

# RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

## Associação de morcegos (Mammalia, Chiroptera) a cavidades ferríferas através de levantamentos simples – a importância das AICOM's e SICOM's.

### INTRODUÇÃO

A superexploração e a degradação acelerada dos habitats exigem estratégias urgentes de manutenção e conservação da diversidade biológica (Tanalgo *et al.*, 2018; Aguiar; Pereira, 2019). Logo, a identificação de regiões com alto grau de biodiversidade ou endemismo, podem ser úteis para a criação de áreas prioritárias e para o fortalecimento e manutenção de áreas protegidas, além de possibilitarem o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes (Trajano *et al.*, 2016; Tanalgo *et al.*, 2018; Tanalgo *et al.*, 2022).

O Brasil apresenta cerca de 181 espécies de morcegos (Garbino *et al.*, 2022). Destas, 146 (46 endêmicas do bioma amazônico) foram registradas na Amazônia brasileira, retratando 80% dos morcegos do país (Tavares *et al.*, 2012; de Oliveira, 2020). Especialmente, no estado do Pará, parte da Amazônia Oriental, é encontrada a maior diversidade de quirópteros: 120 espécies; sendo 76 catalogadas para a Floresta Nacional de Carajás (Tavares *et al.*, 2012; da Luz; Ferraz, 2018; de Oliveira, 2020).

Além de possuir uma elevada riqueza de espécies, os quirópteros são seres altamente móveis (Arita; Fenton, 1997; Bernard; Fenton, 2003), coloniais e apresentam estratégias variáveis de vida em grupo (Monks; O'Donnell, 2015); estão envolvidos em vários processos ecológicos (como polinização, dispersão de sementes e controle populacional de insetos) e ocupam diversos habitats – folhagens, fendas em rochas, ocos e troncos de árvores, estruturas feitas pelo homem (como pontes, forros de prédios e minas abandonadas) e cavernas (Kunz, 1982; Kunz; Pierson, 1994; Reis *et al.*, 2007; Bernard *et al.*, 2012).

As cavernas apresentam características físicas únicas que representam regimes seletivos distintos daqueles observados em habitats superficiais, o que contribui para o isolamento de sua fauna (Dessen *et al.*, 1980; Trajano; Bichuette, 2006), que é classificada ecológico-evolutivamente de acordo com a ocupação e a dependência destes habitats – Classificação de Schiner-Racovitza, proposta por Schiner (1854) e complementada por Racovitza (1907) (Trajano; Bessi, 2017). Com base nessa categorização, os quirópteros são classificados como

trogloxenos, ou seja, possuem populações-fonte no meio superficial e utilizam os habitats subterrâneos como recurso, retornando obrigatoriamente à superfície para completar seu ciclo de vida (Trajano; Bessi 2017).

Para os morcegos, as cavernas são essenciais para sua ecologia e evolução (Trajano, 1984, 1995), por oferecem locais adequados para criação de filhotes, digestão alimentar, proteção contra predadores e intempéries climáticas, interações sociais e reprodução, além de vantagens termoregulatórias (Kunz, 1982; Humphrey; Oli, 2015; Torres; Bichuette, 2019a,b; Pereira *et al.*, 2022). Em contrapartida, os quirópteros são espécies-chave em habitats subterrâneos devido ao seu papel na introdução de nutrientes orgânicos, que serve como fonte de alimento e substratos para os diversos invertebrados subterrâneos (Poulson, 1972; Ginet; Decou, 1977; Gnaspini-Netto, 1989; Gnaspini, 1992; Gnaspini; Trajano, 2000; Trajano, 2000; Trajano; Bichuette, 2006; Torres; Bichuette, 2020), sendo importantes especialmente para as espécies restritas a cavernas (os chamados troglóbios) que são totalmente dependentes dos recursos presentes nestes habitats (Gnaspini-Netto, 1989; Trajano, 1995; Gnaspini; Trajano, 2000; Akmal *et al.*, 2022).

Em virtude disso, os morcegos são considerados bons indicadores de biodiversidade de cavernas e de valor de conservação (Tanalgo *et al.*, 2018). Logo, para garantir a proteção das comunidades de organismos subterrâneos, faz-se necessário que todas as populações de morcegos sejam protegidas, independente do seu status de conservação; enquanto para os morcegos, todas as cavernas são importantes e devem ser protegidas para que suas populações se mantenham viáveis (Trajano, 1995).

#### **Atividades planejadas:**

1. Associar a quiropterofauna a cavidades ferríferas através de levantamento simples;
2. Identificar a coocorrência de colônias de morcegos nas cavidades estudadas em diferentes períodos;
3. Descrever as condições microclimáticas das cavidades e investigar sua relação com a existência de *bats caves*;
4. Estimar o tamanho aproximado das colônias de morcegos que constituem as chamadas *bats caves*;
5. Identificar a fauna de invertebrados associada ao guano de morcegos;
6. Analisar o guano quanto a presença de microbiota patogênica associada;
7. Descrever as condições microclimáticas dos depósitos de guano identificados;

8. Destacar a importância ecológica dos quirópteros para a fauna de invertebrados subterrâneos;
9. Testar e propor Áreas de Importância para Conservação de Morcegos (AICOM) e Sítios de Importância para Conservação de Morcegos (SICOM).

#### Atividades desenvolvidas:

1. Associar a quiropterofauna a cavidades naturais subterrâneas por meio de inventários faunísticos (levantamentos simples);
2. Conhecer como se estruturam (distribuição, composição e coabitação de espécies) as comunidades de quirópteros nas cavidades estudadas;
3. Determinar a localização das colônias de morcegos nas cavidades estudadas;
4. Identificar a coocorrência de colônias de quirópteros nas cavidades nos diferentes períodos de amostragem (sazonalidades distintas);
5. Estimar o tamanho aproximado das colônias de morcegos nas cavidades estudadas;
6. Conhecer a fauna de invertebrados associada ao guano de morcegos;
7. Medir e monitorar as condições microclimáticas das cavidades estudadas;
8. Identificar a presença de *bat* ou *hot caves* e as condições para seu estabelecimento;
9. Propor Áreas de Importância para Conservação de Morcegos (AICOM) e Sítios de Importância para Conservação de Morcegos (SICOM);
10. Propor ações de conservação que visem o aprimoramento da gestão do Patrimônio Espeleológico Nacional e sua manutenção, manejo e uso sustentável.

## METODOLOGIA

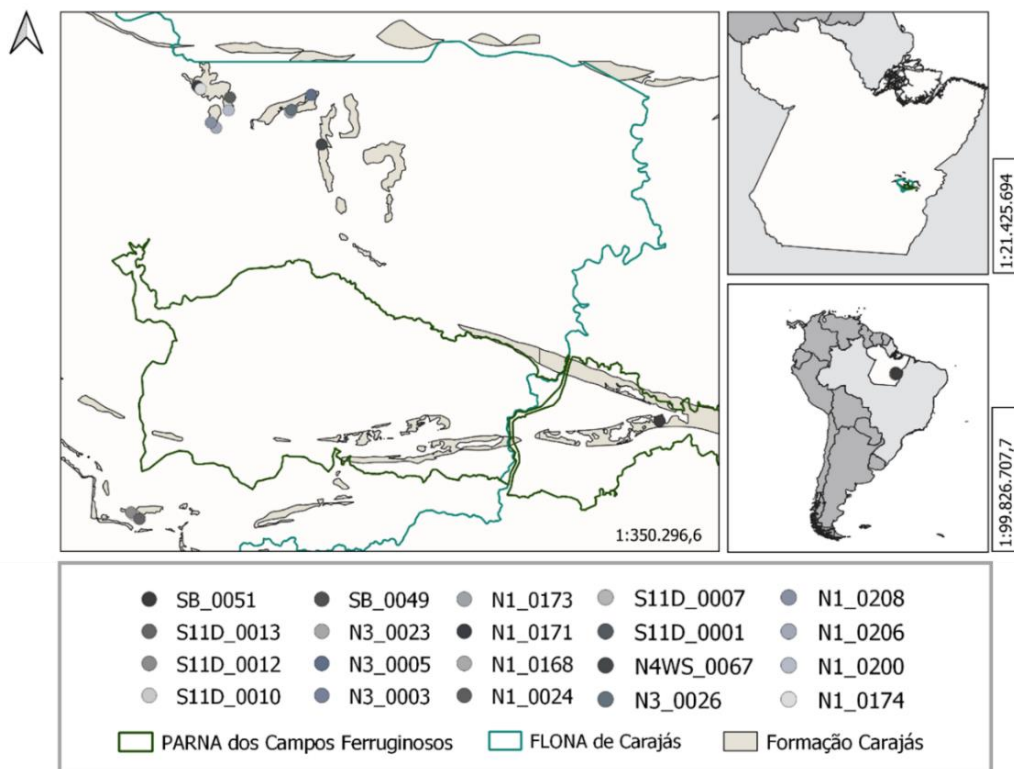
### Área de estudo

O estudo foi conduzido no sudeste do estado do Pará, em 20 cavernas localizadas em duas Unidades de Conservação (UC) Federal: Floresta Nacional de Carajás, UC de Uso Sustentável, criada pelo Decreto N° 2.486, de 2 de fevereiro de 1998, inserida nos municípios de Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás e Parauapebas; e Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, UC de Proteção Integral, criado pelo Decreto S/N, de 5 de junho de 2017, abrangendo os municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas (Tabela 1, Figuras 1 e 2).

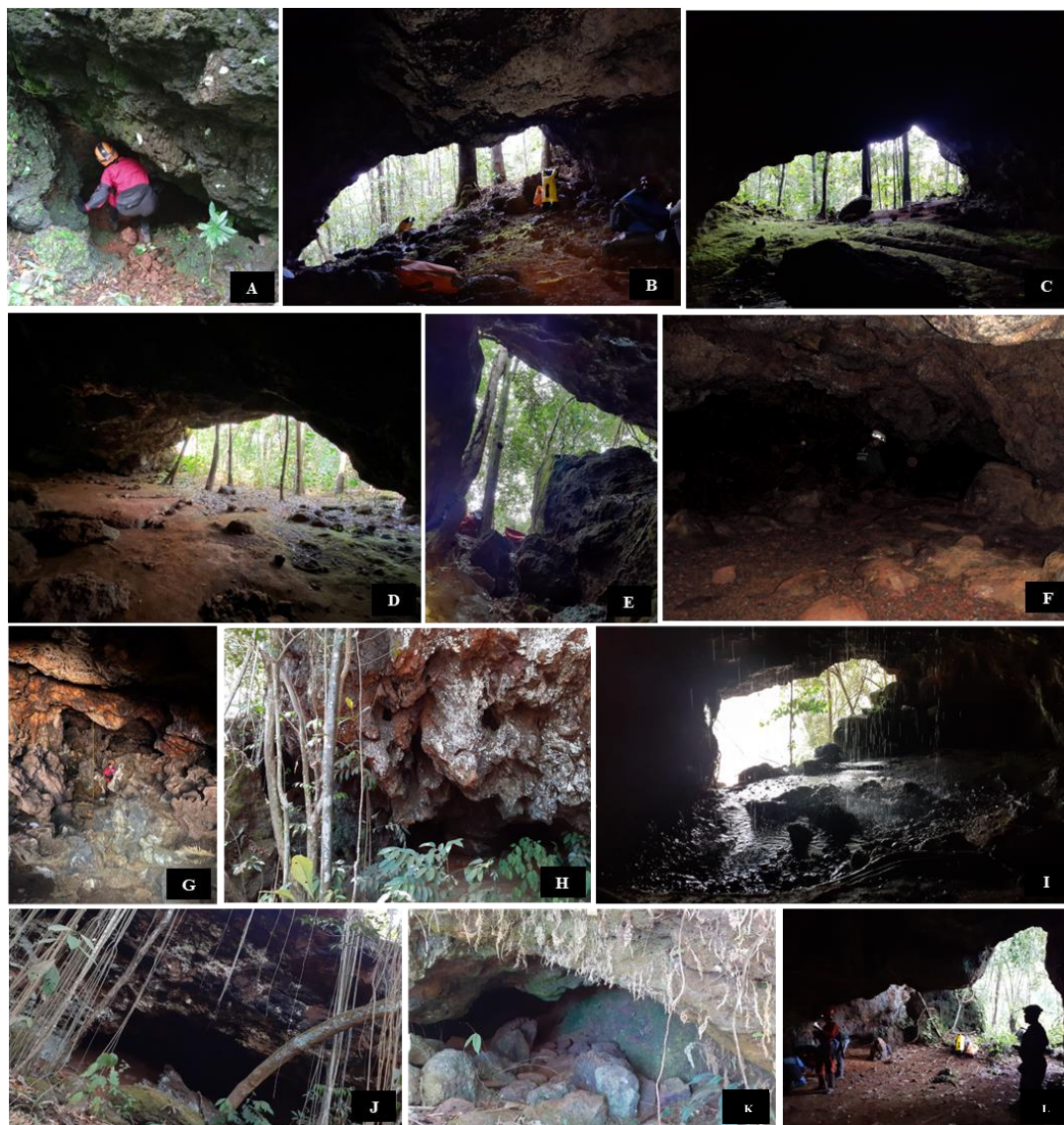
**Tabela 1.** Localização das cavidades estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, Pará, Brasil, com as respectivas sazonalidades de amostragem.

Unidade de Conservação	Toponímia (Cavidade)	Coordenadas Geográficas (UTM)		Altitude (m)	Estação do ano (período)
Floresta Nacional de Carajás	N1_0024	580485	9333239	633 m	Seca (ago.2022)
	N1_0168	577287	9334357	661 m	Chuvosa (mar.2023)

	N1_0171	577309	9334313	663 m	Seca (ago.2022)
	N1_0173	577560	9334025	657 m	Chuvosa (fev.2022)
	N1_0174	577608	9333996	657 m	Seca (ago.2021/2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	N1_0200	580345	9331995	694 m	Seca (ago.2021/2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	N1_0206	579132	9330281	626 m	Seca (ago.2021)
	N1_0208	578620	9330791	670 m	Chuvosa (fev.2022)
	N3_0003	588425	9333482	632 m	Seca (ago.2023)
	N3_0005	588388	9333459	645 m	Seca (ago.2023)
	N3_0023	586330	9331955	625 m	Seca (ago.2021/2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	N3_0026	586474	9332020	636 m	Seca (ago.2021/2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	N4WS_0067	589408	9328647	581 m	Seca (ago.2021)
	S11D_0001	571067	9292658	762 m	Seca (ago.2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	S11D_0007	571651	9292293	756 m	Chuvosa (fev.2022)
	S11D_0010	571067	9292658	776 m	Seca (ago.2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	S11D_0012	570788	9292921	756 m	Chuvosa (fev.2022)
S11D_0013	571578	9292291	761 m	Chuvosa (fev.2022)	
Parque Nacional dos Campos Ferruginosos	SB_0049	622252	9301709	629 m	Seca (ago.2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)
	SB_0051	622282	9301728	637 m	Seca (ago.2022) e chuvosa (fev.2022/mar.2023)



**Figura 1.** Mapa de localização das cavidades estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, Pará, Brasil.



**Figura 2.** Algumas das cavidades estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos: N1\_0168 (A), N1\_0173 (B), N1\_0174 (C), N1\_0200 (D), N1\_0208 (E), N3\_0003 (F), N3\_0023 (G), N3\_0026 (H), S11D\_0001 (I), S11D\_0010 (J), SB\_0049 (K) e SB\_0051 (L). Fonte: Instituto Brasileiro de Estudos Subterrâneos.

## Quirópteros

Visitas as 20 cavidades ocorreram de agosto de 2021 a março de 2023 (consultar Tabela 1). Nas ocasiões, os quirópteros foram capturados com redes de neblina armadas próximas às colônias e/ou em suas rotas de acesso dentro da cavidade, ou com puçás (para indivíduos empoleirados em paredes e tetos baixos). As redes de neblina ficaram expostas por um período de 4 a 7 horas e foram checadas regularmente (15 em 15 minutos, aproximadamente), a fim de evitar o estresse excessivo dos animais e, conseqüentemente, óbitos.

Os espécimes capturados foram manuseados com luvas de raspas de couro e acondicionados em sacos de tecidos para extração de informações, como sexo, faixa etária,

estádio reprodutivo e registros fotográficos. Em geral, um casal de cada espécie por cavidade foi eutanasiado por meio do deslocamento cervical (fixados em formol 10% e, posteriormente, transferidos para álcool 70% para preservação) e encaminhado ao Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES), onde foram identificados com o auxílio de chave de identificação e artigos de (re)descrição das espécies, tombados na Coleção de Vertebrados do LES (acrônimo LESV, curadoria Dra. Maria Elina Bichuette) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Posteriormente, parte desse material foi direcionado ao Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos (LADISMA) para refinação da identificação e depósito na Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Lavras (acrônimo CMUFLA, curadoria Dr. Renato Gregorin).

As colônias dos morcegos foram monitoradas ao longo das campanhas de amostragem, onde foram anotadas informações sobre variação de tamanho e presença/ausência sazonais, comportamentos de interação social, presença/ausência de filhotes/fêmeas prenhes/machos reprodutivos e localização das colônias em relação a zonação. Uma estimativa aproximada dos tamanhos populacionais para cada cavidade foi obtida a partir de uma pontuação de abundância – modificada de Arita (1996); Quibod *et al.* (2019) e Bejec *et al.* (2020), a saber: (1) 1-10 indivíduos; (2) 11-50 indivíduos; (3) 51-100 indivíduos; (4) >101 indivíduos.

Além disso, os vestígios da presença de morcegos (manchas e depósitos de guano) foram investigados por meio de busca ativa, sendo considerados como amostras adicionais e testemunhos da ocupação das cavidades por morcegos. Quando presentes, os guanos foram identificados visualmente de acordo com o tipo de alimentação do morcego (por exemplo, guano de morcego hematófago).

A nomenclatura e o arranjo taxonômico das espécies aqui listadas seguiram Garbino e colaboradores (2022). Os procedimentos de captura, contenção, soltura e coleta seguiram a Resolução CFBio Nº 301/2008, os de eutanásia o Guia de Boas Práticas para a Eutanásia de Animais – Conceitos e Procedimentos (2013). A documentação pertinente a manipulação dos espécimes – ID nº 9992081221 – foi encaminhada à Comissão de Ética no Uso de Animais da UFSCar em 08/12/2021 e reencaminhada com ajustes em 10/04/2023. A pesquisa foi conduzida mediante a autorização SISBIO nº 77464-1 e 44464-3, emitida em 30/04/2021 e reavaliada em 14/06/2022, na devida ordem.

## **Invertebrados**

O inventário dos invertebrados subterrâneos consistiu no método de procura/coleta ativa, envolvendo a maior diversidade possível de guano de morcegos, em todas as ocasiões de visita

e em diferentes zonações das cavidades. Os animais capturados foram fixados diretamente em solução de álcool 70%. O material coletado foi direcionado ao Laboratório de Estudos Subterrâneos da Universidade Federal de São Carlos, onde foi triado (com o auxílio de chaves taxonômicas e especialistas em fauna subterrânea) e identificado; sendo, posteriormente, tombado na Coleção Científica de Biota Subterrânea (acrônimo LES, curadoria Dra. Maria Elina Bichuette).

### Registros microclimáticos

O monitoramento das condições microclimáticas se deu por medições de temperatura e umidade relativa do ar, por períodos pré-determinados (Tabela 2), com a instalação de *dataloggers* (Testo Inc., 174H) em cinco cavidades, que foram selecionadas de acordo com a presença de grandes colônias de morcegos (configurando potenciais *bat* ou *hot caves*) e seus aspectos físicos (como locais longe da entrada e de fluxos de ar).

**Tabela 2.** Cavidades selecionadas para monitoramento microclimático por meio de *dataloggers*, evidenciando a data inicial e final das medições.

Cavidade	Zonação	Data Início	Data Final
N1_0174	Zona de penumbra	22.ago.2021	20.mar.2023
N3_0023	Zona de penumbra	25.ago.2021	21.mar.2023
N3-0026	Zona afótica	27.ago.2021	21.mar.2023
S11D_0001	Zona de penumbra	11.fev.2022	22.mar.2023
SB_0049	Zona afótica	12.fev.2022	24.mar.2023

A aferição dos parâmetros ocorreu entre 12 e 19 meses (ver Tabela 2), contemplando duas estações seca e duas chuvosa, de modo que o ciclo das medições ocorria de uma em uma hora ao longo das 24 horas do dia. É válido ressaltar que, no caso das cavidades N3\_0026 e SB\_0049, a localização do equipamento foi alterada (mantendo a zonação) ao longo das amostragens, devido a umidade excessiva que gerou *gaps* na mensuração dos parâmetros, resultando em perdas das informações contínuas.

### Análises dos Dados

#### Dados abióticos

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar, medidos e monitoradas com os *dataloggers* instalados nas cavidades, foram extraídos por meio do *software* Testo ComSoft Basic (versão 5, ServicePack 6.4). Uma base de dados contendo essas variáveis microclimáticas foi construída com tabelas e gráficos de tendências no Excel (Microsoft 365 *Insider*, versão 2308 – *build* 16731.20170).

## Dados bióticos

A identificação dos grupos taxonômicos – invertebrados e vertebrados – que ocorrem nas cavidades estudadas se deu por meio da elaboração de uma lista faunística, complementada por informações sobre os substratos e zonação em que a fauna foi encontrada, bem como das abundâncias (no caso dos morcegos, calculada pelo método de estimativa do tamanho populacional) e dos períodos de amostragens correspondentes (sazonalidade). Planilhas de banco de dados foram produzidas e tabelas informativas geradas com o auxílio do *software* Excel (Microsoft 365 *Inside*, versão 2308/*build* 16731.20170).

## Quirópteros

Para descrever a diversidade local ( $\alpha$ ) e regional ( $\beta$ ) dos quirópteros que utilizam as cavidades de Carajás como recurso, índices de diversidade foram aplicados. A **diversidade  $\alpha$**  foi mensurada a partir dos Índices de Shannon-Wiener, Equabilidade (ou Equitabilidade) de Pielou e Números ou Série de Hill; enquanto a **diversidade  $\beta$**  foi determinada com base na abordagem de Baselga (2010, 2012) que particiona a diversidade beta total (dissimilaridade Sørensen) em dois componentes: substituição de espécies (*turnover* = dissimilaridade de Simpson) e aninhamento ou perda de espécies (*nestedness*).

Adicionalmente, análises descritivas foram realizadas para melhor caracterizar as comunidades de quirópteros das cavernas estudadas:

- **Diagrama de Whittaker**, para ranquear as espécies dominantes, intermediárias e raras das comunidades – somente para as cavidades com registros de ocorrência de morcegos foram consideradas. O diagrama foi plotado no Microsoft 365 *Insider* (versão 2308 – *build* 16731.20170);
- **Frequência de ocorrência**, para determinar as periodicidades de ocorrência (considerando as sazonalidades e as ocasiões de amostragens) e o uso permanente ou ocasional das cavidades pelas espécies de morcegos – não incluiu espécies catalogadas por meio de avistamentos e as comparações de periodicidade foram possíveis apenas para as cavidades visitadas em mais de uma vez e em estações do ano distintas. Os resultados graficamente representados no Microsoft 365 *Insider* (versão 2308 – *build* 16731.20170);
- **Localização das colônias**, para detalhar, por meio de observações *in situ*, a zonação ocupada pelas colônias, coabitação com outras espécies e uso de microhabitat específico (mesma localização durante todas as ocasiões de amostragem) – para as cavidades em que os mapas topográficos estavam disponíveis foi feita uma adaptação, com plotagem

esquemática e ilustrativa das espécies nos locais em que foram observadas dentro das cavidades;

- **Padrão reprodutivo de *Carollia perspicillata***, para definir, a partir da captura dos indivíduos, sexo e estádios reprodutivos (nascimentos, presença de filhote, jovens, fêmeas e machos adultos, gestantes, lactantes e machos escrotados), comparar e estimar padrões reprodutivos (períodos de atividade reprodutiva, épocas de nascimentos e números de picos de reprodução).

Por fim, a fim de verificar a influência da temperatura e da umidade relativa do ar sobre a composição das comunidades de morcegos, os dados de monitoramento microclimático (médias mensais por cavidade) aferidos nas cavidades N1\_0174, N3\_0023, N3\_0026, S11D\_0001 e SB\_0049 foram utilizados em uma Análise de Correspondência Canônica. Posteriormente, foi aplicado o teste de *Kruskall-Wallis* para verificar a significância estatística dos resultados obtidos com a. Tanto a CCA quanto o teste de Kruskal-Wallis foram realizados no *software* Past (versão 4.3).

## **Invertebrados**

Se tratando da diversidade de invertebrados associados aos diferentes tipos de guano de morcegos, foram construídos diagramas de *Box Plot* para verificar a relação de riqueza total das amostras com os guanos disponíveis. Por fim, uma análise descritiva da diversidade de invertebrados foi realizada, estabelecendo comparativos com a diversidade de morcegos e guano presentes nas cavidades. O diagrama foi elaborado no *software* Past (versão 4.3).

### ***Bat cave* ou *hot cave***

Para verificar a existência de *hot caves*, foram utilizados os dados do monitoramento microclimático juntamente com observações do ambiente (circulação de ar e sensação térmica), geomorfologia (número de entradas) e medidas de diversidade de morcegos (em especial, à abundância) e invertebrados (com ênfase para os táxons característicos desses ambientes) – priorizando os parâmetros físicos para sua determinação. Já para identificar *bat caves*, foram utilizados os mesmos indicadores descritos anteriormente, em conjunto com observações *in situ* das colônias de morcegos (sobre ocorrência permanente ou sazonal) e dados reprodutivos (como presença de filhotes, fêmeas prenhes e machos escrotados) – priorizando os atributos biológicos e ecológicos para sua classificação.

## **RESULTADOS PLANEJADOS ALCANÇADOS E RESULTADOS DERIVADOS**

### **Resultados planejados alcançados**

A partir dos dados obtidos com as campanhas de amostragens, foi possível associar espécies de morcegos as cavidades da região de Carajás; conhecer como se estruturam suas comunidades (em termos de distribuição, composição e localização das colônias e coabitação de espécies); identificar e determinar o tipo de uso e ocupação (ocasional ou permanente) das cavidades pelos morcegos em diferentes sazonalidades; estimar o tamanho das populações de quirópteros em cavidades distintas; conhecer a fauna de invertebrados associada aos variados tipos de guano dos morcegos, compreender a importância destes depósitos para o estabelecimento dessas comunidades subterrâneas e verificar o papel dos quirópteros na rede trófica das cavidades estudadas; identificar *bats caves* e as condições para o seu estabelecimento; determinar se as cavidades estudadas atendiam os critérios propostos pela *Red Latinoamericana Y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos* (RELCOM) para o estabelecimento de Áreas de Importância para Conservação de Morcegos (AICOM) e/ou Sítios de Importância para Conservação de Morcegos (SICOM).

### **Resultados derivados**

Complementarmente aos resultados planejados inicialmente, também foram alcançados outros resultados que deles derivaram, como: junto as análises das *bat caves* foi possível identificar as *hot caves* e as condições para o seu estabelecimento, bem como propor metodologias mais claras e aplicáveis para a categorização de *bat* e *hot caves*; aplicar pela primeira vez na América do Sul o *Bat Cave Vulnerability Index*, que usa morcegos como espécies-chave na priorização de cavernas; e propor ações de conservação que podem orientar os gestores das UC's na tomada de decisão sobre o patrimônio espeleológico.

### **PRODUTOS**

- Curso de capacitação ministrado, intitulado “Morcegos subterrâneos de Carajás: quem são, onde vivem e o que fazem”, aos condutores credenciados ao ICMBio, voluntários, professores do Centro de Educação Ambiental de Parauapebas (CEAP) e brigadistas do Núcleo de Gestão Integrada ICMBio Carajás. O curso teve uma parte teórica, realizada de forma remota (onde se discutiu a importância ecológica dos morcegos e das cavernas e a necessidade de ações para conservação, além dos cuidados necessários para o desenvolvimento de atividades em cavernas), e uma parte prática, com visita a cavidade N1\_0174 (onde os participantes aprenderam a capturar e manusear morcegos e como localizar colônias de diferentes espécies);

- Material de divulgação científica em forma de pôster (entregue ao NGI-Carajás para ser exposto no CEAP) e folders (entregues aos participantes do curso de capacitação citado anteriormente);
- Apresentação de pôster, intitulado “Levantamento preliminar da fauna de quirópteros em cavernas da Floresta Nacional de Carajás e do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, Pará, Brasil” no XXXIV Congresso Brasileiro de Zoologia, realizado em agosto de 2022 em Curitiba;
- Resumo referente de pôster mencionado acima publicado no Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Zoologia;
- Submissão de artigo científico, intitulado “*Iron Islands: the importance of iron caves in the Eastern Amazon for bat conservation*”, submetido na revista *Austral Ecology*, em outubro de 2023 – aguardando retorno da revista;
- Dissertação de Mestrado, intitulada “*Assembleias de morcegos influenciam comunidades de invertebrados subterrâneos e atuam sobre a dinâmica de cavernas ferríferas no Brasil?*”, defendida, em outubro de 2023, pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biologia Evolutiva (PPGERN) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

## **PRINCIPAIS DESAFIOS ENCONTRADOS**

Os desafios encontrados perpassam por questões de apoio logístico, por parte do Núcleo de Gestão Integrada do ICMBio, em relação a imprevistos ocorridos e que poderiam comprometer o desenvolvimento da última campanha de campo (por exemplo, disponibilização temporária e pontual de veículo); restrições financeiras, de verba para aquisição de equipamentos, como câmeras térmicas adequadas (úteis para a determinação do tamanho das colônias de morcegos – ferramenta de contagem de indivíduos, e aplicáveis na identificação de *bat* e *hot caves* – averiguação de flutuações térmicas relacionadas à presença dos morcegos) e para publicações científicas em periódicos de excelência e alto impacto; e apoio técnico-científico, como a carência de suporte teórico para tratamento dos dados e aplicações estatísticas, de parcerias firmadas para a análises da microbiota patogênica associada ao guano dos morcegos (previsto nos objetivos preliminares do projeto) e orientação sobre o manuseio e extração de informações genéticas dos morcegos (que poderia ter ocorrido desde a primeira campanha de amostragem e ter gerado material para subsidiar novos projetos e responder novas perguntas).

## **DISCUSSÃO**

## Estrutura das comunidades de morcegos

A heterogeneidade ambiental, disposta em gradientes florestais e presença de cavernas, tem sido relacionada à alta riqueza de espécies e a composição variada das comunidades quirópteros, principalmente na região amazônica (Tavares *et al.*, 2012). No Pará, parte da Amazônia Oriental, é encontrada a maior diversidade de quirópteros: são 120 espécies, sendo 76 catalogadas para a Floresta Nacional de Carajás – destas espécies, 46 são endêmicas do bioma amazônico (Bernard *et al.*, 2011; Tavares *et al.*, 2012; Luz; Ferraz, 2018; Oliveira, 2020).

De modo geral, uma maior diversidade de espécies, está diretamente relacionada a produções mais elevadas de biomassa, captura de recursos mais variados e a uma maior estabilidade das propriedades dos ecossistemas (Tilman *et al.*, 1997; Holmes, 2012). Logo, cavidades mais diversas e com colônias de morcegos numerosas e permanentes são essenciais ao *input* de nutrientes variados que atendem a uma gama maior de organismos, incluindo invertebrados.

Nesse sentido, considerando a diversidade de espécies em nível regional, temos que a dissimilaridade observada foi atribuída, principalmente, à troca de espécies entre as cavidades, evidenciando o papel central do microclima – sobretudo na N1\_0168, N1\_0174, S11D\_0001 e SB\_0049 – na determinação de conjuntos taxonômicos particulares, que apresentam demandas fisiológicas (como temperatura e umidade relativa do ar) e ecológicas (como espaço disponível, microhabitats com características particulares e presença de determinadas espécies) específicas. Por exemplo, *Natalus macrourus*, que necessita de condições de temperatura e umidade relativa do ar singulares (Bredt *et al.*, 2018) para ocupação e permanência nos abrigos; ou *Diphylla ecaudata* que seleciona os dormitórios com base na temperatura, umidade relativa do ar e disponibilidade de fendas (Greenhall *et al.*, 1984; Rocha *et al.*, 2014).

Por outro lado, apesar de compor uma parte pequena da variação das comunidades, o aninhamento evidenciou a existência de subpopulações menores que usam certas cavidades somente como um local de passagem – por exemplo, na S11D\_0007, ocupada por *Carollia perspicillata*, espécie envolvida em processos de dispersão pelo movimento ativo de fêmeas entre cavernas (Fleming, 1988). Além disso, chamou a atenção para a perda de espécies (observada entre a N1\_0174 e SB\_0049), em função das modificações ou perdas dos habitats e da presença de impactos antrópicos acentuados e cada vez mais frequentes, que reduzem funcional e estruturalmente a qualidade ambiental, tornando algumas espécies incapazes de persistir e diminuindo drasticamente a capacidade dos ecossistemas fornecerem serviços de qualidade, com eficiência e na quantidade adequada (Hanski, 1999; Rolston, 2012).

De fato, em áreas mineráveis, as mudanças constantes das paisagens e a alteração da qualidade dos habitats, influenciam diretamente a composição das comunidades e o padrão de distribuição relativa das espécies, de modo que a dominância de algumas (como *Peropteryx kappleri*, *Carollia perspicillata* e *Furipterus horrens*) pode indicar desequilíbrio ambiental ligado a degradação dos habitats ou que as cavidades da região de Carajás possuem condições geomorfológicas e microclimáticas favoráveis para o estabelecimento de suas colônias. Desse modo, compreender a ocorrência e distribuição das espécies se torna fundamental para a identificação de espécies sensíveis e dependentes de ambientes íntegros, raras e endêmicas, ambas suscetíveis a maior risco de extinção (Barros; Bernard, 2023)

As comunidades de quirópteros das cavernas de Carajás são compostas por morcegos da família Phyllostomidae, uma das mais diversas morfológica e ecologicamente, cobrindo toda a diversidade de nichos e guildas alimentares (Giral *et al.*, 1991). Além dos filostomídeos, insetívoros das famílias Emballonuridae, Mormoopidae, Furipteridae e Natalidae também fizeram parte das comunidades. Conhecer essas subdivisões são essenciais para identificar as relações funcionais dentro das comunidades, bem como os quirópteros se organizam socialmente e respondem às mudanças ambientais (Bradbury, 1977; McWilliam, 1987; Giral *et al.*, 1991).

## **FAMÍLIA EMBALLONURIDAE**

### **Subfamília Emballonurinae**

#### ***Peropteryx kappleri* Peters, 1867**

*Peropteryx kappleri* requer abrigos mais protegidos do que aqueles usados por outros emballonurídeos e, em condições naturais, usa, preferencialmente, cavernas úmidas e fissuras em rochas como abrigos (Sanborn, 1937; Giral *et al.*, 1991). Esses locais são selecionados a partir de condições microclimáticas que favorecem a gestação, amamentação, desenvolvimento de filhotes e proteção contra predadores (Humphrey, 1975; Giral *et al.*, 1991).

*Peropteryx kappleri* foi registrado empoleirado sempre na zona de entrada das cavidades (em temperatura e umidade relativa do ar médias de 27,5 e 76,2%, respectivamente), em grupos pequenos (que não ultrapassavam 50 indivíduos) e espaçados entre si ou indivíduos solitários, todos em posições de repouso – deitados sobre o metacarpo. Quando perturbados, os indivíduos se moviam para outro local, mas retornavam ao seu microhabitat de repouso inicial. Similarmente, fêmeas adultas se movem frequentemente entre os abrigos à procura de outros machos, mas sempre retornam ao local de origem – o que demonstra alta fidelidade aos abrigos

para dormitórios diurnos e para dormitórios reprodutivos individuais (Giral *et al.*, 1991). Nesse cenário, grupos presentes em todas as ocasiões de amostragem (como os observados nas cavidades N1\_0174, N1\_0200, N3\_0023 e N3\_0026) foram considerados permanentes ou residentes estáveis.

Comumente, fêmeas adultas são mais abundantes do que os machos, sugerindo a formação de harém: as fêmeas são as dominantes e escolhem os dormitórios para reprodução, enquanto os machos controlam o tamanho e a estabilidade do grupo, promovendo a dispersão dos jovens (que não retornam para a cavidade de origem após a “expulsão”) (Giral *et al.*, 1991). Entretanto, as capturas realizadas nas cavidades de Carajás indicaram uma proporção de 1:1, ou seja, um macho para cada fêmea capturada.

No geral, quando capturados ou manipulados (para extração da armadilha) na cavidade N3\_0023, indivíduos de *Peropteryx kappleri* vocalizavam e os demais membros da colônia se mobilizaram, voando ao redor do capturado e do coletor. Relatos de comportamentos semelhantes foram registrados por Giral e colaboradores (1991) em cavernas na Colômbia, onde fêmeas fugiam das armadilhas e dos coletores acompanhadas de vocalizações. Para *P. kappleri*, vocalizações audíveis são fundamentais para a comunicação entre os integrantes das colônias, principalmente mãe e filhotes (Giral *et al.*, 1991).

Ademais, nascimentos de *Peropteryx kappleri* tendem a ocorrer de janeiro a maio (pico elevado em abril) e nos meses de outubro e novembro (em menor escala), sempre sincronizado com picos de precipitação, o que demonstra um comportamento de cópula altamente síncrono e indica que os morcegos neotropicais que são restringidos pela disponibilidade de alimento ou clima tendem a exibir ciclos reprodutivos poliétricos<sup>1</sup> (Giral *et al.*, 1991). Apesar de filhotes, jovens e/ou fêmeas prenhes não terem sido registrados neste estudo, uma fêmea lactante (capturada com a mama dilatada e livre de pelos) foi anotada em fevereiro de 2022 – correspondente a estação chuvosa da região de Carajás – acordando com a literatura e corroborando a sincronia entre nascimentos e precipitação.

## **FAMÍLIA PHYLLOSTOMIDAE**

### **Subfamília Micronycterinae**

#### ***Lampronyceris brachyotis* (Dobson, 1879)**

---

<sup>1</sup> As fêmeas apresentam vários ciclos estrais durante a estação reprodutiva, isto é, elas podem entrar no cio e se reproduzir várias vezes durante o ano (CDM, 2023).

Encontrada somente na cavidade N1\_0174 se empoleirando sempre no centro da colônia de *Carollia perspicillata*, *Lampronnycteris brachyotis* parece demandar condições térmicas ligadas a requisitos fisiológicos (como digestão, acasalamento e lactação, que requerem temperaturas ambiente em torno dos 30 °C [Menaker, 1962; Saldaña-Vázquez *et al.*, 2019]) ainda não reportados na literatura para a espécie. De qualquer forma, *Carollia perspicillata* é um termorregulador eficiente (na faixa de -2 a 30 °C) (Cloutier; Thomas, 1992), que responde a diminuição da temperatura ambiente, duplicando sua taxa metabólica e mantendo sua temperatura corporal próximo dos 21,8 °C (Thies *et al.*, 2006). Logo, essa associação carece ser investigada para que dados básicos sejam obtidos e que dúvidas sobre a biologia e ecologia de *L. brachyotis* sejam sanadas.

Embora grupos pequenos (de até 10 indivíduos [Goodwin; Greenhall, 1961]) sejam mais comuns, nessa cavidade há uma colônia permanente (avistado em todas as ocasiões de visita) e estável (pouca variação do tamanho populacional, presença de filhotes e reprodutivamente ativa) composta por, aproximadamente, 50 morcegos. Agregações maiores, com mais de 300 indivíduos, foram registrados em uma caverna no México (Medellín *et al.*, 1985).

Em termos de reprodução, estudos anteriores indicaram um padrão reprodutivo poliétrico bimodal<sup>2</sup>, com possível formação de hárens (Bonaccorso, 1979; Medellín *et al.*, 1985; Reis *et al.*, 2007; Marciente; Calouro, 2009). Apesar de filhotes, jovens e/ou fêmeas prenhes não terem sido registrados neste estudo, uma fêmea lactante (capturada com a mama dilatada e livre de pelos) foi anotada em fevereiro de 2022, sugerindo que, em Carajás, nascimentos ocorram na estação chuvosa. Conformemente, Wilson (1979) relatou que o primeiro pulso do parto coincide com o início da estação chuvosa.

## **Subfamília Desmodontinae**

### ***Diphylla ecaudata* Spix, 1823**

Morcegos hematófagos possuem uma estrutura social complexa relacionada com a sanguivoria: devem se alimentar com frequência (Davis *et al.*, 2010; Scheffer *et al.*, 2015) e consumir quantidades relativamente grandes de sangue a cada alimentação (Wilkinson, 1984; Davis *et al.*, 2010). Em situações em que a refeição não é obtida com sucesso, eles ficam dependentes do compartilhamento recíproco de sangue regurgitado por aparentados ou

---

<sup>2</sup> Na poliestria bimodal (ou sazonal) há dois picos reprodutivos no ano, com as fêmeas apresentando o estro (ou cio) após o primeiro parto, e a segunda gravidez ocorrendo junto com a lactação do primeiro filhote (CDM, 2023).

companheiros de abrigo – sistema altruísta dependente da reciprocidade, onde morcegos identificam e recusam ajuda a indivíduos não recíprocos (Wilkinson, 1984; Davis *et al.*, 2010).

Para *Diphylla ecaudata*, tais comportamentos cooperativos são mediados por chamados sociais ou de isolamento, produzidos quando os indivíduos estão fisicamente isolados (Carter *et al.*, 2012). Esses chamados foram observados na cavidade N1\_0174 quando indivíduos de *D. ecaudata* eram capturados na rede de neblina ou manipulados para remoção da armadilha: vocalizavam alto e os demais membros da colônia se mobilizaram, voando ao redor do capturado e do coletor. Nesse caso, para além dos comportamentos cooperativos, os chamados sociais também mediam o cuidado parental, o empoleiramento colonial, o forrageamento em grupo e a prevenção de conflitos na colônia (Carter *et al.*, 2012).

Não só, intolerante à climas frios, *Diphylla ecaudata* depende de abrigos diurnos com condições ambientais adequadas de temperatura (cerca de 20 °C), umidade relativa do ar (70 a 80%) e luminosidade (ausência total e pouca ou nenhuma perturbação), quesitos essenciais à sobrevivência de suas colônias (Scheffer *et al.*, 2015). Devido à essas necessidades, *D. ecaudata* demonstra forte seleção de dormitórios, sendo as cavernas seus principais abrigos (Greenhall *et al.*, 1984; Santos *et al.*, 2015; Scheffer *et al.*, 2015).

Foi registrada uma colônia de *Diphylla ecaudata* composta por mais de 20 indivíduos, empoleirados sempre no mesmo local na zona de penumbra da N1\_0174 – um microhabitat específico em que as condições de temperatura e umidade relativa do ar se mantinham na média de 28,1 °C e 67,7% na estação seca, e 24,8 °C e 86,1% na estação chuvosa. Essa colônia foi considerada permanente (avistada em todas as ocasiões de visita) e estável (pouca variação do tamanho populacional, presença de filhotes e reprodutivamente ativa). Filhotes foram registrados nas estações seca (agosto de 2021 e 2022) e chuvosa (fevereiro de 2022), e um macho reprodutivo (com escroto túrgido) na estação seca de 2021 – acordando com a literatura, que indica um padrão reprodutivo poliéstrico anual não sazonal, com um filhote por parto (totalizando dois filhotes por ano) (Greenhall *et al.*, 1984; Scheffer *et al.*, 2015).

## **Subfamília Phyllostominae**

### ***Phyllostomus latifolius* (Thomas, 1901)**

Endêmico da região amazônica, *Phyllostomus latifolius* é encontrada no norte e centro-oeste do Brasil, estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso (Souza *et al.*, 2022), ocorrendo em áreas de floresta primária e se abrigando, principalmente, em cavernas (Sampaio *et al.*, 2003; Reis *et al.*, 2007). Sua associação com ambientes subterrâneos é mais forte do que para as outras espécies do gênero (Reis *et al.*, 2007). *P. latifolius* tem sido encontrada nas cavidades da

Floresta Nacional de Carajás (Serra Sul e Serra Norte) e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (Serra da Bocaina e Serra do Tarzan), em períodos de seca e chuva, formando grupos que não ultrapassam 10 indivíduos (dados de monitoramento Vale S.A.).

De modo geral, não há na literatura registros disponíveis sobre sua dieta, somente inferências do consumo de insetos, frutas, néctar e pequenos vertebrados, similar as demais espécies do gênero (Reis *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2022). Como o registro aqui elencado corresponde a somente uma fêmea capturada em março 2023 (correspondente a estação chuvosa), outros dados sobre a biologia da espécie não foram obtidos. Contudo, sua ocorrência na ausência de *Trachops cirrhosus* na cavidade SB\_0049, sugere que o espaço de empoleiramento possa ser um fator limitante que regula a troca dessas espécies nas comunidades e a ocupação das cavidades.

Apesar de fundamentais, majoritariamente, os registros de ocorrência elencados para *Phyllostomus latifolius* na região de Carajás são oriundos de estudos de licenciamento ambiental e não se encontram disponíveis para a sociedade. Além disso, correspondem a dados pontuais de inventários faunísticos e não agregam informações sobre a biologia e ecologia da espécie, que ainda é bastante escassa e incipiente. Nesse contexto, por se tratar de uma espécie endêmica e com registros de ocorrência restritos a algumas localidades da Amazônia, tais lacunas do conhecimento podem ter implicações diretas para conservação de *P. latifolius*, principalmente, considerando a necessidade de filostomíneos por ambientes íntegros e de qualidades (Reis *et al.*, 2007).

### ***Trachops cirrhosus* (Spix, 1823)**

Apesar de se empoleirar principalmente em árvores e troncos ocos (Hall; Dalquest, 1963), *Trachops cirrhosus* também usa cavernas como abrigo (Jones, 1966; Handley, 1976; Kunz, 1982; Cramer *et al.*, 2001) e pode compartilhar seus dormitórios com outras espécies de morcegos (incluindo Emballonuridae, Phyllostomidae e Vespertilionidae) (Cramer *et al.*, 2001). Neste estudo, todos os registros atribuídos a *T. cirrhosus* incluem compartilhamento de abrigo com *Diphylla ecaudata*, *Glossophaga soricina* e *Carollia perspicillata*; o que, apesar de comum, é curioso, quando se considera que *T. cirrhosus* também pode se alimentar de pequenos morcegos.

Os grupos de *Trachops cirrhosus* não ultrapassavam 30 indivíduos e na N1\_0174 sua colônia foi considerada permanente (avistada em todas as ocasiões de visita) e estável (pouca variação do tamanho populacional e presença de filhotes). Nessa cavidade, a temperatura parece atuar sutilmente na escolha dos microhabitats ocupados pela espécie, com indivíduos se

posicionando sempre em locais cuja temperatura variava entre 26,7-27,0 °C ao longo das estações do ano. Em contrapartida, tendo em vista que outros onívoros coletores de tamanho semelhante e simpátricos com *T. cirrhosus* são seus concorrentes potenciais (Cramer *et al.*, 2021), na SB\_0049, fatores relacionados a presença dessas espécies parecem ser mais determinantes.

Nos trópicos, *Trachops cirrhosus* se reproduz durante a estação seca (janeiro-junho), com fêmeas prenhes capturadas no Brasil em janeiro e fevereiro, e lactantes em março, abril e maio (Willig, 1985; Cramer *et al.*, 2001) – sugerindo um padrão reprodutivo de poliestria bimodal (Sanchez-Hernandez; Romero-Almaraz, 1995; Cramer *et al.*, 2001), com nascimento de um filhote por vez (Jones, 1966; Fleming *et al.*, 1972; Cramer *et al.*, 2001). Como os registros aqui elencados configuram-se, em sua maioria, em observações *in situ* – com somente duas capturas de fêmeas na estação chuvosa (fevereiro de 2022), dados comparativos e adicionais sobre a biologia da espécie não foram obtidos.

### **Subfamília Glossophaginae**

#### ***Anoura caudifer* (É. Geoffroy, 1810)**

*Anoura caudifer* abriga-se em buracos de árvores, estruturas feitas pelo homem, fendas em rochas e cavernas, em colônias de 5 a 15 indivíduos (Reis; Peracchi, 1987; Trajano, 1984; Oprea *et al.*, 2009). Em cavernas, vivem em associação com *A. geoffroyi*, *A. cultrata*, *Pteronotus rubiginosus*; e colônias maternidade e haréns, compostas por até 100 indivíduos, foram registrados na Guiana Francesa (Oprea *et al.*, 2009). Em Carajás, *Anoura caudifer*, foi encontrada somente na cavidade N1\_0174, em associação com *Carollia perspicillata* e *Glossophaga soricina*, formando um grupo pequenos e permanente (avistado em todas as ocasiões de visita) que não ultrapassavam 20 indivíduos.

Embora seu período reprodutivo difira ao longo de sua distribuição, fêmeas prenhes de *Anoura caudifer* prenhes foram registradas no Cerrado na estação chuvosa, uma fêmea em lactação em outubro e uma em pós-lactação no final de maio, além de fêmeas e machos reprodutivos no final da estação seca – sugerindo poliestria sazonal, com mais de um pico anual de nascimentos (Trajano, 1984; Zórtea, 2003; Oprea *et al.*, 2009). Na cavidade N1\_0174, o único registro reprodutivo de *A. caudifer* corresponde ao encontro de um macho reprodutivo (escrotado) em agosto de 2022 (estação seca da região), se enquadrando no padrão reprodutivo indicado na literatura.

Apesar do hábito generalista, que engloba uma dieta variada, incluindo néctar de uma grande variedade de plantas, além de pólen, frutas e insetos (Zórtea, 2003; Oprea *et al.*, 2009),

e ampla distribuição geográfica, *A. caudifer* é vulnerável à destruição dos habitats e a perturbação de seus abrigos (Oprea *et al.*, 2009). Não só, embora frequentemente capturado, dados sobre os tamanhos de suas populações são insuficientes e permanecem deficientes para a maior parte da sua distribuição (Oprea *et al.*, 2009). Assim, a carência dessas informações impossibilita a inferência dos impactos das perdas e alterações dos habitats sobre esse morcego, principalmente em áreas mineráveis, e reflete negativamente nas ações de conservação, que se tornam ineficazes e pouco aplicáveis diante da ausência de dados primordiais.

### ***Anoura geoffroyi* Gray, 1823**

Encontrado em duas cavidades, N1\_0168 e S11D\_0001, *Anoura geoffroyi* formava colônias mistas com *Hsunycteris cf. thomasi* e Lonchophyllinae sp., compostas por centenas de indivíduos, respectivamente. Na N1\_0168, não foi possível estabelecer uma periodicidade de uso e ocupação, devido o registro aqui elencado corresponder a somente uma amostragem, ocorrida em março de 2023 (estação chuvosa da região). Por outro lado, a colônia da S11D\_0001 foi considerada permanente (avistada em todas as ocasiões de visita) e estável (pouca variação do tamanho populacional e reprodutivamente ativa – com capturas de fêmeas prenhes capturadas em agosto de 2022 e março de 2023, e de machos reprodutivos em fevereiro e agosto de 2022 e março de 2023).

Quase sempre, morcegos nectarívoros se reproduzem durante a estação seca (Fleming *et al.*, 1972; Saldaña-Vázquez *et al.*, 2019). Em Carajás, na cavidade S11D\_0001, fêmeas lactantes foram registradas no meio da estação seca (agosto de 2022), sugerindo que nascimentos ocorram durante esta estação, conforme observado para outras regiões do Brasil – padrão reprodutivo monoestro<sup>3</sup> (Ortega; Alarcón-D, 2008).

No geral, a temperatura é um fator importante na modulação dos ciclos reprodutivos de fêmeas de morcegos (Mello *et al.*, 2009; Saldaña-Vázquez *et al.*, 2019), que, em regiões temperadas, tendem a fazer migrações altitudinais sazonais em busca de locais com temperaturas ideais para reprodução, desenvolvimento embrionário, dar à luz e criar seus filhotes (Angell *et al.*, 2013; Saldaña-Vázquez *et al.*, 2019). Nesses casos, a presença de fêmeas e seus eventos reprodutivos estão sincronizados com as estações mais quentes e úmidas (Ferreira-Garcia *et al.*, 2018), determinando as proporções sexuais nas colônias (Torres-Flores *et al.*, 2012; Ferreira-García *et al.*, 2018 ).

---

<sup>3</sup> Na monoestria estacional ocorre somente um pico reprodutivo ao ano (CDM, 2023).

No caso de Carajás, uma região tropical, a umidade relativa do ar (que se manteve, majoritariamente, acima de 99% ao longo todas as estações) foi mais determinante para a presença e, possivelmente, para os eventos reprodutivos de *Anoura geoffroyi* do que a temperatura (que se manteve na faixa aproximada dos 23 °C ao longo das diferentes estações). Ainda, o número de machos e fêmeas capturados nas diferentes estações do ano foram proporcionais, com o uso constante da cavidade por fêmeas e sem indicativo de migração em busca de locais para reprodução. Logo, conclui-se que a S11D\_0001 possui características físicas, principalmente de umidade relativa do ar, ideais para os eventos reprodutivos e permanência de *A. geoffroyi* – desde a cópula até o nascimento e criação dos filhotes.

Complementarmente, a umidade relativa do ar constantemente elevada se explica pela presença de uma cachoeira em uma entrada da S11D\_0001, que mantém seu fluxo de água durante todo ano, se tornando mais volumoso na estação chuvosa. Tendo isso em vista, é importante considerar que a presença de corpos d'água também podem ser determinantes para a ocorrência de *Anoura geoffroyi*, uma vez que na N1\_0168 também há uma pequena cachoeira em seu interior (entre as zonas de penumbra e afótica). Não só, durante as atividades de captura e manuseio, notou-se que *A. geoffroyi* possuía temperatura corporal elevada, sentida por meio do calor irradiado pelo corpo do morcego e que aquecia consideravelmente os sacos de contenção. Diante disso, umidade relativa do ar alta e a presença da cachoeira podem ser essenciais para auxiliar no processo de regulação da temperatura corporal e fornecer conforto térmico aos morcegos.

Nesse cenário, destaca-se a importância de manter a integridade ambiental não só das cavidades de Carajás, mas também das suas áreas de entorno (para além do *buffer* de proteção previsto na legislação espeleológica brasileira – vide Decreto Nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, ainda em vigor, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional), que fornecem recursos alimentares essenciais à sobrevivência e conservação dos morcegos. Considerando também que as cavernas são intimamente ligadas a superfície e que sofrem diretamente e rapidamente os efeitos de qualquer alteração ocorrida nesse ambiente (Moura *et al.*, 2008).

Nesse contexto, o registro de leucismo aqui elencado (para além da condição genética da anomalia, relacionada à presença de endogamia), chama atenção para o cenário ambiental em que a cavidade S11D\_0001 está inserida: uma área de mineração com impactos crescentes relacionados a supressão de vegetação e de locais de abrigo, como cavernas, que podem estar promovendo um aumento no isolamento das suas populações de *Anoura geoffroyi*. Caso

semelhante foi reportado por Reis e colaboradores (2019) em relato de leucismo para *A. geoffroyi* em uma caverna ferrífera do estado de Minas Gerais.

### ***Glossophaga soricina* (Pallas, 1766)**

Nos seus abrigos, *Glossophaga soricina*, podem coabitar com, aproximadamente, 30 espécies de morcegos, incluindo *Anoura caudifer* e *Carollia perspicillata* (Goodwin; Greenhall, 1961; Webster, 1983; Willig, 1985), conforme observado neste estudo. A coabitação de *G. soricina* com *C. perspicillata* sugere uma associação benéfica, relacionada a redução dos custos da termorregulação entre essas duas espécies (Alvarez *et al.*, 1991), principalmente em cavernas onde a manutenção da temperatura corporal pode ser custosa (Howell, 1975).

Registrada em duas cavidades, na N1\_0174, *Glossophaga soricina* teve sua presença relacionada com a temperatura, que, em locais próximos aos microhabitats compartilhados com *Carollia perspicillata* e *Anoura geoffroyi*, ficava em torno dos 28,1 °C na estação seca e 24,8 °C na chuvosa – estando entre os menores valores pontuais medidos, quando comparado com outros locais da caverna. Nessa cavidade a pequena colônia de *G. soricina* foi considerada permanente (avistada em todas as ocasiões de visita), mas não estável (pela ausência de registros de fêmeas prenhes, filhotes e macho reprodutivos).

A outra cavidade foi a N3\_0003, nela não foi possível estabelecer uma periodicidade de uso e ocupação pela colônia de *Glossophaga soricina*, devido o registro corresponder a uma única amostragem ocorrida em agosto de 2022 (estação seca da região). Apesar disso, machos reprodutivos e jovens foram identificados.

*Glossophaga soricina* apresenta um padrão reprodutivo poliétrico sazonal no México e na Colômbia, ou poliestria bimodal Panamá, Costa Rica e nordeste do Brasil (Fleming *et al.*, 1972; Alvarez *et al.*, 1991; Reis *et al.*, 2007). Caso filhotes e fêmeas prenhes ou lactantes sido capturados, seria possível averiguar se o padrão reprodutivo de *G. soricina* em Carajás segue o reportado na literatura.

### **Subfamília Lonchophyllinae**

A subfamília Lonchophyllinae, também composta morcegos nectarívoros, segue sendo um grupo pouco estudado, principalmente em termos evolutivos (Alvarado, 2021). Há muitos espécimes de Lonchophyllinae disponíveis em coleções científicas, mas poucos com tecidos extraídos para análises moleculares – método ainda pouco aplicado. Diante disso, o uso de novas técnicas de coleta e a troca de informações entre especialistas é essencial para esclarecer lacunas e aprimorar o conhecimento sobre a diversidade biológica, incluindo novos táxons.

Baseado nisso, todo material aqui considerado como Lonchophyllinae sp., teve sua delimitação específica impossibilitada por sobreposição de caracteres craniais e dentários e ranges geográficos. Assim, foi encaminhado ao Dr. Renato Gregorin que está conduzindo estudos genéticos para determinar com mais segurança e propriedade a espécie de que se trata.

Os indivíduos de Lonchophyllinae sp. foram encontrados na cavidade S11D\_0001, formando colônia com dezenas a centenas de indivíduos, em coabitação com *Anoura geoffroyi*. Essa colônia foi considerada permanente (avistada em todas as ocasiões de visita) e estável (pouca variação do tamanho populacional – considerando observações *in situ* e número de captura de indivíduos, e reprodutivamente ativa – com fêmeas prenhes capturadas em agosto de 2022 e março de 2023, correspondente as estações seca e chuvosa, respectivamente).

A ocorrência de Lonchophyllinae na S11D\_0001 foi determinada pela umidade relativa do ar, que permaneceu próxima a saturação (99,9%) na maior parte do período de monitoramento da cavidade. Além disso, outras características do ambiente também podem ser importantes para a ocorrência de Lonchophyllinae: a presença de cachoeira com fluxo constante e de *Anoura geoffroyi* (sugerindo uma possível associação benéfica com fins térmicos entre as espécies), mas que precisam ser melhor investigadas.

Por se tratar de uma espécie indeterminada, Lonchophyllinae sp. não é classificada na *IUNC Red List of Threatened Species* e nem na lista de espécie ameaçada para o território nacional. Logo, fica ainda mais sujeita às ameaças de destruição de habitats e supressão de seus abrigos (cavernas), principalmente, considerando o potencial de expansão das atividades econômicas – ligadas a mineração – na região de Carajás.

### ***Hsunycteris* aff. *thomasi* (Allen, 1904)**

Atualmente, duas espécies do gênero *Hsunycteris* ocorrem no Brasil – *H. pattoni* e *H. thomasi* (Garbino *et al.*, 2022). Esta última considerada como um grupo parafilético<sup>4</sup>, com populações que incluem linhagens com divisões divergentes (Velazco *et al.*, 2017; Lim; Lee Jr., 2018), o que torna as identificações baseadas em morfologias uma tarefa difícil e impossibilita determinação específicas precisas. Por esse motivo, foi considerado que o material aqui relacionado pertence a *Hsunycteris* aff. *thomasi*, associado, mas não idêntico a espécie. Recentemente, táxons coletados na região amazônica têm revelado novas espécies de *Hsunycteris* (Velazco *et al.*, 2017), o que demonstra a importância de novos registros de

---

<sup>4</sup> Grupo taxonômico correspondente a um grupo monofilético (inclui uma espécie ancestral e todas as espécies descendentes) maior do qual se retirou uma ou mais de suas espécies descendentes; ou seja, são grupos que excluem uma ou mais linhagens descendentes (Amorim, 2002).

ocorrência – que possibilitam uma melhor compreensão sobre a distribuição geográfica das espécies, e a necessidade de se coletar amostras moleculares – que permitirão estudos filogenéticos e uma delimitação mais assertiva das espécies.

*Hsunycteris* aff. *thomasi* foi registrada na zona afótica da N1\_0168, formando colônia com centenas de indivíduos em coabitação com *Anoura geoffroyi*. Aparentemente, a presença de espécies da subfamília Lonchophyllinae tende a ser associada com *A. geoffroyi*, padrão de distribuição (possivelmente ligados a quesitos fisiológicos de termorregulação) que deve ser investigado em outras cavernas de Carajás além das contempladas no presente estudo.

Na cavidade N1\_0168, não foi possível estabelecer uma periodicidade de uso e ocupação da colônia de *Hsunycteris* aff. *thomasi*, devido o registro aqui elencado corresponder a somente uma amostragem ocorrida em março de 2023 (estação chuvosa da região). Na ocasião, foram capturadas dezenas de fêmeas prenhes. Fêmeas lactantes foram encontradas entre dezembro e janeiro no Parque Nacional da Amazônia – estado do Pará (Marques, 1985), e em outubro na Amazônia Central – estado do Amazonas (Bernard, 2002).

Por se tratar de uma espécie com ocorrência restrita ao bioma amazônico, que apresenta problemas taxonômicos e sistemáticos e possui lacunas no conhecimento a respeito de sua biologia e ecologia, mais esforços devem ser empenhados e pesquisas conduzidas, principalmente em áreas com densidades elevadas de cavernas e altamente propensas a destruição de habitats. Como é o caso da região de Carajás, que pode nos fornecer informações surpreendentes sobre a relação entre espécies e dessas espécies com os habitats subterrâneos, possibilitando a proposição de estratégias de conservação realmente aplicáveis e úteis aos gestores das Unidades de Conservação.

## **Subfamília Carollinae**

### ***Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758)**

*Carollia perspicillata* é um dos quirópteros mais capturados, principalmente, em matas de crescimento secundário (Pine, 1972; Fleming, 1988; Cloutier; Thomas, 1992), e a segunda espécie mais comum em cavernas brasileiras (Trajano, 1995). Sua presença é associada a águas estagnadas, espaço interno (ou de abrigo) livre de predadores e a temperatura (Marques, 1985; Cloutier; Thomas, 1992) – que teve um papel determinante para a ocorrência de *C. perspicillata* nas cavidades N3\_0026 ( $\bar{x}$  24,8 °C) e SB\_0049 ( $\bar{x}$  24,0 °C), e menos acentuado na N1\_0174 ( $\bar{x}$  22,7 °C). Nessas faixas de temperatura (ver Cloutier; Thomas, 1992), *C. perspicillata* mantém seu metabolismo basal, com gasto mínima de energia necessária para manter suas atividades vitais.

Tendo em vista as demandas energéticas associadas a manutenção de colônias maternidade, a reprodução constante, ao cuidado parental (observados nas cavernas do estudo) e, ainda, as necessidades de se proteger contra predadores, a temperatura também pode ser determinante para o encontro de colônias permanentes (avistadas em todas as ocasiões de visita) e estáveis (pouca variação do tamanho populacional, presença de filhotes e reprodutivamente ativa) na N1\_0174 e SB\_0049. Nessas colônias, compostas por centenas de indivíduos, fêmeas prenhes capturadas na estação seca e machos reprodutivos em todas as estações do ano.

No nordeste do Brasil (mais especificamente, na Caatinga e no Cerrado), uma maior proporção de fêmeas prenhes foi registrada em junho-agosto, coincidindo com o pico de produção de frutos; e um segundo período de reprodução durante o meio ou final da estação seca (fevereiro-maio), quando as flores são mais abundantes (Fleming *et al.*, 1972; Willig, 1985; Cloutier; Thomas, 1992). Considerando o contexto amazônico, cuja disponibilidade de recursos alimentares não é um fator limitante para o nascimento, infere-se que fêmeas prenhes e filhotes sejam frequentes ao longo de todo ano durante em Carajás.

De modo geral, as fêmeas de *Carollia perspicillata*, após dar à luz, se tornam férteis novamente no estro pós-parto, o que leva a um padrão de poliesteria bimodal (CDM, 2023) – padrão reprodutivo foi observado em Carajás. Um parto foi acompanhado na cavidade N1\_0174 em agosto de 2023: a fêmea deu à luz na rede de neblina e o filhote, ao nascer, se pendurou nas mamas da mãe. Normalmente, os filhotes permanecem agarrados à mãe por 23 dias se dispersam para outros grupos ou abrigos após 16 semanas (Fleming, 1988; Cloutier; Thomas, 1992).

Apesar da colônia de *Carollia perspicillata* na N1\_0174 ser considerada como maternidade, as fêmeas tendem a não colocar seus filhotes em creches<sup>5</sup>, geralmente voam com eles ou os deixam no abrigo durante suas atividades de forrageamento (Porter, 1979; Cloutier; Thomas, 1992). Durante o período de lactação, os machos protegem os filhotes enquanto as fêmeas se alimentam (Porter, 1979) – organização social poligínica (sistema de defesa por recursos), com harém usados por um único macho adulto territorial, uma ou várias fêmeas e seus descendentes juvenis (Cloutier; Thomas, 1992).

Fêmeas jovens ingressam sazonalmente nas colônias e trocam de harém, em média, a cada 17 dias (Porter, 1979), o que leva a variações diárias, sazonais e sexuais significativas (Cloutier; Thomas, 1992). Além disso, elas se movem entre as cavernas durante a estação

---

<sup>5</sup> Se refere ao compartilhamento do cuidado parental por outras fêmeas, isto é, quando a mãe deixa seu filhote sob os cuidados de outra fêmea da colônia para realizar atividades básicas de sobrevivência, como de forrageamento.

chuvosa e para as árvores ocas durante a estação seca (Fleming, 1988). Assim sendo, a variação sazonal e sexual observada neste estudo pode explicada tanto pelos movimentos de dispersão das fêmeas quanto pela maior atividade ligada aos picos de nascimentos ocorridos na estação chuvosa.

## FAMÍLIA MORMOOPIDAE

### *Pteronotus rubiginosus* (Wagner, 1843)

*Pteronotus rubiginosus* é um morcego insetívoro estrito, encontrado nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil, habitando, preferencialmente, salões de cavernas com umidade relativa do ar elevada (Handley, 1976; Herd, 1983; Reis *et al.*, 2007). De fato, na cavidade S11D\_0001 a presença de *P. rubiginosus* foi relacionada com a umidade relativa do ar que, independentemente da sazonalidade, manteve valores próximos a saturação (99,9%). Em geral, a seleção do abrigo é crítica para os morcegos, principalmente, para aqueles que formam grandes colônias e que mantêm todos os indivíduos num mesmo local, como é o caso das espécies do gênero *Pteronotus* (Barros; Bernard, 2023).

Nessa caverna, o tamanho de sua colônia flutuou consideravelmente entre as estações chuvosa e seca, indo de poucas dezenas a centenas de indivíduos, respectivamente. Esse é um indicativo da alta mobilidade e uso de uma área de vida ampla por *Pteronotus rubiginosus*, por esse motivo, a colônia da S11D\_0001 não foi considerada como permanente e estável. Variações similares, foram observadas em estudos de monitoramento realizados em outras cavernas da região de Carajás (dados Vale S.A.).

Não só, os registros de *Pteronotus rubiginosus* foram marcados pela captura de uma fêmea no período chuvoso (em fevereiro de 2022) na N1\_0174, e de machos na estação seca (em agosto de 2022) e chuvosa (em março de 2023) na S11D\_0001. Normalmente, em alguns países da América do Sul (Bolívia, Brasil, Equador e Peru), indivíduos de *P. rubiginosus* se reproduzem no mês de janeiro (Herd, 1983; Eisenberg; Redford, 1999). Na época de acasalamento, ambos os sexos se encontram e a cópula tende a ocorrer no período noturno, podendo haver “enxameações<sup>6</sup>” (Goodwin, 1970; Herd, 1983). Após este período, machos e fêmeas tendem a se mover ou segregar para abrigos distintos (Herd, 1983).

Nesse cenário, duas hipóteses, não excludentes, sobre a reprodução e o uso dos abrigos por *Pteronotus rubiginosus*, podem ser consideradas para Carajás: na primeira, há segregação

---

<sup>6</sup> Quando fêmeas e machos se reúnem para reprodução, formando uma colônia reprodutiva (extraído e adaptado de EMBRAPA, 2023).

de sexo em épocas não reprodutivas, onde fêmeas e machos se encontram em cavidades distintas e se reúnem somente em épocas reprodutivas; na segunda, o período reprodutivo se dá no mês de agosto, ocorrendo “enxameações” e predominância de machos, sendo a cavidade S11D\_0001 um possível abrigo de cópula. Salienta-se que, para a segunda hipótese, a não captura de fêmeas no mês de agosto não implica em sua ausência na cavidade, visto que elas podem simplesmente não ter caído na armadilha.

### ***Pteronotus gymnonotus* (Wagner, 1843)**

Grandes colônias de *Pteronotus gymnonotus* têm sido observadas em diversas áreas cársticas do nordeste brasileiro; enquanto no centro e norte do Brasil, colônias menos abundantes têm sido reportadas, principalmente nos estados do Goiás, Mato Grosso e Pará, onde poucos indivíduos foram capturados ou pequenos grupos foram observados em cavernas (Pavan; Tavares, 2020). No estado do Pará, *P. gymnonotus* foi registrado em várias cavernas ferríferas da Floresta Nacional de Carajás (Tavares *et al.*, 2012; dados de monitoramento Vale S.A.).

Neste estudo, houve o registro de somente um indivíduo de *Pteronotus gymnonotus*, capturado empoleirado em um conduto estreito e isolado da N1\_0174, caracterizado como uma zona de transição de zona de penumbra para quase afótica (a depender da localização do avaliador). A captura ocorreu na estação chuvosa de 2022 e sua presença foi associada a uma temperatura de 25,4 °C (combinada a umidade relativa do ar de 84,4%), mensurada segundos após a coleta do espécime. Tal combinação de parâmetros microclimáticos não foi mais observada em nenhuma outra cavidade ou estação do ano, nem nas medições pontuais e nem no monitoramento microclimático, sustentando a ausência de mais registros de *P. gymnonotus* em outras ocasiões de amostragem.

Geralmente, *Pteronotus gymnonotus* se empoleira em sistemas de cavernas grandes, úmidas e quentes, em associação com outras espécies de mormoopídeos, filostomídeos e natalídeos (Bredt *et al.*, 1999; Sbragia; Cardoso, 2008; Deleva; Chaverri, 2018; Pavan; Tavares, 2020), incluindo *Carollia perspicillata* e *Trachops cirrhosus*, conforme presenciado na N1\_0174.

Ainda, um padrão reprodutivo monoestro foi observado por Pavan & Tavares (2012), sugerindo estações reprodutivas distintas ao longo da distribuição geográfica de *Pteronotus gymnonotus*. Na Amazônia brasileira, fêmeas prenhes foram anotadas em setembro (V. Tavares, comunicação pessoal, em Pavan; Tavares, 2020), coincidindo com o final da estação seca e início da chuvosa, demonstrando um padrão reprodutivo sincronizado com a estação chuvosa.

O registro aqui elencado não possibilitou inferências sobre reprodução, visto que a fêmea capturada não apresentava nenhuma característica reprodutiva.

## **FAMÍLIA FURIPTERIDAE**

### ***Furipterus horrens* (Cuvier, 1828)**

Em cavernas, *Furipterus horrens*, se empoleira em salões e galerias iluminados ou não, em pequenas depressões e buracos existentes nas paredes ou no teto, onde formam grupos de tamanhos variáveis – pequenos (4 a 6 indivíduos), intermediários (cerca de 30 indivíduos) ou grandes (com mais de 300 indivíduos), sem manter contato corporal e espalhados pela cavidade (Uieda *et al.*, 1980). De qualquer modo, os tamanhos de suas colônias serão limitados pelas dimensões dos abrigos (Walker, 1975; Uieda *et al.*, 1980).

Aqui, *Furipterus horrens* foi registrado em zonas com iluminação variadas (incluindo zona de entrada, penumbra, afótica e de transição penumbra-afótica), tanto em grupos menores (2 indivíduos) quanto em colônias com dezenas ou centenas de indivíduos. Em ambos os casos, os indivíduos de *F. horrens* se mantinham afastados uns dos outros, mas sempre ocupando microhabitats específicos nas cavidades de ocorrência. Na SB\_0049, sua presença foi determinada pela temperatura, que se manteve na média dos 24,0 °C ao longo das estações.

No geral, *Furipterus horrens* se associa fortemente a cavernas, possui elevada especificidade de habitat e sensibilidade a alterações dos habitats (Bredt *et al.*, 2018). Essas condições associadas as reduzidas frequências de captura ao longo de sua distribuição geográfica, fizeram com que a espécie fosse considerada rara e incomum (Bredt *et al.*, 2018). No entanto, em Carajás, *F. horrens* foi uma das espécies mais frequentes, ocorrendo em 45% das cavidades onde o estudo foi conduzido. Isso sugere que esses habitats são fundamentais para a espécie, e que possuem condições adequadas para o estabelecimento de suas colônias. Não só, os ambientes superficiais associados, explorados pelos quirópteros em busca de alimento, integram sua área de vida e também são essenciais para sua sobrevivência.

Atualmente, Carajás experimenta uma das mais elevadas taxas de destruição de habitats, incluindo cavidades naturais subterrâneas, devido ao grande potencial mineral da região. Nesse cenário, estudos indicam que as populações de *Furipterus horrens* já estão em declínio e, que em 10 anos, pelo menos 30% de suas populações serão perdidas (V. Tavares, comunicação pessoal, em Bredt *et al.*, 2018).

## **FAMÍLIA NATALIDAE**

## ***Natalus macrourus* (Gervais, 1856)**

Restrito a região Neotropical, apesar possuir registros em quase todas as regiões do Brasil, *Natalus macrourus* é pouco frequente (Reis *et al.*, 2007; Bredt *et al.*, 2018). Encontrado, principalmente, em cavernas – empoleirado em locais mais profundos, quentes e úmidos, *N. macrourus* apresenta baixa tolerância a dessecação e, por esse motivo, sua distribuição se limita a disponibilidade de ambientes subterrâneos (Nowak, 1994; Arita; Vargas, 1995; Reis *et al.*, 2007; Bredt *et al.*, 2018).

*Natalus macrourus* foi registrado somente na N1\_0168, onde formava colônia com centenas de indivíduos e se empoleirava próximo a uma pequena cachoeira. Embora o microclima da cavidade não tenha sido medido, as elevadas temperatura e umidade relativa do ar eram notáveis, tanto pela sensação quanto pelo desconforto térmico (calor e transpiração intensos). Comumente, devido à sua capacidade limitada de termorregulação, natalídeos são observados em cavernas onde esses parâmetros são elevados e estáveis ao longo do ano, por exemplo, temperatura  $\Delta$  23-36,6 °C e umidade relativa do ar  $\Delta$  74-100% (Mitchell, 1967; Arita; Vargas, 1995; Ávila-Flores; Medellín, 2004; Torres-Flores; López-Wilchis, 2012; López-Wilchis *et al.*, 2019).

Para *Natalus mexicanus*, tais especificidades de habitat se relacionam as características ecomorfológicas de suas asas, que são altamente suscetíveis a desidratação em ambientes de baixa umidade e em temperaturas inferiores a 23 °C, com impacto direto sobre a sua dispersão – populações se movem localmente para abrigos próximos (Torres-Flores, 2013; López-Wilchis *et al.*, 2019). Infere-se que a afirmativa seja verdadeira para seu congênera *N. macrourus*, o que evidencia a importância não só da cavidade N1\_0168, mas do Platô N1, para o estabelecimento e manutenção de suas populações, que possuem requerimentos fisiológicos específicos e limites de dispersão – fatores que reduzem as áreas apropriadas para *N. macrourus*. Este é o primeiro registro oficial da espécie para cavernas da Serra Norte, Platô N1, Floresta Nacional de Carajás.

De fato, até o momento, *Natalus macrourus* foi registrado em somente três cavidades da Serra do Tarzan – Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (ST\_0011, ST\_0037 e ST\_0056) e sete para o complexo S11D – Floresta Nacional de Carajás (S11D\_0001, S11D\_0010, S11D\_0029, S11D\_0043, S11D\_0064, S11D\_0078 e S11D\_0083 (dados de monitoramento Vale S.A.). Considerando sua forte associação com ambientes subterrâneos e a destruição acelerada destes habitats, principalmente pela mineração, é esperado um declínio das populações de *N. macrourus* de, aproximadamente, 30% nos próximos 10 anos (Bredt *et al.*, 2018). Logo, sugere-se que estudos futuros averiguem a relação existente entre a presença de

*N. macrourus* (e suas especificidades) e as cavidades de ocorrência, a fim de estabelecer padrões de distribuição que trarão perspectivas sobre a conservação da espécie em Carajás.

Complementarmente, na ocasião de visita, apenas machos foram avistados e capturados, mas sem indicativo de período reprodutivo (isto é, não estavam escrotados). Em geral, fêmeas prenhes são encontradas entre os meses de janeiro e junho (Reis *et al.*, 2007), em colônias com segregação sexual durante a maternidade – nos períodos de nascimento dos filhotes e cuidado parental materno (Nowak, 1994; Reis *et al.*, 2007). Prevê-se que o mesmo ocorra em Carajás, o que suporta o encontro de apenas indivíduos do sexo masculino.

Neste estudo, não foi possível estabelecer uma periodicidade de uso e ocupação da cavidade N1\_0168 pela colônia de *Natalus macrourus*, devido o registro aqui elencado corresponder a somente uma amostragem ocorrida em março de 2023 (estação chuvosa da região).

### **Assembleias de morcegos influenciam os invertebrados subterrâneos?**

Variações na riqueza de invertebrados associados aos diferentes tipos de guano se relacionaram com a diversidade de morcegos, de modo que a fauna de invertebrados nas cavidades de Carajás foi influenciada pela *i*) presença de morcegos, *ii*) qualidade e *iii*) tipo do guano:

- i.* A ausência de morcegos e/ou a redução da abundância de suas populações levaram a uma notável redução na diversidade de invertebrados. Por exemplo, cavidades como N3\_0005 e S11D\_0012 que não contaram com o registro de morcegos também não apresentaram fauna de invertebrados associada ao guano. Ou a cavidade S11D\_0010, que em fevereiro de 2022 apresentou cerca de 15 indivíduos de *Carollia perspicillata* e depósitos de guano frugívoro com fauna associada, com decréscimo no número de morcegos em agosto de 2023 (n=3) e março de 2023 (n=1), onde todos os guanos frugívoros estavam antigos, secos, com fungo e sem fauna associada.

Os morcegos são essenciais a manutenção da complexidade ecológica dos habitats subterrâneos, por seu guano servir como fonte energética e substrato para os invertebrados (Poulson, 1972; Ginet; Decou, 1977; Gnaspini-Netto, 1989; Gnaspini, 1992; Gnaspini; Trajano, 2000; Trajano, 2000; Trajano; Bichuette, 2006).

- ii.* Guano de morcegos mais antigos (=depositados a mais tempo, secos, com fungos e nutrientes [fósforo, nitrogênio, carbono] já consumidos) tenderam a ter pouca ou nenhuma fauna associada, diferindo substancialmente dos guanos mais recentes (=depositados recentemente, frescos, úmidos e com nutrientes [fósforo, nitrogênio,

carbono] ainda disponíveis) que prontamente disponibilizam recursos aos invertebrados. Por exemplo, na N1\_0174, S11D\_0001 e SB\_0049, onde colônias permanentes com centenas de morcegos depositam continuamente guano fresco que sustenta uma fauna rica de invertebrados.

Quando morcegos estão presentes e ativos, guano fresco é acumulado continuamente; à medida que vão embora, há uma dessecação progressiva do guano e alterações de suas propriedades químicas e microclimáticas (Gnaspini; Trajano, 2000). Guanos frescos são mais básicos (pH elevado) e possuem alto teor de carbono, fósforo e nitrogênio, o que aumenta a riqueza da fauna de invertebrados associada (Salgado, 2011).

*iii.* A diversidade de hábitos alimentares dos morcegos conferiu recursos (ou tipos de guano) variáveis que atenderam uma gama maior de invertebrados, seguindo a associação observada por Gnaspini-Neto (1989), Trajano, Gnaspini-Neto (1991), Ferreira; Martins (1999) e Salgado (2011): invertebrados mais específicos, que se associam a somente um determinado tipo de guano (como Diptera-Muscidae – que tem preferência pelo guano de morcegos hematófagos, e Hemiptera-Cydnidae, Isopoda, Pseudoscorpiones e Psocoptera – com preferência pelo guano de morcegos frugívoros), e os mais generalistas, encontrados em mais de um tipo de guano (por exemplo, Collembola, Orthoptera-Phalangopsidae, Diplopoda-Pseudonannolenidae, opiliões e ácaros – que se alimentam de guano de morcegos hematófagos e frugívoros).

Os invertebrados associados ao guano variam conforme o hábito alimentar do morcego, e estas diferenças se dão pela variação no conteúdo de nutrientes presentes nos tipos de guano, bem como pelo processamento fisiológico e assimilação da dieta entre as espécies de morcegos (Emerson; Roark, 2007). Guano de morcegos hematófagos possuem um teor maior de carbono e rico em compostos nitrogenados; o de morcegos frugívoros contém concentrações relativamente altas de carboidratos estruturais (por exemplo, celulose e hemicelulose); o de morcegos onívoros possuem um teor maior de nitrogênio (devido a quantidades elevadas de proteína animal); o de morcegos insetívoros que contém maiores concentrações de fosfato e ricos em ureia e compostos nitrogenados (Emerson; Roark, 2007; Salgado, 2011).

A partir disso, pode-se dizer que a presença de morcegos nas cavernas é um fator importante e determinante para a fauna de invertebrados, mas não limitante. Outro fator considerável, observado ao longo do estudo, foi a sazonalidade (com um maior número de táxons coletados na estação chuvosa).

A sazonalidade, marcada principalmente pelas diferenças na umidade relativa do ar – que tende a aumentar em épocas de chuva (conforme visto, para algumas cavidades, nos dados do monitoramento microclimático), pelo aumento expressivo de entrada de água por percolação e infiltração nos períodos chuvosos e pelo maior aporte de recurso vindo de enxurradas (material vegetal carregado para dentro de algumas cavidades), também parece atuar na variação da riqueza de invertebrados nas cavidades de Carajás. Testes futuros devem ser realizados a fim de verificar e comparar se as diferenças sazonais observadas foram significativas.

Em tese, para a fauna de invertebrados que se associa ao guano, os morcegos mais importantes são aqueles que contribuem com uma maior quantidade de recurso (Trajano; Gnaspini-Neto, 1991) – nesse caso, as espécies mais abundantes e comuns, como *Carollia perspicillata* e *Furipterus horrens*. Na realidade, para manter as comunidades subterrâneas, faz-se necessário conservar todas as espécies de morcegos (Trajano, 1995). Em outros termos, não se trata apenas da quantidade de recurso, mas também de qualidade nutricional. Logo, quanto mais diversa a comunidade de morcegos, mais invertebrados serão assistidos por uma maior variedade de guano.

### ***Bat ou hot cave: assembleias de morcegos atuam sobre a dinâmica das cavernas ferríferas no Brasil?***

De modo geral, as condições microclimáticas das *bat* e *hot caves* favorecem o estabelecimento de grandes populações de morcegos (compostas por centenas a milhares de indivíduos), incluindo de espécies mais sensíveis que necessitam de condições de temperatura e umidade relativa do ar específicas (caso de *Furipterus horrens* e *Natalus macrourus*). Além disso, *bat* e *hot caves* apresentam condições bióticas e abióticas singulares, que são essenciais no exame, identificação e determinação dessas cavidades. Com base nessas condições:

#### ***Bat caves***

Duas cavidades – N1\_0174, S11D\_0001 – foram classificadas como *bat caves* por apresentarem colônias de morcegos numerosas e estáveis; além de quantidades expressivas de guano, que constitui uma das principais fontes energéticas desses ambientes e determinam a riqueza de invertebrados.

- Na N1\_0174, o número elevado de morcegos não influencia no clima interno, visto que flutuações na temperatura e umidade relativa do ar são constantes e acompanham as estações do ano (conforme observado no monitoramento microclimático). Além disso, há uma forte influência do ambiente superficial devido à geomorfologia da cavidade, que possui duas entradas, que permite uma maior circulação de ar.

- Na S11D\_0001, o elevado número de morcegos influencia parcialmente no clima: quando centenas de indivíduos de *Pteronotus rubiginosus* se encontram na cavidade e se aglomeram junto com às colônias de *Anoura geoffroyi* e Lonchophyllinae sp., a temperatura chega aos 29 °C. Em outras ocasiões, quando *P. rubiginosus* abandonam a cavernas, permanecendo apenas *A. geoffroyi* e Lonchophyllinae sp., a temperatura se mantém relativamente constante, na média de 23 °C.  
Já a umidade relativa do ar, permanece constante, sempre próxima a saturação (acima de 99%) – com a influência de uma pequena cachoeira, cuja circulação de água é contínua e aumenta seu fluxo e volume na estação chuvosa.

### ***Hot cave e Bat cave***

A cavidade SB\_0049 foi classificada como *hot cave* e *bat cave* por apresentar características que permeiam entre essas duas definições, a saber:

- *Bat cave* – permanece habitada por colônias numerosas e estáveis de morcegos e elevadas quantidades de guano, que pode ser considerado a principal fonte energética para os invertebrados;
- *Hot cave* – permanece com a temperatura (~24°C) e umidade relativa do ar elevadas e constantes (próxima a saturação, acima de 99%), com mudança brusca da percepção térmica dessas variáveis ao entrar e se mover pela cavidade; elevadas quantidades de guano (com registro de fauna típica – besouros, baratas, grilos, hemípteros e ambliópígeos) e forte odor característico; presença de somente uma entrada, bem pequena e um acesso crítico à câmara onde se localizam as colônias de morcegos, além de baixa circulação de ar.

É importante ressaltar que no monitoramento microclimático realizado, a temperatura apareceu abaixo do mencionado na literatura. Porém, devemos considerar que o *datalogger* parou as medições antes do tempo previsto e que, a partir das observações e sensações térmicas tidas durante as visitas (bem como os outros quesitos destacados na literatura básica) dão suporte para a afirmativa que a SB\_0049 se trata de uma *hot cave*.

Adicionalmente, infere-se que a N1\_0168 seja uma potencial *bat e hot cave*: com colônias composta por dezenas/centenas de indivíduos de quatro espécies distintas; elevadas quantidades de guano cobrindo todo o piso da cavidade, e com uma fauna de invertebrados associada característica e abundante (Chilopoda, Orthoptera, Blattaria, Isopoda, Coleoptera, Hemiptera, Diplopoda, Opiliones); temperatura e umidade relativa do ar consideravelmente altas (com base

na percepção térmica e transpiração excessiva dos componentes da equipe de trabalho); sem circulação de ar; e com uma única entrada de difícil acesso. Com base nisso, ressalta-se a necessidade de monitoramentos biológico e microclimático para determinar com mais assertividade a sua classificação como uma *bat/hot cave*.

Nesse contexto, classificar cavernas como *bat* ou *hot caves* não é uma tarefa trivial, considerando que os atributos sugeridos pela literatura se baseiam em contextos similares das cavidades brasileiras (considerando que os estudos pioneiros foram desenvolvidos em cavernas tropicais), porém distintos, tendo em vista a singularidade dos ecossistemas subterrâneos (Trajano; Bichuette, 2010). Além disso, alguns desses atributos se sobrepõem e levam a dualidades e dúvidas na classificação segura.

Isto posto, para contribuir com a categorização desses ambientes, sugere-se que estudos multidisciplinares, associando microclima, geomorfologia e biologia, sejam conduzidos. Que os dados gerados, sejam dicotomizados em aspectos biológicos – para *bat caves* – suportados pela ecologia das espécies (por exemplo, dados de diversidade [ênfase para a abundância], periodicidade das colônias [com monitoramento], dados de reprodução), e aspectos físicos – para *hot caves* – suportados por parâmetros físicos (incluindo, monitoramento microclimático [temperatura, umidade relativa do ar], dados de precipitação, entradas e acessos das cavidades, fluxo de ar); e, então, parametrizados e aplicadas às classificações.

### **Conservação de morcegos e cavernas: uma corrida contra o tempo**

Carajás se encontra num cenário onde áreas cada vez maiores entregues a mineração, devido ao seu elevado potencial para extração de minerais, dos mais variados tipos e da mais alta qualidade. A expansão das zonas mineráveis é uma realidade, com áreas já licenciadas e outras com pedidos protocolados no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Mas Carajás não é só minério. Com um alto potencial biológico, a região se enquadra num *hotspot* de biodiversidade imerso em Floresta Amazônica e campos de canga, que compõem ambientes singulares e abrigam formas de vida ricas, abundantes e, muitas vezes, restritas.

Dentre esses ambientes, destacam-se as cavernas ferríferas. Únicas! Tanto em termos de geomorfologia (com formações mediadas por interações biológicas e químicas ao longo de milhares de anos [Pilo *et al.*, 2023]) quanto microclimáticos (presença de *hot caves* pouco compreendidas e que carecem de estudos aprofundados) e biológicos (abriga populações excepcionais de morcegos (em *bat caves*), incluindo espécies ameaçadas, endêmicas e,

possivelmente, novas para a ciência; populações estas que mantêm uma rica comunidade de invertebrados, incluindo espécies ainda não descritas).

Diante do exposto, propomos algumas estratégias de conservação que podem ser implementadas pelo gestor das Unidades de Conservação da região de Carajás (Núcleo de Gestão Integrada ICMBio Carajás), com apoio do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas (CECAV) e de pesquisadores espeleólogos e especialistas em fauna subterrânea; e em parcerias com Universidades, Institutos de Pesquisa e profissionais com *expertise* nas diversas áreas do conhecimento necessárias ao desenvolvimento dessa proposta. Sugerimos a implementação de um programa de monitoramento de longo prazo das populações de morcegos que usam as cavernas de Carajás como recurso, contemplando:

- A identificação de cavernas com populações excepcionais em tamanho ou de espécies raras, endêmicas e ameaçadas;
- A criação de um banco de dados de distribuição e genético, que seja aberto a sociedade civil e científica (ressaltando que essas informações já existem, mas em domínio da Vale S.A. e do Instituto Tecnológico Vale, sendo o acesso restrito);
- O desenvolvimento de estudos populacionais que envolvam Ecologia, Fisiologia, Genética e Comportamento;
- O monitoramento microclimático de cavernas para acompanhamento de mudanças no clima e seus efeitos sobre os morcegos;
- O desenvolvimento de estudos ecológicos que incluam análises de redes de interação, integridade ecológica e modelagem, a fim de identificar os impactos da mineração sobre os morcegos;
- A criação de campanhas de divulgação e oficinas que envolvam a comunidade e informem sobre a importância dos morcegos e das cavernas;
- O investimento em publicações científicas.

Não só, estratégias adicionais podem ser implementadas para auxiliar na conservação dos morcegos e dos habitats por eles utilizados. As Áreas Importantes para Conservação dos Morcegos (AICOMs) e os Sítios Importantes para a Conservação dos Morcegos (SICOMs), propostos pela *Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos* (RELCOM), têm sido uma ferramenta útil para a conservação de morcegos a partir da determinação de áreas e locais que devem ser protegidos.

As AICOMs contemplam áreas suficientes para que populações de uma ou mais espécies de morcegos consigam desenvolver suas atividades e se manter ao longo do tempo (por

exemplo, um platô de canga que inclua cavernas utilizadas por uma ou mais espécies). As SICOMs são locais menores e mais pontuais (cavernas, por exemplo) (RELCOM, 2023). A proposição de uma AICOM ou SICOM se dá por meio de uma avaliação integrada, em nível regional, onde alguns critérios pré-determinados precisam ser cumpridos: *i) Critério 1.* a área contém espécies de interesse regional ou nacional para a conservação; *ii) Critério 2.* Contém refúgios utilizados por uma ou mais espécies de interesse para conservação; *iii) Critério 3.* A área contém uma grande riqueza de espécies, independentemente do seu nível de ameaça.

Para além das estratégias de conservação, é imprescindível que o Núcleo de Gestão Integrada ICMBio Carajás (NGI-Carajás) tenha uma equipe ou um comitê de Espeleologia, composto por profissionais espeleólogos e especialistas em áreas multidisciplinares, que possam orientar e auxiliar os gestores nas tomadas de decisão, bem como desenvolver e dar suporte em projetos que valorizem o patrimônio espeleológico de Carajás.

Enfim, uma combinação de ferramentas de conservação (aplicação correta da legislação, fiscalização adequada dos empreendimentos, proposição de AICOMs e SICOMs, aplicação de índices e testes ecológico, entre outros) com ampliação das áreas de amostragem, desenvolvimento de estudos de tendências populacionais (acompanhar os efeitos dos impactos antrópicos e climáticos nas populações de morcegos) e o monitoramento de longo prazo, além de uma equipe preparada para discutir sobre Espeleologia, podem ser eficazes para responder questões sobre o uso das cavernas por morcegos e, de fato, contribuir para a conservação de morcegos e cavernas (Barros; Bernard, 2023).

## CONCLUSÃO

As comunidades de morcegos nas cavernas de Carajás se relacionam as condições ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar. No cenário de áreas mineráveis, mudanças constantes das paisagens e alteração da qualidade dos habitats, também influenciam a composição das comunidades e o padrão de distribuição relativa das espécies, de modo que a dominância de algumas pode estar relacionada a degradação dos habitats. Por outro lado, a frequência e abundância de espécies com necessidades ambientais específicas, indicam que as cavidades de Carajás possuem condições favoráveis para o estabelecimento de suas colônias. Cavidades mais diversas e com colônias numerosas e permanentes, são essenciais ao *input* de nutrientes variados que atendem a uma gama maior de invertebrados; além de servirem como atributo básico para determinação de *bat caves*. De modo geral, conhecer a estruturação das comunidades é essencial para identificar suas relações funcionais, organizações sociais, bem como os quirópteros respondem às mudanças ambientais e como isso impacta os demais

organismos a eles associados. Diante de fortes pressões econômicas e alto potencial biológico da região de Carajás, propomos que ferramentas de conservação sejam combinadas com a ampliação das áreas de amostragem, o desenvolvimento de estudos de tendências populacionais e monitoramento de longo prazo, além da formação de uma equipe preparada para discutir sobre Espeleologia no NGI-Carajás, a fim de responder questões sobre o uso das cavernas por morcegos e, de fato, contribuir para a conservação de morcegos e cavernas.

## **ANEXOS**