



**MARINHA DO BRASIL
INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
MARINHA**

YAGHO FERREIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE TRANSIÇÃO ACÚSTICA DE COSTÕES
ROCHOSOS E SEU POTENCIAL COMO RECURSO BIOTECNOLÓGICO
AMBIENTAL MARINHO**

**ARRAIAL DO CABO / RJ
2023**

YAGHO FERREIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DA TRANSIÇÃO ACÚSTICA DE COSTÕES
ROCHOSOS E SEU POTENCIAL COMO RECURSO BIOTECNOLÓGICO
AMBIENTAL MARINHO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia Marinha.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Contrera Xavier
Coorientador: Prof. Dr. Bernardo Antonio P. da Gama

ARRAIAL DO CABO / RJ
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

R175c Ramos, Yagho Ferreira

Caracterização da zona de transição acústica de costões rochosos e seu potencial como recurso biotecnológico ambiental marinho / Yagho Ferreira Ramos. – Arraial do Cabo: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2023.

73 f.

Orientador: Fabio Contrera Xavier.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e Universidade Federal Fluminense - IEAPM/UFF, Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, Arraial do Cabo, 2023.

1. Monitoramento Acústico Passivo. 2. Paisagem Acústica. 3. Biofonia.
I. Xavier, Fabio Contrera. II. Título.

CDD:660.6

YAGHO FERREIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE TRANSIÇÃO ACÚSTICA DE COSTÕES
ROCHOSOS E SEU POTENCIAL COMO RECURSO BIOTECNOLÓGICO
AMBIENTAL MARINHO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia Marinha.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Fabio Contrera Xavier
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
Professor Orientador – Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

Dra. Lis Bittencourt Vilas Boas
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

ARRAIAL DO CABO, 24 DE MAIO DE 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me permitir chegar até aqui. Gostaria de agradecer, também, a todos que me apoiaram nessa jornada:

À minha mãe e ao meu pai, por todo amor e todo apoio, que fizeram de mim a pessoa que sou hoje. Sem vocês nada disso seria possível. Amo vocês.

Aos meus orientadores, Dr. Fabio Contrera Xavier e Dr. Bernardo Antônio P. da Gama que me acompanharam e que muito me ensinaram. Obrigado por serem tão prestativos e por me ajudarem a dar este passo em minha jornada acadêmica. Muitos foram os desafios enfrentados até aqui, mas vocês me ajudaram a me manter de pé.

Aos meus amigos do grupo de Bioacústica do IEAPM: Bira, Murilo, Aléxia, Sâmia, Viviane e Alexandre e Daniel Campbell (*in memoriam*). Obrigado a todos vocês pela parceria e apoio. Obrigado Bira e Murilo que tanto me ajudaram com a estruturação deste trabalho. Vocês são a prova viva que Ciência não se faz sozinho. Obrigado, Aléxia e Viviane por toda a ajuda com a revisão deste trabalho. Todos vocês sempre se mostraram dispostos a ajudar e a me apoiar deste curso.

Aos meus amigos da turma do IFRJ que me acompanharam e me apoiaram a dar mais este passo em minha jornada acadêmica.

Ao PPGBM, em especial ao Dr. Ricardo Coutinho pelo apoio. Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos e que tanto contribuíram em minha trajetória.

À banca: Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto e Dra. Lis Bittencourt Vilas Boas. Obrigado por aceitarem o convite e fazerem parte deste trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: As cores da Biotecnologia representam os diversos ramos de pesquisa e aplicação.....	14
Figura 2: Produção científica anual sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.	17
Figura 3: Mapa global de produção científica sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.....	18
Figura 4: Autores mais relevantes associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.....	19
Figura 5: Documentos mais citados associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.....	21
Figura 6: Classificação das publicações associadas ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos de acordo com os grupos de animais estudados em: Cetáceos, Peixes e Invertebrados	23
Figura 7: Nuvem de palavras associada à área da Biotecnologia Marinha	27
Figura 8. Os componentes da Paisagem Acústica Submarina: Biofonia, Geofonia e Antropofonia	32
Figura 9. Mapa da área de estudo – Ilha do Cabo Frio (Arraial do Cabo – RJ) com o ponto de localização do hidrofone.....	35
Figura 10. Equipamento de aquisição de sinais acústicos	36
Figura 11. Ciclo de trabalho do equipamento: <i>Duty cycle</i> de 20%	37
Figura 12. Variação anual dos Níveis de Pressão Sonora nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo – RJ (A); Coeficiente de variação calculado para a variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava (B).....	39

Figura 13. Espectrograma com dados medianos dos Níveis de Pressão Sonora por hora, para cada frequência - Paisagem Acústica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo/RJ (A); Classificação das Zonas de frequência em: ZB – Zona de baixas frequências, ZT – Zona de Transição e ZA – Zona de altas frequências (B); Identificação de eventos acústicos classificados como: CB – Coro bioacústico e EMB – Tráfego de embarcações (C).....41

Figura 14. Variação sazonal dos Níveis de Pressão Sonora nas bandas de frequência da Zona de Transição (1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz e 2kHz)43

Figura 15. Coeficiente de variação dos Níveis de Pressão Sonora médios das zonas acústicas, ao longo do dia - Paisagem Acústica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo/RJ. Classificação das Zonas de frequência em: ZB – Zona de baixas frequências, ZT – Zona de Transição e ZA – Zona de altas frequências.45

Figura 16. Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz) ..47

Figura 17. Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz)..... 50

Figura 18. Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz) ...52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais informações bibliométricas sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos	16
Tabela 2: Descrições das publicações mais recentes sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos associadas aos autores mais relevantes.	20
Tabela 3: Descrição dos documentos mais citados associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos	22
Tabela 4: Descrição da produção científica brasileira associada ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos	24
Tabela 5: Estatística descritiva do Nível de Pressão Sonora (dB) de diferentes bandas de frequência de 1/3 de oitava	40
Tabela 6: Classificação das bandas de frequência de 1/3 de oitava estudadas em diferentes Zonas Acústicas	42
Tabela 7: Estatística descritiva da variação sazonal do Nível de Pressão Sonora (dB) nas frequências da Zona de Transição (1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz e 2kHz)	44
Tabela 8: Condições de temperatura da água e número de embarcações especificadas para análise de complexidade acústica	46
Tabela 9: Estatística descritiva do Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz)	48
Tabela 10: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz)	49

Tabela 11: Estatística descritiva do Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz)	50
Tabela 12: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz).....	51
Tabela 13: Estatística descritiva do Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz)	52
Tabela 14: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o Índice de Complexidade Acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz)	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACI	<i>Acoustic Complexity Index</i> (Índice de complexidade acústica)
AF	“Água Fria”
AQ	“Água Quente”
BIOCOM	Projeto “Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos da Comunicação submarina”
cE	“com Embarcações”
CV	Coeficiente de Variação
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEAPM	Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
KW	Kruskal-Wallis
MAP	Monitoramento Acústico Passivo
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAS	Paisagem Acústica Submarina
ResexMar-AC	Reserva Extrativista Marinha
sE	“sem Embarcações”
SPL	<i>Sound Pressure Level</i> (Nível de Pressão Sonora)
UC	Unidade de Conservação
ZA	Zona de Alta Frequência
ZB	Zona de Baixa Frequência
ZT	Zona de Transição entre Frequências

RESUMO

Os oceanos são essenciais para a vida no planeta. No entanto, diferentes pressões antrópicas têm ameaçado esses sistemas, como poluição, degradação de habitats e mudanças climáticas. Neste contexto, a Biotecnologia Marinha pode ser uma ferramenta útil para alcançar os principais objetivos estabelecidos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Na primeira parte deste estudo, realizamos uma análise bibliométrica sobre o uso do Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos para discutir sua implementação como recurso biotecnológico. O Monitoramento Acústico Passivo é uma ferramenta inovadora, que permite o monitoramento de ecossistemas marinhos à distância, de forma remota e não invasiva. Observa-se um crescimento significativo na produção científica associada ao uso do Monitoramento Acústico Passivo marinho nos últimos anos. As principais palavras-chave identificadas demonstram uma relação direta entre o campo da Biologia Marinha e o ramo emergente voltado para a Biotecnologia. Na segunda parte deste estudo, utilizamos dados obtidos a partir de um projeto de monitoramento acústico, para caracterizar a paisagem acústica de um ambiente de costão rochoso. O objetivo geral deste trabalho é analisar uma zona de transição acústica como métrica na avaliação de um ambiente marinho. O monitoramento foi realizado na Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo (RJ). A partir da análise da variação dos níveis de pressão sonora (SPL), observam-se padrões distintos de distribuição em diferentes bandas de frequência. As alterações mais perceptíveis na zona de transição ocorreram durante o período de tráfego marítimo e durante o coro bioacústico do anoitecer. Utilizando o Índice de Complexidade Acústica (ACI) observou-se uma maior variação na zona de transição, o que pode refletir a influência da antropofonia e da biofonia. A aplicação de análises envolvendo zonas de transição acústica em estudos ambientais marinhos pode servir como um indicador de poluição sonora. A aparente sensibilidade desta zona pode ajudar a identificar a influência do ruído e de outras variáveis sobre os organismos marinhos. Nesse contexto, estimamos o uso de assinaturas bioacústicas como produto e o Monitoramento Acústico Passivo como serviço para aplicações ambientais. O uso da biofonia como recurso biotecnológico tem grande potencial para o monitoramento de populações, biodiversidade e qualidade ambiental marinha. O reconhecimento de assinaturas acústicas de animais como produto biotecnológico ultrapassa os limites mais tradicionais e amplia as possibilidades de novos ramos de pesquisa. O Monitoramento Acústico Passivo permite o monitoramento de forma autônoma, não invasiva e por longos períodos. Assim, o desenvolvimento e ampliação da Biotecnologia Marinha somam-se aos esforços científicos, em prol da conservação dos oceanos e seus recursos.

PALAVRAS-CHAVE: MONITORAMENTO ACÚSTICO PASSIVO, PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA, POLUIÇÃO SONORA, BIOFONIA, SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.

ABSTRACT

The oceans are critical to life on the planet. However, different anthropogenic pressures have been threatening these systems, such as pollution, habitat degradation, and climate change. In this context, Marine Biotechnology can be a useful tool to achieve the main goals established in the 2030 Agenda for Sustainable Development. In the first part of this study, we conducted bibliometric analyzes on the use of Passive Acoustic Monitoring in marine environments to discuss its implementation as a biotechnological resource. Passive Acoustic Monitoring is an innovative tool that allows the monitoring of marine ecosystems at a distance, in a remote and non-invasive way. There has been a significant growth in scientific production associated with the use of Marine Passive Acoustic Monitoring in the last years. The main keywords identified demonstrate a direct relationship between the field of Marine Biology and the emerging branch focused on Biotechnology. In the second part of this study, we used data obtained from an acoustic monitoring project to characterize the soundscape of a rocky shore environment. The objective of this study is to analyze an acoustic transition zone as a metric in the evaluation of a marine environment. The monitoring was carried out on Ilha do Cabo Frio, in the municipality of Arraial do Cabo (RJ). Based on the analysis of the variation in sound pressure levels (SPL) distinct distribution patterns are observed in different frequency bands. The most noticeable changes in the transition zone occurred during the period of maritime traffic and during the dusk bioacoustic chorus. Using the Acoustic Complexity Index (ACI) a greater variation was observed in the transition zone, which may reflect the influence of anthropophony and biophony. The application of analysis involving acoustic transition zones in marine environmental studies can be an indicator of noise pollution. The apparent sensitivity of this zone can help identify the influence of noise and other variables on marine organisms. In this context, we estimate the use of bioacoustic signatures as a product and MAP as a service for environmental applications. The use of biophony as a biotechnological resource has great potential for monitoring populations, biodiversity and marine environmental quality. The recognition of the acoustic signatures of animals as a biotechnological product goes beyond the more traditional limits, which expands the possibilities for new areas of research. Passive Acoustic Monitoring allows monitoring autonomously, non-invasively and for long periods. Thus, the development and expansion of Marine Biotechnology are added to scientific efforts, in favor of the conservation of the oceans and their resources.

KEYWORDS: PASSIVE ACOUSTIC MONITORING, UNDERWATER SOUNDSCAPE, NOISE POLLUTION, BIOPHONY, ECOSYSTEM SERVICES.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	15
2. OBJETIVOS	29
2.1. OBJETIVO GERAL	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3. EXPLORANDO A ZONA DE TRANSIÇÃO ACÚSTICA DE UM COSTÃO ROCHOSO	30
3.1. INTRODUÇÃO	31
3.2. METODOLOGIA.....	34
3.2.1. Área de estudo	34
3.2.2. Equipamento e aquisição de dados	36
3.2.3 Análise de dados.....	37
3.2.3.1. Análise da Paisagem Acústica local	37
3.2.3.2. Caracterização da Zona de Transição Acústica.....	37
3.2.3.3. Análise de Complexidade Acústica	38
3.3. RESULTADOS	39
3.3.1. Análise da Paisagem Acústica local.....	39
3.3.2. Caracterização da Zona de Transição Acústica	41
3.3.3. Análise de complexidade acústica	46
3.3.3.1. Análise do ACI em ZB.....	47
3.3.3.2. Análise do ACI em ZT	49
3.3.3.3. Análise do ACI em ZA.....	51
3.4. DISCUSSÃO	53
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE – TABELAS: VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÉDIOS DAS ZONAS ACÚSTICAS	70

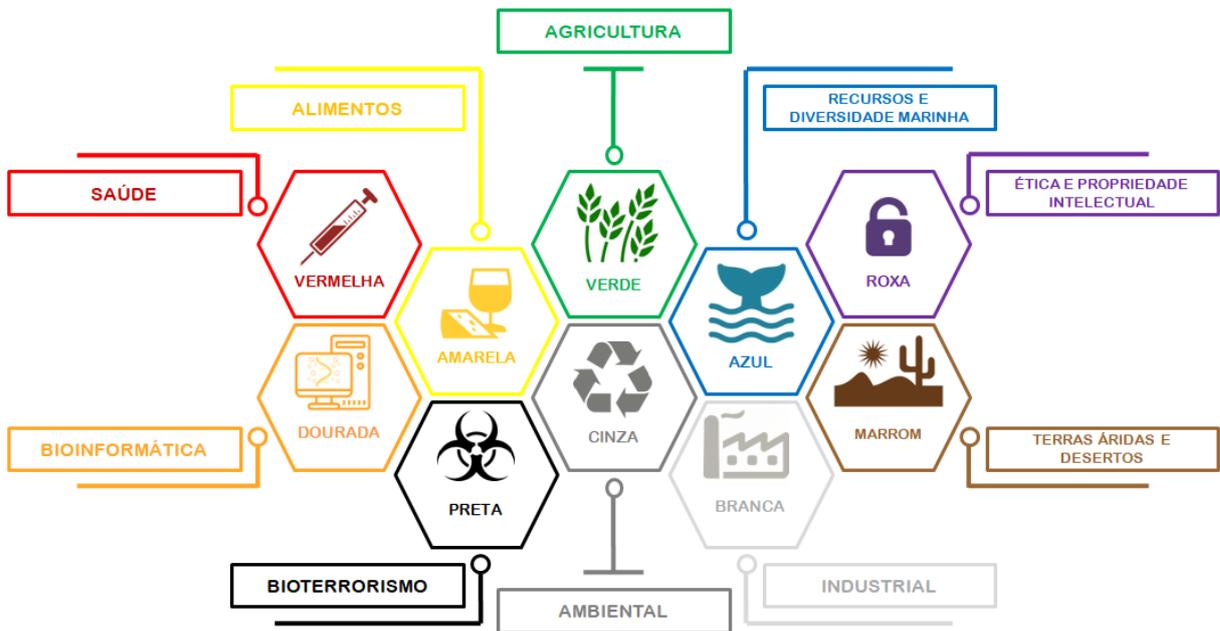
1. INTRODUÇÃO

Os oceanos são fundamentais para a vida no planeta e suportam muitos bens e serviços ecossistêmicos associados à provisão de alimentos, matéria-prima e energia, à regulação do clima e à ciclagem de nutrientes. Além disso, os oceanos oferecem serviços de suporte aos organismos marinhos vivos, serviços culturais associados ao lazer e recreação, entre outros (BARBIER, 2017; FARONI-PEREZ *et al.*, 2020; MOONEY *et al.*, 2020). No entanto, diferentes pressões têm ameaçado esses ecossistemas, como mudanças climáticas, superexploração, poluição e degradação do habitat (CLAUDET *et al.*, 2020).

Para minimizar esses problemas, a Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030) (UN, 2015). Entre os objetivos propostos, o ODS 14 – Vida na Água – visa conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos. Isso ocorre através do incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de pesquisa científica para contribuir para a saúde dos oceanos e da biodiversidade marinha. Além disso, isso inclui o desenvolvimento de sistemas integrados e sustentáveis de monitoramento ambiental marinho que aumentem o conhecimento sobre os oceanos (UN, 2015; VISBECK, 2018; CLAUDET *et al.*, 2020; MCTI, 2021). Nesse contexto, a Biotecnologia pode ser uma ferramenta útil para alcançar as principais metas estabelecidas na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

A Biotecnologia pode ser definida como campo de aplicação tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos ou derivados destes, para fabricar produtos ou processos com utilidade específica (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 1992). Para facilitar o entendimento e as aplicações, foram propostas cores específicas para cada ramo da biotecnologia (KAFARSKI, 2012; MATYUSHENKO *et al.*, 2016) (Figura 1).

Figura 1. As cores da Biotecnologia representam os diversos ramos de pesquisa e aplicação. Biotecnologia vermelha: aplicada à saúde, utilizada na medicina para aprimoramento de tratamentos e medicamentos, incluindo manipulação genética; Biotecnologia dourada: usada em Bioinformática e Nanotecnologia; Biotecnologia amarela: associada à produção de alimentos e controle nutricional; Biotecnologia verde: aplicada à agricultura, incluindo variedades vegetais geneticamente modificadas; Biotecnologia azul: associada à exploração de recursos biológicos marinhos; Biotecnologia roxa trata de questões jurídicas, questões éticas e filosóficas, incluindo o desenvolvimento de patentes; Biotecnologia marrom: dedicada à obtenção e exploração de organismos resistentes a ambientes áridos; Biotecnologia branca: aplicada à produção de energia e fabricação de produtos em escala industrial; Biotecnologia cinza: voltada à proteção ambiental, utilizando técnicas de monitoramento, biorremediação e reciclagem de produtos; e Biotecnologia Preta: reúne um conjunto de ações ligadas ao desenvolvimento de armas biológicas e biodefesa.



Fonte: Autoria própria.

Apesar dessa divisão, as ramificações podem se relacionar entre si e constituir outras áreas de aplicação, como a Biotecnologia Ambiental Marinha, que resulta da intercessão entre os ramos cinza e azul. Segundo Singh (2017), a Biotecnologia Ambiental consiste no desenvolvimento, uso e regulação de sistemas biológicos (produtos ou serviços) para aplicações em diferentes campos, incluindo monitoramento ambiental. A Biotecnologia Ambiental Marinha está presente em diversas atividades de pesquisa ao utilizar um sistema biológico marinho para obter informações sobre seu ambiente. Neste caso, um exemplo consiste no uso recorrente de organismos indicadores ecológicos pela comunidade científica para estudos ambientais (PARMAR *et al.*, 2016).

O monitoramento ambiental é essencial para a conservação e preservação de ecossistemas marinhos (COSTELLO *et al.*, 2017). No entanto, muitas tecnologias utilizadas não são sustentáveis e possuem caráter invasivo (WYNSBERGHE e

DONHAUSER, 2018). Uma alternativa a isso é o uso de técnicas de monitoramento remoto de organismos, como o Monitoramento Acústico Passivo (MAP), que se baseia na recepção de sensores usados para detectar sinais acústicos. Diversos estudos mostraram que o MAP é uma ferramenta inovadora, não invasiva e promissora para avaliar os ecossistemas marinhos (MERCHANT *et al.*, 2015; MIKSIS-OLDS, MARTIN e TYACK, 2018; HOWE *et al.*, 2019).

O arranjo complexo de sons biológicos, abióticos e antropogênicos (classificados como biofonia, geofonia e antropofonia, respectivamente) de um ambiente marinho constituem a Paisagem Acústica Submarina (PAS), com uma assinatura acústica particular para diferentes ambientes (CAMPBELL, 2018). Essa paisagem acústica é entendida como elemento do ecossistema e possui padrões temporais, espectrais e sazonais que permitem extrair informações do ambiente em questão (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; HARRIS e RADFORD, 2014).

Mas como o Monitoramento Acústico Passivo e a Biotecnologia Ambiental Marinha estão relacionados? Diante desta questão, realizamos uma análise bibliométrica sobre a utilização do MAP em ambientes marinhos para identificar sua implementação como recurso biotecnológico.

1.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A bibliometria abrange um conjunto de técnicas de monitoramento dos recursos informacionais, utilizadas para avaliar a atividade de pesquisa e o gerenciamento da informação científica. Diante da disponibilidade de acesso, no momento em questão, realizamos uma pesquisa bibliográfica usando o banco de dados SCOPUS. Neste levantamento foram consideradas todas as publicações disponíveis na base de dados com data de publicação até 2022. Os termos utilizados no filtro de busca do banco de dados foram denominados termos-chave.

Os dados dos documentos disponíveis foram adquiridos pelo *Software R 4.3 version* através do pacote *Bibliometrix R-package*. Este pacote inclui os principais métodos de análise bibliométrica para mapeamento científico (ARIA & CUCCURULLO, 2017; R CORE TEAM, 2019). Os dados foram importados e trabalhados a partir de informações associadas ao título, ano de publicação, autoria, países envolvidos e colaborações, citações, fontes da publicação e palavras-chave. Vale ressaltar que os dados do SCOPUS são dinâmicos e estão em constante

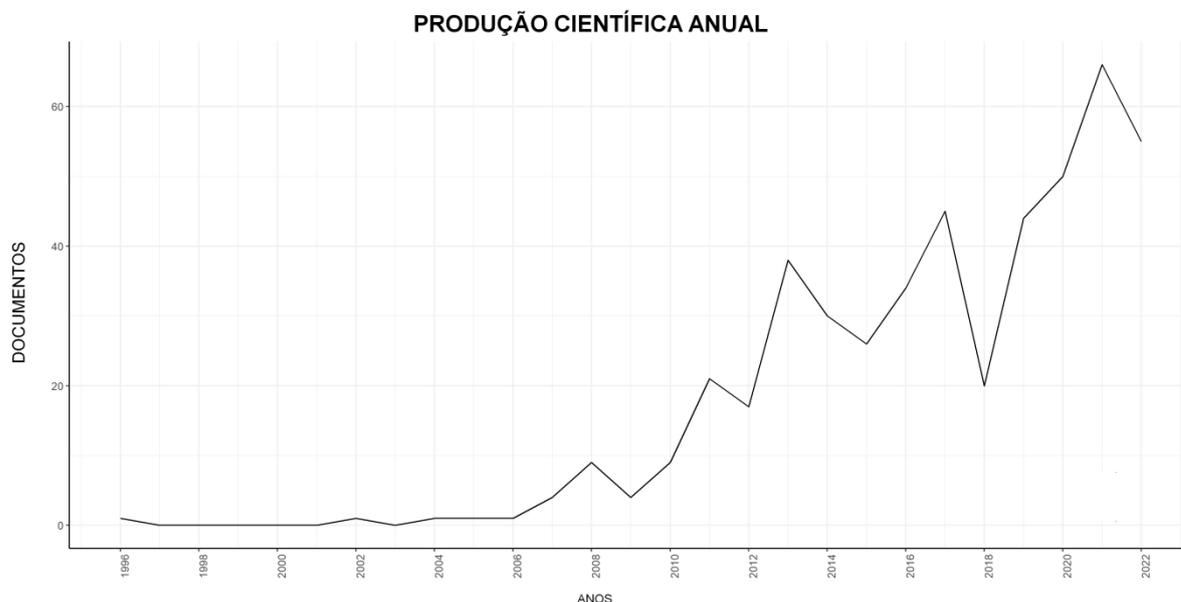
atualização. Assim, os dados aqui obtidos correspondem ao dia em que o levantamento foi realizado e os dados foram exportados pelo programa.

Em uma busca geral, os termos-chave '*Passive Acoustic Monitoring*' e '*marine*' foram combinados para localizar publicações que continham essas palavras no título, resumo ou entre as palavras-chave. Nesta busca foram encontradas 477 publicações científicas com datas de publicação entre os anos de 1996-2022. As principais informações desse levantamento são apresentadas na Tabela 1. Os dados da produção científica anual são apresentados na Figura 2.

Tabela 1: Principais informações bibliométricas sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.

Descrição	Resultados
Base de dados	Scopus
Termos de busca	"Passive Acoustic Monitoring" AND "marine"
Documentos	477
Documentos de autoria única	28
Documentos de autoria múltipla	441
Documentos de autoria indefinida	8
Período	1996 - 2022
Taxa de crescimento anual (%)	16.7
Fontes (revistas, livros, etc.)	182
Autores	1653
Autores de documentos de autoria única	20
Autores de documentos de autoria múltipla	1633
% de autorias internacionais	34.6
Média de citações por documento	16.04
Palavras-chave identificadas	2694

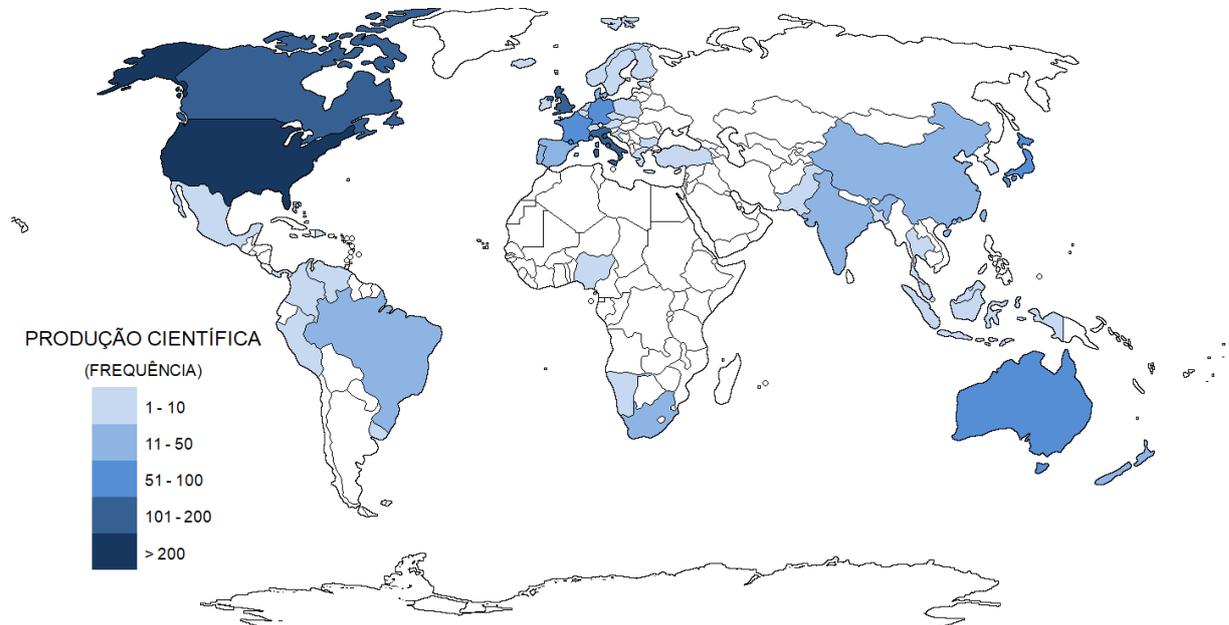
Figura 2: Produção científica anual sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos. A produção corresponde ao número de publicações registradas entre 1996-2022.



Recentemente, houve um crescimento significativo na produção científica associada ao uso do MAP no ambiente marinho, correspondendo a uma taxa de crescimento anual de 16,7%. Aproximadamente 49% da produção concentram-se nos últimos cinco anos (2018-2022), evidenciando a difusão de metodologias acústicas em estudos associados ao meio marinho no atual contexto científico. Entre as publicações disponíveis, a maior parte encontra-se no formato de artigo (329), anais de congresso (110), revisão (14) e capítulo de livro (13).

Os dados importados incluem informações de autoria e uma lista de países associados a essas publicações. A Figura 3 destaca a produção científica dos países pela frequência registrada dos autores envolvidos nas publicações.

Figura 3: Mapa global de produção científica sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos. A produção corresponde à frequência de participação dos países entre as afiliações registradas nas publicações associadas ao Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.



Fonte: Autoria própria.

Um total de 49 países foram identificados, considerando também artigos em coautoria. Os Estados Unidos e os países do Reino Unido se destacam por representar as maiores frequências de publicação (39,1% e 11,0%, respectivamente). Em seguida, Canadá, Itália e Japão representam 7,1%, 6,8% e 4,3% da frequência de participação, respectivamente. O Brasil representa cerca de 2,4% da frequência total registrada, ainda assim, destacando-se como o país com maior produção científica da América do Sul. De forma geral, os países europeus apresentam contribuição significativa em pesquisas com MAP no meio marinho. Adicionalmente, os países europeus, com os Estados Unidos, Canadá e Austrália se destacam entre as relações de colaboração científica entre os países.

Os autores mais relevantes apontados a partir do número de publicações são destacados na Figura 4. Na Tabela 2 são apresentados os artigos mais recentes destes autores, dentro dos termos de busca e período estabelecidos neste levantamento. Os nomes listados na tabela correspondem ao primeiro autor de cada documento, considerando a participação de alguns dos autores destacados como colaboradores.

Figura 4: Autores mais relevantes associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos. A relevância corresponde ao número de publicações associadas a cada autor.

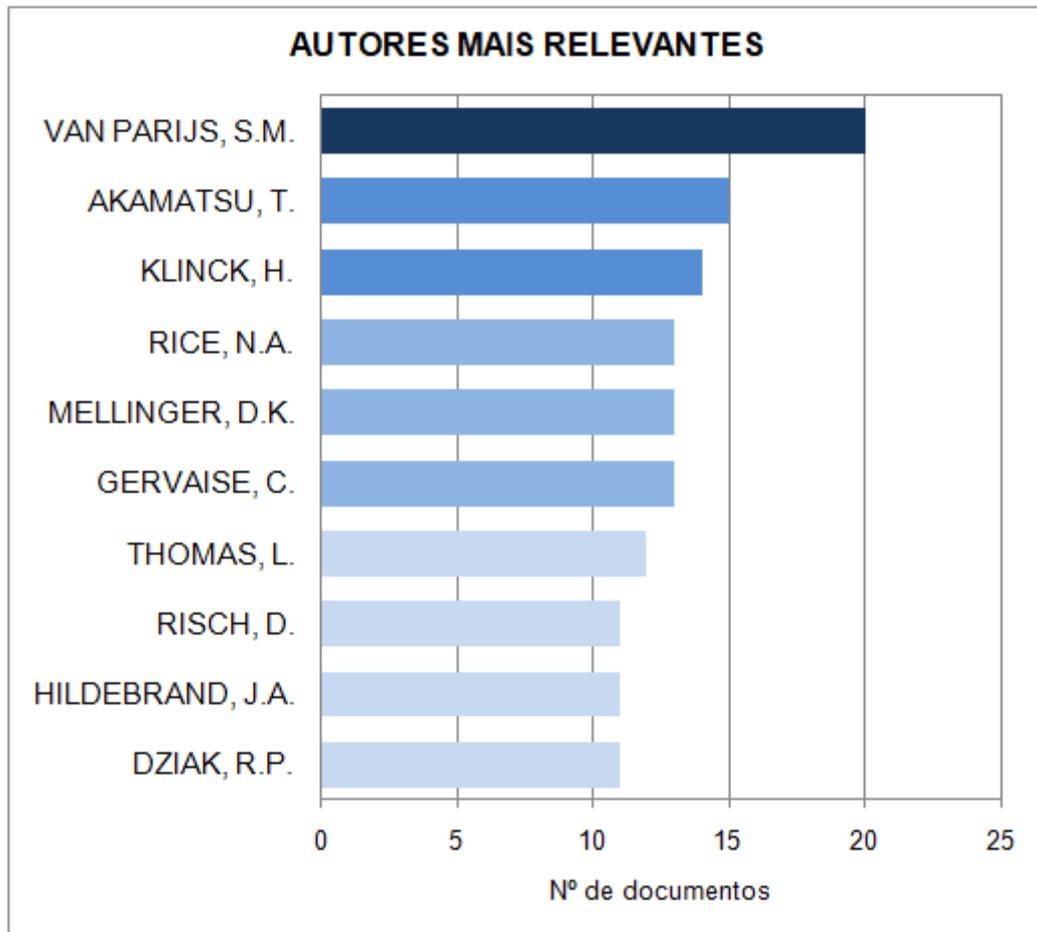


Tabela 2: Descrição das publicações mais recentes sobre o uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos associadas aos autores mais relevantes.

Autores	Autores destacados	Descrição
Haver <i>et al.</i> (2021)	Van Parijs, S. M.; Mellinger, D. K.	Avaliação dos níveis de pressão sonora como indicativo da atividade de navegação comercial em águas dos EUA e o impacto sobre diferentes paisagens acústicas submarinas.
Siddagangaiah <i>et al.</i> (2020)	Akamatsu, T.	Estudo de avaliação de métricas (H) e (SE) para detecção autônoma de sinais acústicos de golfinhos em ambientes contendo outros sons de biofonia e de antropofonia.
Davis <i>et al.</i> (2020)	Klinck, H.	Utilização de conjuntos de dados acústicos para compreender padrões de distribuição sazonal de baleias no Oceano Atlântico Norte.
Pyć <i>et al.</i> (2021)	Rice, N. A.	Análise do comportamento vocal de espécie de peixe ameaçado de extinção e os efeitos potenciais dos níveis de ruído de embarcações.
Desiderà <i>et al.</i> (2022)	Gervaise, C.	Utilização do monitoramento acústico passivo para identificar potenciais agregações reprodutivas de uma espécie de peixe no Mar Mediterrâneo.
Durbach <i>et al.</i> (2021)	Thomas, L.	Estudo para avaliar mudanças no comportamento e na atividade acústica de baleias, em resposta à utilização de sonares em treinamento da Marinha.
White <i>et al.</i> (2022)	Risch, D.	Utilização de um modelo computacional de aprendizado para detecção de sinais acústicos de mamíferos marinhos e demonstrar sua aplicação em estudos de paisagens acústicas em águas rasas.
Ziegenhorn <i>et al.</i> (2022)	Hildebrand, J. A.	Utilização de métodos de aprendizado de máquina para detecção e classificação de cliques de ecolocalização de odontocetos em ilhas havaianas.
Munger <i>et al.</i> (2022)	Dziak, R. P.	Análise de um método de aprendizado de máquina para detecção, análise de distribuição temporal e atividade acústica de espécies de peixes.

Em relação às citações, as principais publicações associadas a esta análise bibliométrica são destacadas na Figura 5 e na Tabela 3.

Figura 5: Documentos mais citados associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos. Os nomes dos primeiros autores e o ano de publicação dos documentos são destacados no gráfico.

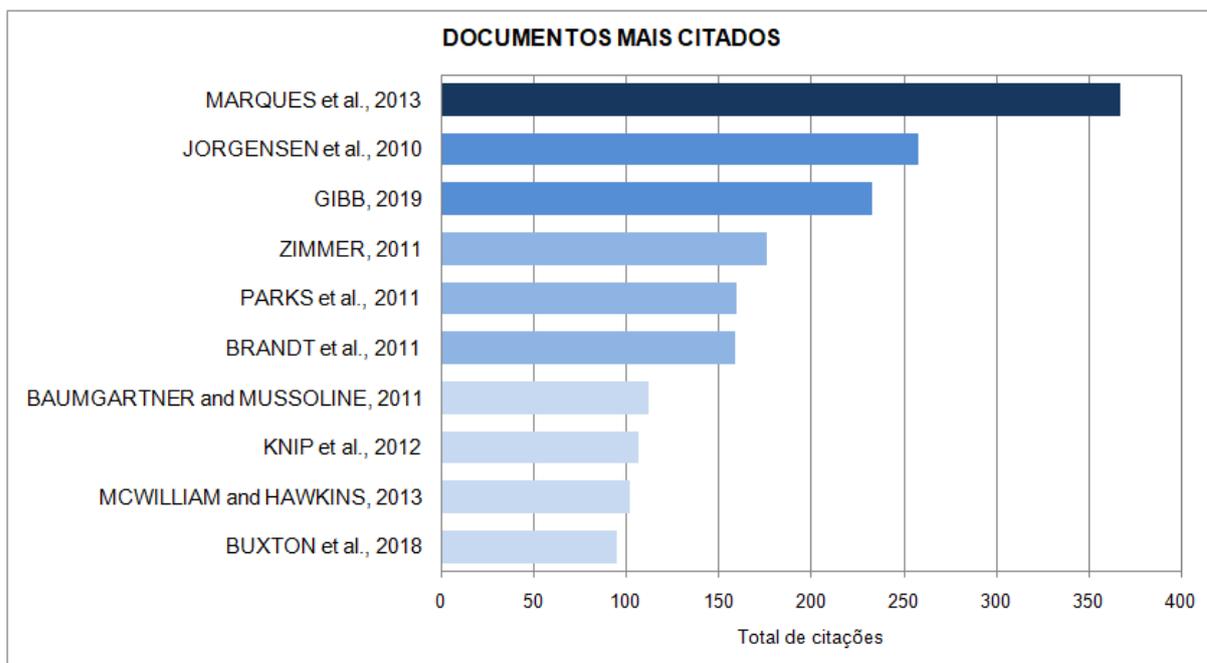
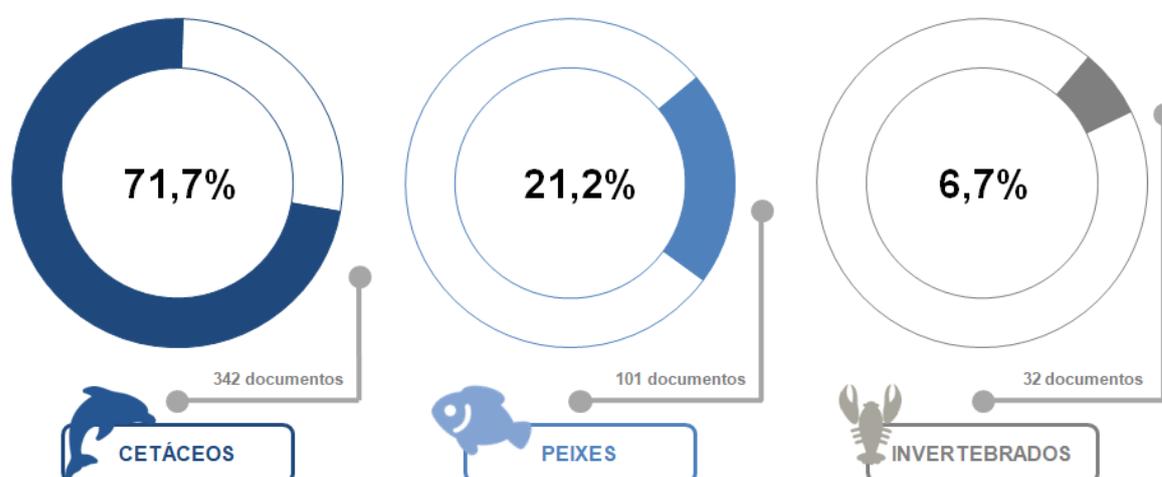


Tabela 3: Descrição dos documentos mais citados associados ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.

Autores	Descrição
Marques <i>et al.</i> (2013)	Revisão sobre abordagens metodológicas disponíveis para estimativa de densidade de populações animais, baseadas em acústica passiva.
Jorgensen <i>et al.</i> (2010)	Utilização de marcação de satélite, monitoramento acústico passivo e análise genética para determinar a dinâmica espacial de tubarões e caracterização genética dos indivíduos.
Gibb <i>et al.</i> (2019)	Revisão sobre as aplicações atuais das tecnologias de monitoramento acústico passivo, desafios e tendências emergentes em pesquisa ecológica.
Zimmer (2011)	O livro fornece uma abordagem sobre o monitoramento acústico passivo, discutindo conceitos e aplicações. Apresentação do código MATLAB como ferramenta para análise e avaliação de sistemas MAP.
Parks <i>et al.</i> (2011)	Estudo de investigação das mudanças de comportamento de vocalização de baleias diante do aumento do ruído de origem antrópica. São investigadas modificações na intensidade, duração e frequência em nível individual.
Brandt <i>et al.</i> (2011)	Utilização de dispositivos de monitoramento acústico passivo para investigar a resposta comportamental de botos ao ruído de construção em parque eólico <i>offshore</i> .
Baumgartner and Mussoline (2011)	Desenvolvimento de um sistema automatizado de detecção e classificação acústica para identificar vocalizações de baleias. Descrição do algoritmo e uma avaliação do sistema usando gravações adquiridas.
Knip <i>et al.</i> (2012)	Estudo de avaliação do grau de proteção de áreas marinhas para a conservação de tubarões, a partir do monitoramento de indivíduos equipados com transmissores acústicos.
McWilliam e Hawkins (2013)	Comparação de paisagens acústicas entre habitats bentônicos e a influência de diferentes fatores ambientais.
Buxton <i>et al.</i> (2018)	Revisão sobre a eficácia de índices acústicos no monitoramento da biodiversidade de ambientes terrestres e aquáticos.

A partir da busca geral, outros termos-chave como *'cetacean'*, *'mammal'*, *'whale'*, *'dolphin'*, *'fish'*, *'shark'*, *'invertebrate'*, *'shrimp'*, *'lobster'*, *'mussel'* e *'coral'* foram combinados de forma complementar análise para identificar e classificar as publicações de acordo com o grupo de animais estudados. Nessa análise complementar, as publicações encontradas foram divididas em três subgrupos: cetáceos, peixes e invertebrados, conforme a Figura 6.

Figura 6: Classificação das publicações associadas ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos de acordo com os grupos de animais estudados em: Cetáceos, Peixes e Invertebrados. Os resultados ultrapassam cem por cento, pois são considerados trabalhos envolvendo mais de um dos grupos.



Fonte: Autoria própria.

Podemos observar o protagonismo do grupo dos cetáceos em estudos envolvendo monitoramento acústico, principalmente tendo em vista o grande potencial vocal de seus representantes. O grupo dos peixes tem ganhado mais destaque nos últimos anos, enquanto o MAP dos invertebrados ainda representa uma pequena parcela desse cenário. Os resultados ultrapassam os cem por cento, pois são considerados trabalhos envolvendo mais de um dos grupos, além de outros estudos mais amplos, de natureza ecossistêmica, que não envolvem especificamente um grupo-alvo.

Quanto à produção brasileira, foram identificados 19 documentos associados ao MAP, com data de publicação entre 2013-2022. Nesse caso, são considerados artigos onde ao menos um dos autores possui afiliação com uma instituição brasileira. As principais informações de autoria, afiliação e descrição dessas publicações são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Descrição da produção científica brasileira associada ao uso de Monitoramento Acústico Passivo em ambientes marinhos.

Autores	Afiliação brasileira	Descrição
Paitach <i>et al.</i> (2022)	Universidade da Região de Joinville (Univille); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).	Estudo para avaliar a eficiência de sinais sonoros de afastamento de golfinhos e os possíveis efeitos colaterais de habituação e exclusão de habitat.
Amorim <i>et al.</i> (2022)	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).	Estudo de identificação acústica e classificação de cetáceos em uma área marinha brasileira afetada pelo rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração.
Peixoto <i>et al.</i> (2022)	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).	Estudo de identificação de respostas acústicas de alimentação usando quimioatrativos marinhos aplicada a uma espécie de camarão.
Borie-Mojica <i>et al.</i> (2022)	Universidade Federal de Alagoas (UFAL); Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste (CEPENE); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).	Caracterização da variação temporal e lunar do coro de peixes e sons antrópicos produzidos por embarcações em uma área marinha protegida.
Lima <i>et al.</i> (2022)	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez Mello (CENPES/PETROBRAS); Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).	Descrição do planejamento, execução e resultados do primeiro ciclo do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS). O projeto foi concebido a partir de uma demanda do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) à PETROBRAS para cumprimento de condicionante ambiental no processo de licenciamento ambiental federal dos sistemas de produção do Pré-Sal. O objetivo do projeto consiste em caracterizar a paisagem acústica submarina e monitorar eventuais impactos decorrentes dos incrementos das atividades antropogênicas da empresa na região.

Dalpaz <i>et al.</i> (2022)	Universidade Federal de Santa Catarina; Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira; Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.	Análise de comparação de desempenho entre métodos passivos de pesquisa acústica e visual ao pesquisar uma comunidade de cetáceos em uma área de pesquisa de grande escala.
Sanchez-Gendriz (2021)	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	Descrição dos fundamentos do Processamento Digital de Sinais (DSP) e sua utilidade no contexto da análise Ecoacústica.
Aguiar <i>et al.</i> (2021)	Universidade Católica do Paraná; Universidade Estadual de Maringá.	Proposta de implementação de filtros MAP, como a criação de protocolos experimentais de acordo com as datas e locais das gravações.
Minello <i>et al.</i> (2021)	Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM); Universidade Federal Fluminense (UFF).	Revisão sobre estudos que desenvolveram e testaram índices ecoacústicos para avaliação de ambientes marinhos.
Bittencourt <i>et al.</i> (2018)	Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ); Instituto de Pesquisas da Marinha (IPQM); Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES/PETROBRÁS)	Utilização de um veículo de superfície não tripulado acoplado a um sistema de MAP na busca de padrões de presença acústica de cetáceos.
Bittencourt <i>et al.</i> (2017)	Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ); Instituto de Pesquisas da Marinha (IPQM); Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES/PETROBRÁS)	Estudo preliminar sobre a presença acústica de golfinhos utilizando um sistema de gravação autônomo em veículo não tripulado.

Sanchez-Gendriz e Padovese (2017a)	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	Utilização de cálculos tradicionais de espectrogramas, Níveis de Pressão Sonora e uma ferramenta de detecção automática para descrição de padrões diários e sazonais de coros biológicos.
Sanchez-Gendriz e Padovese (2017b)	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	Descrição dos padrões temporais diários e características dos coros acústicos em duas áreas de proteção utilizando densidade espectral de potência média e análise cepstral.
Sanchez-Gendriz e Padovese (2016)	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	Levantamento de referência da Paisagem Acústica Subaquática de duas Unidades de Conservação, avaliando a presença de sons antrópicos e biológicos.
Sanchez-Gendriz e Padovese (2015)	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	Monitoramento do ruído subaquático em região portuária baseado em cálculos de Densidade Espectral de Potência e Níveis de Pressão Sonora.
Miqueleti e Costa-Flix (2016)	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)	Apresentação e discussão das implicações da metrologia na qualidade dos dados utilizados para avaliar o ambiente marinho através do monitoramento acústico.
Kikuchi, <i>et al.</i> (2014)	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)	Estudo de detecção de eventos de alimentação de peixes-boi usando sons de mastigação captados através de gravadores subaquáticos transportados pelos animais.
Souza-Lima <i>et al.</i> (2013) (<i>conference paper e article</i>)	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	Uma revisão e inventário de gravadores autônomos fixos para monitoramento acústico passivo de mamíferos marinhos.

Observou-se também a amplitude da Biotecnologia Marinha e sua ligação a diferentes linhas biotecnológicas. Diversas palavras-chave representam pesquisas sobre produção de fármacos e exploração de produtos marinhos de algas, poríferos, bactérias e outros organismos. Além disso, estudos associados à Genética e à Engenharia de Tecidos retratam a intersecção entre a Biotecnologia Azul e os ramos da Biotecnologia Vermelha. Outros termos também destacam o desenvolvimento de técnicas de aquicultura, para cultivo e reprodução de organismos aquáticos, e outras pesquisas associadas à indústria de alimentos. No âmbito ambiental, destacam-se os estudos para o desenvolvimento de técnicas de biorremediação, baseadas na utilização de organismos vivos para descontaminação em ambientes marinhos.

Embora as aplicações aqui mencionadas sigam linhas tradicionais, a Biotecnologia, em definições mais amplas, não se limita apenas ao uso direto de organismos vivos. Nesse contexto, estimamos o uso de assinaturas bioacústicas como produto e o MAP como serviço para aplicações ambientais. Diferentes espécies de animais possuem assinaturas com características acústicas específicas. Recentemente, essas assinaturas bioacústicas já foram amplamente exploradas no campo da Biologia Marinha. O uso da biofonia como recurso biotecnológico tem grande potencial para monitoramento e estudos populacionais, monitoramento da biodiversidade e qualidade ambiental marinha. Além disso, o MAP pode ser usado para análise de impactos ambientais, identificação de mudanças ambientais e monitoramento da poluição sonora subaquática. Esta ferramenta, diferente das técnicas mais convencionais, permite estudos em ecossistemas marinhos por meio de registro remoto, com potencial não invasivo e baixo custo.

Cabe ressaltar que esta análise bibliométrica, realizada em um único banco de dados e em um intervalo de tempo, não comporta e não define a dimensionalidade da biotecnologia como campo de pesquisa. Trata-se, no entanto, de um recorte em uma busca para tentar compreender o cenário científico atual e que nos permita traçar expectativas futuras. Recomenda-se que novas revisões bibliométricas sobre a utilização do monitoramento acústico passivo sejam realizadas em outras bases de dados. Além disso, recomendam-se outras buscas complementares envolvendo outros organismos que podem compor a biofonia em paisagens acústica submarinas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar uma zona de transição acústica como recurso biotecnológico para a avaliação de um ambiente marinho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as variações na Paisagem Acústica Submarina do costão rochoso da Ilha do Cabo Frio;
- Caracterizar uma zona de transição na Paisagem Acústica Submarina;
- Analisar a Complexidade Acústica da zona de transição na Paisagem Acústica Submarina.

3. EXPLORANDO A ZONA DE TRANSIÇÃO ACÚSTICA DE UM COSTÃO ROCHOSO

Resumo: Os Desafios da Década do Oceano articulam as necessidades mais imediatas na estrutura de ação. Diante do crescimento populacional, globalização dos sistemas de transporte e intensificação de processos industriais, houve um aumento significativo na emissão de ruídos antropogênicos no ambiente marinho. O objetivo deste estudo é analisar uma zona de transição acústica como métrica na avaliação de um ambiente marinho. O monitoramento foi realizado na Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo (RJ). A partir da variação dos níveis de pressão sonora (SPL), observam-se padrões distintos de distribuição em diferentes bandas de frequência. O maior coeficiente de variação em bandas mais baixas ocorre devido aos picos de antropofonia. A partir do espectrograma, destacam-se três zonas de frequência no espectro da paisagem acústica local. Analisando a variação sazonal na zona de transição (1-2kHz), identificou-se a maior variação na banda de 1kHz, sobretudo durante o verão. As alterações mais perceptíveis na zona de transição ocorreram durante o período de atividade náutica e durante o coro bioacústico do anoitecer. Utilizando o Índice de Complexidade Acústica (ACI) observou-se uma maior variação na zona de transição, o que pode refletir a influência da antropofonia e da biofonia. As características específicas da Zona de transição são associadas a um ecótono acústico e, correspondem a uma zona de tensão no espectro sonoro, entre zonas acústicas de domínios distintos. A aplicação de análises envolvendo zonas de transição acústica em estudos ambientais marinhos pode servir como um indicador de poluição sonora. A aparente sensibilidade desta zona pode ajudar a identificar a influência do ruído e de outras variáveis sobre os organismos marinhos. Neste âmbito, estima-se o desenvolvimento de produtos e serviços baseados em características bioacústicas para medição de parâmetros que auxiliem na avaliação da saúde de ambientes marinhos.

Palavras-chave: Biotecnologia Marinha, Monitoramento Acústico Passivo, Paisagem Acústica Submarina, Índice de Complexidade Acústica, Ecótono Acústico.

Abstract: The Challenges of Decade of the Ocean articulate the most immediate needs in the framework of action. With population growth, globalization of transport systems and intensification of industrial processes, there has been a significant increase in the emission of anthropogenic noise in the marine environment. The objective of this study is to analyze an acoustic transition zone as a metric in the evaluation of a marine environment. The monitoring was carried on Ilha do Cabo Frio, in the municipality of Arraial do Cabo (RJ). Considering the variation of sound pressure levels (SPL), different patterns of distribution in different frequency bands were observed. The higher coefficient of variation in lower bands is due to anthropophonic peaks. From the spectrogram, three frequency zones are highlighted in the spectrum of the local acoustic landscape. Analyzing the seasonal variation in the transition zone (1-2kHz), the greatest variation was identified in the 1kHz band, especially during the summer. The most noticeable changes in the transition zone occurred during the period of nautical activity and during the dusk bioacoustic chorus. Using the Acoustic Complexity Index (ACI) a greater variation was observed in the transition zone, which may reflect in the influence of anthropophony and biophony.

The specific characteristics of the Transition Zone are associated with an acoustic ecotone and correspond to a tension zone in the sound spectrum, between acoustic zones of different domains. The application of analysis involving acoustic transition zones in marine environmental studies can be an indicator of sound pollution. The apparent sensitivity of this zone can help identify the influence of noise and other variables on marine organisms. In this context, it is estimated the development of products and services based on bioacoustic characteristics for measuring parameters that help in assessing the health of marine environments.

Keywords: Marine Biotechnology, Passive Acoustic Monitoring, Underwater Soundscape, Acoustic Complexity Index, Acoustic Ecotone.

3.1 INTRODUÇÃO

A Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável foi declarada pela Organização das Nações Unidas e designada como a Década do Oceano. O Plano Global, a ser implementado entre 2021 e 2030, estipula ações para atingir os resultados esperados e superar os desafios da Década, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Os Desafios da Década do Oceano articulam as necessidades mais imediatas na estrutura de ação. Tais desafios incluem a necessidade de entender e vencer a poluição marinha, proteger e restaurar ecossistemas e a biodiversidade, desenvolver habilidades, conhecimentos e tecnologia e mudar a relação da humanidade com o oceano (UNESCO-IOC, 2021).

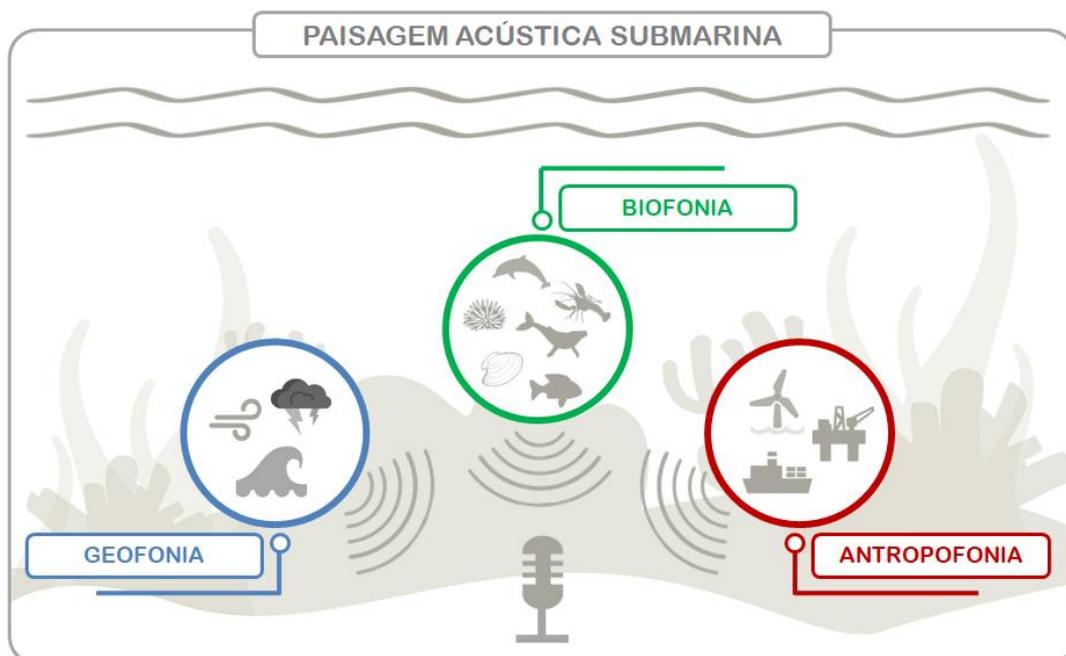
O Oceano é um sistema socioecológico complexo e dinâmico que, ao longo das últimas décadas, sofre com impactos cumulativos crescentes. Os oceanos são os reguladores do clima no planeta, além de serem fontes de recursos naturais e fornecerem serviços estéticos, culturais e recreativos. Neste contexto, a poluição marinha tem gerado preocupação em um nível global, abrangendo diferentes tipos de poluição que perturbam o ecossistema marinho, como poluição química, luminosa, plástica e sonora (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2010; ASLAN *et al.*, 2018). A poluição sonora corresponde à introdução artificial de ruídos nos oceanos, capaz de provocar impactos negativos sobre organismos marinhos (CONCHA-BARRIENTOS *et al.*, 2004). Estes ruídos são emitidos pelo tráfego de embarcações, exploração de petróleo e gás, construções *offshores* e utilização de sonares (MERCHANT *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, os impactos da poluição sonora têm recebido destaque entre a sociedade internacional e integraram-se à pauta de debate na Conferência

dos Oceanos (ONU, 2017). Diante do crescimento populacional, globalização dos sistemas de transporte e intensificação de processos industriais, houve um aumento significativo na emissão de ruídos antropogênicos no ambiente marinho. A poluição sonora tem provocado diversos efeitos nocivos sobre a fauna marinha, em escalas locais e regionais (MERCHANT *et al.*, 2015; SHANNON *et al.*, 2016).

O som apresenta papel fundamental na comunicação de diversos organismos marinhos, sendo utilizado para transmissão de sinais de perigo, acasalamento e agregação. Em alguns casos, os animais produzem sons involuntários a partir de outras atividades como natação, forrageamento e movimento de estruturas anatômicas (SIMPSON *et al.*, 2005; RADFORD *et al.*, 2008a; RADFORD *et al.*, 2008b; BUSCAINO *et al.*, 2011; MCWILLIAM & HAWKINS, 2013; FARINA, 2014). Os sons produzidos pelos organismos marinhos integram a chamada Paisagem Acústica Submarina (PAS), representada pela Figura 8. A PAS corresponde ao conjunto de sons presentes em um ambiente marinho, sendo classificados em: biofonia (origem biológica), geofonia (origem abiótica) e antropofonia (origem antropogênica). A interação entre estes sons produz uma assinatura acústica específica que pode variar em uma escala temporal e/ou espacial (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; FARINA, 2014; CAMPBELL *et al.*, 2019; MINELLO *et al.*, 2022).

Figura 8: Os componentes da Paisagem Acústica Submarina: Biofonia, Geofonia e Antropofonia.



A biofonia submarina reúne vocalizações, assobios, cliques e estalos produzidos por diversas espécies de mamíferos marinhos, peixes e invertebrados. Os sons biológicos se distribuem em uma faixa bem ampla do espectro (10Hz – 100kHz) (KUPERMAN & ROUX, 2007; LIMA *et al.*, 2022). De acordo com a Hipótese do Nicho Acústico, a evolução dos sinais acústicos ocorreria através da ocupação de determinados nichos no espectro sonoro por diferentes espécies. Este processo ocorreria de modo a minimizar sobreposições, reduzindo a competição interespecífica e garantindo o sucesso de emissão e recepção do sinal (KRAUSE, 1993; FARINA, 2014). A geofonia, associada ao movimento das ondas, ventos, chuvas e relâmpagos se concentra entre 500Hz e 10kHz. Já a antropofonia, se concentra, predominantemente, em uma faixa <1kHz (KUPERMAN & ROUX, 2007; LIMA *et al.*, 2022).

Diante da sobreposição entre faixas de frequência e dos níveis de intensidade sonora, a antropofonia pode levar a alterações nos padrões da biofonia, caracterizando-se como poluição sonora. O ruído antropogênico constitui um risco para organismos marinhos (como cetáceos, peixes e invertebrados) e, também, para o ecossistema como um todo. Diversos estudos relatam que o ruído subaquático pode induzir a problemas de comunicação e alterações no padrão de vocalização, comportamento e distribuição espacial da fauna marinha. Além disso, a exposição a ruídos de alta intensidade pode provocar danos às estruturas auditivas e até mesmo morte de organismos (SIMMONDS *et al.*, 2004; VOELLMY *et al.*, 2014; WILLIAMS *et al.*, 2015; MERCHANT *et al.*, 2015; SHANNON *et al.*, 2016; MENDES, 2021). Fontes de baixa frequência sofrem pouca atenuação, revelando a capacidade de propagação a longo alcance da antropofonia (HILDEBRAND, 2009). Os efeitos nocivos da poluição sonora podem refletir sobre as taxas de crescimento, reprodução e sobrevivência de espécies. Isso pode resultar em desequilíbrios a níveis ecossistêmicos, conseqüentemente, influenciar a disponibilidade de recursos pesqueiros para fins de consumo humano (SLABEKOORN *et al.*, 2010).

O objetivo deste trabalho é analisar uma zona de transição acústica como métrica na avaliação de um ambiente marinho. Para isso, analisamos as variações na paisagem acústica de uma área de costão rochoso; realizamos a caracterização da zona de transição acústica e; analisamos a complexidade acústica da zona de transição na Paisagem Acústica Submarina.

3.2 METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo projeto “Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos da Comunicação Submarina” (BIOCOM). O projeto de monitoramento foi realizado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, com o objetivo de caracterizar sinais acústicos biológicos nas proximidades da Ilha do Cabo Frio em Arraial do Cabo/RJ (IEAPM, 2022). O projeto baseou-se em um sistema de Monitoramento Acústico Passivo (MAP). Os dados referentes à variação de temperatura da água, precipitação, radiação solar e direção do vento foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET – estação A606 – Arraial do Cabo/RJ). As informações associadas ao tráfego marítimo (número de embarcações) nas proximidades da área de estudo foram disponibilizadas pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

As descrições associadas à área de estudo e ao equipamento e aquisição de dados acústicos são apresentadas, respectivamente, nos tópicos 3.2.1 e 3.2.2, a seguir:

3.2.1 Área de estudo

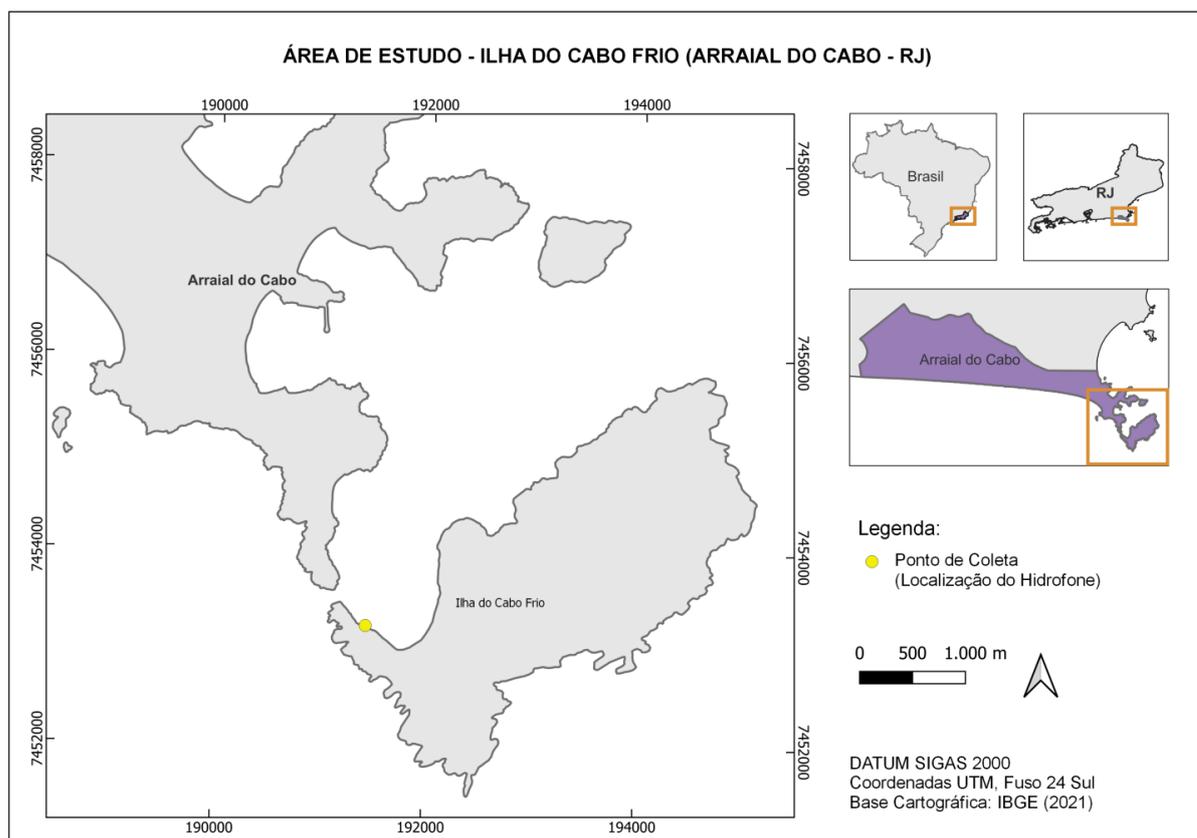
Este estudo foi realizado na Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo. O município está localizado na Região dos Lagos, litoral sudeste do Estado do Rio de Janeiro. A Ilha do Cabo Frio está inserida dentro dos limites da Reserva Extrativista do Arraial do Cabo (ResexMar-AC). A criação desta Unidade de Conservação Federal (UC) de Uso Sustentável visa garantir a exploração autossustentável dos recursos naturais, promovendo a conciliação entre atividades humanas e a conservação da biodiversidade (ICMBio, 2022). A Ilha do Cabo Frio está sob gestão e administração do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e é “patrimônio da União, de interesse da Defesa Nacional sob a jurisdição da Marinha do Brasil” (IEAPM, 2017).

Nos últimos anos, observou-se o crescimento do fluxo turístico na região, atraído principalmente pelas praias, atividades náuticas e mergulho autônomo. O aumento constante e expressivo da atividade turística dentro dos limites da ResexMar tem chamado a atenção, sobretudo pelos potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos (FABIANO, 2011).

A região também é influenciada pela ocorrência da ressurgência costeira, que consiste no afloramento de águas profundas com temperaturas abaixo dos 20°C. O fenômeno ocorre na região principalmente durante os meses de primavera e verão, com predominância dos ventos Leste e Nordeste. As águas mais frias e ricas em nutrientes favorecem a produtividade primária e influenciam diretamente a composição das espécies marinhas (MIRANDA *et al.*, 1985; BATISTA, GRANTHOM-COSTA e COUTINHO, 2020).

O monitoramento acústico foi realizado em um ponto próximo ao costão rochoso (23°00'04"S, 42°00'34"W), nas proximidades da Fenda da Nossa Senhora e do Boqueirão (Figura 9).

Figura 9: Área de estudo: Ilha do Cabo Frio – Arraial do Cabo/RJ.



Fonte: Autoria própria. Base Cartográfica IBGE (2021).

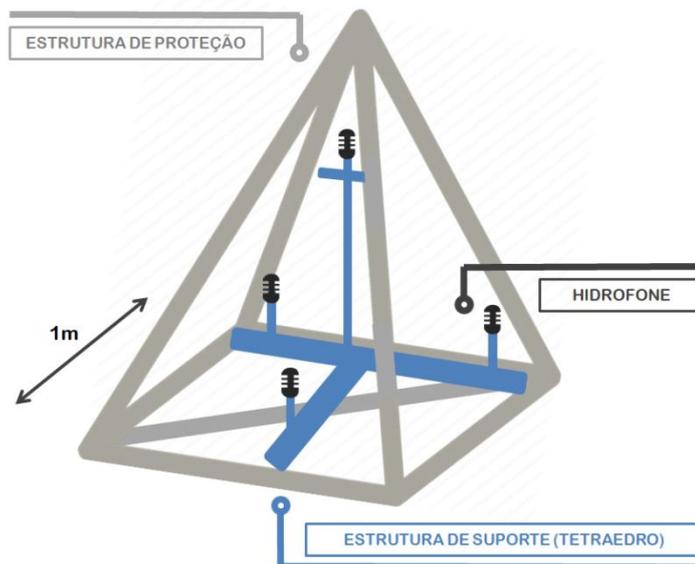
Os costões rochosos são ecossistemas marinhos dinâmicos e de grande importância ecológica e econômica, influenciados fortemente pela ação das ondas, marés, correntes e ventos (NYBAKKEN, 1997; COUTINHO, 2004; COUTINHO & ZALMON, 2009). Os costões rochosos da Baía do Arraial do Cabo abrigam grande diversidade de fauna, incluindo moluscos, crustáceos, equinodermos e uma

variedade de peixes. Estes ambientes servem como local de alimentação, abrigo e reprodução para diversos organismos (BATISTA, GRANTHOM-COSTA e COUTINHO, 2020). Em seus respectivos trabalhos, Xavier *et al.* (2018), Campbell *et al.* (2019) e Mendes (2021) destacam e descrevem a atividade bioacústica dos costões locais, com especial contribuição de invertebrados marinhos, como camarões, cracas, ouriços e mexilhões.

3.2.2 Equipamento e aquisição de dados

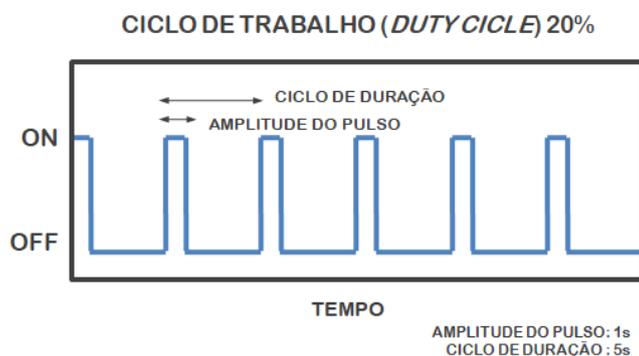
Os dados foram adquiridos por um sistema fixo de aquisição composto por uma estrutura de proteção com 4 hidrofones (modelo digital Hyd TP-1 de 4 canais da Marsensing Ltda) posicionados nos vértices de um tetraedro regular com aproximadamente 1m de lado. O equipamento, representado na Figura 10, foi instalado no dia 08 de Fevereiro de 2018 a uma profundidade de 7,55m e, aproximadamente, a 5m do costão rochoso da Ilha do Cabo Frio. O sistema foi configurado com uma frequência de amostragem de 52.734 Hz, resolução de 24 bits, sensibilidade de -174,9 dB re 1V / 1 μ Pa e resposta plana entre 0,1 e 40 kHz.

Figura 10: Equipamento de aquisição de sinais acústicos.



As gravações acústicas foram realizadas entre 08 de Fevereiro de 2018 e 31 de Janeiro de 2019 (totalizando 358 dias) com uma taxa (*duty cycle*) de 20% – 1 minuto a cada 5 minutos (12min/h). O ciclo de trabalho do equipamento é representado pela Figura 11.

Figura 11: Ciclo de trabalho do equipamento: *Duty cycle* de 20%.



3.2.3 Análise de dados

3.2.3.1 Análise da Paisagem Acústica local

A caracterização da paisagem acústica foi realizada a partir de 23 frequências centrais de 1/3 de oitava. Os níveis de pressão sonora das bandas (SPL dB re 1 μ Pa) foram calculados para cada minuto nas frequências: 125Hz, 160Hz, 200Hz, 250Hz, 315Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz, 1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz, 2kHz, 2.5kHz, 3.2kHz, 4kHz, 5kHz, 6.3kHz, 8kHz, 10kHz, 12.5kHz, 16kHz e 20kHz. A análise da variação de SPL foi realizada utilizando linguagem *Python*, levando em consideração medidas de tendência central e medidas de dispersão. Para melhor visualização da distribuição, os dados foram representados em formato de *boxplot* para cada frequência de 1/3 oitava.

3.2.3.2 Caracterização da Zona de Transição Acústica

Para caracterizar a Zona de Transição Acústica dentro do espectro da PAS local foram calculados os níveis medianos de pressão sonora (SPL) por hora, para cada uma das frequências. A partir desta análise, as frequências foram agrupadas em: Zona de Baixa Frequência (ZB), Zona de Alta Frequência (ZA) e a Zona de Transição (ZT).

A caracterização inicial da Zona de Transição foi realizada a partir de uma análise sazonal do SPL. As análises foram realizadas utilizando linguagem *Python*, levando em consideração medidas de tendência central e medidas de dispersão. Os dados da ZT foram organizados em formato de *violinplot*, conforme as estações do ano.

Para avaliar a relação do ruído antropogênico e da biofonia sobre a zona de transição foi utilizado o coeficiente de variação do SPL médio, calculado para as zonas acústicas ZB, ZT e ZA. A análise foi realizada utilizando linguagem *Python*, a partir dos valores de mediana calculados para cada horário do dia, em todas as frequências.

3.2.3.3 Análise de Complexidade Acústica

Para calcular o Índice de Complexidade Acústica (ACI) foi utilizado o pacote *Soundecology* do *R* (3.6 version) (VILLANUEVA-RIVERA & PIJANOWSKI, 2018). Este índice é calculado através da diferença absoluta entre dois valores adjacentes da intensidade, dentro de determinadas caixas de frequência e intervalos temporais no espectrograma (PIERETTI *et al.*, 2011). O ACI foi calculado para as zonas acústicas ZB, ZT e ZA, levando em consideração condições de temperatura da água, radiação solar, precipitação, vento, número de embarcações e período do dia. Nesta análise, foram considerados apenas os áudios do período do dia, entre 08-17h. Foram considerados os intervalos de frequência estabelecidos em ZB, ZT e ZA, valor do algoritmo para processamento digital de sinais (FFT = 1.024) e tamanho do cluster ($j = 5$ segundos).

Dentro de cada zona de frequência, as gravações foram divididas em um grupo controle e quatro grupos para comparação. Para as condições controle de cada zona foram considerados: temperatura da água entre 21° e 22°C; radiação solar (≤ 10 kJ/m²); sem precipitação (=0mm); sem vento (≤ 2 m/s) e sem embarcações (≤ 10). Para os grupos de comparação, foram consideradas as variáveis: água fria (≤ 20 °C) e água quente (≥ 24 °C); dias sem embarcações (<10) e com embarcações (>100). Para todos os grupos comparados, foram considerados os parâmetros de radiação solar ≥ 300 kJ/m², precipitação = 0mm e vento Nordeste ≥ 3 m/s (entre 0/80°(gr)). Os áudios que não se enquadraram nestas condições foram desconsiderados nesta análise.

Os valores de ACI foram submetidos ao teste de normalidade D'Agostino-Pearson. Em seguida, foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis, para avaliar diferenças estatísticas significativas e o teste post-hoc de Dunn, de comparações múltiplas.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Análise da Paisagem Acústica local

Durante o período de monitoramento do costão rochoso da Ilha do Cabo Frio, foram adquiridos cerca de 84 mil minutos (aproximadamente 1.403 horas) de gravações acústicas. A Figura 12 apresenta a variação de SPL das diferentes bandas de frequência acompanhada do coeficiente de variação (CV). A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos dados de cada banda de frequência analisada neste trabalho.

Figura 12: Variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava, na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo – RJ (A); Coeficiente de variação calculado para a variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava (B). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019.

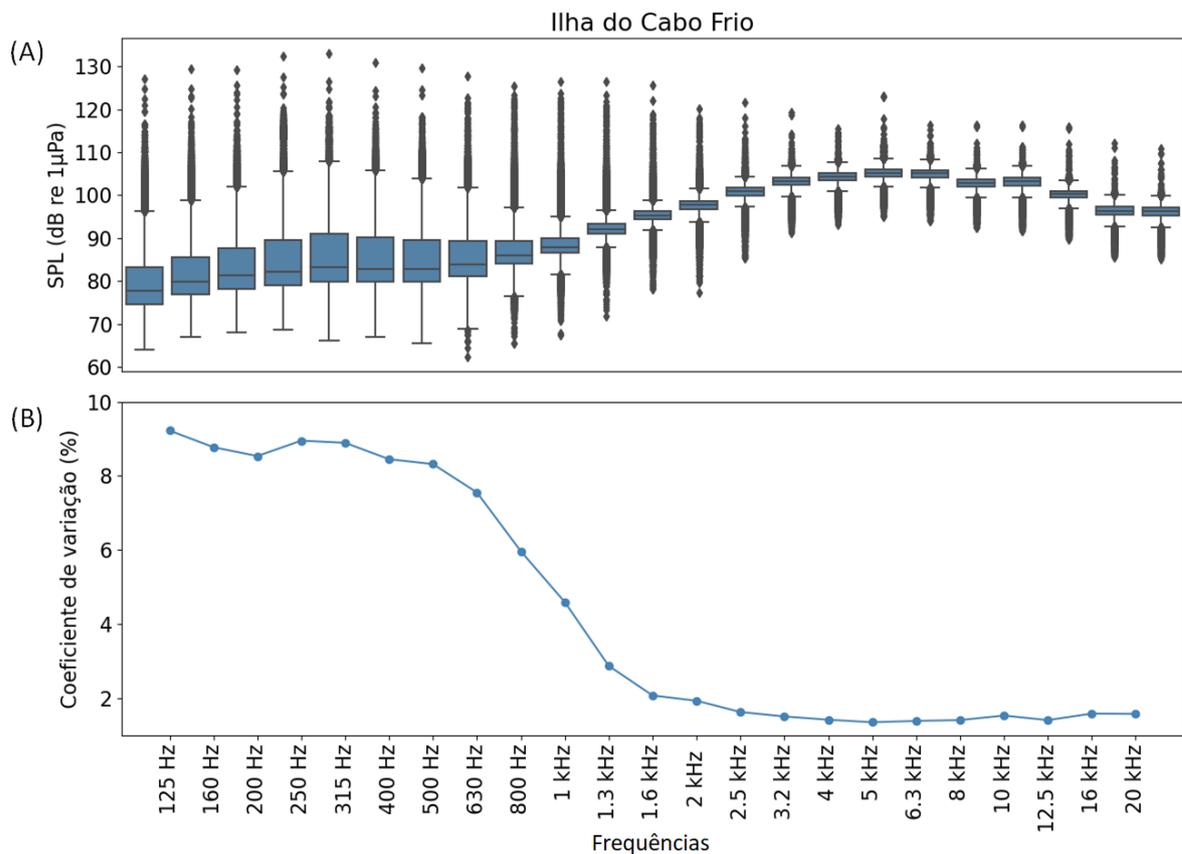


Tabela 5: Estatística descritiva do SPL (dB) de diferentes bandas de frequência de 1/3 de oitava. Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Os menores valores mínimos e os menores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em azul. Os maiores valores máximos e os maiores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em vermelho.

Freq.	Média	Desvio Padrão	cv (%)	Min.	25%	50% (Mediana)	75%	Max.
125 Hz	79,76	7,36	9,22	64,05	74,45	77,73	83,15	127,00
160 Hz	82,03	7,20	8,77	66,96	76,76	79,79	85,62	129,51
200 Hz	83,44	7,12	8,54	68,09	78,09	81,23	87,66	129,11
250 Hz	84,63	7,58	8,95	68,55	78,95	82,20	89,58	132,41
315 Hz	85,56	7,61	8,89	66,02	79,79	83,19	91,01	132,99
400 Hz	85,18	7,20	8,45	67,01	79,77	82,75	90,16	130,84
500 Hz	85,12	7,08	8,32	65,54	79,88	82,84	89,48	129,67
630 Hz	85,76	6,48	7,55	62,35	81,04	83,81	89,37	127,76
800 Hz	87,45	5,21	5,96	65,41	84,12	85,89	89,30	125,35
1 kHz	88,95	4,09	4,59	67,43	86,61	87,82	90,00	126,45
1.3 kHz	92,39	2,65	2,87	71,75	91,08	92,04	93,23	126,40
1.6 kHz	95,34	1,98	2,07	78,13	94,46	95,33	96,19	125,59
2 kHz	97,55	1,88	1,93	77,35	96,65	97,69	98,63	120,22
2.5 kHz	100,67	1,64	1,63	85,33	99,89	100,83	101,67	121,58
3.2 kHz	103,19	1,55	1,51	91,31	102,39	103,34	104,19	119,32
4 kHz	104,23	1,48	1,42	93,20	103,46	104,35	105,17	115,54
5 kHz	105,15	1,42	1,35	95,00	104,40	105,20	106,03	123,14
6.3 kHz	104,96	1,45	1,39	93,98	104,19	105,05	105,85	116,25
8 kHz	102,82	1,45	1,41	92,40	102,00	102,88	103,72	116,27
10 kHz	103,10	1,58	1,53	91,72	102,24	103,18	104,11	116,43
12.5 kHz	100,17	1,41	1,41	89,64	99,41	100,23	101,02	115,91
16 kHz	96,30	1,52	1,58	85,58	95,44	96,38	97,31	112,18
20 kHz	96,12	1,51	1,58	85,12	95,29	96,18	97,10	110,91

A partir desta análise, foi possível observar que a banda de 125Hz apresentou os menores valores de SPL médio e mediano. De forma geral, observamos que os menores valores mínimos, assim como os maiores valores máximos foram encontrados em bandas mais baixas. Isso corresponde a um maior desvio padrão e amplitude nesta zona acústica. Dentre estas, a banda de 125Hz também demonstra o maior coeficiente de variação, associado à maior dispersão dos dados. O CV corresponde à razão entre o desvio padrão e a média, fornecendo a porcentagem média do quanto os valores estão afastados do valor médio. As bandas mais baixas apresentaram valores de CV próximos a 9%.

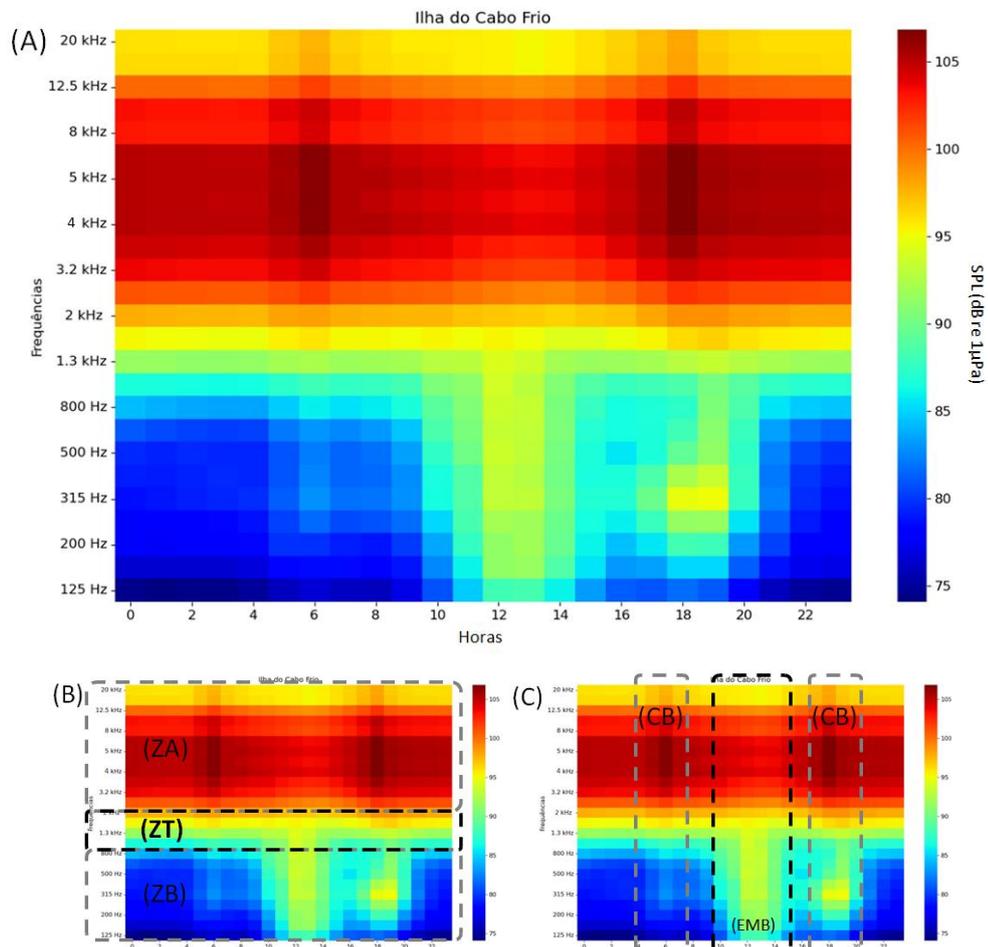
Em contrapartida, os maiores valores de média e mediana foram encontrados em frequências mais altas (entre 4 - 6.3kHz). Em relação ao coeficiente de variação foi possível observar valores menores nessa zona de frequências mais altas, resultante de uma menor dispersão dos dados. Na zona de frequências mais altas o CV demonstrou-se estável, próximo a 1%.

Analisando o gráfico de coeficiente de variação, nota-se uma redução abrupta dos valores em uma zona intermediária entre as bandas mais baixas e as bandas mais altas. As bandas mais baixas e as frequências intermediárias apresentaram maior número de *outliers*, isto é, dados discrepantes. As bandas $\leq 1\text{kHz}$ demonstraram distribuição assimétrica positiva, enquanto as bandas $>1\text{kHz}$ demonstraram maior homogeneidade e simetria.

3.3.2 Caracterização da Zona de Transição Acústica

Para caracterizar a Zona de Transição (ZT) da PAS local, os valores de SPL foram organizados na forma de espectrograma, apresentado na Figura 13. No espectrograma, cada pixel corresponde ao valor de mediana calculado por hora, para cada uma das frequências.

Figura 13: Espectrograma com dados medianos de SPL por hora, para cada frequência - Paisagem Acústica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo/RJ (A); Classificação das Zonas de frequência em: ZB – Zona de baixas frequências, ZT – Zona de Transição e ZA – Zona de altas frequências (B); Identificação de eventos acústicos classificados como: CB – Coro bioacústico e EMB – Tráfego de embarcações (C). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019.



Observando o espectrograma podemos identificar padrões distintos de SPL em diferentes bandas de frequência. O padrão de cores está associado aos níveis medianos de pressão sonora. Bandas de baixa frequência assumiram um padrão de cores mais frias, enquanto bandas de alta frequência assumiram um padrão de cores mais quentes. Já a banda de frequências intermediárias assumiu um padrão de cores de transição, bem destacado, entre as cores frias e quentes.

Através de uma análise de agrupamento realizada por Melo Jr., foram identificadas três grupos acústicos no espectro da paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio (Comunicação pessoal / no prelo). Assim, delimitamos a existência de três zonas de frequência no espectro da paisagem acústica local, conforme a Tabela 6.

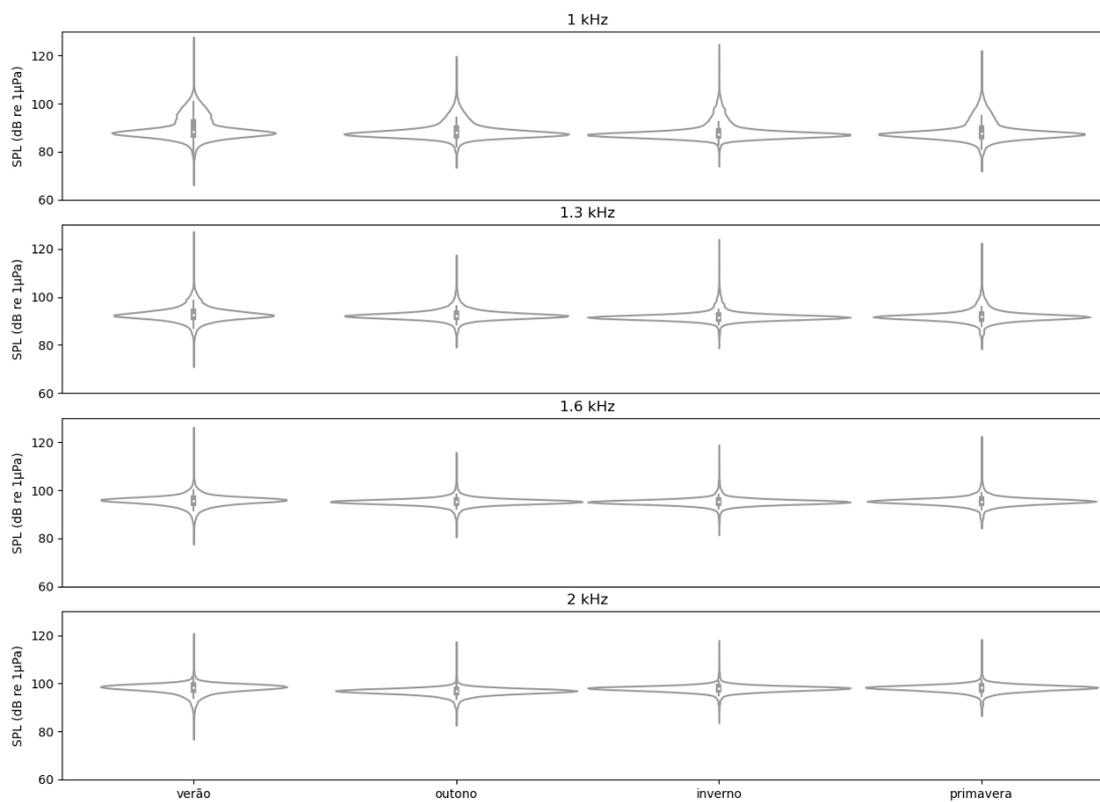
Tabela 6: Classificação das bandas de frequência de 1/3 de oitava estudadas em diferentes Zonas Acústicas, baseado na análise de agrupamento realizada por Melo Jr. (Comunicação pessoal / no prelo).

Zona Acústica	Frequências
ZB (Zona de Baixa frequência)	125Hz, 160Hz, 200Hz, 250Hz, 315Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz
ZT (Zona de Transição)	1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz, 2kHz
ZA (Zona de Alta frequência)	2.5kHz, 3.2kHz, 4kHz, 5kHz, 6.3kHz, 8kHz, 10kHz, 12.5kHz, 16kHz, 20kHz

Além disso, analisando o espectrograma, foi possível identificar a ocorrência de alguns eventos acústicos, que se destacaram dos padrões medianos. Os maiores valores de SPL por volta das 6h e 18h evidenciam a atividade do coro bioacústico, enquanto os maiores níveis de potência observados entre as 10h e 16h marcam um maior fluxo de embarcações.

Em uma análise de variação sazonal, os valores de SPL de cada frequência da ZT foram organizados conforme as estações do ano. Esta variação é apresentada, em formato de *violinplot*, na Figura 14. Este formato gráfico permite a exibição da distribuição e densidade dos dados. A Tabela 7 apresenta a estatística descritiva dos dados sazonais para cada uma das frequências da ZT.

Figura 14: Variação sazonal do SPL nas bandas de frequência da Zona de Transição (1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz e 2kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.



A partir desta análise foi observado que os valores médios e medianos de SPL aumentaram conforme o aumento de frequência. Logo, a banda de 2kHz apresenta os maiores valores de SPL médio e mediano em todas as estações. Observamos que a banda de 1kHz manteve os maiores valores de coeficiente de variação, indicando maior variação de amplitude dos dados, sobretudo no verão.

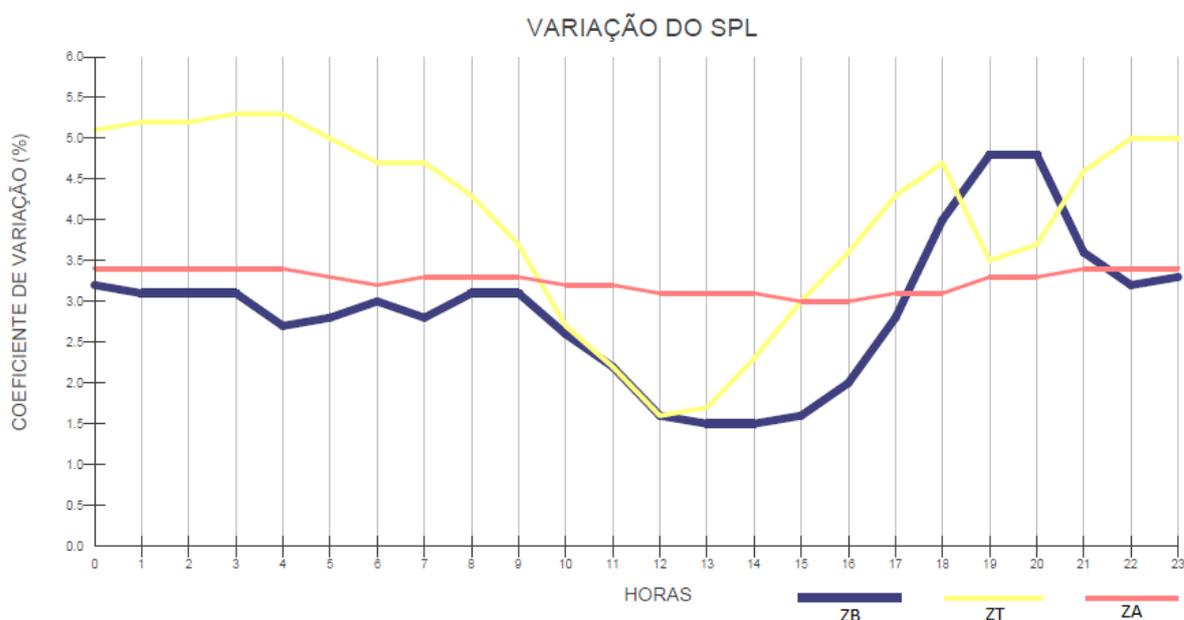
O maior pico de SPL na ZT foi registrado na frequência de 1kHz (120,51dB), durante o inverno, no dia 24 de julho de 2018, às 19h. Durante a alta temporada (verão), o maior pico de SPL foi registrado na frequência de 1.6kHz (112,21dB), no dia 08 de janeiro de 2019, às 09h.

Tabela 7: Estatística descritiva da variação sazonal do SPL (dB) nas frequências da Zona de Transição (1kHz, 1.3kHz, 1.6kHz e 2kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Os menores valores mínimos e os menores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em azul. Os maiores valores máximos e os maiores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em vermelho.

	VERÃO				OUTONO				INVERNO				PRIMAVERA			
	1kHz	1.3kHz	1.6kHz	2kHz	1kHz	1.3kHz	1.6kHz	2kHz	1kHz	1.3kHz	1.6kHz	2kHz	1kHz	1.3kHz	1.6kHz	2kHz
Média	89,97	92,89	95,62	97,93	88,82	92,58	95,23	96,67	88,42	91,96	95,16	97,87	88,68	92,08	95,38	98,05
Desvio Padrão	4,85	3,11	2,36	2,28	3,56	2,34	1,71	1,60	3,68	2,48	1,89	1,62	4,20	2,67	1,93	1,61
CV (%)	5,39	3,35	2,47	2,33	4,01	2,53	1,80	1,65	4,16	2,70	1,99	1,66	4,74	2,90	2,02	1,64
Min.	67,43	71,75	81,56	77,35	78,02	81,55	83,57	84,87	79,83	81,94	85,90	88,07	73,99	79,65	85,54	88,27
Mediana	88,45	92,52	95,78	98,29	87,91	92,30	95,21	96,83	87,45	91,60	95,06	97,92	87,60	91,73	95,38	98,20
Max.	106,51	106,89	112,21	109,54	107,84	107,29	107,33	108,14	120,51	118,49	116,68	114,06	111,65	114,36	114,88	110,77

Para avaliar a relação do ruído antropogênico e da biofonia sobre a ZT, utilizamos o coeficiente de variação do SPL médio de cada zona acústica. A variação dos valores médios ao longo do dia é apresentada na Figura 15. O CV permite observar e comparar a diferença na dispersão dos dados em termos proporcionais.

Figura 15: Coeficiente de variação do SPL médio das zonas acústicas, ao longo do dia - Paisagem Acústica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo/RJ. Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019. Classificação das Zonas de frequência em: ZB – Zona de baixas frequências, ZT – Zona de Transição e ZA – Zona de altas frequências.



Analisando o gráfico, é possível observar que o CV em ZA permaneceu constante ao longo do dia. Esse padrão atribuiu-se, de forma geral, ao fato das medianas de SPL em cada banda de frequência permanecerem próximos à média geral desta zona acústica. Em contrapartida, o CV em ZB variou de forma significativa. O momento de menor variação do SPL em ZB ocorreu entre 09-17h, correspondendo ao período de maior intensidade do tráfego de embarcações. Já a maior variação em ZB ocorreu entre 18-21h, correspondendo a um período de predominância de atividade biológica.

Analisando o CV em ZT, é possível perceber um período de maior variação antes do amanhecer (00-06h). Isso se atribuiu ao fato dos menores valores de SPL medianos nas bandas de 1 e 1.3kHz comparados aos valores das bandas de 1.6 e 2kHz. Após as 06h, podemos observar uma redução no CV desta zona, que coincidiu com a redução de ZB. Esse padrão atribuiu-se ao aumento do SPL nas

bandas menores de ZT (1 e 1.3 kHz), durante o período de maior intensidade de tráfego marítimo, enquanto as bandas de 1.6 e 2kHz apresentaram maior estabilidade. Ao longo da tarde, os valores do CV de ZB e ZT aumentaram, coincidindo com a redução das atividades náuticas. Após o entardecer, durante um período de maior atividade biológica, nota-se uma redução do CV de ZT, coincidindo com um aumento pontual em ZB. Por volta das 19h, percebeu-se um pico de SPL em todas as frequências de ZT, onde foi registrado o maior valor médio (95,3 dB). Após as 20h, constatou-se uma redução gradual do SPL em todas as bandas da ZT.

3.3.3 Análise de complexidade acústica

Para a análise de complexidade da PAS da Ilha do Cabo Frio, as gravações foram selecionadas e agrupadas em cinco categorias, conforme as condições especificadas na Tabela 8. Nesta análise, foram consideradas as variáveis: temperatura da água e número de embarcações. O ACI foi calculado de acordo com os intervalos de frequência definidos em ZB, ZT e ZA. O CV permite comparar a diferença na dispersão dos dados em termos proporcionais, considerando o número diferente de gravações analisadas em cada categoria.

Tabela 8: Condições de temperatura da água e número de embarcações especificadas para análise de complexidade acústica. Classificação das variáveis em: "AQ" – água quente; "AF" – água fria; "sE" – sem embarcações; "cE" – com embarcações.

Categoria	Temperatura da água	Nº de embarcações	Total de gravações
C (controle)	21-22°C	<10	60
AQ_sE	≥24°C	<10	216
AQ_cE	≥24°C	>100	108
AF_sE	≤20°C	<10	120
AF_cE	≤20°C	>100	136

3.3.3.1 Análise do ACI em ZB

A distribuição dos valores de ACI calculados para cada categoria, no intervalo de frequências de ZB, é apresentada na Figura 16. De forma complementar, a Tabela 9 apresenta a estatística descritiva dos dados nesta zona acústica.

Figura 16: ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz). Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

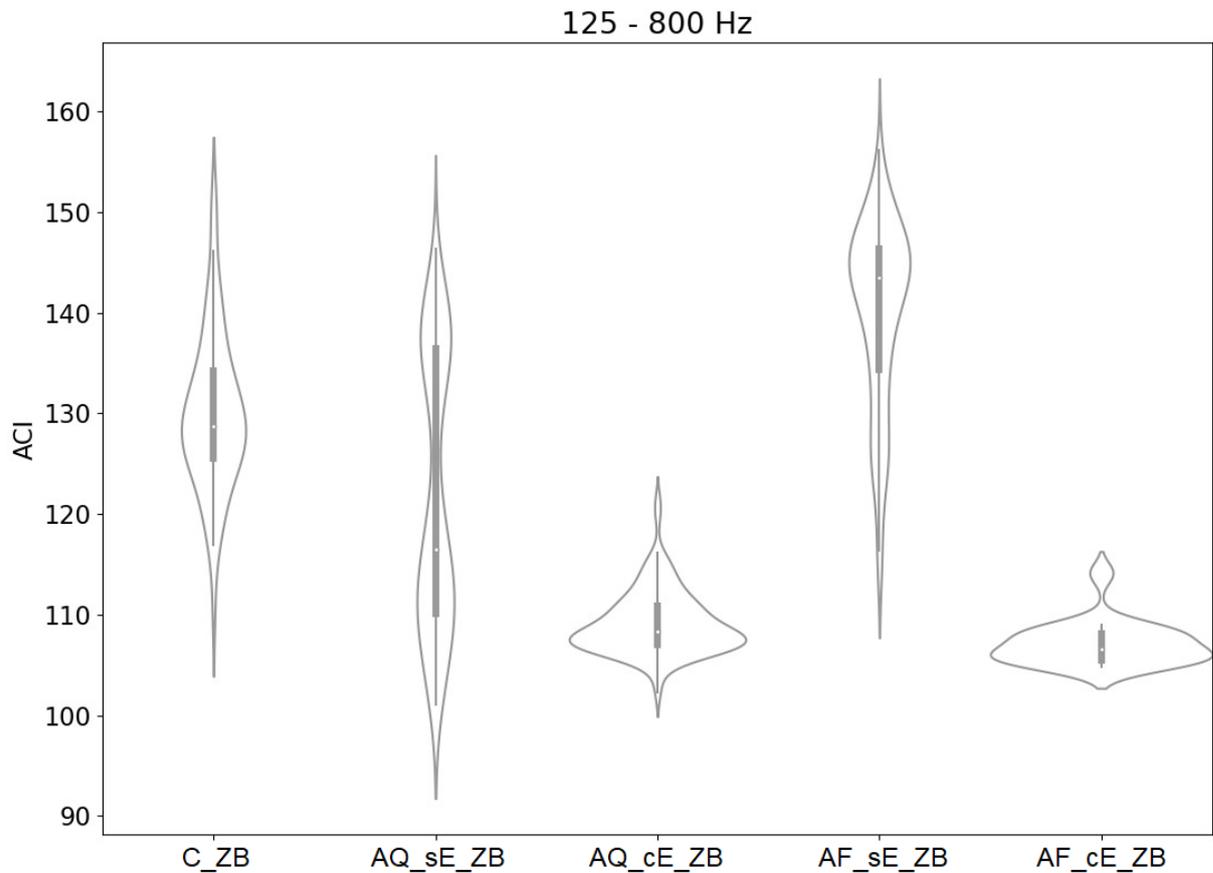


Tabela 9: Estatística descritiva do ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Os menores valores mínimos e os menores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em azul. Os maiores valores máximos e os maiores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em vermelho.

	C_ZB	AQ_sE_ZB	AQ_cE_ZB	AF_sE_ZB	AF_cE_ZB
Média	129,88	121,63	109,16	139,99	107,14
Desvio Padrão	7,69	13,59	3,10	9,24	2,18
CV (%)	5,92	11,17	2,84	6,60	2,03
Min.	110,67	101,01	102,30	114,80	104,82
Mediana	128,75	116,48	108,34	143,53	106,52
Max.	150,64	146,35	121,28	156,14	114,14

Analisando os dados de ACI para ZB, é possível observar que os maiores valores de média e mediana e o maior valor máximo foram obtidos em períodos de água fria e sem embarcações. Em contrapartida, os menores valores de média e mediana correspondem aos períodos de água fria e com embarcações. No gráfico, notam-se maiores variações da complexidade acústica em períodos sem tráfego marítimo, sobretudo em condições de águas mais quentes.

Após a aplicação do teste de normalidade, o teste de Kruskal-Wallis, para dados não-paramétricos, evidenciou que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$), basicamente, entre todas as categorias. Diante do teste post-hoc de Dunn, apenas períodos de água quente com embarcação e água fria com embarcação não apresentaram diferença estatística significativa. Os resultados do teste estatístico são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZB (125-800Hz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. O $p \leq 0,05$ demonstra diferença estatística significativa; “ns” demonstra que não houve diferença estatística significativa; As células destacadas em cinza mostram a comparação das mesmas categorias.

	C_ZB	AQ_sE_ZB	AQ_cE_ZB	AF_sE_ZB	AF_cE_ZB
C_ZB	-	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_sE_ZB	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_cE_ZB	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$	ns
AF_sE_ZB	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$
AF_cE_ZB	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	ns	$\leq 0,05$	-

3.3.3.2 Análise do ACI em ZT

A distribuição dos valores de ACI calculados para cada categoria, no intervalo de frequências de ZT, é apresentada na Figura 17. Na Tabela 11 é apresentada a estatística descritiva dos dados nesta zona acústica.

Figura 17: ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz). Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

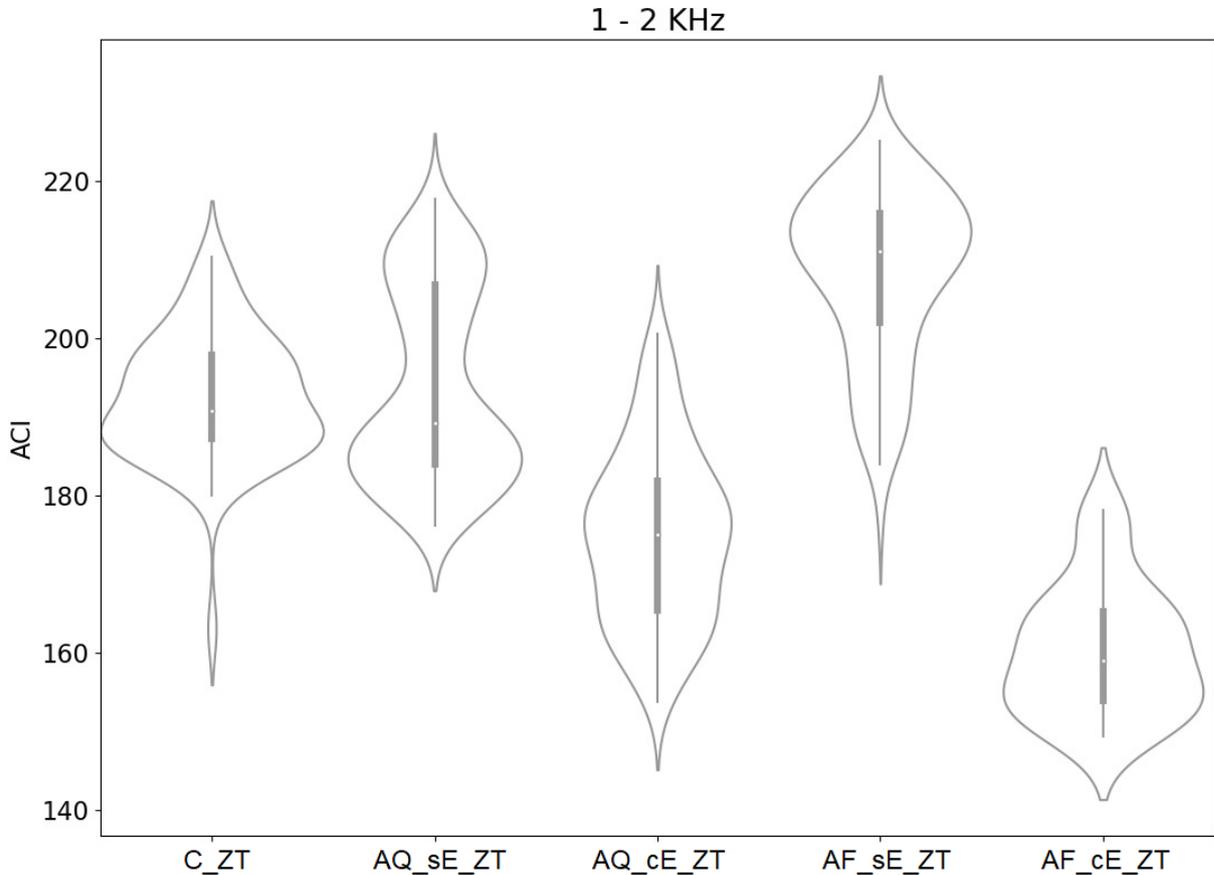


Tabela 11: Estatística descritiva do ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Os menores valores mínimos e os menores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em azul. Os maiores valores máximos e os maiores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em vermelho.

	C_ZT	AQ_sE_ZT	AQ_cE_ZT	AF_sE_ZT	AF_cE_ZT
Média	192,38	193,88	174,77	208,26	160,25
Desvio Padrão	8,13	12,21	11,07	10,85	8,20
CV (%)	4,23	6,30	6,33	5,21	5,16
Min.	163,06	176,22	153,76	177,10	149,28
Mediana	190,73	189,20	175,08	211,04	159,04
Max.	210,37	217,79	200,63	225,12	178,10

Analisando os dados de ACI para a Zona de Transição, é possível observar padrões similares aos observados em ZB. Os maiores valores de média e mediana e o maior valor máximo estão associados aos períodos de água fria e sem embarcações. Os menores valores de média e mediana e o menor valor mínimo correspondem aos períodos de água fria e com embarcações. Diferente do padrão observado na zona de baixas frequências, em ZT ocorreu maior variação dos dados de complexidade acústica, principalmente em condições de água quente e com tráfego de embarcações.

Os testes estatísticos (KW e post-hoc de Dunn) indicaram que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$), basicamente, entre todas as categorias. Apenas períodos com as condições controle e períodos de água quente e sem embarcação não apresentaram diferença significativa. Os resultados do teste estatístico são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZT (1-2kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: "AQ" – água quente; "AF" – água fria; "sE" – sem embarcações; "cE" – com embarcações. O $p \leq 0,05$ demonstra diferença estatística significativa; "ns" demonstra que não houve diferença estatística significativa; As células destacadas em cinza mostram a comparação das mesmas categorias.

	C_ZT	AQ_sE_ZT	AQ_cE_ZT	AF_sE_ZT	AF_cE_ZT
C_ZT	-	ns	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_sE_ZT	ns	-	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_cE_ZT	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AF_sE_ZT	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$
AF_cE_ZT	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-

3.3.3.3 Análise do ACI em ZA

A distribuição dos valores de ACI calculados para cada categoria, no intervalo de frequências de ZA, é apresentada na Figura 18. De forma complementar, a Tabela 13 apresenta a estatística descritiva dos dados nesta zona acústica.

Figura 18: ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz). Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

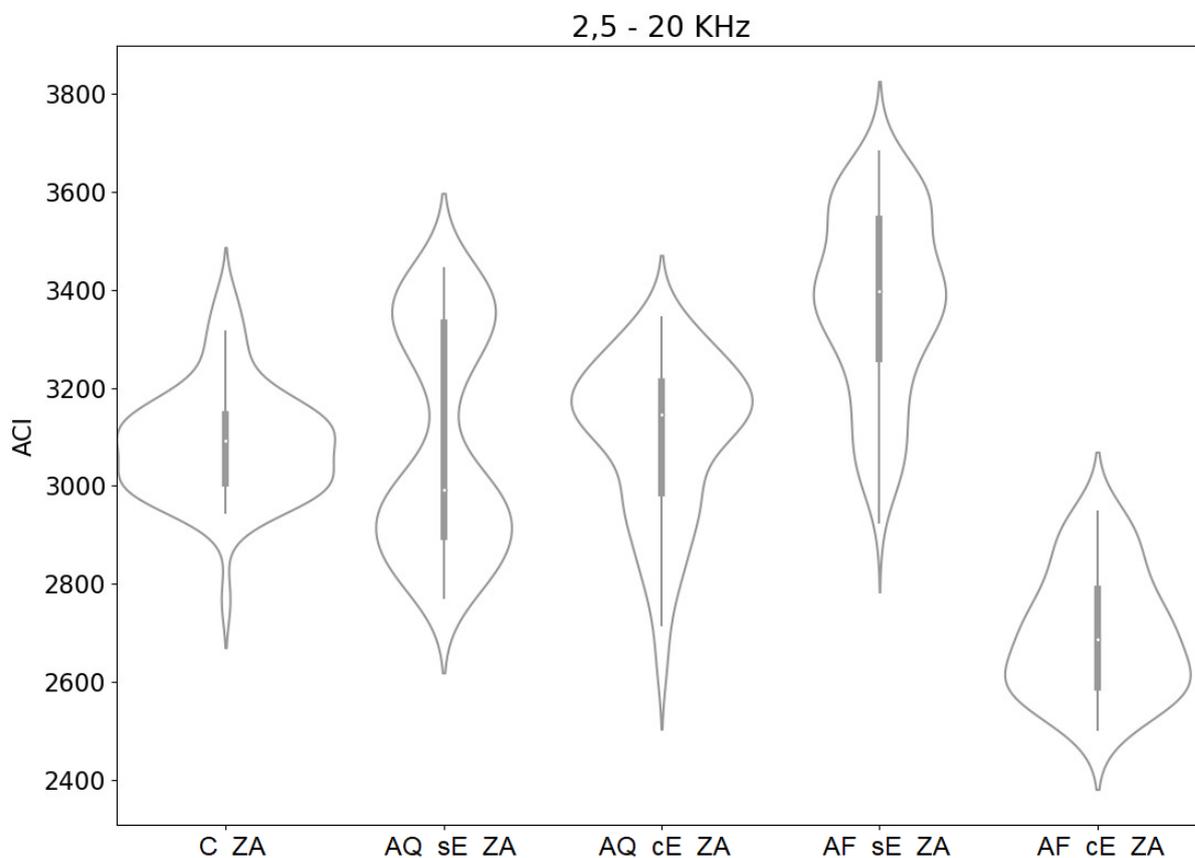


Tabela 13: Estatística descritiva do ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. Os menores valores mínimos e os menores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em azul. Os maiores valores máximos e os maiores valores de média, mediana e coeficiente de variação são destacados em vermelho.

	C_ZA	AQ_sE_ZA	AQ_cE_ZA	AF_sE_ZA	AF_cE_ZA
Média	3087,53	3089,21	3098,45	3374,59	2697,49
Desvio Padrão	111,36	224,47	161,51	185,87	124,04
CV (%)	3,61	7,27	5,21	5,51	4,60
Min.	2767,67	2771,32	2630,07	2926,04	2501,56
Mediana	3092,54	2990,73	3146,28	3396,89	2686,36
Max.	3388,19	3443,62	3343,71	3682,60	2947,52

Analisando os dados de ACI para ZA, notam-se padrões similares aos observados em ZB e ZT. Os maiores valores de média e mediana e o maior valor máximo estão associados aos períodos de água fria e sem embarcações. Os menores valores de média e mediana e o menor valor mínimo estão associados aos períodos de água fria e com embarcações. O menor coeficiente de variação corresponde aos períodos de água quente e sem embarcações, enquanto a menor variação foi observada em condições controle.

Os testes estatísticos (KW e post-hoc de Dunn) indicaram que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) em diversas categorias. No entanto, não houve diferença significativa entre C_ZA x AQ_sE_ZA, C_ZA x AQ_cE_ZA e AQ_sE_ZA x AQ_cE_ZA. Os resultados do teste estatístico são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do teste de comparações múltiplas (post-hoc de Dunn) para o ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, dentro do intervalo de frequência de ZA (2.5-20kHz). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações. O $p \leq 0,05$ demonstra diferença estatística significativa; “ns” demonstra que não houve diferença estatística significativa; As células destacadas em cinza mostram a comparação das mesmas categorias.

	C_ZA	AQ_sE_ZA	AQ_cE_ZA	AF_sE_ZA	AF_cE_ZA
C_ZA	-	ns	ns	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_sE_ZA	ns	-	ns	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AQ_cE_ZA	ns	ns	-	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
AF_sE_ZA	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,05$
AF_cE_ZA	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	-

3.4 DISCUSSÃO

Na Ilha do Cabo Frio, o intenso tráfego marítimo representa o principal fator de poluição sonora para a região. A partir da análise da PAS local, notam-se padrões distintos de distribuição de SPL em diferentes bandas de frequência. O maior coeficiente de variação em bandas mais baixas ocorre devido aos picos de antropofonia, predominantes em frequências $< 1\text{kHz}$ (HILDEBRAND, 2009). Bandas mais altas apresentaram menor variação e maior estabilidade, devido à predominância de biofonia e menor influência de sons antrópicos (CAMPBELL, 2018).

No espectrograma geral foi possível identificar a ocorrência eventos acústicos em diferentes horários do dia. Os valores de SPL observados durante o amanhecer e o anoitecer no costão rochoso sugerem maior atividade do coro bioacústico, conforme apontado por Xavier *et al.* (2018) e Campbell *et al.* (2019). Observamos, também, uma alteração no padrão em frequências <1kHz, ao longo do dia. Os maiores valores de SPL destacados correspondem ao horário de maior intensidade do tráfego marítimo e picos de antropofonia na região (MENDES, 2021).

A análise dos dados de SPL permitiu a identificação de uma banda de transição entre as frequências. Buscaino e colaboradores (2016) já haviam identificado uma faixa peculiar de “estabilidade” em nível sonoro baixo, na faixa de oitava entre 1.5 e 2.5kHz. Este fenômeno de estabilidade é atribuído ao fato de que tanto o ruído antrópico quanto os sons biológicos ocupam parcialmente esta banda de frequência na PAS. Por isso, esta faixa foi denominada como “*silence band*” (“faixa de silêncio”) e representa uma zona transição entre zonas de predominância de antropofonia/geofonia e biofonia.

Conforme os resultados obtidos neste estudo, destacamos uma zona acústica de transição entre 1 - 2kHz, denominada ZT. Analisando a variação sazonal do SPL nesta zona acústica, identificamos a maior variação na banda de 1kHz, sobretudo durante o verão. O maior fluxo de embarcações na região durante a alta temporada sugere maior influência da antropofonia sobre as bandas menores ZT.

Utilizando o coeficiente de variação das zonas acústicas como métrica, podemos observar que ZT é influenciada pelo ruído antropogênico e pela biofonia. As alterações mais perceptíveis em ZT ocorreram durante o período de atividade náutica e durante o coro bioacústico do anoitecer. As bandas de 1 e 1.3kHz demonstram maior suscetibilidade à ZB, enquanto as bandas de 1.6 e 2kHz demonstram-se mais suscetíveis à ZA.

Utilizando o ACI, foi possível identificar alguns padrões entre as zonas acústicas. O ACI permite quantificar de forma direta a intensidade da biofonia. Este índice baseia-se na hipótese de que estes sons bióticos têm uma variabilidade intrínseca de intensidades. Em contrapartida, ruídos de origem antrópica apresentariam valores constantes de intensidade (PIERETTI *et al.*, 2011). Nesta análise, as maiores médias e medianas e os maiores valores máximos de complexidade correspondem aos períodos de água fria sem embarcações, nas três zonas acústicas. Isso pode sugerir grande influência do fenômeno da ressurgência

sobre a complexidade acústica local. No entanto, em todas as zonas, os menores valores médios e medianos de ACI correspondem aos períodos de água fria com embarcações. Esses resultados podem sugerir a influência negativa do ruído sobre a complexidade do ambiente.

De acordo com as recomendações das diretrizes internacionais do monitoramento da paisagem acústica, a análise das bandas de 63 e 125Hz tem sido utilizada como indicador de poluição sonora (JENSEN *et al.*, 2011; DEKELING *et al.*, 2014; BUSCAINO *et al.*, 2016). Em nossas análises, utilizando o CV do ACI para uma comparação proporcional, observamos uma maior variação de ZT em relação à ZB e ZA. Isso pode refletir a influência da antropofonia e da biofonia sobre estas bandas intermediárias de frequência. Os testes estatísticos realizados sugerem uma grande sensibilidade de ZT para comparação da complexidade acústica em diferentes condições de temperatura e número de embarcações.

As características específicas apresentadas por ZT nos remetem ao conceito de ecótono. Uma das definições mais aceitas pela comunidade científica considera o ecótono como uma zona de transição entre sistemas ecológicos adjacentes. Estes tendem a apresentar características definidas exclusivamente por escalas espaciais e temporais e pela intensidade das interações entre sistemas ecológicos adjacentes (HOLLAND, 1988; GOSZ, 1993). Considerando o nível hierárquico de paisagem aplicado a este estudo, a zona de transição (ZT) representaria um exemplo de ecótono acústico.

Ecótonos são sistemas dinâmicos e possuem elevada biodiversidade de organismos pertencentes aos sistemas adjacentes. As fronteiras ecológicas entre comunidades distintas originam gradientes com os quais as espécies entram em contato e sofrem tensão (GRIMM, 1983; KOLASA e ZALEWSKI, 1995; MALANSON, 1997; BARELLA, 2003; HENRY, 2003; NEIFF, 2003). O termo ecótono acústico foi utilizado por Farina e colaboradores (2014) para referir-se às zonas de tensão formadas a partir da sobreposição de sinais de biofonia distintos. Aqui, pretendemos utilizar o conceito para abordar outras zonas de tensão na paisagem acústica.

Nesse contexto, um ecótono acústico corresponderia a uma zona de tensão no espectro sonoro, entre zonas acústicas de domínios distintos. Esta zona corresponderia a um intervalo de frequências com valores intermediários para os parâmetros que caracterizam sua estrutura. Nos pontos de encontro entre zonas distintas, haveria uma substituição dos sons ao longo das bandas de frequência,

demarcando os limites de suas distribuições. A tensão corresponde à interferência que uma zona acústica pode exercer sobre a outra, através da competição entre diferentes fontes sonoras. Além disso, um ecótono acústico tenderia a apresentar elevada variação dos dados acústicos, diante da diversidade de sons pertencentes a esta zona, e maior sensibilidade às variações ambientais.

Estudos realizados em ecossistemas marinhos têm destacado a importância da acústica como fonte de informações sobre a qualidade ambiental (SIMPSON *et al.*, 2005; RADFORD *et al.*, 2011; STANLEY *et al.*, 2012; MCWILLIAM & HAWKINS, 2013). A aplicação de análises envolvendo zonas de transição acústica em estudos ambientais marinhos pode servir como um indicador de poluição sonora. A aparente sensibilidade desta zona pode ajudar a identificar a influência do ruído e de outras variáveis sobre os organismos marinhos.

Nos últimos anos, o crescimento do turismo náutico na região do Arraial do Cabo resultou no aumento significativo do ruído antrópico no ambiente marinho. Conforme apontado por Mendes (2021), o mapeamento acústico da região e a redução da emissão de antropofonia podem contribuir para a redução dos impactos sonoros sobre áreas de importância biológica.

O estudo das Paisagens Acústicas Submarinas deve envolver seus componentes estruturais e funcionais, que podem alterar-se com o tempo. Tais componentes conferem a estas paisagens um perfil particular e dinâmico. A busca por novas tecnologias de monitoramento acústico passivo, como apresentado neste trabalho, visa contribuir para a preservação e gestão de ambientes marinhos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, ressaltamos o potencial promissor do Monitoramento Acústico Passivo para estudos ambientais. A aplicação desta metodologia pode permitir a extração de informações que, por vezes, não são evidenciadas por meio de outras metodologias mais convencionais. Além de um potencial mais sustentável, o MAP permite um monitoramento em ampla escala (temporal e espacial), detecção de espécies raras e com hábitos crípticos e o monitoramento de ambientes de difícil acesso. Os dados acústicos podem ser analisados de forma quantitativa (com a ajuda de índices de complexidade e diversidade, por exemplo) e de forma qualitativa (ajudando a determinar a ausência e presença de espécies ou aspectos comportamentais).

No presente trabalho, buscamos explorar uma zona de transição no espectro da paisagem acústica como um potencial indicador de poluição sonora. Estudos voltados à “faixa de silêncio” ainda são escassos na literatura científica. Embora os resultados obtidos evidenciem a influência da antropofonia sobre a zona de transição, apontamos a necessidade de mais estudos envolvendo esta banda de frequências. Recomenda-se uma análise de variação dos níveis de pressão sonora na zona de transição em um período superior a dois anos, para comparação dos dados em períodos sazonais. Além disso, recomenda-se a realização de mais análises a partir de outras métricas como, por exemplo, outros índices ecoacústicos. Esta zona de transição pode ter funções ainda desconhecidas e deve ser investigadas para outros ecossistemas marinhos, como recifes de coral e ambientes estuarinos.

Ainda que não tenha sido possível avaliar diretamente a biodiversidade presente na zona de transição, os testes estatísticos realizados sugerem uma grande sensibilidade desta zona de tensão. Foram identificadas diferenças significativas em diferentes condições de temperatura e número de embarcações que, em alguns casos, não foram perceptíveis em outras bandas. Além disso, foi identificada uma maior variação dos dados de complexidade acústica em resposta ao ruído antropogênico.

Embora não tenhamos encontrado nenhuma publicação que relacionasse diretamente a “Biotecnologia” e a “Acústica” neste levantamento, diversos estudos estimam a utilização de sons de origem biológica para avaliar sistemas biológicos.

Neste âmbito, estimamos o desenvolvimento de produtos e serviços baseados em características bioacústicas para medição de parâmetros que auxiliem na avaliação da saúde de ambientes marinhos. Logo, de acordo com sua definição, podemos classificar a utilização da biofonia como recurso dentro da área da Biotecnologia Ambiental Marinha. O reconhecimento das assinaturas acústicas de animais como produto biotecnológico extrapola os limites mais tradicionais, mas que ampliam as possibilidades para novos ramos de pesquisa.

Diante do acelerado processo de degradação de ecossistemas marinhos, estimamos que recursos biotecnológicos baseados em acústica sejam amplamente explorados e difundidos no Brasil. O monitoramento possui papel importante na avaliação da biodiversidade e pode auxiliar em práticas de conservação e gestão ambiental. O MAP permite o monitoramento de forma autônoma, não invasiva e por longos períodos. Assim, o desenvolvimento e ampliação da Biotecnologia Marinha somam-se aos esforços científicos, em prol da conservação dos oceanos e seus recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.; MAGUOLO, G.; NANNI, L.; COSTA, Y.; SILLA, C. (2021). On the Importance of Passive Acoustic Monitoring Filters. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9 (7), p. 685. DOI: 10.3390/jmse9070685.
- AMORIM, T. O. S.; CASTRO, F. R.; FERREIRA, G. A.; NERI, F. M.; DUQUE, B. R.; MURA, J. P.; ANDRIOLO, A. (2022). Acoustic identification and classification of four dolphin species in the Brazilian marine area affected by the largest tailings dam failure disaster. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 152 (6), p. 3204–3215. DOI: 10.1121/10.0016358.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, **Journal of Informetrics**, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 959-975. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- ASLAN, J.; PINTO, A.; OLIVEIRA, M. (2018). Poluição do meio ambiente marinho: Um breve panorama dos princípios, instrumentos jurídicos e legislação brasileira. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 9, p. 175. DOI: 10.18468/planetaamazonia.2017n9.p175-186.
- AYRES, M., AYRES JR, M., AYRES, D. L., SANTOS, A. A. S. **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 2007.364p.
- BARBIER, E. B. (2017). Marine ecosystem services. **Current Biology**, 2017, v. 27 (11), p. R507-R510. DOI: 10.1016/j.cub.2017.03.020.
- BARELLA, W. (2003). Ecótono água, terra e mar do sul de São Paulo. In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa. p. 161-176.
- BATISTA, D.; GRANTHOM-COSTA, L. V.; COUTINHO, R. (2020). **Biodiversidade Marinha dos Costões Rochosos de Arraial do Cabo: Histórico, Ecologia e Conservação**. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira.
- BAUMGARTNER, M. F.; MUSSOLINE, S. E. (2011). A generalized baleen whale call detection and classification system. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 5, p. 2889-2902. DOI: 10.1121/1.3562166.
- BITTENCOURT, L.; LAILSON-BRITO, J.; SOARES-FILHO, W.; BARREIRA, L. M.; DE LIMA, I. M. S.; AZEVEDO, A. F.; PAI, S.; GUERRA, L. A. (2017). Mapping delphinid occurrence using a Passive Acoustic Monitoring System towed by an unmanned surface vehicle on the Southeast Coast of Brazil. **2017IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (Rio Acoustic)**, p. 1-4. DOI: 10.1109/RIOAcoustics.2017.8349714.
- BITTENCOURT, L.; SOARES-FILHO, W.; DE LIMA, I. M. S.; PAI, S.; LAILSON-BRITO, J.; BARREIRA, L. M.; AZEVEDO, A. F.; GUERRA, L. A. (2018). Mapping

cetacean sounds using a passive acoustic monitoring system towed by an autonomous Wave Glider in the Southwestern Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers**, 142, p. 58-68. DOI: 10.1016/j.dsr.2018.10.006.

BORIE-MOJICA, A.; REZENDE, S. M.; PADOVANI FERRERIA, B.; MAIDA, M.; TRAVASSOS, P. (2022). Fish chorus and vessel noise in a marine protected coastal reef vary with lunar phase. **Environmental Biology of Fishes**, v. 105 (5), p. 575-587. DOI: 10.1007/s10641-022-01267-z.

BRANDT, M. J.; DIEDERICHS, A.; BETKE, K.; NEHLS, G. (2011). Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. **Marine Ecology Progress Series**, 421, p. 205-216. DOI: 10.3354/meps08888.

BUSCAINO, G.; FILICIOTTO, F.; GRISTINA, M.; BELLANTE, A.; BUFFA, G.; DI STEFANO, V.; MACCARRONE, V.; TRANCHIDA, G.; BUSCAINO, C.; MAZZOLA, S. (2011). Acoustic behaviour of the European spiny lobster *Palinurus elephas*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 441, p.177-184. DOI: 10.3354/meps09404.

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**, v. 6, n. 1, p. 1-13. DOI: 10.1038/srep34230.

BUXTON, R. T.; MCKENNA, M. F.; CLAPP, M.; MEYER, E.; STABENAU, E.; ANGELONI, L. M.; CROOKS, K.; WITTEMYER, G. (2018). Efficacy of extracting indices from large-scale acoustic recordings to monitor biodiversity. **Conservation Biology**, v. 32 (5), p. 1174-1184. DOI: doi.org/10.1111/cobi.13119.

CAMPBELL, D. (2018). **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Arraial do Cabo, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/843553>. Acesso em 01 Out. 2021.

CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L. L.; NETTO, E. B. (2019). Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio island, Brazil. **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**, 37, 070003. DOI: 10.1121/2.0001100.

CLAUDET, J. *et al.* (2020). A roadmap for using the UN Decade of ocean science for sustainable development in support of science, policy, and action. **One Earth**, Elsevier, v. 2, n. 1. p. 34–42. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.10.012.

CONCHA-BARRIENTOS, M., CAMPBELL-LENDRUM, D.; STEENLAND, K. (2004). Assessing the burden of disease from work-related hearing Impairment at national and local levels. **Environmental Burden of Disease Series**, n. 9.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. (1992). **Estudos Avançados** [online]. v. 6, n. 15, p. 193-233. DOI: 10.1590/S0103-40141992000200015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/H5FpKWzV533fzcdFZXxFQbM/?lang=en>. Acesso em 01 Out. 2021.

COSTELLO, M. J. *et al.* (2017). Methods for the study of marine biodiversity. In: **THE GEO handbook on biodiversity observation networks**, Springer International Publishing, p. 129–163. DOI: 10.1007/978-3-319-27288-7_6.

COUTINHO, R. (2004). **Programa Nacional da Biodiversidade – PRONABIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO Sub-Projeto: Avaliação e Ações Prioritárias para a Zona Costeira e Marinha. Grupo de Ecossistemas: Costões Rochosos. Guia para o licenciamento ambiental, Atividades de Sísmica Marítima na Costa Brasileira, Atividades de Perfuração de Óleo e Gás.** Brasília: MMA.

COUTINHO, R.; ZALMON, I. R. (2009). Os Bentos de Costões Rochosos. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência.

DALPAZ, L.; PARO, A.; DAURA-JORGE, F.; ROSSI-SANTOS, M.; NORRIS, T.; INGRAM, S.; WEDEKIN, L. (2021). Better together: analysis of integrated acoustic and visual methods when surveying a cetacean community. **Marine Ecology Progress Series**, v. 678, p. 197–209. DOI: 10.3354/meps13898.

DAVIS, G. E.; BAUMGARTNER, M. F.; CORKERON, P. J.; BELL, J.; BERCHOK, C.; BONNELL, J. M.; BORT THORNTON, J.; BRAULT, S.; BUCHANAN, G. A.; CHOLEWIAK, D. M.; CLARK, C. W.; DELARUE, J.; HATCH, L. T.; KLINCK, H.; KRAUS, S. D.; MARTIN, B.; MELLINGER, D. K.; MOORS-MURPHY, H.; NIEUKIRK, S.; ... & VAN PARIJS, S. M. (2020). Exploring movement patterns and changing distributions of baleen whales in the western North Atlantic using a decade of passive acoustic data. **Global Change Biology**, 26, p. 4812-4840. DOI: 10.1111/gcb.15191.

DESIDERÀ, E.; MAZZOLDI, C.; NAVONE, A.; PANZALIS, P.; GERVAISE, C.; GUIDETTI, P.; DI IORIO, L. (2022). Reproductive Behaviours and Potentially Associated Sounds of the Mottled Grouper *Mycteroperca rubra*: Implications for Conservation. **Diversity**, v. 14 (5), p. 318. DOI: 10.3390/d14050318.

DEKELING, R. P. A.; TASKER, M. L.; VAN DER GRAAF, A. J.; AINSLIE, M. A.; ANDERSSON, M. H.; ANDRÉ, M.; BORSANI, J. F.; BRENSING, K.; CASTELLOTE, M.; CRONIN, D.; DALEN, J.; FOLEGOT, T.; LEAPER, R.; PAJALA, J.; REDMAN, P.; ROBINSON, S. P.; SIGRAY, P.; SUTTON, G.; THOMSEN, F.; WERNER, S.; WITTEKIND, D.; YOUNG, J. V. (2014). **Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas: a guidance document within the common implementation strategy for the Marine Strategy Framework Directive**. Part I, Executive summary, Publications Office. DOI: 10.2788/29293.

DURBACH, I. N.; HARRIS, C. M.; MARTIN, C.; HELBLE, T. A.; HENDERSON, E. E.; IERLEY, G.; THOMAS, L.; MARTIN, S. W. (2021). Changes in the Movement and Calling Behavior of Minke Whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in Response to Navy

Training. **Frontiers in Marine Science**, v. 8. DOI: 10.3389/fmars.2021.660122.

FABIANO, C. C. L. (2011). **O turismo e a sua contribuição na manutenção e na preservação da pesca artesanal e da cultura tradicional na Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo – RJ** / Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. Centro de Excelência em Turismo. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11066>. Acesso em 19 Dez. 2022.

FARINA, A. (2014). **Soundscape Ecology: Principles Patterns Methods and Applications**. Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-94-007-7374-5.

FARINA, A.; BUSCAINO, G.; & CERAULO, M.; PIERETTI, N. (2014). The Soundscape Approach for the Assessment and Conservation of Mediterranean Landscapes: Principles and Case Studies. **Journal of Landscape Ecology**. 7. 10-22. DOI: 10.2478/jlecol-2014-0007.

FARINA, A. (2019). Ecoacoustics: A quantitative approach to investigate the ecological role of environmental sounds. **Mathematics**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 7, n. 1. p. 21. DOI: 10.3390/math7010021.

FARONI-PEREZ, L.; FREITAS, M.; WRUBLEVSKI AUED, A.; KOSTRZEWCZYK, G.; DOMIT, C. (2020). Saúde do Oceano e serviços ecossistêmicos: Integração entre Ciência, Sociedade, Política e Governança. In book: I Volume horizonte oceânico brasileiro: Ampliando o horizonte da governança inclusiva para o desenvolvimento sustentável do oceano brasileiro, p.165–198.

GIBB, R.; BROWNING, E.; GLOVER-KAPFER, P.; JONES, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10 (2), p. 169–185. DOI: 10.1111/2041-210X.13101.

GOSZ, J. R. (1993). Ecotone hierarchies. **Ecological Applications**, v. 3, n. 3, p. 369-376.

GRIMM, E. C. (1983). Chronology and dynamics of vegetation change in the prairie-woodland region of southern Minnesota. **New Phytologist**, v. 93, p. 311-350.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. (2014). Marine Soundscape Ecology. **43rd International Congress on Noise Control Engineering**. Melbourne.

HAYER, S. M.; ADAMS, J. D.; HATCH, L. T.; VAN PARIJS, S. M.; DZIAK, R. P.; HAXEL, J.; HEPPELL, S. A.; MCKENNA, M. F.; MELLINGER, D. K.; GEDAMKE, J. (2021). Large Vessel Activity and Low-Frequency Underwater Sound Benchmarks in United States Waters. **Frontiers in Marine Science**, v.8. DOI: 10.3389/fmars.2021.669528.

HILDEBRAND, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v.395, p. 5-20. DOI: 10.3354/meps08353.

HOLLAND, M. M. (1988). SCOPE/MAB technical consultations on landscape

boundaries: report of a SCOPE/ MAB workshop on ecotones. **Biology International**, v. 17, p. 47-106.

HOWE, B. M.; MIKSIS-OLDS, J.; REHM, E.; SAGEN, H.; WORCESTER, P. F.; HARALABUS, G. (2019). Observing the oceans acoustically. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, 426. DOI: 10.3389/fmars.2019.00426.

INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA – IEAPM (2017). Normas para acesso à Ilha do Cabo Frio. Marinha do Brasil. Anexo (5), da Portaria no 46/2017. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ieapm/sites/www.marinha.mil.br/ieapm/files/Normas%20para%20acesso%20a%20Ilha%20do%20Cabo%20Frio.pdf>. Acesso em 20 Dez. 2022.

INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA – IEAPM (2022). Superintendência de Pesquisa / Projetos. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ieapm/content/projetos-0>. Acesso em: 07 Dez. 2022.

JENSEN, F. B.; KUPERMAN, W. A.; PORTER, M. B.; & SCHMIDT, H. (2011). **Computational Ocean Acoustics**. In NASPA Journal (Vol. 42, Issue 4), Springer New York. DOI: 10.1007/978-1-4419-8678-8.

JORGENSEN, S. J.; REEB, C. A.; CHAPPLE, T. K.; ANDERSON, S.; PERLE, C.; VAN SOMMERAN, S. R.; FRITZ-COPE, C.; BROWN, A. C.; KLIMLEY, A. P.; BLOCK, B. A. (2010). Philopatry and migration of Pacific white sharks. **Proceedings of the Royal Society B: Biological sciences**, 277, p. 679-688. DOI: 10.1098/rspb.2009.1155.

KAFARSKI, P. (2012). Rainbow code of biotechnology. **Chemik**. v. 66, n.8. p. 814-816.

KIKUCHI, M.; AKAMATSU, T.; GONZALEZ-SOCOLOSKE, D.; DE SOUZA, D. A.; OLIVERA-GOMEZ, L.; DA SILVA, V. (2014). Detection of manatee feeding events by animal-borne underwater sound recorders. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 94, n. 6, p. 1139-1166. DOI: 10.1017/S0025315413001343.

KNIP, D. M.; HEUPEL, M. R.; SIMPFENDORFER, C. A. (2012). Evaluating marine protected areas for the conservation of tropical coastal sharks. **Biological Conservation**, v. 148. p. 200-209. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.01.008.

KRAUSE, B. (1993). The Niche Hypothesis: a virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats, **Soundscape Newsletter**, World Forum for Acoustic Ecology, Simon Fraser Univ, 6, p. 6-10.

KUPERMAN, W. & ROUX, P. (2007). Underwater Acoustics. In: **Springer Handbook of Acoustics**, p. 149-204. DOI: 10.1007/978-0-387-30425-0_5.

LIMA, J. A. M.; PAULA, T. P.; SOARES FILHO, W.; SPENGLER, A.; ALMEIDA, F. G.; PEREIRA, D. P. C.; GALOTTA, C.; CORRÊA JR, C.; BODART, C. P.; STEIN, M. (2022). Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos

(PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. v.10, n.2, p.95-119. DOI: 10.5281/zenodo.7321719.

MALANSON, G. P. (1997). Effects of feedbacks and seed rain on ecotone patterns. **Landscape Ecology**, v. 12, n. 1, p. 27-38.

MARQUES, T. A.; THOMAS, L.; MARTIN, S. W.; MELLINGER, D. K.; WARD, J. A.; MORETTI, D. J.; HARRIS, D.; TYACK, P. L. (2013). Estimating animal population density using passive acoustics. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 88. n.2, p. 287-309. DOI: 10.1111/brv.12001.

MATYUSHENKO, I.; SVIATUKHA, I.; GRIGOROVA-BERENDA, L. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy. *British Journal of Economics, Management & Trade*, v.14, n. 4, p. 1-14. DOI: 10.9734/BJEMT/2016/28151.

MCWILLIAM, J. N.; HAWKINS, A. D. (2013). A comparison of inshore marine soundscapes. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 446, p. 166-176. DOI: 10.1016/j.jembe.2013.05.012.

MENDES, D. C. (2021). **A influência da antropofonia no coro bioacústico marinho da Ilha do Cabo Frio**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) – Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha IEAPM/UFF, Arraial do Cabo, 48p. Disponível em: <http://repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/847643>. Acesso em 19 Dez. 2022.

MERCHANT, N. D.; FRISTRUP, K. M.; JOHNSON, M. P.; TYACK, P. L.; WITT, M. J.; BLONDEL, P.; PARKS, S. E. (2015). Measuring acoustic habitats. **Methods in Ecology and Evolution**, 6, p. 257-265. DOI: 10.1111/2041-210X.12330.

MIKSIS-OLDS, J. L.; MARTIN, B.; TYACK, P. L. (2018). Exploring the ocean through soundscapes. **Acoust. Today**, v. 14. p. 26–34.

MINELLO, M.; CALADO, L.; XAVIER, F. C. (2021). Ecoacoustic indices in marine ecosystems: a review on recent developments, challenges, and future directions. **ICES Journal of Marine Science**, v. 78 (9), p. 3066–3074. DOI: 10.1093/icesjms/fsab193.

MINELLO, M.; BARROSO, V.; LESSA, A.; HOFFMANN, L.; ARAÚJO, S.; RAMOS, Y.; NETTO, E.; XAVIER, F.; & PARO, A.; JÚNIOR, U. (2022). **A acústica submarina como ferramenta de monitoramento ambiental**. *Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas*. Edition: 1 Publisher: IVIDES.ORG, v. 2, p.433-461. DOI: 10.5281/zenodo.6676453.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI) (Brasil). A Década da Ciência Oceânica. *In: Década da Ciência Oceânica Brasil*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: <http://decada.ciencianomar.mctic.gov.br/sobre-a-decada/>. Acesso em: 01 out. 2021.

MIRANDA, L. B. de. (1985). Forma da correlação TS de massas de água das

regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 2, p. 105–119. DOI: 10.1590/S0373-55241985000200002.

MIQUELETI, S. A.; COSTA-FELIX, R. P. B. (2016). On the importance of measurement system calibration for underwater passive monitoring. **Journal of Physics: Conference Series**, 733, 012052. DOI: 10.1088/1742-6596/733/1/012052.

MOONEY, T. A.; DI IORIO, L.; LAMMERS, M.; LIN, T-H.; NEDELEC, S. L.; PARSONS, M.; RADFORD, C.; URBAN, E.; STANLEY, J. (2020). Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. **Royal Society open science**, v. 7, n.8, 201287. DOI: 10.1098/rsos.201287.

MUNGER, J.; HERRERA, D.; HAVER, S.; WATERHOUSE, L.; MCKENNA, M.; DZIAK, R.; GEDAMKE, J.; HEPPELL, S.; HAXEL, J. (2022). Machine learning analysis reveals relationship between pomacentrid calls and environmental cues. **Marine Ecology Progress Series**, v. 681, p. 197-210. DOI: 10.3354/meps13912.

NATIONAL GEOGRAPHIC (2010): **Marine Pollution**. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/oceans/critical-issues-marine-pollution/>>. Acesso em: 27 Nov. 2022.

NEIFF, J. J. (2003). Planícies de inundação são ecótonos? In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa. p. 29-45.

NYBAKKEN, J. W. (1997). **Marine biology: ecological approach**, 4. Ed, Califórnia: Addison-Wesley, Longman, p. 481.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU (2017). The Ocean Conference: Concept Paper on Partnership dialogue 1: **Addressing marine pollution**. Disponível em: <<https://oceanconference.un.org/documents>>. Acesso em: 29 Nov. 2022.

PAITACH, R. L.; AMUNDIN, M.; KÖNIGSON, S.; CREMER, M. J. (2022). Assessing effectiveness and side effects of likely “seal safe” pinger sounds to ward off endangered franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*). **Marine Mammal Science**, v. 38 (3), p. 1007-1021. DOI: 10.1111/mms.12907.

PARKS, S. E.; JOHNSON, M.; NOWACEK, D.; TYACK, P. L. (2011). Individual right whales call louder in increased environmental noise. **Biology letters**, v. 7, p. 33-35. DOI: 10.1098/rsbl.2010.0451.

PARMAR, T. K.; RAWTANI, D.; AGRAWAL, Y. K. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. **Frontiers in Life Science**, v. 9, n. 2. p. 110–118. DOI: 10.1080/21553769.2016.1162753.

PEIXOTO, S.; STREBEL, L.; SOARES, R.; DAVIS, D. A. (2022). Acoustic feeding responses using marine chemoattractants in plant-based diets for naive and non-naive *Litopenaeus vannamei*. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 257, 105792. DOI: 10.1016/j.applanim.2022.105792.

PIERETTI, N.; FARINA, A.; MORRI, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). In: Ecological Indicators. **Elsevier**, 11, p.868-873. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.11.005.

PIJANOWSKI, B. C.; FARINA, A.; GAGE, S. H.; DUMYAHN, S. L.; KRAUSE, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape ecology**, v. 26, n. 9, p. 1213-1232. DOI: 10.1007/s10980-011-9600-8.

PYĆ, C. D.; VALLARTA, J.; RICE, A. N.; ZEDDIES, D. G.; MAXNER, E. E.; DENES, S. L. (2021). Vocal behavior of the endangered splendid toadfish and potential masking by anthropogenic noise. **Conservation Science and Practice**, v.3 (5). DOI: 10.1111/csp2.352.

R CORE TEAM. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

RADFORD, C. A.; JEFFS, A.; TINDLE, C.; MONTGOMERY, J. C. (2008a). Resonating Sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, p. 37-43. DOI: 10.3354/meps07444.

RADFORD, C. A.; JEFFS, A. G.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C. (2008b). Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 921-929. DOI: 10.1007/s00442-008-1041-y.

RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A.; SIMPSON, S. D. & JEFFS, A. G. (2011). Juvenile coral reef fish use sound to locate habitats. **Coral Reefs**, v. 30, n. 2, p. 295-305. DOI: 10.1007/s00338-010-0710-6.

ROSARIO, A. A. (2015). **Sistema para monitoramento e análise de paisagens acústicas submarinas**. Tese (Doutorado em Engenharia em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-14062016-103939/pt-br.php>. Acesso em 02 Out. 2021.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. (2015). Underwater sound pressure levels in the Port of Santos: Representative sample of forty-five days. IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics) p. 1-4. DOI: 10.1109/RIOAcoustics.2015.7473600.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. (2016). Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast, **Marine Pollution Bulletin**, v. 105, n. 1, p. 65-72. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.02.055.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. (2017a). A methodology for analyzing biological choruses from long-term passive acoustic monitoring in natural areas. **Ecological Informatics**, v. 41, p. 1-10. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2017.07.001.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. (2017b). Temporal and spectral patterns of fish choruses in two protected areas in southern Atlantic, **Ecological Informatics**, v. 38, p. 31-38. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2017.01.003.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I. (2021). Signal processing basics applied to ecoacoustics. **Ecological Informatics**, v. 66, 101445. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.101445.

SCOPUS. (2019). **Scopus Info**. Amsterdã: Elsevier, 2019. Disponível em: <http://www.scopus.com/>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

SHANNON, G.; MCKENNA, M. F.; ANGELONI, L. M.; CROOKS, K. R.; FRISTRUP, K. M.; BROWN, E.; WARNER, K. A.; NELSON, M. D.; WHITE, C.; BRIGGS, J.; MCFARLAND, S.; WITTEMYER, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. **Biological Reviews**, v. 91, n. 4, p. 982-1005. DOI: 10.1111/brv.12207.

SIDDAGANGAIAH, S.; CHEN, C-F.; HU, W-C.; AKAMATSU, T.; MCELLIGOTT, M.; LAMMERS, M. O.; PIERETTI, N. (2020). Automatic detection of dolphin whistles and clicks based on entropy approach. **Ecological Indicators**, 117, 106559. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106559.

SIMMONDS, M.; DOLMAN, S.; WEILGART, L. (2004). **Oceans of noise**: A WDCC Science report. Wiltshire: Whale And Dolphin Conservation Society. 168 p. Disponível em: <<https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2018/08/Oceans-of-Noise.pdf>>. Acesso em: 05 Dez. 2022.

SIMPSON, S. D.; MEEKAN, M. G.; MONTGOMERY, J. C.; MCCAULEY, R. D.; JEFFS, A. G. (2005). Homeward sound. **Science**, v. 308, n. 5719, p. 221. DOI: 10.1126/science.1107406.

SINGH, R. L. (2017). **Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future**. [S.l.]: Springer.

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N.; VAN OPZEELAND, I.; COERS, A.; TEN CATE, C.; POPPER, A. (2010). A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 7, p. 419-427. DOI: 10.1016/j.tree.2010.04.005.

SOUSA-LIMA, R.; FERNANDES, D.; NORRIS, T.; OSWALD, J. (2013). A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, p. 1-9. DOI: 10.1109/RIOAcoustics.2013.6683984.

STANLEY, J. A.; RADFORD, C. A. & JEFFS, A. G. (2012). Location, location, location: finding a suitable home among the noise. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Science**, v. 279, n. 1742, p. 3622–3631. DOI: 10.1098/rspb.2012.0697.

UN GENERAL ASSEMBLY. (2015). **Transforming our world: the 2030 Agenda for**

Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1.

UNESCO-IOC (2021). **The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030) Implementation Plan**. UNESCO, Paris (IOC Ocean Decade Series, 20.)

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável é lançada oficialmente hoje (20) para destacar a urgência na proteção do maior bioma do planeta. *In: News* [Brasília, DF]: UNESCO, 2021. Disponível em: <https://pt.unesco.org/news/decada-da-ciencia-oceanica-o-desenvolvimento-sustentavel-e-lancada-oficialmente-hoje-20>. Acesso em: 01 Out. 2021.

VILLANUEVA-RIVERA L. J.; PIJANOWSKI B. C. (2018). Soundecology: Soundscape Ecology. R package version 1.3.3. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

VISBECK, M. (2018). Ocean science research is key for a sustainable future. **Nature communications**, v. 9, n. 1, 690. DOI: 10.1038/s41467-018-03158-3.

VOELLMY, I.; PURSER, J.; FLYNN, D.; KENNEDY, P.; SIMPSON, S.; RADFORD, A. (2014). Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. **Animal Behaviour**, 89, p. 191-198. DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.12.029.

WHITE, E. L.; WHITE, P. R.; BULL, J. M.; RISCH, D.; BECK, S.; EDWARDS, E. W. J. (2022). More than a whistle: Automated detection of marine sound sources with a convolutional neural network. **Frontiers in Marine Science**, v. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.879145.

WILLIAMS, R.; WRIGHT, A. J.; ASHE, E.; BLIGHT, L. K.; BRUINTJES, R.; CANESSA, R.; CLARK, C. W.; CULLIS-SUZUKI, S.; DAKIN, D. T.; ERBE, C.; HAMMOND, P. S.; MERCHANT, N. D.; O'HARA, P. D.; PURSER, J.; RADFORD, A. N.; SIMPSON, S. D.; THOMAS, L.; WALE, M. A. (2015). 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. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021.

WYNSBERGHE, A. Van.; DONHAUSER, J. (2018). The dawning of the ethics of environmental robots. **Science and engineering ethics**, Springer, v. 24, n. 6. p. 1777–1800. DOI: 10.1007/s11948-017-9990-3.

XAVIER, F. C.; SILVEIRA, N. G.; CALADO, L.; JESUS, S. M. (2018). A influência da ressurgência costeira na assinatura bioacústica da Ilha de Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ. *In: XIII ETAS - Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina*, 2018, Rio de Janeiro. Anais do XIII ETAS.

ZIEGENHORN, M. A.; FRASIER, K. E.; HILDEBRAND, J. A.; OLESON, E. M.; BAIRD, R. W.; WIGGINS, S. M.; BAUMANN-PICKERING, S. (2022). Discriminating and classifying odontocete echolocation clicks in the Hawaiian Islands using machine

learning methods. **Plos One**, v. 17 (4). DOI: 10.1371/journal.pone.0266424.

ZIMMER, W. M. X. (2011). **Passive acoustic monitoring of cetaceans**. Cambridge University Press. p. 1-356. DOI: 10.1017/CBO9780511977107.

APÊNCICE – TABELAS: VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA
MÉDIOS DAS ZONAS ACÚSTICAS

Tabela 1A: Valores de SPL (dB) medianos calculados por hora em cada banda e os SPL's médios e coeficientes de variação calculados para a zona de baixa frequência (ZB). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

Horas	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	média	desvio	cv
0 h	75.1	77.0	78.3	78.5	79.1	79.4	79.9	81.2	84.2	79.2	2.562369	3.235143148
1 h	74.8	76.9	78.2	78.5	79.3	79.3	79.6	80.7	83.8	79.0	2.480903	3.140131454
2 h	74.7	76.6	78.3	78.6	79.4	79.4	79.6	80.5	83.5	79.0	2.465321	3.121940701
3 h	74.9	76.6	78.3	78.7	79.7	79.6	79.6	80.5	83.5	79.0	2.42297	3.065283231
4 h	75.4	77.2	78.8	78.9	79.7	79.6	79.6	80.4	83.3	79.2	2.15504	2.720807963
5 h	76.7	78.9	80.2	80.8	81.6	81.4	81.5	82.4	84.9	80.9	2.274605	2.810001158
6 h	77.7	79.6	80.8	82.2	83.2	82.8	82.6	83.6	86.1	82.1	2.425314	2.955721861
7 h	77.4	79.3	80.4	81.4	82.2	81.8	81.6	82.9	85.6	81.4	2.299904	2.825172212
8 h	77.7	79.6	80.9	83.0	83.2	82.9	83.6	84.1	86.4	82.4	2.593578	3.147442186
9 h	79.4	81.3	82.6	84.8	85.3	84.7	85.3	85.9	88.0	84.1	2.614451	3.107522108
10 h	83.7	85.7	86.5	88.3	88.9	88.7	89.5	89.8	90.8	88.0	2.261104	2.569713184
11 h	85.8	88.0	89.0	90.4	90.7	90.4	91.3	91.3	91.9	89.9	1.945079	2.164613345
12 h	88.4	90.7	91.2	92.1	92.7	92.3	92.8	92.8	93.1	91.8	1.495064	1.62901569
13 h	88.2	90.4	91.0	91.8	92.4	91.9	92.1	92.0	92.4	91.4	1.363579	1.492618946
14 h	86.3	88.9	89.7	90.3	90.5	89.9	89.9	90.0	90.6	89.6	1.319843	1.473622943
15 h	84.3	86.4	87.3	88.0	88.4	87.8	87.5	88.1	89.0	87.4	1.382636	1.581640224
16 h	82.7	84.8	86.0	87.2	87.9	87.3	86.5	87.3	88.1	86.4	1.72964	2.001510293
17 h	81.3	83.8	85.6	87.6	89.3	88.4	86.6	86.9	87.2	86.3	2.430214	2.815807789
18 h	81.3	84.8	87.5	90.4	93.1	91.2	88.5	87.7	87.5	88.0	3.490087	3.965345977
19 h	80.9	84.7	87.6	90.9	94.1	92.8	91.2	91.4	91.8	89.5	4.280815	4.78376841
20 h	77.9	81.2	83.5	85.9	88.2	87.8	87.8	89.1	90.4	85.8	4.110164	4.793086478
21 h	76.5	79.2	80.7	82.0	83.2	83.1	83.2	84.4	86.5	82.1	2.962853	3.609879864
22 h	75.8	78.0	79.1	79.8	80.5	80.7	81.0	82.3	85.0	80.2	2.597763	3.237841249
23 h	75.3	77.4	78.6	78.9	79.4	79.7	80.3	81.6	84.6	79.5	2.610976	3.282851162

Tabela 2A: Valores de SPL (dB) medianos calculados por hora em cada banda e os SPL's médios e coeficientes de variação calculados para a zona de transição (ZT). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

Horas	1 kHz	1.3 kHz	1.6 kHz	2 kHz	média	desvio	cv
0 h	86.7	91.5	95.1	97.6	92.7	4.729358	5.100345624
1 h	86.4	91.3	94.9	97.5	92.5	4.820592	5.211315449
2 h	86.3	91.2	94.8	97.4	92.4	4.822476	5.218783796
3 h	86.2	91.2	94.8	97.4	92.4	4.878485	5.279608533
4 h	86.1	91.1	94.8	97.4	92.3	4.920494	5.328366462
5 h	87.4	92.0	95.5	98.0	93.2	4.619978	4.954598602
6 h	88.1	92.3	95.7	98.3	93.6	4.390439	4.690767386
7 h	87.5	91.6	95.0	97.5	92.9	4.331335	4.662798138
8 h	88.2	91.9	95.0	97.4	93.1	4.008455	4.305085815
9 h	89.3	92.4	95.1	97.3	93.5	3.45844	3.698530566
10 h	91.7	93.7	95.8	97.6	94.7	2.539091	2.680585316
11 h	92.5	94.0	95.7	97.3	94.9	2.066877	2.178797944
12 h	93.6	94.5	95.7	97.1	95.2	1.503255	1.578226268
13 h	92.8	93.9	95.2	96.6	94.6	1.632236	1.725414846
14 h	91.3	92.9	94.7	96.2	93.8	2.146532	2.289310313
15 h	90.1	92.3	94.6	96.6	93.4	2.835776	3.035623677
16 h	89.3	92.2	94.8	97.0	93.3	3.341275	3.580375748
17 h	88.5	92.1	95.3	97.7	93.4	3.997097	4.279257325
18 h	88.6	92.7	96.2	98.8	94.1	4.405488	4.683417954
19 h	91.4	93.8	96.9	99.0	95.3	3.350772	3.517035569
20 h	90.2	92.9	96.2	98.2	94.4	3.530955	3.740768168
21 h	88.1	92.2	95.7	98.1	93.5	4.336578	4.638131236
22 h	87.2	91.8	95.3	97.8	93.1	4.610126	4.954022936
23 h	87.0	91.7	95.2	97.7	92.9	4.652816	5.009463499

Tabela 3A: Valores de SPL (dB) medianos calculados por hora em cada banda e os SPL's médios e coeficientes de variação calculados para a zona de alta frequência (ZA). Dados obtidos de gravações entre Fevereiro de 2018 e Janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

Horas	2.5 kHz	3.2 kHz	4 kHz	5 kHz	6.3 kHz	8 kHz	10 kHz	12.5 kHz	16 kHz	20 kHz	média	desvio	cv
0 h	100.9	103.4	104.4	105.2	105.1	102.9	103.1	100.1	96.1	95.9	101.7	3.426263	3.368262375
1 h	100.8	103.4	104.4	105.2	105.1	102.9	103.1	100.1	96.1	95.9	101.7	3.424562	3.366710364
2 h	100.7	103.3	104.4	105.2	105.0	102.9	103.1	100.0	96.1	95.8	101.6	3.435861	3.380208133
3 h	100.8	103.4	104.4	105.2	105.1	102.9	103.1	100.1	96.1	95.9	101.7	3.431558	3.374939335
4 h	100.8	103.4	104.4	105.2	105.1	102.9	103.1	100.1	96.1	95.9	101.7	3.433848	3.376172661
5 h	101.4	104.1	105.1	105.9	105.8	103.7	103.9	100.9	97.0	96.7	102.5	3.387956	3.306901888
6 h	101.7	104.4	105.6	106.4	106.3	104.2	104.5	101.6	97.7	97.5	103.0	3.30236	3.206132352
7 h	100.9	103.5	104.6	105.4	105.3	103.2	103.4	100.5	96.6	96.3	102.0	3.31843	3.254565222
8 h	100.7	103.2	104.3	105.2	104.9	102.8	103.0	100.1	96.1	95.9	101.6	3.367627	3.313796261
9 h	100.4	102.9	103.9	104.9	104.5	102.4	102.6	99.7	95.8	95.7	101.3	3.332773	3.290773384
10 h	100.4	102.7	103.6	104.6	104.2	102.0	102.3	99.5	95.6	95.5	101.0	3.280814	3.246773299
11 h	100.0	102.3	103.2	104.3	103.9	101.7	102.0	99.2	95.5	95.4	100.7	3.204555	3.180893045
12 h	99.6	101.9	102.9	104.0	103.6	101.4	101.8	99.0	95.3	95.3	100.5	3.151586	3.136936491
13 h	99.1	101.4	102.5	103.8	103.4	101.3	101.6	98.8	95.2	95.2	100.2	3.112168	3.105322139
14 h	99.0	101.5	102.6	103.9	103.6	101.5	101.9	99.0	95.4	95.4	100.4	3.071058	3.059563201
15 h	99.6	102.1	103.2	104.4	104.2	102.0	102.5	99.6	96.0	96.0	101.0	3.072512	3.043278197
16 h	100.1	102.7	103.9	104.9	104.7	102.6	103.1	100.3	96.6	96.5	101.5	3.088037	3.04153704
17 h	101.0	103.7	104.9	105.7	105.6	103.5	104.0	101.1	97.4	97.2	102.4	3.132487	3.058538508
18 h	102.1	104.7	105.9	106.7	106.7	104.6	105.0	102.0	98.2	97.9	103.4	3.232082	3.126611865
19 h	101.9	104.3	105.2	106.1	105.9	103.8	104.1	101.1	97.1	96.8	102.6	3.375605	3.289072044
20 h	101.3	103.8	104.7	105.5	105.4	103.2	103.5	100.4	96.5	96.2	102.0	3.417498	3.349135512
21 h	101.2	103.7	104.7	105.5	105.3	103.2	103.4	100.4	96.4	96.1	102.0	3.438163	3.371020725
22 h	101.1	103.6	104.6	105.4	105.2	103.1	103.3	100.3	96.3	96.0	101.9	3.442693	3.379421218
23 h	101.0	103.5	104.5	105.3	105.1	103.0	103.2	100.2	96.2	95.9	101.8	3.437449	3.377310086