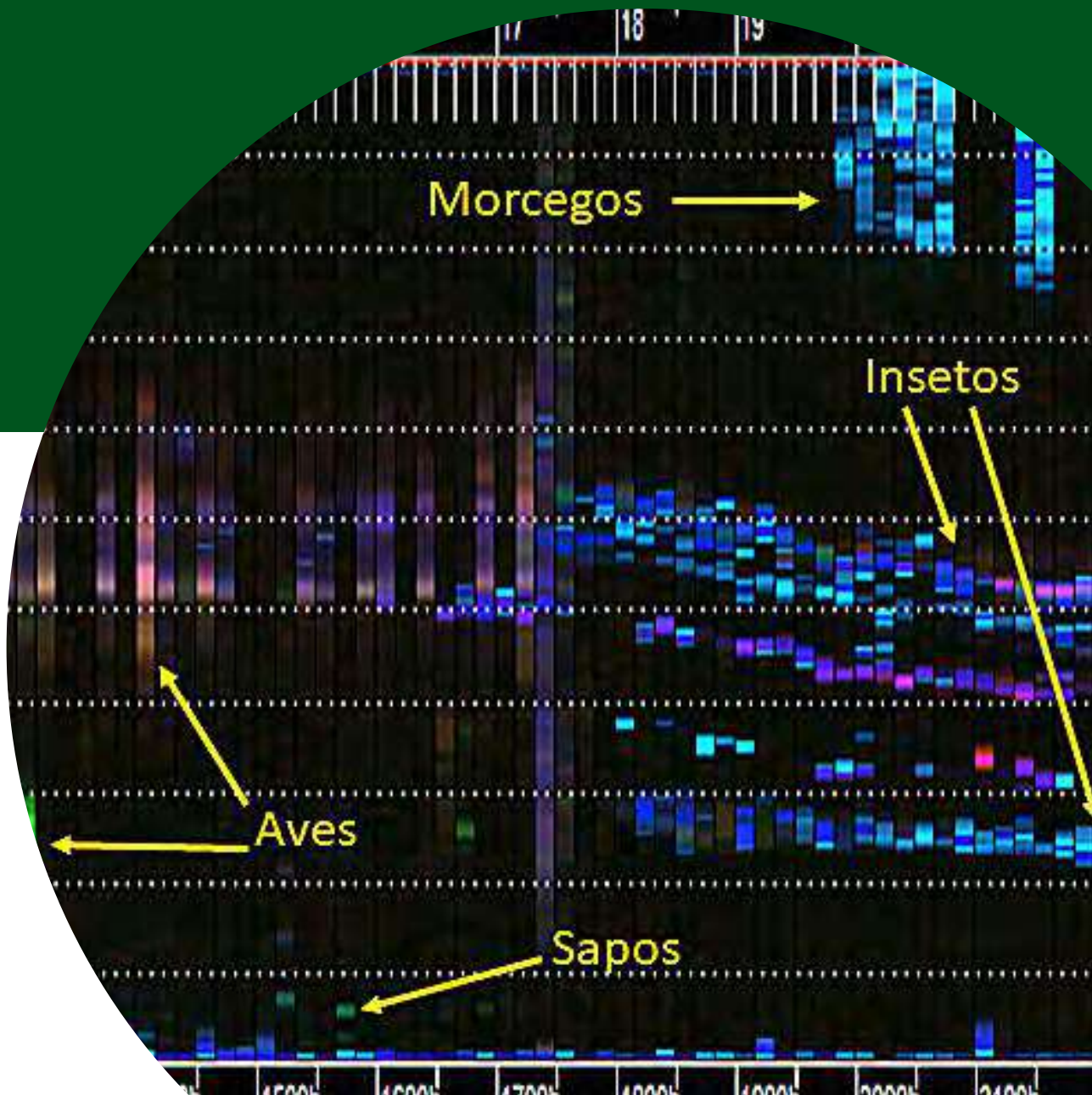
AMOSTRAGEM ACÚSTICA PARA O MONITORAMENTO DE BIODIVERSIDADE

PROJETO PILOTO DE MONITORAMENTO ACÚSTICO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO CIPÓ



ÍNDICE

Elaboração do protocolo 1

Contextualização 2

Monitoramento Acústico Passivo 3

Identificação Automática 4

Paisagens Sonoras 6

Desenho Amostral: Localização dos gravadores . . . 10

Cronograma de Gravação e Taxa de Amostragem . . 13

Gravadores Autônomos 15

Fixação dos Gravadores. . , ... 16

Previsão de Custos 17

Análises 19

Resumo em tópicos. 20

Testes a serem realizados 21

Possibilidade de amostragem em outra fisionomia. . 22

Próximas Etapas 23

Referências 24

ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO

Este Projeto Piloto de Monitoramento Acústico no Parque Nacional da Serra do Cipó foi elaborado por Ivan Braga Campos tendo como base a sua pesquisa de doutorado realizada na Universidade de Auckland, Nova Zelândia, entre os anos de 2015 a 2019, o documento SEI 6570756 que sistematiza os resultados de oficina realizada sobre o tema e considerando diversas outras referências sobre o tema.



CONTEXTUALIZAÇÃO

O potencial do Monitoramento Acústico Passivo



A popularização de gravadores autônomos ampliou as possibilidades de uso do som como ferramenta para o monitoramento de longo prazo (Sueur et al. 2012; Digby et al. 2013). Esses equipamentos dispensam a presença dos pesquisadores em campo durante a amostragem, o que reduz o viés relacionado ao observador ao mesmo tempo em que resulta em uma menor interferência no comportamento animal.

As análises que podem ser realizadas a partir dos arquivos de áudio gravados em campo se dividem em dois tipos principais, aquelas relacionadas com a detecção de espécies alvo e aquelas relacionadas com a paisagem acústica. Ambos os tipos de análise podem contribuir com o monitoramento de biodiversidade, sendo o que o primeiro tem mais a contribuir com monitoramento de populações, enquanto segundo tem grande potencial para o monitoramento de unidades de conservação por incorporar informações relacionadas ao comportamento acústico de uma parcela maior da comunidade. Esse grande potencial como ferramenta de monitoramento motivou a realização em junho de 2019, em Brasília, de uma oficina sobre métodos de amostragem acústica. A oficina contou com representantes da COMOB, CEMAVE, CBC, Parque Nacional da Serra do Cipó e pesquisadores com experiência no tema, e resultou na proposição de um protocolo de amostragem com foco em unidades de conservação dos biomas Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa (SEI 6570756). Diante da necessidade de se testar um novo método de amostragem antes de que o mesmo seja adotado de forma mais ampla pelo programa Monitora é que surgiu o projeto piloto de monitoramento acústico no Parque Nacional da Serra do Cipó. O projeto aqui descrito toma como base o documento resultante da oficina de Brasília acima descrito no que se refere ao protocolo de amostragem e traz adequações à questões locais, assim como traz mais detalhes sobre sua implantação e sobre alternativas que precisam ser testadas.

MONITORAMENTO ACÚSTICO PASSIVO



Programas de monitoramento comumente têm como objetivo medir estados e tendências da biodiversidade (Lee, McGlone & Wright 2005). Métodos de amostragem capazes de gerar informações sobre taxa variados em escalas temporais e espaciais abrangentes são essenciais para o aprimoramento do monitoramento da biodiversidade (Schmeller et al. 2017). A utilização de gravadores de som autônomos permite amostragem sistemática de longo prazo usando cronogramas de gravação programáveis (Sueur et al. 2012; Digby et al. 2013). Esses gravadores eliminam o problema do viés do observador e permitem amostragem temporal e espacial mais ampla. Por possibilitar a utilização de diversos desenhos amostrais, o monitoramento acústico passivo (PAM) é hoje uma ferramenta promissora para levantamentos de biodiversidade, possibilitando seu uso em estudos ecológicos, comportamentais e de conservação (Sueur & Farina 2015; Ribeiro, Sugai & Campos-Cerqueira 2017; Wrege et al. 2017). Esse potencial resultou em um crescimento exponencial do número de estudos que utilizam o monitoramento acústico passivo (PAM – sigla proveniente do inglês) nas últimas duas décadas, partindo de uma média de 2,8 artigos por ano em na década de 1990 para 42,5 artigos por ano na década de 2010 (Sugai et al. 2018). Quando devidamente depositadas, as gravações amostradas por PAM tem função similar a de uma coleção biológica e podem ser armazenadas indefinidamente. Dessa forma, gravações podem ser retro-analisadas usando as diferentes abordagens analíticas existentes e aquelas que ainda virão a ser desenvolvidas. As duas abordagens com maior potencial de uso de dados PAM para fins de monitoramento da vida selvagem são a identificação automatizada e os estudos de paisagem sonora.

IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

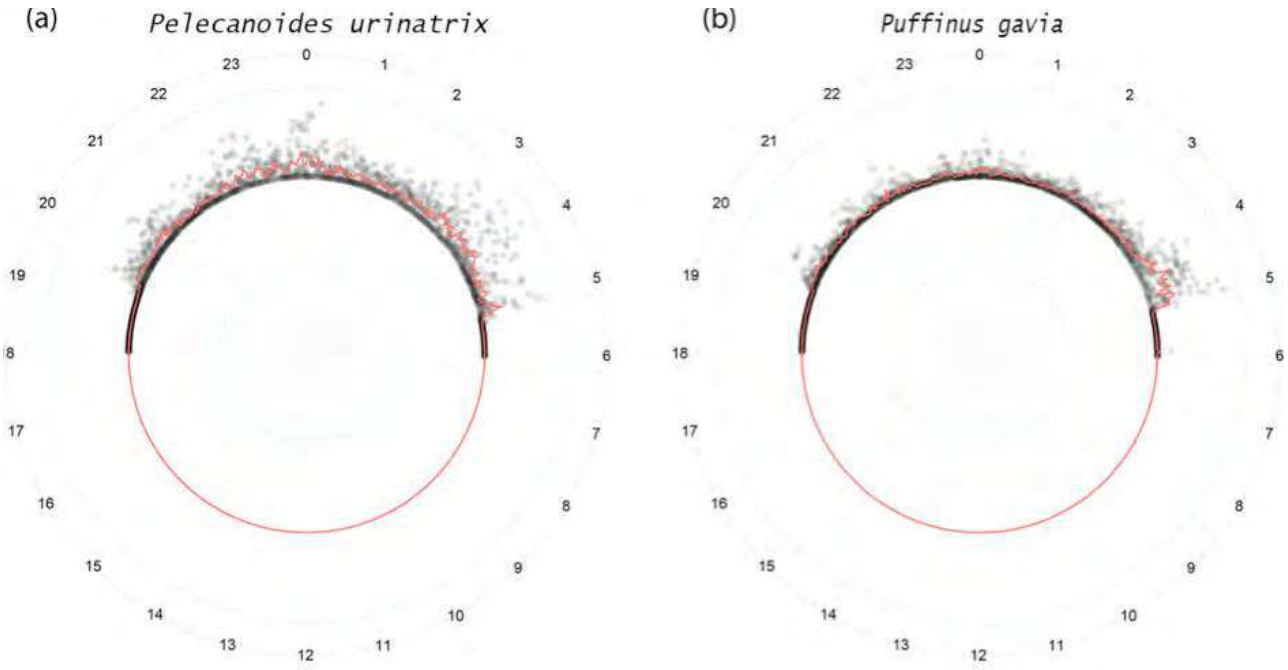
Abordagem de monitoramento acústico com foco em espécies alvo



As técnicas de identificação acústica automatizada geralmente se concentram na identificação computadorizada de espécies alvo. Eles podem ser usados para detectar a presença de indivíduos de determinadas espécies (Potamitis et al. 2014; Campos et al. 2019), para medir a abundância relativa de espécies (Borker et al. 2014), para determinar os padrões de atividade acústica das aves (Cragg, Burger & Piatt 2015; Stowell, Benetos & Gill 2017), para estudar variantes de canções intraespecíficas (Ranjard et al. 2015), ou ainda para melhorar os modelos de distribuição e ocupação animal (Kalan et al. 2015; Campos-Cerqueira & Aide 2016; Campos-Cerqueira Marconi et al. 2017). Essas técnicas automatizadas usam diversos softwares, modelos estatísticos e algoritmos de processamento de som (Acevedo et al. 2009; Stowell, Gill & Clayton 2016; Katz, Hafner & Donovan 2016; Bas, Bas & Julien 2017; Ranjard et al. 2017; Ovaskainen, Moliterno de Camargo & Somervuo 2018; Campos et al. 2019) para facilitar a análise de enormes conjuntos de dados de arquivos de som gerados por uma abordagem PAM. Esses métodos de identificação foram aplicados a vários táxons, como insetos (Aide et al. 2013; Zilli et al. 2014), anuros (Xie et al. 2016; Deichmann et al. 2017), morcegos (Andreassen, Surlykke & Hallam 2014; Newson, Evans & Gillings 2015), canídeos (Rocha et al. 2015; Palacios et al. 2016), aves (Sanders & Mennill 2014) e elefantes (Wrege et al. 2017). O PAM associado à identificação automática pode ser especialmente útil quando as espécies são noturnas ou crípticas, ou quando os locais são remotos e têm apenas acesso intermitente, o que torna essas técnicas adequadas para o estudo de aves marinhas (Buxton & Jones 2012; Borker et al. 2014; Campos et al. 2019).

A figura 1 exemplifica como o monitoramento acústico passivo associado com análise de identificação automática pode gerar dados de atividade acústica para espécies alvo.

Figura 1. Padrões diários de atividade acústica obtidos a partir do uso de identificação automática para duas espécies de aves marinhas em uma colônia reprodutiva.



Registros realizados a partir de monitoramento acústico passivo ao longo de 5 dias consecutivos. Cada círculo cinza é uma indicação de presença realizada pela identificação automática em uma janela de análise de dois minutos de duração. A linha vermelha representa a media da atividade detectada ao longo do dia. Figura retirada do artigo: Campos IB, Landers TJ, Lee KD, Lee WG, Friesen MR, et al. (2019) Assemblage of Focal Species Recognizers—AFSR: A technique for decreasing false indications of presence from acoustic automatic identification in a multiple species context. PLOS ONE 14(12): e0212727. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212727

PAISAGENS SONORAS



Ao invés de focar na identidade de espécies, estudos de paisagem sonora geralmente visam representar os padrões gerais de atividade da comunidade acústica (Sueur et al. 2008; Servick 2014; Gasc et al. 2015). Essa abordagem pode ser especialmente útil para ecossistemas nos quais a identificação dos sons é desafiadora devido ao grande número de espécies (Duarte et al. 2015) e quando o monitoramento visa detectar estados gerais, tendências e mudanças na comunidade. Os estudos de paisagens sonoras deram início a uma nova área de pesquisa, inicialmente denominada ecologia de paisagens sonoras(Pijanowski et al. 2011) e, mais recentemente, ecoacústica (Sueur & Farina 2015). O arcabouço conceitual do estudo ecológico de paisagens sonoras baseia-se na hipótese do nicho acústico desenvolvida por Krause (1993), que defende que em ambientes com alta diversidade de animais vocais as sobreposições espectral e temporal são reduzidas, evitando o mascaramento do sinal. Nessa perspectiva, as espécies competem por espaço acústico para se comunicar. Como resultado, cada espécie emite seus sinais acústicos usando uma banda temporal e de frequência específica, o que otimiza a transmissão e recepção do sinal acústico (Krause & Farina 2016). O conjunto da comunicação acústica de cada espécie dentro de suas bandas específicas compõe o que Krause (2012) chamou de "orquestra animal" (do inglês: "the animal orchestra"). O conjunto de sinais acústicos pode ser usado como uma representação da assinatura acústica de um determinado ambiente, que pode ser medido e usado para monitoramento de longo prazo (Farina, Pieretti & Piccioli 2011). Geralmente a detecção e descrição de uma paisagem acústica é realizada a partir do cálculo de índices acústicos.

Os índices acústicos funcionam como filtros matemáticos que extraem informações sobre como a energia acústica é distribuída no tempo e ao longo do gradiente de frequência da onda sonora em um arquivo de som. Cada índice pode ser sensível a uma característica diferente da energia acústica, fornecendo informações sobre aspectos diferentes de um arquivo de som. Há um número substancial de índices acústicos descritos na literatura (Sueur 2018). As paisagens sonoras têm sido estudadas utilizando-se índices acústicos em diferentes habitats em todo o mundo, tais como Cerrado (Machado, Aguiar & Jones 2017; Ferreira et al. 2018; Campos et al. 2021; Duarte et al. 2021), Mata Atlântica (Duarte et al. 2015), floresta neotropical na Guiana Francesa (Rodriguez et al. 2014), floresta tropical na costa da Tanzânia (Sueur et al. 2008), floresta subtropical na Austrália (Tucker et al. 2014; Towsey et al. 2014), floresta temperada na França (Depraetere et al. 2012), maqui mediterrâneo na Itália (Farina & Pieretti 2014), floresta tropical úmida de monções no Vietnã (Opaev et al. 2021), floresta subtropical no Japão (Ross et al. 2021), além de ambientes marinhos (Harris, Shears & Radford 2016; Buscaino et al. 2016). Esses estudos têm como objetivo relacionar os índices acústicos com características da biodiversidade, como condição do habitat (Sueur et al. 2008; Fuller et al. 2015), estrutura da vegetação (Farina & Pieretti 2014; Pieretti et al. 2015) composição da comunidade acústica (Tucker et al. 2014; Towsey et al. 2014; Phillips, Towsey & Roe 2018; Ross et al. 2021), impactos do fogo (Gasc et al. 2018; Duarte et al. 2021) e monitoramento de unidades de conservação (Campos et al. 2021).

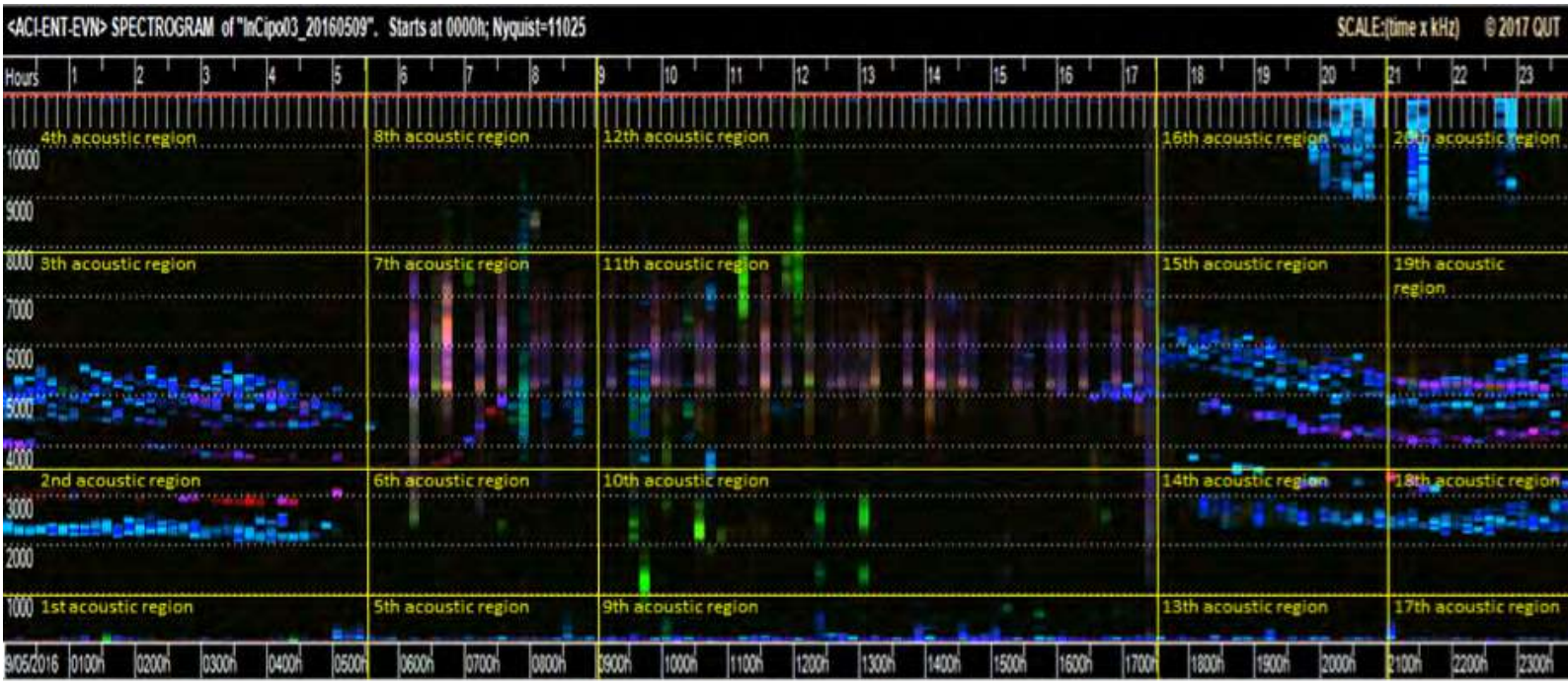
São várias as características da comunidade acústica que podem ser foco de monitoramento, como os níveis de atividade acústica (intensidade do som), níveis de atividade por faixa de frequência das ondas sonoras, níveis de atividade por horário do dia, proporção entre a atividades associadas aos diferentes grupos presentes na comunidade acústica (aves, insetos, anfíbios, mamíferos), proporção entre os sons gerados pela biota (biofonia), aqueles gerados pela atividade humana (antrofonia) e sons gerados por fenômenos naturais abióticos, a geofonia (chuva, vento, rios e riachos, arrebentação de ondas no mar, terremotos, etc). Essas características podem ser utilizadas para a comparação entre diferentes localidades ou em uma mesma localidade ao longo de diferentes intervalos de tempo (sazonalmente, anualmente ou por períodos mais longos). Dessa forma, essas abordagens permitem tanto detectar tendências de longo prazo quanto variações bruscas na comunidade acústica, apresentando potencial para alertar sobre alterações ecossistêmicas ou para monitorar impactos de determinadas atividades.



De acordo com sua fórmula matemática, cada índice pode ser mais sensível a um aspecto da energia sonora, como por exemplo aos sons que compõem a biofonia. Apesar terem se mostrado úteis para estudos ecológicos em diversos ambientes bons indicadores para alguns grupos como aves em determinados ambientes (Depraetere et al. 2012; Towsey, Parsons & Sueur 2014; Duarte et al. 2015; Fuller et al. 2015; Machado, Aguiar & Jones 2017; Sueur 2018; Ross et al. 2021), a interpretação dos indices é complexa e uma generalização de seu uso como indicador de biodiversidade pode levar a interpretações incorretas (Fuller et al. 2015; Mammides et al. 2017; Eldridge et al. 2018). No entanto, esses índices podem ser utilizados para descrever os níveis de atividade acústica em uma determinada localidade e para detectar as principais diferenças entre duas localidades (Campos et al. 2021) ou em uma mesma localidade ao longo do tempo.

São muitas as formas possíveis de representar visualmente a paisagem sonorosa. Os índices também podem ser utilizados para gerar visualizações da paisagem (Towsey et al. 2014), o que possibilita a elaboração de assinaturas acústicas. Na figura 2 pode ser vista a representação de uma paisagem acústica criada a partir do resultado de três índices independentes. Na mesma figura estão representadas as subdivisões da paisagem acústica denominadas regiões acústicas (delimitadas por intervalos de frequência da onda sonora e horário do dia) que facilitam a análise estatística e interpretação ecológica de uma paisagem sonora (Campos et al. 2021).

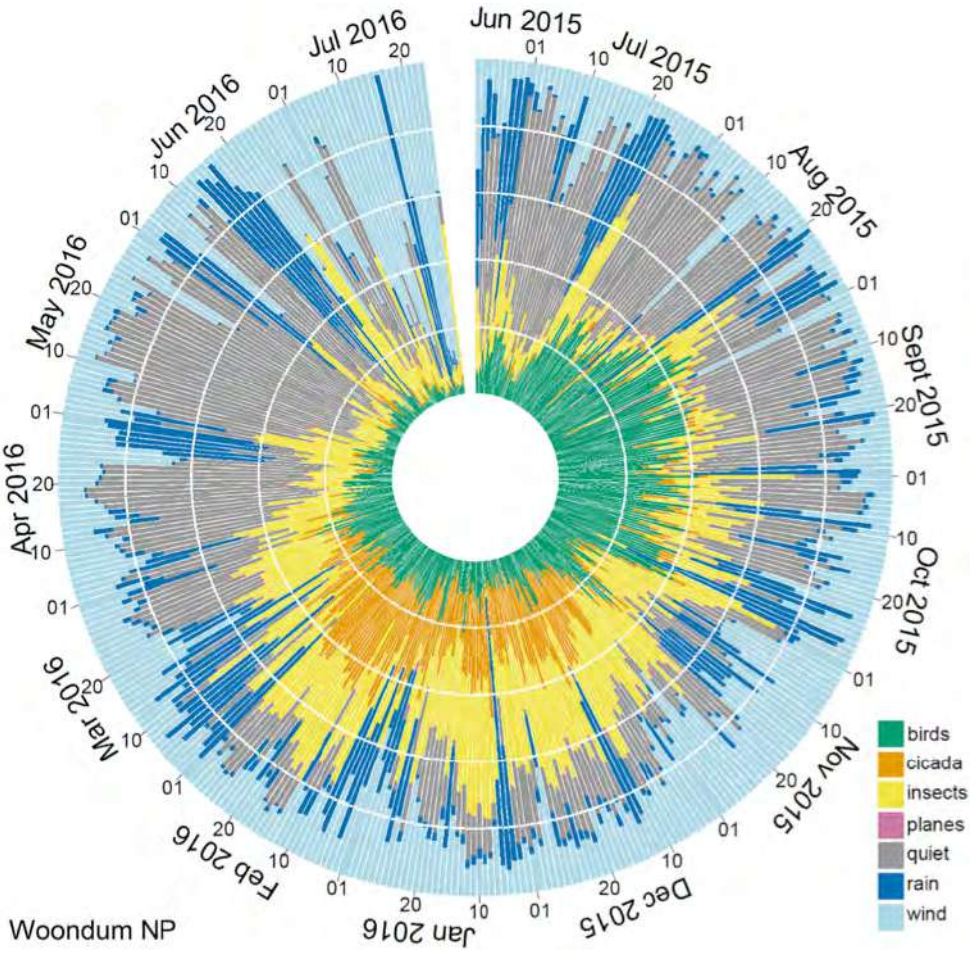
Figura 2: Representação da paisagem sonora ao longo de um dia no Parque Nacional da Serra do Cipó



O espectrograma de falsa cor acima representa a paisagem sonora gravada em 9 de maio de 2016. Os resultados de três índices são transpostos para sistema RGB de coloração (ACI= vermelho, ENT= verde e EVN= azul). As linhas amarelas delimitam os intervalos de frequência da onda sonora e período do dia de cada uma das 20 regiões acústicas. Figura retirada do artigo: Campos, IB; Fewster, R; Truskinger, A; Towsey, M; Roe, P; Vasques-Filho, D; Lee, W; Gaskett, A (2021) Assessing the potential of acoustic indices for protected area monitoring in the Serra do Cipó National Park, Brazil. Ecological Indicators. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X2030892X?via%3Dihub

Já na figura 3, Phillips et al. (2018) criam um descritivo da atividade de cada grupo (aves, insetos, avião, vento, etc) a partir de agrupamentos mais comuns dos resultados de diferentes índices associando esses "clusters" aos sons que geraram cada um deles.

Figura 3: Histograma polar mostrando a proporção entre as principais categorias de sons identificados ao longo de 13 meses de gravações contínuas



A figura apresenta a proporção diária ao longo de 13 meses de gravação entre os clusters de indices acústicos que são associados a cada um dos sons descritos na legenda. Figura retirada do artigo: Phillips YF, Towsey M, Roe P (2018) Revealing the ecological content of long-duration audio-recordings of the environment through clustering and visualisation. PLOS ONE 13(3): e0193345. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193345

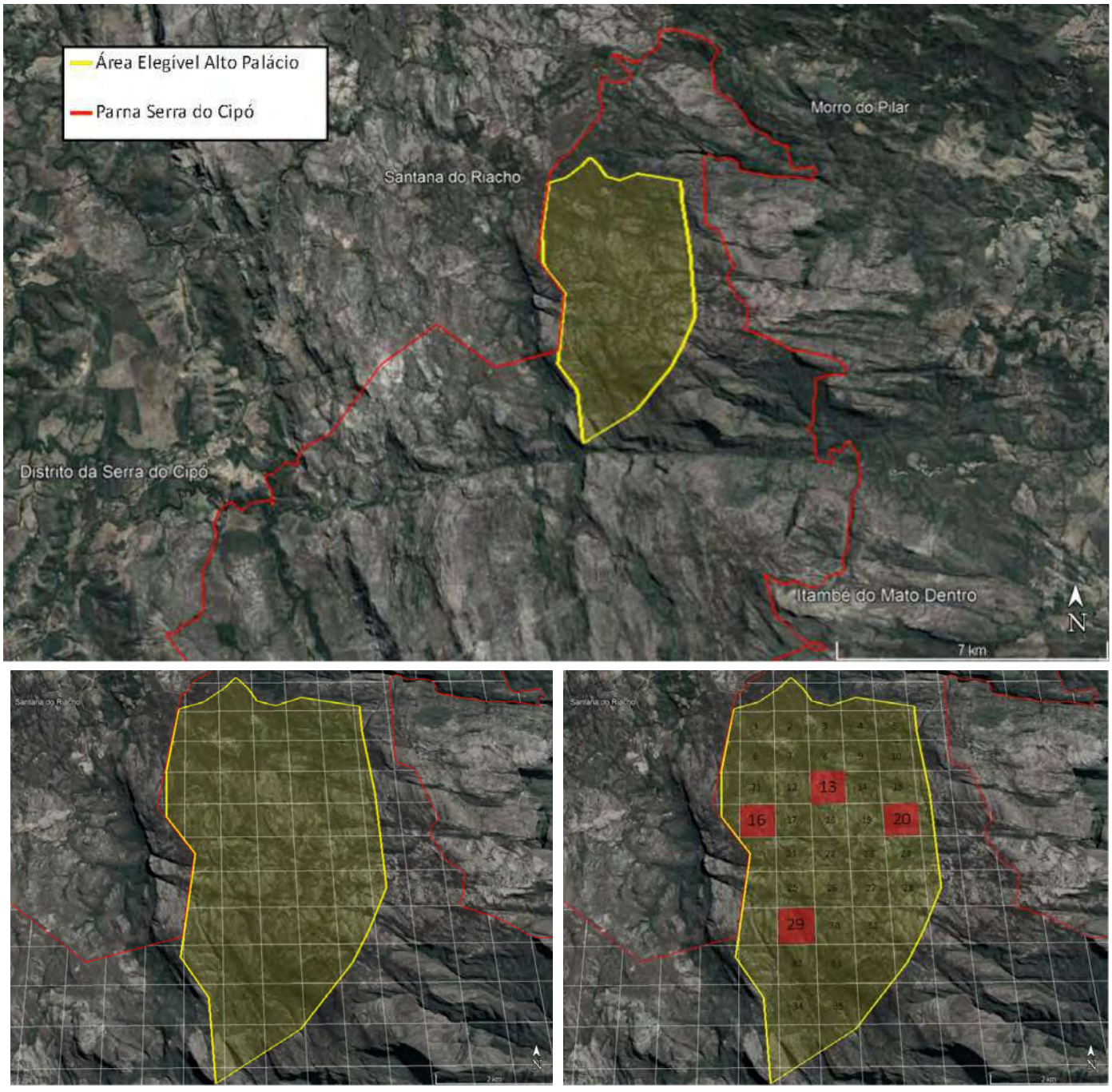
DESENHO AMOSTRAL: LOCALIZAÇÃO DOS GRAVADORES

O desenho amostral foi definido com objetivo de possibilitar análises com foco na paisagem sonora. No entanto, espera-se também que as gravações possibilitem estudos de identificação automática com foco em populações específicas. O documento SEI 6570756 sugere a localização dos gravadores nos mesmo lugares da amostragem de plantas, escolhidos aleatoriamente observando-se uma distância mínima de 500 metros uma das outras e de estradas. No entanto, sugiro aqui a utilização de um desenho de amostragem aleatório-sistemático que parece ser mais adequado por possibilitar maior possibilidades de agrupamento de dados gravados por diferentes gravadores de acordo com a análise que se pretende realizar (Campos 2019). Essa possibilidade oferece melhores oportunidades de análises por contraste que podem vir a ser incorporadas no futuro. Ao se utilizar um desenho amostral aleatório-sistemático em que quadrados de uma grade sobreposta à área elegível são randomicamente selecionados, garante-se a escolha aleatória de forma a minimizar possíveis vieses espaciais indesejados. Instalando-se um gravador em cada vértice do quadrado aleatoriamente selecionado, garante-se também uma relação espacial fixa entre os gravadores do mesmo quadrado. Isso permite agrupar os dados de gravadores de dois em dois ou de quatro em quatro, tanto para melhor representação da paisagem acústica, quanto para possíveis comparações com gravadores instalados a diferentes distâncias de uma fonte de ruído em uma área onde se pretende realizar um estudo de contraste. Um exemplo de uma fonte de ruído são as atividades minerárias localizadas no interior ou proximidades de UCs.

Para favorecer uma melhor integração com outros protocolos adotados no programa Monitora, sugiro a adoção da mesma grade utilizada no protocolo de amostragem TEAM (TEAM, 2011) para armadilhamento fotográfico. A grade em questão adotada para monitoramento em áreas campestres e savânicas pode ter quadrados com 2km^2 de área (cada quadrado com 1,4 Km de lado), 1km^2 (quadrados com 1km de lado) e 0,5 km^2 (quadrados com 707 metros de lado), de acordo com a característica da área elegível em cada UC. Caso a área elegível selecionada para a UC não comporte grades com os adensamentos descritos no protocolo TEAM, poderá ainda ser utilizada a amostragem conforme indicado no documento SEI 6570756,fixando-se gravadores nos mesmos locais da amostragem de plantas, escolhidos aleatoriamente observando-se uma distância mínima de 500 metros uma das outras e de estradas.

O adensamento mais adequado na área definida como elegível no Parque Nacional da Serra do Cipó é uma grade com quadrados de 0,5 km^{2}área (707 metros de lado). Na figura 4 se pode ver a localização da área elegível e a grade que será utilizada para amostragem.

Figura 4: Área Elegível Alto Palácio (acima); Malha com quadrados de 707 metros de lado sobrepostos à Área Elegível (abaixo a esquerda); Quadrados aleatoriamente selecionados para receber gravadores em seus quadrantes (abaixo a direita)

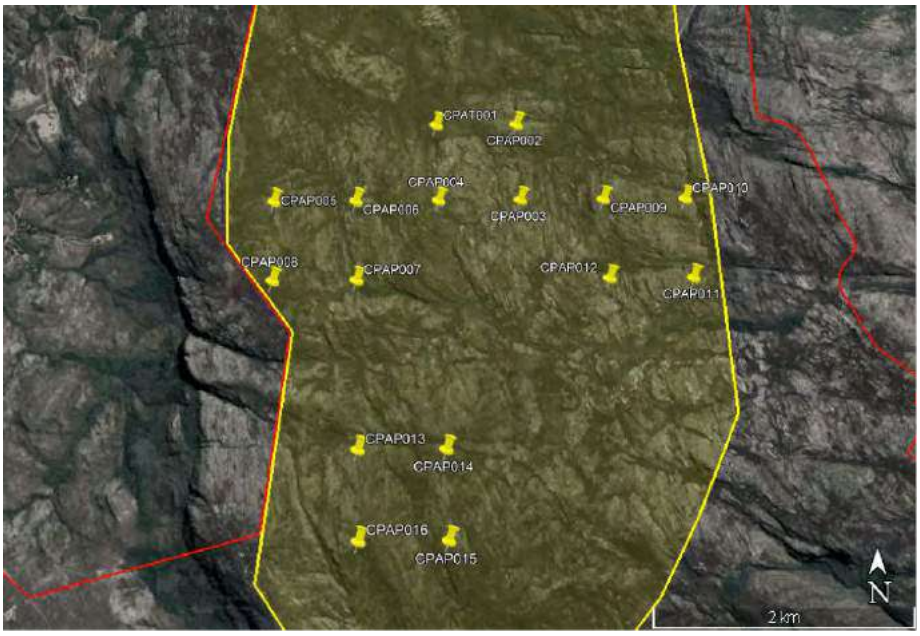


São 35 quadrados com todos os vértices compreendidos pela Área Elegível Alto Palácio. O comando R abaixo foi utilizado para gerar aleatoriamente 4 números (de 1 a 35) que correspondem aos quadrados selecionados para receber estações amostrais em cada um de seus vértices.

```
> OPTIONS(DIGITS = 0)
>
> RANDON_4SQUARES<-RUNIF(N=4,MIN=1, MAX=35)
>
> SORT(RANDON_4SQUARES)
[1] 13 16 20 29
>
```

A figura abaixo mostra as 16 estações amostrais selecionadas de forma aleatório-sistemática a partir da grade com quadrados de 707 metros de lado. A Tabela que segue contém as coordenadas de cada estação amostral e a taxa de amostragem a ser utilizada em cada uma delas. A nomenclatura das estações amostrais foi definida da seguinte forma: As duas primeiras letras correspondem à UC (para o Paque Nacional da Serra do Cipó foram escolhidas as letras CP), as duas letras segintes correspondem à área elegível (AP para a área elegível Alto Palácio) e os três dígitos que seguem correspondem à numeração sequencial da estação amostral.

Figura 5: Localização das Estações Amostrais



Estação Amostral	*Sampling rate*	Latitute	Longitude
CPAP001	384 kHz	-19.276726°	-43.518552°
CPAP002	48 kHz	-19.276672°	-43.511836°
CPAP003	48kHz	-19.283060°	-43.511794°
CPAP004	48kHz	-19.283119°	-43.518499°
CPAP005	384 kHz	-19.283221°	-43.531959°
CPAP006	48kHz	-19.283171°	-43.525227°
CPAP007	48kHz	-19.289558°	-43.525176°
CPAP008	48kHz	-19.289608°	-43.531902°
CPAP009	384 kHz	-19.283008°	-43.505028°
CPAP010	48kHz	-19.282951°	-43.498315°
CPAP011	48kHz	-19.289343°	-43.498260°
CPAP012	48kHz	-19.289391°	-43.504981°
CPAP013	384 kHz	-19.302332°	-43.525056°
CPAP014	48kHz	-19.302282°	-43.518325°
CPAP015	48kHz	-19.308667°	-43.518300°
CPAP016	48kHz	-19.308723°	-43.524996°

CRONOGRAMA DE GRAVAÇÃO E TAXA DE AMOSTRAGEM

Conforme já definido no documento SEI 6570756, os arquivos de áudio terão duração padrão de um minuto, sendo esta considerada a unidade amostral. A paisagem sonora será amostrada a cada 10 minutos (1 minuto amostrado seguidos de 9 minutos sem gravação). Esse cronograma de gravação 1/10 minutos é consolidado na literatura e foi utilizado com sucesso em vários estudos (Aide et al. 2013; Ospina et al. 2013; Alvarez-Berríos et al. 2016; Campos-Cerqueira & Aide 2016; Aide et al. 2017; Campos-Cerqueira & Aide 2017; Campos et al. 2021). O intervalo de 9 minutos entre gravações fornece boa representação da paisagem sonora (Pieretti et al. 2015)ao mesmo tempo em que diminui a correlação entre os arquivos de áudios consecutivos.

Os gravadores serão configurados para 16 bits e taxa de amostragem (sampling rate) de 48 kHz. O formato padrão dos arquivos de áudio gerados será wavsem compressão. Em cada um dos quadrantes, um dos gravadores será configurado para a taxa de amostragem de 384 kHz (full spectrum) com o objetivo de testar a capacidade de detecção de morcegos. A taxa de amostragem em 384 kHz permitirá análises de paisagem sonora de sons com frequência de onda até 24 kHz (da mesma forma como as realizadas em taxa de amostragem de 48 kHz), porém com o diferencial de também permitir o estudo de sons com frequência de onda superior a 24kHz. Por convenção, o gravador configurado para a taxa de amostragem de 384 kHz será posicionado no vértice a noroeste em relação ao centro de cada quadrado do gride que receberá gravadores.



Com essas configurações serão gerados aproximadamente 30 GB de dados por ano em cada uma das estações amostrais configuradas com taxa de amostragem de 48 kHz, e aproximadamente 235 GB por ano por estação amostral com taxa de amostragem de 384 kHz. Dessa forma, espera-se gerar aproximadamente 1,3 Terabytes em arquivos de áudio por ano na área elegível Alto Palácio no Parque Nacional da Serra do Cipó.

De acordo com aplicativo utilizado para configuração de gravação, estando com pilhas alcalinas novas (ou recarregáveis que armazenem quantidades similares de carga) e cartões de memória adequados, os gravadores possuem autonomia para cumprir o cronograma de gravação por período superior a um ano.

Figura 6: Exemplos de configurações de gravação a serem utilizados mostrando o total de dados gerados e consumo de bateria em um dia.



GRAVADORES AUTÔNOMOS

A opção por uma maior representatividade espacial resultou na utilização de um número maior de gravadores. Dessa forma, fez-se necessária a escolha de um gravador de baixo custo. Optou-se pelo uso de gravadores autônomos audiomoth (https://www.openacousticdevices.info/) com estojo protetor (https://www.openacousticdevices.info/case) devido ao melhor custo-benefício quando comparado aos outros aparelhos também utilizados para esse tipo de amostragem.



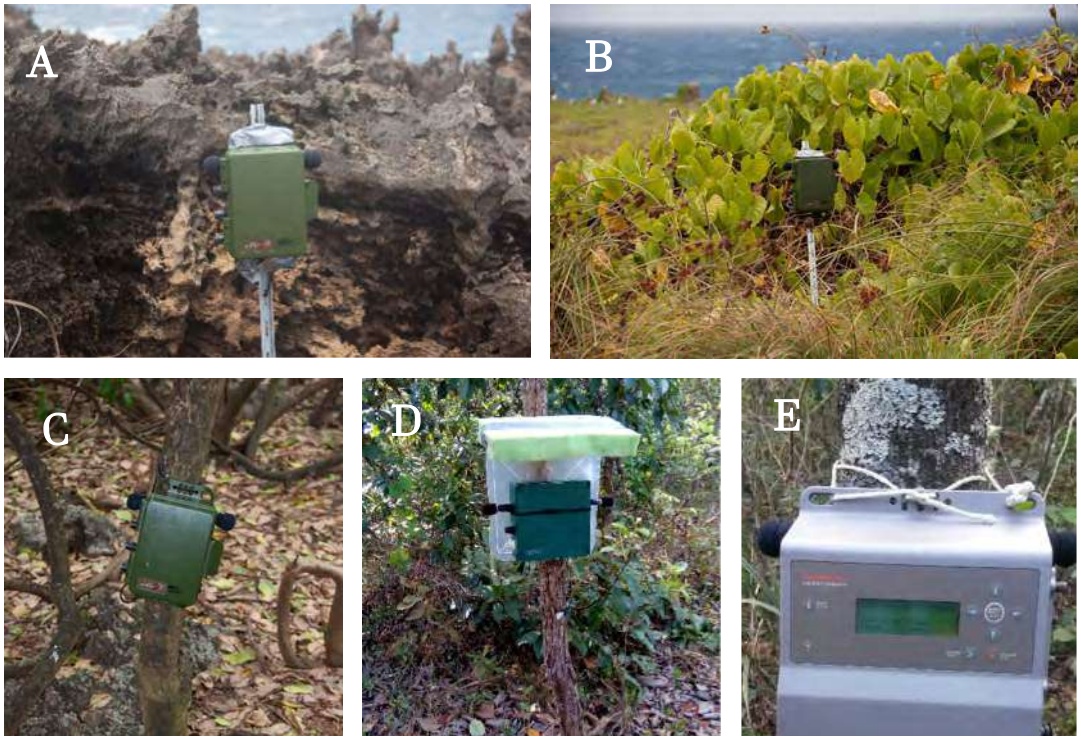
Existem ainda outros modelos de gravadores autônomos disponíveis no mercado como o Song Meter Mini (https://www.lognature.com.br/produto/gravador-song-meter-mini-bat/) e Song Meter 4 (https://www.lognature.com.br/produto/gravador-ultrassonico-song-meter-sm4bat/) que atendem às necessidades do protocolo. Esses gravadores já foram testados em diferentes condições ambientais em diversas partes do planeta e possuem qualidade e resistência comprovadas,

Vale ressaltar que quaisquer que seja o equipamento escolhido, é importante utilizar um mesmo equipamento em todas as estações amostrais para eliminar possíveis variações nos dados decorrentes da escolha de equipamentos diferentes.

FIXAÇÃO DOS GRAVADORES

São várias as formas utilizadas pelos pesquisadores para fixar os gravadores em campo. Comumente estes são fixados nos troncos de árvores, em estruturas preexistentes ou em estruturas especialmente instaladas para receber os gravadores. Os principais cuidados ao se fixar os gravadores são fazê-lo de maneira que o gravador e o suporte utilizados fiquem firmes e não façam ruídos, observar a existência de plantas nas proximidades do gravador que possam tocar os gravadores e gerar ruído e, seguir uma altura com relação ao solo padrão. Uma vez que na área elegível é grande a possibilidade de não se encontrar árvores para fixação dos gravadores e que os mesmos ficarão continuamente em campo, serão utilizados suportes metálicos para fixação dos gravadores (Figura 7, letras A e B). Estes suportes metálicos originalmente utilizados para fixação de estantes possuem pequenos buracos que facilitam a fixação e podem ser encontrados em lojas de material de construção (https://www.leroymerlin.com.br/trilho-para-prateleira-aco-versatil-preto-200cm-fico_85240554?term=trilho+pratelei&searchTerm=trilho+pratelei&searchType=quickProduct). Todos os gravadores serão fixados a 1,5 metros do solo. Será objeto de teste com gravadores sobressalentes o tipo de fixação utilizados

Figura 7: Exemplos de fixação de gravadores



PREVISÃO DE CUSTOS

Será necessário uma primeira campanha de 4 dias para reconhecimento de cada uma das localidades selecionadas para receber estações amostrais e confirmar a viabilidade logística da amostragem (caso o local seja inacessível, outro quadrado da grade estabelecida deverá ser aleatoriamente selecionado para receber estações amostrais). Após confirmada a viabilidade do acesso a todas as localidades, será realizada uma expedição de 7 dias para instalação das estacas de metal e fixação dos gravadores.

Durante o primeiro ano de amostragem serão realizadas expedições a cada 3 meses para verificar o funcionamento dos gravadores, extração dos dados coletados, reprogramação dos gravadores, situação das estacas, cordas e fitas utilizadas na fixação. A partir do segundo ano, espera-se que essas campanhas ocorram semestralmente. Cada campanha tem previsão de duração de 3 dias e participação de 3 pessoas (entre servidores e colaboradores).

Dessa forma, é previsto um total de 96 diárias para trabalho de campo ao longo de 3 anos, totalizando R$ 16.992,00 reais em diárias. A implementação do protocolo terá um custo de R$ 48.050,00 considerando-se equipamentos e material de consumo (ver tabela abaixo), resultando em um custo de R$ 65.042,00 ao longo de 3 anos. Outros custos relacionados a reuniões internas ao ICMBio e com colaboradores externos, participações em congressos e eventos científicos para divulgação dos resultados alcançados e estabelecimento de parcerias, materiais de divulgação e capacitação não estão incluídos no cálculo.

Equipamento / Material de Consumo	Item	Descrição	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
Equipamento	Gravador Modelo Audiomoth	Gravador que permite amostragem em full espectro a ser utilizado para amostragens do protocolo acústico.Preço unitário de $ 84 dólareas dos estados unidos (https://www.labmaker.org/collections/earth-and-ecology/products/audiomoth-v1-2-0), sendo o frete não incluso nesse valor. Campanhas periodicas de compras coletivas no site coletivo GroupGets (https://groupgets.com/campaigns) possibilitam comprar por menor valor. O valor de dolár considerado para os calculos foi de R$ 5,70.	R$ 479.00	30	R$ 14,370.00
Equipamento	Notebook	A checagem e atualização do cronograma de amostragem e do relógio dos gravadores será feita em campo conectando-se ao notebook. O notebook será também utilizado para as rotinas de extração e armazenamento dos arquivos coletados e nas análises dos dados. Especificações mínimas: Processador Intel i7; memória RAM 16GB; armazenamento SSD 512GB, teclado retroiluminado. Sugestão equipamento: DELL XPS 13 (https://www.dell.com/pt-br/shop/notebooks-dell/xps-13/spd/xps-13-9300-laptop/cx9300wp2000brw) ou MacBook Air (https://www.apple.com/br/shop/buy-mac/macbook-air/cinza-espacial-chip-m1-da-apple-com-cpu-de-8-n%C3%BAcleos-e-gpu-de-8-n%C3%BAcleos-512gb)	R$ 11,600.00	1	R$ 11,600.00
Material de Consumo	case de proteção dos gravadores Audiomoth	Estojo de proteção IPX7 para Audiomoth. Preço unitário de $ 40 dólareas dos estados unidos (https://www.labmaker.org/products/audiomoth-ipx7-case), sendo o frete não incluso nesse valor. Campanhas periodicas de compras coletivas no site coletivo GroupGets (https://groupgets.com/campaigns) possibilitam comprar por menor valor. O valor de dolár considerado para os calculos foi de R$ 5,70.	R$ 228.00	30	R$ 6,840.00
Material de Consumo	Pilhas AA	Pilha alcalina AA, 1,5V (3 para cada gravador Audiomoth). Será necessário ainda avaliar a duração das pilhas quando expostas às condições ambientais. Por precaução, a pilhas serão trocadas duas vezes ao ano. A quantidade prevista aqui corresponde aos três anos de projeto piloto.	R$ 5.00	360	R$ 1,800.00
Material de Consumo	cartões de memória	Cartão De Memória SDHC Classe 10 64Gb Micro Sd + Adaptador SD	R$ 70.00	30	R$ 2,100.00
Material de Consumo	Cartões de memória	Cartão De Memória SDHC Classe 10 256Gb Micro Sd + Adaptador SD	R$ 400.00	10	R$ 4,000.00
Material de Consumo	Estaca de metal para fixação dos gravadores	Serão utilizados trilhos de estantes para a fixação dos gravadores (https://www.leroymerlin.com.br/trilho-para-prateleira-aco-versatil-preto-200cm-fico_85240554?term=trilho+pratelei&searchTerm=trilho+pratelei&searchType=quickProduct). A quantidade indicada supera o número de estações amostrais por prever ainda peças para substituição e utilização em testes.	R$ 50.00	25	R$ 1,250.00
Material de Consumo	Corda para fixação dos gravadores	Corda para fixação dos gravadores nas estacas (https://www.leroymerlin.com.br/corda-polietileno-trancada-2,5m-preta-metro-30kg_89828046). O preço corresponde ao metro da corda. Pretende-se substituir a mesma duas vezes ao ano para evitar sua deterioração e consequente queda dos gravadores.	R$ 2.00	180	R$ 360.00
Material de Consumo	Fita para fixação dos gravadores	Fita adesiva Silver tape para fixação de gravadores (https://www.leroymerlin.com.br/fitamultiuso-silver-tape-3m-scotch-prata-45mmx25m_87365614). Estima-se o uso de um rolo de 25 metros a cada troca de corda. Preço corresponde ao rolo de 25 metros	R$ 55.00	6	R$ 330.00
Material de Consumo	HD externo	HD externo com capacidade de 2 TB (2 HDs por ano por área elegivel para armazenamento dos dados, mais 1 HD para armazenar arquivos gerados durante análises). O total de HDs será 9 onsiderando os três anos de amostragem piloto.	R$ 600.00	9	R$ 5,400.00
				TOTAL:	R$ 48,050.00

ANÁLISES

São várias as análises que podem ser realizadas a partir dos dados que serão coletados. Abaixo estão citadas algumas que considero serem mais importantes para o monitoramento de UC e cujas metodologias de análise já estão desenvolvidas de maneira satisfatória:

- Caracterização sazonal e anual da paisagem sonora (elaborar representação visual como espectogramas de falsa cor construídos a partir de medições de índices acústicos)
- Identificação das principais mudanças na paisagem acústica (determinar quando as mudanças ocorrem ao longo do ano e em qual região acústica (Campos et al. 2021)
- Identificação dos eventos sonoros responsáveis pelas principais mudanças identificadas na paisagem (geofonia, grupo de espécies ou espécie singular)
- Testar a possível correlação entre as principais mudanças identificadas na paisagem acústica com alterações em outras variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, índices de umidade da vegetação, pluviosidade, entre outras).
- Comparação entre fitofisionomias (para o caso de que tenhamos a possibilidade de amostrar em mais de uma área elegível ou mais UCs)'
- Construção de modelos para identificação automática de espécies de interesse

.

As analises descritas acima requerem diferentes ferramentas e abrangem diferentes áreas de expertise. Dessa forma, é importante salientar que o estabelecimento de parcerias com a comunidade acadêmica é fundamental para que todas as análises elencadas sejam realizadas de maneira satisfatória. São vários os scripts em diferentes linguagens de programação e programas comerciais que podem ser utilizados para análises de áudio. Apenas como sugestão, registro aqui algumas plataformas e programas que atualmente fornecem ferramentas gratuitas de potencial utilidade para análise da paisagem acústica e identificação automática de espécies que poderão ser utilizados na elaboração de relatórios periódicos. Para as medições de índices acústico sugiro o programa Ecoacoustics Audio Analysis Software (https://ap.qut.ecoacoustics.info/index.html) (Towsey, M. et al. 2018) por possibilitar medições de índices diversos em uma escala fina de frequência (fornece medições aproximadamente a cada 43 Hz). Para a identificação automática de espécies de interesse sugiro a plataforma Arbimon (https://arbimon.rfcx.org/) onde é possível hospedar parte do arquivos e realizar as análises online. Para a inspeção visual através de espectrogramas tradicionais e escuta de arquivos de áudio, sugiro o programa Audacity (https://manual.audacityteam.org/).

RESUMO EM TÓPICOS

- Número de Estações Amostrais: 16 por área elegível (dispostas de 4 em 4);

- Forma de seleção das Estações Amostrais: aleatório-sistemática a partir de grade com quadrados de 707 metros lado;

- Equipamento de gravação indicado: Audiomoth;

- Configuração do equipamento:
  - 16 bits,
  - Em três das estações amostrais de cada quadrado da grade selecionado a taxa de amostragem será de 48 kHz,
  - Na estação amostral à noroeste do centro de cada quadrado selecionado a taxa de amostragem será 384 kHz (full spectrum);

- Cronograma de amostragem:
  - Amostragem de um a cada 10 minutos (1 minuto de amostragem seguidos por 9 minutos de pausa),
  - Amostragens distribuídas ao longo do ano. Os dias amostrados serão intercalados por 9 dias em que não serão realizadas gravações;

- Dados de áudio gerados a cada ano:
  - Esforço amostral de 30 GB por estação amostral configurada em 48 kHz,
  - Esforço amostral de 235 GB por estação amostral configurada em 384 kHz,
  - Esforço amostral de 1.3 TB por área elegível (somatório das 16 Estações Amostrais);

- Unidade Amostral: arquivo de áudio de um minuto.



TESTES A SEREM REALIZADOS

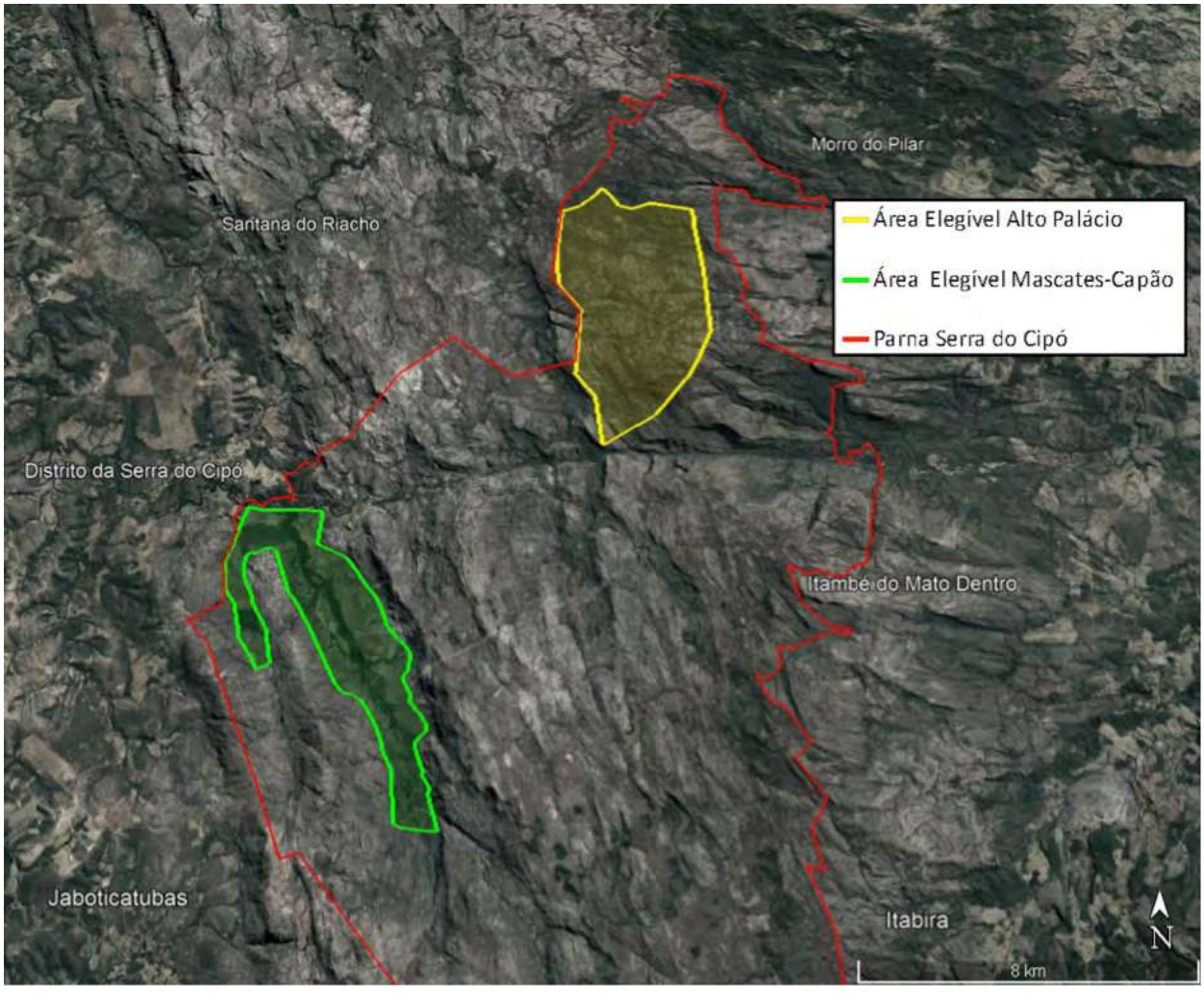
Para além dos resultados que serão gerados, alguns fatores precisarão ser testados ao longo do período do protocolo piloto:

- Determinar a durabilidade dos gravadores audiomoth sob as condições ambientais da Serra do Cipó. Verificar a proporção de gravadores que apresentam mal funcionamento a cada ano.
- Determinar a periodicidade necessária para de trocas de baterias.
- Verificar a durabilidade das formas de fixação dos gravadores propostas.
- Criar e testar pequenas estruturas para proteger os gravadores do sol direto e chuvas e verificar se seu uso aumenta a vida útil das baterias e diminuem mal funcionamento dos gravadores.
- Verificar a integridade dos dados gravados e se possuem a qualidade necessária para a realização das análises.



POSSIBILIDADE DE AMOSTRAGEM EM OUTRA FISIONOMIA

No Parque Nacional da Serra do Cipó existe ainda outra área onde o monitoramento acústico pode contribuir para a gestão da UC de maneira importante. A baixada do Rio Mascates e Capão dos Palmitos são consideradas como pertencentes ao bioma Cerrado e concentram grande parte da visitação que o parque recebe em seus atrativos abertos ao público. É também nessa área que parte considerável das atividade de manejo integrado do fogo têm sido desenvolvidas nos últimos anos. Caso seja possível expandir a amostragem piloto de forma a abranger essa área, as estações amostrais devem ser selecionadas aleatoriamente (respeitando-se distância mínima de 500 metres entre elas) já que a área não comporta grades de nenhuma das dimensões descritas acima. A amostragem na área elegível Mascates-Capão oportunizará testar o protocolo não somente em ecossistemas distintos, como também em duas disposições espaciais de amostragem diferentes.





PRÓXIMAS ETAPAS

- Aquisição dos equipamentos
- Confirmação da logística de acesso a cada um dos locais que receberão as estações amostrais, programação e instalação dos gravadores em campo
- Estabelecimento das rotinas de extração e armazenamento dos arquivos coletados
- Construção das ferramentas que serão utilizadas para armazenamento dos arquivos de áudio amostrados.
  - Dados serão armazenados pelo SISMONITORA?
  - Quais seriam as outras alternativas possíveis para armazenamento e compartilhamento de dados com parceiros?
- Estabelecimento de parcerias para realização análises automatizadas
- Estabelecimento das rotinas de análises automáticas para elaboração de relatórios periódicos.

REFERÊNCIAS

Acevedo, M.A., Corrada-Bravo, C.J., Corrada-Bravo, H., Villanueva-Rivera, L.J. & Aide, T.M. (2009) Automated classification of bird and amphibian calls using machine learning: A comparison of methods. *Ecological Informatics*, 4, 206-214.

Aide, T.M., Hernandez-Serna, A., Campos-Cerqueira, M., Acevedo-Charry, O. & Deichmann, J.L. (2017) Species Richness (of Insects) Drives the Use of Acoustic Space in the Tropics. *Remote Sensing*, 9, 1096.

Aide, T.M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G. & Alvarez, R. (2013) Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, 1, 1-19.

Alvarez-Berríos, N., Campos-Cerqueira, M., Hernández-Serna, A., Delgado, C.J.A., Román- Dañobeytia, F. & Aide, T.M. (2016) Impacts of small-scale gold mining on birds and anurans near the Tambopata Natural Reserve, Peru, assessed using passive acoustic monitoring. *Tropical Conservation Science*, 9, 832-851.

Andreassen, T., Surlykke, A. & Hallam, J. (2014) Semi-automatic long-term acoustic surveying: A case study with bats. *Ecological Informatics*, 21, 13-24.

Bas, Y., Bas, D. & Julien, J. (2017) Tadarida: A toolbox for animal detection on acoustic recordings. *Journal of open research software*, 5.

Borker, A.L., McKown, M.W., Ackerman, J.T., EAGLES-SMITH, C.A., Tershy, B.R. & Croll, D.A. (2014) Vocal activity as a low cost and scalable index of seabird colony size. *Conservation Biology*, 28, 1100-1108.

Buscaino, G., Ceraulo, M., Pieretti, N., Corrias, V., Farina, A., Filiciotto, F., Maccarrone, V., Grammauta, R., Caruso, F., Giuseppe, A. & Mazzola, S. (2016) Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. *Scientific reports*, 6, 34230.

Buxton, R.T. & Jones, I.L. (2012) Measuring nocturnal seabird activity and status using acoustic recording devices: applications for island restoration. *Journal of Field Ornithology*, 83, 47-60.

Campos-Cerqueira Marconi, Arendt, W.J., Wunderle, J.M. & Mitchell, A.T. (2017) Have bird distributions shifted along an elevational gradient on a tropical mountain?. *Ecology and Evolution*, 7, 9914-9924.

Campos-Cerqueira, M. & Aide, T.M. (2016) Improving distribution data of threatened species by combining acoustic monitoring and occupancy modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1340-1348.

Campos, I.B. (2019) Listening to nature: acoustic analysis for monitoring wildlife management and protected areas. PhD thesis, The University of Auckland.

Campos, I.B., Fewster, R., Truskinger, A., Towsey, M., Roe, P., Vasques Filho, D., Lee, W. & Gaskett, A. (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., Landers, T.J., Lee, K.D., Lee, W.G., Friesen, M.R., Gaskett, A.C. & Ranjard, L. (2019) Assemblage of Focal Species Recognizers—AFSR: A technique for decreasing false indications of presence from acoustic automatic identification in a multiple species context. *PloS one*, 14.

Campos-Cerqueira, M. & Aide, T.M. (2017) Changes in the acoustic structure and composition along a tropical elevational gradient. *Journal of Ecoacoustics*, 1, PNCO7I.

Cragg, J.L., Burger, A.E. & Piatt, J.F. (2015) Testing the effectiveness of automated acoustic sensors for monitoring vocal activity of marbled murrelets Brachyramphus marmoratus. *Marine Ornithology*, 43, 151-160.

Deichmann, J.L., Hernández-Serna, A., Campos-Cerqueira, M. & Aide, T.M. (2017) Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest. *Ecological Indicators*, 74, 39-48.

Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S. & Sueur, J. (2012) Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 13, 46-54.

Digby, A., Towsey, M., Bell, B.D. & Teal, P.D. (2013) A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 675-683.

Duarte, M.H.L., Sousa-Lima, R.S., Young, R.J., Farina, A., Vasconcelos, M., Rodrigues, M. & Pieretti, N. (2015) The impact of noise from open-cast mining on Atlantic forest biophony. *Biological Conservation*, 191, 623-631.

Duarte, M., Sousa-Lima, R., Young, R.J., Vasconcelos, M.F., Bittencourt, E., Scarpelli, M., Farina, A. & Pieretti, N. (2021) Changes on soundscapes reveal impacts of wildfires in the fauna of a Brazilian savanna. *Science of The Total Environment*, 144988.

Eldridge, A., Guyot, P., Moscoso, P., Johnston, A., Eyre-Walker, Y. & Peck, M. (2018) Sounding out ecoacoustic metrics: Avian species richness is predicted by acoustic indices in temperate but not tropical habitats. *Ecological Indicators*, 95, 939-952.

REFERÊNCIAS

Farina, A. & Pieretti, N. (2014) Sonic environment and vegetation structure: A methodological approach for a soundscape analysis of a Mediterranean maqui. *Ecological Informatics*, 21, 120-132.

Farina, A., Pieretti, N. & Piccioli, L. (2011) The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. *Ecological Informatics*, 6, 354-363.

Ferreira, L., Oliveira, E.G., Lopes, L.C., Brito, M.R., Baumgarten, J., Rodrigues, F.H. & Sousa-Lima, R. (2018) What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics*, 2, PVH6YZ.

Fuller, S., Axel, A.C., Tucker, D. & Gage, S.H. (2015) Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration?. *Ecological Indicators*, 58, 207-215.

Gasc, A., Pavoine, S., Lellouch, L., Grandcolas, P. & Sueur, J. (2015) Acoustic indices for biodiversity assessments: Analyses of bias based on simulated bird assemblages and recommendations for field surveys. *Biological Conservation*, 191, 306-312.

Gasc, A., Gottesman, B.L., Francomano, D., Jung, J., Durham, M., Mateljak, J. & Pijanowski, B.C. (2018) Soundscapes reveal disturbance impacts: Biophonic response to wildfire in the Sonoran Desert Sky Islands. *Landscape Ecology*, 33, 1399-1415.

Harris, S.A., Shears, N.T. & Radford, C.A. (2016) Ecoacoustic indices as proxies for biodiversity on temperate reefs. *Methods in Ecology and Evolution*.

Kalan, A.K., Mundry, R., Wagner, O.J.J., Heinicke, S., Boesch, C. & Kühl, H.S. (2015) Towards the automated detection and occupancy estimation of primates using passive acoustic monitoring. *Ecological Indicators*, 54, 217-226.

Katz, J., Hafner, S.D. & Donovan, T. (2016) Assessment of Error Rates in Acoustic Monitoring with the R package monitoR. *Bioacoustics*, 25, 177-196.

Krause, B.L. (1993) The niche hypothesis: a virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats. *The Soundscape Newsletter*, 6, 6-10.

Krause, B. (2012) *The great animal orchestra: finding the origins of music in the world's wild places*. Little, Brown.

Krause, B. & Farina, A. (2016) Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation*, 195, 245-254.

Lee, W., McGlone, M. & Wright, E. (2005) A review of national and international systems and a proposed framework for future biodiversity monitoring by the Department of Conservation. *Landcare Research Contract Report: LC0405/122*.

Machado, R.B., Aguiar, L. & Jones, G. (2017) Do acoustic indices reflect the characteristics of bird communities in the savannas of Central Brazil?. *Landscape and Urban Planning*, 162, 36-43.

Mammides, C., Goodale, E., Dayananda, S.K., Kang, L. & Chen, J. (2017) Do acoustic indices correlate with bird diversity? Insights from two biodiverse regions in Yunnan Province, south China. *Ecological Indicators*, 82, 470-477.

Network, T. E. A. M. (2011). Terrestrial vertebrate protocol implementation manual, v. 3.1. *Tropical Ecology, Assessment and Monitoring Network, Center for Applied Biodiversity Science, Conservation International, Arlington, VA, USA*.

Newson, S.E., Evans, H.E. & Gillings, S. (2015) A novel citizen science approach for large-scale standardised monitoring of bat activity and distribution, evaluated in eastern England. *Biological Conservation*, 191, 38-49.

Opaev, A., Gogoleva, S., Palko, I., Nguyen, V.T. & Rozhnov, V. (2021) Annual acoustic dynamics are associated with seasonality in a monsoon tropical forest in South Vietnam. *Ecological Indicators*, 122, 107269.

Ospina, O.E., Villanueva-Rivera, L.J., Corrada-Bravo, C.J. & Mitchell, A.T. (2013) Variable response of anuran calling activity to daily precipitation and temperature: implications for climate change. *Ecosphere*, 4, art47.

Ovaskainen, O., Moliterno de Camargo, U. & Somervuo, P. (2018) Animal Sound Identifier (ASI): software for automated identification of vocal animals. *Ecology Letters*, 21, 1244-1254.

Palacios, V., López-Bao, J.V., Llaneza, L., Fernández, C. & Font, E. (2016) Decoding Group Vocalizations: The Acoustic Energy Distribution of Chorus Howls Is Useful to Determine Wolf Reproduction. *PloS one*, 11, e0153858.

Phillips, Y.F., Towsey, M. & Roe, P. (2018) Revealing the ecological content of long-duration audio-recordings of the environment through clustering and visualisation. *PloS one*, 13, e0193345.

Pieretti, N., Duarte, M.H.L., Sous-Lima, R.S., Rodrigues, M.A., Young, R.J. & Farina, A. (2015) Determining temporal sampling schemes for passive acoustic studies in different tropical ecosystems. *Tropical Conservation Science*, 8, 215-234.

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, 203-216.

Potamitis, I., Ntalampiras, S., Jahn, O. & Riede, K. (2014) Automatic bird sound detection in long real-field recordings: Applications and tools. *Applied Acoustics*, 80, 1-9.

REFERÊNCIAS

Ranjard, L., Withers, S.J., Brunton, D., Ross, H.A. & Parsons, S. (2015) Integration over song classification replicates: evidence for song types and micro-geographic variation in the hihi. *Journal of the Acoustical Society of America*, 137(5), 2542-2551.

Ranjard, L., Reed, B.S., Landers, T.J., Rayner, M.J., Friesen, M.R., Sagar, R.L. & Dunphy, B.J. (2017) MatlabHTK: a simple interface for bioacoustic analyses using hidden Markov models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 615-621.

Ribeiro, J.W., Sugai, L.S.M. & Campos-Cerqueira, M. (2017) Passive acoustic monitoring as a complementary strategy to assess biodiversity in the Brazilian Amazonia. *Biodiversity and Conservation*, 26, 2999-3002.

Rocha, L.H., Ferreira, L.S., Paula, B.C., Rodrigues, F.H. & Sousa-Lima, R.S. (2015) An evaluation of manual and automated methods for detecting sounds of maned wolves (Chrysocyon brachyurus Illiger 1815). *Bioacoustics*, 24, 185-198.

Rodriguez, A., Gasc, A., Pavoine, S., Grandcolas, P., Gaucher, P. & Sueur, J. (2014) Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest. *Ecological Informatics*, 21, 133-143.

Ross, S.R., Friedman, N.R., Yoshimura, M., Yoshida, T., Donohue, I. & Economo, E.P. (2021) Utility of acoustic indices for ecological monitoring in complex sonic environments. *Ecological Indicators*, 121, 107114.

Sanders, C.E. & Mennill, D.J. (2014) Acoustic monitoring of nocturnally migrating birds accurately assesses the timing and magnitude of migration through the Great Lakes. *The Condor*, 116, 371-383.

Schmeller, D.S., Böhm, M., Arvanitidis, C., Barber-Meyer, S., Brummitt, N., Chandler, M., Chatzinikolaou, E., Costello, M.J., Ding, H. & García-Moreno, J. (2017) Building capacity in biodiversity monitoring at the global scale. *Biodiversity and Conservation*, 26, 2765-2790.

Servick, K. (2014) Eavesdropping on ecosystems. *Science (New York, N.Y.)*, 343, 834-837.

Stowell, D., Benetos, E. & Gill, L.F. (2017) On-bird Sound Recordings: Automatic Acoustic Recognition of Activities and Contexts. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, And Language Processing*, 25, 1193-1206.

Stowell, D., Gill, L. & Clayton, D. (2016) Detailed temporal structure of communication networks in groups of songbirds. *arXiv preprint arXiv:1601.05449*.

Sueur, J. (2018) Indices for Ecoacoustics. *Sound Analysis and Synthesis with R*Anonymous , pp. 479-519. Springer.

Sueur, J. & Farina, A. (2015) Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*, 8, 493-502.

Sueur, J., Gasc, A., Grandcolas, P. & Pavoine, S. (2012) Global estimation of animal diversity using automatic acoustic sensors. *Sensors for ecology.Paris: CNRS*, 99-117.

Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O. & Duvail, S. (2008) Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PloS one*, 3, e4065.

Sugai, L.S.M., Silva, T.S.F., Ribeiro, J.W. & Llusia, D. (2018) Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *Bioscience*.

Towsey, M., Zhang, L., Cottman-Fields, M., Wimmer, J., Zhang, J. & Roe, P. (2014) Visualization of Long-duration Acoustic Recordings of the Environment. *Procedia Computer Science*, 29, 703-712.

Towsey, M., Truskinger, A., Cottman-Fields, M. & Roe, P. (2018) Ecoacoustics Audio Analysis Software v18.03.0.41 (Version v18.03.0.41). *Zenodo*, v18.03.0.41.

Towsey, M., Parsons, S. & Sueur, J. (2014) Ecology and acoustics at a large scale. *Ecological Informatics*, 21, 1-3.

Towsey, M., Wimmer, J., Williamson, I. & Roe, P. (2014) The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment. *Ecological Informatics*, 21, 110-119.

Tucker, D., Gage, S.H., Williamson, I. & Fuller, S. (2014) Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests. *Landscape Ecology*, 29, 745-758.

Wrege, P.H., Rowland, E.D., Keen, S. & Shiu, Y. (2017) Acoustic monitoring for conservation in tropical forests: examples from forest elephants. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 1292-1301.

Xie, J., Towsey, M., Zhang, L., Yasumiba, K., Schwarzkopf, L., Zhang, J. & Roe, P. (2016) Multiple-Instance Multiple-Label Learning for the Classification of Frog Calls with Acoustic Event Detection. *Image and Signal Processing: 7th International Conference, ICISP 2016, Trois-RiviÃ¨res, QC, Canada, May 30 - June 1, 2016, Proceedings* (eds A. Mansouri, F. Nouboud, A. Chalifour, D. Mammass, J. Meunier & A. Elmoataz), pp. 222-230. Springer International Publishing, Cham.

Zilli, D., Parson, O., Merrett, G.V. & Rogers, A. (2014) A hidden Markov model-based acoustic cicada detector for crowdsourced smartphone biodiversity monitoring. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 51, 805-827.