

Relatório Final



**TCCE ICMBio
VALE**

Bat caves em cavernas ferríferas da Floresta Nacional de Carajás: aspectos físicos, biológicos e cronológicos

Coordenação do Projeto:
Dr. Luís Beethoven Piló
(in memoriam)

Elaboração do Relatório:
Jocy Brandão Cruz
Allan Silas Calux

Sumário

1. Introdução -----	3
2. Objetivo do Projeto -----	3
3. Atividades Desenvolvidas -----	4
3.1. Planejamento e organização -----	4
3.2. Pesquisa bibliográfica -----	4
3.3. Campanhas de campo -----	4
3.4. Análises laboratoriais -----	6
3.5. Divulgação científica e técnica -----	6
4. Produtos e Resultados Obtidos -----	6
4.1. Produtos técnico-científicos -----	6
4.2. Principais resultados consolidados -----	7
5. Interrupção do Projeto -----	7
6. Conclusão -----	7
7. Referências -----	8
8. Anexo I -----	11

1. Introdução

O presente relatório tem por finalidade consolidar e apresentar, de forma sistemática, as atividades realizadas, os resultados técnicos alcançados e os produtos obtidos no âmbito do projeto “*Bat Caves em cavernas ferríferas da Floresta Nacional de Carajás: aspectos físicos, biológicos e cronológicos*”, desenvolvido no contexto do Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica n 1/2018 firmado entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e a empresa Vale S.A.

O projeto teve como objetivo geral compreender os processos físicos, geoquímicos, biológicos e cronológicos associados às chamadas *bat caves* em ambientes ferríferos da Floresta Nacional de Carajás (Figura 1), buscando produzir conhecimento científico aplicado à conservação do patrimônio espeleológico e ao aprimoramento das bases técnicas que subsidiam o licenciamento ambiental em regiões minerárias sensíveis.

A execução dos trabalhos compreendeu campanhas sistemáticas de campo, coletas estratigráficas de guano e espeleotemas, medições *in situ* de parâmetros físico-químicos, análises laboratoriais de alta complexidade e datações radiocarbônicas, associadas a extensa pesquisa bibliográfica e interpretação integrada dos dados produzidos.

A elaboração deste relatório ocorre em caráter póstumo, em razão do falecimento do pesquisador responsável, Dr. Luís B. Piló, ocorrido em 05 de maio de 2022. Tal circunstância impossibilitou a finalização formal do relatório pelo próprio pesquisador. Entretanto, conforme documentado na comunicação oficial do Dr. Enrico Bernard, seu supervisor acadêmico, as etapas fundamentais do projeto foram efetivamente executadas, sendo o presente relatório estruturado com base nos relatórios técnicos periódicos apresentados ao Comitê Gestor do TCCE, na documentação científica produzida ao longo da execução do projeto e nos dados ainda inéditos, mas que serão disponibilizados em seu estado bruto para o uso de qualquer pesquisador interessado em dar sequência ao trabalho.

Dessa forma, este documento representa uma consolidação institucional e técnica das atividades desenvolvidas, assegurando o registro oficial dos resultados obtidos, em respeito à qualidade científica do trabalho realizado e à relevância dos produtos gerados.

2. Objetivo do Projeto

Investigar os processos físicos, químicos, biológicos e cronológicos associados às chamadas *bat caves* em ambientes ferríferos da Floresta Nacional de Carajás, com ênfase em:

- composição química e mineralógica do guano;
- formação de espeleotemas fosfáticos;
- influência do guano na morfogênese das cavernas;
- cronologia dos depósitos por datações radiométricas (C^{14}/AMS).

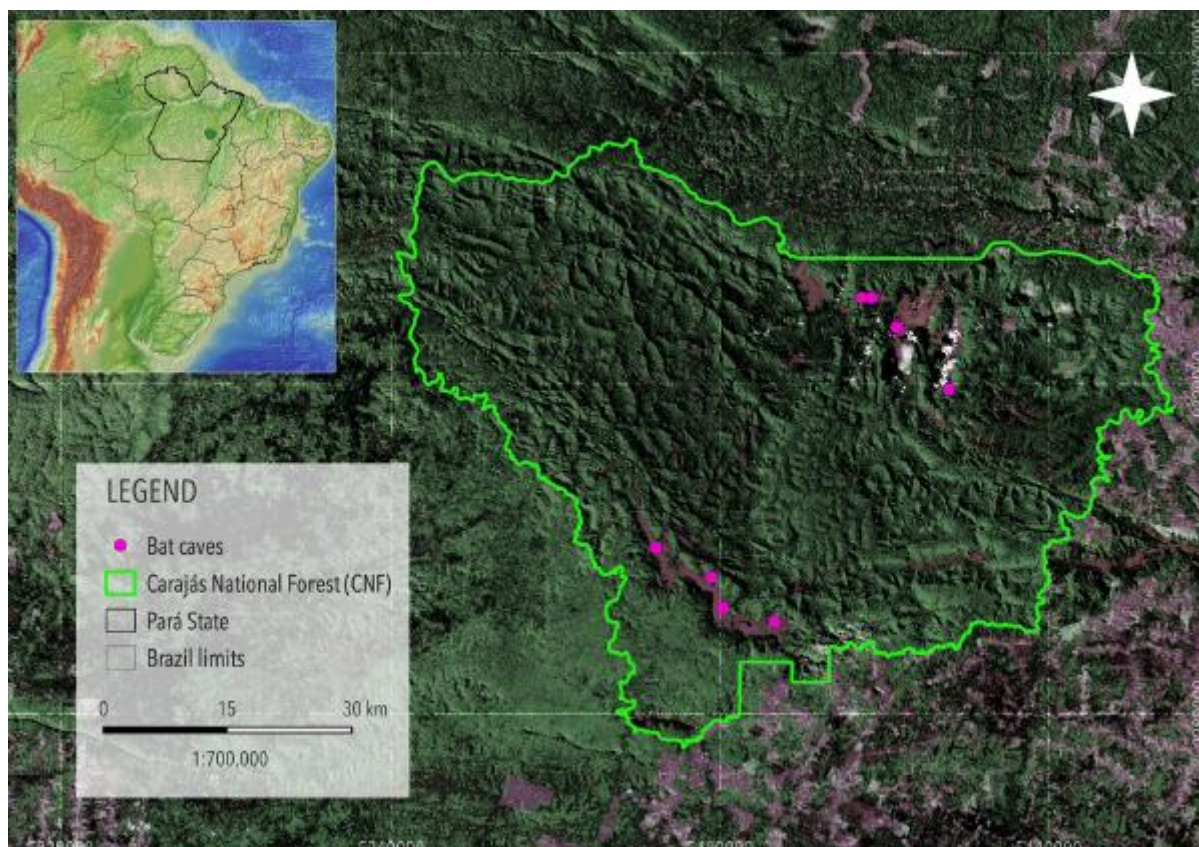


Figura 1. Área de estudo: Floresta Nacional de Carajás, Pará

3. Atividades Desenvolvidas

3.1. Planejamento e organização

- Elaboração da programação de campo em articulação com equipes da Vale e ICMBio;
- Logística de equipes, veículos, equipamentos e acesso às áreas operacionais;
- Organização do banco de dados e planilhamento sistemático de resultados laboratoriais

3.2. Pesquisa bibliográfica

Foi realizado um levantamento bibliográfico abrangente sobre os temas guano em cavernas, minerais fosfáticos, microclima e gases, dinâmica biogênica em cavernas, entre outros.

3.3. Campanhas de campo

Foram realizadas quatro campanhas principais na Flona Carajás, abrangendo cavernas da Serra Norte e Serra Sul, que resultaram na coleta de dados nas cavernas N3-0023, N4WS-0015, N4WS-0072, N5S-0011, N5S-0012, N5SM2-0019, N5SM2-0099 e S11B-0094. As atividades realizadas envolveram:

- Coleta de amostras de guano e espeleotemas (Figura 2-A e 2-C);
- Perfis estratigráficos em cavernas selecionadas (Figura 2-A);
- Medições *in situ* de pH, NH₃ (amônia) e CO₂ (Figura 2-B);
- Contagem de morcegos e registros bioacústicos;
- Testes com coletores para estimativa da taxa de deposição de guano;

- Registro fotográfico e imageamento por drone;
- Coleta de água para análises químicas nas bat caves.

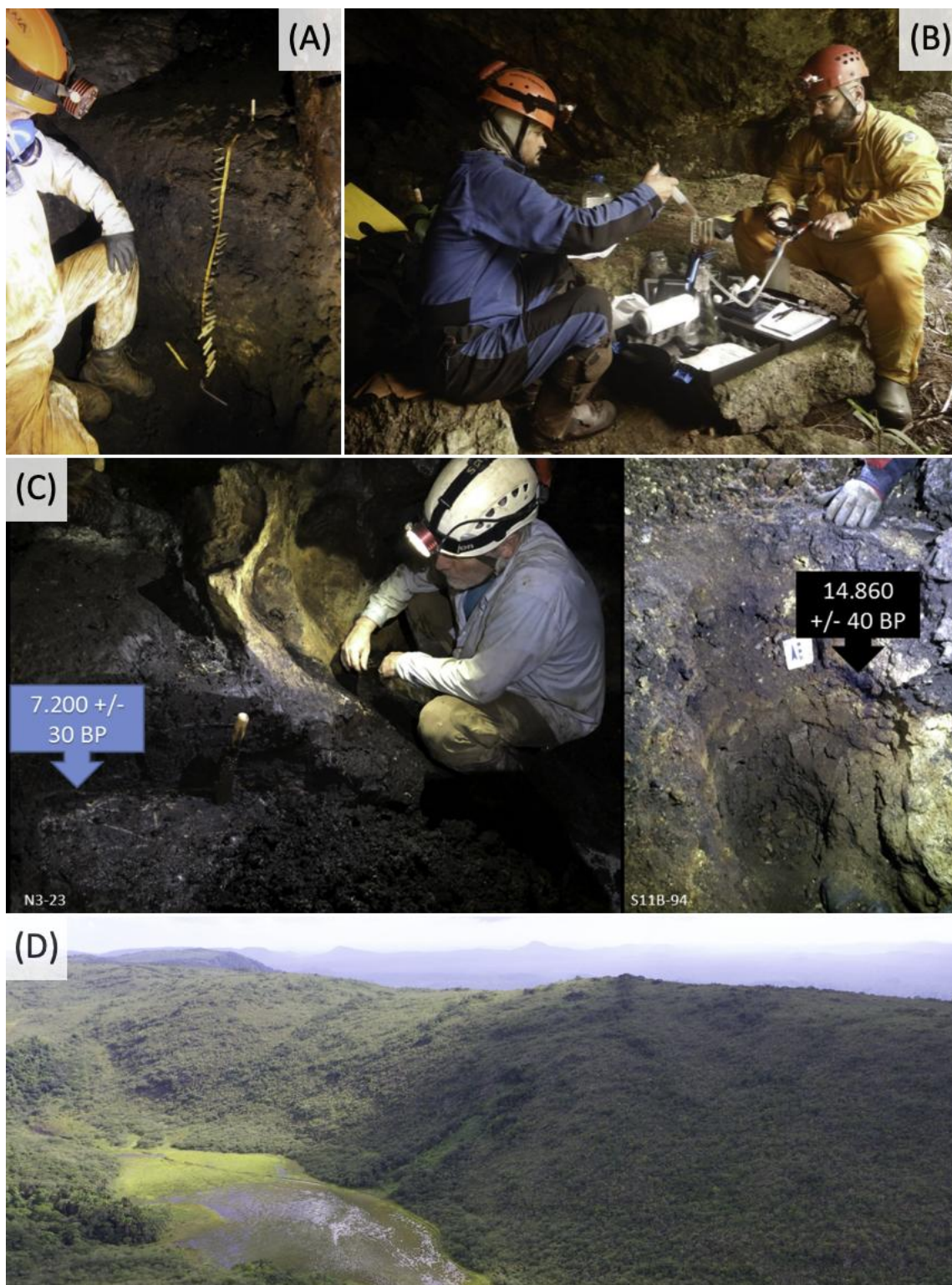


Figura 2. Exemplos das atividades realizadas em campo: (A) coleta de guano em perfil estratigráfico na caverna N5SM2-0099; (B) análise físico-química da água na caverna N3-0023; (C) perfis estratigráficos de guano com resultados da datação obtidos nas cavernas N3-0023 (esquerda) e S11B-0094 (direita); (D) imagem aérea obtida em S11A.

As campanhas de campo estão detalhadas nos informes trimestrais e nos relatórios mensais (Anexo I) emitidos pelo Dr. Luís B. Piló, documentos executivos que relatam os avanços do projeto (organização e execução) e resultados preliminares.



Figura 3. Equipe do projeto – S11B, FLONA Carajás – Fotos: Ataliba Coelho

3.4. Análises laboratoriais

As análises químicas dos materiais coletados foram realizadas em diferentes instituições. A análise de fertilidade e composição do guano foi realizado no Laboratório de Fertilizantes, Corretivos e Resíduos Orgânicos do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). As análises químicas e mineralógicas dos espeleotemas foram realizadas pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Duas amostras de estalagmites foram analisadas pelo laboratório Beta Analytic, em Miami, para datações de C^{14} . A Tabela 1 relaciona os laboratórios, quantidade de amostras e análises realizadas.

Tabela 1. Análises realizadas, quantidade de amostras e laboratório/instituição responsável.

Laboratório/Instituição	Amostras	Análises realizadas
Laboratório de Fertilizantes, Corretivos e Resíduos Orgânicos (ESALQ/USP)	10 amostras de guano	pH, matéria orgânica total, matéria orgânica residual, resíduos minerais, compostável, P ₂ O ₅ total, K ₂ O, Ca, Mg, S, N total, C por via úmida, resíduos minerais solúveis, relação C/N, densidade e micro elementos (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Na)
Laboratório de Caracterização Tecnológica (Poli/USP)	8 amostras de espeleotemas	Química por fluorescência de Raios-X; Mineralogia por difratometria de Raios-X
Beta Analytic (Miami)	2 amostras de espeleotemas 5 amostras de guano	Datações de C ¹⁴ via <i>Accelerator Mass Spectrometry</i> (AMS) e análise isotópica

3.5. Divulgação científica e técnica

Com vistas a trazer visibilidade a pesquisa, foram realizadas as seguintes atividades:

- Apresentação de resultados no 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia (Bonito/MS);
- Preparação de artigos científicos para publicação internacional;
- Relatórios ao SISBIO e renovações de licença de coleta.

4. Produtos e Resultados Obtidos

4.1. Produtos técnico-científicos

- Base de dados estruturada sobre:
 - química do guano;
 - pH de drenagens internas;
 - composição mineralógica;
 - cronologia radiométrica;
 - Dados microclimáticos
 - Dados físico-químicos das amostras de água
- Relatórios mensais e informes técnicos;
- Artigos técnicos em elaboração;
- Comunicação ao grupo gestor;
- Relatório anual SISBIO.

4.2. Principais resultados consolidados

De acordo com os Informes Trimestrais mais recentes, foram integralmente alcançadas as seguintes metas:

- Caracterização química do guano;
- Caracterização mineralógica do guano;
- Caracterização dos espeleotemas fosfáticos;
- Datações C¹⁴ em depósitos de guano;
- Primeiras idades por AMS em estalagmites fosfáticas;
- Diagnóstico do pH das águas internas;
- Modelos químicos e cronológicos preliminares;
- Modelo inicial de morfogênese biogênica das bat caves.

5. Interrupção do Projeto

A quinta campanha de campo foi cancelada em março de 2020 em razão da pandemia da COVID-19, sendo o projeto oficialmente paralisado em 01/04/2020, com previsão de retomada futura.

6. Conclusão

Embora as atividades de campo tenham sido interrompidas oficialmente em abril de 2020 em função da pandemia da COVID-19, o projeto prosseguiu em sua fase analítica e de gabinete, resultando na publicação do principal produto científico oriundo da pesquisa: o artigo *“Bats as ecosystem engineers in iron ore caves in the Carajás National Forest, Brazilian Amazonia”* publicado na revista internacional *PLOS ONE*, em 11 de maio de 2023. Este artigo sintetiza e consolida os resultados obtidos ao longo de todo o projeto, apresentando evidências inéditas sobre o papel dos morcegos como engenheiros de ecossistemas, demonstrando que sua presença ao longo de milhares de anos influencia diretamente os processos geomorfológicos e ecológicos das cavernas ferríferas da Floresta Nacional de Carajás

Entre os resultados mais relevantes demonstrados na publicação científica, destacam-se:

- a caracterização química detalhada dos depósitos de guano;
- as datações radiocarbônicas que evidenciaram a presença contínua de morcegos há mais de 22 mil anos em determinadas cavernas;
- a comprovação da formação de espeleotemas fosfáticos associados à atividade biológica;
- a constatação de que cavernas com histórico de colônias de morcegos apresentam dimensões, volumes e diversidade mineralógica significativamente superiores às demais cavernas da região;
- a demonstração de processos de corrosão biogênica do ferro mediada por ácidos oriundos da decomposição do guano e por atividade microbiana.

Em função da robustez científica dos resultados obtidos e da inequívoca produção acadêmica associada, foi formalmente solicitado ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco (PPGBA/UFPE) o reconhecimento da conclusão do estágio de pós-doutorado do pesquisador, realizado no período originalmente aprovado de 01/10/2018 a 01/10/2019, com prorrogação tácita das

atividades em função das condições excepcionais decorrentes da pandemia e do seu estado de saúde. Tal solicitação foi fundamentada na documentação técnica do projeto, no relatório do supervisor e no artigo científico publicado, conforme detalhado na carta encaminhada ao colegiado do Programa

O pleito foi analisado e aprovado por unanimidade pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFPE, em reunião realizada em 18 de outubro de 2024, conforme consta oficialmente na Ata nº 1134/2024, que homologou o encerramento do estágio de pós-doutorado do Dr. Luís Beethoven Piló, reconhecendo formalmente que os objetivos do plano de trabalho foram cumpridos de forma exemplar e que a produção científica obtida é plenamente compatível com os requisitos acadêmicos exigidos

Dessa forma, este relatório não apenas compila os aspectos técnicos da execução do projeto, como também cumpre uma função institucional e histórica, ao registrar formalmente a contribuição científica legada por Luís Beethoven Piló ao patrimônio espeleológico brasileiro e ao conhecimento sobre os ecossistemas cavernícolas ferríferos, servindo como documento de referência para o ICMBio/CECAV, para a comunidade acadêmica e para futuras iniciativas de conservação e pesquisa em ambientes subterrâneos.

7. Referências

PILÓ, L. B.; CALUX, A.; SCHERER, R.; BERNARD, E. Bats as ecosystem engineers in iron ore caves in the Carajás National Forest, Brazilian Amazonia. PLOS ONE, v. 18, n. 5, e0267870, 2023.

BERNARD, E. Apreciação da conclusão do estágio de pós-doutorado de Luís Beethoven Piló. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2024. Carta encaminhada ao PPGBA/UFPE.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Ata nº 1134/2024 – Homologação de encerramento de estágio de pós-doutorado de Luís Beethoven Piló. Recife, 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Ata de 21 de setembro de 2018 – Aprovação de ingresso de Luís Beethoven Piló como pós-doutorando no PPGBA. Recife, 2018.



TCCE ICMBio / VALE

COMPENSAÇÃO ESPELEOLÓGICA

Termo de compromisso



Coordenação Executiva



Gestão Operacional



ANEXO I

Bats as ecosystem engineers in iron ore caves
in the Carajás National Forest, Brazilian Amazonia

Luis B. Piló, Allan Calux, Rafael Scherer, Enrico Bernard

PLOS ONE | <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267870>

ANEXO II

Base de datos climáticos:

Disponível em:

<<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1exyzGyyi8jmPbH5Kz7YXYSnVXtQbdBB0/edit?usp=sharing&oid=103755845300409715187&rtpof=true&sd=true>>

ANEXO III

Base de datos hidrológicos:

Disponível em: <<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1QkuMkeAxlD90ioojxHyriWwqCXUk-iSN/edit?usp=sharing&ouid=103755845300409715187&rtpof=true&sd=true>>