amostragens sazonais, enquanto os outros sugeriram a realização de pelo menos uma amostragem em cada estação. A diferença neste quesito está nos índices criados e utilizados para sumarizar a informação e transformá-la em diferentes classes de relevância. Nas Filipinas, Phelps et al. (2016) não criou índices bióticos, mas avaliou os diferentes níveis de perturbação na caverna, enquanto Tanalgo et al. (2018) utilizou um índice de potencial biótico e um índice de vulnerabilidade para compor o índice final de classificação. No Brasil, o índice gerado considera todos os atributos presentes nas cavernas avaliadas, e leva em conta as escalas local e regional. Na Turquia, o índice gerado foi apenas biótico e considerou a abundância das espécies multiplicada pelo *score* referente a seu status de conservação. Nos EUA, a avaliação foi feita considerando a porcentagem da

população local de morcegos afetada pelos impactos na caverna e com a densidade estimada de abrigos. A análise da paisagem foi levada em consideração nos EUA e nas Filipinas, entretanto apenas Phelps et al., (2016) determina uma área de influência para as cavernas (1km).

Classificação: A aplicação dos índices gerados (e.g. presença de espécies ameaçadas, vulnerabilidade a impactos, abundância) resulta na classificação final que indica a necessidade ou não de proteção das cavernas. Na Turquia a classificação é numérica, e em todos os outros países é categórica, embora nas Filipinas, Tanalgo et al., (2018) utilize classes numéricas e categóricas em sua classificação final.

Protocolo proposto para classificação de cavernas com base em morcegos. — A proposta elaborada segue a classificação determinada na legislação protetiva de cavernas do Brasil (BRASIL, 2008, 2022). Assim, a classificação final se mantém em cavernas de “Máxima, Alta, Média e Baixa” relevância (Figura 1). Entretanto adequamos os critérios de forma a compor três grandes níveis de proteção:

1) *Proteção integral* – composto por critérios que automaticamente classificam a caverna como de Máxima Relevância.

2) *Proteção restritiva* – composto por critérios que sozinhos já seriam suficientes para classificar a caverna como sendo de Alta Relevância. Tais critérios impõem proteção integral temporária, impedindo que a caverna sofra impactos negativos irreversíveis até que as restrições sejam sanadas. Para estes critérios, impactos só poderiam ser permitidos mediante a compensação com outras cavernas com as mesmas características/atributos/ espécies sem a possibilidade da aplicação de “outras formas de compensação”.

3) *Proteção baseada em relevância* – composto por critérios que, avaliados em conjunto com os demais atributos bióticos, permitem classificar a caverna em Baixa, Média ou Alta Relevância, e que podem permitir impactos negativos mediante algum tipo de compensação.

Os critérios são apresentados seguidos de sua definição (incluindo o conceito a ser explicitado na IN), uma breve justificativa e sua forma de aplicação, quando pertinente.

PROTEÇÃO INTEGRAL – Cavernas de Máxima Relevância.

Abrigo essencial para a preservação de populações de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais (BRASIL, 2022).

Contexto: É importante que o conceito desse critério na IN fique extremamente claro garantindo que apenas a presença de espécies ameaçadas constantes em listas oficiais já é suficiente para sua classificação como de Máxima Relevância. No Brasil, a atual lista vigente (MMA, 2022) considera oficialmente como ameaçadas de extinção as espécies *Furipterus horrens*, *Natalus macrourus*, *Lonchophylla dekeyseri*, e *Lonchophylla bokermanii*. Além disso, atualmente os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Bahia dispõem de listas oficiais estaduais (BARROS, et al. 2020) e, portanto, nesses estados, cavernas com a presença de espécies ameaçadas constantes nas listas estaduais também devem ser consideradas para proteção integral.

Sugestão de redação na nova IN: Cavernas com o registro de espécies ameaçadas de extinção constantes em Listas oficiais Nacional ou Estaduais de espécies da fauna ameaçadas de extinção.

Cavidade considerada abrigo essencial para manutenção permanente de congregação excepcional de morcegos, com no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos, e que tenha a estrutura trófica climática de todo o seu ecossistema modificada e condicionada à presença dessa congregação (BRASIL, 2022).

Contexto: A definição do critério foi recentemente modificada pelo Decreto 10.935/2022 e não pode ser alterada, uma vez que por prerrogativa legal o atual decreto só pode ser alterado por outro decreto ou lei. Entretanto seu conceito (explicação) na Instrução Normativa deve englobar e explicitar dois casos distintos: *Hot caves* e Colônias excepcionais em tamanho.

Sugestão de redação na nova IN: Cavernas identificadas como *hot caves* e/ou com a presença de colônias de morcegos excepcionais em tamanho.

Definições: *Hot caves* são cavernas caracterizadas por um ambiente com altas temperaturas (28°C a 40°C) geradas pelo calor emanado pelo corpo dos morcegos de algumas espécies de morcegos em altas densidades (milhares de indivíduos) (LADLE et al., 2012), ou ainda pela decomposição do guano produzido por estes morcegos. Geralmente possuem uma única entrada relativamente pequena, baixa circulação de ar, e umidade relativa maior que 90% (LADLE et al., 2012). No Brasil, tais cavernas ocorrem principalmente pela presença das espécies do gênero *Pteronotus* (ROCHA, 2013).

Colônias excepcionais em tamanho devem ser consideradas cavernas que apresentem colônias com abundância estimada, calculada ou inferida igual ou maior do que cinco vezes a média regional.

Aplicação: No caso de colônias excepcionais em tamanho, as cavernas devem ser avaliadas nos contextos local e regional. Assim, serão consideradas colônias excepcionais em tamanho, aquelas cavernas que possuem o número de indivíduos igual ou maior do que cinco vezes a média regional (ver tópico 3.2 desta tese). Nos casos em que não existam dados regionais disponíveis, a análise deve ser realizada com os dados locais. Entretanto, uma vez que tal excepcionalidade pode variar de acordo com diferentes espécies, propomos ainda a elaboração de uma base de dados contendo os dados de abundância de grandes congregações de morcegos já conhecidas no Brasil, bem como dados de monitoramentos contínuos, o que permitiria uma melhor caracterização de excepcionalidade para abundância. Tal base poderá ser realizada nos mesmos moldes da lista de espécies de morcegos do Brasil (GARBINO et al., 2020), podendo ser também idealizada e atualizada pela Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros (SBEQ).

PROTEÇÃO RESTRITIVA – critérios que sozinhos poderiam classificar a cavidade como de Alta relevância. Impedem que a caverna sofra impactos negativos irreversíveis até que certas restrições sejam sanadas. E ainda impactos só serão permitidos mediante compensação com outras cavernas com atributos equivalentes (mesma espécie), sem a possibilidade de “outras formas de compensação”.

Colônia Maternidade.

Definição: Colônia maternidade é aquela formada por fêmeas grávidas e/ou com filhotes, para o nascimento da prole ou para os cuidados pós-nascimento dos filhotes (NEUBAUM et al., 2017).

Sugestão de conceito na nova IN: Caverna com a presença de colônias maternidade composto por grupo de fêmeas grávidas e/ou com filhotes.

Aplicação: O censo de fêmeas grávidas ou com filhotes deve ser implementado como metodologia padrão e obrigatória durante todos os estudos de análise de relevância em cavidades naturais. As cavernas devem ser avaliadas em um contexto local. Assim, serão consideradas como maternidade aquelas cavernas que apresentarem o número de fêmeas grávidas e/ou com filhotes, três vezes maior do que a média local. Para as cavernas identificadas como colônias maternidade, sua proteção deve ser garantida e devem ser implementados monitoramentos de longo prazo, a fim da obtenção de informações de uso dessas cavernas e futura reclassificação, se pertinente. Em cavernas nas quais forem registradas a presença de fêmeas grávidas e/ou com filhotes em número reduzido (cavernas não identificadas como

colônias maternidade), a proteção deve ser garantida até o nascimento dos filhotes e até que estes completem seu desenvolvimento inicial, quando atingirem o momento em que são capazes de voar sozinhos, respeitando ainda os ciclos sazonais de cada espécie.

Táxons novos.

Definição: Presença de animais pertencentes a *taxa* ainda não descritos na literatura.

Aplicação: Ficam vetados impactos negativos na caverna até a descrição científica formal do *taxa* e a avaliação de seu status de ameaça.

PROTEÇÃO BASEADA EM RELEVÂNCIA - critérios que permitem a classificação das cavernas em baixa, média ou alta relevância.

Espécies raras.

Definição: Presença de espécies raras na caverna. O cálculo para avaliação de espécies raras deverá ser realizado através da razão entre a frequência de ocorrência da espécie e o número de cavernas amostradas na região:

$$\text{Índice de Raridade (IR)} = N/f$$

onde N é o número de cavernas e f é a frequência de ocorrência da espécie. Valores maiores que 4.00 indicam que a espécie é rara ou ocorre apenas em algumas cavernas (ocorrência em $\leq 25\%$ das cavernas) e valores próximos a 1.00 indicam que a espécie é comum na maioria das cavernas.

Sugestão de redação na nova IN: Presença de espécies registradas em apenas 25% ou menos das cavernas amostradas no contexto local ou regional, avaliadas conforme o tipo de uso que fazem das cavernas.

Aplicação: Deve ser avaliada nos contextos local e regional, conforme as definições de escalas estabelecidas na IN 02/17. A determinação de uma espécie rara deve levar em consideração a frequência com que as espécies ocorrem nas cavernas amostradas (TANALGO et al., 2018). Quando existirem dados disponíveis em nível regional a análise deve ser realizada com tais dados, nos casos em que não existam dados regionais disponíveis, a análise deve ser realizada com os dados locais. Cavernas com espécies raras essencialmente cavernícolas (EC) devem ser pontuadas como de alta relevância, cavernas com espécies raras usualmente cavernícolas (UC) devem ser classificadas com média relevância, e cavernas com espécies raras ocasionalmente

cavernícolas (OC) devem ser pontuadas como baixa relevância. A lista de raridade elaborada no tópico 3.2 desta tese pode ser usada como base.

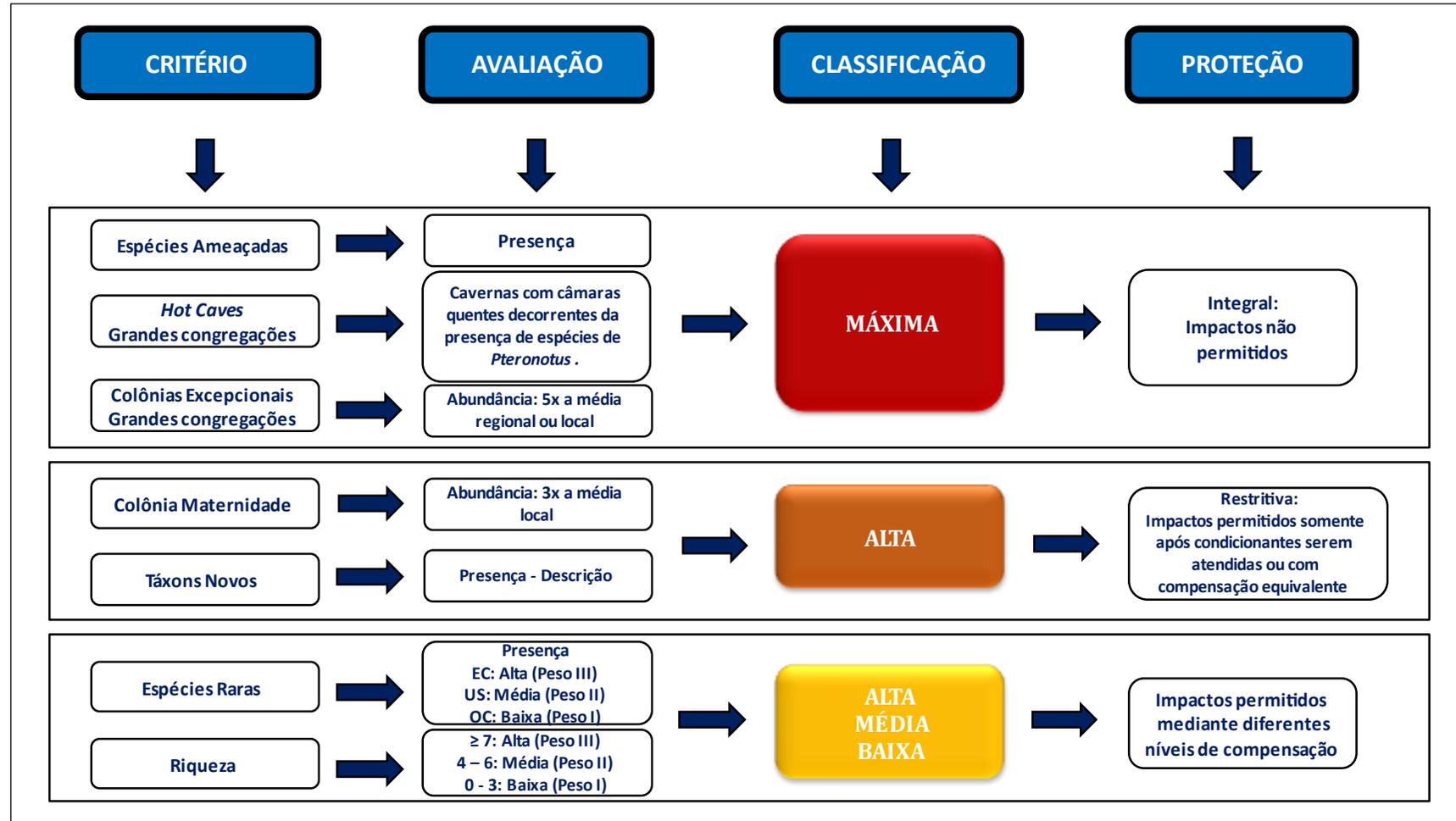
Riqueza.

Definição: Considera o número de espécies presentes na caverna, classificando-a de acordo com Guimarães e Ferreira (2014) em Baixa Riqueza (de 0 a 3 espécies), Média Riqueza (de 4 a 6 espécies), e Alta Riqueza (7 espécies ou mais).

Sugestão de redação na nova IN: Número de espécie de morcegos presentes na caverna, avaliado cumulativamente em todas as amostragens realizadas na caverna, sendo classificadas em baixa (Peso I), média (Peso II), ou alta riqueza (Peso III).

Aplicação: A riqueza de espécies de morcegos deve ser avaliada separadamente à de invertebrados. O número de espécies de morcegos deve ser obtido a partir da utilização de métodos complementares (conforme metodologias indicadas abaixo), e de forma cumulativa considerando as várias amostragens realizadas na caverna (e.g. estações seca e chuvosa). O número de espécies total deve ser classificado em baixa (Peso I - de 0 a 3 espécies), média (Peso II - de 4 a 6 espécies) e alta riqueza (Peso III - 7 espécies ou mais). Para cavernas ferríferas, cavernas com seis espécies já devem ser classificadas como possuindo alta riqueza (ver tópico 3.2 desta tese).

Figura 1. Quadro esquemático para aplicação dos critérios para classificação de relevância de cavernas com foco em morcegos. Os critérios “espécies raras” e “riqueza” serão avaliados com outros atributos bióticos da caverna que juntamente resultarão na classificação final em alta, média ou baixa relevância.



Fonte: A autora (2022).

DISCUSSÃO

Experiências internacionais.

Legislação: A principal diferença entre o Brasil e os outros países avaliados está na finalidade da criação da proposta de classificação. Os estudos realizados na Turquia, Estados Unidos e Filipinas são propostas, pautadas em experimentação científica, criadas especificamente para a classificação de prioridades para conservação dos habitats subterrâneos e dos morcegos. Esses estudos diferem entre si em resposta aos diferentes tipos de ameaças à biodiversidade a que os ambientes subterrâneos estão mais expostos em suas regiões, como a síndrome do nariz branco nos EUA (NEUBAUM et al., 2017), atividades antrópicas de exploração e caça nas Filipinas (PHELPS, et al., 2016; TANALGO et al., 2018) e urbanização e crescimento urbano na Turquia (FURMAN; OZGUL, 2002), enquanto no Brasil a Instrução Normativa 02/17 é uma norma legislativa criada especificamente para a análise de relevância das cavernas com fins de licenciamento ambiental. No entanto, o trabalho de Neubaum et al. (2017), possui objetivos semelhantes às intenções do presente estudo, de consolidar uma metodologia para classificação de cavernas para sanar lacunas das normativas nos EUA. No Brasil, todo o espaço subterrâneo é considerado parte da “União”, e, portanto, teoricamente todas as cavernas, a priori, são protegidas. Assim, os Decretos 6640/08, e 10935/22 e a IN/2017 foram estabelecidos para regulamentar as exceções, ou seja, aqueles casos em que as cavernas poderiam então sofrer algum tipo de impacto, o que só pode ocorrer posteriormente à análise de relevância e mediante o licenciamento ambiental. Porém, mesmo com a intenção de minimizar impactos, os efeitos da atual maneira como são classificadas as cavernas podem ser muito prejudiciais para a biodiversidade cavernícola (FERREIRA et al., 2022).

Aspectos bióticos: No geral, os cinco métodos possuem semelhança em suas avaliações, considerando critérios como riqueza, abundância, endemismo, status de ameaça das espécies, e presença de colônias excepcionais em número de indivíduos, diferindo apenas na maneira como avaliam estes atributos. Os critérios “importância ecológica das espécies” e “interações ecológicas duradouras” utilizados na IN 02/17 possuem uma aplicação complexa, uma vez que estes atributos carecem de melhores definições já que não há um valor estipulado para a quantidade ideal de indivíduos para que seja verificado sua importância ecológica ou como mensurar tais critérios de maneira padronizada (BARROS, et al., 2020). Assim, seguindo critérios já bem estabelecidos em iniciativas internacionais, medidas como espécies ameaçadas, riqueza, raridade e abundância podem ser trazer mais objetividade para a avaliação, quando aplicadas de maneira padronizada.

Aspectos abióticos: Os estudos nos três países avaliados, consideram variados tipos de ameaças, e por isso avaliar aspectos abióticos que podem afetar a conservação dos morcegos em cavernas é importante. Embora a IN 02/2017 não considere os impactos sobre as cavernas, já que sua principal finalidade é justamente permitir ou não a realização de impactos negativos sobre as cavernas, no processo de análise de relevância diversos atributos abióticos são analisados: geológicos, hidrológicos, físicos, cênicos, entre outros (BRASIL, 2017). Mais além, ainda que cavernas fora de áreas de licenciamento ambiental, em teoria, possuam status de proteção máximo, diversas outras alterações antrópicas podem afetar as cavernas e sua fauna associada, uma vez que sua fiscalização nem sempre é garantida. Assim, identificar vulnerabilidades e monitorar cavernas que necessitem de estratégias de conservação deve ser um exercício constante da comunidade científica e órgãos ambientais (MEDELLÍN et al., 2017).

Metodologia: Todos os estudos avaliados utilizaram metodologias clássicas semelhantes em relação à captura e coleta de dados, e em geral reconhecem a importância de amostragens sazonais. No entanto, atualmente, com o advento de novas tecnologias e a evolução dos estudos em áreas como a bioacústica (SILVA; BERNARD 2017) e contagens automatizadas (CORCORAN et al., 2021; RODRIGUES et al., 2016), a utilização de metodologias complementares é altamente indicada (ver Apêndice). De forma geral, os estudos nos três países não apresentaram um consenso ou uma metodologia padrão para valorar os critérios avaliados. Apesar disso, alguns índices mencionados nos estudos avaliados se mostraram válidos para serem aplicados na análise de relevância das cavernas no Brasil (ver tópico 4.3 desta tese). Outra questão fundamental a ser considerada em estudos para a conservação de cavernas é a proteção de sua área de entorno, bem como a determinação de áreas de influência. No Brasil, utiliza-se arbitrariamente um raio de 250 metros no entorno das cavernas, entretanto este valor foi estabelecido por legislação prévia (Portaria nº 887/90; Resolução CONAMA 347 de 10/04), e deveria ser usado apenas como medida temporária até que a real área de influência de cada caverna fosse determinada através de estudos específicos. Nas Filipinas, Phelps et al. (2016) considerou uma área de entorno de 1000 metros, no Brasil algumas espécies de morcegos, incluindo ameaçadas, já responderam positivamente a buffers de mesmo diâmetro (1km) de áreas preservadas no entorno das cavernas (BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2020), demonstrando que 250 metros, de fato, não é um valor satisfatório. Assim, estudos de influência prévios devem realmente ser parte obrigatória para delimitação da proteção das áreas de entorno nos estudos de licenciamento ambiental no Brasil.

Classificação: A forma de classificação também foi bastante variada entre os estudos, entretanto, como no Brasil, a análise de relevância considera outros atributos da caverna e a avaliação é feita a partir de escalas locais e regionais, a proposta de protocolo para classificação de cavernas, com foco em morcegos, foi pensada para se adequar à metodologia de valoração e classificação praticada no Brasil. Por fim, apenas no Brasil a possibilidade de recategorização é mencionada, sendo esta possível quando novos fatos, comprovados e decorrentes de estudos técnicos-científicos, forem apresentados e o órgão ambiental licenciador verificar a necessidade de reclassificação (BRASIL, 2022).

Protocolo proposto para classificação de cavernas com base em morcegos.

Espécies ameaçadas: Este critério é válido e já avaliado pela Instrução Normativa 02/17, no entanto, sua redação deve ser exata para evitar o uso de interpretações equivocadas, por vezes prejudiciais à conservação de espécies ameaçadas (BARROS et al., 2020, ver tópico 4.1, desta tese). Segundo a Portaria N° 148 de 7 de junho de 2022 (BRASIL, 2022) as espécies constantes na Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção gozam de prerrogativa de proteção integral, sendo proibida sua captura, transporte, armazenamento, guarda, manejo, beneficiamento e comercialização. A proteção do habitat natural, e consequentemente dos abrigos utilizados por essas espécies, atende aos requisitos legais da Política Nacional do Meio Ambiente que visa à orientação de ações para retirada das espécies das listas vermelhas. No caso de algumas espécies de morcegos ameaçadas, como *N. macrourus* e *F. horrens*, é justamente a relação com as cavernas e devido às pressões a que os ambientes subterrâneos estão submetidos que determinam seu status de ameaça (MMA, 2018). Assim todas as cavernas em que houver apenas o registro de espécies ameaçadas, estas já devem ser consideradas como um abrigo essencial.

Hot caves e colônias com abundância altamente excepcionais: A máxima importância conservacionista dessas cavernas se dá em razão de seu papel essencial na sobrevivência e manutenção das espécies, bem como pela significativa contribuição que tais populações desempenham em diversas interações ecológicas (MITTERMEIER et al., 2003). Colônias com abundâncias altamente excepcionais de indivíduos possuem importante papel ecológico no ecossistema subterrâneo, e atualmente a legislação vigente no Brasil (BRASIL, 2017, 2022), gera margem para que essas cavernas sejam desconsideradas no critério dedicado à grandes congregações, permitindo impactos negativos irreversíveis mediante compensação, o que resulta em danos incomensuráveis para tais populações (BARROS, et al., 2020). O caráter de “manutenção permanente”, citado no atual Decreto 10.935/2022, não deve ser interpretado como a presença permanente e constante dessas grandes congregações em determinada caverna.

O uso de cavernas por algumas espécies e populações de morcegos é dinâmico, sendo frequente a utilização e movimento entre mais de uma caverna (LEAL; BERNARD, 2021; OTÁLORA-ARDILA et al., 2019). Assim, manutenção permanente deve ser interpretada como uso contínuo ao longo do tempo, de forma que a proteção dessas cavernas deve ser garantida, mesmo que a população se ausente da caverna por alguns períodos. Mais além, a realização de monitoramentos de longo prazo é indicada a fim de elucidar o conhecimento sobre o uso por morcegos em ambos os casos aqui considerados. As espécies de morcegos do gênero *Pteronotus*, que podem formar colônias com milhares de indivíduos formando as *hot caves* no Brasil, dependem da estabilidade microclimática encontrada em determinadas cavernas para o seu sucesso reprodutivo (ROCHA, 2013). A interação ecológica resultante da associação dessas espécies com cavernas que apresentem essas características específicas é singular e merece proteção garantida por três razões: 1) A manutenção de populações dessas espécies com alta densidade de indivíduos altera as condições microclimáticas dentro da caverna; 2) Tais cavernas favorecem a formação de colônias excepcionais em tamanho, que por sua vez podem ainda favorecer maiores riquezas de outras espécies de morcegos (ver tópico 3.1, desta tese); e 3) As condições microclimáticas resultantes dessa associação suportam ainda uma ampla gama de invertebrados (LADLE et al., 2012). Adicionalmente, poucas cavernas no Brasil possuem as características necessárias para a formação dessas colônias tornando assim tais cavernas insubstituíveis (BARROS et al., 2020).

Colônias Maternidade: As vantagens que as cavernas proporcionam como abrigos conferindo estabilidade ambiental e proteção para os morcegos já são bem conhecidas (CHRUSZCZ; BARCLAY, 2002; FENTON et al., 1994; McCracken et al., 2006; WILLIS; BRIGHAM, 2007). Tais características são ainda mais significativas quando avaliadas do ponto de vista reprodutivo, uma vez que filhotes não possuem habilidades termoregulatórias bem desenvolvidas e se beneficiam de estar em grupo devido ao aumento do calor resultante do contato corporal direto entre eles (ZAGMAJISTER, 2019). Geralmente a disponibilidade de abrigos com condições microclimáticas ótimas para criação dos filhotes é limitada, e a formação de colônias maternidade pode favorecer diferentes espécies de morcegos (ZAGMAJISTER, 2019). Assim é comum observar ainda a fidelidade de fêmeas a abrigos favoráveis à proteção de seus filhotes até seu crescimento (LEWIS, 1995). Dessa forma, a presença de grupos de fêmeas grávidas e/ou com filhotes em determinadas cavernas pode indicar que tais abrigos são essenciais para a sobrevivência e recrutamento das novas gerações, sendo sua conservação de fundamental importância.

Taxóns novos: Esse critério já avaliado na normativa vigente, e é especialmente válido para os casos de cavernas em quais as cláusulas de sigilo, presentes no processo de licenciamento, embargam ou retardam a publicidade e descrição dos novos taxóns, e impactos negativos irreversíveis são permitidos antes da completa descrição da espécie. Porém, na prática, ao menos no que tange aos morcegos, a aplicação é falha, uma vez que muitas vezes as metodologias utilizadas nos estudos de impacto ambientais falham em acessar e diagnosticar de maneira correta a biodiversidade (DIAS et al., 2022). Além disso, tais *taxa* podem corresponder a espécies ameaçadas de extinção em algum grau, de forma que tais cavernas teriam o direito à proteção integral.

Espécies raras: Diferentes espécies possuem requerimentos específicos para a escolha de seus abrigos (BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2020). Dessa forma, espécies com ocorrência restrita podem apresentar alta seletividade para escolha de cavernas, como no caso de espécies essencialmente cavernícolas. Sendo assim, cavernas com a presença de espécies raras essencialmente cavernícolas podem apresentar características específicas que propiciam condições favoráveis à ocorrência dessas espécies, o que as qualifica como relevantes para conservação. Alguns estudos disponíveis sumarizam a informação conhecida a respeito da ocorrência de morcegos em cavernas no Brasil, sendo possível encontrar dados que podem servir de base como informação em nível regional - e.g., abundância, nível de associação com as cavernas, número de cavernas em que ocorrem, distribuição por bioma (GUIMARÃES; FERREIRA, 2014; OLIVEIRA; OPREA; DIAS, 2018; ver tópico 3.2 desta tese). Entretanto, assim como no caso de colônias excepcionais em tamanho, seria interessante a elaboração de uma base de dados de referência de espécies raras em cavernas, com dados oriundos de estudos de licenciamento ambiental, a qual poderia ser mantida e atualizada também pela SBEQ.

Riqueza: O número de espécies encontrados em uma caverna é um dado bastante objetivo e prático de ser obtido. Além disso, proteger abrigos e habitats com maiores riquezas é apontado como estratégia prioritária em várias abordagens de conservação (BARROS; BERNARD; FERREIRA, 2021; MARGULES; PRESSEY, 2000; MYERS, et al. 2000; PIPAN; DEHARVENG; CULVER, 2020). Entretanto, uma avaliação padronizada, o uso de metodologias complementares que, de fato, acessem a riqueza satisfatoriamente, e uma avaliação específica para casos especiais, como o de cavernas ferruginosas (ver tópico 4.3 desta tese), são fundamentais para uma avaliação de relevância eficaz.

CONCLUSÕES

Os critérios estabelecidos nesta proposta cobrem de maneira prática e objetiva importantes atributos a serem considerados no que diz respeito à presença de morcegos em cavernas. Entretanto, alguns pontos ainda permanecem em discussão no meio científico (e.g. qual o tamanho ideal considerado para a determinação de colônias maternidades; questões temporais do uso da caverna pelos morcegos).

As principais dificuldades encontradas para o estabelecimento de critérios satisfatórios para a conservação das espécies e para sanar as necessidades do licenciamento ambiental são decorrentes da falta de dados disponíveis a respeito das espécies, e mais ainda quando consideramos sua presença em cavernas. O Decreto 6640 de 2008 permitiu um aumento dos estudos realizados em cavernas, entretanto geralmente os dados resultantes destes estudos são de propriedade dos empreendedores e não estão ao alcance de pesquisadores e consultores, limitando assim as possíveis descobertas, discussões e comparações sobre a biologia e ecologia cavernícola em diversas escalas. Desta maneira, é de extrema importância que os órgãos ambientais atuem em parcerias com entidades científicas e pesquisadores para que os dados resultantes dos estudos de impacto ambiental, análises de relevância, e monitoramentos estejam realmente disponíveis para subsidiar o preenchimento de lacunas no conhecimento, melhorias contínuas nas análises ecológicas e ainda consequentemente nos processos regulatórios.

Além disso, torna-se necessária também a padronização das metodologias utilizadas nesses estudos, de forma que os dados resultantes possam ser comparados com estudos de outras regiões. Assim sugere-se que na próxima revisão da Instrução Normativa 02/17 diretrizes com metodologias para coleta de dados padronizadas sejam especificadas (ver Apêndice).

A IN 02/17 estabelece “*O órgão gestor do CANIE poderá credenciar, mediante os instrumentos legais de cooperação técnica, a alimentação das informações espeleológicas disponíveis no país por outras entidades.*” Baseado nisso, sugerimos ainda a realização de uma possível parceria entre o CECAV e os órgãos ambientais fiscalizadores estaduais com a Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros (SBEQ), com o intuito da criação de uma base de dados de morcegos em cavernas no Brasil, considerando os dados acurados e confiáveis obtidos em estudos no âmbito do licenciamento ambiental. As informações dos estudos de relevância e monitoramentos seriam então armazenadas neste banco de dados, que ficaria a cargo da SBEQ, e que servia como referência para os consultores e especialistas atuantes no licenciamento ambiental. A partir deste banco de dados, seria possível ainda a alimentação e futura atualização das listas de referência para os critérios aqui estabelecidos (de colônias excepcionais conhecidas por espécie, de espécies raras, colônias maternidade).

Com essa proposta, esperamos contribuir para o aperfeiçoamento dos critérios adotados no processo de classificação de relevância de cavidade naturais subterrâneas praticado atualmente no licenciamento ambiental brasileiro. Este protocolo é uma primeira versão e com uma maior quantidade de dados disponíveis deverá passar por atualizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida. Agradeço à Secretaria e Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco (PPGBA/UFPE) por todo o apoio recebido. Agradeço à Anglo American pelo financiamento, e ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN), pelo suporte logístico. Agradeço especialmente aos especialistas pelo feedback enviado: Augusto Gomes, Carla Nobre, Daniel Reis, Diego Bento, Drielle dos Santos Martins; Eder Barbier, Leonardo Dias, Lucas Rabelo, Marconi Sousa e Silva, Marília Barros, Marina Martins, Nathalia Yurika, Patrício Adriano da Rocha, Rodrigo Lopes Ferreira, Thiago Castro, seus comentários e sugestões enriqueceram grandemente a proposta.

REFERÊNCIAS

- AULER A. S.; PILÓ, L. B. Introdução à espeleologia. *In: I Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2011.
- 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, p. 31–41, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.007>
- BARROS, J. S.; GOMES, A. G.; GUIMARÃES, M. M.; DIAS-SILVA, L.; ROCHA, P. A.; TAVARES, V. C.; BERNARD, E. 2020. Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**.
- BARROS, J. S.; BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. An Exceptionally High Bat Species Richness in a Cave Conservation Hotspot in Central Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 23, n. 1, p. 233-245, 2021.
- BERNARD, E.; AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? **Mammal Review**. V. 41, n. 1. p. 23–39, 2011.
- 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, p. 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; FERREIRA, R. L.; CRUZ, F. W.; PILÓ, L.; CALUX, A. **No ano internacional das cavernas e do carste, as cavernas do Brasil estão em alto risco.** Mongabay: notícias ambientais para informar e transformar. 2021. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2021/06/no-ano-internacional-das-cavernas-e-do-carste-as-cavernas-do-brasil-estao-em-alto-risco-artigo/>. Acesso: 20 abr 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 009, de 24 de janeiro de 1986. Cria uma Comissão Especial para tratar de assuntos relativos à conservação do patrimônio espeleológico. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 07 abr. 1986. p. 4988.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 347 de 10 de setembro de 2004. Institui o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas-CANIE. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 13 set. 2004. Disponível em: <<http://www.areaseg.com/conama/2004/347-2004.pdf>>. Acesso em: 27 fev 2022.

BRASIL. Decreto Federal nº. 6.640, de 07 de novembro de 2008. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 10 nov. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso em: 27 fev 2022.

BRASIL. Instrução Normativa MMA nº. 002, de 20 de agosto de 2009. Estabelece uma metodologia específica para a determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/in%2002_mma_comentada.pdf>. Acesso em: 25 out 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lista da Fauna Brasileira ameaçadas de extinção. 2014.** Portaria Nº 444 de 17 de dezembro de 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/lista-de-especies>. Acesso em: 07 ago 2019.

BRASIL. 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.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. 2020. Programa Mineração e Desenvolvimento. Portaria MME nº 354 de 28 de setembro de 2020. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Publicado no DOU de 30.09.2020.

BRASIL. Decreto Federal nº. 10.935, de 12 de janeiro de 2022. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 12 jan. 2022.

CHRUSZCZ, B. J.; BARCLAY, R. M. R. Thermoregulatory ecology of a solitary bat, *Myotis evotis*, roosting in rock crevices. **Functional Ecology**, v. 16, n. 1, p. 18–26. 2002. doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00602.x.

CORCORAN, A. J; SCHIRMACHER, M. R; BLACK, E.; HEDRICK, T. L. ThruTracker: Open-Source Software for 2-D and 3-D Animal Video Tracking. **bioRxiv.** 2021. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.05.12.443854>.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats.** New York, Oxford University Press, 2009.

DELGADO-JARAMILLO, M.; BARBIER, E.; BERNARD, E. New records, potential distribution, and conservation of the Near Threatened cave bat *Natalus macrourus* in Brazil. **Oryx**, v. 52, n. 3, p. 579–586, 2018.

DELGADO-JARAMILLO, M.; AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; BERNARD, E. Assessing the distribution of a species-rich group in a continental-sized megadiverse country: Bats in Brazil. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 5, p. 632-643. 2020. DOI: 10.1111/ddi.13043

DIAS, A. M.; COOK, C.; MASSARA, R. L.; PAGLIA, A. P. Are Environmental Impact Assessments effectively addressing the biodiversity issues in Brazil? **Environmental Impact Assessment Review**, v. 95, 106801. 2022.

ELLIOTT, W. R. Conservation of the North American cave, and karst biota. *In*: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). **Subterranean Ecosystems**. Ecosystems of the World. Elsevier, Amsterdam, Chap. 34, pp. 665- 689, 2000.

ELLIOTT, W. R. Protecting caves and cave Life. *In*: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Eds.). **Encyclopedia of Caves**, Elsevier, Science, 2004. Pp. 458-467.

FENOLIO, D. B.; GRAENING, G. O.; COLLIER, B. A.; STOUT, J. F. Coprophagy in a cave-adapted salamander; the importance of bat guano examined through nutritional and stable isotope analyses. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, p. 439-443, 2006.

FENTON, M. B.; RAUTENBACH, I. L.; SMITH, S. E.; SWANEPOEL, C. M.; GROSELL, J.; VAN JAARVELD, J. Raptors, and bats: threats and opportunities. **Animal Behavior**, v. 48, n. 1, p. 9–18. 1994. doi: 10.1006/anbe. 1994.1207.

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.

FERREIRA, R. L.; BERNARD, E.; DA CRUZ JÚNIOR, F. W.; PILÓ, L. B.; CALUX, A.; SOUZA-SILVA, M.; ...; FRICK, W. F. Brazilian cave heritage under siege. **Science**, v. 375, n. 6586, p. 1238-1239, 2022.

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.

FURMAN, A.; ÖZGÜL, A. Distribution of cave-dwelling bats and conservation status of underground habitats in the Istanbul area. **Ecological Research**, v. 17, p. 69–77. 2002.

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: 20 jan 2022.

GARBINO, G. S., BRANDÃO, M. V.; TAVARES, V. C. First confirmed records of Godman's Long-tailed Bat, *Choeroniscus godmani* (Thomas, 1903) (Chiroptera, Phyllostomidae), from Brazil and Panama. **Check List**, V. 18, n. 3, p. 493-499, 2022.

GNASPINI, P. 2012. Guano communities. In: WHITE, W. B.; CULVIER, D. C. (Eds.). **Encyclopedia of Caves**, Elsevier, 2012, Pp. 357-364.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2 n. 4, p. 1-33, 2015.

HAMILTON-SMITH, E.; EBERHARD, S. Conservation of cave communities in Australia. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). **Subterranean Ecosystems. Ecosystems of the World**. Elsevier, Amsterdam, Chap. 33, pp. 647-664. 2000.

LADLE, R. J.; FIRMINO, J. V. L.; MALHADO, A. C. M.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Unexplored diversity and conservation potential of Neotropical hot caves. **Conservation Biology**, v. 26, p. 978–982, 2012.

LANGER W. H. **Potential environmental impacts of quarrying stone in karst—a literature review**. U.S. Geological Survey. 2001. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/ofrs/OFR-01-0484/>

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2021.

LEWIS, S.E. Roost Fidelity of Bats: A Review. **Journal of Mammalogy**. v. 76, n. 2. 1995.

MAMMOLA, S.; GOODACRE, S. L.; ISAIA, M. Climate change may drive cave spiders to extinction. **Ecography**, v. 41, n. 1, p. 233–243, 2019.

MAMMOLA, S.; CARDOSO, P.; CULVER, D. C.; DEHARVENG, L.; FERREIRA, R. L.; FIŠER, C.; ... & ZAGMAJSTER, M. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. **BioScience**, v. 69 n. 8 p. 641-650, 2019.

MARGULES, C., PRESSEY, R. Systematic conservation planning. **Nature** v. 405, p. 243–253, 2000. <https://doi.org/10.1038/35012251>

McCRACKEN, G. F.; LUMSDEN, L. F.; KUNZ, T. H. Roosting ecology and population biology. In: ZUBAID, A.; McCRACKEN, G. F.; KUNZ, T. H. (Eds.). **Functional and evolutionary ecology of bats**. New York: Oxford University Press. p. 179–184. 2006.

MEDELLIN, R. A. Diversity and conservation of bats in Mexico: research priorities, strategies, and actions. **Wildlife Society Bulletin**, v. 31, n. 1, p. 87-87, 2003.

MEDELLÍN, R. A.; WIEDERHOLT, R.; LOPEZ-HOFFMAN, L. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. **Biological Conservation**, v. 211, p. 45–50, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2022. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria MMA nº 148 de 7 de junho de 2022. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Publicado no DOU de 07.06.2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 20/07/2022.

MITTERMEIER R. A.; GIL, P. R.; BROOKS, T.; HOFFMANN, M.; KONSTANT, W. R.; FONSECA, G. A. B.; MAST, R.B.; **Wildlife spectacles**. CEMEX-Agrupación Sierra Madre-Conservation International. Mexico, 2003.

MURGUIA, D. I.; BRINGEZU, S.; SCHALDACH, R. Global direct pressures on biodiversity by large-scale metal mining: spatial distribution and implications for conservation. **Journal of environmental management** v. 180, p. 409-420, 2016. doi:10.1016/j.jenvman.2016.05.040

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NEUBAUM, D. J.; NAVO, K. W.; SIEMERS, J. L. Guidelines for Defining Biologically Important Bat Roosts: A Case Study from Colorado. **Journal of Fish and Wildlife Management**, v. 8, n. 1, p. 272-282. 2017.

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, 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.

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, p. 201–209, 2016.

PIPAN, T.; DEHARVENG, L.; CULVER, D. C. Hotspots of Subterranean Biodiversity. **Diversity**. v. 12, n. 5, p. 209, 2020. <https://doi.org/10.3390/d12050209>.

POLAK, S.; T. PIPAN. Subterranean habitats and fauna, their threats and conservation. Pp. 23–32, *In: Pressures and protection of the underground karst: cases from Slovenia and Croatia* (M. PRELOVŠEK and N. Z. HAJNA, eds.). Postojna, Karst Research Institute ZRC SAZU, 2011. P.p. 192.

ROCHA, P. A. **Quiroptero fauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica**. Tese. (Doutorado em Ciências Biológicas – Zoologia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

RODRIGUES, E.; TEIXEIRA, J. M.; TEICHRIEB, V.; BERNARD, E. Multi-objective Tracking Applied to Bat Populations. *In: 2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality* (SVR), Gramado, 2016, p. 155. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7517269>

SILVA C. R.; BERNARD E. Bioacoustics as an important complementary tool in bat inventories in the Caatinga drylands of Brazil. **Acta Chiropterologica** v. 19, n. 2, p. 409–418. 2017.

SIQUEIRA-GAY, J.; SONTER, L. J.; SÁNCHEZ, L. E. Exploring potential impacts of mining on forest loss and fragmentation within a biodiverse region of Brazil's northeastern Amazon. **Resources Policy**, V. 67, 101662, 2020.

TANALGO K. C; TABORA J. A. C; HUGHES A. C. Bat cave vulnerability index (BCVI): A holistic rapid assessment tool to identify priorities for effective cave conservation in the tropics. **Ecological Indicators**, v. 89, p. 852-860, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.064>

TORRES, D. F.; BICHUETTE, M. E. Morcegos cavernícolas depositados na Coleção Científica do Laboratório de Estudos Subterrâneos, UFSCar. **Espeleo -Tema**. v.29, n.1, p. 105-119, 2019.

TUTTLE, M. D. Status, causes of decline, and management of endangered gray bats. **The Journal of Wildlife Management**, 1-17, 1979.

WILLIS, C. K. R.; BRIGHAM, R. M. Social thermoregulation exerts more influence than microclimate on forest roost preferences by a cavity dwelling bat. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 62, n. 1, p. 97–108. 2007. doi: 10.1007/s00265-007-0442-y.

ZAGMAJSTER, M. Bats. *In*: CULVER, D. C., WHITE, W. B. (Eds.). **The Encyclopedia of Caves**. Elsevier Science, Amsterdam, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00013-3>.

MATERIAL SUPLEMENTAR 1 – Tabelas com questões norteadoras referentes aos eixos Legislação, Atributos Bióticos, Atributos Abióticos, Metodologia Aplicada e Classificação.

Tabela Suplementar 1. Questões norteadoras para avaliação de métodos utilizados para seleção de cavernas prioritárias, referentes à legislação.

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Envolve alguma legislação específica?	Sim	Sim	Não	Não	Não
Se sim, qual?	Decreto 99.556/1990; Decreto 6.640/2008; Decreto 10.935/22 IN02/2017	Proibições e restrições no acesso a cavernas (Serviço Florestal 2010; 2013)	NA	NA	NA
É mandatória?	Sim	Sim	Não	Não	Não
A proposta de classificação é utilizada em processos regulatórios?	Sim	Não	Não	Não	Não
Qual a escala de abrangência?	Nacional	Nacional	Nacional	Regional	Nacional

Tabela Suplementar 2. Questões norteadoras para avaliação de métodos utilizados para seleção de cavernas prioritárias, referentes à atributos bióticos.

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Considera Riqueza?	Sim	Não especificado	Sim	Sim	Sim
Considera Abundância?	Sim	Sim	Sim	Sim	sim
Considera Abundância relativa?	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Se sim, como é mensurada?	Considera para cálculo de diversidade (equitabilidade)	Calculada a partir da parcela da população afetada por determinado impacto (WNS, por exemplo)	Calculada a partir da razão entre a abundância da espécie em determinada caverna (n) e a média de abundância da espécie em todas as cavernas (N) da região: (n/N)	NA	NA
Considera Frequência de Ocorrência?	Não	Não	Sim	Não	Não
Se sim, como é mensurada?	NA	NA	Através de um índice que representa a relação entre as espécies e as cavernas (site=n° cavernas/frequência de ocorrência das espécies)	Na	NA
Considera grandes congregações?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não especificado
Considera Diversidade?	Sim	Não especificado	Não especificado	Sim	Não especificado
Considera Endemismo?	Sim	Não especificado	Sim	Não especificado	Não

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Se sim, como é mensurado?	Presença de espécies endêmicas	NA	Através de scores definidos para diferentes categorias de endemismo: 2 - não endêmico; 3 - regionalmente endêmico; 4 - Endêmico no país; 5 - restrito a uma ou poucas localidades, ou deficiente em dados.	NA	NA
Considera status de conservação das espécies?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Se sim, como é mensurado?	Presença	Presença	Através de um score para cada status: preocupantes; 3 - espécies pouco preocupantes, mas com populações em decréscimo; 4 - Espécies endêmicas e vulneráveis; 5 - Em perigo; 6 - Criticamente ameaçada, quase extinto; deficiente em dados.	Presença	NA
Considera usos específicos para diferentes famílias/ espécies?	Não	Sim	Não	Sim	Não

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Se sim, quais?	NA	Hibernáculo: Possui estabilidade microclimática, que impede temperaturas congelantes, mas é frio o suficiente para que os morcegos entrem em torpor nos períodos de recursos limitados; Maternidade: possui temperaturas aconchegantes no começo do verão para criação dos filhotes; Abrigos de transição: usados na primavera e outono na transição entre o hibernáculo e a maternidade; Abrigo para "solteiros": colônias formadas apenas por machos, usados no verão; Abrigos para grandes congregações usados no outono (swarming).	NA	Hibernáculo; Maternidade; Swarming	NA
Considera uso sazonal do abrigo pelas espécies?	Não	Sim	Não	Sim	Não
Considera interações ecológicas?	Sim	Não	Não	Não	Não
Se sim, quais?	Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico-evolutivo.	NA	NA	NA	NA

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Considera importância ecológica dos morcegos?	Sim	Não	Não	Não	Não
Considera sinais indiretos?	Não especificado	Sim	Não	Não especificado	Não especificado

Tabela Suplementar 3. Questões norteadoras para avaliação de métodos utilizados para seleção de cavernas prioritárias, referentes à atributos abióticos.

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman and Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Considera Acessibilidade?	Não	Não	Sim	Não	Não
Se sim, como é mensurada?	NA	NA	Através de scores determinados para diferentes níveis: 1 - Fácil acesso, autorização não necessária; 2 - Acesso não permitido, necessário veículo; 3 - Difícil acesso, necessita de permissão para entrada. 4 - Entrada permitida, porém acesso apenas andando por mais de um dia.	NA	NA
Considera tamanho da caverna?	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Considera esforço de exploração?	Não	Não	Sim	Não	Não
Se sim, como é mensurado?	NA	NA	1- Fácil de explorar; 2 - Fácil de explorar, mas com mínimo de obstáculos; 3 - Difícil de explorar, mas não necessita de habilidades especiais; 4 - Muito Difícil, necessita de técnicas para exploração.	NA	NA
Considera tamanho das entradas?	Não	Não	Sim	Não	Não
Se sim, como são mensuradas?	NA	NA	1 - Duas ou mais pessoas conseguem entrar ao mesmo tempo; 2 - Apenas uma pessoa consegue entrar de cada vez; 3 - Difícil de entrar; 4 - Muito difícil, entradas apertadas e caverna apertada.	NA	NA

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman and Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Considera número de entradas?	Não	Não	Não	Não	Sim
Considera Complexidade?	Não	Não	Não	Não	Sim
Se sim, como é mensurado?	NA	NA	NA	NA	Divide se o comprimento total da caverna pelo maior comprimento entre duas estações.
Considera Presença de água?	Sim	Não	Não	Não	Sim
Considera diferentes impactos da caverna?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Quais?	Instalação e Operação para empreendimentos (mineração, rodovias.)	Impactos que possam afetar a população local de morcegos (turismo e a disseminação do fungo da WNS)	Turismo, Mineração, Caça, Ruídos no interior, Presença de estruturas Religiosas	NA	Caça aos morcegos, mineração, vandalismo, turismo.

Tabela Suplementar 4. Questões norteadoras para avaliação de métodos utilizados para seleção de cavernas prioritárias, referentes à metodologia aplicada.

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Considera amostragens estacionais?	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Se sim, quantas?	Pelo menos em cada estação (seca e chuva)	Em múltiplas estações (primavera, verão, outono e inverno)	NA	Pelo menos uma em cada estação (verão, inverno)	NA
Considera captura e coleta de espécimes?	Sim	Não especificado	Sim	Sim	Sim
Se sim, por qual metodologia?	Os procedimentos de levantamento faunístico devem seguir métodos consagrados ou de eficácia comprovada cientificamente.	NA	Captura com redes de neblina e contagem direta dos morcegos	Captura com rede de mão ou direto com as mãos	Redes de Neblina
Gera algum índice biótico?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Qual?	Leva em consideração toda a fauna cavernícola presente: Peso x Contribuição. Ao peso é atribuído um valor de 3 pela presença do atributo e a contribuição é a porcentagem de quanto o atributo representa (pode variar 15%, 20%, 30%).	"Escopo do Abrigo" - Porcentagem da população local das espécies de morcegos afetada por algum impacto: Insignificante (<5%), Baixa (5 a 20%), Moderada (21 a 60%), e Alta (>60%)	BP = Somatória dos escores de cada espécie e a riqueza; (Score da espécie = Ab. * A.rel. * End * Cons. * site)	Em cada caverna, cada espécie tem sua abundância multiplicada por seu score de conservação (4 para espécies ameaçadas - vulneráveis, e 2 para não ameaçadas).	Não
Se sim, em qual a escala?	Local: considera unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial; Regional: considera unidade espeleológica	Considera a população local de morcegos	Local	NA	NA

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Gera algum índice abiótico?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Se sim, qual?	Leva em consideração vários aspectos abióticos da caverna (hidrológicos, geológicos): Peso X Contribuição	Densidade estimada de abrigos disponíveis na área de abrangência da população local: baixa, média e alta	BV = Somatória das ameaças avaliadas/ pela razão entre as ameaças avaliadas e presentes ($\sum N/N^\circ$)	NA	Índice de perturbações baseado em scores: 0= sem distúrbios, 1= localizado e não severo, 2 = alta perturbação e bem distribuída, 3 = severamente perturbado
Qual a escala?	Local, regional	Local	Local, regional	NA	Caverna e paisagem
Estabelece área de influência?	Não	Não	Não	Não	Sim
Se sim, qual?	NA	NA	NA	NA	1km
Considera análise de paisagem?	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Se sim, como é mensurada?	NA	Qual tipo de matriz em que a caverna se encontra.	Através de scores para os impactos no entorno das cavernas. 1 - Todos os impactos estão presentes nas proximidades da entrada da caverna: plantações de monocultura, mineração, desmatamento; 2 - O uso da terra é mínimo, pouco foi convertido para agricultura; 3 - Uso da terra é presente, mas muito distante das entradas das cavernas; 4 - Sem uso da terra no entorno.	NA	Através de porcentagem de área do entorno, considera área não florestada, quantidade de residências e tamanho das estradas no entorno das cavernas.
Gera índice final?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Se sim, qual?	Considera a somatória dos índices parciais de cada atributo (Peso x Contribuição), para selecionar os que ultrapassam 90 (valor minimamente significativo). E define as importâncias: baixa, significativa e acentuada sob os níveis local e regional de acordo com o número de atributos significativos	NA	BCVI = (BP) (BV)	A soma dos scores de todas as espécies presentes na caverna	NA

Tabela Suplementar 5. Questões norteadoras para avaliação de métodos utilizados para seleção de cavernas prioritárias, referentes à classificação e prioridade.

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
A classificação final é numérica?	Não	Não	Sim	Sim	Não
Se sim, qual a escala?	NA	NA	<p>Índice Biótico: Nível 1 (Acima de 100.0000) - alta riqueza, relativamente as maiores populações, com muitas espécies endêmicas e ameaçadas com espécies raras presentes; Nível 2 (60.000 a 100.000) - cavernas prováveis à ter alta riqueza, grandes congregações, pode conter espécies raras e endêmicas ou ameaçadas; Nível 3 (20.000 a 59.000) - caverna provável de ter algumas espécies, poucas populações, maioria das espécies comuns; Nível 4 (Abaixo de 20.000) - Poucas espécies, pequenas populações, espécies comuns e pouco preocupantes.</p> <p>Índice Abiótico: Nível A: (1 a 1.99) - Grande acessibilidade, e com altas perturbações; Nível B (2 a 2.99) - Pouco acessível, mas com alguma perturbação distante; Nível C (3 a 3.99) - Pouco acessível e menos susceptível a perturbação; Nível D (> 4) – Não acessível, sem perturbações.</p>	<p>Nível 1 - Cavernas mais importantes necessitam de um controle de acesso formal (>10.000); Nível 2 – Cavernas muito importantes, o acesso em estações críticas deve ser evitado (> 1000 até 10.000); Nível 3 - Cavernas de baixa prioridade, utilizada por populações pequenas (> 100 até 1000); Nível 4 - Muito baixa prioridade, usada por apenas alguns morcegos e não necessitam de controle de acesso (até 100).</p>	NA
A classificação final é categórica?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Questões	MMA, IN 02/2017	Neubaum et al., 2017	Tanalgo et al., 2018	Furman; Ozgul, 2002	Phelps et al., 2016
	Brasil	EUA	Filipinas	Turquia	Filipinas
Se sim, quais as categorias?	Com exceção da Relevância Máxima (definida diretamente pela presença de algumas características especiais), a classificação combina as importâncias: acentuada, significativa e baixa em nível local e regional para definir as relevâncias: Alta, Média e Baixa. Alta relevância: Acent. reg. + Acent. loc. ou Sign. reg. + Acent. Loc.; Média Relevância: Sign. Reg. + Sign. Loc. ou baixa reg. + Acent. Loc.; Baixa Relevância: Baixa reg. + Sign. Loc. ou baixa reg. + baixa loc.	Biologicamente importante ou não.	1A, 1B, e 2A - Alta prioridade; 2B até 3D - Prioridade média; 4 A - D - Baixa prioridade	NA	Programa 1: cavernas com altos scores negativos em distúrbios na superfície, Programa 2: cavernas com altos scores para complexidade, e Programa 3: uma combinação entre o 1 e o 2.
A classificação final pode ser alterada posteriormente?	Sim	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Se sim, mediante quais condições?	Com a reavaliação das características das cavernas e alguma mudança nos atributos presentes.	NA	NA	NA	NA

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

A presente tese teve como foco central a ecologia e conservação de morcegos cavernícolas no Brasil, com intuito principal de contribuir para melhorias de políticas públicas relacionadas ao licenciamento ambiental espeleológico brasileiro.

A partir do componente ecológico, foi demonstrado que a riqueza de espécies de morcegos em cavernas com grandes colônias é associada à sua estabilidade ambiental. A abundância, por sua vez, foi correlacionada com o tamanho das cavernas, com a variação de temperatura e com a riqueza. As espécies apresentaram seleção por características diferentes, destacando-se *Pteronotus gymnotus*, com a estabilidade, e *Carollia perspicillata*, *Diphylla ecaudata* e *Natalus macrourus* que demonstraram respostas diferentes à temperatura média. Analisando esses resultados como um todo, foi possível perceber que as espécies do gênero *Pteronotus* desempenham um papel importante na dinâmica de riqueza e ocupação das outras espécies dentro dessas cavernas. Espécies do gênero *Pteronotus* selecionam cavernas mais estáveis para formar grandes colônias. A concentração de milhares de indivíduos desses mormoopídeos aumenta a temperatura da caverna, gerando um gradiente de microclimas disponíveis no interior, o qual favorece a presença de um maior número de espécies que geralmente irão se abrigar em diferentes regiões do gradiente ambiental gerado no interior da caverna (mantido pela estabilidade da caverna), como o que foi observado para as espécies que responderam à temperatura média. Tais resultados reforçam o papel de *P. gymnotus* e *P. personatus* como espécies integralistas e espécie-chave para esses ecossistemas. Além disso, indicamos que essas espécies poderiam ainda ser consideradas como espécies guarda-chuva, já que estratégias conservacionistas direcionadas para ambas protegeriam também diversas outras espécies de morcegos, bem como os ecossistemas cavernícolas.

Além disso, avaliando ecologicamente uma escala macro foi possível observar a relação entre a riqueza de morcegos e a litologia das cavernas, com cavernas carbonáticas apresentando um maior número de espécies em relação a cavernas ferríferas. A raridade das espécies de morcegos pode ser avaliada a partir de sua frequência de ocorrência e nível de associação com as cavernas, sendo possível demonstrar algum nível de raridade para determinadas espécies essencialmente cavernícolas e usualmente cavernícolas. E finalizando o componente ecológico, avaliar abundâncias elevadas de morcegos em cavernas utilizando 5x a média regional do número de indivíduos da espécie nas cavernas

se mostrou um método potencial para determinar alta abundâncias sem superestimar espécies comuns e valorizar espécies associadas as cavernas, embora esse ainda seja uma maneira preliminar e que carece mais testes e amostragens padronizadas em sua aplicação.

No que diz respeito à conservação, os principais objetivos foram identificar as falhas e lacunas existentes na legislação brasileira espeleológica sob a perspectiva dos morcegos (Tópico 4.1), propor soluções para os problemas encontrados (4.2). Neste sentido, destaca-se o protocolo de classificação de relevância de cavernas proposto, que se aplicado no licenciamento ambiental poderá contribuir de sobremaneira para uma análise de relevância mais precisa e protetiva, ao menos no que tange aos morcegos.

Os resultados obtidos nos manuscritos ecológicos suportam os critérios definidos no protocolo de classificação de relevância de cavernas, de forma que os três manuscritos se complementam.

Entretanto o conhecimento atual sobre os morcegos cavernícolas no Brasil ainda é escasso, sendo importante que os resultados decorrentes de licenciamento sejam mais amplamente divulgados. Além disso, outra necessidade destacada é a padronização de metodologias utilizadas em diferentes estudos, a qual se faz essencial para que os testes realizados possam ser comparados de fato, de forma que foi incluído ainda nesta tese um Apêndice que trata de metodologias recomendadas para o estudo e monitoramento de morcegos em cavernas.

Por fim, recomenda-se para os órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental:

- A utilização do protocolo de classificação de cavernas proposto (Tópico 4.2), como base para futuras possíveis atualizações da Instrução Normativa 02/17 e legislação protetiva de cavernas;
- A determinação de metodologias padronizadas para a realização das amostragens de morcegos em cavernas em estudos ambientais, considerando o uso de metodologias complementares;
- A atualização efetiva e obrigatória dos dados obtidos em estudos ambientais no CANIE (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas). E a implementação de uma cooperação técnica com a Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros para criação de uma base de dados de morcegos cavernícolas com informações decorrentes dos estudos ambientais e sua contínua manutenção.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. S.; BUENO-ROCHA, I. D.; OLIVEIRA, G.; PIRES, E. S.; VASCONCELOS, S.; NUNES, G. L.; FRIZZAS, M. R.; TOGNI, P. H. B. Going out for dinner—The consumption of agriculture pests by bats in urban areas. **PLoS ONE** v. 16, n. 10 p. e0258066. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258066>
- ALTRINGHAM, J. D. **Bats: Biology and Behaviour**. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- 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, p. 693–702, 1993.
- ARITA, H. T. The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. **Biological Conservation** v. 76, p. 177–185. 1996.
- AULER, A.; FARRANT, A. R. A brief introduction to karst and caves in Brazil. **Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society**, v. 20, n. 3, p. 187-200, 1996.
- AULER A. S.; PILÓ, L. B. Introdução à espeleologia. *In: I Curso de espeleologia e licenciamento ambiental*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 7-23, 2011.
- AULER, A. S, PILO, L. B. Caves and Mining in Brazil: The Dilemma of Cave Preservation Within a Mining Context. *In: ANDREO, B.; CARRASCO, F.; DURÁN, J. J.; JIMÉNEZ, P.; LAMOREAUX, J. W. (Eds.). Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst*. Springer Berlin Heidelberg; 2014. p. 487±96. (Environmental Earth Sciences; vol. 1). http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17435-3_55
- AULER A. S.; PILÓ, L. B. Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica. 2019. *In: CRUZ, J. B; PILÓ, L. B (Org.). Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. 265 p., 2019.
- ÁVILA-FLORES, R.; MEDELLÍN, R. A. Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. **Journal of Mammalogy**, v. 85, p. 675–687, 2004. <https://doi.org/10.1644/BOS-127>
- 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, p. 31–41, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.007>
- BARROS, J. S.; BERNARD, E.; FERREIRA, R. L. An exceptionally high bat species richness in a cave conservation hotspot in Central Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 23, n. 1, p. 233-245, 2021.

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, p. 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.

BOYLES, J. G.; CRYAN, P. M.; MCCracken, G. F.; KUNZ, T. H. Economic importance of bats in agriculture, **Science**, v. 332, n. 6025, p. 41-42, 2011.

BRASIL. Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <[HTTP://WWW.PLANALTO.GOV.BR/CCIVIL_03/LEIS/L6938.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 009, de 24 de janeiro de 1986. Cria uma Comissão Especial para tratar de assuntos relativos à conservação do patrimônio espeleológico. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 07 abr. 1986. p. 4988.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 005, de 06 de agosto de 1987. Aprova o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 22 out. 1987. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res87/res0587.html>>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Portaria IBAMA nº. 887, de 15 de junho de 1990. Promover a realização de diagnóstico da situação do patrimônio espeleológico nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 20 jun. 1990. Disponível em: <<http://faolex.fao.org/docs/pdf/bra13002.pdf>>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Decreto Federal nº. 99.556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 02 out. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D99556.htm>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 347 de 10 de setembro de 2004. Institui o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas-CANIE. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 13 set. 2004. Disponível em: <<http://www.areaseg.com/conama/2004/347-2004.pdf>>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Decreto Federal nº. 6.640, de 07 de novembro de 2008. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 10 nov. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso em: 27/02/2022.

BRASIL. Instrução Normativa MMA nº. 002, de 20 de agosto de 2009. Estabelece uma metodologia específica para a determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/in%2002_mma_comentada.pdf>. Acesso em: 25/10/2018.

BRASIL. Portaria MMA nº. 358, de 30 de setembro de 2009. Cria o Programa de Proteção ao Patrimônio Espeleológico. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 30 set 2009. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id5121.htm>>. Acesso em: 27/10/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa N° 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.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. 2020. Programa Mineração e Desenvolvimento. Portaria MME nº 354 de 28 de setembro de 2020. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Publicado no DOU de 30.09.2020.

BRASIL. 2022a. Decreto Federal nº. 10.935, de 12 de janeiro de 2022. Relevância de cavernas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 12 jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2022b. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria MMA nº 148 de 7 de junho de 2022. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Publicado no DOU de 07.06.2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 20/07/2022.

BROOKE, A. P. Diet of the Fishing Bat, *Noctilio leporinus* (Chiroptera: Noctilionidae). **Journal of Mammalogy**, v. 75, n. 1, p. 212–218, 1994. <https://doi.org/10.2307/1382253>

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

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

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Anuário Estatístico do patrimônio Espeleológico Brasileiro**. Brasília, DF: MMA. 2021. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Anuario/CECAV_-_Anuario_estatistico_espeleol%C3%B3gico_2021.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

CARVALHO, F.; BÔLLA, D. A. S.; MIRANDA, J. M. D.; ZOCHE, J. J. Deslocamentos de morcegos frugívoros (Chiroptera, Phyllostomidae) em diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica, no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n. 2, p. 78-82, 2017.

CHRUSZCZ, B. J.; BARCLAY, R. M. R. Thermoregulatory ecology of a solitary bat, *Myotis evotis*, roosting in rock crevices. **Functional Ecology**, v. 16, n. 1, p. 18–26. 2002. doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00602.x.

- COOPER L. N.; SEARS K.E. How to grow a bat wing. *In*: ADAMS, R.; PEDERSON, S. (Eds.). **Bat evolution, ecology, and conservation**, Springer, New York, 2013. Pp 3-20.
- CRAMER, M. J.; WILLIG, M. R.; JONES, C. *Trachops cirrhosus*. **Mammalian Species**, n. 656, p. 1-6, 2001.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. New York, Oxford University Press, 2009.
- 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.
- DEDHPANDE, K.; KELKAR, N. How do fruit bat seed shadows benefit Agroforestry? Insights from local perceptions in Kerala, Índia. **Biotropica**, v. 47, n.6, p. 654-659, 2015.
- DE LA CRUZ, J. Bioecología de las grutas de calor. **Mundos Subterráneos**, v. 3, n., p. 7-22, 1992.
- DI LORENZO, T.; DI MARZIO, W. D.; SPIGOLI, D.; BARATTI, M.; MESSANA, G.; CANNICCI, S.; GALASSI, D. M. Metabolic rates of a hypogean and an epigeian species of copepod in an alluvial aquifer. **Freshwater Biology**, v. 60, n., p. 426–435, 2015.
- ENRÍQUEZ-ACEVEDO, T.; PÉREZ-TORRES, J.; RUIZ-AGUDELO, C.; SUAREZ, A. Seed dispersal by fruit bats in Colombia generates ecosystem services. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 40, n. 6, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00645-0>
- 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.; RAUTENBACH, I. L.; SMITH, S. E.; SWANEPOEL, C. M.; GROSELL, J.; VAN JAARVELD, J. Raptors, and bats: threats and opportunities. **Animal Behavior**, v. 48, n. 1, p. 9–18. 1994. doi: 10.1006/anbe. 1994.1207.
- FENTON, M. B. Evolution of Echolocation. *In*: ADAMS, R.; PEDERSON, S. (Eds.) **Bat evolution, ecology, and conservation**, Springer, New York, 2013. Pp 47-70.
- FENTON, M. B.; GRINNELL, A. D.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. **Bat Bioacoustics**, Springer, 2016, v. 54.
- 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.
- FERREIRA R. L. Guano communities. *In*: WHITE, W. B.; CULVER, D. C.; PIPAN, T. (Eds.). **Encyclopedia of caves**. 3rd ed. Academic Press, Cambridge; p. 474-484, 2019.
- FERREIRA, R. L.; BERNARD, E.; DA CRUZ JÚNIOR, F. W.; PILÓ, L. B.; CALUX, A.; SOUZA-SILVA, M.; ...; FRICK, W. F. Brazilian cave heritage under siege. **Science**, v. 375, n. 6586, p. 1238-1239, 2022.

FLEMING, T. H. Opportunism versus specialization: the evolution of feeding strategies in frugivorous bats. *In*: ESTRADA, A.; FLEMING, T. H. (Eds.). **Frugivores and seed dispersal**. Tasks for vegetation science, v. 15. Dordrecht: Springer, 1986. p. 105-118.

FLEMING, T. H.; GEISELMAN, C.; KRESS, W. J. The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. **Annals of Botany**, v. 104, n. 6, p. 1017-1043, 2009.

FRICK, W. F.; KINGSTON, T.; FLANDERS, J. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. **Annals of the New York Academy of Sciences** v. 1469, p. 5–25, 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.

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: 20 jan 2022.

GARBINO, G. S., BRANDÃO, M. V.; TAVARES, V. C. First confirmed records of Godman's Long-tailed Bat, *Choeroniscus godmani* (Thomas, 1903) (Chiroptera, Phyllostomidae), from Brazil and Panama. **Check List**, V. 18, n. 3, p. 493-499, 2022.

GARDNER, A. L. Feeding habits. *In*: BAKER, R. J.; JONES JR., J. K.; CARTER, D. C. (Eds.). **Biology of Bats of the New World Family Phyllostomidae, Part II**. Special Publications the Museum Texas Tech University. Lubbock: Texas Tech Press, 1977. p. 293 350.

GOERLITZ H.R.; TER HOFSTEDÉ, H. M.; ZEALÉ M. R. K.; JONES, G.; HOLDERIED M. W. An aerial hawking bat uses stealth echolocation to counter moth hearing. **Current Biology** v. 20, p. 1568–1572. 2010.

GUTIÉRREZ, F.; PARISE, M.; DE WAELE, J.; JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth-Science Reviews**, v.138, p.61 – 88, 2014.

GREENHALL, A. M.; JOERMANN, G.; SCHMIDT, U.; SEIDEL, M. R. *Desmodus rotundus*. **Mammalian Species**, n. 202, p. 1-6, 1983.

GREENHALL, A. M.; SCHMIDT, U.; JOERMANN, G. *Diphylla ecaudata*. **Mammalian Species**, n. 227, 1984, p. 1–3, <https://doi.org/10.2307/3504022>.

GREENHALL, A. M.; SCHUTT, W. A. *Diaemus youngi*. **Mammalian Species**, n. 533, p. 1- 7, 1996.

GRIBEL, R.; HAY, J. D. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in central Brazil, Cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, n. 2, p. 199-211, 1993.

GRIFFIN, D. R.; GALAMBOS, R. The sensory basis of obstacle avoidance by flying bats. **Journal of Experimental Zoology**, v. 86, n. 3, p. 481-506, 1941.

HERNÁNDEZ-AGUILAR, I.; SANTOS-MORENO, A. Reproduction, and population dynamics of cave-dwelling bats in Costa of Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 68, n. 3, p. 785-802, 2020.

HOLLAND R. A.; WATERS D. A.; RAYNER J. M. V. Echolocation signal structure in the megachiropteran bat *Rousettus aegyptiacus* Geoffroy 1810. **Journal of experimental biology** v. 207, p. 4261–4369, 2004.

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.

HUTCHEON, J. M.; KIRSCH, J. A.; PETTIGREW, J. D. Base-compositional biases, and the bat problem. III. The question of microchiropteran monophyly. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences**, v. 353, n. 1368, p. 607-617, 1998.

ITO, F.; BERNARD, E.; TORRES, R. A. What is for dinner? First report of human blood in the diet of the hairy-legged vampire bat *Diphylla ecaudata*. **Acta Chiropterologica**, v. 18, n. 2, p. 509-515, 2016.

JAFFE, R.; PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I.V.; SIQUEIRA, J. O. Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: A quantitative baseline to help establish conservation priorities. **PLoS ONE**, v. 11, n. 12, p. 1–16, 2016.

JONES, G.; TEELING, E. The evolution of echolocation in bats. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 3, p. 149-156, 2006.

KALKO, E. K. V.; SCHNITZLER, H. U. The echolocation and hunting behavior of Daubenton's bat, *Myotis daubentoniid*. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 24, p. 225–238, 1989.

KALKO, E.; HANDLEY, C.; HANDLEY, D. Organization, diversity, and long-term dynamics of a neotropical bat community. *In*: CODY, M.; SMALLWOOD, J. (Eds.). **Long-term studies of vertebrate communities**. New York: Academic Press. Cap. 16, 1996. Pp. 503-553.

KASSO, M.; BALAKRISHNAN, M. Ecological and economic importance of bats (Order Chiroptera). **International Scholarly Research Notices**, 2013.

KUNZ, T. H. Roosting ecology of bats. *In*: **Ecology of Bats**. Springer, US, 1982. Pp.1-55.

KUNZ, T. H.; WHITAKER, J. O.; WADANOLI, M. D. Dietary energetics of the insectivorous Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*) during pregnancy and lactation. **Oecologia**, v. 101, n. 4, p. 407-415, 1995.

KUNZ, T. H.; FENTON, M. B. **Bat ecology**, University of Chicago Press, 2006.

KUNZ, T. H.; TORREZ, E. B.; 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.

LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2021.

LEWIS, S.E. Roost Fidelity of Bats: A Review. **Journal of Mammalogy**. v. 76, n. 2. 1995.

LIZARRO, D.; AGUIRRE, L. F.; PÉREZ-ZUBIETA, J. C.; VARGAS, A.; GALARZA, M. I. Characterization of caves as bat roosts in the brazilian-paranense biogeographic region of Bolivia. **Therya**, v. 11, n. 3, p. 390–397, 2020. <https://doi.org/10.12933/therya-20-1008>

LOBOVA, T. A.; GEISELMAN, C. K.; MORI, S. A. Seed Dispersal by Bats in the Neotropics. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 1. New York: The New York Botanical Garden Press, 2009.

MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. **Ecography**, [S.l], v. 41, p. 1-21, 2018.

MAMMOLA, S.; GOODACRE, S. L.; ISAIA, M. Climate change may drive cave spiders to extinction. **Ecography**, v. 41, n. 1, p. 233–243, 2019.

MAMMOLA, S., MEIERHOFER, M. B., BORGES, P. A., COLADO, R., CULVER, D. C., DEHARVENG, L., ...; CARDOSO, P. Towards evidence-based conservation of subterranean ecosystems. **Biological Reviews**. 2022.

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

McCRACKEN, G. F.; LUMSDEN, L. F.; KUNZ, T. H. Roosting ecology and population biology. *In*: ZUBAID, A.; McCRACKEN, G. F.; KUNZ, T. H. (Eds.). **Functional and evolutionary ecology of bats**. New York: Oxford University Press. p. 179–184. 2006.

MOLDOVAN, O.; RACOVIȚĂ, 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.

MOULDS, T.A. **Subterranean fauna of the Eneabba, Jurien and South Hill River (Nambung) Karst areas, Western Australia**. Technical report, Department of Environment and Conservation, Western Australia – Miswest region, 2007.

NEUWEILER, G. **The Biology of Bats**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

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

OLIVEIRA, H.; OPREA, M.; DIAS, R. 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.

PAVAN, A. C.; TAVARES, V. C. *Pteronotus gymnonotus* (Chiroptera: Mormoopidae). **Mammalian Species**, v. 52, p. 40-48, 2020. <https://doi.org/10.1093/mspecies/seaa003>

PÉREZ-TORRES, J.; MARTÍNEZ-MEDINA, D.; PEÑUELA-SALGADO, M.; RÍOS-BLANCO, M. C.; ESTRADA-VILLEGAS, S.; MARTÍNEZ-LUQUE, L. Macaregua: The cave with the highest bat richness in Colombia. **Check List** v.11, 2015.

PETERSON, R. L.; KIRMSE, P. Notes on *Vampyrus spectrum*, the false vampire bat, in Panama. **Canadian Journal of Zoology**, v. 47, n. 1, p. 140–142, 1969. doi:10.1139/z69-025

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, p. 201–209, 2016.

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

RANSOME R. **The natural history of hibernating bats**. London: Christopher Helm, 1990.

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.

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.

- ROCHA, P. A. **Quiropteroфаuna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica**. Tese. (Doutorado em Ciências Biológicas – Zoologia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- 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.
- RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. **Journal of Mammalogy**, v. 79, n., p. 141-146, 1998.
- RODRÍGUEZ-DURÁN, A.; J. A. SOTO-CENTENO. Temperature selection by tropical bats roosting in caves. **Journal of Thermal Biology** v. 28, p. 465–468, 2003.
- RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Bat assemblages in the West Indies: the role of caves. *In* FLEMING, T. H.; RACEY, P. A. (Eds). **Island bats: evolution, ecology and conservation**, University of Chicago Press, 2009. Pp. 265–280.
- RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Roosting Ecology: The Importance of detailed description. *In* FLEMING, T. H.; DÁVALOS, L.; MELLO, M. A. R. (Eds.). **Phyllostomid Bats: A Unique Mammalian Radiation**, University of Chicago, 2020. Pp. 311-324.
- RUBIOLLI, E.; AULER, A. S.; MENIN, D.; BRANDI, R. **Cavernas: atlas do Brasil subterrâneo** (1ª Ed.). Brasília, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 340 p., 2019.
- SCHNITZLER, H. U.; KALKO, E. K. Echolocation by insect-eating bats. **Bioscience**, v. 51, n. 7, p. 557-569, 2001.
- SILVA-TABOADA, G. Los murciélagos de Cuba. **Editorial Academia**, La Habana, Cuba, 1979.
- SIMMONS, N. B. The case for chiropteran monophyly. **American Museum Novitates**, n. 3103, p. 1-54, 1994.
- SIMMONS N. B.; GEISELER J. H. Phylogenetic relationships of *Icaronycteris*, *Archaeonycteris*, *Hassianycteris*, and *Palaeochiropteryx* to extant bat lineages, with comments on the evolution of echolocation and foraging strategies in Microchiroptera. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 235, p. 1-182. 1998.
- SIMMONS, N. B.; CIRRANELLO, A. L. Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database. New York: **American Museum of Natural History**, 2022. Disponível em: www.batnames.org. Acesso em: 29 mai. 2022.
- SMITH, J. D. Chiropteran Evolution. *In*: BAKER, R. J.; JONES JR., J. K.; CARTER, D. C. (Eds.). **Biology of bats of the new world family Phyllostomatidae, Part I**. Lubbock: Special Publications of the Museum Texas Tech University n. 10, 1976. p. 49-69.
- 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.

SPRINGER, M. S.; TEELING, E. C.; MADSEN, O.; STANHOPE, M. J.; DE JONG, W. W. Integrated fossil and molecular data reconstruct bat echolocation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 11, p. 6241-6246, 2001.

STANFORD, J. A.; GIBERT, J.; DANIELOPOL, D. **Groundwater Ecology**. Academic Press Limited, San Diego, California, 1994.

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.

TEELING, E. C.; MADSEN, O.; VAN DEN BUSSCHE, R. A.; DE JONG, W. W.;

STANHOPE, M. J.; SPRINGER, M. S. Microbat paraphyly and the convergent evolution of a key innovation in Old World rhinolophoid microbats. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 3, p. 1431-1436, 2002.

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. 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.

TÉLLEZ, H. L. A.; ÑIGUEZ-DÁVALOS, L. I.; OLVERA-VARGAS, M.; VARGAS-CONTRERAS, J. A.; HERRERA-LIZAOLA, O. A. Bats associated to caves in Jalisco, Mexico. **Therya** v. 9, n. 1, p. 29–40, 2018. <https://doi.org/10.12933/therya-18-548>

TORRES, D. F.; BICHUETTE, M. E. Morcegos cavernícolas depositados na Coleção Científica do Laboratório de Estudos Subterrâneos, UFSCar. **Espeleo -Tema**, v.29, n.1, p. 105-119, 2019.

TORRES-FLORES, J. W.; LÓPEZ-WILCHIS, R. Condiciones microclimáticas, hábitos de percha y especies asociadas a los refugios de *Natalus stramineus* en México. **Acta Zoológica Mexicana** (N.S.) v. 26, n. 1, p. 191–213, 2010. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.261687>

TORRES-FLORES, J. W.; LÓPEZ-WILCHIS, R.; SOTO-CASTRUITA, 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, p. 1369–1389, 2012.

TORRES-FLORES, J. W.; SANTOS-MORENO, A. Inventory, features, and protection of underground roosts used by bats in Mexico. **Acta Chiropterologica**, v. 19, p. 439–454, 2017.

TRAJANO, E. Movements of cave bats in Southeastern Brazil, with emphasis on the population ecology of the common vampire bat, *Desmodus rotundus* (Chiroptera). **Biotropica**, v.28, n.1, p.121, 1996.

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

TRAJANO E, BICHUETTE ME. Relevância de cavernas: porque estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam. **Espeleo -Tema**. v. 21, n. 1 p. 105-127. 2010.

TREJO-SALAZAR, R. E.; EGUIARTE L. E.; SURO-PIÑERA, D.; MEDELLÍN, R. A. Save our bats, save our tequila: industry and science join forces to help bats and agaves. **Natural Areas Journal**, v. 36, p. 523–530, 2016.

TSCHAPKA, M.; GONZALEZ-TERRAZAS, T. P.; KNORNSCHILD, M. Nectar uptake in bats using a pumping-tongue mechanism. **Science Advances**, v. 1 n. 8, 2015. doi:10.1126/sciadv.1500525

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.

VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R.A.; BENTO, D. D. M.; VENTICINQUE, E. M. Inside or out? Cave size and landscape effects on cave-roosting bat assemblages in Brazilian Caatinga caves. **Journal of Mammalogy**, v. 101, n. 2, p. 464–475, 2020. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz206>

VOIGHT-HEUCKE, S.; TABORSKY, M.; DECHMANN, D. K. N. A dual function of echolocation: bats use echolocation calls to identify familiar and unfamiliar individuals. **Animal Behavior** v. 80, p. 59–67, 2010.

WHITE, W. B. Karst hydrology: recent developments and open questions. **Engineering Geology**, v. 65, p. 85–105, 2002.

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

WIEDERHOLT, R.; LÓPEZ-HOFFMAN, L., SVANCARA, C.; McCRACKEN, G.; THOGMARTIN, W.; DIFFENDORFER, J. E.; MATTSON, B.; BAGSTAD, K.; CRYAN, P.; RUSSEL, A.; SEMMENS, D.; MEDELLÍN, R. A. Optimizing conservation strategies for Mexican free-tailed bats: a population viability and ecosystem services approach. **Biodiversity and Conservation**, 24, 63–82, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0790-7>

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. 3, p. 864–874, 2017. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180302>.

WILLIAMS, D. R., BALMFORD, A.; WILCOVE, D. S. The past and future role of conservation science in saving biodiversity. **Conservation Letters**, v. 13, e12720, 2020.

WILLIS, C. K. R.; BRIGHAM, R. M. Social thermoregulation exerts more influence than microclimate on forest roost preferences by a cavity dwelling bat. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 62, n. 1, p. 97–108. 2007. doi: 10.1007/s00265-007-0442-y.

APÊNDICE A - METODOLOGIAS RECOMENDADAS PARA AMOSTRAGEM DE MORCEGOS EM ESTUDOS DE INVENTÁRIO E MONITORAMENTO EM CAVERNAS

INTRODUÇÃO

Inventários e monitoramentos da biodiversidade são a base para a realização de estudos ecológicos e ações conservacionistas, sendo também as principais metodologias aplicadas em estudo de impacto ambiental. Entretanto, existe uma carência de informações metodológicas e especialmente de padronização nas abordagens realizadas nos processos de avaliação ambiental, que podem afetar a efetividade desses estudos, podendo resultar em análises de impactos imprecisas (DIAS, et al., 2022). Acessar a composição e distribuição de espécies de morcegos de forma acurada pode ser difícil, devido a seus hábitos noturnos e alta mobilidade, sendo frequente órgãos ambientais e consultorias recorrerem a pesquisadores em busca das melhores metodologias indicadas para diferentes tipos de estudos (e.g., BARROS et al., 2017).

Neste sentido, é importante que o protocolo para classificação de relevância proposto nesta tese (Tópico 4.2), seja aplicado com base em metodologias padronizadas, de maneira que seja possível também a compilação e comparação futura desses estudos e atualização de listas de referências que venham a ser criadas.

Estudos indicam a aplicação de metodologias complementares para uma melhor amostragem da quiropterofauna (FLAQUER; TORRE; ARRIBALAGA 2007; FROIDEVAUX et al., 2020), assim são apresentados aqui métodos que devem ser utilizados de forma complementar, tanto na realização da análise de relevância, quanto nos monitoramentos posteriores, para a obtenção de dados de riqueza, composição, abundância e uso das cavernas por morcegos, com isso espero contribuir com subsídios para melhores abordagens na investigação de morcegos em cavernas.

MÉTODOS PARA AMOSTRAGENS DE MORCEGOS EM CAVERNAS

Incursoão diurna e censo visual: A incursão diurna e o censo visual são métodos ativos de busca nos abrigos, sendo realizado por um observador humano. A incursão diurna geralmente é utilizada para busca ativa das espécies durante o período em que os morcegos estão presentes na caverna, para realização da estimativa de riqueza e abundância por censo visual.

Indicação: A incursão diurna é indicada para a realização de uma avaliação preliminar das colônias com intuito de verificar a magnitude do tamanho da colônia e as espécies presentes. Além disso, a avaliação da existência de colônias maternidade também pode ser realizado por esse método. A partir dessa avaliação, métodos complementares de amostragem devem ser selecionados (e.g., uso de rede-de-neblina ou harp-trap; utilização de censo fotográfico para colônias maternidade).

Limitações: A utilização apenas do censo visual por observadores humanos para estimativa de abundância não é indicada. Seu uso pode ser aceito em situações muito específicas onde há poucos morcegos, abrigando-se de maneira espaçada, de forma a permitir uma contagem inequívoca dos indivíduos. Mas censos visuais por observadores humanos não devem ser utilizados em colônias com abundância elevada, pois a densidade de morcegos dentro das cavernas (expressa em indivíduos por metro quadrado) pode variar bastante, e depende de vários fatores: espécie e família, comportamento social de agregação ou isolamento, tamanho da caverna, constituição das paredes e teto, ocorrência de fissuras onde os morcegos podem se abrigar (KUNZ et al., 2009). Além disso, censos visuais por humanos também não devem ser realizados em situações em que os morcegos estejam se deslocando em voo, pois isso aumenta a possibilidade de erro, e a própria incursão diurna perturba os morcegos ocasionando deslocamentos no interior da caverna. Assim, os censos visuais por observadores humanos podem apresentar grandes erros, às vezes de uma ou duas ordens de magnitude (KUNZ et al., 2009). Mais além, os censos visuais podem ser altamente dependentes da capacidade, treinamento ou abordagem do observador, gerando problemas de reprodutibilidade: em situações similares de contagem, dois observadores podem chegar a contagens bastante distintas, o que compromete a padronização dos resultados. Isso também é um problema para fins de monitoramentos que incluam diversas contagens, pois observadores diferentes poderiam

gerar vieses amostrais. Assim, censos visuais por observadores humanos têm utilização restrita a determinadas situações e não podem ser adotados como padrão para todas as cavernas.

Captura: A captura de morcegos em cavernas pode ser realizada com a utilização de puçás, redes-de-neblina ou armadilhas de harpa (harp-trap). A captura com puçá é realizada de forma ativa durante a incursão diurna. Redes-de-neblina e harp-traps são métodos passivos, em que as capturas são realizadas durante a saída dos morcegos das cavernas.

Indicações: Capturas devem ser realizadas em estudos de inventário e monitoramento de morcegos em cavernas. A captura dos morcegos permite a identificação/confirmação de espécies (i.e., obtenção de dados de composição e riqueza), estimativa de abundância em alguns casos, e obtenção de dados biológicos das espécies (e.g., sexo, estado reprodutivo, idade). Além disso, permite também a marcação dos indivíduos. O uso de redes-de-neblina é indicado apenas em cavernas com poucos indivíduos, sendo exposta de maneira que a entrada da caverna não fique completamente fechada, para cavernas de elevada abundância harp-traps são mais indicadas e menos prejudiciais.

Limitações: Estimativas seguras de riqueza e/ou abundância através apenas de capturas podem ser garantidas somente em situações em que há a certeza de que todos os indivíduos que estavam no interior da caverna foram capturados. Essa completude amostral pode ser alcançada em cavernas pequenas, com uma única entrada e com pequena quantidade de morcegos, mas raramente é alcançada em cavernas com múltiplas saídas, com entradas de grandes dimensões, com teto elevado, ou múltiplas câmaras ou galerias. Nestas últimas condições, o uso de redes, armadilhas de harpa ou puçás pode resultar em subamostragem. Além disso, algumas espécies são de difícil captura, i.e., insetívoros, de forma que se faz necessária a utilização de métodos complementares para a confirmação dessas espécies.

Marcação e recaptura: A marcação de morcegos pode ser realizada com o uso de diferentes técnicas, sendo necessária a utilização de marcação adequada, que pode variar entre espécies. As espécies podem ser marcadas com anilhas de metal que, dependendo da morfologia alar da espécie, pode ser colocada no antebraço, ou utilizando-se um colar

ao redor do pescoço. Durante o esforço de recaptura das espécies é importante que seja realizado também um monitoramento adequado de possíveis lesões nos morcegos marcados resultantes do tipo de marcação. Marcações realizadas de maneira inadequadas podem ser prejudiciais para os indivíduos (BAKER et al. 2001; DIETZ et al. 2006; ZAMBELLI et al. 2009; RIGBY et al. 2012).

Indicações: A utilização desse método é bastante válida em monitoramentos de morcegos em cavernas, uma vez que a partir da marcação dos morcegos é possível avaliar a fidelidade das espécies aos abrigos e/ou ainda o uso de um conjunto de cavernas por uma mesma população, bem como sua movimentação entre elas. No processo de licenciamento ambiental a marcação também permite uma avaliação posterior do uso de cavernas em áreas próximas a cavernas impactadas, como no caso de afugentamentos. Mais além, a marcação dos indivíduos contribui para uma estimativa de abundância mais acurada (quando realizada através de capturas), uma vez que evita que um mesmo indivíduo seja contabilizado duas vezes.

Limitações: Os cálculos de abundância baseados em marcação/recaptura necessitam de um grande esforço inicial de marcação de indivíduos em estudos de médio a longo prazo, e visitas programadas em épocas não-sensíveis (por exemplo, fora das épocas de gestação e lactação), para dar continuidade ao esforço de marcação e para a obtenção dos dados de recaptura. Um baixo esforço de marcação pode gerar estimativas pouco precisas.

Biocústica: Esse método consiste na utilização de gravadores para a obtenção de dados acústicos de ultrassom dos morcegos. Existem diferentes tipos de gravadores que permitem amostragens ativas (e.g., dodotronic ultramic) ou passivas (e.g., audiomoth, sm4). Amostragens ativas necessitam de supervisão humana, enquanto amostragens passivas podem ser obtidas sem o acompanhamento humano. Atualmente existem gravadores a preços acessíveis (entre U\$ 60.00 e 150.00), os gravadores são pequenos, leves e portáteis, vários funcionam com pilhas comuns e permitem a gravação passiva e de longa duração, sem a presença humana. As gravações obtidas devem ser analisadas posteriormente para identificação das espécies. A identificação pode ser realizada por meio de softwares acessíveis e gratuitos (e.g. Raven Pro, CallViewer), sendo feita com a utilização de chave de identificação específica (ARIAS-AGUILAR et al. 2018).

Indicações: A utilização da bioacústica é indicada para identificação de espécies e mensurações de riqueza. Para espécies com vocalizações já conhecidas, é possível a identificação inequívoca espécie-específica (e.g. ARIAS-AGUILAR et al. 2018). Quando as vocalizações não são conhecidas, é possível classificá-las em sonotipos (e.g. SILVA; BERNARD 2017), o que também permite inferir a riqueza de espécies naquela caverna. Além da facilidade de registro de espécies dificilmente capturadas ou observadas em cavernas, como é o caso dos morcegos insetívoros, o monitoramento acústico na entrada e ao redor de uma caverna permite avaliar hábitos comportamentais das espécies com baixo custo financeiro e logístico. O monitoramento acústico tem uma relação custo/benefício muito acessível, permite replicabilidade e padronização de abordagens, permite abordagem de gravação simultânea em diferentes ambientes e situações em amplas escalas temporais e espaciais, e permite monitoramentos menos invasivos (SUGAI et al. 2018). Para o uso em cavernas é indicado que a gravação dos sinais seja feita de modo passivo, instalando o gravador voltado para o interior da caverna, com a utilização de um cone direcionador no microfone omnidirecional ou com a utilização de microfones direcionais, tornando a gravação mais direcional, de forma a minimizar a gravação de sinais externos.

Limitações: A bioacústica não é indicada para a obtenção de dados de abundância. A análise bioacústica é realizada a partir dos pulsos emitidos pelas espécies, porém ainda não é possível diferenciar o número de indivíduos através do número de pulsos e embora existam estudos que apontem que é possível extrair informações de abundância relativa a partir da gravação dos sinais de ecolocalização dos morcegos saindo de seus abrigos (KLOEPPER et al. 2016), esta abordagem tem limitações técnicas e ainda não é amplamente difundida. Outra limitação é que as vocalizações de alguns grupos, como de Phyllostomideos, ainda não são conhecidas e diferenciáveis, principalmente no Brasil, que possui elevada riqueza de espécies. Assim, a supervisão humana para a identificação dos sinais de ecolocalização dos morcegos ainda se faz necessária no caso do Brasil, dada a riqueza de espécies e a ausência de bancos de referência de sinais elaborados especificamente para o país (HINTZE et al., 2016), entretanto o número de profissionais capacitados nessa área tem aumentado.

Contagem por fotografias ou filmagens: Além do censo visual, já mencionado anteriormente, a contagem dos indivíduos para estimativas de abundância pode ser

realizada com utilização de fotografias ou ainda por filmagens da saída dos morcegos das cavernas. A contagem por fotografias é feita de forma manual, com um observador humano fazendo as contagens/extrapolações posteriormente a partir da análise das fotos. As filmagens podem ser realizadas com câmeras termais (FLIR), ou ainda câmeras não termais mais acessíveis (Aurora) instaladas nas entradas das cavernas durante a saída dos morcegos. A contagem através de filmagens é realizada automaticamente por meio de softwares desenvolvidos especificamente para tal finalidade (BETKE et al. 2008; HRISTOV et al. 2010; RODRIGUES et al. 2016; CORCORAN et al. 2021).

Indicações: Essas metodologias são indicadas para obtenção de dados de abundância. O uso de fotografias e a contagem deve ser feita de maneira padronizada para redução do erro associado ao observador, sendo válidas principalmente para censo de colônias maternidade, uma vez que a captura e perturbação das fêmeas com filhotes deve ser evitada. Porém, atualmente o método mais indicado para contagem de indivíduos é a filmagem na saída dos morcegos e a utilização de algoritmos para contagem automática, uma vez que alia alta acurácia e baixo erro, reprodutibilidade e independência do observador. Esta abordagem é também menos invasiva, e não exige que observadores adentrem às cavernas provocando perturbações nas colônias. Salienta-se ainda que há softwares gratuitos e que requerem baixo conhecimento de programação, permitindo que eles sejam amplamente usados por interessados dos mais diferentes perfis.

Limitações: Técnicas como estimativas de densidade ou extrapolações de indivíduos por metro quadrado a partir de fotografias (e.g. LAND et al. 2003; CORSO et al. 2012) podem subestimar ou superestimar o número real de indivíduos. Em situações em que a caverna abriga populações numerosas, os erros podem ser maiores do que uma ordem de magnitude. A limitação relacionada com as câmeras termais para filmagens é principalmente o preço para aquisição desse equipamento, entretanto recentemente houve uma redução dos custos de equipamentos específicos de vídeo, e o desenvolvimento de técnicas baseadas em imagens não termais, de forma que vídeos com boa iluminação são suficientes para permitirem a contagem.

CONCLUSÕES

De forma geral, para obtenção de dados de riqueza e composição devem ser empregados métodos de captura e bioacústica, englobando assim amostragens para espécies da família Phyllostomidae (mais facilmente capturadas) e também espécies insetívoras de difícil captura. Para abundância o ideal seria a utilização de filmagens e softwares para a contagem (necessário no caso de cavernas com maiores abundâncias). Em determinados casos (cavernas pequenas e com poucos morcegos) é possível a realização da amostragem com a utilização de captura e marcação de indivíduos, prezando por métodos de captura que garantam a captura do maior número possível de indivíduos (e.g. harp-trap). No caso de estimativa de abundância em colônias maternidade a utilização de fotografias pode ser menos prejudicial. E por fim, a utilização de marcação e recaptura é essencial em estudos de monitoramento para obtenção de dados populacionais e do uso das cavernas pelos morcegos, sendo que o método de marcação deve ser avaliado especificamente para diferentes espécies.

REFERÊNCIAS

- ARIAS-AGUILAR, A.; HINTZE, F.; AGUIAR, L.; RUFRAY, V.; BERNARD, E.; PEREIRA, M. J. Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. **Mammal Research** v. 63, p 231–253, 2018.
- BAKER, G.B.; LUMSDEN, L.F.; DETTMANN, E.B.; SCHEDVIN, N.K.; SCHULZ, M.; WATKINS, D.; JANSEN, L. The effect of forearm bands on insectivorous bats (Microchiroptera) in Australia. **Wildlife Research** v. 28, n. 3, p. 229 – 237, 2001.
- BARROS, M. A. S.; BERNARD, E.; PEREIRA, M. J. R.; RUI, A. M.; FALCÃO, F. C.; LUZ, J. L. **Diretrizes para estudos de impacto de parques eólicos sobre morcegos no Brasil**. Versão 2017. Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros. p. 1-17, 2017.
- BETKE, M.; HIRSH, D. E.; MAKRIS, N. C.; MCCRACKEN, G. F.; PROCOPIO, M.; HRISTOV, N. I.; TANG, S.; BAGCHI, A.; REICHARD, J.; HORN, J. W.; CRAMPTON, S.; CLEVELAND, C. J.; KUNZ, T. H. Thermal imaging reveals significantly smaller Brazilian free-tailed bat colonies than previously estimated. **Journal of Mammalogy** v. 89, n. 1, 18-24. 2008.
- CORCORAN, A. J; SCHIRMACHER, M. R; BLACK, E.; HEDRICK, T. L. ThruTracker: Open-Source Software for 2-D and 3-D Animal Video Tracking. **bioRxiv**. 2021. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.05.12.443854>.
- CORSO, A. E.; WOOLLEY, J. B.; LACHER JR, T. E. Using digital photography and image analysis software to estimate the emergence of bats at Tou Santi Cave, Dominica, West Indies. **Caribbean Journal of Science** v. 46, n. 2-3, 169-175. 2012.
- DIAS, A. M.; COOK, C.; MASSARA, R. L.; PAGLIA, A. P. Are Environmental Impact Assessments effectively addressing the biodiversity issues in Brazil? **Environmental Impact Assessment Review**, v. 95, 106801. 2022.
- DIETZ, C.; DIETZ, I.; IVANOVA, T.; SIEMERS, B. M. Effects of forearm bands on horseshoe bats (Chiroptera: Rhinolophidae). **Acta Chiropterologica**, v. 8, p. 523–535, 2006.
- FLAQUER, C.; TORRE, I.; ARRIZABALAGA, A. Comparison of Sampling Methods for Inventory of Bat Communities. **Journal of Mammalogy**, v. 88, n. 2, p. 526–533, 2007.
- FROIDEVAUX, J. S.; BOUGHEY, K. L.; HAWKINS, C. L.; JONES, G.; COLLINS, J. Evaluating survey methods for bat roost detection in ecological impact assessment. **Animal conservation**, v. 23, n. 5, p. 597-606, 2020.
- HINTZE, F.; ARIAS-AGUILAR, A.; AGUIAR, L. M. S.; RAMOS PEREIRA, M. J.; BERNARD, E. Uma nota de precaução sobre a identificação automática de chamados de ecolocalização de morcegos no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia** v. 77, p. 163–171, 2016.

HRISTOV, N. I.; BETKE, M.; THERIAULT, D. E.; 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. 1, p.183-192, 2010.

KLOEPPER, L. N.; LINNENSCHMIDT, M.; BLOWERS, Z.; BRANSTETTER, B.; RALSTON, J.; SIMMONS, J. A. Estimating colony sizes of emerging bats using acoustic recordings. **Royal Society Open Science**, 2016. <https://doi.org/10.1098/rsos.160022>

KUNZ, T.H.; BETKE, M.; HRISTOV, N.I.; VONHOF, M. Methods for assessing colony size, population size, and relative abundance of bats. *In*: KUNZ, T. H.; PARSONS, S. (Eds.) **Ecological and behavioral methods for the study of bats**, 2nd edn. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.2009.

LAND, T. S.; LACHER JR. T. E.; CLARK, JR. D. R. Emergence patterns of cave myotis (*Myotis velifer*) on Fort Hood, in Central Texas. **Bat Research News** v. 44, p. 92-94, 2003.

RIGBY, E. L.; AEGERTER, J.; BRASH, M.; ALTRINGHAM, J. D. Impact of PIT tagging on recapture rates, body condition and reproductive success of wild Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). **Veterinary Record** v. 170, n. 4, p. 101, 2012.

RODRIGUES, E.; TEIXEIRA, J. M.; TEICHRIEB, V.; BERNARD, E. Multi-objective Tracking Applied to Bat Populations. *In*: 2016 **XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**, Gramado, 2016, p. 155. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7517269>

SILVA C. R.; BERNARD E. Bioacoustics as an important complementary tool in bat inventories in the Caatinga drylands of Brazil. **Acta Chiropterologica** v. 19, n. 2, p. 409–418. 2017

SUGAI, L. S. M.; SILVA, T.S.F.; RIBEIRO, JR J. W.; LUSIA, D. Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. **BioScience** v. 69, p. 15–25. 2018. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy147>

ZAMBELLI, N. MORETTI, M. MATTEI-ROESLI, M. BONTADINA, F. Negative consequences of forearm bands that are too small for bats. **Acta Chiropterologica** v. 11, n. 1, p. 216-219, 2009. <https://doi.org/10.3161/150811009X465857>.

APÊNDICE B – ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DE CAVERNAS: UMA REVISÃO DA IN 02/17 SOB A PERSPECTIVA DOS MORCEGOS



Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia, 89: 1-9, 2020
© 2020 Sociedade Brasileira de Mastozoologia

Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos

Jennifer de Sousa Barros^{1,2}, Augusto Milagres e Gomes³, Maricélio Medeiros Guimarães⁴, Leonardo Dias-Silva⁵, Patrício Adriano da Rocha^{6,7}, Valéria da C. Tavares⁶ & Enrico Bernard^{1,8*}

¹ Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação da Biodiversidade, Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil.

³ Andréa Imagens, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, Núcleo Regional de Marabá, SEMAS/NURE Marabá, Pará, Brasil.

⁵ Buniti Socioambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

⁶ Laboratório de Mamíferos, Departamento de Sistemática e Ecologia, CCEN/DSE, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Paraíba, Brasil.

⁷ Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, CCEN/DSE, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Paraíba, Brasil.

⁸ Presidente, Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros – SBEQ.

* Autor para correspondência: enricob2@gmail.com

Resumo: A relação entre várias espécies de morcegos e ecossistemas cavernícolas é altamente especializada, complexa e frágil. Comunidades de invertebrados cavernícolas são, frequentemente, dependentes do guano dos morcegos para sua sobrevivência, assim como os próprios morcegos dependem também destes abrigos para atividades sociais, proteção, descanso e reprodução. No Brasil, espécies associadas a cavernas tornaram-se mais susceptíveis a impactos decorrentes da destruição de seus abrigos, principalmente após alterações na legislação que flexibilizaram a proteção desses ambientes. A atual legislação determina que cavernas inseridas em áreas passíveis de licenciamento ambiental devem passar por um processo de classificação quanto ao seu grau de relevância. Estas regras estão incluídas na Instrução Normativa 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente. Avaliamos aqui as disposições na IN 02/2017 considerando o grupo dos morcegos como foco específico, e considerando a clareza, objetividade, e aplicabilidade prática da normativa, bem como pontos frágeis e critérios subjetivos que necessitam de modificações. Identificamos trechos cuja redação é subjetiva, vaga ou imprecisa, tornando alguns dos critérios apontados para a designação de relevância problemáticos quando analisados sob o enfoque do grupo dos morcegos. Sugerimos que a IN passe por extensa atualização, com alterações de redação, exclusão de alguns critérios (e.g., espécies com função ecológica importante; troglóxenos obrigatório) e inclusão de outros (e.g., presença de fêmeas grávidas e filhotes).

Palavras-Chave: Cavernas; Chiroptera; Instrução Normativa 02/2017; Licenciamento Ambiental.

Abstract: Analysis of cave relevance: a review of IN 02/2017 from the perspective of bats. The relationship between bats and cave ecosystems is highly specialized, complex and fragile. Cave invertebrate communities are often dependent on bat guano for their survival, just as bats themselves also depend on these shelters for social activities, protection, rest and reproduction. In Brazil, bat species associated with caves have become more susceptible to the destruction of their roosts, mainly after recent changes in the cave protection policies. The current legislation sets that caves in areas subject to environmental licensing must undergo a classification process to assess their relevance, whose rules are in the Norm 02/2017 of the Ministry of the Environment. Here, we evaluate IN 02/2017 having bats as a focal target, and considering the clarity, objectivity, and practical applicability of the regulation, as well as its pros and cons. We identified parts of the IN 02/2017 whose wording is subjective, vague or imprecise, compromising some of the criteria. We recommend that IN 02/2017 should be revised, with the adaptation of some sections, removal of some criteria (e.g., species with important ecological function; mandatory troglóxenos) and inclusion of others (e.g., presence of pregnant females and young).

Key-Words: Caves; Chiroptera; Environmental Licensing; Norm 02/2017.

INTRODUÇÃO

A relação entre morcegos e ecossistemas cavernícolas é altamente especializada, complexa e frágil.

A manutenção de comunidades de invertebrados em ambientes cavernícolas depende em grande parte, da presença, frequência e da quantidade de morcegos e de seu guano (Ferreira, 2004; Gnasparini-Netto, 1992).

ENSAIOS

1



Perturbações nas colônias de morcegos ou na estrutura de seus abrigos podem resultar no total colapso de ecossistemas cavernícolas, incluindo eventos de extinção local de populações de troglóbios (espécies que habitam estritamente ambientes subterrâneos), quando ocorre elevada redução no input de guano (Ferreira, 2004; Gnaschini-Netto, 1992). Portanto, a proteção das cavernas é fundamental para os morcegos e para as demais comunidades cavernícolas. Além disso, várias espécies de morcegos que se abrigam em cavernas atuam em processos ecológicos fundamentais para a manutenção de ecossistemas em meio epígeo (externo), incluindo a polinização, dispersão de sementes e controle biológico. Processos que frequentemente ocorrem distantes das cavernas, mas são mediados por morcegos que nelas se abrigam (Boyles *et al.*, 2011; Kunz *et al.*, 2011; Lobo *et al.*, 2009).

Ao menos 72 das 182 espécies de morcegos reconhecidas para o Brasil têm sido registradas utilizando cavernas no país (Guimarães & Ferreira, 2014; Oliveira *et al.*, 2018), um valor alto, porém provavelmente subestimado, considerando o grande potencial cavernícola do país e 60% do território nacional nunca ter sido amostrados para morcegos (Bernard *et al.*, 2011). Estima-se que o Brasil abrigue mais de 310.000 cavernas (Piló & Auler, 2011), mas apenas cerca de 21.000 delas compõem atualmente o banco de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, ligado ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Brasil, 2020). Entretanto, menos de 3% destas cavernas foram amostradas em estudos sobre morcegos (Oliveira *et al.*, 2018).

Até 2008, a legislação brasileira responsável sobre o subsolo baseava-se no Decreto 99556/1990, que previa a preservação total do subterrâneo, incluindo, portanto, as cavidades naturais como parte do patrimônio nacional. Entretanto, o Decreto Presidencial 6640 de 07 de novembro de 2008 (Brasil, 2008) alterou a legislação permitindo a exploração de cavernas no âmbito do licenciamento ambiental mediante análise de relevância das cavidades naturais em áreas de empreendimentos. Esta análise deve ser determinada pela avaliação de atributos biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob os enfoques local e regional (Brasil, 2008). As normas para esta classificação foram descritas posteriormente na Instrução Normativa 02 de 20 de agosto de 2009, e atualizadas na Instrução Normativa 02 de 30 de agosto de 2017 (daqui por diante IN 02/2017), publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2017).

Na prática, o Decreto 6640 criou um novo cenário para proteção das cavernas brasileiras, uma vez que, após a sua publicação, apenas as cavernas consideradas de "máxima relevância" passavam a contar com a prerrogativa de proteção integral, enquanto que as cavidades de "alto, médio e baixo grau" podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante algum tipo de compensação ambiental. Estas alterações têm elevado potencial de impacto sobre a fauna cavernícola e, não por acaso, a proteção de cavernas é apontada como prioridade máxima para a conservação de morcegos no Brasil (Bernard *et al.*, 2012).

Contextualização Legal

De acordo com a IN 02/2017, a classificação de relevância de cada caverna é fruto de uma combinação dos níveis de importância da cavidade obtidos sob os enfoques local e regional (Figura 1). Vale destacar que uma cavidade classificada como de importância local acentuada terá, independente da classificação regional, uma classe de relevância resultante no mínimo média.

Na análise sob os enfoques local e regional, o primeiro passo é a classificação regional caracterizada por uma unidade espeleológica que compreende "a área com homogeneidade fisiográfica, geralmente associada à ocorrência de rochas solúveis, que pode congrega diversas formas do relevo cárstico e pseudocárstico tais como dolinas, sumidouros, ressurgências, vale cegos, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação". Posteriormente ocorre a classificação local que abrange uma "Unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade". A determinação das escalas local e regional não é tão objetiva e frequentemente seus limites deverão ser determinados por profissionais das áreas de geociências. É importante que profissionais especialistas em morcegos, com formação e experiência em ecologia, taxonomia e licenciamento trabalhem em conjunto. Ou então trocando informações com os profissionais que irão delimitar as áreas de estudo dentro dos contextos local e regional, para que atributos específicos relacionados aos morcegos sejam reconsiderados (*e.g.*, espécies raras, população residente).

A IN 02/2017 determina que, mesmo classificada como de máxima relevância de acordo com um dos atributos físicos ou biológicos, a cavidade deve passar pelo processo de classificação sob enfoques local e regional, o que seria justificado pela necessidade de avaliação de impactos decorrentes de empreendimentos/atividades próximas (Ferreira *et al.*, 2011).

Ainda no âmbito do licenciamento ambiental, a área de influência direta de uma cavidade é definida como a "área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola" (Resolução CONAMA Nº 347/2004, Art. 2º, item IV). A mesma Resolução CONAMA determina no § 2º que "a área de influência sobre o patrimônio espeleológico será definida pelo órgão ambiental competente que poderá, para tanto, exigir estudos específicos, a expensas do empreendedor". Mas logo no § 3º, ela também especifica que "até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de polígono convexa". Na prática, o que se tem observado é que tem prevalecido o *buffer* de 250 m ao redor da caverna, e raros são os estudos que indicaram que a área de influência deve ser

Barros JS *et al.*: IN 02/2017 com foco em morcegos

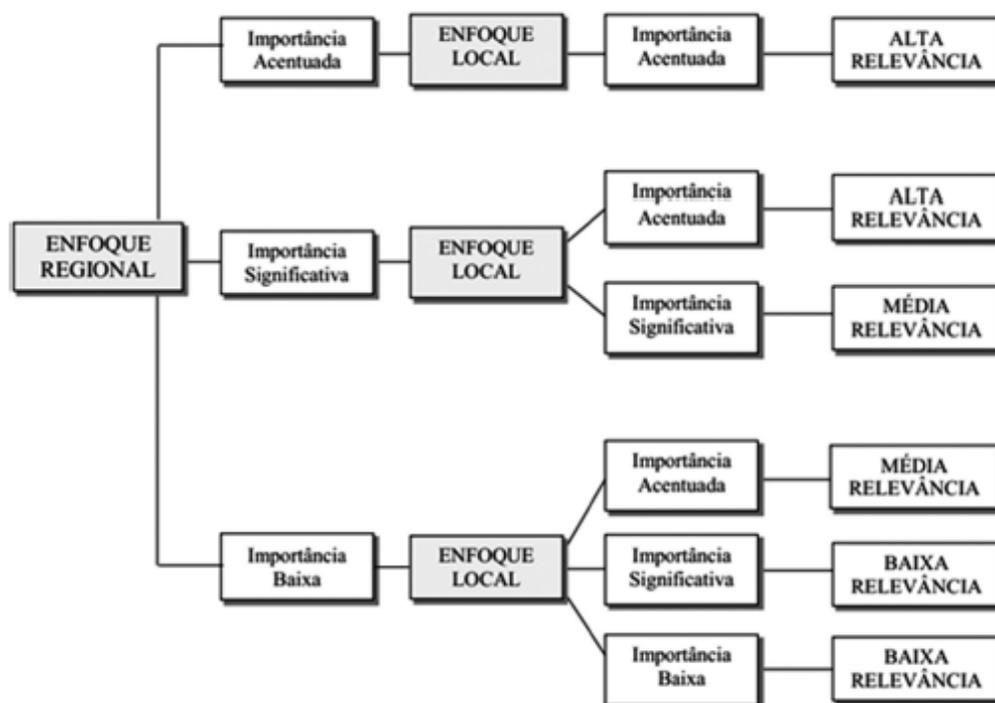


Figura 1: Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais brasileiras segundo a Instrução Normativa 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente. A Classe de Relevância resultante depende de uma combinação das categorias obtidas sob os enfoques local e regional.

efetivamente maior. Para morcegos, a possibilidade de que estudos específicos possam apontar a delimitação de um novo polígono abre uma discussão importante: a mobilidade dos morcegos pode ser extensa e os 250 m não são suficientes para representar tal influência. Os estudos com rádio telemetria com morcegos no Brasil apontam deslocamentos frequentes de até mais de 10 km a partir do abrigo (e.g., Aguiar *et al.*, 2014; Bernard & Fenton, 2003; Trevelin *et al.*, 2013). Além disso, um estudo recente demonstrou que *Furipterus horrens* (Cuvier, 1828), uma espécie cavernícola e ameaçada no país, responde positivamente a áreas preservadas quando analisados em *buffers* de 1.000 metros (Barros *et al.*, 2020).

Neste sentido, para morcegos a área de influência das cavidades deveria ser exclusivamente maior do que 250 metros. Portanto, a distância estabelecida pela legislação vigente é inadequada e insuficiente para a proteção de morcegos nesses ambientes. O cenário ideal para a conservação dos morcegos incluiria a cobrança obrigatória, dentro do processo de licenciamento, de estudos específicos de telemetria ou marcação/recaptação que apontassem quanto os indivíduos abrigados naquela cavidade se deslocam e como utilizam a matriz, ou ainda a implementação obrigatória de estudos similares em propostas de compensação ambiental. Tal abordagem é fundamental para a delimitação de áreas de influência corretas.

Barros JS *et al.*: IN 02/2017 com foco em morcegos

Atributos específicos envolvendo morcegos

Cavernas que apresentam atributos importantes envolvendo a biologia dos morcegos devem ser consideradas de importância acentuada sob o enfoque local. A seguir comentamos de tais critérios e suas definições como na IN 02/2017, e concluímos com uma avaliação concisa e detalhada, em relação ao emprego e proposições, quando pertinentes.

1. Critério: Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais

Conceito: Cavidade que compreenda um abrigo, ou parte importante do habitat de espécies constantes de lista oficial, nacional ou do estado de localização da cavidade, de espécies ameaçadas de extinção.

Avaliação: O tamanho populacional mínimo para a manutenção da variabilidade genética de uma espécie (e, portanto, para sua perpetuação) deve ser avaliado caso a caso, pois depende de análises ecológicas e moleculares direcionadas a cada espécie. Sendo assim, o termo "populações geneticamente viáveis" não é claro e objetivo. Mais além, apenas a presença de espécies ameaçadas é suficiente para que a caverna seja categorizada como de "máxima relevância", acentuando a dubiedade deste critério.



Tabela 1: Espécies de morcegos ameaçadas de extinção presentes em listas oficiais dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Bahia.

Espécies	Estados
<i>Myotis ruber</i> (É. Geoffroy, 1806)	RS (VU), RJ (VU)
<i>Histioglossus alienus</i> Thomas, 1916	SC (CR)
<i>Lasiurus egragius</i> (Peters, 1870)	SC (CR)
<i>Tonatia bidens</i> (Spix, 1823)	SC (CR)
<i>Artibeus cinereus</i> (Gervais, 1856)	PR (VU)
<i>Pteropteryx macrotis</i> (Wagner, 1843)	PR (VU)
<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)	PR (VU)
<i>Noctilio albiventris</i> Desmarest, 1818	PR (VU)
<i>Trachostomus cirrhosus</i> (Spix, 1823)	PR (VU)
<i>Phyllostomus hastatus</i> (Pallas, 1767)	PR (VU)
<i>Sturmira tilidae</i> De la Torre, 1939	PR (VU)
<i>Cynomops abrasus</i> (Temminck, 1827)	PR (VU)
<i>Eumops bonariensis</i> (Peters, 1874)	PR (EN)
<i>Eumops hansae</i> Sanborn, 1932	PR (VU)
<i>Molossops neglectus</i> Williams & Genoways, 1980	PR (EN)
<i>Promops nasutus</i> (Spix, 1823)	PR (VU)
<i>Chiroderma villosum</i> Peters, 1860	PR (VU), SP (VU)
<i>Chiroderma doriae</i> Thomas, 1891	PR (VU), RJ (VU)
<i>Platyrrhinus racifinus</i> (Thomas, 1901)	PR (VU), RJ (VU)
<i>Pteropteryx kappleri</i> Peters, 1867	SP (CR)
<i>Saccopteryx leptura</i> (Schreber, 1774)	SP (EN)
<i>Lonchophylla paracchii</i> Dias, Estévez & Moretelli, 2013	SP (VU)
<i>Platyrrhinus incarum</i> (Thomas, 1912)	SP (VU)
<i>Phyloderma stanops</i> (Peters, 1865)	SP (CR), RJ (VU), MG (EN)
<i>Dermanura cinerea</i> Gervais, 1836	RJ (VU)
<i>Mimon bennettii</i> (Gray, 1838)	RJ (VU)
<i>Gardinermyotis cranulatum</i> (É. Geoffroy, 1803)	RJ (VU)
<i>Thyroptera tricolor</i> Spix, 1823	RJ (EN)
<i>Lonchophylla bokermanni</i> Sazima, Vizotto & Taddei, 1978	RJ (VU), MG (EN)
<i>Diaemus youngii</i> (Jentink, 1893)	RJ (VU), MG (VU)
<i>Glyptonycteris sylvestris</i> Thomas, 1896	MG (VU)
<i>Lionycteris spurrellii</i> Thomas, 1913	MG (EN)
<i>Chaeroniscus minor</i> (Peters, 1868)	MG (EN), ES (VU)
<i>Lampronnycteris brachyotis</i> (Dobson, 1879)	ES (VU)
<i>Micronycteris hirsuta</i> (Peters, 1869)	ES (VU)
<i>Lichonycteris degener</i> Miller, 1931	ES (VU)
<i>Carollia brevicauda</i> (Schinz, 1821)	ES (VU)

Uma cavidade com ocorrência de *Eptesicus taddeii* Miranda, Bernardi & Passos, 2006, *Furipterus horrens*, *Glyptonycteris behnii* (Peters, 1865), *Lonchorhina aurita* Tomes, 1863, *Natalus macrourus* (Gervais, 1856), *Lonchophylla dekeyseri* Taddei, Vizotto & Sazima, 1983, ou *Xeronycteris vieirai* Gregorin & Dietrichfield, 2005 deve ser automaticamente classificada como de máxima relevância, pois estas espécies constam da atual Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (ICMBio, 2018). Nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Bahia, que dispõem de listas

oficiais estaduais (Bahia, 2015; FATMA, 2010; FZB, 2014; IAP, 2010; IPMA 2007; Rio de Janeiro, 1997; São Paulo, 2018; SEMAD, 2010; SEMAS, 2007), outras espécies devem ainda ser consideradas (Tabela 1).

Posicionamento e proposições: Com um ajuste de redação (a supressão de "populações geneticamente viáveis") este critério pode ser considerado objetivo, e facilmente aplicável, dessa forma deve ser mantido. Salientamos que a lista nacional vigente de espécies ameaçadas está passando por processo de revisão e atualização, e tão logo uma nova lista seja homologada esta deve passar a ser considerada como referência. O mesmo deve ocorrer para eventuais atualizações em listas estaduais.

2. Critério: Interações ecológicas únicas

Conceito: Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico-evolutivo.

Avaliação: Este critério garante proteção integral às cavernas, entretanto a subjetividade do termo "interações ecológicas únicas" dificulta sua aplicação prática em diagnósticos ambientais, e faz-se estritamente necessária a proposição de uma definição clara, da apresentação de exemplos, ou de parâmetros para a valoração de atributos que individualmente ou em conjunto possam caracterizar tais interações.

Interações ecológicas únicas podem incluir um amplo leque de situações, desde a dependência ou preferência específica por um determinado tipo de abrigo ou de condição ambiental dentro do abrigo, até eventos de predação, parasitismo ou comensalismo, por exemplo. No caso dos morcegos, Rocha (2013) apresenta dados relacionados à ecologia termal e a reprodução de *Pteronotus gymnotus* (Wagner, 1843) e *Pteronotus personatus* (Wagner, 1843) ambos aqui considerados estritamente cavernícolas. Fêmeas destas duas espécies são seletivas na escolha desse tipo de abrigo e o sucesso reprodutivo das suas populações depende, incondicionalmente, da estabilidade microclimática propiciada pelas cavernas. Esta íntima associação entre o ambiente reprodutivo destas duas espécies de *Pteronotus* e tais cavernas com condições climáticas bastante específicas configura um exemplo de interação ecológica única. Outro fator a ser levado em consideração é que, mesmo em uma larga escala de paisagem, pouquíssimas cavernas possuem as condições climáticas ideais para abrigarem populações de fêmeas reprodutivas de *Pteronotus*. Em Sergipe, por exemplo, apenas três das mais de 100 cavidades registradas são colonizadas por estas espécies (Rocha, 2013), reforçando o caráter de interações ecológicas únicas nessas cavernas e tornando-as, literalmente, insubstituíveis.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor definição sobre o que é uma "interação ecológica única", e como esta interação pode ser caracterizada, incluindo ainda possíveis exemplos deste tipo de interações envolvendo morcegos.



3. Critério: Espécies com função ecológica importante

Redação: Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante (polinizadores, dispersores de sementes e morcegos insetívoros) que possuam relação significativa com a cavidade.

Avaliação: A redação atual da IN 02/2017 é problemática, pois permite inferir que a presença de populações de espécies de morcegos nectarívoros, frugívoros ou insetívoros em uma cavidade seria suficiente para considerá-la de importância acentuada sob o enfoque local. Seria possível, portanto, argumentar que qualquer cavidade que contenha alguns indivíduos das famílias Emballonuridae, Vespertilionidae, Mormoopidae, Furipteridae, Thyropteridae, Natalidae e Molossidae – cujas espécies são obrigatoriamente insetívoras – permitiria a sua classificação como de relevância local acentuada. O mesmo poderia ocorrer com algumas espécies de Phyllostomidae e Noctilionidae, e ainda com espécies frugívoras e nectarívoras. Posteriormente, a redação menciona “função ecológica importante” e uma “relação significativa com cavidade”, duas menções subjetivas.

Posicionamento e proposições: Este é um critério subjetivo e que pouco acrescenta ao processo de classificação. Sugerimos que este critério seja excluído, ou absorvido pelo critério que menciona interações únicas. Caso seja mantido, este trecho da IN deve ser melhor redigido, com a definição clara tanto de “função ecológica importante”, quanto de “relação significativa com a cavidade”.

4. Critério: População residente de quirópteros

Conceito: Conjunto de indivíduos pertencentes à mesma espécie, cuja presença contínua na cavidade seja observada por um período mínimo de um mês, caracterizando a inter-relação com o ecossistema cavernícola para a sua sobrevivência.

Avaliação: *A priori*, a definição deste critério parece objetiva, e aponta que a existência de uma “população” de morcegos no interior da cavidade por um período de ao menos um mês é suficiente para classificar esta cavidade como tendo importância acentuada sob o enfoque local. Entretanto, a questão aqui seria a necessidade de monitoramento da caverna para certificar que esta população é residente por um período de mais de 30 dias. A IN menciona ainda que, no caso de levantamentos biológicos estes deverão atender um mínimo de um ciclo anual com pelo menos duas amostragens por ano (seca e chuva). Então, profissionais que forem executar estes inventários devem estar atentos, pois para atender ao critério de verificação de população residente pelo menos uma destas duas amostras mínimas deveria idealmente se estender por um período de 30 dias.

Mas, posteriormente a definição de “residente” abre a possibilidade para alguns questionamentos importantes: E se esta população for residente apenas durante um período do ano (e.g., apenas estação chuvosa)?

Barros JS et al.: IN 02/2017 com foco em morcegos

Como se enquadrariam as situações extremas, (e.g., secas prolongadas por vários anos)? Além disso, é importante ressaltar que, frequentemente, as espécies utilizam um conjunto regional de cavernas, transitando entre abrigos próximos em um intervalo de tempo relativamente curto (Gomes, 2017). Portanto, não necessariamente uma população residente será encontrada em uma mesma caverna em campanhas consecutivas, ainda que esteja utilizando aquele abrigo de forma permanente e que este abrigo seja importante para a manutenção das populações. Morcegos podem utilizar como abrigos “fixos” um conjunto de cavernas em uma escala regional, de modo que a residência de determinada população pode ser afetada caso uma das várias cavidades utilizadas por tal população seja impactada.

Outro ponto importante a ser considerado é que, de acordo com a IN, cavernas com menos de cinco metros serão classificadas com baixo grau desde que não possuam zona afótica, destacada relevância histórico-cultural ou religiosa, ou presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos de significativo valor científico, cênico ou ecológico, ou função hidrológica expressiva para o sistema cárstico. Entretanto, essa determinação não considera a existência de registros de agrupamentos de *F. horrens* e *X. vieirai* – espécies listadas como ameaçadas – em cavernas com menos de cinco metros de desenvolvimento linear (A. Gomes e M. Guimarães, *com. pess.*). Ao ignorar estes registros, cavernas que deveriam ser consideradas como de máxima relevância seriam erroneamente consideradas de baixa relevância simplesmente por um critério de projeção horizontal, sem considerar seus atributos biológicos.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor definição do conceito de populações residentes. A definição exata deve abranger um conjunto de cavidades quando necessário, e também a temporalidade das amostragens e do ciclo de vida das espécies de morcegos. Além disso, necessita-se de padronização das metodologias a serem aplicadas para esta caracterização.

5. Critério: Táxons novos

Conceito: Ocorrência de animais pertencentes à taxa ainda não descritos formalmente.

Avaliação: São vedados impactos negativos irreversíveis em cavidades que apresentem ocorrência de táxon novo até sua descrição científica formal. Assim, deveríamos considerar e discutir, para a proteção da cavidade e da espécie nova, que o processo de descrição e a localização do novo registro devem tomar publicidade e que o descritor do novo táxon tenha liberdade para conduzir o processo de descrição até a sua conclusão. Isso seria mais relevante no caso de novo táxon em local que já experimenta impactos decorrentes de atividades irreversíveis, como a mineração. Há casos de novas espécies de morcegos para o Brasil que se encaixam exatamente nesta situação, mas cuja publicidade e descrição encontram-se embargadas ou retardadas em função dos



dados terem sido gerados em consultorias que envolvem cláusula de sigilo. Além disso, outro aspecto importante a ser discutido é que alguns dos novos táxons podem corresponder a animais ameaçados de extinção em algum grau. Neste caso, a situação seria composta não apenas por uma espécie nova, mas também por uma espécie ameaçada.

Posicionamento e proposições: Critério objetivo, entretanto embargos decorrentes de cláusulas contratuais de sigilo precisam ser revistos passando por um questionamento de sua validade legal. Estes embargos parecem ferir a Constituição Federal (Brasil, 1988), que no Inciso IV do 1º Parágrafo do Artigo 225 assim estabelece: "exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade (grifo nosso)".

Mais além, a Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, explícita em seu Artigo 7º que o estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto (grifo nosso) e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados. Esta mesma Resolução, em seu Artigo 11 ainda menciona que, respeitado o sigilo industrial, assim solicitado e demonstrado pelo interessado, o RIMA será acessível ao público. Assim, entendemos que 1) o processo de licenciamento, em especial seu EIA, são de interesse público, 2) cláusulas de confidencialidade e embargos de divulgação referentes à ocorrência de espécies novas ferem o princípio de interesse público, e 3) a ocorrência de uma espécie não descrita pela ciência não pode, de maneira alguma, ser vista como "sigilo industrial". Portanto, a conclusão aqui é: estes embargos não encontram respaldo legal, pois tratam na verdade de cláusula meramente comercial/contratual e que, portanto, não podem suplantar a Constituição Federal e as Resoluções do CONAMA. Contudo, essas afirmações precisam ser analisadas sob o ponto de vista jurídico. Propomos também que as atividades que geram impactos irreversíveis nas cavidades sejam vetadas até que seja feita a descrição formal das espécies em questão, e até que seja constatado que elas não se enquadram nas categorias de ameaça previstas pela IUCN, seja em nível nacional ou regional.

6. Critério: Riqueza de espécies

Conceito: Estimativa do número de espécies presentes na caverna.

Avaliação: A IN aponta que a riqueza de espécies de morcegos na caverna deve ser classificada em "baixa", "média" ou "alta", sem, contudo, indicação dos respectivos valores. A falta destes valores compromete a objetividade e aplicabilidade deste critério.

6

Posicionamento e proposições: Critério objetivo, porém carece de uma especificação sobre os valores e métodos

analíticos específicos, considerando ainda diferentes litologias e desenvolvimentos lineares. Analisando dados para 269 cavernas com inventários de morcegos disponíveis no Brasil, Guimarães & Ferreira (2014) propuseram que podem ser classificadas como cavernas de baixa riqueza aquelas que abrigam de zero a três espécies de morcegos, média riqueza de quatro a seis espécies, alta riqueza de sete a nove espécies, e elevada riqueza quando abrigarem mais de nove espécies. O conhecimento sobre a riqueza de espécies de morcegos nas cavernas brasileiras ainda é bastante incompleto, mas as categorias de Guimarães & Ferreira (2014) poderiam ser utilizadas como um balizador. Ainda assim, seria necessária uma discussão a respeito de particularidades, como uma possível variação nesses valores, de acordo com as litologias e desenvolvimentos lineares diferentes das cavernas.

7. Critério: Diversidade de espécies

Conceito: Medida da diversidade local da caverna (ou diversidade alfa), considerando a variedade (riqueza de espécies) e a abundância relativa de espécies (equitabilidade).

Avaliação: A questão de riqueza de espécies foi previamente discutida no tópico anterior. A IN 02/2017 classifica a diversidade de espécies em "alta", "média", ou "baixa", atribuindo pesos para cada uma delas sem, contudo, indicar as respectivas categorias de valores e metodologias adequadas. Esta classificação vai demandar cuidado especial, pois dependendo da situação há grande chance de erro no cálculo de abundância relativa para morcegos.

Se a estimativa for obtida visualmente, o erro pode decorrer de vários fatores: a) espécies com maior coesão social ou necessidades fisiológicas particulares e cujos indivíduos ficam mais densamente juntos, dificultando contagem precisas; b) a estrutura da caverna, com existência de câmaras utilizadas pelos morcegos, mas inacessíveis por humanos, ou ainda; c) o tipo da superfície das paredes e teto, se liso ou com reentrâncias que podem esconder indivíduos (Klopper *et al.*, 2016). Se as estimativas forem obtidas por captura com redes na saída das cavernas, deve-se levar em consideração: a) a existência de saídas alternativas, b) a seletividade das redes para diferentes espécies, ou até c) mesmo possíveis diferenças de horário na saída das espécies.

Posicionamento e proposições: Critério necessita de especificação de valores, e melhorias e padronização na metodologia empregada na estimativa de abundância. Necessita-se ainda, e com urgência, de um protocolo detalhado para acessar a abundância de morcegos em cavernas de uma forma sistematizada e padronizada para que diferentes sítios possam ser comparados com precisão. As peculiaridades intrínsecas à diferentes tipos de litologia precisam ser obrigatoriamente consideradas, e a comparação entre diversidades oriundas de diferentes litologias deve ser evitada. Experiências com o uso de imagens termo-sensíveis e algoritmos de detecção de



movimento para a contagem mais precisa dos morcegos em uma cavidade já estão sendo realizadas no país há pelo menos quatro anos (Otálora-Ardila *et al.*, 2019). Os resultados já obtidos são muito superiores às contagens manuais, com taxas de erro inferiores a 1% em alguns casos e contagens que ultrapassam, em alguns casos, 150 mil morcegos, feitos de maneira padronizada e replicável.

O caminho a ser buscado deve passar pela padronização dos censos, pela independência de um observador humano, com consequente redução de erro nas contagens, e pelo caráter menos invasivo da abordagem. Ressaltamos a importância da precaução na utilização de redes de neblina em entradas de cavernas, uma vez que tal metodologia pode ser prejudicial em cavernas com grandes colônias de morcegos. Abordagens que busquem a automatização e padronização das contagens, respeitando o rigor científico necessário, devem ser estimuladas, e consideradas para a adoção preferencial em estudos de impacto ambiental, por exemplo.

8. Critério: Troglóxico obrigatório

Conceito: Troglóxico que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida.

Avaliação: Morcegos são frequentemente classificados como troglóxicos, i.e., organismos que utilizam frequentemente ambientes cavernícolas, mas necessitam de ambientes de superfície para completar seu ciclo de vida (Sket, 2008). A IN 02/2017 menciona troglóxico obrigatório, que é o troglóxico que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida. Entretanto, não há menção sobre quais são essas espécies. Neste sentido, nem todas as espécies de morcegos poderiam assim ser classificadas (Guimarães & Ferreira, 2014), e novamente o conhecimento limitado sobre a biologia das espécies de morcegos no Brasil torna também tal classificação imprecisa.

Posicionamento e proposições: Este critério necessita de melhor especificação quanto às espécies que se enquadram na categoria de troglóxico obrigatório. Sugerimos a substituição do critério "troglóxico obrigatório" por outros parâmetros ecológicos e/ou referentes à biologia das espécies mais eficazes para mensurar a importância das cavidades para determinados morcegos residentes. Por exemplo, a existência de fêmeas grávidas ou com filhotes no interior da cavidade. Este atributo é mais objetivo, de fácil diagnose, e indica que as cavidades escolhidas por fêmeas de certas espécies para a gestação e cuidado parental pós-natal são essenciais para a sobrevivência e recrutamento de novas gerações nas populações estudadas. Se constatado que estas cavernas são usadas com fins reprodutivos frequentemente, isso já seria suficiente para considerar que a cavidade em questão tem importância acentuada. Neste cenário, cavernas identificadas como essenciais ou muito importantes para a reprodução de populações deveriam contar com proteção máxima, independente do seu status de ameaça.

Barros JS *et al.*: IN 02/2017 com foco em morcegos

9. Critério: População excepcional em tamanho

Conceito: Conjunto de indivíduos da mesma espécie com número excepcionalmente grande de indivíduos.

Avaliação: Sítios que concentram grandes congregações animais têm elevada importância para a conservação por pelo menos três razões: 1) valor desproporcional para a sobrevivência das espécies; 2) estas espécies podem ser particularmente vulneráveis quando presentes em tais congregações; e 3) o elevado número de indivíduos presentes nestas congregações promove sua ampla participação em interações ecológicas (Mittermeier *et al.*, 2003). Cavernas com populações excepcionais de morcegos cumprem estes requisitos e não resta dúvida que estes abrigos devam gozar de máxima proteção.

Entretanto, a classificação de uma população de morcegos como excepcional carrega um componente subjetivo, e que pode variar entre espécies, locais e litologias. Nesse sentido, a discussão a respeito do número acima do qual uma população seria considerada excepcional se torna necessária. Estudos recentes em Sergipe, Pernambuco e Pará apontam que algumas cavernas ultrapassam os 150 mil indivíduos em seu interior (E. Bernard, *com. pess.*). Mas até o momento, estas concentrações excepcionais são formadas basicamente por espécies do gênero *Pteronotus*. Colônias de dezenas ou até centenas de milhares de indivíduos apontam que essas "cavernas especiais" são fundamentais para a dinâmica ecossistêmica em nível de paisagem, pois interagem e predam com populações de diversas espécies de insetos. Outros estudos no Rio Grande do Norte também já apontaram concentrações de mais de 8.000 *Phyllostomus discolor* (Wagner, 1843), um valor muito inferior às concentrações de *Pteronotus*, mas não menos excepcional considerando que a literatura relata abrigos com cerca de, no máximo, 400 indivíduos (Kwiecinski, 2006). Da mesma forma, uma caverna que contenha, por exemplo, 30 a 50 *N. macrourus* ou 300 indivíduos de *Lonchophylla* certamente contém uma população excepcional para estas espécies.

O tamanho que atribuirá excepcionalidade à população em uma caverna precisará ser considerado caso a caso, e esse sem dúvida deverá ser objeto de discussão por parte da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ). Não obstante tal critério classifica as cavernas apenas no nível de "alta" relevância, de maneira que estas poderiam ainda sofrer impactos negativos irreversíveis mediante algum tipo de compensação, o que acaba sendo um dano inconcebível para tais populações.

Posicionamento e proposições: Com ajustes, este critério pode se tornar objetivo e aplicável. Propõe-se aqui que os valores que determinam a excepcionalidade de uma população sejam vinculados ao contexto regional. Assim, poderia ser considerada excepcional aquela população cujo número de indivíduos supera em pelo menos cinco vezes a média regional. Tal abordagem retiraria a subjetividade da classificação de excepcionalidade,



consideraria diferenças espécie-específicas, e litologia-específicas. Tal abordagem exigiria ainda que populações de outras cavidades precisariam ser avaliadas para a determinação da excepcionalidade de uma dada cavidade. Permitindo assim, a ampliação do conhecimento sobre populações, riqueza e raridade locais e regionais, melhorando a qualidade do processo de avaliação de impactos.

10. Critério: Espécie rara

Conceito: Ocorrência de organismos representantes de espécies cavernícolas não troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante.

Avaliação: Novamente a redação menciona apenas a presença do organismo, sem vinculação a valor específico. Assim como na discussão do atributo anterior, o mais indicado é que a classificação da raridade deveria ser avaliada caso a caso, sem a abordagem de "único valor para todos". Além de variar entre espécies, locais e litologias, a raridade depende frequentemente do método de amostragem. A predominância do uso de redes majoritariamente armadas até três metros de altura distorce as amostragens, tornando-as tendenciosas para o registro de espécies de Phyllostomidae (Cunho & Bernard, 2012).

Estudos baseados no registro de sinais de ecolocalização têm mostrado que espécies que eram até então consideradas raras são abundantes e amplamente distribuídas (e.g., Hintze *et al.*, 2019). A verdade é que, infelizmente, o conhecimento sobre a distribuição e tamanho populacional das espécies de morcegos brasileiros está bem aquém do ideal (Bernard *et al.*, 2012). Poucos foram os locais inventariados de maneira sistematizada e completa, e menos ainda são os sítios que recebem monitoramento padronizado de médio-longo prazo. Ainda, o critério de raridade exige que outras cavernas sejam amostradas em escala local ou regional para permitir comparações.

Posicionamento e proposições: Com ajustes, este critério pode se tornar objetivo e aplicável. Uma alternativa para mitigar o problema poderia ser a elaboração de uma "lista nacional de espécies raras", chancelada pela SBEO. O "Checklist of Brazilian bats" (Nogueira *et al.*, 2018), que organizou sobremaneira a ocorrência e validade de registros para espécies no Brasil, é um modelo a ser seguido e mostra que a mobilização da comunidade quiropterológica para assuntos aplicados pode gerar excelentes resultados.

CONCLUSÕES

Conforme mostrado nesta análise, desde a IN 02/2009 – e com a atual IN 02/2017 – houve alterações significativas nos processos de geração de impactos sobre cavernas no Brasil. Reconhecemos os progressos entre a publicação da IN 02/2009 e 02/2017 e que a intenção

dessas instruções normativas é tornar o processo de licenciamento envolvendo cavidades mais objetivo e baseado em variáveis mensuráveis. Entretanto, a redação e melhor definição destas variáveis necessitam de aprimoramento. A análise apresentada aqui deve ser vista como um diagnóstico feito por profissionais com experiência na interface entre morcegos e cavernas. Entretanto, ela é inicial e não esgota uma discussão sobre a melhoria da IN 02/2017. Sugerimos futuras discussões sejam ampliadas e trabalhadas de forma mais específica e especializada. Considerando que o atual presidente é também um dos autores deste ensaio, a Sociedade Brasileira para o Estudo dos Quirópteros – SBEO se propõe a cumprir tal tarefa.

A IN 02/2017 estabelece que ela deverá ser revista em um prazo máximo de cinco anos. Em tempos de forte ataque sobre a legislação ambiental brasileira por setores contrários, é importante que o processo de redação de Instruções Normativas – documentos essenciais para aplicação dos decretos – seja liderado pelo CECAV/ICM-Bio, e conte com a ampla participação da sociedade e comunidade científica, para que os pontos aqui mencionados sejam discutidos, esclarecidos, melhorados e aplicados. Certamente vários dos argumentos aqui apresentados podem ter interpretações diferentes das que expusemos e a opinião de outros profissionais é fundamental. Um marco legal claro e efetivo faz-se necessário, e a IN deve ser considerada neste sentido. Se bem conduzido, com a ampla participação da comunidade quiropterológica brasileira, há a possibilidade de que a IN 02/2017 evolua, o que é essencial para a proteção dos morcegos brasileiros, sobretudo no contexto dos processos de licenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS

- Aguilar LMS, Bernard E, Machado RB. 2014. Habitat use and movements of *Glossophaga soricina* and *Lonchophylla dekeyseri* (Chiroptera: Phyllostomidae) in a Neotropical savannah. *Zoologia* 31(3): 223-229. <http://doi.org/10.1590/S1984-46702014000300003>.
- Bahia. Secretaria do Meio Ambiente. 2015. Lista de espécies ameaçadas da Bahia. Disponível em: http://www.meioambiente.ba.gov.br/gestor/Consultas/ConsultaPublicacao.php?pub_id=4312. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Barros JS, Bernard E, & Ferreira RL. 2020. Ecological preferences of Neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. *Basic and Applied Ecology*. <http://doi.org/10.1016/j.baaec.2020.03.007>.
- Bernard E, Aguiar LMS, Brito D, Cruz-Neto AP, Gregorin R, Machado RB, Oprea M, Paglia AP, Tavares VC. 2012. Uma análise de horizontes sobre a conservação de morcegos no Brasil. Pp. 19-33. In: Freitas TRD, Vieira EM (Eds.), *Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação*. Vol. II. Sociedade Brasileira de Mastozologia, Rio de Janeiro, Brasil.
- Bernard E, Aguiar LMS, Machado RB. 2011. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? *Mammal Review* 41: 23-39. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2010.00164.x>.
- Bernard E, Fenton MM. 2003. Bat mobility and roosts in a fragmented landscape in central Amazonia, Brazil. *Biotropica* 35(2): 262-277. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00285.x>.
- Boyles JG, Cryan PM, McCracken GF, Kunz TH. 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science* 332: 41-42. <http://doi.org/10.1126/science.1201366>.
- Brasil. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil/03/Constituicao/Constituicao.htm>.

Barros JS *et al.*: IN 02/2017 com foco em morcegos



- Brasil. 2008. Decreto Federal Nº 6.640, de 07 de novembro de 2008. Relevância de cavernas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 10 nov. 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm. Acessado em: 21 de agosto de 2019.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2009. Instrução Normativa MMA Na 002, de 20 de agosto de 2009. Estabelece uma metodologia específica para a determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/in%2002_mma_comentada.pdf. Acessado em: 21 de agosto de 2019.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2017. Instrução Normativa Na 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.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2020. Relatório estatístico cavernas por unidade federativa. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_cavie&controller=relatorioestatistico&ItemPesq=true. Acessado em: 20 de abril de 2020.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. 1986. Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acessado em: 23 de outubro de 2019.
- Ferreira CF, Cruz JB, Reino JCR. 2011. Instrução Normativa Na 2, de 20 de Agosto de 2009 – Comentada. Pp. 180-188. In: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Instituto Terra Brasília (Orgs.). III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. ICMBio/CECAV, Brasília, DF.
- Ferreira RL. 2004. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. Tese Doutorado em Ciências Biológicas (Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade de Minas Gerais, Lavras, Brasil.
- Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. FATMA. 2010. Lista das espécies de fauna ameaçada de extinção de Santa Catarina. Relatório Técnico Final. Disponível em: http://www.fatma.sc.gov.br/upload/Fauna/relat9300rio_19300cnico_final_lista_esp9300cies_amea9300das.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. FZB. 2014. Lista das espécies de fauna ameaçadas de extinção no Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.fzb.rs.gov.br/upload/1396361250_lista_categoria.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Gnaspini-Netto P. 1992. Bat guano ecosystems: a new classification and some considerations with special references to Neotropical data. *Memoirs of Biospéologie* 19: 135-138.
- Gomes AM. 2017. Uma luz na escuridão: Desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas (Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade de Minas Gerais, Lavras, Brasil.
- Guimarães MM, Ferreira RL. 2014. Morcegos cavernícolas do Brasil: Novos registros e desafios para conservação. *Revista Brasileira de Espeleologia* 2(4): 1-33.
- Hintze F, Arias-Aguilar A, Dias-Silva L, Delgado-Jaramillo M, Silva CR, Jucá T, Ramos Pereira MJ. 2019. Molossid unlimited: extraordinary extension of range and unusual vocalization patterns of the bat, *Promops centralis*. *Journal of Mammalogy*. <http://doi.org/10.1093/jmammal/gyz167>.
- Instituto Ambiental do Paraná. IAP. 2010. Lista de fauna ameaçada do Paraná. Disponível em: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=56582&indice=1&totalRegistros=13>. Acessado em: 17 de julho de 2020.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. ICMBIO. 2018. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I/– 1. ed. – Brasília, DF: ICMBio/MMA. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf. Acessado em: 15 de julho de 2020.
- Barros JS et al.: IN 02/2017 com foco em morcegos
- Instituto de Pesquisa da Mata Atlântica. IPMA. 2007. Espécies de Fauna ameaçada de extinção no Estado do Espírito Santo. Disponível em: http://www.herpetologiamuseunacional.com.br/pdfs/carlos_cruz/Gasparini_et_al_2007_Especies_da_Fauna_Amea%C3%A7adas_do_ES.pdf. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Klopper LN, Linnenschmidt M, Blowers Z, Branstetter B, Reilston J, Simmons JA. 2016. Estimating colony sizes of emerging bats using acoustic recordings. *Royal Society Open Science* 3(3): 160022. <http://doi.org/10.1098/rsos.160022>.
- Kunz TH, Murray SW, Fuller NW. 2011. Bats. Pp. 45-54. In: White WB and DC Culver (Eds.). *Encyclopedia of caves*. Second Edition. Academic Press, MA, USA.
- Kwiecinski GG. 2006. *Phyllostomus discolor*. *Mammalian Species* 801: 1-11. <http://doi.org/10.1644/801.1>.
- Lobova TA, Geiselman CK, Mori AS. 2009. Seed Dispersal by Bats in the Neotropics. *Memoirs of The New York Botanical Garden*. The NYBG Press, New York.
- Mittermeier RA, Gil PR, Mittermeier CG, Brooks T, Hoffmann M, Konstant WR, Fonseca GAB, Mast RB. 2003. *Wildlife spectacles*. CEMEX-Agrupación Sierra Madre-Conservation International. Mexico.
- Nogueira MR, Lima IP, Garbino GST, Moratelli R, Tavares VC, Gregorin R, and Peracchi AL. 2018. Updated checklist of Brazilian bats: versão 2018. Comitê de Lista de Morcegos do Brasil – CLMB. Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (Soeq). Disponível em: <http://www.sbeq.net/updtelst>. Acessado em: 11 de maio de 2020.
- Oliveira HFM, Oprea M, Dias RI. 2018. Distributional patterns and ecological determinants of bat occurrence inside caves: A broad scale meta-analysis. *Diversity* 10: 49. <http://doi.org/10.3390/d10030049>.
- Otáiora-Ardila A, Torres JM, Barber E, Pimentel NT, Leal ESB, Bernard, E. 2019. Thermally-assisted monitoring of bat abundance in an exceptional cave in Brazil's Caatinga drylands. *Acta Chiropterologica* 21(2): 411-423. <http://doi.org/10.3161/15081109ACC2019.21.2.016>.
- Piló LB, Auler A. 2011. Introdução à Espeleologia. Pp. 7-23. In: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), Instituto Terra Brasília (Orgs.). III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. ICMBio/CECAV, Brasília, DF.
- Rio de Janeiro. 1997. Decreto 15.793 de 04 de Junho de 1997. Dispõe sobre a criação Rio-Diversidade – Programa de conservação das espécies raras e ameaçadas de extinção. Disponível em: <https://institucional.org/wp-content/uploads/2018/11/Lista-da-Fauna-Amea%C3%A7ada-de-Extin%C3%A7%C3%A3o-RJ.pdf>. Acessado em: 11 de maio de 2020.
- Rocha PA. 2013. Quirópterosfauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia), Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia). Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, Brasil.
- São Paulo. 2018. Lista de espécies ameaçadas de extinção em São Paulo. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63853-27.11.2018.html>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SEMAD. 2010. Lista de espécies de fauna ameaçadas de extinção de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sia/download.pdf?idNorma=13192>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. SEMAS. 2007. Resolução 054/2007. Homologa a lista de espécies ameaçadas de flora e fauna do estado do Pará. Disponível em: <https://idefiorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/Lista-de-esp%C3%A9cies-amea%C3%A7adas-de-extin%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: 22 de agosto de 2019.
- Sket B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History* 42: 1549-1563. <http://doi.org/10.1080/00222930801995762>.
- Trevelin LC, Silveira M, Port-Carvalho M, Homem DH, Cruz-Neto AP. 2013. Use of space by frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a restored Atlantic forest fragment in Brazil. *Forest Ecology and Management* 291: 136-143. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.013>.