



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE DO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES**

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio**

**Relatório Final
(2019-2020)**

**Mapeamento e caracterização de sons de origem antrópica causados por
embarcações no Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes**

Ana Clara Baptista Mariani

**Orientadora: Silvia Neri Godoy
Coorientador: Marcos César de Oliveira Santos**

**São Paulo
Outubro de 2020**

Resumo

O Brasil apresenta unidades de conservação marinhas que comportam grande riqueza de espécies e biomassa. Para que essa diversidade biológica seja conservada é necessário investimento em esforços de monitoramento e fiscalização. Uma forma de monitoramento dá-se pelo Monitoramento Acústico Passivo (MAP). No presente estudo avaliou-se por meio do MAP a frequência de embarcações visitando o Arquipélago de Alcatrazes em quatro estações do ano de 2019; e buscou-se caracterizar acusticamente os diferentes tipos de embarcações. Para isso, utilizou-se gravações realizadas por um hidrofone fundeado na entrada do Saco do Funil, na ilha principal do Arquipélago. Cada arquivo de áudio passou por uma inspeção visual dos espectrogramas para detecção desses sinais acústicos. Para a caracterização acústica das embarcações foi avaliada a frequência fundamental, a frequência máxima e mínima, largura da banda e a intensidade relativa. O resultado de avaliação dos parâmetros acústicos foi muito variável para um mesmo tipo de embarcação. Foram identificados ruídos de passagens de embarcações em 10% do total de horas analisadas, sendo que aprox. 46% não correspondiam às visitas que constavam no registro do órgão gestor. As estações com maior e menor número de ocorrências foram, respectivamente, o inverno e o verão. Observou-se uma tendência de maior uso da área por embarcações no período da manhã e começo da tarde (das 6 às 14 horas). Estes resultados são pioneiros para a região de estudo e, caso aprimoradas as investigações, apontam para o uso da acústica como ferramenta auxiliar no monitoramento de unidades de conservação na costa brasileira.

Palavras-chave: unidades de conservação; MAP; monitoramento; embarcações.

Abstract

Marine protected areas (MPAs) in Brazil contains a great species diversity. For conservation purposes, investing on local monitoring and surveillance is deemed necessary. In this sense, Passive Acoustic Monitoring (PAM) has been used to gather acoustic data from the marine environments. Thus, the present study assessed, through PAM, the frequency of vessels visiting the mentioned MPA in 2019; besides acoustically characterizing the different types of vessels. For this, it was used audio records from a hydrophone anchored at Saco do Funil, a place close to the main island of the Archipelago. Each audio file underwent a visual inspection of the spectrograms to detect the acoustic signals. For the acoustic characterization, the fundamental frequency, maximum and minimum frequency, frequency bandwidth and the relative intensity were evaluated. The result from the acoustic characterization was very variable for the same type of vessel. Noises related to the passage of vessels were identified in 10% of analyzed files, with approx. 46% of the occurrences that did not correspond to the visits recorded by the MPA's management office. Winter was the season with the highest number of occurrences and summer presented the lowest number of occurrences. There was a trend of greater use of the area by vessels from 6 am to 2 pm. These results are pioneer for the study area and, if the studies are improved, may lead to the use of acoustics as an auxiliary tool in the monitoring of MPAs on the Brazilian coast.

Key words: Marine Protected Areas, PAM, monitoring, vessels.

Lista de Figuras

- Figura 1** - Mapa da área de estudo com o ponto F1 representando o local onde foi feito o fundeio em que o equipamento de gravação de emissões sonoras foi acoplado. Em cinza mais escuro estão representadas algumas das ilhas do Arquipélago de Alcatrazes, com destaque para a ilha principal, Ilha de Alcatrazes. Em cinza mais claro são as áreas da ESEC Tupinambás, e o contorno preto mostra a delimitação do REVIS de Alcatrazes.....11
- Figura 2** - Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em abril de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....15
- Figura 3** - Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em julho de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente..... 16
- Figura 4** - Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em outubro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente..... 17
- Figura 5** - Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em dezembro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....17
- Figura 6** - Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em todos os meses analisados em 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....18
- Figura 7** - Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em abril de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....19

- Figura 8** - Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em julho de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....19
- Figura 9** - Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em outubro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....20
- Figura 10** - Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em dezembro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....21
- Figura 11** - Porcentagem horas por dia da semana em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em todos os meses analisados em 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.....22
- Figura 12** - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em abril de 2019 REVIS de Alcatrazes.....25
- Figura 13** - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em julho de 2019 no REVIS de Alcatrazes..... 26
- Figura 14** - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em outubro de 2019 no REVIS de Alcatrazes..... 27
- Figura 15** - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em dezembro de 2019 no REVIS de Alcatrazes..... 27

Figura 16 - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em abril de 2019 no REVIS de Alcatrazes.....	28
Figura 17 - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em julho de 2019 no REVIS de Alcatrazes.....	29
Figura 18 - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em outubro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.....	30
Figura 19 - Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos mysticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em dezembro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.....	30

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Frequência fundamental média, máxima, mínima e desvio padrão em Hz dos ruídos de embarcações que ocorreram em dias e horários correspondentes às visitas de cada tipo de embarcação registradas pelo órgão gestor do REVIS de Alcatrazes.....	23
Tabela 2 - Média e máxima da frequência máxima encontrada, média e mínima da frequência mínima encontrada, e largura média de banda em Hz dos ruídos de embarcações que ocorreram em dias e horários correspondentes às visitas de cada tipo de embarcação registradas pelo órgão gestor do REVIS de Alcatrazes.....	24
Tabela 3 - Resultado dos testes de correlação e regressão entre a porcentagem de ocorrência de odontocetos e mysticetos e a porcentagem de ocorrência de embarcações por hora e por dia no REVIS de Alcatrazes em 2019.....	31

Sumário

Introdução	7
Objetivos	9
Materiais e métodos	9
<i>Área de estudo</i>	9
<i>Coleta de dados</i>	11
<i>Processamento e análise dos dados</i>	12
<i>Padrão de ocorrência de embarcações</i>	12
<i>Caracterização acústica de embarcações</i>	13
<i>Ocorrência de cetáceos</i>	14
Resultados	14
<i>Padrão de ocorrência de embarcações</i>	14
<i>Caracterização acústica de embarcações</i>	22
<i>Ocorrência de cetáceos</i>	24
Discussão e Conclusões	31
Recomendações para o Manejo e Fiscalização	36
Agradecimentos	36
Referências bibliográficas	37

Introdução

O Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes (REVIS de Alcatrazes) e a Estação Ecológica Tupinambás (ESEC Tupinambás) são unidades de conservação (UCs) de proteção integral administradas pelo escritório regional de São Sebastião do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Essas áreas protegidas foram criadas com o objetivo da preservação da diversidade local, ambientes naturais únicos e seus serviços ecossistêmicos (BRASIL, 2016). Englobam uma área de cerca de 70.000 hectares e estão localizadas a cerca de 40 km da costa do município de São Sebastião, no litoral norte de São Paulo.

Sua área marinha é usada para reprodução, abrigo, alimentação e descanso de *ca.* 1.300 espécies, estando 93 destas sob algum grau de ameaça de extinção (ICMBio, 2017). Engloba ambientes recifais com expressiva diversidade e biomassa de peixes, e serve como área de reprodução e crescimento de espécies de valor comercial para o setor pesqueiro (*Ibid.*). Em vista de tamanha riqueza, é de extrema importância o investimento na preservação e no monitoramento e fiscalização dessas unidades de conservação.

O monitoramento e a fiscalização de UCs marinhas, principalmente aquelas mais afastadas da costa, são desafios a serem enfrentados (KACHELRIESS *et al.*, 2014). Uma alternativa para executá-los pode se dar com o uso da ferramenta acústica, chamando-se globalmente esse programa de “Monitoramento Acústico Passivo” (MAP) (MAXWELL; BAN; MORGAN, 2014). O MAP permite um levantamento de dados do ambiente marinho alternativo em situações em que pesquisas visuais não seriam possíveis como, por exemplo, em situações climáticas e oceanográficas adversas e sem quaisquer condições de luz (MELLINGER *et al.*, 2007; JOHNSTON; WYATT, 2015). É um método não óptico, não invasivo e não destrutivo de detecção da biota marinha (ZIMMER, 2013).

Esse monitoramento se torna possível pois o som, de acordo com as características físicas do meio aquático, pode ser detectado a grandes distâncias. Em paralelo, consiste em uma das principais ferramentas de comunicação em meio aquático. Por exemplo, em milhões de anos os cetáceos (coletivo de baleias e golfinhos) e diversas espécies de peixes adaptaram-se ao uso do som para desenvolver estratégias de alimentação, reprodução, percepção do ambiente, comunicação e socialização (THOMSON; RICHARDSON, 1995; BASS; MCKIBBEN, 2003). Algumas espécies de peixes e invertebrados evoluíram de modo a utilizar essa ferramenta também para orientação no assentamento de larvas (SIMPSON *et al.*, 2005; JEFFS; TOLIMIERI; MONTGOMERY, 2003). Isso ocorreu devido à baixa atenuação das ondas

sonoras no meio aquático, viajando cinco vezes mais rápido nesse meio quando comparado ao ar (URIK, 1983).

Após a revolução industrial e com um alto investimento em defesa de regiões costeiras de países envolvidos na guerra fria, atividades humanas também passaram a fazer parte da paisagem acústica global nestes últimos séculos. Com o descobrimento e a exploração de reservas de óleo globalmente, métodos cada vez mais precisos passaram a usar sons no meio aquático para mapear esses minerais. E tanto a pesca, quanto o transporte mercantil, abriram as portas para o uso de tecnologias modernas que garantiram um aumento considerável de uso de águas costeiras e oceânicas globalmente. Conseqüentemente, é observada uma tendência de aumento da intensidade sonora nas baixas frequências ao longo das últimas décadas desde 1950, relacionada principalmente à atividade antrópica (ROSS, 2005; FRISK, 2012; BRADLEY; NICHOLS, 2012).

Sendo assim, ruídos de embarcações, atividades de sísmicas, uso de sonares cada vez mais intensos, atividades de extração de óleo e gás, e atividades militares tornaram-se prejudiciais para toda a biota marinha (SIMMONDS; LOPEZ-JURADO, 1991; ZIMMER, 2013). Essas atividades podem causar danos físicos aos sistemas de percepção acústica e bexiga natatória, problemas no desenvolvimento embrionário de larvas, mascaramento de outros sinais acústicos, aumento do estresse, maior consumo de oxigênio ou aumento da frequência cardíaca de muitas espécies (KUNC; MCLAUGHLIN; SCHMIDT, 2016). Dessa forma, aplicações do método de MAP tornam-se cada vez mais comuns na avaliação dos potenciais efeitos negativos das atividades humanas em comunidades marinhas (WILLIAMS *et al.*, 2015).

No caso de estudos de impacto por embarcações, a caracterização da fonte sonora e o monitoramento do tráfego são informações fundamentais (MERCHANT *et al.*, 2014; MERCHANT *et al.*, 2012a; MCWHINNIE *et al.*, 2017). Atualmente, esse tipo de estudo, assim como o levantamento de tais informações para auxílio na fiscalização, tem sido aplicado em algumas áreas marinhas protegidas ao redor do mundo (SORENSEN *et al.*, 2010; KAPLAN; MOONEY, 2015; MERCHANT *et al.*, 2016).

No Brasil ainda são raras as aplicações dessa ferramenta para monitoramento de atividades antrópicas em UCs. Na região de Alcatrazes, litoral norte do Estado de São Paulo, os únicos estudos concluídos utilizando-se o MAP tiveram seu foco voltado apenas à descrição e melhora da metodologia (*e.g.* HUBERT *et al.*, 2019; SÁNCHEZ-GENDRIZ; PADOVESE, 2017), porém sem resultados que auxiliassem o monitoramento de fauna ou de impactos de natureza antrópica. Conseqüentemente, não trouxeram um retorno direto à gestão do REVIS de Alcatrazes. Essa ferramenta teria muita utilidade de uso pois, desde dezembro de 2018, há uso

autorizado pela gestão da referida UC para atividades de lazer como o mergulho autônomo. Assim, com a aplicação do MAP, poderá ser possível acompanhar potenciais mudanças na paisagem acústica local ao longo do tempo. Em paralelo, o MAP pode trazer subsídios para uma melhor relação custo-benefício relacionada à fiscalização de uso não autorizado de UCs, principalmente em dias e horários em que não há possibilidade de permanência de embarcações de pesquisa ou fiscalização nas unidades (KLINE *et al.*, 2020). A descrição acústica das emissões sonoras das embarcações que utilizam a área também são informações importantes a serem levantadas, pois assim refina-se o processo de monitoramento para detectar futuramente a presença de embarcações não autorizadas na UC. Adicionalmente, a presença de cetáceos em diversidade e abundância tem sido apontada como indicativo de qualidade de ecossistemas marinhos (MOORE, 2008). Apesar da costa paulista contar com 52% das ocorrências de cetáceos (ver SANTOS *et al.*, 2019) descritos até o presente momento segundo a *Society for Marine Mammalogy* (Committee on Taxonomy, 2019), apenas seis delas são residentes anuais na faixa litorânea local, e outras cinco espécies são migradoras sazonais. Entretanto, mesmo contando com um número relativamente pequeno de espécies, sua presença ao longo do ano pode representar um indicativo local de qualidade de vida.

Objetivos

O presente estudo tem como objetivos (1) elaborar a descrição das frequências mensais de uso do REVIS de Alcatrazes por embarcações por meio do MAP; e (2) descrever acusticamente as emissões sonoras das embarcações que utilizam a região para integrar a biblioteca de sons referente à paisagem acústica local. Secundariamente será apresentado um descritivo da frequência de emissões sonoras de cetáceos durante o período de estudo, porém sem detalhamento em identificação de espécies ou descrição dos parâmetros acústicos das mesmas – tema para um estudo mais robusto e específico.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo em que será realizado o MAP está localizada no litoral norte do Estado de São Paulo, compreendendo um ponto de fundeio instalado na entrada do Saco do Funil (24°05'S; 45°41'O) no REVIS de Alcatrazes, próximo à Ilha de Alcatrazes (Figura 1). O fundeio

consiste em uma poita sobre o assoalho marinho local à profundidade de cerca de 29m, de onde parte um cabo com boias até 3m da superfície da água. Neste cabo, por volta dos 12m de profundidade, acopla-se um equipamento de gravação de emissões sonoras que será descrito no próximo tópico.

O REVIS de Alcatrazes, instituído em 2016 pelo decreto s/n de 2 de agosto do mesmo ano, está localizado entre duas regiões portuárias com intenso fluxo de embarcações, sendo elas: o Porto de São Sebastião, à cerca de 43 km da ilha principal do arquipélago, e o Porto de Santos, à cerca de 67 km (MARINE TRAFIC, 2020). Atualmente, dentro dos limites da UC, é permitido a livre navegação, definida pela passagem de embarcações em velocidade constante, e paradas para visitação pública em áreas pré-determinadas, mas não é permitido quaisquer atividades de pesca (ICMBio, 2017). Na ilha da Sapata, localizada na zona de amortecimento da UC, eventualmente são realizados exercícios de tiros da marinha.

O litoral norte do Estado de São Paulo sofre influência das massas de água costeira (AC), tropical (AT) e central do atlântico sul (Acas), sendo as duas últimas associadas a intrusões da corrente do brasil (CB) ao longo da plataforma continental (CASTRO *et al.*, 2008). A intrusão da Acas mais próxima do continente durante o verão e a formação de vórtices a partir de meandramentos da CB favorecem processos biológicos na região (CASTRO; MIRANDA; MIYAO, 1987). Estudos recentes sobre a climatologia de ondas ao redor da Ilha de Alcatrazes indicam o predomínio de ondas mais energéticas vindas de sul e menos energéticas vindas de leste (TAKASE, 2019). Isso implica em energia de onda moderada na região do Saco do Funil, sendo menor no outono quando as ondas incidem principalmente de sul, constituindo, assim, uma região abrigada.

Outro aspecto físico que pode ocorrer na região é o chamado “efeito ilha”, que consiste no aumento da produtividade primária nos arredores de ilhas ou em regiões próximas (DOTY; OGURI, 1956; MESSIÉ *et al.*, 2020). Esse fenômeno pode atrair animais marinhos como cetáceos, e é influenciado por diferentes fatores, como a precipitação, batimetria do entorno, correntes marinhas, ondas internas, ressurgência e extensão da área de recifes de corais (GOVE *et al.*, 2016).

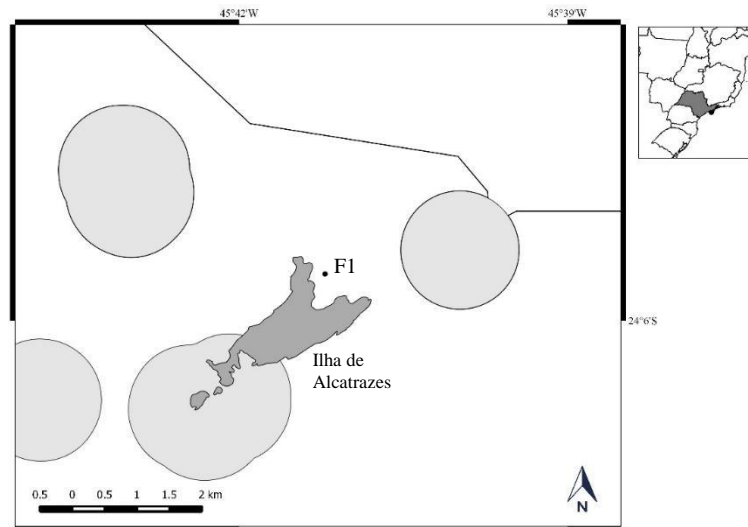


Figura 1. Mapa da área de estudo com o ponto F1 representando o local onde foi feito o fundeio em que o equipamento de gravação de emissões sonoras foi acoplado. Em cinza mais escuro estão representadas algumas das ilhas do Arquipélago de Alcatrazes, com destaque para a ilha principal, Ilha de Alcatrazes. Em cinza mais claro são as áreas da ESEC Tupinambás, e o contorno preto mostra a delimitação do REVIS de Alcatrazes.

Coleta de dados

Para a gravação dos áudios foram utilizados equipamentos conhecidos como *Ocean Digital Spectrogram Recorder* (DSGs), da *Loggerhead Instruments*. Acoplado ao gravador acústico, foi utilizado um hidrofone da *High Tech Inc.*, modelo HTI-96 MIN com sensibilidade de -201 dBV re μPa , ± 3 dB de 2 Hz a 30 kHz. O nível de ganho utilizado no gravador DSG foi de 33 dB (~ 168 dB re 1 μPa). O gravador é programado para efetuar gravações de um minuto de duração em intervalos de quatro minutos entre as gravações, em taxa de amostragem de 96 kHz.

O DSG permanece em operação em média de 30 a 45 dias quando as gravações são arquivadas em cartão de memória. Após este período, o equipamento de gravação é substituído por outro com mesma programação de gravação. Os dados obtidos pelos gravadores DSGs são descompactados e transformados em arquivos do tipo WAV utilizando o software SoundTrap Host versão 1.2.9.29427.

Por dia são gerados cerca de 288 arquivos de áudio (mono, no formato *wav*, 16-bit), o que consiste, em média, em 4 horas e 38 minutos de gravações acústicas. Para este relatório foram considerados resultados colhidos entre março de 2019 e abril de 2020. Para as estações de outono, inverno, primavera e verão, foram subamostradas as gravações obtidas em abril, julho, outubro e dezembro de 2019, respectivamente.

Processamento e análise dos dados

Todos os dados de áudio gravados nos meses selecionados foram triados manualmente por meio de inspeção visual de espectrogramas, de forma que cada arquivo foi explorado com o uso do espectrograma em janela do tipo *Hann*, com 90% de sobreposição, definição de 1024 pontos FFT (*Fast Fourier Transform*), e 48 kHz de resolução. A triagem inicial foi realizada com o uso do software Raven Pro 1.5 (Bioacoustics Research Program, Cornell University, 2015). Com este tipo de visualização dos dados foi possível distinguir a presença de diferentes sinais acústicos. O presente trabalho procurou identificar apenas a presença de sinais acústicos de origem antrópica, com foco em ruídos produzidos por embarcações, e, a título apenas de complementação, os de origem biológica emitidos por cetáceos. Optou-se por ilustrar de maneira superficial a presença dos cetáceos em função da facilidade em se detectar suas emissões. Outro motivo foi eles representarem sentinelas da qualidade dos oceanos (MOORE, 2008), e terem importantes funções ecológicas como transporte vertical e horizontal de nutrientes e matéria orgânica, mistura da coluna d'água, sequestro e armazenamento de carbono, e auxílio na manutenção do equilíbrio de comunidades biológicas, exercendo controle sobre o estoque populacional de suas presas (BOWEN, 1997; LUTZ; MARTIN, 2014; ROMAN *et. al.*, 2014).

Padrão de ocorrência de embarcações

Foi realizada uma análise das frequências mensais de embarcações por meio da elaboração de dois histogramas de barras para cada mês analisado. Um histograma contém a porcentagem de horas do dia em que houve detecções de embarcações por dia do mês. E outro apresenta a porcentagem de dias do mês em que ocorreram essas detecções por hora do dia. As detecções foram contabilizadas de forma binária (0= Ausente; 1= Presente) dentro da escala de tempo de uma hora (12 arquivos de 1 minuto), sendo necessária a ocorrência de um único sinal para que a fonte fosse catalogada como presente dentro da hora analisada.

As detecções contabilizadas foram divididas em 3 classes, sendo elas:

- “Turismo” – referente àquelas encontradas em dias e horários em que foi autorizada a presença de embarcações para mergulho.
- “Fiscalização e pesquisa - ICMBio” - referente àquelas encontradas em dias e horários em que foi autorizada a presença de embarcações de pesquisa e fiscalização do ICMBio.

- “Outras atividades” – que inclui as detecções de atividades como embarcações de passagem, pesquisa ou fiscalização possivelmente não registradas em caderno de visitas ao arquipélago, assim como possíveis atividades de pesca.

Foi analisado se a ocorrência dessas detecções por dia seguia a distribuição de Poisson por meio do cálculo das frequências esperadas de cada classe de frequência no caso delas seguirem a distribuição de Poisson (ROHLF; SOKAL,1981). Assim, a hipótese nula de que a distribuição de ocorrência de embarcações ao longo do tempo segue a distribuição de Poisson, ou seja, acontece de forma randômica, foi testada utilizando o teste qui-quadrado de Pearson, comparando as frequências esperadas e as observadas.

A fórmula usada para cálculo de frequências esperadas da distribuição de Poisson foi:

$$f_{exp} = \frac{n \times \bar{x}^r}{r!e^{\bar{x}}},$$

onde \bar{x} é a média da distribuição de frequências, ou seja, a frequência média que o evento tende a ocorrer dentro do período analisado, r é a classe de frequência e n é o total de amostras.

Após o teste qui-quadrado, caso a hipótese nula fosse negada, calculou-se também o coeficiente de difusão (CD) para se avaliar se a distribuição observada tende a ser agregada ou uniforme (ROHLF; SOKAL,1981). A fórmula usada para o cálculo desse coeficiente foi:

$$CD = \frac{s^2}{\bar{x}},$$

onde \bar{x} é a média amostral e s^2 é o desvio padrão da amostra. De modo que se $CD > 1$, a distribuição tende a ser agregada, e se $CD < 1$, ela tende a ser uniforme ou de repulsão.

Para avaliar a tendência dessas ocorrências por dia da semana foi elaborado um histograma de barras contendo a porcentagem de dias em que houve a detecção de passagem de embarcações das diferentes classes por dia da semana, incluindo todo o período analisado.

Caracterização acústica de embarcações

Foram selecionados arquivos que contém ruídos de embarcações que sabidamente estavam utilizando a região nas datas e horários notificados pela equipe do ICMBio. Desses arquivos, foi estimada a frequência fundamental (Hz) dos ruídos emitidos pelas embarcações identificadas, que pode estar relacionada à velocidade da embarcação, especificidades do motor e movimento da hélice (SORENSEN *et al.*, 2010). Foram estimadas também as frequências mínimas e as máximas (Hz), largura da banda (Hz) e a intensidade relativa (dB) desses ruídos. Não foram considerados os arquivos de áudio dos dias e horários em que foi informada a presença de mais de um tipo de embarcação no local, aqueles que não tinham intensidade

suficiente para serem analisados, e que continham apenas tons abaixo de 500Hz e não apresentavam energia de banda larga claramente delimitada (KLINE *et al.*, 2020).

Esse procedimento pode representar um ponto de partida para se confeccionar uma biblioteca de sons com a descrição acústica dos tipos de embarcações que utilizam a região, dentre eles: a embarcação da equipe do ICMBio, embarcações voltadas para o turismo com mergulho recreativo e visita embarcada, e embarcações voltadas para pesquisa. Busca-se, dessa forma, em futuras pesquisas, distinguir acusticamente os sons das embarcações conhecidas e o som de outras embarcações, como, por exemplo, possíveis embarcações voltadas para pesca.

Ocorrência de cetáceos

Os sinais acústicos emitidos por cetáceos foram divididos em dois subgrupos: os emitidos por odontocetos e os emitidos por mysticetos. Foram considerados para odontocetos os cliques de ecolocalização (AU, 1993), e sinais sociais como assobios (AU; HASTINGS, 2008). Para mysticetos foram considerados os diferentes tipos de sinais produzidos em frequências fundamentais abaixo de 1kHz (THOMSON; RICHARDSON, 1995). Com isso, foram elaborados histogramas de frequências mensais semelhantes aos elaborados com os dados de ocorrências de embarcações. As detecções também foram contabilizadas de forma binária dentro da escala de tempo de uma hora. Com a finalidade de avaliar a influência da presença de embarcações na ocorrência de cetáceos, foram efetuados testes de correlação e regressões lineares entre as porcentagens de ocorrência desses dois dados.

Resultados

Foram analisados quatro períodos do ano de 2019, correspondentes às quatro estações do ano. No total, foram triadas 2424 horas de gravação, o que corresponde a 101 dias, sendo 30 de abril (outono), 30 de julho (inverno), 26 de outubro (primavera) e 15 de dezembro (verão). Primeiramente serão expostas as análises referentes ao uso da área por embarcações, seguido da caracterização acústica delas, e ao final as detecções de cetáceos.

Padrão de ocorrência de embarcações

Foram identificados ruídos relacionados a passagens de embarcações em 243 horas (10%) do total de horas analisadas. E dessas 243 horas, 113 (aprox. 46%) não correspondiam às visitas que constavam no registro do órgão gestor. Em relação às detecções para cada estação

do ano separadamente, foram detectadas embarcações em 67 a 80% dos dias dos meses analisados, contabilizando com 9,2 a 10,8% do total de horas do mês.

No outono de 2019 obteve-se a menor porcentagem em relação ao total de horas por mês ocupadas por ruído sonoro de embarcações (9,2%). Registrou-se a presença de ruídos de embarcações em 21 dos 30 dias do mês, ou seja, 70% do período analisado, correspondendo à segunda menor porcentagem de embarcações por dia. Na maior parte (76%) dos dias em que essas embarcações ocorreram, foi registrada a presença delas pela unidade, sendo apenas 24% das ocorrências relacionadas às “outras atividades”. Os dias em que houve maior porcentagem de ocorrência de embarcações foram aqueles em que foi autorizada a presença de embarcações para mergulho e fiscalização na região, chegando a quase 30% das 24 horas dos dias 6 e 20 de abril (Figura 2). Observa-se também que a segunda quinzena do mês apresenta ligeiramente mais dias com eventos de ocorrência e maiores porcentagem de ocorrências quando comparada à primeira quinzena. Neste último caso, talvez as condições de clima e mar tenham reduzido as chances de ocorrer embarcações na área de estudo. Entretanto, foi notificado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) a chegada de frentes frias na região apenas do dia 28 para o dia 29 de abril.

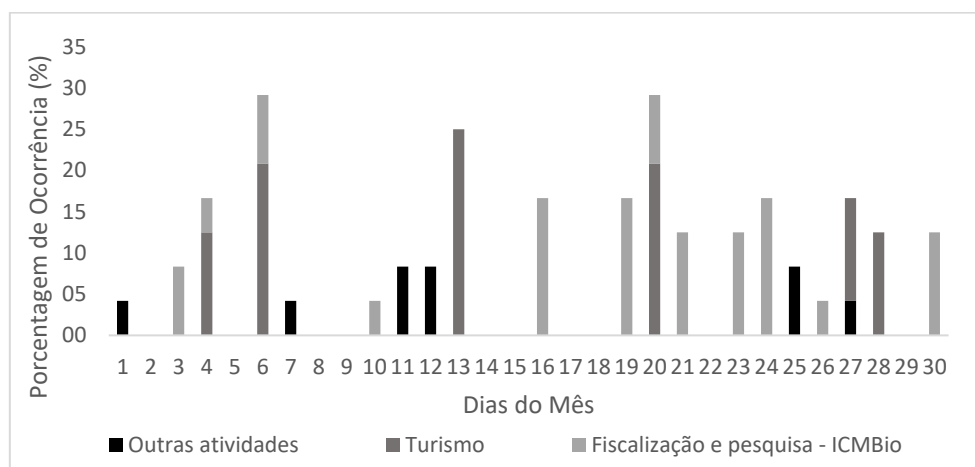


Figura 2. Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em abril de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

No inverno, apesar de ser o período com maior porcentagem em relação ao total de horas (10,8%), observou-se a menor porcentagem de embarcações por dia (67%), contabilizando 20 dos 30 dias do mês. Porém, apenas uma pequena porcentagem (25%) desses dias de ocorrência constava no registro de visitas da unidade, sendo a estação do ano com maior

número de ocorrências relacionadas às “outras atividades” dentre todos os meses analisados. Como no outono, os dias em que houve maior porcentagem de ocorrência de embarcações também foram aqueles em que foi autorizada a presença de embarcações para mergulho e fiscalização na região, chegando a 45% das 24 horas dos dias 13 e 14 de julho (Figura 3). Também semelhante ao observado para o outono, a segunda quinzena se destacou em relação à primeira quanto ao número de dias e porcentagem. Neste caso, se confirmou que as condições de clima e mar reduziram as chances de ocorrência de embarcações na área, como no caso da entrada de uma frente fria intensa no dia 4 e 16 de julho no litoral norte do Estado de São Paulo. Houve registros de entrada de frentes frias na área de estudo também no dia 27, porém nesse dia ainda se nota a elevada porcentagem de ocorrência de embarcações. Isso pode estar relacionado à intensidade dessa última frente.

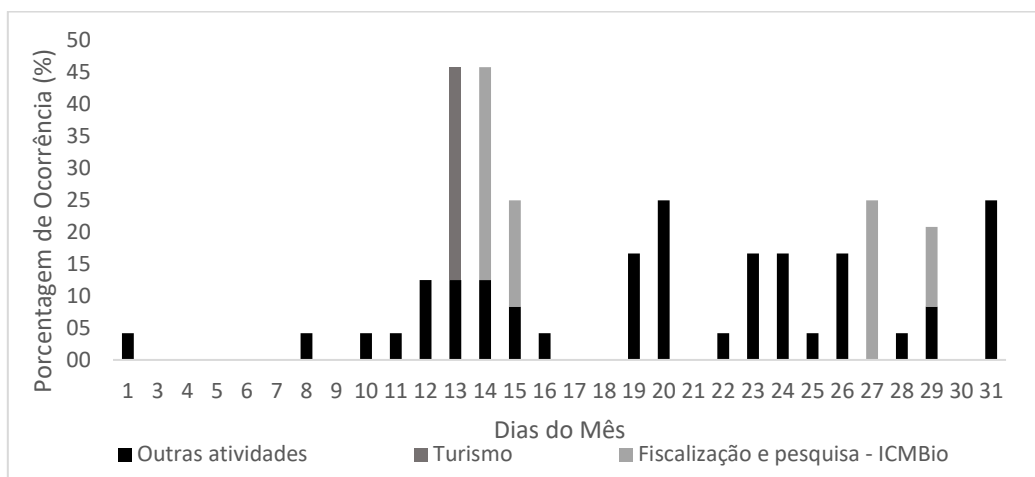


Figura 3. Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em julho de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

A primavera foi a estação do ano com maior porcentagem de embarcações por dia do mês (85%), seguido do verão (80%), contabilizando, respectivamente, 22 dos 26 dias analisados e 11 dos 15 dias analisados. Desses dias, aproximadamente metade das ocorrências, 50% no caso do verão e 45% da primavera, estavam registradas pelo ICMBio. Quanto às porcentagens de ocorrência em relação ao total de horas, para essas duas estações se mostraram intermediárias, sendo 9,9% para a primavera e 10,3% para o verão. A primavera segue as mesmas tendências observadas para o outono e inverno, com maior ocorrência na segunda quinzena do mês e em dias em que foi autorizada a presença de embarcações para mergulho e fiscalização, chegando a 33% no dia 26, 29% no dia 25, e 25% no dia 19 de outubro (Figura 4).

Enquanto, para o verão, os dias de dezembro com mais ocorrências de ruídos sonoros de embarcações foram: 21 (29%), 27 (25%), e 20 (20%), as quais correspondiam, respectivamente, ao turismo e outras atividades, fiscalização e pesquisa, e outras atividades (Figura 5). Porém, deve-se levar em conta que a quantidade de dias analisados para essas duas últimas estações do ano foi menor em relação às demais. Nessas estações do ano foi notificada a chegada de frentes frias no litoral norte do Estado de São Paulo nos dias 6, 7 e 19 de outubro. No dia 15 de outubro e 21 de dezembro também houve a ocorrência de frentes frias no litoral do estado, porém, elas alcançaram apenas até Santos.

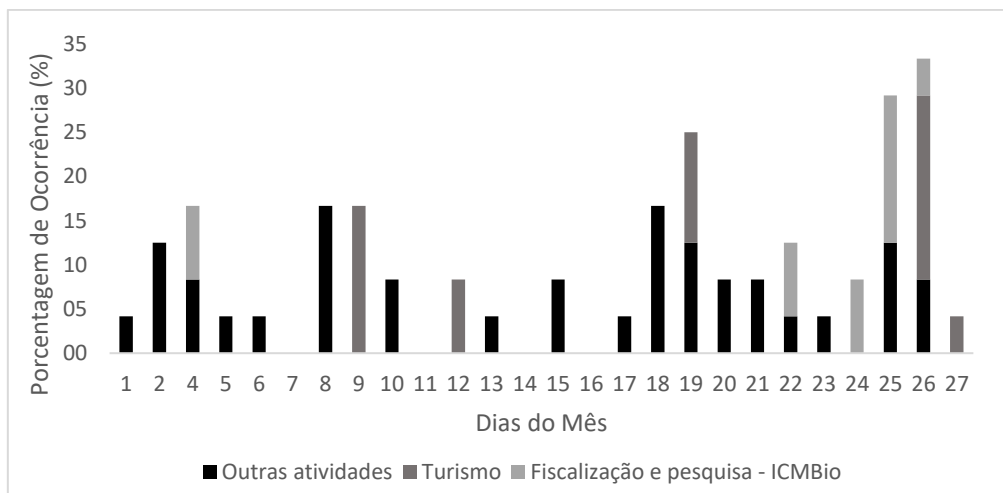


Figura 4. Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em outubro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

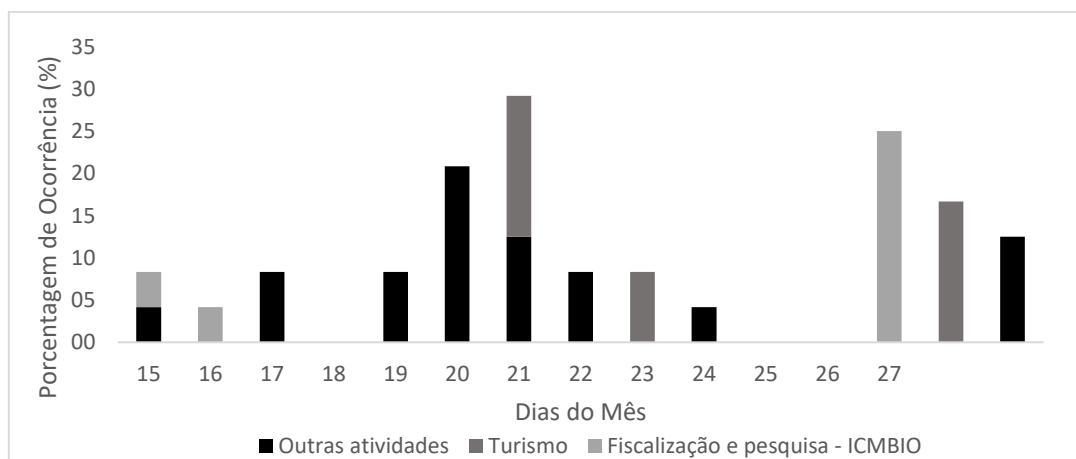


Figura 5. Porcentagem de horas do dia em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em dezembro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto

estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

Quanto à frequência de ocorrência de embarcações em relação às horas do dia, no geral, observa-se uma tendência de maior ocorrência no começo da manhã e início da tarde (entre 6 e 14 horas). De forma que a porcentagem de ruídos de embarcações nesse período variou entre 12%, às 8 e 13 horas, e 24%, às 11 horas (Figura 6). As ocorrências relacionadas às “outras atividades” foram encontradas em todos os horários do dia, porém, predominantemente entre meia noite e 8 horas da manhã. Elas atingiram o mínimo de 1% dos 101 dias analisados às 17 e 19 horas, o máximo de 16% às 6 horas. Já as ocorrências relacionadas às atividades de turismo, fiscalização e pesquisa ocorreram entre 5 da manhã e 20 horas da noite, sendo mais significativa entre 7 e 16 horas, e variando entre 1% (5, 19 e 20 horas) e 17% (10, 11 e 14 horas).

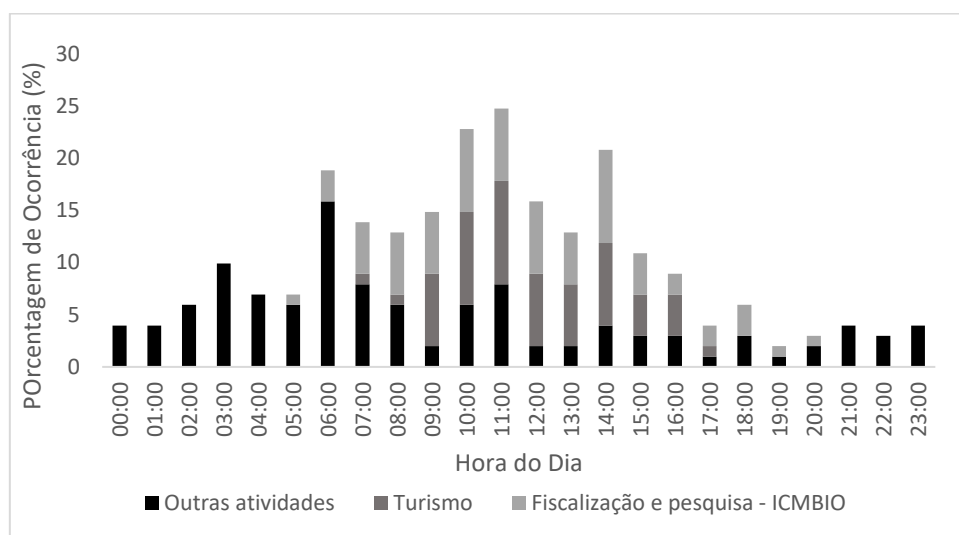


Figura 6. Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em todos os meses analisados em 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

Como esperado para o outono, por ser a estação do ano com menos ocorrências relacionadas às “outras atividades”, as ocorrências de embarcações se concentraram entre 6 e 16 horas (Figura 7). A máxima porcentagem ocorreu às 10 horas da manhã, de modo que 30% dos dias desse mês tiveram ocorrências de embarcações nesse horário. Fora desse período de 6 a 16 horas, obteve-se as menores porcentagens de ocorrência, variando entre nenhuma ocorrência, 3,3% às 3, 17, 19 e 20 horas e 6,7% às 18 horas.

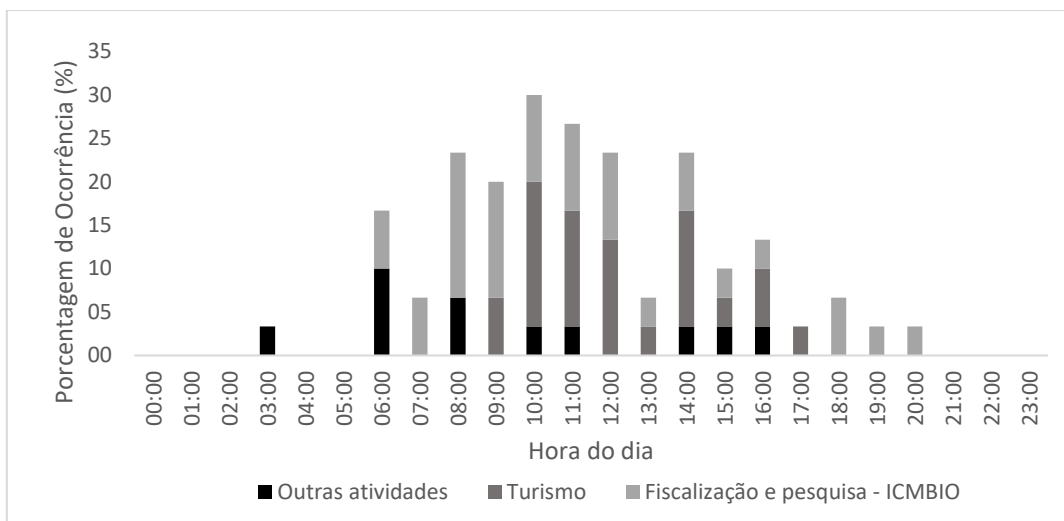


Figura 7. Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em abril de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

O inverno, diferente do outono, apresentou ocorrências em todas as horas do dia, sendo a maior parte associadas às “outras atividades”. As ocorrências variaram bastante ao longo das horas, porém, nota-se significativa diminuição na porcentagem de ocorrência das 16 às 23 horas, variando entre 3,3 e 6,7% (Figura 8). A distribuição de porcentagens apresentou um aspecto bimodal, com dois picos de máxima porcentagem de ocorrência em torno de 23%. O primeiro pico se dá às 6 horas da manhã e é composto principalmente de ocorrências da classe “outras atividades”. O segundo pico é localizado às 14 horas e engloba predominantemente as ocorrências da classe “fiscalização e pesquisa - ICMBio”.

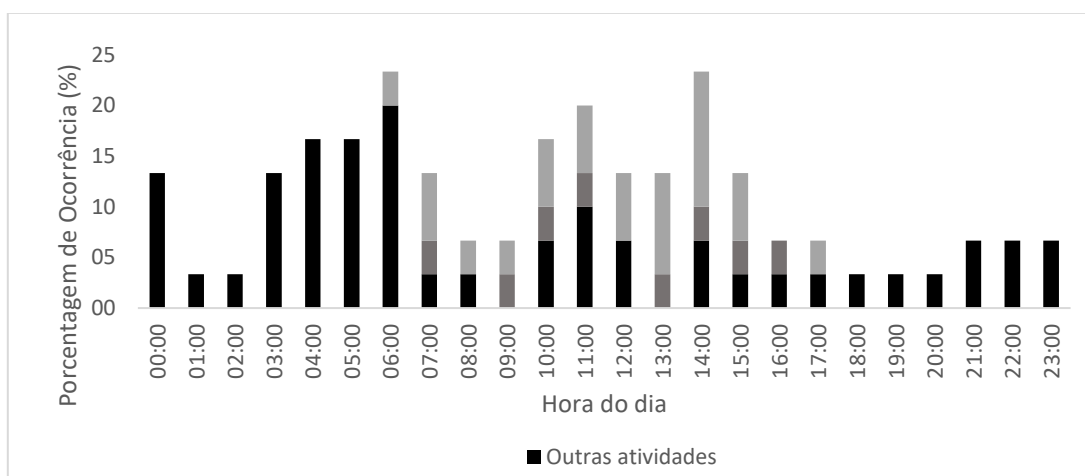


Figura 8. Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em julho de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão

destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente

As porcentagens de ocorrências de embarcações pertencentes à classe “outras atividades” variaram muito ao longo das horas da primavera. Porém, observa-se máximos durante o período da madrugada e início da manhã, às 2, 3, 6 e 7 horas, com a porcentagem variando entre 15 e 19% (Figura 9). Enquanto atividades relacionadas ao turismo, pesquisa e fiscalização que constavam no registro do órgão gestor ocorreram exclusivamente entre 8 e 17 horas, atingindo o máximo de 15,4% dos dias de outubro com ruídos de embarcações que se enquadravam nessas últimas classes às 9, 11 e 12 horas. Foram consideradas mínimas as porcentagens de ocorrência entre 0 e 3,8%, encontradas meia noite, 4 e 5 horas e de 16 às 22 horas, englobando todas as classes.

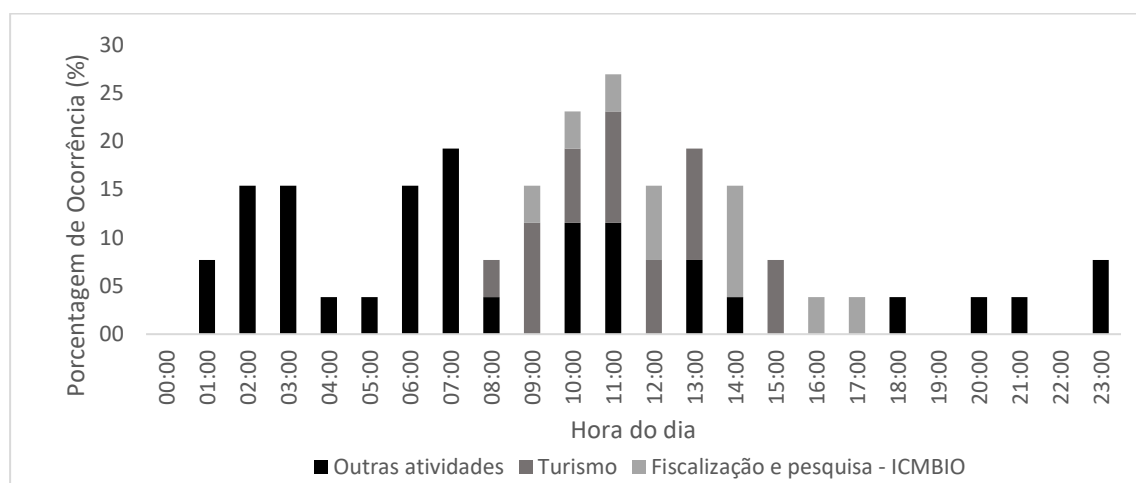


Figura 9. Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em outubro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

O verão, por sua vez, obteve as maiores porcentagens de ocorrência de embarcações entre 6 e 18 horas, variando entre 13,3 e 26,7%, com exceção das 12 e 17 horas em que essa porcentagem foi menor (Figura 10). O máximo absoluto foi encontrado às 11 horas, sendo composto predominantemente por ocorrências da classe “turismo”. Já o máximo de ocorrências da classe “outras atividades” foi às 6 horas da manhã. Fora desse período de 6 a 18 horas, as porcentagens de ocorrência foram pequenas, variando entre 0 e 6,7%.

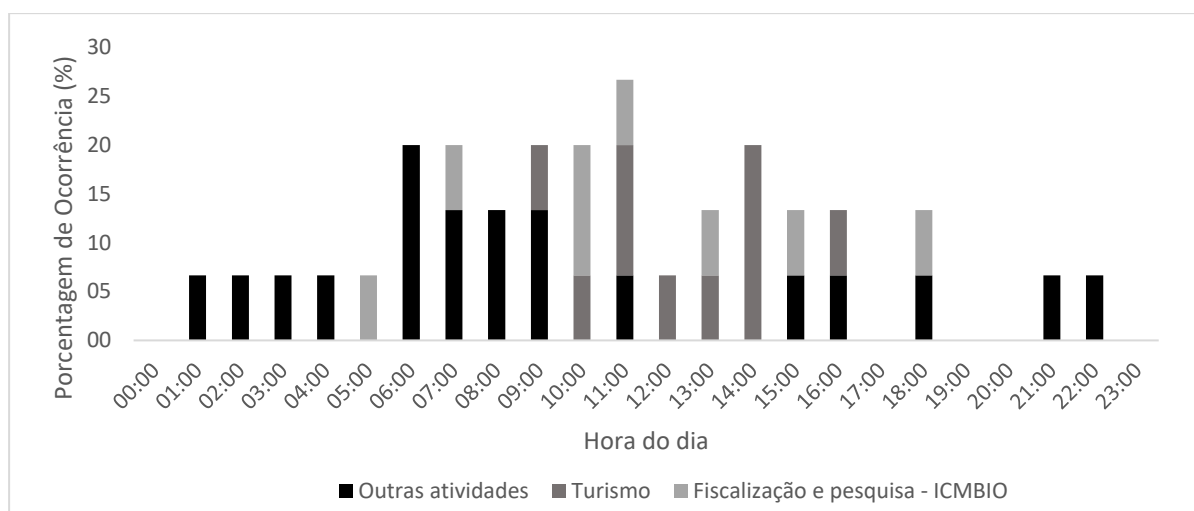


Figura 10. Porcentagem de dias por hora em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em dezembro de 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

Pelo teste qui-quadrado com intervalo de confiança de 95%, para as ocorrências relacionadas à classe “outras atividades” considerando todo o período analisado, foi rejeitada a hipótese de a distribuição observada seguir a distribuição de Poisson. O resultado do coeficiente de difusão indicou que essa distribuição se comporta de maneira ligeiramente agregada. A partir desses resultados, observa-se que é possível que esses eventos não ocorram de maneira aleatória, e não são completamente independentes entre si, ou seja, o fato de um evento ocorrer, pode influenciar a probabilidade de ocorrência de outros eventos.

Foi observado o mesmo resultado para os testes feitos para essa mesma classe em cada estação do ano separadamente, com exceção de julho e outubro. Para julho, também se rejeitou a hipótese nula, porém o resultado do coeficiente de dispersão foi muito próximo de 1, o que indica que a distribuição das embarcações não é agregada ou uniforme. Para outubro, pelo resultado do teste qui-quadrado não foi possível se rejeitar a hipótese nula, de modo que a distribuição observada, considerando-se apenas esse mês, pode se aproximar da distribuição de Poisson.

O teste feito para as ocorrências relacionadas à classe “turismo”, considerando tanto todo o período analisado quanto as ocorrências de cada mês separadamente, se rejeitou a hipótese de a distribuição observada seguir a distribuição de Poisson. O coeficiente de difusão em todos os casos indicou que as ocorrências podem estar distribuídas de forma agregada.

Em relação à distribuição de ocorrências de embarcações ao longo dos dias da semana, considerando todo o período analisado, não houve diferença significativa do total de ocorrências nos diferentes dias. Observa-se uma flutuação das ocorrências relacionadas à “outras atividades” e “fiscalização e pesquisa – ICMBio” (Figura 11). Esses tipos de embarcações ocorrem com frequência aproximadamente semelhante em todos os dias da semana, sem ter um dia da semana específico em que essas ocorrências se destacam. Porém, para ocorrências de embarcações de “turismo”, como era esperado, observa-se que a maior parte delas se encontra durante o final de semana, com destaque em um pico de ocorrências no sábado.

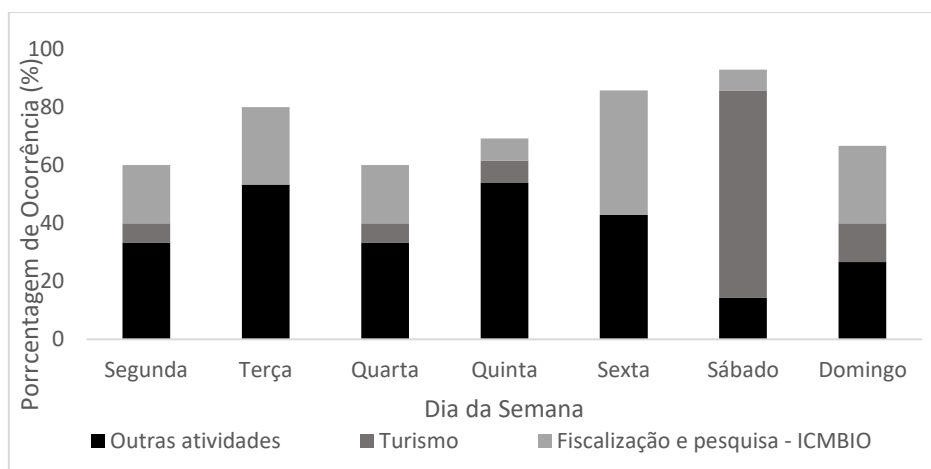


Figura 11. Porcentagem horas por dia da semana em que embarcações foram detectadas em emissões acústicas no REVIS de Alcatrazes em todos os meses analisados em 2019. Em cinza escuro, cinza claro e preto estão destacadas as detecções encontradas para cada uma das classes “turismo”, “fiscalização e pesquisa - ICMBio” e “outras atividades”, respectivamente.

Caracterização acústica de embarcações

Para caracterização, utilizou-se 186 amostras de sons de embarcações que sabidamente estavam utilizando a região, sendo 94 derivadas de embarcações do ICMBio, 70 de embarcações de turismo e 22 de uma embarcação de pesquisa. No geral, a frequência fundamental média para os ruídos dos diferentes tipos de embarcações considerados não variou muito, ficando entre 262,2 e 385,7 Hz (Tabela 1), de forma que não foi possível detectar uma assinatura acústica específica de cada tipo. O desvio padrão desse parâmetro também foi elevado em todos os casos, variando entre 212,1 e 272,7 Hz.

As embarcações de turismo obtiveram a menor frequência fundamental média de 262,2 Hz e o menor desvio padrão (212,1Hz), sendo a máxima encontrada de 890,6Hz e a mínima de

70,3Hz. Como houve o registro de 5 embarcações diferentes de turismo na região, foi feito também o cálculo da média e desvio padrão para os ruídos encontrados durante a visita individual de cada uma delas. A frequência fundamental média encontrada para cada uma e o respectivo desvio padrão estão expressos na Tabela 1. Porém o desvio padrão foi pequeno para apenas uma delas, a da embarcação 3 de turismo. Para a embarcação do ICMBio foi observada a frequência fundamental média de 359,3Hz, e o maior desvio padrão, de 272,7Hz. Para a embarcação de pesquisa, por sua vez, foi encontrada a maior frequência fundamental (385,7 Hz), com desvio padrão de 243,5Hz.

Tabela 1. Frequência fundamental média, máxima, mínima e desvio padrão em Hz dos ruídos de embarcações que ocorreram em dias e horários correspondentes às visitas de cada tipo de embarcação registradas pelo órgão gestor do REVIS de Alcatrazes.

Embarcação	Número de amostras	Frequência fundamental média (Hz)	Desvio padrão (Hz)	Frequência fundamental máxima (Hz)	Frequência fundamental mínima (Hz)
ICMBio	94	359,3	272,7	1382,8	70,3
Embarcação de Pesquisa	22	385,7	243,5	960,9	117,2
Turismo – Todas Embarcações	70	262,2	212,1	890,6	70,3
Turismo – Embarcação 1	14	155,7	147,3	679,7	70,3
Turismo – Embarcação 2	7	351,6	177,6	609,4	70,3
Turismo – Embarcação 3	12	119,2	15,0	140,6	93,8
Turismo – Embarcação 4	5	262,5	166,6	585,9	117,2

Considerando todas as embarcações, a frequência máxima absoluta alcançada foi de 3890,6 Hz e a mínima absoluta alcançada foi de 70,3 Hz (Tabela 2). Essas frequências também se mostraram altamente variáveis entre os ruídos considerados como sendo da mesma embarcação. Além disso, não foi possível identificar um padrão para diferenciar os tipos de embarcações a partir de suas frequências máximas e mínimas médias. A largura média de banda variou entre 748,3 Hz e 1982,8 Hz, referente aos ruídos da embarcação 1 e 4 de turismo, respectivamente. A embarcação do ICMBio obteve a segunda maior largura média de banda

(1803,7). A embarcação de pesquisa e a média incluindo todas as embarcações de turismo tiveram largura média de banda semelhante, sendo 1043,0 Hz e 1185,9 Hz, respectivamente.

Tabela 2. Média e máxima da frequência máxima encontrada, média e mínima da frequência mínima encontrada, e largura média de banda em Hz dos ruídos de embarcações que ocorreram em dias e horários correspondentes às visitas de cada tipo de embarcação registradas pelo órgão gestor do REVIS de Alcatrazes.

Embarcação	Média da frequência máxima (Hz)	Máxima frequência máxima (Hz)	Média da frequência mínima (Hz)	Mínima frequência mínima (Hz)	Largura média de banda (Hz)
ICMBio	1972,0	3890,6	167,6	70,3	1803,7
Embarcação de Pesquisa	1259,2	3843,8	216,3	93,8	1043,0
Turismo – Todas Embarcações	1327,2	3890,6	141,3	70,3	1185,9
Turismo – Embarcação 1	858,8	2062,5	110,5	70,3	748,3
Turismo – Embarcação 2	1955,3	3890,6	157,4	70,3	1798,0
Turismo – Embarcação 3	800,8	2531,2	87,9	70,3	712,9
Turismo – Embarcação 4	2179,7	3468,8	196,86	140,6	1982,8

A intensidade relativa média dos ruídos de todos os tipos de embarcação investigados foi em torno de 70 dB. Os ruídos referentes à embarcação do ICMBio foram os que obtiveram maior intensidade relativa média, com 77,4 dB, seguidos daqueles da embarcação de pesquisa, com 75,8 dB, e de embarcações de turismo, com 75,0 dB. Este foi o parâmetro com menor variação entre os ruídos do mesmo tipo de embarcação e entre ruídos dos diferentes tipos.

Ocorrência de cetáceos

Em paralelo, a área de investigação se mostrou de grande importância para uso por cetáceos. A ocorrência de odontocetos foi registrada em todos os meses analisados. Foram identificados sinais acústicos desses animais em 54 dos 101 dias analisados, e em 108 das 2424 horas analisadas. Mysticetos ocorreram em 30 dias de julho, 16 dias de outubro e 1 dia de dezembro. Os sinais acústicos de mysticetos estavam presentes em 565 horas das 2424 horas analisadas.

O outono foi o período com maior porcentagem de cetáceos odontocetos por dia e menor porcentagem de cetáceos mysticetos. Observou-se a ocorrência de sinais acústicos de odontocetos em 22 dos 30 dias de abril de 2019, sendo cerca de 73% do período analisado. Destacam-se os dias 5 e 11 com maior porcentagem de ocorrência, representando 33 e 21% do período das referidas datas. Com exceção desses dias, as ocorrências mostram-se quase que uniformemente distribuídas ao longo do mês, quando comparadas às frequências de embarcações (Figura 6). Mesmo nos dias em que há a presença de embarcações, ainda se nota a presença de cetáceos odontocetos. Para esse período, não houve a ocorrência de cetáceos mysticetos.

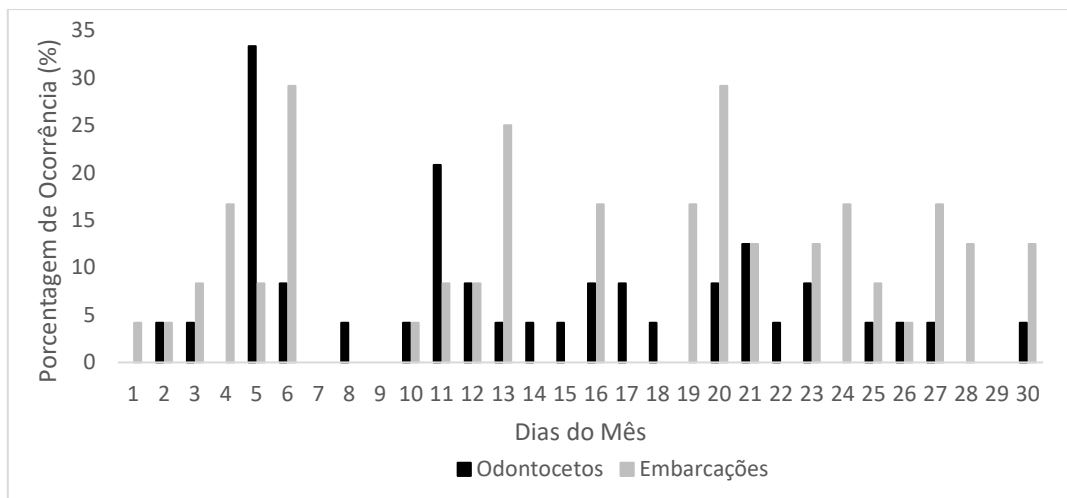


Figura 12. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em abril de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

O inverno, por sua vez, foi o período com maior porcentagem de ocorrência de cetáceos mysticetos por dia e menor de cetáceos odontocetos. Odontocetos foram identificados em 11 dos 30 dias analisados de julho, compondo cerca de 36,7% desse período. A máxima porcentagem de ocorrência de sinais acústicos desses animais por dia foi em 31 de julho, com ocorrência em 29% das horas do dia (Figura 13). Nos demais dias em que houve ocorrência, a porcentagem foi pequena, variando entre 4,2% e 16,7%. Por meio do gráfico ilustrado na figura 13, também é possível notar a presença de sinais acústicos de mysticetos em todos os dias analisados, chegando a ocupar 100% das horas dos dias 4, 11, 21, 26, 28 e 30 de julho. Nos dias 1, 13, 19 e 20 observou-se as menores porcentagens de ocorrência, sendo elas 12,5%, 8,3%, 16,7% e 4,2%. Nos demais dias, a porcentagem de ocorrência desses sinais por dia foi maior que 25%. Não foi observado muita variação na porcentagem de ocorrência de ambos os grupos de cetáceos mediante a variação de ocorrência de embarcações ao longo do mês.

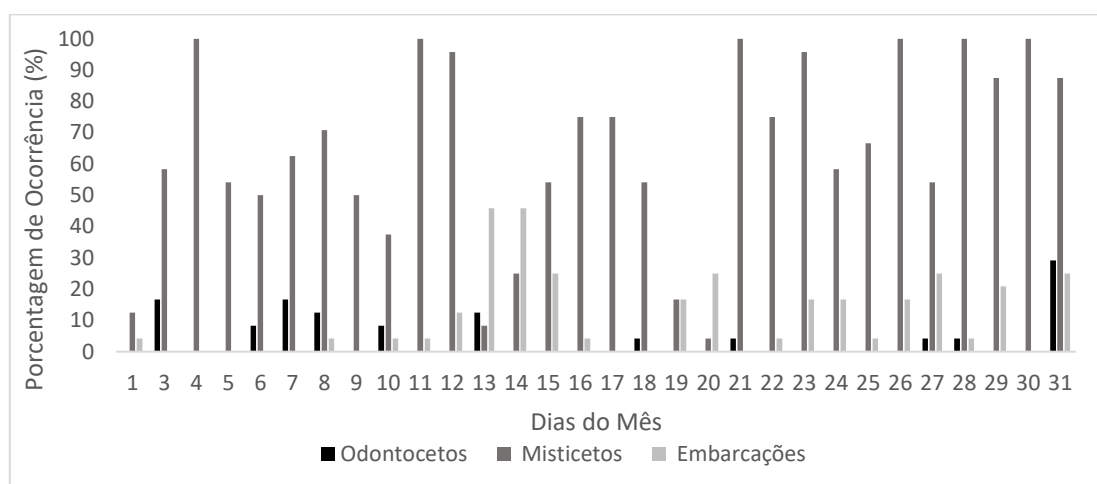


Figura 13. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em julho de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

Na primavera houve a presença de odontocetos em 13 dos 26 dias analisados de outubro e de misticetos em 16 dias, correspondendo a, respectivamente, 50% e 61,5% do período. A maior parte das ocorrências de sons de cetáceos odontocetos foi observada na segunda quinzena do mês (Figura 14). A máxima porcentagem de ocorrência por dia foi de 16,7%, encontrada nos dias 24 e 17 de outubro. Para misticetos, o oposto foi observado, de forma que a primeira quinzena foi o período de mais dias com eventos de ocorrência e maiores porcentagens (Figura 14). Nos primeiros 10 dias analisados do mês nota-se a presença de sinais acústicos de misticetos em todos os dias, e em 7 deles, a porcentagem de ocorrência é maior que 37,5%. No dia 10 de outubro notificou-se a maior porcentagem de horas com esses sinais acústicos, compondo 91,7% das horas do dia. Na segunda quinzena, observa-se apenas 6 dias em que esses sinais estão presentes, e todos apresentam porcentagem de ocorrência menor que 16,7%.

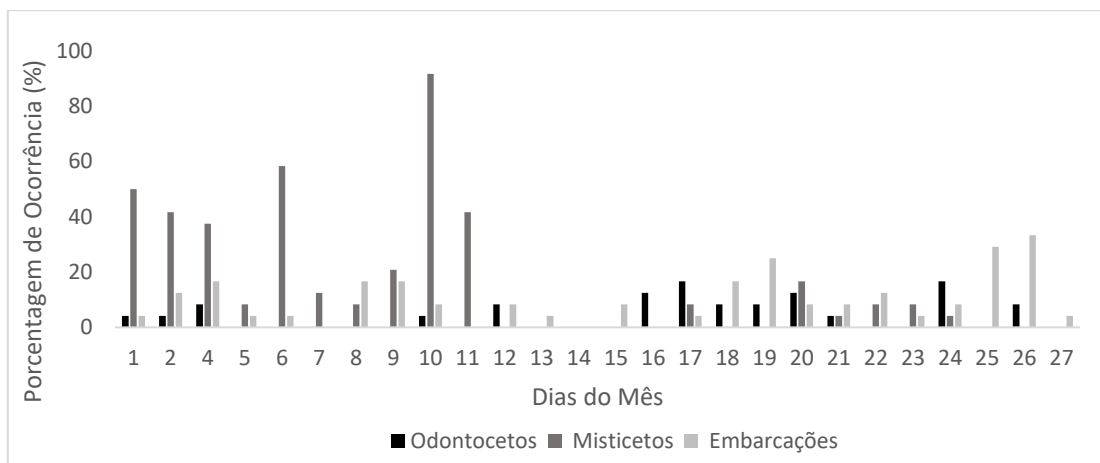


Figura 14. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em outubro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

No verão, foi notificada a presença de sons de misticetos em apenas uma hora do dia 23 de dezembro, considerando todo o período analisado dessa estação do ano (Figura 15). Enquanto sinais acústicos de odontocetos foram identificados em 8 dos 16 dias de dezembro, sendo aproximadamente 53,3% do período analisado. Porém, a porcentagem de ocorrência nesses 8 dias foi pequena, variando entre 4,2% e 8,3% (Figura 15).

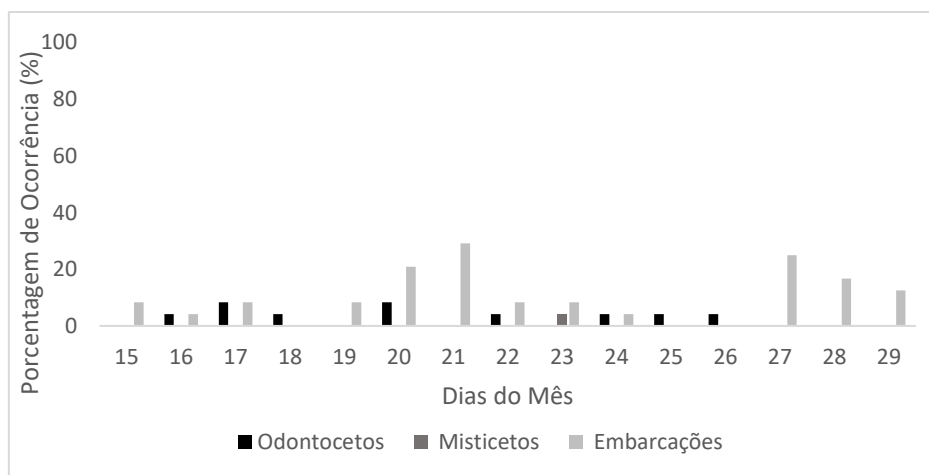


Figura 15. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por dia em dezembro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

Quanto à distribuição de porcentagem de ocorrências de odontocetos ao longo das horas do dia, no outono observa-se uma maior frequência de ocorrências das 0 às 4 horas e das 16 às 23 horas (Figura 16). Esse padrão é oposto ao de ocorrência de embarcações, que, por sua vez, é mais concentrado das 6 às 16 horas. Entretanto, ainda se observa uma sobreposição dos

horários de ocorrência dos dois eventos das 6 às 11 horas, às 14, e das 16 às 20 horas. Praticamente não foi detectada a ocorrência de mysticetos nessa estação do ano.

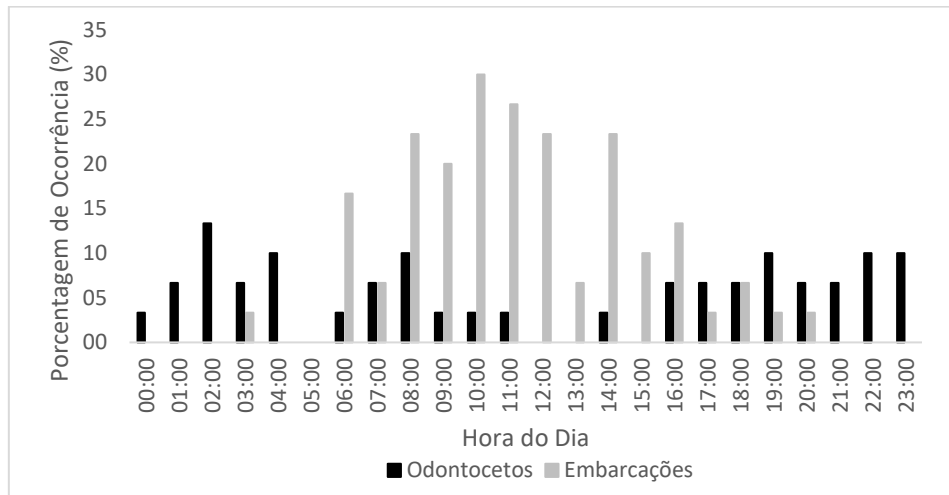


Figura 16. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em abril de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

No inverno nota-se a ocorrência de sinais acústicos de cetáceos mysticetos ao longo de todas as horas do dia. A porcentagem de ocorrência desses sinais se manteve elevada, acima de 70%, entre meia noite e 10 horas da manhã (Figura 17). A partir das 10 horas, observa-se uma queda gradual dessa porcentagem, atingindo mínimo de 36,7% às 13 horas. Ela volta a crescer também gradualmente a partir de 18 horas. A partir de 21 horas atinge porcentagens de ocorrência acima de 70% novamente. Já as ocorrências de cetáceos odontocetos ficaram bem distribuídas ao longo das horas do dia (Figura 17). Foram identificados sons de odontocetos em 18 das 24 horas do dia. Porém, a porcentagem de ocorrência nessas horas foi sempre abaixo de 10%, sendo o máximo observado nas primeiras horas da manhã, às 1, 3 e 4 horas. Não foi possível notar uma relação clara entre a ocorrência de cetáceos e embarcações ao longo das horas do dia de julho.

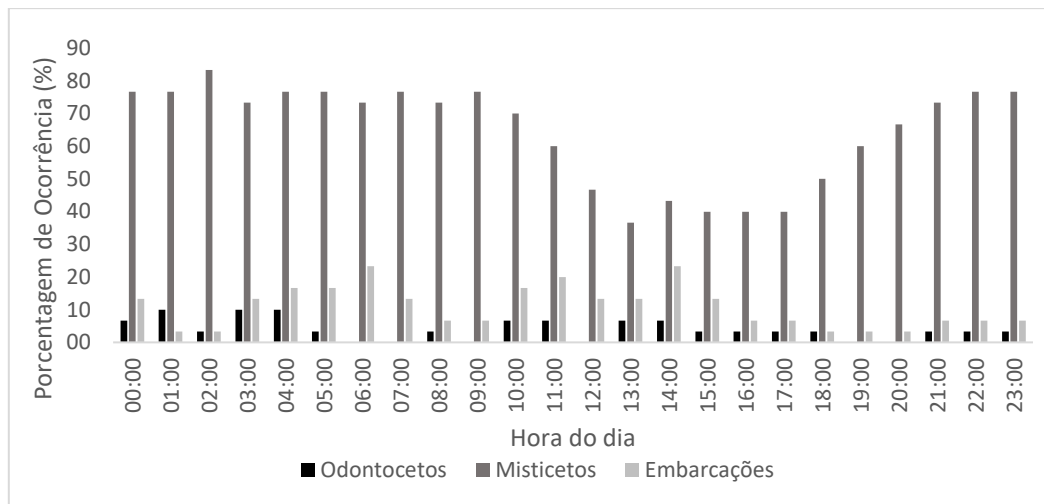


Figura 17. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em julho de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

Na primavera, apesar de sinais de misticetos estarem presentes em todas as horas do dia, não se observa um padrão de ocorrência ao longo das horas tão marcado quanto no inverno. Todavia, as maiores porcentagens de ocorrência, entre 19,2% e 26,9%, também foram encontradas no início da manhã, às 1, 2, 5 e 8 horas, e final da tarde e noite, das 17 às 21 horas e meia noite (Figura 18). As menores porcentagens de 3,8% a 7,7% foram observadas às 10, 11, 13 e 14 horas. Cetáceos odontocetos ocorreram em 15 das 24 horas do dia no mês de outubro. A maior parte dos sinais acústicos desses animais se concentrou no período da noite, entre 18 e 23 horas (Figura 18). A máxima porcentagem de ocorrência encontrada, de 19,2%, foi encontrada às 19 e 20 horas. Para essa estação também não é observada uma relação clara entre a ocorrência de embarcações e cetáceos.

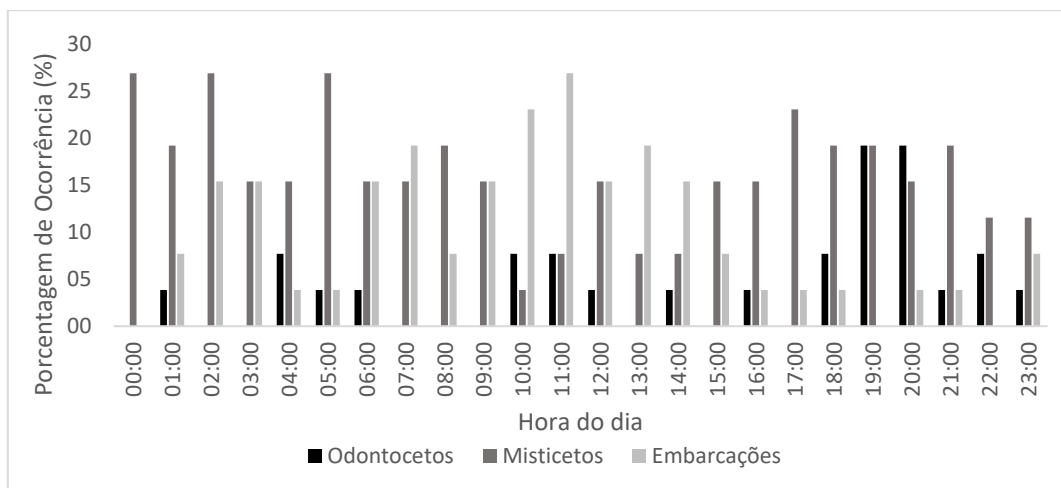


Figura 18. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em outubro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

No verão houve apenas uma ocorrência de cetáceos misticetos em todo o período analisado, observada às 6 horas da manhã (Figura 19). Ruídos relacionados à presença de cetáceos odontocetos estavam presentes em 7 das 24 horas do dia no mês de dezembro. A maior parte dessas ocorrências foi observada no período da noite, entre 21 horas e meia noite (Figura 19). A máxima porcentagem de ocorrência, de 20%, encontrou-se à meia noite. O período com maior ocorrência de embarcações, próximo às 11 horas, coincidiu com pouca ou nenhuma porcentagem de ocorrência de cetáceos.

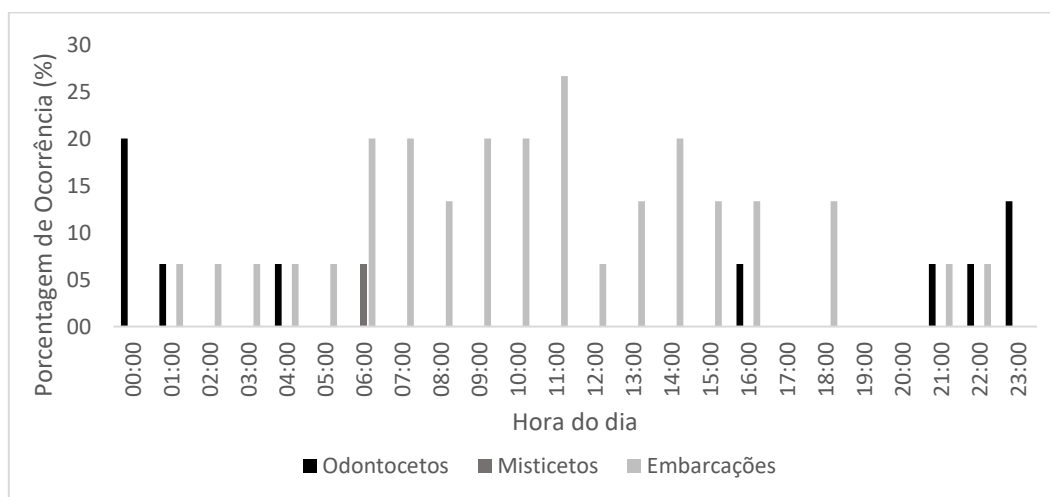


Figura 19. Porcentagem de ocorrência de cetáceos odontocetos (em preto), cetáceos misticetos (em cinza escuro) e embarcações (em cinza claro) detectados acusticamente por hora em dezembro de 2019 no REVIS de Alcatrazes.

A relação entre a porcentagem de ocorrência de odontocetos e mysticetos e a porcentagem de ocorrência de embarcações por hora e por dia foi testada por meio de testes de correlação e regressão (Tabela 3). Assim, pode-se afirmar com intervalo de confiança de 95% que existiu uma relação linear negativa entre a ocorrência de odontocetos por hora e a ocorrência de embarcações nos meses de abril e dezembro. Além de uma relação linear também negativa entre a ocorrência de mysticetos e a ocorrência de embarcações por dia, em julho, e por hora, em outubro. Porém, em ambos os casos, apenas uma pequena parte da variação do primeiro pode ser explicada pela variação do segundo (R^2 variou entre cerca de 0,16 e 0,32).

Tabela 3. Resultado dos testes de correlação e regressão entre a porcentagem de ocorrência de odontocetos e mysticetos e a porcentagem de ocorrência de embarcações por hora e por dia no REVIS de Alcatrazes em 2019.

Mês	Correlação entre odontocetos e embarcações por dia	Correlação entre odontocetos e embarcações por hora	Correlação entre mysticetos e embarcações por dia	Correlação entre mysticetos e embarcações por hora
Abril	Correlação positiva fraca (0,1) e regressão linear não significativa.	<u>Correlação negativa (- 0,4) e regressão linear significativa, com $R^2 = 0,1638$</u>	-	-
Julho	Correlação positiva fraca (0,07) e regressão linear não significativa.	Correlação positiva fraca (0,24) e regressão linear não significativa.	<u>Correlação negativa (- 0,4) e regressão linear significativa, com $R^2 = 0,1621$</u>	Correlação negativa fraca (-0,1) e regressão linear não significativa.
Outubro	Correlação positiva fraca (0,1) e regressão linear não significativa.	Correlação negativa fraca (-0,28) e regressão linear não significativa.	Correlação negativa fraca (-0,18) e regressão linear não significativa.	<u>Correlação negativa (- 0,57) e regressão linear significativa, com $R^2 = 0,3231$</u>
Dezembro	Correlação negativa fraca (-0,3) e regressão linear não significativa	<u>Correlação negativa (- 0,57) e regressão linear significativa, com $R^2 = 0,2006$</u>	-	-

Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos demonstram-se bastante promissores no tocante ao uso do MAP para monitoramento e fiscalização de UCs. Foi possível elaborar uma avaliação inicial sobre as frequências de ocorrências de embarcações, foco principal deste estudo, bem como de presença de cetáceos odontocetos e mysticetos. Essas duas categorias de detecções serão importantes para

trazer eficiência ao manejo de UCs marinhas no Brasil, dada às peculiaridades das mesmas em relação à melhor proteção dos recursos naturais.

O uso de ferramentas como o software Raven Pro 1.5, que geram espectrogramas para cada arquivo de áudio gravado, permitiram a distinção de sinais acústicos de embarcações que passaram próximas ao hidrofone, apesar de demandar muito tempo de análise. Com a detecção dessas passagens foi possível elaborar histogramas contendo a ocorrência desses sinais no REVIS de Alcatrazes ao longo do mês e por hora do dia. A vantagem desses histogramas é que são uma maneira didática e prática de visualização dos dados, tendo potencial para aplicação em futuros relatórios de monitoramentos de UCs marinhas com uso do MAP. Talvez seja possível, em estudos futuros, elaborar um código de programação em R, por exemplo, que elabore automaticamente e possivelmente em tempo real os referidos histogramas com base em dados coletados, trabalhados e alimentados.

A classe de ruídos envolvendo “outras atividades” não apresentou comportamento aleatório. Porém, deve-se ter cautela na interpretação dos resultados pois eles podem incluir tanto atividades periódicas quanto atividades não periódicas (IHLER; HUTCHINS; SMYTH, 2006). O fato do coeficiente de difusão indicar uma distribuição ligeiramente agregada pode estar associado à permanência das embarcações na região. Entretanto, para confirmar essa hipótese, é preciso realizar mais estudos com observações do comportamento de embarcações no local por meio da permanência de equipes de fiscalização na região, ou instalação de câmeras que detectam movimento (MCWHINNIE, 2019).

As tendências mostradas por histogramas de frequência de ocorrência de embarcações também vêm se mostrando uma importante ferramenta para aconselhar a gestão de UCs marinhas a melhor distribuir seus esforços de monitoramento e fiscalização, de modo a maximizar a detecção de atividades potencialmente ilegais (KLINE *et al.*, 2020). Para a região analisada no REVIS de Alcatrazes, os dados apresentados nesse estudo indicaram um padrão de maior ocorrência na segunda quinzena de cada mês monitorado. Porém esse padrão pode estar associado às condições de clima e mar para navegação em águas abertas, como observado com a diminuição do total de ocorrências de embarcações na maior parte dos dias em que houve a entrada de frentes frias no litoral norte do estado de São Paulo, como é o caso dos dias 29 de abril, 4, 5 e 16 de julho, e 7 de outubro. Entretanto, em alguns dias em que foi notificado a passagem ou aproximação dessas frentes ainda se notou a ocorrência de embarcações relacionadas à “outras atividades”, como é caso dos dias 6 e 15 de outubro, e de turismo, no dia 19 de outubro. Em alguns feriados nacionais e municipais como entre 19 e 21 de abril, foi

observado significativo aumento de ocorrência de embarcações. Porém, foram principalmente associadas às atividades de turismo e fiscalização. A detecção de mais eventos de passagens de embarcações durante feriados também foi observada em unidades de conservação na Austrália (KLINE *et al.*, 2020).

Um padrão sazonal também foi observado com a maior ocorrência de embarcações em relação ao total de horas analisadas durante o mês de julho, assim como maior porcentagem delas associada à classe “outras atividades”. Deve-se levar em conta que o mês de julho no Brasil, geralmente está associado às férias escolares, assim como o mês de dezembro. Entretanto, também coincide com o inverno, que é a época de maior incidência de frentes frias e menores temperaturas médias na região sudeste. Enquanto o mês de abril que obteve o menor número de ocorrências relacionadas às “outras atividades”, coincidiu com um dos meses em que houve menor ocorrência de frentes frias na região e com o período de defeso da maior parte das espécies de camarão (BRASIL, 2008). O camarão é um dos principais recursos pesqueiros do litoral norte do estado de São Paulo (ALVES; ARFELLI; TOMÁS, 2009).

Outro padrão importante a ser levado em consideração para a gestão da UC é a concentração de embarcações associadas às “outras atividades” no período da noite e início da manhã, entre meia noite e 8 horas, com pico ocorrendo às 6 horas da manhã. Quanto ao dia da semana, as ocorrências, com exceção daquelas associadas à embarcações de turismo que se sobressaíram aos sábados, flutuaram muito ao longo do tempo, o que seria esperado, visto que barcos de passagem para pesca, passeio ou da Marinha costumam não ter dia da semana fixo para navegação.

É preciso levar em consideração que para as análises realizadas foram contabilizadas apenas as ocorrências de embarcações em que houve confirmação acústica do sinal, após inspeção visual dos espectrogramas e escuta clara do sinal. Em algumas ocasiões, ruídos de embarcações mais afastadas podem ter sido desconsiderados por serem confundidos com sinais biológicos (biofonia) ou do ambiente físico (geofonia) que estiveram intensos em baixas frequências em determinados períodos do dia. Dessa forma, recomenda-se para trabalhos futuros uma melhor exploração dos dados utilizando o sistema AIS para verificar a contribuição sonora de navios de grande porte na região de estudo (ver MERCHANT *et al.*, 2012b). Para melhor identificar as embarcações presentes dentro dos limites de restrição da UC e sua permanência na região, se recomenda a investigação de passagens de embarcações por meio de imagens de satélite de alta definição, e a análise de parâmetros acústicos como variações na

frequência e intensidade dos tons do ruído e a atenuação do som no meio (CORBANE *et al.*, 2010; KLINE *et al.*, 2020).

Outra informação fundamental é a caracterização acústica das embarcações, com o objetivo de se desenvolver uma assinatura acústica específica para cada embarcação, possibilitando a distinção entre os diferentes tipos. Nesse sentido, o presente estudo tentou utilizar de ferramentas mais simples, como a caixa de seleção e medições no Raven Pro 1.5, para distinguir assinaturas acústicas para os diferentes tipos de embarcações notificadas. Porém esse método se provou pouco eficaz por causa da grande variação dos parâmetros acústicos medidos em relação a um mesmo tipo de embarcação. Essa grande variação pode estar associada à ocorrência de mais de uma embarcação nos dias e horários notificados. Assim, para refinamento da análise, recomenda-se o uso de algoritmos como o HEAT (*Harmonic Extraction Analysis Tool*) que acompanham a variação da frequência fundamental do ruído delas ao longo do tempo e extrai a amplitude dos tons harmônicos associados (OGDEN *et al.*, 2011). Dessa forma, pode ser possível identificar assinaturas acústicas de embarcações específicas mesmo quando mais de uma está presente. Esse tipo de algoritmo é também empregado em ferramentas de softwares para voltados para a conservação de áreas marinhas protegidas (ZURK *et al.*, 2014).

Em relação à ocorrência de sinais acústicos de cetáceos odontocetos, o fato de estarem presentes em todas as estações do ano analisadas, em pelo menos 36% dos dias de cada estação, mostra a importância da UC para esses predadores de topo de teia alimentar. Espécies de odontocetos já notificados nas proximidades do arquipélago incluem, por exemplo, o golfinho-de-dentes-rugosos, *Steno bredanensis* (SOUZA *et al.*, 2009); o golfinho-pintado-do-atlântico, *Stenella frontalis* (SANTOS *et al.*, 2010); e o golfinho-comum, *Delphinus delphis* (TAVARES *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2010). Os cetáceos mysticetos também estiveram presentes durante o inverno e primavera, representados pelos meses de julho e outubro. O padrão observado ilustra a migração da maior parte das espécies desse grupo, de modo que ocupam regiões tropicais e subtropicais durante o inverno e primavera para reprodução, nascimento e cria de filhotes, e regiões temperadas e polares para alimentação durante o verão (STERN; FRIEDLAENDER, 2017). Espécies migradoras reportadas na costa do estado de São Paulo incluem a baleia-franca-austral (*Eubalaena australis*), a baleia-minke-comum (*Balaenoptera acutorostrata*), a baleia-minke-Antártica (*Balaenoptera bonaerensis*) e a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) (NUNES, 2015). A ocorrência de ruídos de mysticetos em 1 dia de dezembro pode indicar a presença de baleias-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) já avistadas se

alimentando na região, ocorrendo geralmente durante os meses de verão e outono (ZERBINI *et al.*, 1997; SILICIANO *et al.*, 2004; Figueiredo *et al.*, 2020). É possível que a forma de visualização dos dados acústicos, restrito conjunto de dias analisados no verão e erros associados à capacidade de detecção do operador podem ter prejudicado na detecção dos possíveis sinais dessas espécies. Para futuros estudos, recomenda-se a análise de um período maior dos meses de verão e com diferentes taxas de amostragem e formas de visualização dos dados. Além disso, foi apontado que o centroide dos nichos fundamentais de *Steno bredanensis*, *Stenella frontalis* e *Balaenoptera edeni* pode estar localizado próximo ao arquipélago (Figueiredo *et al.*, 2020). Muito provavelmente em função do grau de proteção desta UC nas últimas décadas, ela se tornou em um centro produtor e exportador de energia e matéria, atraindo cetáceos para as suas cercanias, sendo suficientemente rica para manter essas visitas constantes.

Os resultados referentes à correlação entre a presença de cetáceos e embarcações que obtiveram coeficiente de regressão significativa apontaram regressão linear ligeiramente negativa. Porém apenas uma pequena porcentagem da variação da ocorrência de cetáceos foi explicada pela presença de embarcações. Assim, é importante se investir em futuros estudos que monitorem a reação de cetáceos à presença de embarcações, principalmente após a abertura da UC para o turismo. Essa resposta pode ser variável, desde evitá-las até a aproximação para “surfing” nas ondas geradas pela proa das embarcações em movimento (RICHARDSON; WÜRSIG, 1997). A fraca correlação negativa entre a ocorrência de embarcações e sons produzidos por esses animais pode estar relacionada à tolerância desses indivíduos à presença de embarcações. Entretanto, esse resultado também pode ser decorrente de uma coincidência, devido aos cetáceos odontocetos possivelmente dependerem mais do som para alimentação e orientação no período noturno, visto que a maior parte dos registros foram concentrados na ausência de luz (WOOD; EVANS, 1979). Para cetáceos mysticetos, essa fraca correlação negativa pode ser decorrente do mascaramento de sons emitidos por esses animais por ruídos de embarcações, que tendem a ocupar a mesma faixa de frequência (CLARK *et al.*, 2009).

O presente estudo apresentou a frequência mensal de ocorrência de ruídos derivados da passagem de embarcações e emitidos por cetáceos mysticetos e odontocetos próximos à Ilha de Alcatrazes utilizando-se o MAP e considerando apenas um hidrofone. Isso evidenciou padrões de ocorrência sazonais e diários que podem ser úteis para o direcionamento de esforços de fiscalização e monitoramento do REVIS de Alcatrazes. Em relação à caracterização acústica das embarcações, ainda é preciso se investir em mais estudos e em outras técnicas para

refinamento da análise e definição de uma assinatura acústica particular de cada tipo de embarcação, podendo, assim, integrar a biblioteca de sons referente à paisagem acústica local.

Recomendações para o Manejo e a Fiscalização

É importante para o manejo da unidade de conservação o acompanhamento do tráfego de embarcações na região, dadas as limitações de uso público do REVIS de Alcatrazes. Nesse sentido, recomenda-se testar um direcionamento de esforços de monitoramento e fiscalização em meses e horários que apresentaram maior número de ocorrências relacionadas às “outras atividades” neste estudo. No presente estudo, esse padrão foi observado no período de início da manhã, entre meia noite e 8 horas, com máxima em 6 horas, e durante o mês de julho. Certamente, pelo alto dinamismo dos oceanos, pode ser que em anos seguintes haja maior plasticidade de uso da UC por “outras atividades”.

Outra recomendação é o investimento em outras técnicas e análises que complementem os resultados apresentados no presente estudo. Por exemplo, técnicas de avaliação se a embarcação se encontra presente dentro dos limites da unidade por meio de imagens de satélite de alta definição, análise de parâmetros acústicos como a atenuação do som no meio e o efeito Doppler, e sistemas de acompanhamento da trajetória de embarcações com GPS, como é o caso do AIS. O melhor refinamento das técnicas para definição de assinaturas acústicas visando a identificação dos diferentes tipos de embarcações também é recomendado para melhorar a qualidade do monitoramento acústico na região.

Em paralelo, mostra-se a grande importância do MAP para monitorar o uso de área de cetáceos mysticetos e odontocetos, cujos resultados reforçam as iniciativas para a conservação da UC. Pelo exposto, recomenda-se que o ICMBio considere em seus investimentos futuros o uso do MAP em UCs marinhas.

Agradecimentos

Agradeço ao ICMBio e CNPq pelo financiamento da pesquisa por meio da bolsa de iniciação científica, e todo o suporte concedido via email durante a vigência dela. À minha orientadora Silvia Neri Godoy que sempre foi muito compreensiva, ajudando com o que foi preciso, e fazendo a ponte entre a universidade e a unidade de conservação, ICMBio de Alcatrazes. Ao meu coorientador Marcos César de Oliveira Santos pela correção e revisão do trabalho, assim como todas as dicas, oportunidades e suporte, sempre auxiliando com o andamento do trabalho. À Ednéia Barreto que ajudou na triagem (inspeção visual de

espectogramas) de parte dos dados acústicos. À Dominik Nachtsheim que ajudou com recomendações de trabalhos científicos relacionados ao tema. Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pelo fornecimento de dados meteorológicos de passagens de frentes frias. E finalmente, à Amanda Martinelli que me introduziu ao ramo da acústica e me ajudou com as dúvidas e preocupações que tive ao longo do trabalho.

Referências bibliográficas

ALVES, Pedro Mestre Ferreira; ARFELLI, Carlos Alberto; TOMÁS, Acácio Ribeiro Gomes. Caracterização da pesca de emalhe do litoral do Estado de São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, n. 1, p. 17-27, 2009.

AU, W. WL. Characteristics of dolphin sonar signals. *In*: AU, W. WL. **The Sonar of Dolphins**. Springer, New York, NY, 1993. p. 115-139.

AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. New York, NY: Springer US, 2008.

BASS, A. H.; MCKIBBEN, J. R. Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. **Progress in Neurobiology**, v. 69, p.1–26, 2003.

BOWEN, W. D. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. **Marine Ecology Progress Series**, v. 158, p. 267-274, 1997.

BRADLEY, D. L.; NICHOLS, S. M. Worldwide low-frequency ambient noise. **Acoustics Today**, v. 11, n. 1, p. 20-26, 2015.

BRASIL. Decreto s/n, de 2 de agosto de 2016. Cria o Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes no litoral norte do Estado de São Paulo. **Diário Oficial da União**, Seção 1, p. 3, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa IBAMA nº 189, de 23 de setembro de 2008. Época de defeso das espécies de camarão no Brasil. Disponível em: < https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2008/in_ibama_189_2008_defesocamaroes_revoga_in_ibama_91_2006_92_2006.pdf > . Acesso em 5 de outubro de 2020.

Committee on Taxonomy. 2019. List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, www.marinemammalscience.org, consultado em 03/02/2020.

CASTRO, Belmiro M. de; MIRANDA, Luiz B. de; SILVA, Lourval dos S.; FONTES, Roberto F. C.; PEREIRA, Adriene F.; COELHO, Alexandre L. Processos Físicos: Hidrografia, Circulação e Transporte. *In*: PIRES-VANIN, Ana M. S. (org.). **Oceanografia de um**

Ecosistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP. São Paulo: Edusp, 2008. p. 59-121.

CASTRO, Belmiro M. de; MIRANDA, Luiz B. de; MIYAO, Sadako Y. Condições Hidrográficas na Plataforma Continental ao Largo de Ubatuba: Variações Sazonais e em Média Escala. **Boletim do Instituto oceanográfico, São Paulo**, 35 (2): p. 135- 151, 1987.

CLARK, Christopher W. *et al.* Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201-222, 2009.

CORBANE, Christina; NAJMAN, Laurent; PECOUL, Emilien; DEMAGISTRI, Laurent; PETIT, Michel. A complete processing chain for ship detection using optical satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 22, p. 5837-5854, 2010.

CUNHA, Ícaro. Conflito ambiental em águas costeiras: relação porto-cidade no Canal de São Sebastião. **Ambiente & sociedade**, v. 6, n. 2, p. 83-98, 2003.

DOTY, Maxwell S.; OGURI, Mikihiro. The island mass effect. **ICES Journal of Marine Science**, v. 22, p. 33-37, 1956.

FIGUEIREDO, Giovanna C.; AMARAL, Karina B.; SANTOS, Marcos C. de O. Cetaceans along the southeastern Brazilian coast: occurrence, distribution and niche inference at local scale. **PeerJ**, v.8, e10000, 2020.

FRISK, G. V. Noiseconomics: The relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. **Scientific Reports**, v. 2, n. 437, 2012.

GAVRILOV, A.N.; PARSONS; M.J.G. A Matlab tool for the characterisation of recorded underwater sound (CHORUS). **Acoustics Australia**. v.42, n..3, pp. 190-196, 2014

GOVE, Jamison M. *et al.* Near-island biological hotspots in barren ocean basins. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2016.

HUBERT, P.; CHUNG, A.; PADOVESE, L. R. A Bayesian binary algorithm for RMS-based acoustic signal segmentation. **arXiv preprint arXiv:1902.06315**, 2019

ICMBio. **Plano de Manejo da Estação Ecológica Tupinambás e Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes**. Brasília, vol. 2, maio de 2017.

IHLER, Alexander; HUTCHINS, Jon; SMYTH, Padhraic. Adaptive event detection with time-varying poisson processes. *In: Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. 2006. p. 207-216.

JEFFS, A.; TOLIMIERI, N.; MONTGOMERY, J. C. Crabs on cue for the coast: The use of underwater sound for orientation by pelagic crab stages. **Marine and Freshwater Research**, 2003.

JOHNSTON, P.; WYATT, R. Remote passive acoustic monitoring (RPAM): Listening for whales and dolphins from the safety of land. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, v. 44, n. 12, 2015.

KAPLAN, M. B.; MOONEY, T. A. Ambient noise and temporal patterns of boat activity in the US Virgin Islands National Park. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1-2, p. 221-228, 2015.

KACHELRIESSA, Daniel; WEGMANNB, Martin; GOLLOCKD, Matthew; PETTORELLI, Nathalie. The application of remote sensing for marine protected area management. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 169– 177, 2014.

KLINE, Logan R. *et al.* Sleuthing with sound: Understanding vessel activity in marine protected areas using passive acoustic monitoring. **Marine Policy**, v. 120, p. 104138, 2020.

KUNC, H. P.; MCLAUGHLIN, K. E.; SCHMIDT, R. Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1836, 2016.

LUTZ, S.J.; MARTIN, A.H. **Fish Carbon: Exploring Marine Vertebrate Carbon Services**. Arendal: GRID-Arendal, 2014.

MAXWELL, S. M.; BAN, N. C.; MORGAN, L. E. Pragmatic approaches for effective management of pelagic marine protected areas. **Endangered Species Research**, Vol. 26, p. 59–74, 2014.

MARINE TRAFFIC. Marine Traffic: Mapa ao vivo - mapa de densidade, c2007 - 2020. Página inicial. Disponível em: < <https://www.marinetraffic.com/pt/ais/home/centerx:-46.1/centery:-23.9/zoom:9> >. Acesso em: 27 de set. de 2020.

MCWHINNIE, L. *et al.* The grand challenges in researching marine noise pollution from vessels: a horizon scan for 2017. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, p. 31, 2017.

MCWHINNIE, L. Characterising the small vessel fleet using passive acoustics: implications for southern resident killer whale critical habitat management. In: World Marine Mammal Conference, 2019, Barcelona. **Book of abstracts**. Barcelona: 2019.

MELLINGER, D.K.; STANFFORD, K.M.; MOORE, S.E.; DZIAK, R.P.; MATSUMOTO, H. An Overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. **Oceanography**, v. 20, n. 4, p. 36-45, 2007.

MERCHANT, N. D. *et al.* Averaging underwater noise levels for environmental assessment of shipping. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 4, p. EL343-EL349, 2012a.

MERCHANT, N. D. *et al.* Assessing sound exposure from shipping in coastal waters using a single hydrophone and Automatic Identification System (AIS) data. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 7, p. 1320-1329, 2012b.

MERCHANT, N. D., PIROTTA, E., BARTO T. R.; THOMPSON, P. M. Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals. **Marine Pollution Bulletin**, vol. 78, pp. 85-95, 2014.

MERCHANT, N. D. *et al.* Soundscape and noise exposure monitoring in a marine protected area using shipping data and time-lapse footage. *In*: POPPER, A. N.; HAWKINS, A. **The Effects of Noise on Aquatic Life II**. Springer, New York, NY, 2016. p. 705-712.

MESSIÉ, Monique; PETRENKO, Anne; DOGLIOLI, Andrea M.; ALDEBERT, Clément; MARTINEZ, Elodie; KOENIG, Guillaume; *et al.* The delayed island mass effect: How islands can remotely trigger blooms in the oligotrophic ocean. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 2, 2020.

MOORE, S. E. Marine mammals as ecosystem sentinels. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 3, p. 534-540, 2008.

NUNES, Julia M. F. M. **Cetáceos e as unidades de conservação marinhas do Estado de São Paulo: diagnóstico dos impactos e ações visando à conservação de espécies**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

OGDEN, George L.; ZURK, Lisa M.; JONES, M. E.; PETERSON, M. E. Extraction of small boat harmonic signatures from passive sonar. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 6, p. 3768-3776, 2011.

RICHARDSON, W. J.; WÜRSIG, B. Influences of man-made noise and other human actions on cetacean behaviour. **Marine & Freshwater Behaviour & Phy**, v. 29, n. 1-4, p. 183-209, 1997.

ROHLF, F. James; SOKAL, Robert R. **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. New York: Freeman, 1981.

ROMAN, J. *et al.* Whales as marine ecosystem engineers. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 12, n. 7, p. 377-385, 2014.

ROSS, D. Ship Sources of Ambient Noise. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2005.

SICILIANO, Salvatore *et al.* Strandings and feeding records of Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) in south-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 84, n. 4, p. 857-859, 2004.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. A methodology for analyzing biological choruses from long-term passive acoustic monitoring in natural areas. **Ecological Informatics**, vol. 41, pp. 1-10, 2017.

SIMMONDS, M.P.; LOPEZ-JURADO, L.F. 1991. Whales and the military. **Nature**, v. 337, p. 448.

SIMPSON *et al.* Homeward Sound. **Science**, v. 308, n. 5719, p. 221, 2005.

SORENSEN, E. *et al.* Passive acoustic sensing for detection of small vessels. **OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE**, Seattle, p. 1-8., 2010.

SOUZA, S. P.; CARDOSO, J.; PENTEADO, M. Observações oportunísticas contribuem com dados sobre cetáceos no Arquipélago dos Alcatrazes. *In: VI Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*. 2009.

STERN, S.J.; FRIEDLAENDER, A. Migration and movement. *In: WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J.G.M.; KOVACS, K.M. (Eds.). Encyclopedia of Marine Mammals*, 3rd Edition, Academic Press. p.602-606, 2017.

TAKASE, Leonardo S. **Modelagem numérica do clima e energia de ondas no Arquipélago de Alcatrazes, SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

TAVARES, Mauricio; MORENO, Ignacio B.; SICILIANO, Salvatore; RODRÍGUEZ, Diego; SANTOS, Marcos C. De O.; LAILSON-BRITO Jr, José; FABIÁN, Marta E. Biogeography of common dolphins (genus *Delphinus*) in the Southwestern Atlantic Ocean. **Mammal Review**, v. 40, n. 1, p. 40-64, 2010.

THOMSON, D., H.; RICHARDSON, W. J. Marine Mammal Sounds. *In: RICHARDSON, W. J. et al. Marine Mammals and Noise*. San Diego: Academic Press, 1995. p. 159-204.

URICK, R.J. Principles of underwater sound. 3rd ed. **McGraw-Hill**, N Boris Worm,^{1*} Edward B. Barbier,² Nicola Beaumont,³ J. Emmett Duffy,⁴. 1983.

WILLIAMS, R. *et al.* Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean & Coastal Management**, v. 115, p. 17-24, 2015.

WOOD, F. G.; EVANS, W. E. Adaptiveness and ecology of echolocation in toothed whales. *In: BUSNEL, R.G.; FISH, J. F. Animal Sonar Systems*. Springer, Boston, MA, 1979. p. 381-425.

ZERBINI, Alexandre N.; SECCHI, Eduardo R.; SICILIANO, Salvatore; SIMÕES-LOPES, Paulo César. A review of the occurrence and distribution of whales of the genus

Balaenoptera along the Brazilian coast. **Report of the International Whaling Commission**, v. 47, p. 407-417, 1997.

ZIMMER, W.M.X. 2013. Range estimation of cetaceans with compact volumetric arrays. **CMRE Reprint Series**, p. 1-9.

ZURK, Lisa M.; OU, Helen H.; SCHECKLMAN, Scott; LUTWAK, Ayal. Acoustic Monitoring of Marine Conservation Areas. **Marine Technology Society Journal**, v. 48, n. 6, p. 21-32, 2014.