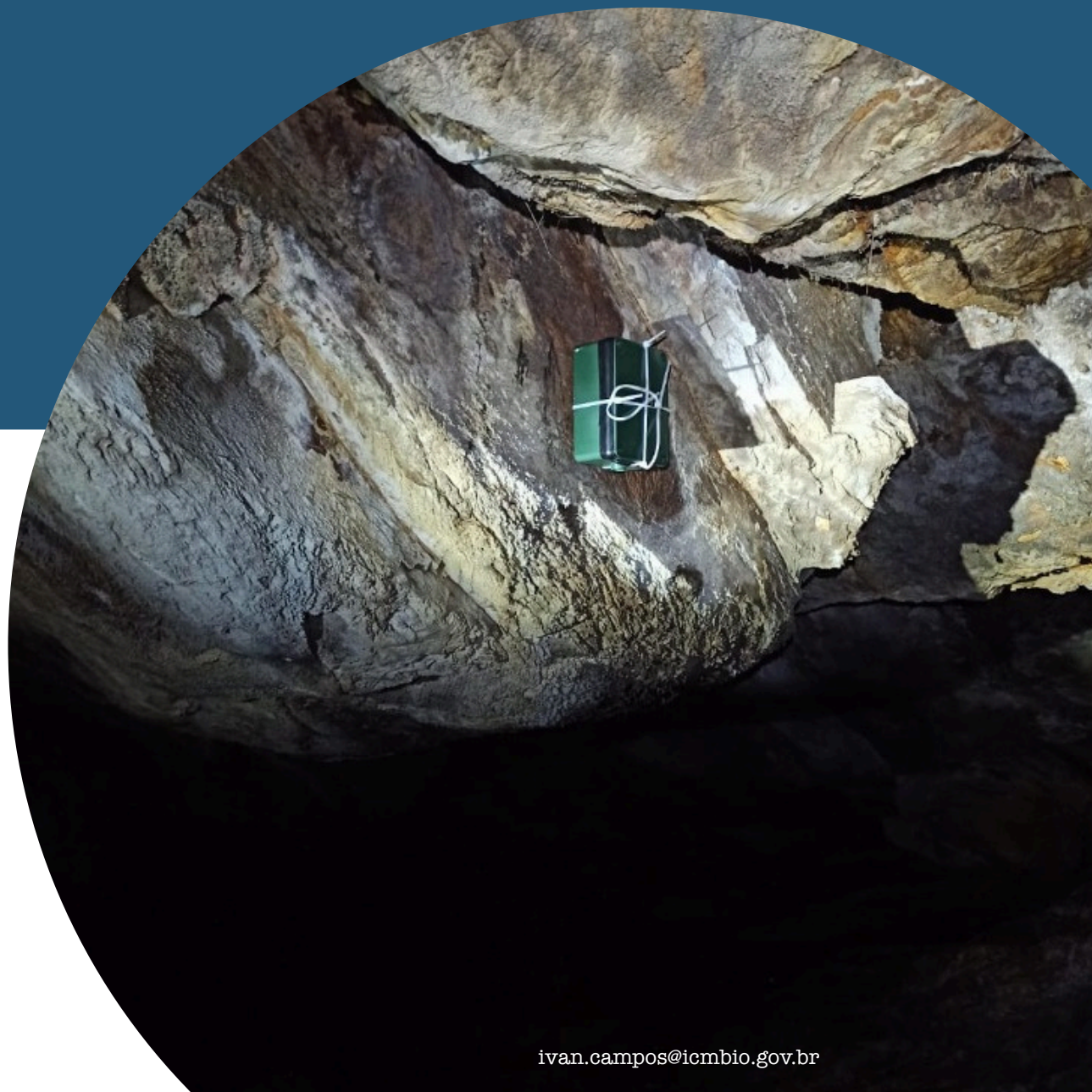


TCCE ICMBIO / VALE III - 1/2022

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

SUBPROJETO 6: PAISAGEM SONORA DE CAVERNAS E DOS
ECOSSISTEMAS EM SEU ENTORNO NO PARQUE NACIONAL DA
SERRA DO CIPÓ
COORDENADOR: IVAN BRAGA CAMPOS



INTRODUÇÃO

O Subprojeto 6, intitulado “Paisagem Sonora de Cavernas e dos Ecossistemas em seu Entorno no Parque Nacional da Serra do Cipó”, foi executado no âmbito do Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica (TCCE) ICMBio/VALE III. Seu objetivo central foi implementar e aprimorar protocolos de monitoramento acústico passivo, caracterizando e comparando as paisagens sonoras no interior de cavidades naturais e nos ecossistemas de campos rupestres do Parque Nacional da Serra do Cipó. A iniciativa buscou gerar dados robustos e repetíveis que possam subsidiar futuros programas de monitoramento de biodiversidade, utilizando a bioacústica como ferramenta não invasiva de monitoramento ambiental de longo prazo.



2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS X ATIVIDADES PLANEJADAS



O plano de trabalho original foi executado ao longo de sua vigência, com adaptações necessárias para contornar desafios de compra de itens necessários às atividades e operacionais. As principais atividades realizadas, alinhadas às metas do projeto, foram:

Meta 1 (Aquisição de Equipamentos): Foram adquiridos gravadores autônomos AudioMoth, HDs externos, NAS local para armazenamento de dados, nobreak, notebook, cartões de memória, baterias, além de itens para adaptação dos gravadores (estojos de proteção e sistema de alimentação com pilhas D para maior autonomia). A aquisição dos gravadores enfrentou atrasos devido à escassez global de chips, sendo solucionada com a compra e importação dos equipamentos. Alguns itens necessários à adaptação dos gravadores (como slot para baterias D e membrana acústica) foram difíceis de serem adquiridos em virtude da indisponibilidade no mercado nacional e não compatibilidade dos fornecedores internacionais com as exigências solicitadas pela IABS. No entanto, todas as dificuldades foram contornadas e os gravadores foram adaptados com sucesso e utilizados nas amostragens.

Meta 2 (Amostragem de Campo): Foram instalados e mantidos 17 pontos de amostragem com gravadores autônomos, distribuídos em campos rupestres e no interior de cavernas (incluindo dolinas e a Gruta do Abangá). Realizaram-se campanhas trimestrais para substituição de pilhas e cartões de memória, seguindo um cronograma de amostragem padronizado (1 minuto de gravação a cada 10 minutos, 1 dia de amostragem a cada 10 dias).

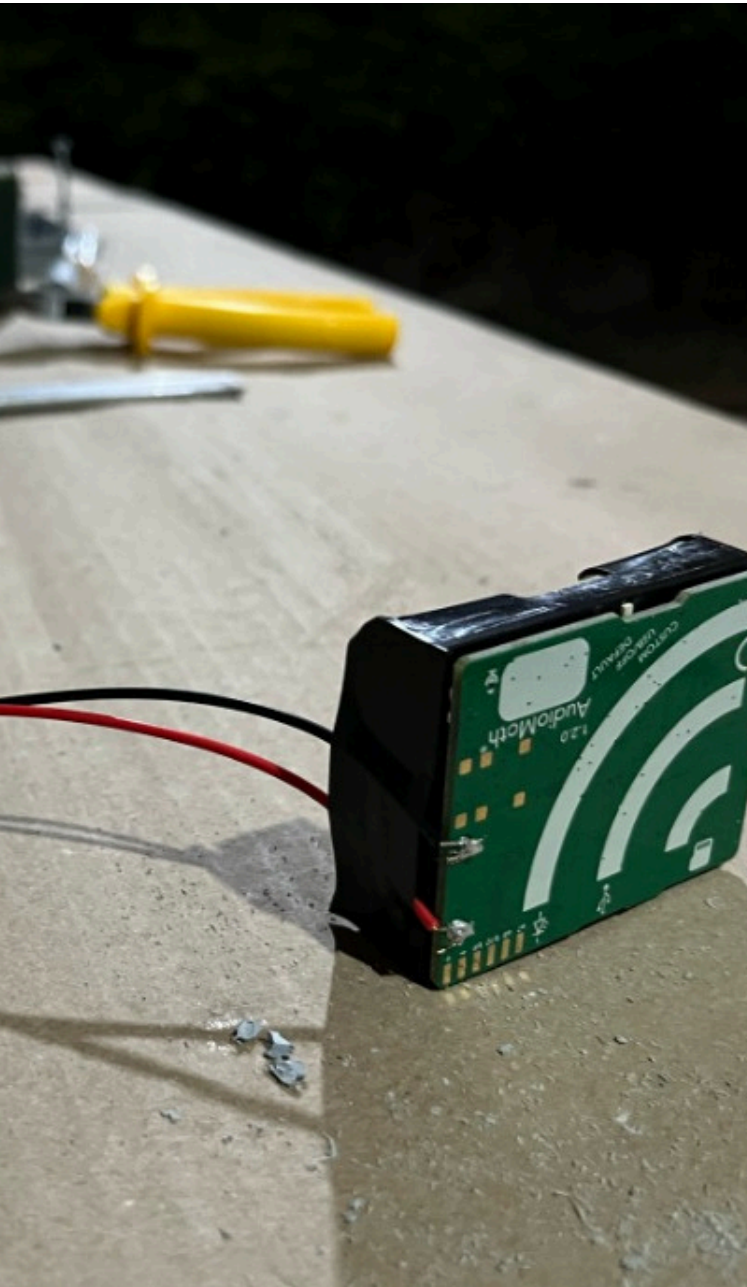
Meta 3 (Organização dos Dados): Todos os dados acústicos coletados (dezenas de Terabytes) foram armazenados em duplicata em HDs externos. No último ano, os dados foram centralizados e organizados em um servidor NAS (Network-Attached Storage), adquirido com recursos do projeto, otimizando o acesso e a segurança do acervo. A aquisição de um nobreak forneceu ao sistema maior estabilidade, que agora funciona com acessos remotos de todos os membros da equipe, facilitando o acesso aos dados, análises e desenvolvimento de ferramentas. Um aplicativo em desenvolvimento teve como sua primeira função implementada o download e organização dos dados amostrados em campo. Essa função foi fundamental para o armazenamento organizado dos dados e metadados, de forma a facilitar buscas dentro dos datasets e a realização de análises.

Meta 4 (Análise dos Dados): Desenvolveu-se uma rotina de sequências de análises que tem como etapa inicial o cálculo de índices acústicos. Esses índices servem como filtros para medir a atividade sonora do ambiente, permitindo a descrição de padrões e comparações em diferentes escalas espaciais e temporais. Os índices permitem também o agrupamento dados de diferentes localidades de forma a representar um ecossistema utilizando dados de mais de um gravador. A partir do cálculo desses índices, desenvolveu-se uma rotina que passa pela representação

sazonal dos dados ao longo do ano e análises por regiões acústicas (Campos et al. 2022) que permitem identificar as principais diferenças sonoras entre duas localidades (como exemplo dentro e fora das cavernas) e ao longo do tempo (destacando as diferenças sazonais encontradas). Essas análises, que inicialmente tiveram seus scripts desenvolvidos em R foram então transpostos para Python e incorporados em um aplicativo que está sendo testado para fornecer todas as análises de forma. O aplicativo, desenvolvimento principalmente por bolsistas apoiados pelo programa GEF Terrestre e equipe do ICMBio, encontra-se em fase avançada de desenvolvimento e continuará a ser aprimorado ao longo de 2025 e 2026 para a disponibilização de sua versão inicial. Essa sinergia do projeto com outras iniciativas em andamento sem dúvida foi um fator que potencializou o avanço na construção das rotinas de análises e soluções tecnológicas relacionadas. Reuniões semanais com foco no desenvolvimento das análises foram realizadas durante toda a duração do projeto e continuarão a ser realizadas ao longo de 2025 e 2026.



3. METODOLOGIA



A metodologia baseou-se no monitoramento acústico passivo:

Desenho Amostral: Definição de uma grade com pontos de amostragem em habitats de campo rupestre de acordo com Campos 2021 para caracterização da paisagem sonora do ecossistema com base em quatro quadrantes, cada um com 4 gravadores em suas esquinas (16 gravadores no total). Instalação de gravadores no interior e exterior de 3 cavernas no parque nacional da Serra do Cipó (Caverna do Capão; Gruta do Abangá; Caverna do Morro do Pilar). Amostragens foram iniciadas em uma quarta caverna, uma dolina nas proximidades dos gravadores do grid, mas o trabalho nesta cavidade foi suspenso por questões de segurança.

Coleta de Dados: Utilização de gravadores autônomos AudioMoth programados com um ciclo de amostragem padronizado, um minuto a cada dez (1/10min) e uma dia a cada dez (1/10 dias). Todos os gravadores funcionam de dentro das cavernas e de fora funcionam de maneira sincronizada, tendo como marco referencial a data como 1 de janeiro de 2023 como sendo o dia inicial de amostragem. Os equipamen-

tos instalados em cavernas foram adaptados para maior autonomia e resistência. Essa adaptação foi crucial para a execução das amostragens e seguiu método desenvolvido pelo pesquisador Lenilson Padovese.

Gestão de Dados: Cópias dos arquivos de áudio foram realizadas em campanhas de campo trimestrais. Os dados foram renomeados utilizando aplicativo desenvolvido pelo próprio grupo, organizados com metadados seguindo estrutura pré-definida e armazenados em HDs externos e, posteriormente, em servidor NAS.

Análise de Dados: Desenvolvimento de um pipeline computacional para:

- Cópia automatizada e verificação de integridade dos arquivos.
- Cálculo de índices acústicos para quantificar a atividade acústica e detectar os padrões presentes na paisagem sonora.
- Geração de espectrogramas de falsa cor diários para visualização dos padrões sonoros ao longo do tempo.
- Geração de espectrogramas de falsa cor diários sazonais a partir da mediana das medições dos índices acústicos de maneira a criar uma representação visual para cada estação do ano.
- Análises comparativas entre os ambientes interior (caverna) e exterior (campo rupestre).



4. RESULTADOS PLANEJADOS ALCANÇADOS

Alcançados:

- Meta 1: 100% dos equipamentos permanentes (gravadores, HDs, notebook) e de consumo (baterias, cartões) foram adquiridos.
- Meta 2: 21 gravadores foram instalados e mantidos em operação, coletando dados acústicos contínuos dos campos rupestres e de 3 cavernas no PARNA Serra do Cipó.
- Meta 3: 100% dos dados amostrados foram organizados, catalogados e armazenados com backup em HDs externos e no servidor NAS.
- Meta 4: Foi estabelecida uma metodologia robusta e automatizada para análise das paisagens sonoras, com scripts funcionais para cálculo de índices e geração de visualizações.



5. RESULTADOS DERIVADOS (NÃO PLANEJADOS)

- Colaboração Internacional: Estabelecimento de parceria com a Open Acoustics Devices, resultando no desenvolvimento gratuito de um firmware personalizado para os gravadores AudioMoth para amostragem no cronograma estabelecido em nosso desenho amostral. Essa colaboração evitou a contratação de serviço especializado para elaboração de firmware que teriam custos aproximados de R\$ 20.000,00.
- Parceria Institucional (CECAV): Empréstimo de 3 gravadores capazes de capturar ultrassom, o que viabilizou o início imediato das amostragens no interior das cavernas antes da chegada dos equipamentos próprios. A parceria entre CECAV e CEMAVE se consolidou também através da colaboração em outros projetos e realização conjunta de análises de dados.
- Fortalecimento de Capacidade: Contratação e treinamento de dois bolsistas, custeados pelo GEF Terrestre com apoio do Programa Monitora, para atuar no CEMAVE no suporte às análises, atividades de campo e na continuidade do monitoramento acústico.
- Desenvolvimento de Software: Criação de um software piloto, impulsionado principalmente pelo trabalho dos bolsistas contratados com recursos do GEF Terrestre, para automação da transferência, organização e análise preliminar dos dados acústicos.
- Aprimoramento de Infraestrutura: Aquisição e implementação de um servidor local (NAS) com nobreak, solucionando problemas críticos de instabilidade energética e armazenamento, criando um legado para projetos futuros.
- Descoberta e Registro de Nova Cavidade: Identificação e registro oficial da Gruta do Abangá (CANIE: 035659.10948.31.43708) no interior do Parque Nacional, uma descoberta realizada pelo coordenador do projeto durante os trabalhos de campo em áreas remotas pouco visitadas da unidade. Essa descoberta evidencia o potencial espeleológico inexplorado da unidade.
- Divulgação Científica e Rede de Colaboração: Apresentação dos resultados e desafios em dois congressos internacionais de alto nível (GEO BON 2023 e Congresso Internacional de Espeleologia 2025), ampliando a visibilidade do projeto, gerando novas colaborações e consolidando uma rede de cooperação multidisciplinar com pesquisadores do ICMBio, CEMAVE, CECAV, Programa Monitora e instituições nacionais e internacionais.

6. PRODUTOS

1. Resumos Apresentados em Congressos Científicos Internacionais:

- Apresentação Oral: "Desafios e perspectivas do monitoramento acústico passivo em unidades de conservação: lições do Parque Nacional da Serra do Cipó". GEO BON Conference (Conferência Global GEO BON: Monitoramento da Biodiversidade para Ação). Montreal, Canadá. Outubro de 2023.
- Apresentação Oral: "Padrões acústicos sazonais da Gruta do Palmito (MG) e seu entorno". Congresso Internacional de Espeleologia. Julho de 2025. (Publicado nos anais do evento).

2. Artigos Científicos:

- (Em preparação) Artigo com a caracterização e comparação das paisagens sonoras intra e extra-cavernas no PARNA Serra do Cipó. Este artigo será um aprofundamento das análises apresentadas no Congresso Internacional de Espeleologia.

3. Relatórios Técnicos e Protocolos:

- Este Relatório Técnico Final.
- Aprimoramento do Protocolo de Monitoramento da Paisagem Sonora de Unidades de Conservação, no âmbito do Programa Monitora. O conjunto de metodologias testadas e validadas neste projeto (desenho amostral, programação de gravadores, adaptação de equipamentos, rotina de análise de dados) constitui um protocolo sólido que pode ser aplicado em outras unidades de conservação, servindo como subsídio para futuros planos de monitoramento do ICMBio.
- Desenvolvimento dos procedimentos para Monitoramento da Paisagem Sonora para Cavidades Naturais gerando dados amostrados de forma padronizada que permite a comparação com dados amostrados nos ecossistemas exteriores às cavidades naturais, com potencial aplicação em cavidades naturais diversas.



7. PRINCIPAIS DESAFIOS E SOLUÇÕES ENCONTRADAS

1. **Aquisição de Equipamentos:** A escassez global de chips eletrônicos atrasou significativamente a compra dos gravadores, exigindo a busca por alternativas como empréstimo de equipamentos.
2. **Logística de Campo:** O relevo acidentado e as condições climáticas do PARNA Serra do Cipó tornaram o acesso aos pontos de amostragem, principalmente às dolinas e ao quadrante mais distante, uma operação complexa e dependente de equipe especializada em técnicas verticais.
3. **Armazenamento e Processamento de Dados:** O volume massivo de dados gerados (terabytes) representou um grande desafio. Inicialmente, a falta de uma infraestrutura robusta resultou em corrupção de alguns arquivos devido a picos de energia durante a transferência.
4. **Infraestrutura Tecnológica:** A instabilidade no fornecimento de energia elétrica na região e a dificuldade inicial em conectar o servidor NAS à internet para acesso remoto limitaram a agilidade das análises.



Soluções Implementadas:

- Superados com colaborações (Open Acoustics, CECAV, universidades), aquisição de infraestrutura adequada (NAS, nobreak) e extensão do prazo do projeto para conclusão das atividades

8. DISCUSSÃO

O projeto demonstrou com sucesso a viabilidade do monitoramento acústico passivo em ambientes complexos e remotos, como cavernas e campos rupestres. A padronização metodológica, conquistada através do firmware personalizado e dos scripts de análise, é um legado crucial para a comparabilidade de dados futuros.

O trabalho apresentado no Congresso Internacional de Espeleologia, representou um marco para o projeto, sendo o principal resultado alcançado ao sintetizar todas as atividades desenvolvidas ao longos dos anos, demonstrando a viabilidade das caracterizações sazonais da paisagem sonora e permitir comparações sazonais entre os ambientes de dentro e fora da caverna. A elaboração desse trabalho somente foi possível em função do cumprimento de todas as metas estabelecidas pelo projeto.



Os desafios enfrentados, especialmente em logística e gestão de dados, são instrutivos para a replicação desta metodologia em outras unidades de conservação. Eles destacam a necessidade de investimento não apenas em equipamentos de gravação, mas também em infraestrutura de backup, armazenamento e processamento de dados.

A participação em congressos internacionais evidenciou que a bioacústica é uma ferramenta emergente e poderosa para a ecologia, cada vez mais integrada a outras técnicas como câmeras trap e DNA ambiental. O projeto posicionou o ICMBio na vanguarda da aplicação desta tecnologia para o monitoramento da biodiversidade subterrânea e acredito parcerias resultantes desse projeto emergirão nos próximos anos.

9. CONCLUSÃO

O Subprojeto 6 cumpriu integralmente suas metas, entregando todos os produtos previstos e gerando resultados significativos além do esperado. O projeto não apenas coletou um conjunto de dados acústicos único sobre as paisagens sonoras do PARNA Serra do Cipó, mas também desenvolveu e validou um protocolo completo de monitoramento, capacitou pessoal e estabeleceu valiosas colaborações.

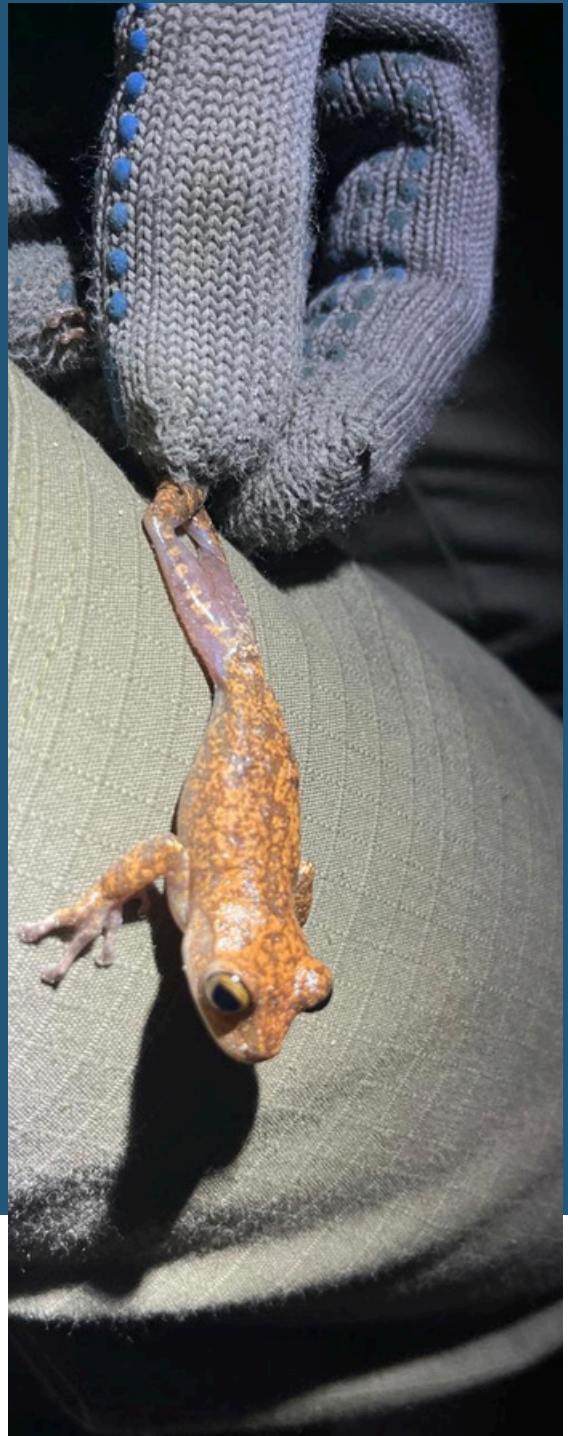
As ferramentas, metodologias e infraestrutura deixadas como legado fornecem uma base sólida para a continuidade do monitoramento acústico na unidade e para a replicação da iniciativa em outras regiões do país, representando um avanço concreto para a conservação da biodiversidade brasileira.

Anexos:

1. Resumo do trabalho apresentado no Congresso Internacional de Espeleologia, 2025: "Padrões acústicos sazonais da Gruta do Palmito (MG) e seu entorno";

2. Resumo do trabalho apresentado no Congresso Internacional de Redes de Monitoramento - GEO BOM, 2023: "Soundscape monitoring in protected areas: technical challenges, lessons learned and future perspectives".

ivan.campos@icmbio.gov.br





19th INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY

38° Congresso Brasileiro de Espeleologia

20-27 DE JULHO DE 2025 - BELO HORIZONTE - MINAS GERAIS - BRASIL

PROCEEDINGS
VOLUME VII

Session 16 (part II): Subterranean Biology



Padrões acústicos sazonais da Gruta do Palmito (MG) e seu entorno

Tiago Silva (1), Maurício Carlos Martins de Andrade (1), Ítalo Moreira Martins (2) & Ivan Campos (3)

(1) Cecav/ICMBio, Parque Nacional de Brasília, Rodovia BR 450, km 8,5, via Epia, Brasília, Brasil, tiago-castro.silva@icmbio.gov.br (corresponding author)

(2) Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, italoomm@yahoo.com.br

(3) Cemave/ICMBio, Floresta Nacional da Restinga de Cabedelo, Rodovia BR-230, Km 10, Renascer, Cabedelo, PB, Brasil, ivan.campos@icmbio.gov.br

Abstract

Beyond providing information on species occurrence through automated identification, bioacoustics can also provide valuable information about the community when focusing on general patterns of acoustic activities. In this study we aim to describe the seasonal patterns of soundscapes inside and outside the cave Gruta do Palmito (MG), Brazil. Audiomoth recorders were set to sample at the 1/10 days and 1/10 minutes schedule throughout 2023. Using the *scikit-maad* module and *Python* language, false-color spectrograms were produced with the median of the acoustic indices for each season. Following a visual analysis of the seasonal false-color spectrograms to detect the main acoustic events, traditional spectrograms were analyzed in *RavenPro* software to identify these events. The results show an increase in background noise inside the cave from spring to summer. This is likely to be associated with the rainfall regime. The background noise is also likely to have influence on the vocalizations of *Bokermannohyla saxicola*, which is more acoustically active when there is less background related to rainfall. In the external environment, bird vocalizations are more present in winter and spring. Our approach allows describing the seasonal soundscape patterns inside and outside the Gruta do Palmito cave.

1. Introdução

Caverna pode ser definida como uma abertura natural formada em rocha abaixo da superfície e grande o suficiente para a entrada do homem. Esta definição é adotada tanto pela União Internacional de Espeleologia (UIS) como pela legislação brasileira (CECAV, 2013). O Brasil como possuidor de um vasto patrimônio espeleológico, com mais de 22mil, segundo o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), tem vários grupos de pesquisas acadêmicas que se dedicam à espeleologia. Segundo dados do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), de 2000 a abril de 2023 foram emitidas 226 autorizações para pesquisas envolvendo cavernas conduzidas por diversas instituições de pesquisa.

As pesquisas envolvendo o meio biótico concentram-se em artrópodes utilizando, principalmente, a busca ativa como método de coleta (MENDONÇA, 2016). As pesquisas com vertebrados são bem menos frequentes. No caso de quirópteros e anuros, as técnicas mais frequentes são a rede neblina e a busca ativa, respectivamente (MENDONÇA, 2016 e BERNARDE, 2012).

Alguns estudos envolvendo a bioacústica em cavernas vem sendo realizados em algumas partes do mundo para roedores (SCHLEICH & FRANCESCOLOI, 2018), morcegos (THOMAS & DAVISON, 2020) e peixes cavernícolas (HYACINTHE et al., 2022). No Brasil, a bioacústica em cavernas tem sido utilizada principalmente para identificação de morcegos (BARROS & BERNARD, 2023 e GOMES & BERNARD, 2024).

Além de identificação de espécies, a bioacústica também pode fornecer valiosas informações sobre a comunidade quando se trabalha com a paisagem sonora com foco nos padrões gerais de atividade acústica (CAMPOS et al., 2021, 2022).

Paisagem sonora pode ser definida como o conjunto de sons em uma paisagem, que têm três fontes: antropofonia (sons gerados por

atividades humanas), geofonia (sons produzidos por elementos do ambiente não vivos, como vento e água) e biofonia (sons emitidos por seres vivos) (KRAUSE 1987 e PIJANOWSKI, et al. 2011). O conjunto destes sons é o objeto de estudo da ecologia de paisagem sonora, uma vez que os processos ecológicos que ocorrem na paisagem podem estar fortemente ligados e refletidos aos padrões sonoros da própria paisagem (PIJANOWSKI et al., 2011).

Assim, como índices de ecologia tradicional foram desenvolvidos para descrever e sintetizar numericamente a complexidade das relações ecológicas desde o nível de comunidade ao nível de paisagem. Índices acústicos com bases ecológicas foram criados para estudar relações ecológicas das comunidades com a paisagem por meio dos sons emitidos (SUER et al., 2014).

Além de permitir análises estatísticas para comparação de paisagens e comunidades, os índices permitem também a descrição dos padrões sonoros. Isso pode ser feito a partir de espectrogramas de falsa-cor de longa duração (LDFC), que são construídos para conjuntos de três índices, atribuindo a cada um deles um canal de cor RGB (vermelho, verde e azul) em um espectrograma colorido (TOWSEY, 2018).

Dessa forma, para além de serem utilizados diretamente como indicadores de biodiversidade, o que pode ser controverso (GASC et al., 2013 e LELLOUCH et al., 2014), os índices acústicos podem ser utilizados como filtros que nos ajudam a detectar as principais variações na atividade acústica e, portanto, são ferramentas úteis para descrever os padrões de atividade sonora.

O objetivo deste trabalho foi descrever os padrões sazonais das paisagens sonoras no interior e no entorno de uma caverna do Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, durante o ano de 2023.

2. Material e Métodos

Gravadores foram instalados no ambiente interno e externo da Gruta do Palmito (19°25'07.4"S, 43°36'19.1"W) (Código do Canie: 014885.07173.31.34608), sudoeste do Parque Nacional da Serra do Cipó, a 1.094 metros de altitude. A Gruta do Palmito ocorre predominantemente em quartzito, tem 182,82 m de desenvolvimento linear e é cortada pelo ribeirão das Areias com fluxo de água perene (Fig. 1).

O ambiente externo é ocupado principalmente por Campo Rupestre, enquanto uma estreita mata de galeria acompanha as margens do ribeirão das Areias (Fig. 2). Ambos os gravadores foram instalados a cerca de 40 metros de distância da entrada da caverna, sendo que o gravador externo ficou à montante da entrada da caverna, na margem do ribeirão.

Foram utilizados gravadores autônomos *Audiomoth* em estojos adaptados (Fig. 3) (PADOVESE, 2024), com firmware também adaptado para permitir executar o cronograma de 1/10 dias (gravar um dia e pausar nove) e 1 minuto a cada 10 (um minuto de amostragem seguidos de nove minutos de pausa). Os arquivos de áudio do tipo wav foram gerados com uma taxa de amostragem de 384 kHz. As gravações ocorreram ao longo de todo ano de 2023. Foram escolhidos 6 dias centrais de cada estação para representá-la. No inverno, a representação sazonal foi gerada a partir de gravações realizadas em 6 dias consecutivos. Essa diferença do inverno para as demais estações se deveu ao fato de que no início das amostragens ainda não havia disponibilidade do firmware adaptado. Dessa forma, as gravações foram realizadas em dias consecutivos até o esgotamento da bateria.

O processamento dos arquivos de áudios foi realizado utilizando o pacote *scikit-maad* (ULLOA et al., 2021). Eles foram reamostrados para 22 kHz de modo a permitir a identificação dos eventos sonoros pela audição humana e para se adaptar à capacidade de processamento computacional. Foram calculados os índices bioacústicos disponíveis no pacote *scikit-maad*. A partir da tabela resultante foi calculada a mediana dos respectivos valores para cada conjunto de 6 dias em cada uma das estações do ano. Também usando o pacote *scikit-maad* foram gerados espectrogramas de falsa-cor representando a mediana dos índices para os 6 dias selecionados para cada estação do ano. Os índices acústicos

utilizados foram KURTt (canal vermelho), EVNspCount (canal verde), MEANt (canal azul). Visualmente foram delimitados nos espaços temporal e espectral os eventos acústicos que se sobressaíram nos espectrogramas de falsa-cor. Em seguida, utilizando o programa RavenPro 1.6 (K. LISA YANG CENTER FOR CONSERVATION BIOACOUSTICS, 2024) procedeu-se a audição desses eventos a fim de descrevê-los.

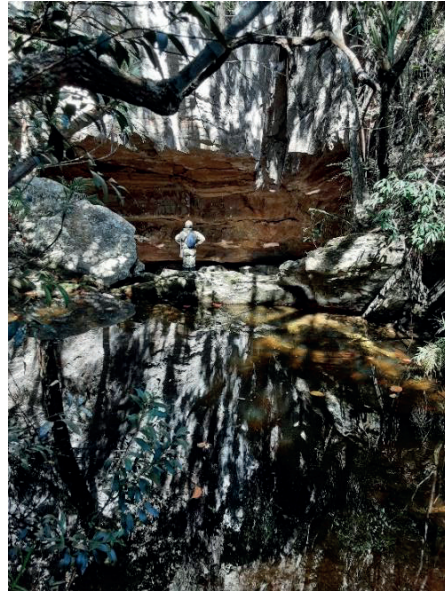


Figura 1 : Entrada da Gruta do Palmito com destaque para as águas do ribeirão Areias. (Autor: Tiago Silva).



Figura 2 : Ambiente externo à Gruta do Palmito com destaque para mata ciliar do ribeirão Areias. (Autor: Maurício Andrade).



Figura 3 : Ecopod: estojo adaptado para Audiomoth para maior autonomia e resistência no campo desenvolvido por Linilson Rodrigues Padovese e instalado no meio externo à Gruta do Palmito. A) Gruta do Palmito B) Meio externo (Autor: Ivan Campos).

3. Resultados

O verão no interior da caverna não apresentou muitos eventos acústicos muito bem individualizados. Há um ruído de fundo intenso e distribuído por todo o espectro sonoro originado pela água corrente do curso d'água que cruza a caverna. A única biofonia que foi possível identificar foi a vocalização de *Bokermannohyla saxicola*, no período das 16h às 22h. Por outro lado, no meio externo, as vocalizações de *B. saxicola*

destacam-se pela intensidade e constância no período das 19h às 05h.

No outono, no interior da caverna, houve uma redução da intensidade dos ruídos de fundo (geofonia), quando comparado ao verão. A única biofonia que se sobressai é a vocalização de morcegos, que se concentrou principalmente entre 05h e 07h. No meio externo, as rajadas de vento são os eventos geofônicos predominantes. Juntamente com as

rajadas de vento ouve-se sons parecidos com algo batendo no estojo, possivelmente algum pequeno galho sendo movimentado pelo vento. Consideramos estes eventos como artefato de gravação. Vocalizações pontuais e pouco expressivas de *B. saxicola* foram os únicos eventos biofônicos visualizados. Elas ocorreram por volta de 01h.

No inverno, no interior da caverna, a tendência de redução dos ruídos de fundo se mantém. A única biofonia que se sobressai é a vocalização de morcegos, que ocorre com a maior intensidade por um faixa de tempo maior: 04h às 06h, 08h às 11h e 18h às 19h. No meio externo, as rajadas de vento continuam sendo o evento geofônico predominante, principalmente entre 08h e 16h. Assim como no outono, ouve-se sons parecidos com algo batendo no estojo, possivelmente algum pequeno galho sendo movimentado pelo vento. Consideramos estes eventos como artefato de gravação. Os eventos biofônicos se concentram no período diurno, entre 06h e 16h, e é principalmente produzido por aves.

Na primavera, no interior da caverna, a tendência de redução dos

ruídos de fundo se mantém, chegando à mínima intensidade registrada entre todas as estações. Vocalizações de *B. saxicola* atingem a maior intensidade de constância, ocorrendo praticamente ao longo de todas as 24 horas. Observou-se também a estridulação de grilos entre 22h e 05h. No meio externo, as rajadas de vento continuam sendo o evento geofônico predominante, principalmente entre 09h e 19h. Novamente, ouve-se sons parecidos com algo batendo no estojo, possivelmente algum pequeno galho sendo movimentado pelo vento. Consideramos estes eventos como artefato de gravação. Os eventos biofônicos atingiram a maior diversidade, sendo identificadas múltiplas fontes (aves, artrópodes e anuros), ocupando mais faixas do espectro e distribuída ao longo de praticamente todas as 24 horas. *B. saxicola* concentrou suas vocalizações ente 22h e 05h. Estridulações de artrópodes foram observadas entre 00 e 05h, por volta de 12h e 21h. Vocalizações de aves foram observadas desde 09h até as 21h, sendo aquelas produzidas no período noturno atribuídas a *Hydropsalis longirostris*.

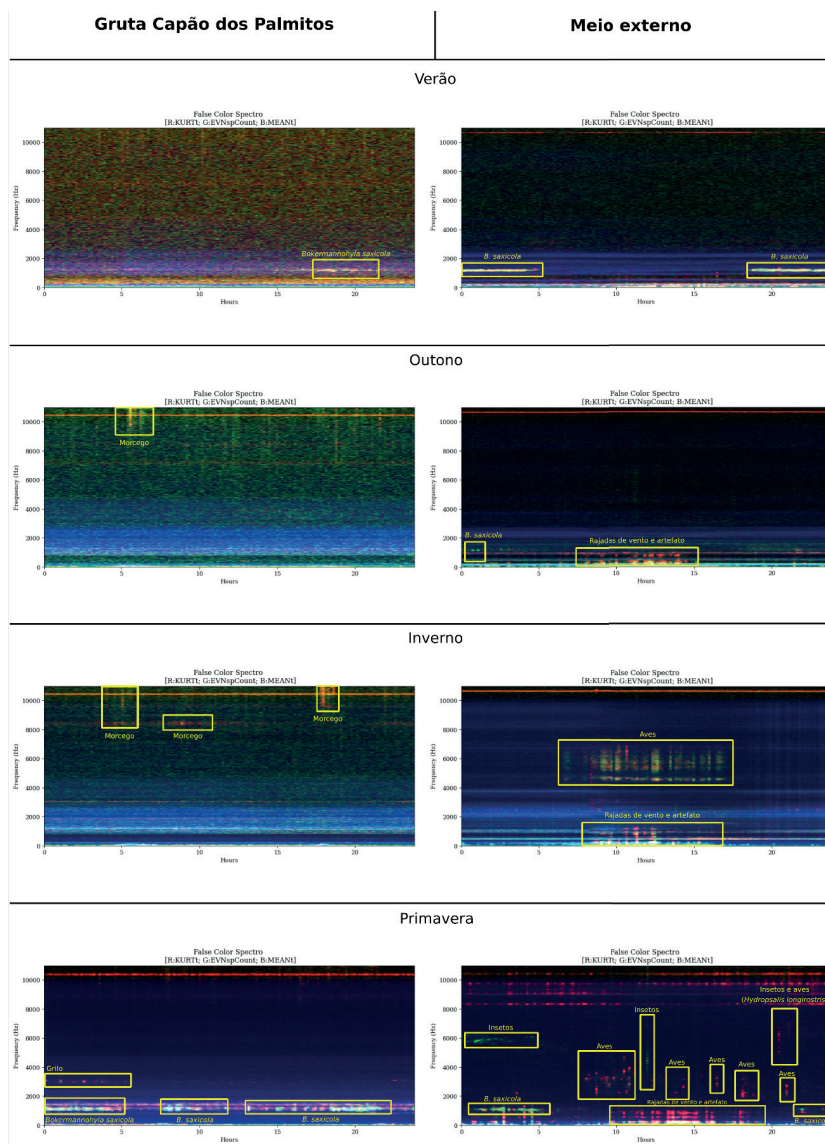


Figura 4 : Espectrogramas de falsa-cor de longa duração gerados a partir da mediana de índices acústicos (KURTt, EVNspCount, MEANT) de seis dias de cada estação do ano de 2023 para dentro e fora da Gruta do Palmito. Em amarelo, estão destacados os eventos acústicos observados.

4. Discussão

O decaimento da intensidade do ruído de fundo no interior da caverna, a partir do verão até a primavera, coincide com a diminuição de chuvas da região no período. No verão, com o maior volume de chuvas, o ribeirão Areias fica mais caudaloso, gerando maior quantidade de eventos acústicos de geofonia. Dentro da caverna, o som da água corrente parece gerar uma forte reverberação que pode ser visualmente percebida nos espectrogramas de falsa cor. Essa ampla e intensa ocupação do espectro acústico, pode ser um dos fatores que explica a baixa ocorrência de vocalizações de *B. saxicola*, comparada ao exterior da caverna. Possivelmente o forte ruído gere um mascaramento do sinal e resulte na abstenção em vocalizar dentro da caverna, o que não ocorre fora. Situação quase oposta foi observada na primavera, quando a geofonia em virtude da reverberação atinge sua mínima intensidade, tem-se a maior intensidade e constância de vocalizações de *B. saxicola*, que volta a emitir sinal acústico. Segundo KRAUSE (1993) a composição da paisagem sonora natural é formada pela expressão de cada organismo que evoluiu para emitir sinais sonoros dentro de uma largura de banda específica, baseada em frequência ou horário. Ou seja, o processo evolutivo leva a uma ocupação de um nicho acústico que permite a transmissão de sinais sonoros entre indivíduos de uma mesma espécie sem que eles sejam barrados por outros sinais acústicos. De modo semelhante ao que percebemos com *B. saxicola*, foi observado aves e orcas alterando

o padrão de vocalização para se adequarem aos ruídos urbanos e de embarcações, respectivamente (HOLT, 2013; MOCKFORD, 2011).

No meio interno, durante a primavera, *B. saxicola* encontra situação tão mais favorável que vocaliza praticamente ao longo das 24 horas diárias. Ao passo que no meio externo, concentra-se no período noturno entre 22h e 05h. Isto possivelmente coloca a caverna como um importante local reprodutivo para espécie (Andrade, 2023). É interessante ressaltar que no meio subterrâneo existe pouca flutuação de temperatura, luminosidade e umidade ao contrário do meio externo. A constância dessas variáveis ambientais pode explicar a vocalização de *B. saxicola* em qualquer horário do dia, de maneira praticamente ininterrupta ao longo das 24h horas.

A temporada reprodutiva de aves é refletida nos espectrogramas da primavera do meio externo, quando as vocalizações se destacaram no período diurno. Foi nesta estação também que se verificou maior riqueza taxonômica de eventos biofônicos (aves, anuros e artópodes).

Em acordo com o encontrado por CAMPOS et al., (2021; 2022) para diferentes ambientes, o outono em ambiente no ambiente externo na região do Capão dos Palmitos se caracteriza por baixa atividade de biofonia. Uma exceção são as vocalizações de morcego no meio subterrâneo que ocorrem durante o outono.

5. Conclusão

A abordagem permitiu descrever os padrões sazonais da paisagem sonora dentro e fora da Gruta do Palmito ao longo de um ano.

Estudos de longo prazo permitirão confirmar esses padrões, assim como possibilitarão gerar alertas para alterações que fujam do esperado.

Fica claro também que existe uma diferença no padrão de atividade sonora entre dentro e fora da caverna em cada uma das estações do ano, reforçando o quão singular são os ecossistemas cavernícolas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese por compartilhar sua técnica para construção de estojo adaptado para Audiomoth desenvolvido para maior autonomia e resistência no campo denominado Ecopod. Os autores agradecem à gestora e aos funcionários do Núcleo de Gestão Integrada (NGI) - ICMBio Cipó-Pedreira pelo auxílio e permissão para as atividades de campo e às equipes do SISBio/ICMBio pela autorização para atividades com finalidade científica. O projeto

utilizou recursos financeiros do Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica (TCCE ICMBio/Vale No. 01/2018), firmado entre a Vale S.A. e o Instituto Chico Mendes de Conservação para a Biodiversidade (ICMBio), com gestão operacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), a quem os autores também agradecem.

Referência bibliográfica

ANDRADE C.M., SILVA T.C., MARTINS I.M., CAMPOS I.B., (2023) Bioacústica: o que escutamos dentro e fora da caverna? 37^o Congresso Brasileiro de Espeleologia, Curitiba, Brasil (site: <https://www.37cbe.org/>).

BARROS J.S., BERNARD E. (2023) Big family, warm home, and lots of friends: Pteronotus large colonies affect species richness and occupation inside caves. *Biotropica* 55(3):605-616. <https://doi.org/10.1111/btp.13211>.

BERNARDE, P.S. (2012) Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. Anolis Books.

CAMPOS I.B., FEWSTER R., TRUSKINGER A., TOWSEY M., ROE P., VASQUES FILHO D., LEE W.G., GASKETT A.C. (2021) Assessing the potential of acoustic indices for protected area monitoring in the Serra do Cipó National Park, Brazil. *Ecological Indicators* 120 (106953).

CAMPOS I.B., FEWSTER R., LANDERS T., TRUSKINGER A., TOWSEY M., ROE P., LEE W., GASKETT A. (2022) Acoustic region workflow for efficient comparison of soundscapes under different invasive mammals' management regimes. *Ecological Informatics* 68(101554).

CECAV (2013) IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental.

GASCA., SUEUR J., JIGUET F., DEVICTOR V., GRANDCOLAS P., BURROW C., DEPRAETERE M., PAVOINE S. (2013) Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities? *Ecological Indicators*, 25, 279-287.

GOMES L., BERNARD E. (2024) Listening to the bats of Carajás: Applied bioacoustics for species inventory and environment use in a mosaic of forests, savannas, and industrial mining in the Brazilian Amazonia. bioRxiv, 2024-08.

HOLT M.M., NOREN D.P., EMMONS C.K. (2013) An Investigation of Sound Use and Behavior in a Killer Whale (*Orcinus orca*) Population to Inform Passive Acoustic Monitoring Studies. *Marine Mammal Science* 29(2).

HYACINTHE C., ATTIA J., SCHUTZ E., LEGO L., CASANE D., RÉTAUX, S. (2023). Acoustic signatures in Mexican cavefish populations inhabiting different caves. *PLoS One*, 18(8), e0289574.

- K. LISA YANG CENTER FOR CONSERVATION BIOACOUSTICS. (2024). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6.5) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Disponível em: <https://ravensoundsoftware.com/>.
- KRAUSE B. (1987) Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review* 57: 14–18.
- KRAUSE B. (1993) “The Niche Hypothesis: A Virtual Symphony of Animal Sounds, the Origins of Musical Expression, and the Health of Habitats,” *Soundscape Newsletter*, World Forum for Acoustic Ecology.
- LELLOUCH L., PAVOINE S., JIGUET F., GLOTIN H., SUEUR J. (2014) Monitoring temporal change of bird communities with dissimilarity acoustic indices. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 495-505.
- MENDONÇA D.R.M (2016) Perfil da pesquisa científica em cavernas do Brasil: Análise das pesquisas autorizadas pelo Sisbio no período de 2007 A 2014. *Revista Brasileira de Espeleologia* (1)6
- MOCKFORD E.J., MARSHALL R.C., LABELSTEEN, T. (2011) Degradation of Rural and Urban Great Tit Song: Testing Transmission Efficiency. *PLoS ONE* 6(12) e28242
- PADOVESE L.R. (2024) Estojo adaptado para Audiomoth desenvolvido por Linilson Rodrigues Padovese para maior autonomia e resistência no campo denominado Ecopod.
- PIJANOWSKI B. C., VILLANUEVA-RIVERA L. J., DUMYAHN S. L., FARINA A., KRAUSE B. L., NAPOLETANO B. M., GAGE S.H., PIERETTI, N. (2011) Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.
- SCHLEICH C., FRANCESCOLI G. Three decades of subterranean acoustic communication studies. *Rodent bioacoustics*, p. 43-69, 2018.
- SUEUR J., FARINA A., GASC A., PIERETTI N., PAVOINE, S. (2014) Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(4), 772-781.
- TOWSEY M., ZNIDERSIC E., BROKEN-BROW J., INDRASWARI K., WATSON D.M., PHILLIPS Y., TRUSKINGER A., ROE P. (2018) Long-duration, false-colour spectrograms for detecting species in large audio data-sets. *Journal of Ecoacoustics*, 2, 1-13.
- THOMAS R., DAVISON S. (2020) Passive acoustic monitoring and automated analysis as an alternative to trapping for monitoring species richness and seasonal swarming behaviour of *Myotis* bats. *Authorea Preprints*.
- ULLOA J.S., HAUPERT S., LATORRE J. F., AUBIN T., SUEUR, J. (2021) scikit-maad: An open-source and modular toolbox for quantitative soundscape analysis in Python. *Methods in Ecology and Evolution*, 12, 2334–2340.



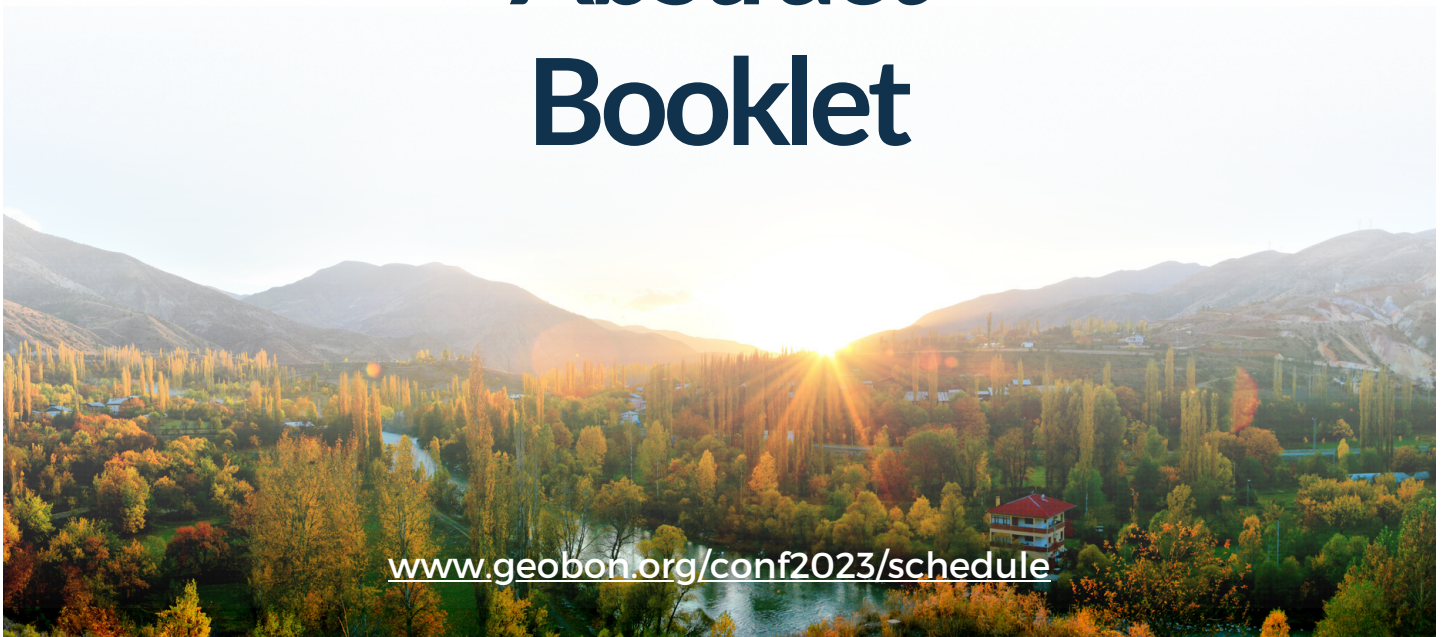
GEO BON Global Conference

MONITORING BIODIVERSITY FOR ACTION

A whole of society approach for urgent and transformative change

Abstract Booklet

www.geobon.org/conf2023/schedule



200031 - Soundscape monitoring in protected areas: technical challenges, lessons learned and future perspectives

Dárlison Andrade¹, [Ivan Campos](#)²

¹Biodiversity Monitoring Coordination (COMOB), Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio), Brazil, ²National Center for Wild Bird Conservation and Research (CEMAVE), Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio), Brazil / Biological Sciences Institute (ICB), Federal University of Minas Gerais (UFMG), Brazil

The *Monitora* is one of the largest biodiversity monitoring programs in the world. It has the main goals of assessing the effectiveness of the Brazilian Federal Protected Areas, contributing to the evaluation of species' conservation status, providing data on invasive species, and detecting biodiversity variations due to climate change. However, generating comparable data on different ecosystems is a technical challenge. Traditionally, each ecosystem type (forest, grassland, desert etc) has its own sampling methods. There is a need for standardized *in situ* sampling protocols capable of providing information on biodiversity states and trends in different biomes.

To address this challenge, since 2021 the ICMBio runs an acoustic monitoring project at the *Serra do Cipó* National Park, a core area of the *Espinhaço* Biosphere Reserve. The protocol was designed to be modular, to cover different ecosystem structures and to provide data for soundscape studies. The data is used to detect the main soundscape differences between sites and in a single location across time. Acoustic indices are used within the acoustic regions approach to generate seasonal signatures of the daily acoustic dynamic. Activity of birds, anurans, insects and mammals will be measured. Automated detection of species of interest will also contribute to the monitoring of taxa focus of conservation actions.

Within the next three years, it is expected to implement this acoustic monitoring project in protected areas in four different Brazilian biomes (Amazon, Atlantic Forest, *Cerrado* and *Caatinga*). The proposed protocol has a great potential to soundscape monitoring of protected areas worldwide.

Presentation type

Poster

Affiliation

National Center for Wild Bird Conservation and Research (CEMAVE), Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio), Brazil / Biological Sciences Institute (ICB), Federal University of Minas Gerais (UFMG), Brazil

Session

Linking Biodiversity Monitoring Networks to Assess Biodiversity Change Across Scales