



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

UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR

**MONITORAMENTO DA PAISAGEM ACÚSTICA COMO SERVIÇO
APLICADO À BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL MARINHA**

ARRAIAL DO CABO / RJ

2023

UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR

**MONITORAMENTO DA PAISAGEM ACÚSTICA COMO SERVIÇO
APLICADO À BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL MARINHA**

Tese de doutorado, apresentado ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Biotecnologia Marinha.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto
Coorientador: Dr. Fábio Contrera Xavier

ARRAIAL DO CABO / RJ

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

M528m Melo Júnior, Ubirajara Gonçalves

Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha / Ubirajara Gonçalves Melo Júnior. – Arraial do Cabo, 2023.

121 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Eduardo Barros Fagundes Netto.

Coorientador: Fabio Contrera Xavier.

Tese (Doutorado) – 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. Biotecnologia marinha. 2. Paisagem acústica. 3. Ecologia acústica.
I. Calado, Leandro. II. Xavier, Fabio Contrera. III. Título.

CDD:660.6

UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR

**MONITORAMENTO DA PAISAGEM ACÚSTICA COMO SERVIÇO
APLICADO À BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL MARINHA**

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

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
Professor Orientador – Presidente da Banca Examinadora

Dra. Lilian Sander Hoffmann
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Bernardo Antônio Perez da Gama
Universidade Federal Fluminense

Dr. William Soares Filho
Instituto de Pesquisas da Marinha

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

Arraial do Cabo, 26 de outubro de 2023

À minha esposa Vanessa e ao meu filho Lucas. Pelo apoio, pela compreensão e pelo amor que me deram forças para continuar e para chegar ao fim dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Vanessa, por ser esse exemplo de força e coragem e que mesmo nos momentos mais difíceis me inspirou e me ajudou a continuar e a conquistar esse sonho. Obrigado pelo privilégio de permanecer ao meu lado por todos esses anos.

Ao meu filho Lucas, que chegou no final dessa caminhada e trouxe com ele um oceano de felicidade para minha vida. A sua presença me incentiva a buscar o meu melhor todos os dias.

Ao meu filho de quatro patas Darwin, que esteve ao meu lado, literalmente, em muitas horas de aulas, reuniões, análises e leituras.

Aos meus pais, Fátima e Ubirajara, e ao meu irmão Charlie, que dedicam todo seu carinho e compreendem minhas ausências. Esse título também é para vocês. Por todas as lutas que enfrentamos juntos ao longo da vida. Me orgulho muito de ser membro dessa família.

Aos meus sogros Vera e Sérgio e ao meu cunhado Rafael por toda a ajuda que nos dão com nosso filho Lucas. Vocês também foram responsáveis por eu ter chegado ao final dessa jornada.

Ao Dr. Eduardo B. Fagundes Netto, por seus ensinamentos e conselhos, visando a clareza e objetividade do trabalho tanto no mestrado quanto no doutorado. Muito obrigado pela oportunidade, pela parceria e por ter acreditado em mim.

Ao Dr. Fabio C. Xavier, que extrapolou as fronteiras da orientação acadêmica e também me orienta na minha nova vida de papai, juntamente com sua linda família a Dra. Laís e sua filha Lis. Eu, Vanessa e Lucas somos muito gratos a vocês.

Ao meu amigo Daniel Campbell (*in memoriam*), que durante sua permanência nesse plano, sempre esteve disposto para horas de discussões, contribuindo muito para meu processo de aprendizagem. Acredito que você tenha me ajudado mesmo de longe. Esse título também é seu, Doutor Daniel.

Aos meus amigos do grupo de Bioacústica do IEAPM, Alexandre, Alexia, Débora, Leonardo, Luís Felipe, Murilo, Nilce, Sâmia, Yagho, Débora, Lilian, Sidney e Viviane. Obrigado a todos vocês que em algum momento contribuíram para essa jornada.

Ao Murilo Minello e à Viviane Barroso, um agradecimento especial pelas discussões preciosas sobre os fundamentos da paisagem acústica que agregaram muito no desenvolvimento da tese.

Aos amigos Rodrigo Cumplido e Marcelo Tardelli, que me acompanharam nessa caminhada desde o início e sempre estiveram disponíveis a ajudar no que fosse preciso.

Ao MSc. Rafael Menezes por nunca ter deixado de me ajudar quando surgiam as dúvidas na programação em Python.

Ao meu amigo Fernando Savino e sua esposa Danielle Savino, por todo carinho e atenção que tiveram ao me ajudar a superar algumas dificuldades impostas pela vida, que aparecem sem avisar. A ajuda de vocês me permitiu continuar em frente.

Aos meus amigos Amanda Gama e Gabriel Carvalho e sua filhinha Teresa. Por estarem presentes em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis. Não existem palavras que possam mensurar o tamanho da gratidão que eu tenho por vocês.

Ao Allan Hau que não hesitou em me ajudar em momentos de necessidade.

Ao Flávio Antônio C. Gomes por toda a força que você me deu. Sou realmente muito grato por tudo.

Aos Médicos Rodrigo Maia e Larissa Karolynne Porfirio e toda a equipe da OnkoSol e do Hospital Santa Izabel. Obrigado por me escutarem e prestarem esse serviço humano e de excelência. O trabalho de vocês permitiu que eu chegasse ao fim dessa importante etapa da minha vida.

À Ana Laura M. Pereira e à Lílian Oliveira que me orientaram e me tranquilizaram. A ajuda de vocês foi importantíssima tanto para a finalização desta tese quanto por me dar mais tempo com meu filho.

À prefeitura de São Pedro da Aldeia e à secretária de educação Sheila M. S. Atalla que me concederam a licença que tornou possível a finalização desta tese. Iniciativas como essa valorizam os profissionais da educação e configuram um passo importante para uma educação pública de qualidade.

A todos os colegas do IEAPM, pelo companheirismo e auxílio, fundamentais para a superação das dificuldades.

Aos que participaram da minha banca de qualificação e mesmo depois me auxiliaram com novas contribuições. Dr. Bernardo da Gama, Dr. Carlos Eduardo Ferreira, Dra. Lilian Hoffman e Dr. William Soares. Gostaria que vocês soubessem que sou muito grato pela força que vocês me deram.

Aos Doutores da banca que gentilmente aceitaram o convite para participar.

À Petrobrás e ao Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil (IPqM) pelos dados fornecidos para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Departamento de Acústica Submarina (IEAPM) e à Divisão de Oceanografia Biológica (IEAPM) por todo apoio dado para a realização do estudo.

No mais, fica meu agradecimento a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
CAPÍTULO 1.....	22
VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA COSTA SUDESTE DO BRASIL.....	22
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Área de Estudo.....	25
2.1.1 Ilha do Cabo Frio.....	26
2.1.2 Baía de Guanabara.....	27
2.1.3 Ilha Grande.....	28
2.1.4 São Sebastião.....	29
2.2 Aquisição dos dados.....	29
2.3 Análise dos dados.....	32
3.1 ANÁLISES ESPACIAIS.....	33
3.1.1 Análises descritivas.....	33
3.2 ANÁLISES TEMPORAIS.....	36
3.2.1 Análises de padrões diários.....	36
Tabela 2: Classificações de ruídos baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de cada ponto de amostragem.....	39
3.2.2 Análises de padrões sazonais.....	40
3.3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	44
3.3.1 Número de Embarcações.....	44
3.3.2 Radiação global.....	47
3.3.3 Precipitação.....	50
3.3.4 Velocidade do vento.....	52
3.3.5 Altura da maré.....	55
3.3.6 Velocidade da corrente.....	57
3.3.7 Temperatura da água.....	59

3.4 ANÁLISES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)	63
4. DISCUSSÃO	65
4.1 Padrões acústicos comuns a todos os pontos	65
4.1.1 Caracterização da faixa G1 (125 – 800 Hz)	67
4.1.2 Caracterização da faixa G2 (1 – 2 kHz).....	68
4.1.3 Caracterização da faixa G3 (2,5 – 20 kHz).....	69
4.2 Padrões acústicos distintos a todos os pontos	70
4.2.1 Perfil da paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio	71
4.2.2 Perfil da paisagem acústica da Baía de Guanabara.....	74
4.2.3 Perfil da paisagem acústica da Ilha Grande	77
4.2.4 Perfil da paisagem acústica de São Sebastião.....	79
5. CONCLUSÃO	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO 2.....	90
ECOLOGIA DA PAISAGEM ACÚSTICA: O EFEITO CASCATA DESENCADEADO PELA RESSURGÊNCIA NA ILHA DO CABO FRIO	90
1. INTRODUÇÃO.....	90
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	92
2.1 Área de Estudo	92
2.2 Aquisição dos dados	93
2.3 Análise dos dados.....	94
3. RESULTADOS.....	96
4. DISCUSSÃO.....	105
4.1 Relação entre a temperatura e o vento.	105
4.2 Classificação dos sinais.	105
4.3 Relação entre a temperatura e o SPL.	106
5. CONCLUSÃO	109
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
5. APÊNDICES E ANEXOS	118

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACAS - Água Central do Atlântico Sul.

ACP - Análises dos Componentes Principais.

ADCP - *Acoustic Doppler Current Profiler*.

AIS - *Automatic Identification System*.

BIOCOM - Projeto de Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos para Comunicação Submarina.

BSB - Baía Sul do Brasil

CIESM - *Mediterranean Science Commission*.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IEAPM - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPqM - Instituto de Pesquisas da Marinha.

MAP - Monitoramento Acústico Passivo.

MVD - Migração Vertical Diária.

OECD - *Organization for Economic Cooperation and Development*.

ONU - Organização das Nações Unidas.

PMPAS-BS - Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

MSFD - *European Marine Strategy Framework Directive*.

RMS - *Root Mean Square*.

SPL - *Sound Pressure Level*.

UTC - *Coordinated Universal Time*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. INTRODUÇÃO

Figura 1: Linha do tempo mostrando o histórico da paisagem acústica submarina.....18

Figura 2: Nuvem de palavras com os principais termos encontrados nas definições de biotecnologia marinha, com duas setas indicando a conexão com os conceitos que definem a paisagem acústica submarina.....20

Figura 3: Os diversos ramos de pesquisas e aplicações em biotecnologia.....20

CAPÍTULO 1

Figura 1: Os pontos em vermelho mostram a localização dos hidrofones em seus respectivos pontos de amostragem. Enquanto os pontos em azul mostram a localização das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A figura 1a representa a visão geral da área de estudo. A figura 1b mostra a Ilha do Cabo Frio, a figura 1c mostra a entrada da Baía de Guanabara, a figura 1d mostra a Baía da Ilha Grande e a figura 1e mostra o canal de São Sebastião.....26

Tabela 1: Informações sobre os sistemas de gravações de cada ponto de amostragem.....30

Figura 2: Estatística descritiva comparando os dados mínimos, os médios, os percentis de 5°, 25°, 50°, 75° e 95°, os máximos e os coeficientes de variações dos valores de SPL em relação às frequências da paisagem acústica de cada ponto de amostragem.....34

Figura 3: Análise de agrupamento em relação aos pontos de amostragens e suas respectivas faixas de frequências, com base na distância euclidiana e no método de *Ward*, a partir de dados medianos.....36

Figura 4: A figura **a** mostra os espectrogramas a partir de dados medianos de horas por frequências, no período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019. As seleções nomeadas com as letras S e seus respectivos números correspondem aos sinais observados em cada um dos pontos de amostragem. A figura **b** mostra os valores medianos do SPL por hora, com ênfase em suas variações a partir dos desvios absolutos da mediana.....37

Tabela 2: Classificações de ruídos baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de cada ponto de amostragem.....39

Figura 5: A figura **a** mostra espectrogramas, a partir de dados medianos por dia para cada uma das frequências, no período de 01 de fevereiro de 2018 a 31 de janeiro de 2019 de todos os pontos de amostragem. Os espaços em branco representam os dias sem gravações. A figura **b** mostra tendências sazonais de todos os pontos de amostragem, através de gráficos de linha, utilizando os dados medianos e os desvios absolutos das medianas, além das análises de agrupamentos, a partir de dados medianos, baseados na distância euclidiana e no método de *Ward*.....42

Figura 6: A figura **a** mostra o número de embarcações por dia dos pontos de amostragem (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019). Ilha de Cabo Frio obtidos por contagem visual pelo IEAPM; Baía de Guanabara, Ilha Grande e São Sebastião obtidos por AIS, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* do número de embarcações por dia com o número médio do SPL por dia para Ilha do Cabo Frio. Para os demais pontos de amostragem a figura **b** mostra as correlações de *Spearman* entre o número embarcações por hora com o número médio do SPL por hora.....46

Figura 7: A figura a mostra os dados de radiação global (kJ/m ²) por hora (01 de fevereiro de 2018 - 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de radiação com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	49
Figura 8: A figura a mostra os dados de precipitação (mm) por hora (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de precipitação com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	51
Figura 9: A figura a mostra os dados de distribuição da velocidade (m/s) e direção dos ventos (°(gr)) por hora (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de velocidade do vento com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	54
Figura 10: A figura a mostra os dados de altura da maré (m) de 01 de fevereiro de 2018 a 31 de janeiro de 2019, a cada 6 horas, para a Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo CPTEC e pelo INPE e por hora para os demais pontos de amostragem, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de altura da maré com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	56
Figura 11: A figura a mostra os dados de velocidade da corrente (m/s) por minuto (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e de São Sebastião, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de velocidade da corrente com os dados acústicos da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e de São Sebastião.....	58
Figura 12: Figura 12: A figura a mostra os dados de temperatura da água por hora (01 de fevereiro de 2018 - 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo IEAPM e pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura b mostra as correlações de <i>Spearman</i> dos dados de altura da maré com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	60
Figura 13: Correlações de <i>Spearman</i> dos parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.....	62
Figura 14: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Ilha do Cabo Frio.....	63
Figura 15: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Baía de Guanabara.....	64
Figura 16: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Ilha Grande.....	64
Figura 17: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos de São Sebastião.....	65

CAPÍTULO 2

Figura 1: Mapa da área de estudo. O ponto em vermelho mostra a localização do hidrofone. O ponto em azul mostra a localização da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).....	92
Tabela 1 - Informações sobre o posicionamento do hidrofone e o sistema de gravação na Ilha do Cabo Frio.....	93
Tabela 2 – Informações sobre os limites inferiores e superiores das frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava utilizadas no estudo.....	94

Figura 2: A figura **a** mostra a variação da temperatura (vermelho = sem ressurgência e azul = ressurgência), da direção e da velocidade do vento durante todo o período de estudo (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019). As seleções verticais representadas pelas linhas pontilhadas, em cada um dos gráficos da figura **a**, fazem referência ao dia 14/04/2018. As figuras **b**, **c** e **d**, são análises do dia 14/04/2018. A figura **b** mostra a relação entre a direção do vento e a temperatura da água através de um gráfico com dois eixos y. O primeiro eixo y mostra a variação da temperatura em 24 horas (linha vermelha) e o segundo eixo mostra a variação da direção do vento em 24 horas (linha cinza). A figura **c** mostra a distribuição da direção e da velocidade do vento a partir de um gráfico de rosa dos ventos. A figura **d** mostra a distribuição da frequência (%) dos ventos em cada uma das direções.....97

Figura 3: Espectrogramas no domínio do tempo (**a**, **b**, **c**) a partir de dados medianos do SPL de cada hora por cada frequência, no período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019 e o espectro da frequência (**d**) a partir de dados medianos do SPL e seus respectivos desvios absolutos das medianas por frequência. As seleções nomeadas com a letra **S** e seus respectivos números, correspondem aos sinais observados na Ilha do Cabo Frio.....99

Tabela 3 - Caracterização dos sinais baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de diferentes classes de temperatura..... 100

Figura 4: Identificação da origem dos dados acústicos usados para construção dos espectrogramas no domínio do tempo e da frequência (Figura 3 a, b, c e d) e a influência da antropofonia originada do tráfego de embarcações durante o período do estudo..... 101

Figura 5: Espectrogramas no domínio do tempo (**a** e **b**) a partir de dados medianos do SPL de cada hora por cada frequência, em dias de temperaturas entre 20 e 24°C precedidos e não precedidos de ressurgência, combinados com gráficos de temperatura (linha branca) através de dados medianos e seus respectivos desvios absolutos da mediana. A figura **c** apresenta o espectro da frequência a partir de dados medianos do SPL e seus respectivos desvios absolutos das medianas por frequência. As seleções nomeadas com a letra **S** e seus respectivos números, correspondem aos sinais observados na Ilha do Cabo Frio..... 103

Tabela 4: Caracterização dos sinais baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de dias temperatura entre 20 e 24°C em períodos precedidos e não precedidos de ressurgência..... 104

5. APÊNDICE E ANEXOS

Figura 4: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para a Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS..... 118

Figura 5: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para a Baía de Guanabara, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS..... 119

Figura 6: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para Ilha Grande, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS..... 120

Figura 7: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para São Sebastião, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS..... 121

RESUMO

A ecologia da paisagem acústica possui elementos antropogênicos, biológicos e geológicos e pode fornecer informações significativas sobre o ambiente marinho. Estudos nessa área têm se destacado devido às características não invasivas de seu monitoramento. O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal, a influência dos parâmetros antropogênicos, abióticos e oceanográficos e da ressurgência na paisagem acústica submarina na costa sudeste do Brasil. Para isso, foram coletados dados acústicos da Ilha do Cabo Frio, da entrada da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e do canal de São Sebastião. Os dados acústicos foram oriundos do Projeto de Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos para Comunicação Submarina (BIOCOM) e do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS). Foram utilizados dados acústicos na faixa de 125 Hz a 20 kHz, no período de 1º de fevereiro de 2018 a 31 de janeiro de 2019. Os resultados encontrados evidenciaram diferenças entre os pontos de amostragem em relação às análises espaço-temporais. Foram identificados padrões acústicos provenientes de sinais de peixes, de invertebrados e antropogênicos. Além disso, o estudo mostrou a correlação da paisagem acústica com os parâmetros selecionados e mostrou também quais desses parâmetros eram mais representativos para cada ponto estudado através de análises dos componentes principais (ACP). Os resultados também mostraram que os ventos lés-nordeste (E-NE) foram um dos fatores determinantes para a ocorrência da ressurgência na região da Ilha do Cabo Frio. Dessa maneira, foi constatado que a ressurgência influencia a paisagem acústica de duas formas. A partir da atenuação dos níveis de pressão sonora (SPL) em relação à subida das águas frias e a partir do aumento do SPL em dias precedidos de ressurgência em resposta à disponibilidade de nutrientes para a cadeia trófica. Além disso, foram encontrados resultados importantes sobre a temperatura da água e sua influência na variação dos sinais biológicos. Esses resultados se mostraram ainda mais relevantes frente ao aumento da média global da temperatura dos oceanos e seus recentes e sucessivos recordes registrados, causados pela intensificação do efeito estufa e das mudanças climáticas. A partir dos resultados apresentados na tese, pode-se concluir que as informações originadas do monitoramento acústico passivo (MAP), além de evidenciar as características acústicas distintas de cada região, demonstraram a influência da ressurgência na paisagem acústica submarina. Essas informações podem ser utilizadas para a manutenção da biodiversidade e dos estoques pesqueiros.

Palavras-chaves: Monitoramento acústico passivo, ressurgência, temperatura, sons de peixes, sons de invertebrados, ecologia.

ABSTRACT

Soundscape ecology is a field of study that investigates the anthropogenic, biological, and geological elements that compose the marine acoustic environment. Studies in this area have gained prominence due to the non-invasive characteristics of their monitoring. This study aimed to evaluate the spatio-temporal variability, the influence of anthropogenic, abiotic, and oceanographic parameters, and upwelling on the underwater soundscape in the southeastern coast of Brazil. To do this, acoustic data were collected from Ilha do Cabo Frio, the entrance to Guanabara Bay, Ilha Grande, and the São Sebastião channel. The acoustic data were obtained from the Project for Construction of Signaling Methods with Bioacoustic Noise Characteristics for Underwater Communication (BIOCOM) Project and the Santos Basin Underwater Soundscape Monitoring Project (PMPAS-BS). Acoustic data were used in the range of 125 Hz to 20 kHz, from February 1, 2018 to January 31, 2019. The results found evidenced differences between the sampling points in relation to spatio-temporal analyses. Soundscape patterns from fish, invertebrates, and anthropogenic signals were identified. In addition, the study showed the correlation of the soundscape with the selected parameters and also showed which of these parameters were most representative for each study point through principal component analysis (PCA). The results also showed that northeasterly (E-NE) winds were one of the determining factors for the occurrence of upwelling in the Ilha do Cabo Frio region. Thus, it was found that upwelling influences the soundscape in two ways. From the attenuation of sound pressure levels (SPL) in relation to the rise of cold waters and from the increase in SPL on days preceding upwelling in response to the availability of nutrients for the food chain. In addition, important results were found on water temperature and its influence on the variation of biological signals. These results were shown to be even more relevant in the face of the global increase in ocean temperatures and their recent and successive record-breaking records, caused by the intensification of the greenhouse effect and climate change. Based on the results presented in the thesis, it can be concluded that the information from passive acoustic monitoring (PAM), in addition to highlighting the distinct soundscape characteristics of each region, demonstrated the influence of upwelling on the underwater soundscape. This information can be used to maintain biodiversity and fish stocks.

Keywords: Passive acoustic monitoring, upwelling, temperature, fish sounds, invertebrate sounds, ecology.

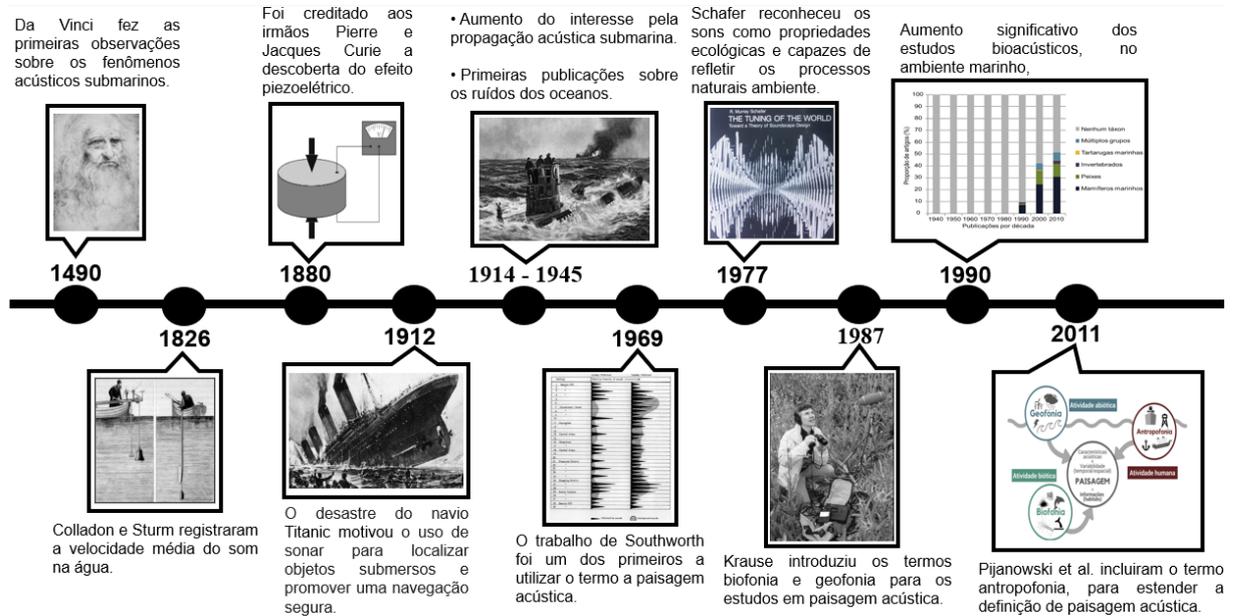
1. INTRODUÇÃO

Os estudos voltados para ecologia da paisagem acústica têm ganhado destaque (MINELLO et al., 2021), principalmente por suas características não invasivas através do monitoramento acústico passivo (MAP) (HARRIS & RADFORD, 2014). O MAP pode ser utilizado para monitorar os ambientes marinhos, detectar espécies produtoras de sons e caracterizar ecossistemas e suas condições (PARSONS et al., 2022).

As primeiras observações sobre os fenômenos acústicos submarinos ocorreram em 1490 por Leonardo Da Vinci (BURDIC, 1991). Em 1827, Daniel Colladon e Charles Sturm realizaram a primeira medição da velocidade do som no ambiente subaquático (URICK, 1983). Em 1880, foi creditado aos irmãos Pierre e Jacques Curie a descoberta do efeito piezoelétrico, um dos alicerces para a invenção dos hidrofones (URICK, 1983). Em 1912, O desastre do Titanic motivou o uso de sonares para localizar objetos submersos e promover navegações seguras. (BURDIC, 1991). Entre 1914 e 1945, motivadas por questões de defesa naval, devido às guerras mundiais, surgiu o interesse pelos estudos da propagação acústica tanto em águas rasas quanto em águas profundas (URICK, 1983). Durante esse período, mais precisamente em 1940, também ocorreram as primeiras publicações sobre os ruídos dos oceanos (WILLIAMS et al., 2015). Em 1969, foi publicado um dos primeiros trabalhos a utilizar o termo paisagem acústica (SOUTHWORTH, 1969). A partir dos anos 70, os estudos sobre a acústica submarina se diversificaram, apresentando tópicos como impactos ecológicos, gestão e política (WILLIAMS et al., 2015). Ainda nos anos 70, Schafer (1977), reconheceu que os sons são propriedades ecológicas, afirmando que as características acústicas de uma área podem refletir seus processos naturais. Em 1987 foram introduzidos os termos biofonia, que representa os sons biológicos, e a geofonia que faz referência aos sons ambientais não biológicos (KRAUSE, 1987). Nos anos 90, foi registrado um aumento significativo dos estudos bioacústicos no ambiente marinho, principalmente relacionados aos peixes e aos mamíferos. No que se refere aos invertebrados marinhos, o aumento das publicações só ocorreu a partir dos anos 2000 (WILLIAMS et al., 2015). Apenas em 2011, o termo antropofonia (sons produzidos pelas atividades humanas) foi incorporado à definição de paisagem acústica (PIJANOWSKI et al., 2011) (Figura 1). Sendo assim, a paisagem acústica pode ser definida como toda a energia sonora que compõe uma paisagem, formada pela biofonia, geofonia e a antropofonia (FARINA, 2014). Juntos,

esses três elementos podem compreender uma única assinatura acústica que pode variar em uma escala espacial e temporal (CAMPBELL et al., 2019).

Figura 1: Linha do tempo mostrando o histórico da paisagem acústica submarina.



O ambiente natural é uma mistura complexa de muitas variáveis e interações entre os fatores físicos e biológicos (SINGH, 2017). Dessa forma ameaças em escalas globais como as mudanças climáticas (AFFATATI et al., 2022) e o aquecimento oceânico (CHENG et al., 2022; DITLEVSEN & DITLEVSEN, 2023) podem impactar diretamente os ecossistemas e a biodiversidade (AFFATATI et al., 2022). Assim como o monitoramento da paisagem acústica submarina é visto como um recurso importante para a manutenção da biodiversidade marinha (HARRIS & RADFORD, 2014) a biotecnologia ambiental também é um recurso emergente que visa a aplicação da biotecnologia para a conservação de recursos, a proteção e o monitoramento ambiental (SINGH, 2017).

Do mesmo modo que a paisagem acústica submarina se conecta à biotecnologia ambiental através das questões relacionadas à conservação de recursos, proteção e o monitoramento ambiental, ela pode se conectar à biotecnologia marinha. A Convenção sobre Diversidade Biológica da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1992 definiu Biotecnologia como “qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (TEIXEIRA, 2010). Segundo Thakur & Thakur (2006) a biotecnologia marinha é “a aplicação dos

princípios científicos e de engenharia ao processamento de materiais por meio de agentes biológicos marinhos para o fornecimento de bens e serviços”. A *Mediterranean Science Commission* (CIESM) em 2012, definiu a biotecnologia marinha, durante um workshop com a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), como “uma categoria de produtos e/ou ferramentas relacionadas aos recursos biológicos marinhos, como a fonte ou o alvo de sua aplicação. Fornece bens e serviços para indústrias inovadoras e/ou para a sociedade como um todo” (COLLINS, 2022). Para Thompson & Thompson (2020) “a biotecnologia marinha baseia-se no uso de organismos marinhos, seus genomas ou produtos derivados, para o benefício do homem”.

As definições de biotecnologia variam (TEIXEIRA, 2010) e conseqüentemente isso vale para as definições de biotecnologia marinha. Entretanto, existem alguns pontos que são comuns a essas definições e esses pontos se conectam ao monitoramento da paisagem acústica submarina. O primeiro ponto de conexão é a utilização de organismos marinhos e seus derivados. Um dos pilares da definição da paisagem acústica submarina é a biofonia. A biofonia é definida como sons originados de organismos (FARINA, 2014). Dessa forma, podemos entender que os sons biológicos são produtos derivados de organismos marinhos. O segundo ponto é o fornecimento de bens e serviços que trazem benefícios à espécie humana. Os bens podem ser compreendidos como os áudios obtidos pelo monitoramento da paisagem acústica e os serviços como o próprio processo de monitoramento. Os benefícios oriundos desses monitoramentos podem ser entendidos desde o levantamento de informações que podem subsidiar regulamentações e mitigações através do planejamento e gerenciamento dos ambientes marinhos até a manutenção da biodiversidade e dos estoques pesqueiros. Por fim, a biotecnologia marinha e o monitoramento da paisagem submarina se conectam pela própria aplicação dos princípios científicos e tecnológicos necessários para desenvolvimento de ambos (Figura 2).

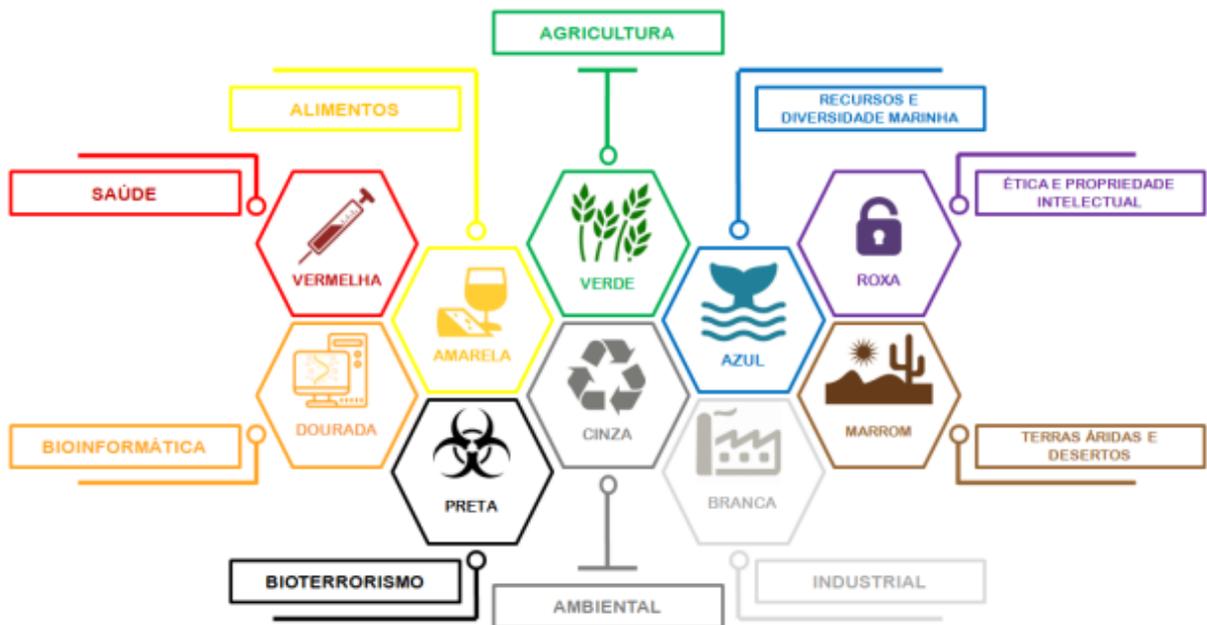
Figura 2: Nuvem de palavras com os principais termos encontrados nas definições de biotecnologia marinha, com duas setas indicando a conexão com os conceitos que definem a paisagem acústica submarina.



Fonte: Adaptado de Campbell et al., (2019)

A biotecnologia apresenta diversos ramos de pesquisas e aplicações (Figura 3), que podem se relacionar e constituir novas áreas de aplicações (RAMOS, 2023). Sendo assim, considerando a biotecnologia ambiental e a biotecnologia marinha e suas conexões com o monitoramento da paisagem acústica submarina, podemos considerar que os estudos desenvolvidos na presente tese se encontram na área de biotecnologia ambiental marinha, tal como observado por Ramos et al. (2023), Ramos (2023) e Xavier (2021).

Figura 3: Os diversos ramos de pesquisas e aplicações em biotecnologia.



Fonte: Ramos (2023)

Nesse contexto, os estudos desenvolvidos na presente tese e intitulados como *Variabilidade espaço-temporal da paisagem acústica submarina na costa sudeste do*

Brasil e a Ecologia da paisagem acústica: o efeito cascata desencadeado pela ressurgência na Ilha do Cabo Frio, tiveram, respectivamente, os objetivos de avaliar a variabilidade espaço-temporal da paisagem acústica e compreender a influência dos parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos na assinatura bioacústica da Ilha do Cabo Frio, da entrada Baía de Guanabara, da Ilha Grande e do canal de São Sebastião e avaliar a influência da ressurgência na paisagem acústica submarina da Ilha do Cabo Frio.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a variabilidade espaço-temporal, a influência dos parâmetros antropogênicos, abióticos e oceanográficos e da ressurgência na paisagem acústica submarina na costa sudeste do Brasil, visando a integração aos princípios da biotecnologia ambiental marinha.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e comparar a paisagem acústica de cada ponto de amostragem;
- Identificar os sinais de cada um dos pontos;
- Comparar os períodos sazonais de cada local;
- Compreender a influência dos parâmetros antropogênicos, abióticos e oceanográficos na assinatura bioacústica de cada ponto;
- Avaliar a influência do processo de ressurgência costeira na Ilha do Cabo Frio;
- Avaliar a relação entre a temperatura e o SPL na Ilha do Cabo Frio;
- Comparar a paisagem acústica em dias precedidos e não precedidos de ressurgência na Ilha do Cabo Frio.

CAPÍTULO 1

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA COSTA SUDESTE DO BRASIL

RESUMO

A paisagem acústica submarina pode ser definida como o conjunto de sons presentes nesse ambiente e é composta pela geofonia, biofonia e pela antropofonia. A paisagem acústica pode variar espaço-temporalmente e transmite informações que podem ser usadas para a sobrevivência dos organismos, além de evidenciar diversos efeitos das atividades humanas. O presente estudo tem o objetivo de avaliar a variabilidade espaço-temporal da paisagem acústica e compreender a influência dos parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos na assinatura bioacústica da Ilha do Cabo Frio, da entrada Baía de Guanabara, da Baía de Ilha Grande e do canal de São Sebastião, através do monitoramento acústico passivo (MAP). Para isso, este estudo utiliza os dados acústicos na faixa de 125 Hz a 20 kHz, no período de 01/02/2018 até 31/01/2019, originados dos projetos BIOCUM e PMPAS-BS. Os resultados das análises espaço-temporais identificaram padrões acústicos provenientes de coros de peixes, invertebrados e ruídos antropogênicos. Além disso, o estudo mostrou a correlação da paisagem acústica com os parâmetros selecionados e mostrou também quais desses parâmetros eram mais representativos para cada ponto estudado, através de análises dos componentes principais (ACP). A partir desses resultados podemos concluir que as informações originadas do monitoramento da paisagem acústica, além de evidenciar as características distintas de cada região, também podem auxiliar no processo de manutenção da biodiversidade, no planejamento e no gerenciamento dos ambientes marinhos.

Palavras chaves: Monitoramento acústico passivo, assinatura bioacústica, peixes, invertebrados, parâmetros abióticos, parâmetros oceanográficos, antropofonia.

1. INTRODUÇÃO

A ecologia da paisagem acústica tem ganhado destaque no monitoramento de ecossistemas marinhos devido às suas características não invasivas (MINELLO et al., 2021), permitindo a compreensão dos padrões sonoros e ecológicos do ambiente através de sua análise (RAMOS et al., 2021). A paisagem acústica pode ser definida como toda a energia sonora que compõe uma paisagem e é composta por três fontes sonoras distintas (FARINA, 2014). A geofonia, originada de sons ambientais não biológicos; a biofonia, vinda de seres vivos de um determinado bioma; e a antropofonia, oriunda das atividades humanas (PIJANOWSKI et al., 2011; ERBE, 2011). Juntos, esses três elementos podem compreender uma única assinatura acústica que pode variar em uma escala espacial e temporal (CAMPBELL et al., 2019).

Os sons emergentes da paisagem acústica proporcionam uma visão holística da comunidade de organismos produtores de sons e suas interações com o meio (HARRIS & RADFORD, 2014; PIJANOWSKI et al., 2011). A análise da paisagem acústica pode evidenciar, ainda, diversos efeitos das atividades humanas como a

poluição sonora, o declínio populacional através da sobrepesca e outros fatores que podem alterar a biodiversidade e o padrão sonoro natural (HARRIS & RADFORD, 2014).

A biodiversidade está diretamente relacionada à função e à resiliência do ecossistema em condições de estresse (OLIVER et al., 2015). Tais condições, como a poluição sonora subaquática, podem afetar uma variedade de grupos taxonômicos marinhos, incluindo invertebrados, peixes, répteis e mamíferos, impactando desde uma escala individual a populações inteiras (WILLIAMS et al., 2015; KUNC et al., 2016; DUARTE et al., 2021). Consequentemente, a necessidade de quantificar, documentar e monitorar a biodiversidade é fundamental (MOONEY et al., 2020). Dessa forma, o monitoramento acústico passivo (MAP) se apresenta como uma tecnologia de sensoriamento remoto não invasivo. Essa tecnologia pode ser utilizada para monitorar os ambientes subaquáticos, auxiliando no delineamento de áreas marinhas através das detecções de espécies produtoras de sons ou caracterização de ecossistemas e condições ambientais, inferidas através das propriedades sonoras das paisagens acústicas de cada local (PARSONS et al., 2022).

Apesar dos esforços para conservação ambiental em nível internacional, a biodiversidade continua a declinar em diferentes ecossistemas em todo planeta (HARRIS & RADFORD, 2014) e em taxas alarmantes (PIMM et al., 2014). Assim como a biodiversidade, as paisagens acústicas subaquáticas sofrem alterações em várias partes do mundo, como resultados de impactos antropogênicos (ILYINA et al., 2010). Além dos problemas proporcionados pelos impactos ambientais relacionados a ações humanas na paisagem acústica, a caracterização de sons biológicos é uma tarefa complexa devido a uma série de fatores (JESUS et al., 2020). Dentre eles, estão a variedade de espécies produtoras de sons e suas sobreposições sonoras, que dificultam o isolamento do som característico por espécie (FREEMAN et al., 2014). Outro fator é a variedade de habitats e ecossistemas, que resulta em diferentes padrões de geração e propagação de sons modulados por fatores ambientais, que podem mascarar as características biológicas relacionadas (KAPLAN et al., 2016).

Entre outros motivos, o interesse na utilização do som para avaliar e monitorar os impactos do ruído antropogênico na vida marinha vem recebendo uma notória e crescente atenção da comunidade científica (HASTINGS, 2008; HAWKINS & POPPER, 2014). Por isso, está sendo amplamente pesquisado por uma série de instituições científicas, agências governamentais e órgãos intergovernamentais, com

o intuito de estabelecer programas, projetos, recomendações, diretrizes, legislações e regulamentações relacionadas à redução de ruído e ao monitoramento acústico (CHOU et al., 2021). Geralmente, essas iniciativas podem ser divididas em duas grandes categorias. A primeira está relacionada à avaliação e gestão dos impactos da exposição acústica e a segunda concentra-se na conservação das características acústicas do habitat a longo prazo (GEEL et al., 2020). Tais informações podem auxiliar no planejamento e no gerenciamento dos impactos acústicos em uma larga escala temporal (MARTIN et al., 2019).

No Brasil, em resposta ao desenvolvimento econômico das últimas décadas, ocorreram mudanças significativas em diversos ambientes marinhos costeiros (BITTENCOURT et al., 2014). O tráfego de embarcações, as construções portuárias e a extração de petróleo estão entre os principais fatores que promoveram essas mudanças (BITTENCOURT et al., 2014). Embora exista um aumento no reconhecimento internacional pelo monitoramento acústico e pelos impactos da antropofonia na vida marinha (HASTINGS et al., 2008; HAWKINS, & POPPER, 2014; CHOU et al., 2021; LIMA et al., 2022), há poucas publicações sobre o assunto no ambiente costeiro marinho brasileiro (BITTENCOURT et al., 2014).

Na região onde o presente trabalho foi desenvolvido, no litoral do Rio de Janeiro e São Paulo, existem alguns estudos na forma de artigos, dissertações, teses e relatórios. Dentre os quatro locais estudados, Arraial do Cabo foi a região que mais apresentou estudos com o enfoque acústico. Nesses estudos foram abordados os impactos da ressurgência nas atividades biológicas (LOUZA et al., 2019) e na propagação acústica (CALADO et al., 2018), o padrão da assinatura bioacústica (XAVIER, 2021) e o movimento de partículas em ecossistemas de costão rochoso (JESUS et al., 2020) e a influência da antropofonia na paisagem acústica (CAMPBELL et al., 2019; MENDES, 2021). Na Baía de Guanabara foram encontrados alguns estudos focados nos efeitos promovidos pela antropofonia na variabilidade espacial da paisagem acústica (BITTENCOURT et al., 2014; BITTENCOURT et al., 2020; LIMA et al., 2022) e nos organismos da região, principalmente golfinhos (ANDRADE et al., 2014; ANDRADE, 2016; BITTENCOURT et al., 2016). Na Ilha Grande, foram encontrados os estudos de Bittencourt et al. (2020), que comparou a influência dos ruídos antropogênicos nas baías de Ilha Grande, Sepetiba e Guanabara, e Lima et al. (2022) que quantificou e caracterizou os ruídos de origem antropogênica associados às atividades petrolíferas nas baías de Ilha Grande e Guanabara e no canal de São

Sebastião. Quanto ao canal de São Sebastião, foi encontrado apenas o estudo de Lima et al. (2022).

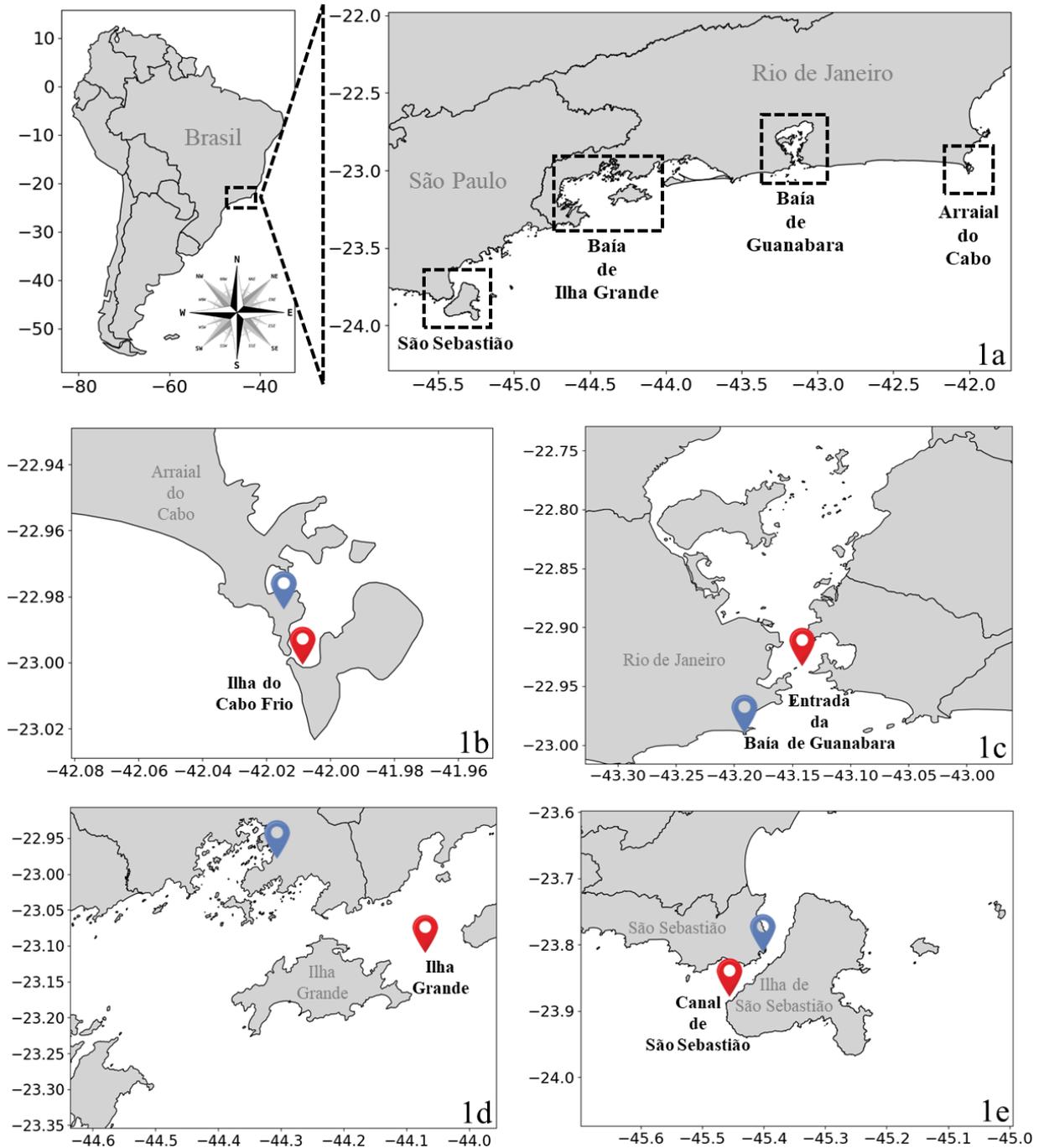
Considerando-se as lacunas sobre as informações da paisagem acústica submarina da costa brasileira, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a variabilidade espacial e temporal da paisagem acústica de quatro pontos da região sudeste do Brasil, com o intuito de compreender a influência da antropofonia, dos parâmetros abióticos e oceanográficos na assinatura bioacústica de cada ponto de amostragem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Para a realização do presente estudo foram escolhidos quatro pontos de amostragem na região costeira do sudeste do Brasil. Os pontos selecionados foram a Ilha do Cabo Frio, a Entrada da Baía de Guanabara, a Baía de Ilha Grande e o Canal de São Sebastião, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Os pontos em vermelho mostram a localização dos hidrofones em seus respectivos pontos de amostragem. Enquanto os pontos em azul mostram a localização das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A figura 1a representa a visão geral da área de estudo. A figura 1b mostra a Ilha do Cabo Frio, a figura 1c mostra a entrada da Baía de Guanabara, a figura 1d mostra a Baía da Ilha Grande e a figura 1e mostra o canal de São Sebastião.



2.1.1 Ilha do Cabo Frio

A Ilha do Cabo Frio encontra-se na cidade de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro (Figura 1b). Está localizada em um ponto singular do litoral brasileiro, onde ocorre a mudança de orientação da costa, do sentido Norte-Sul para Leste-Oeste, além das características topográficas que reforçam a interação entre o oceano

e o litoral (CALADO et al., 2018). Nessa região também ocorre o fenômeno da ressurgência costeira, em razão da quebra de orientação do litoral, da persistência de fortes ventos de nordeste (NE) e da dinâmica de Ekman que empurram as águas costeiras e geram a ressurgência das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) (CALADO et al., 2018). Os sistemas de ressurgência contêm uma alta diversidade fito e zooplanctônica e sua composição e atividade são definidas por fatores como temperatura e alta concentração de nutrientes (COELHO-SOUZA et al., 2015).

A Ilha do Cabo Frio possui costões rochosos localizados em uma área marinha interna e mais abrigada (Enseada de Arraial do Cabo), protegida dos ventos lés-nordeste, e costões localizados em uma área mais externa, expostos ao oceano Atlântico e aos ventos predominantes da região (MESSANO et al., 2020). Na região interna podemos encontrar costões rochosos com profundidades variando de 2 a 12 m com baixa declividade (PAIXÃO et al., 2013). Já os costões externos são, em sua maioria, bastante extensos e inclinados, com as profundidades superiores a 40 m em alguns pontos (RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001). Os costões rochosos são importantes ecossistemas marinhos, que abrigam sistemas dinâmicos de grande relevância econômica e ecológica, pois apresentam uma rica e complexa biodiversidade bentônica associada a diferentes substratos (MESSANO et al., 2020). Assim, a região engloba ecossistemas diferentes com condições únicas, criando uma alta diversidade de habitats. O conjunto das características apresentadas, somadas ao fenômeno da ressurgência, cria meios para o crescimento de uma abundante e diversa fauna e flora marinha (GUIMARÃES & COUTINHO, 1996). A Ilha do Cabo Frio faz parte de uma área de proteção ambiental, entretanto, tanto atividades portuárias como turísticas e de esportes náuticos ocorrem na área (DE MIRANDA MENDONÇA et al., 2013).

2.1.2 Baía de Guanabara

A área da Baía de Guanabara encontra-se delimitada pela Região Metropolitana do Rio de Janeiro (IBGE & MARINHA DO BRASIL, 2011) (Figura 1c). Destaca-se o canal central da baía, que possui aproximadamente 30 m de profundidade, com fundo arenoso próximo à entrada, refletindo as ações das ondas e das marés (KJERFVE et al, 1997), contrastando com a baixa batimetria média do conjunto, onde dominam as profundidades de cerca de cinco metros (IBGE & MARINHA DO BRASIL, 2011). Nas áreas de baixa batimetria os sedimentos do fundo

são principalmente lamosos, como resultado da transgressão holocênica e da rápida sedimentação fluvial, acelerada pela canalização de rios e o desmatamento (KJERFVE et al., 1997).

A Baía de Guanabara tem grande importância ambiental e socioeconômica, e seu atual estado de degradação ambiental coloca em risco tanto sua biodiversidade como as populações humanas do entorno, que utilizam suas águas para lazer, transporte ou para meios de subsistência (SOARES-GOMES, et al., 2016). Vale ressaltar que, além de outros fatores que promovem impactos ambientais, existe também a presença de um tráfego intenso e constante de embarcações. A intensa poluição sonora resultante influencia os perfis de ruído subaquático no local, provocando efeitos negativos na comunidade de peixes e mamíferos marinhos (BITTENCOURT et al., 2014).

2.1.3 Ilha Grande

A Baía da Ilha Grande abriga os municípios de Parati e Angra dos Reis, localizada no sul do Estado do Rio de Janeiro, Brasil e se situa entre as duas maiores metrópoles da América do Sul, as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo (CREED et al., 2007) (Figura 1d). A região é conhecida como Costa Verde pelo contraste entre o mar e o verde da Mata Atlântica que cobre a Serra do Mar (ALHO et al., 2002). Além disso, a área é conhecida por apresentar uma grande diversidade biológica (MENDES et al., 2014) e de ecossistemas como os costões rochosos, manguezais e praias arenosas (GAELZER et al., 2007). Os costões rochosos alternam entre campos de rochas e pedregulhos, que dão lugar a uma planície de sedimentos arenosos que começa a cerca de 3 a 7 m de profundidade (PAULA & CREED, 2004). As principais atividades econômicas desta região estão direta e indiretamente relacionadas com o mar, como a pesca, o turismo, os desportos aquáticos e a navegação comercial (CASSANO et al., 2006). Tanto a Ilha Grande quanto seu entorno, como o Canal Central da Baía da Ilha Grande e a Baía de Sepetiba, são áreas de intenso tráfego de navios devido à presença de portos importantes e um estaleiro que recebe plataformas de petróleo (PAULA & CREED, 2004).

2.1.4 São Sebastião

O Canal de São Sebastião localiza-se na cidade de São Sebastião e está situado ao longo do litoral nordeste do estado de São Paulo, sendo delimitado pelas encostas da Serra do Mar a oeste e pela Ilha de São Sebastião a leste (ESKINAZI-SANT & BJÖRNBERG, 2006) (Figura 1e). O canal em forma de funil descreve uma ampla curva ao longo de seus 25 km de extensão, com a porção mais estreita (2 km de largura) no centro, ampliando-se para 7,2 km na entrada sul e para 5,6 km na entrada norte (ARASAKI et al., 2004). As profundidades ao longo deste eixo longitudinal variam de cerca de 20 m nas entradas até 50 m na porção interna (ESKINAZI-SANT & BJÖRNBERG, 2006). Segundo Furtado (1995), a sedimentação do canal está associada à circulação geral, à topografia irregular de fundo e à sua geometria. No eixo da porção norte ocorrem misturas de areias e lamas devido à deposição de sedimentos mais grossos. Na porção sul há depósitos de sedimentos finos na margem continental, onde existem condições de baixa energia hidrodinâmica (FURTADO et al., 1998). Netto et al. (2005) relatam intensa atividade antrópica no Canal de São Sebastião. O canal possui um porto que contém um dos maiores terminais petrolíferos do país, além de ser um importante ponto turístico (ARASAKI et al., 2004).

2.2 Aquisição dos dados

Os dados acústicos utilizados foram provenientes de gravadores autônomos, instalados na Ilha do Cabo Frio, pelo Projeto de Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos para Comunicação Submarina (BIOCOM) e também na entrada da Baía de Guanabara, na Baía de Ilha Grande e no Canal São Sebastião, pelo Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), durante o período entre 01 fevereiro de 2018 até 31 janeiro de 2019. O projeto BIOCOM foi fomentado pelo Programa Ciência Sem Fronteiras do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O projeto foi executado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) em parceria com a Universidade do Algarve de Portugal. Este projeto teve como objetivo principal o estudo de padrões bioacústicos e suas características para aplicação na modulação de sinais para comunicações submarinas (LOUZA et al., 2019). Já a realização do PMPAS-BS foi uma condicionante exigida à PETROBRAS pelo licenciamento ambiental federal,

conduzido pelo IBAMA, para o desenvolvimento das atividades no polo Pré-Sal da Bacia de Santos. O projeto teve seu início efetivo em 2015 e conta com a participação do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM). Seu objetivo é a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos e nas rotas de navegação preferenciais que servem à região (LIMA et al., 2022).

As medições acústicas foram rotuladas pela data/hora de sua aquisição, sincronizadas pelos seus equipamentos na superfície antes do lançamento. A hora adotada é a hora – 3 UTC. Mais informações sobre os sistemas de gravações estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1: Informações sobre os sistemas de gravações de cada ponto de amostragem.

	Ilha do Cabo Frio	Baía de Guanabara	Ilha Grande	São Sebastião
Latitude	23°00'03.59"S	22°55'54.00"S	23°06'11.00"S	23°52'20.22"S
Longitude	42°00'34.14"W	43°08'30.00"W	44°04'24.33"W	45°27'25.20"W
Profundidade (m)	8,75	27	23	24
Distância (≅) do costão (m)	5	560	5.000	1.200
Tempo de gravação	1 min. a cada 5 min	min a min	min a min	min a min
Sistema de gravação	digitalHyd TP1-4A Marsensing Lda	SASS	SASS	SASS
Resolução	24 bits	16 bits	16 bits	16 bits
Sensibilidade	-174.9 dB re 1V/1µPa	- 165 dB re 1V/1µPa	- 165 dB re 1V/1µPa	- 165 dB re 1V/1µPa
Faixa de frequência	125 Hz - 20 kHz	125 Hz - 20 kHz	125 Hz - 20 kHz	125 Hz - 20 kHz

A quantificação do número de embarcações nos pontos de amostragem foi obtida de duas formas. Os dados de contagem visual do número de embarcações turísticas, por dia para a Ilha do Cabo Frio foram disponibilizados pelo IEAPM durante o fundeio ao largo da praia da Ilha do Cabo Frio (praia do farol) no período diurno (8:00 às 18:00 h). Os dados do *Automatic Identification System* (AIS) do número de embarcações por minuto para os pontos da Baía de Guanabara, Ilha Grande e São Sebastião foram disponibilizados pela PETROBRAS e o IPqM por meio do PMPAS-BS. Para os dados de AIS de cada ponto, foram considerados a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero. Para a Ilha do Cabo Frio foram utilizados os dados de contagem visual, pois foi verificado apenas 1 registro de embarcação por AIS durante todo o período do estudo nas proximidades do hidrofone.

As diferenças entre os dados de contagem visual e os de AIS, provavelmente ocorreram porque as pequenas embarcações de pesca e de turismo, não apresentavam a tecnologia de AIS. Os outros pontos de amostragem não possuíam dados de contagem visual, por isso não foi possível a comparação. No entanto, provavelmente ocorreram a presença de embarcações que não contavam com a tecnologia AIS. As localizações das embarcações por AIS podem ser visualizadas nas figuras presentes nos apêndices e anexos deste documento.

Os dados de temperatura da água (°C) por hora para Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo IEAPM, foram obtidos a partir de sensores do tipo *datalogger* (*HOBO Pendant, Onset Computer Corporation*) instalados na estrutura de proteção do sistema autônomo de gravação. Para a Baía de Guanabara, a Ilha Grande e São Sebastião os dados de temperatura da água (°C) por hora, disponibilizados pelo IPqM/PMPAS-BS, foram coletados pelo *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), nos locais dos fundeios dos hidrofones.

Os dados de altura da maré (m), a cada 6 horas, para a Ilha do Cabo Frio, foram disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Para a Baía de Guanabara, a Ilha Grande e São Sebastião os dados de altura da maré (m) por minuto, disponibilizados pelo IPqM/PMPAS-BS, foram coletados pelo *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), nos locais dos fundeios dos hidrofones.

Os dados de velocidade da corrente (m/s) por minuto, disponibilizados pelo IPqM/PMPAS-BS, foram coletados pelo *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), nos locais dos fundeios dos hidrofones para os pontos da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e de São Sebastião.

Os dados de radiação global (kJ/m²), de precipitação (mm), de velocidade (m/s) e direção do vento (°(gr)) por hora, foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através das estações meteorológicas automáticas, para todos os pontos de amostragem. Vale ressaltar que, na ausência dos dados de radiação, foram atribuídos o número zero. O objetivo foi verificar a influência da radiação no padrão diário da paisagem acústica. As localizações de cada uma das estações meteorológicas de cada ponto de amostragem podem ser observadas na Figura 1.

2.3 Análise dos dados

O nível de pressão sonora (*Sound Pressure Level* - SPL, dB re 1 μ Pa) das bandas de 1/3 de oitava foi calculado considerando-se o valor médio quadrático do SPL (RMS, do inglês *Root Mean Square*) para cada minuto. No total, foi calculado o SPL para 23 faixas, considerando as seguintes frequências centrais: 125 Hz (112 – 141 Hz), 160 Hz (141 – 178 Hz), 200 Hz (178 – 224 Hz), 250 Hz (224 – 282 Hz), 315 Hz (282 – 355 Hz), 400 Hz (355 – 447 Hz), 500 Hz (447 – 562 Hz), 630 Hz (562 – 708 Hz), 800 Hz (708 – 891 Hz), 1 kHz (891 Hz – 1,1 kHz), 1,3 kHz (1,1 – 1,4 kHz), 1,6 kHz (1,4 – 1,8 kHz), 2 kHz (1,8 – 2,2 kHz), 2,5 kHz (2,2 – 2,8 kHz), 3,2 kHz (2,8 – 3,6 kHz), 4 kHz (3,6 – 4,5 kHz), 5 kHz (4,5 – 5,6 kHz), 6,3 kHz (5,6 – 7,1 kHz), 8 kHz (7,1 – 8,9 kHz), 10 kHz (8,9 – 11,2 kHz), 12,5 (11,2 – 14,1 kHz), 16 kHz (14,1 – 17,8 kHz), 20 kHz (17,8 – 22,4 kHz). Utilizou-se uma partição de banda de frequência não linear para se obter maior resolução em baixas frequências, que apresentaram maior variabilidade do que as altas frequências. As análises das bandas de 1/3 de oitava foram realizadas de acordo com a estrutura do Descritor 11 da *European Marine Strategy Framework Directive* (MSFD) 2008/56 / EC11 para monitoramento de ruído marinho.

Para as caracterizações espaciais foram feitas análises descritivas, considerando os valores mínimos, os percentis de 5°, 25°, 50°, 75° e 95°, os valores máximos, bem como as médias e os coeficientes de variações de cada um dos pontos de amostragem. Após atestar a não normalidade dos dados com base nos testes de *D'Agostino* e *Pearson*, foram utilizados os testes não paramétricos. O teste de *Kruskal-Wallis* foi realizado para avaliar as diferenças entre as bandas de frequências dos pontos de amostragem (125 Hz - 20 kHz) nas análises espaciais. As comparações múltiplas pareadas entre as frequências de cada ponto foram realizadas com o teste post-hoc de *Nemenyi* com nível de significância de 5%. Para cada teste mencionado foi utilizado o método de *Monte Carlo*, para considerar os diferentes números amostrais de cada ponto. Os números de dados de gravações, escolhidos aleatoriamente, foram estabelecidos com base na menor quantidade amostral entre os pontos comparados. Os testes foram realizados uma vez para cada escolha aleatória, totalizando 100 repetições por teste. Os resultados considerados dos testes foram definidos pelas médias dos resultados provenientes das repetições. Com o intuito de avaliar o quanto cada ponto de amostragem diferiu um do outro, foi realizado

uma análise de agrupamento baseado na distância euclidiana e no método de *Ward*, a partir de dados medianos.

Para as caracterizações temporais foram realizadas análises em relação aos padrões diários e sazonais. Para as análises dos padrões diários foram utilizados os dados medianos, de cada ponto de amostragem, para a identificação e classificação dos sinais. Para as análises dos padrões sazonais foram utilizados os testes de *Kruskal-Wallis*, de *Nemenyi* e análises de agrupamentos para avaliar as diferenças entre frequências iguais de períodos sazonais distintos, em cada uma das regiões estudadas.

Para avaliar as contribuições dos parâmetros abióticos (radiação (kJ/m^2), precipitação (mm) velocidade do vento (m/s)), antropogênicos (número de embarcações) e oceanográficos (Altura da maré (m) e velocidade da corrente (m/s)) nas paisagens acústicas foram realizadas as análises de correlações e as análises dos componentes principais (ACP). A correlação de *Spearman* foi adotada devido à natureza não paramétrica dos dados. Todas as análises foram realizadas utilizando programas desenvolvidos na linguagem Python, exceto a ACP que foi utilizada no programa Past.

3. RESULTADOS

3.1 ANÁLISES ESPACIAIS

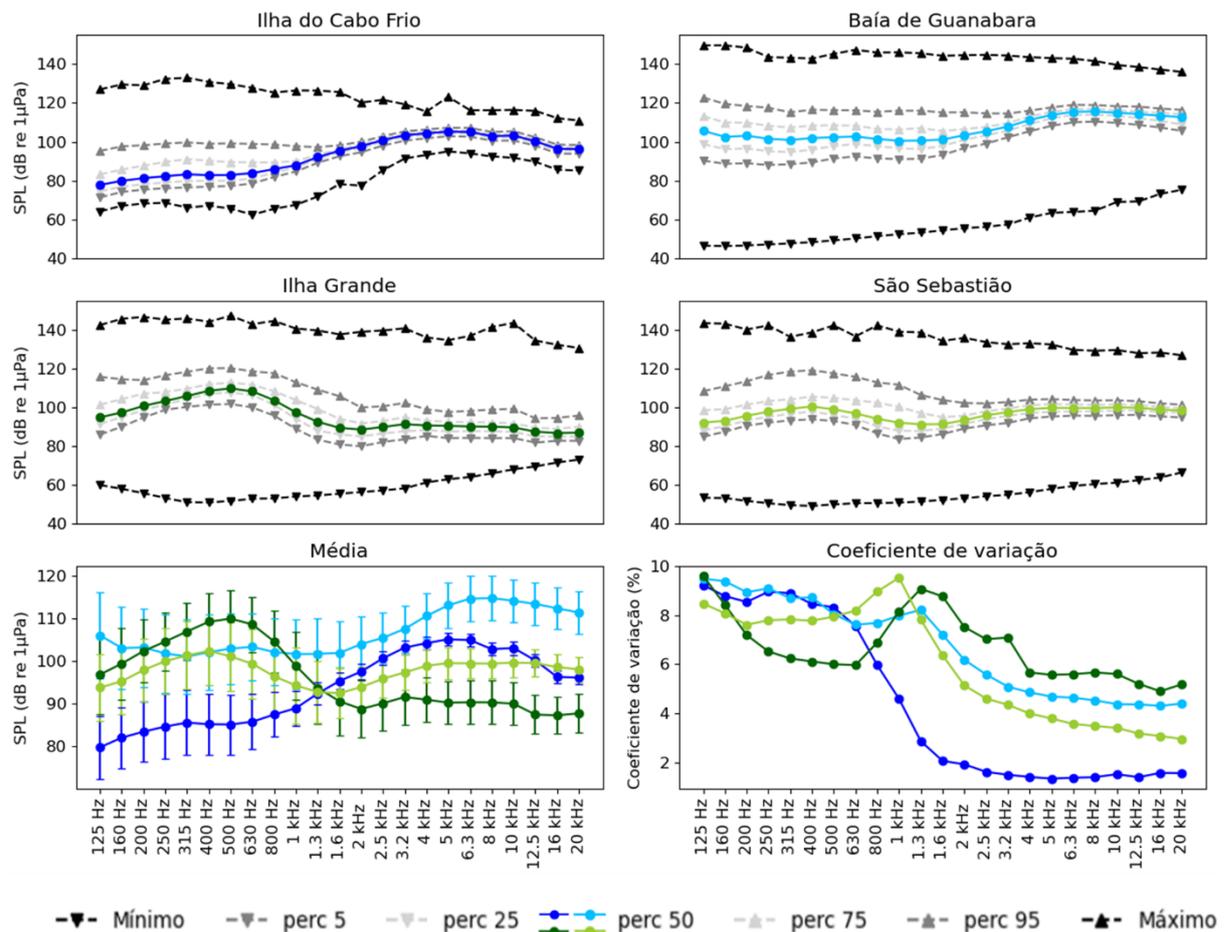
3.1.1 Análises descritivas

Durante o período do estudo, foram gravados 84.188 minutos provenientes da Ilha do Cabo Frio, 321.466 minutos da Baía de Guanabara, 208.734 minutos da Ilha Grande e 321.807 minutos de São Sebastião, totalizando 936.195 minutos. O valor máximo de SPL, dentre os pontos de amostragem, foi 149,7 dB re $1\mu\text{Pa}$ na frequência de 125 Hz na Baía de Guanabara, seguido dos pontos da Ilha Grande (147,1 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 500 Hz), de São Sebastião (143,3 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 125 Hz) e da Ilha do Cabo Frio (133,0 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 315 Hz). O valor mínimo de SPL registrado foi 46,2 dB re $1\mu\text{Pa}$ na frequência de 160 Hz também na Baía de Guanabara, seguido de São Sebastião (49,0 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 400 Hz), Ilha Grande (50,8 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 400 Hz) e Ilha do Cabo Frio (62,3 dB re $1\mu\text{Pa}$ em 630 Hz).

Os maiores níveis de variabilidade do SPL ocorreram em 125 Hz para todos os pontos de amostragem (Figura 1a), exceto em São Sebastião, onde a maior variabilidade ocorreu em 1 kHz de acordo com os dados do coeficiente de variação

(Figura 2). No entanto, vale ressaltar que todos os pontos de amostragem (Figura 1a) apresentaram uma mudança de padrão de variabilidade na faixa de frequência entre 1 e 2 kHz. Enquanto os demais pontos apresentaram um aumento no coeficiente de variação na faixa mencionada, o ponto da Ilha do Cabo Frio mostrou um declínio acentuado na variação do SPL em relação às frequências (Figura 2). Na mesma faixa (1 e 2 kHz) também foi observado uma mudança de padrão do SPL em relação às frequências em todos os locais. A partir da faixa entre 1 e 2 kHz, os pontos de amostragem apresentaram um aumento no SPL. No entanto, a Ilha do Cabo Frio foi o único ponto que apresentou um aumento contínuo, os demais pontos apresentaram um aumento precedido de um declínio do SPL. As mudanças de padrões observadas são mais perceptíveis nos dados de medidas centrais como o percentil 50° (mediana) e a média. As informações apresentadas acima podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2: Estatística descritiva comparando os dados mínimos, os médios, os percentis de 5°, 25°, 50°, 75° e 95°, os máximos e os coeficientes de variações dos valores de SPL em relação às frequências da paisagem acústica de cada ponto de amostragem.

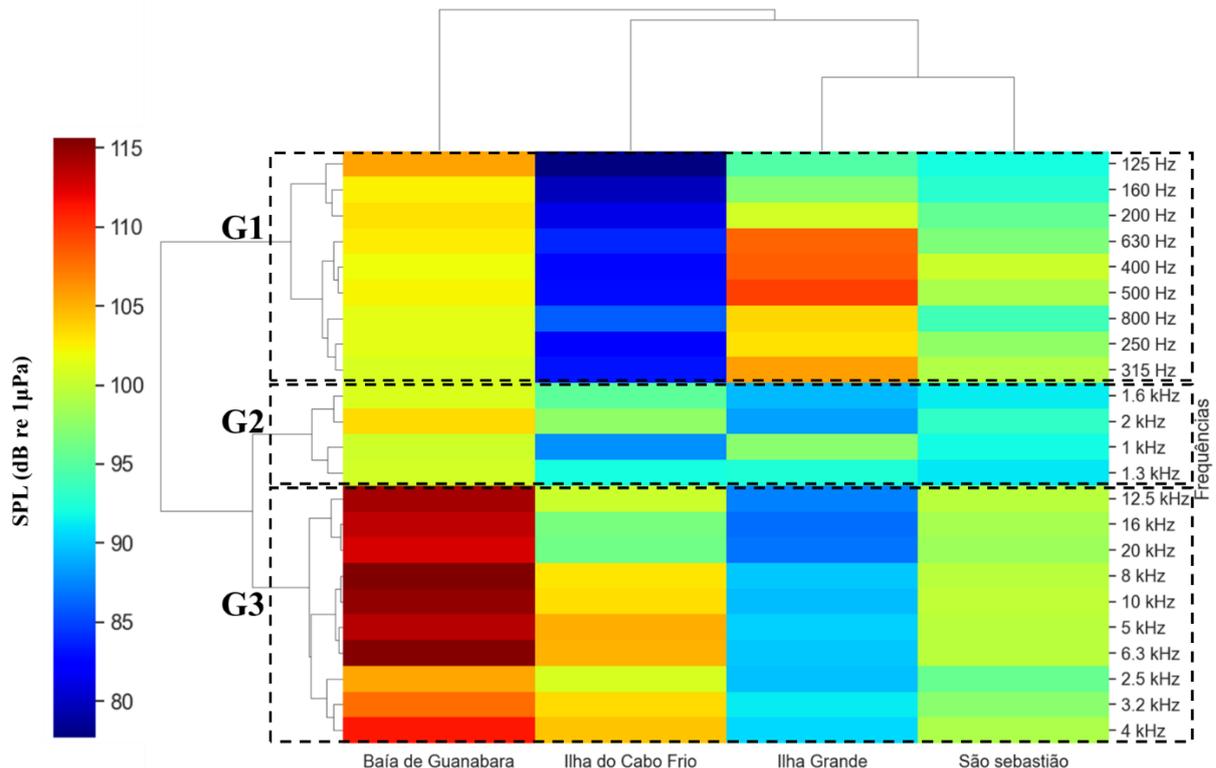


O resultado originado da média dos testes de *Kruskal Wallis* ($p \leq 0,05$) evidenciou que ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre as frequências dos pontos de amostragem. O resultado vindo da média dos testes de múltiplas comparações de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) mostrou que ocorreram diferenças estatísticas na comparação entre todas as frequências, exceto entre as frequências de 200 Hz dos pontos da Baía de Guanabara e da Ilha Grande.

A análise de agrupamento, baseada nos valores da mediana dos SPLs de cada local, mostrou a formação de três grupos em relação às frequências (G1, G2 e G3). Vale ressaltar que os valores medianos foram escolhidos para essa análise devido às características não paramétricas dos dados. O grupo G1 corresponde às frequências de 125 a 800 Hz, o grupo G2 é formado pelas frequências de 1 a 2 kHz, enquanto o grupo G3 corresponde às frequências de 2,5 a 20 kHz. No que se refere aos pontos de amostragem, houve o agrupamento apenas entre os pontos da Ilha Grande e de São Sebastião (Figura 3).

Apesar do teste de *Nemenyi* apontar as diferenças estatisticamente significativas na comparação entre quase todas as frequências pertencentes aos pontos de amostragem, a análise de agrupamento evidencia as distâncias dessas diferenças. Os pontos Ilha Grande e São Sebastião se agrupam, mostrando uma semelhança devido aos valores medianos do SPL mais elevados (94,0 a 109,6 dB re $1\mu\text{Pa}$) entre 250 e 800 Hz, no grupo G1. Os pontos da Ilha do Cabo Frio e da Baía de Guanabara apresentaram seus valores medianos mais elevados no grupo G3. No entanto, os dois pontos não se agrupam. O principal motivo se deve aos valores medianos mais acentuados (112,7 a 115,6 dB re $1\mu\text{Pa}$) entre 5 e 20 kHz da Baía de Guanabara, pois os mesmos são superiores em relação aos valores medianos encontrados na Ilha do Cabo Frio (100,8 a 105,2 dB re $1\mu\text{Pa}$) entre 2,5 e 10 kHz. O grupo G2, com valores medianos entre 87,8 e 103,4 dB re $1\mu\text{Pa}$, funciona como uma zona de transição entre os grupos G1 e G3, e essa transição é uma característica comum aos quatro pontos de amostragem. Evidências de uma zona de transição também podem ser observadas nas análises estatísticas descritivas, onde ocorreram mudanças de padrão na faixa entre 1 e 2 kHz, em todos os locais, tanto na relação entre o SPL e a frequência, quanto nos valores de coeficiente de variação (Figura 3).

Figura 3: Análise de agrupamento em relação aos pontos de amostragem e suas respectivas faixas de frequências, com base na distância euclidiana e no método de *Ward*, a partir de dados medianos.

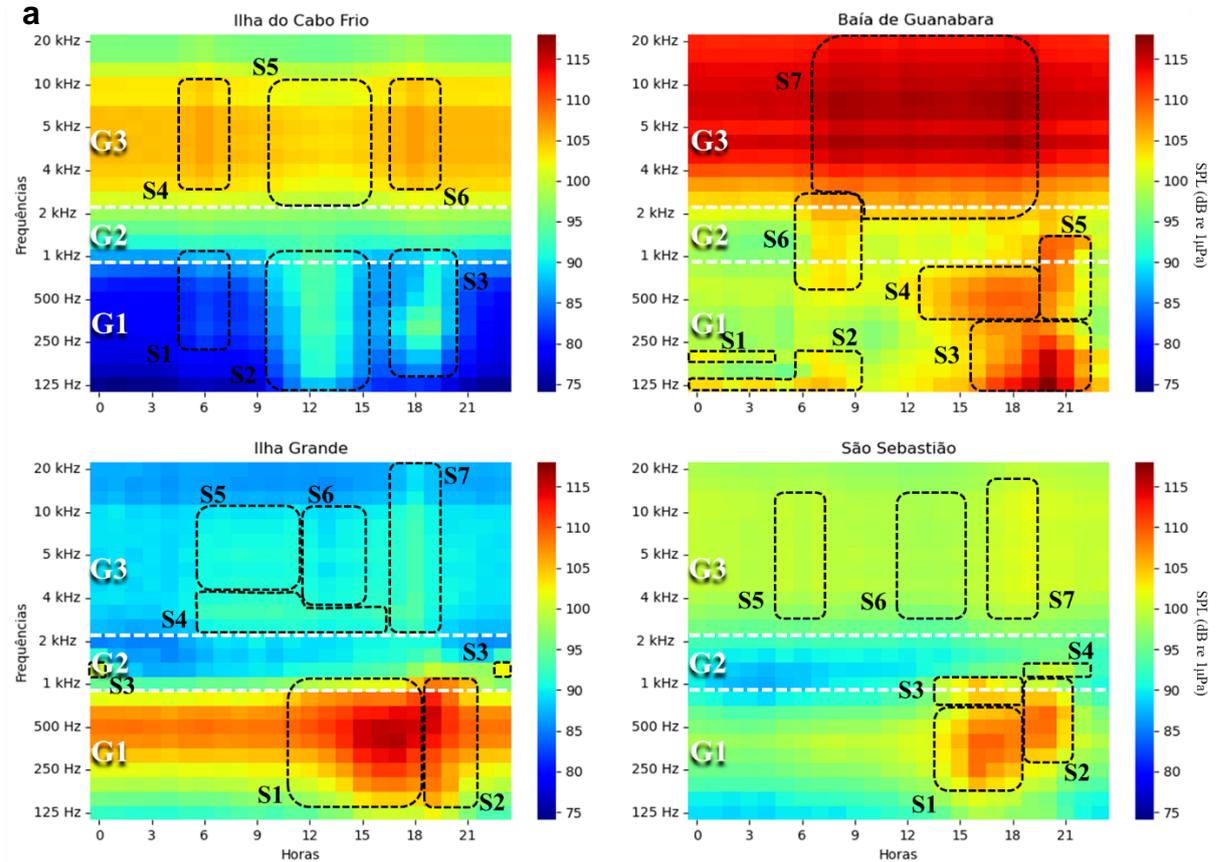


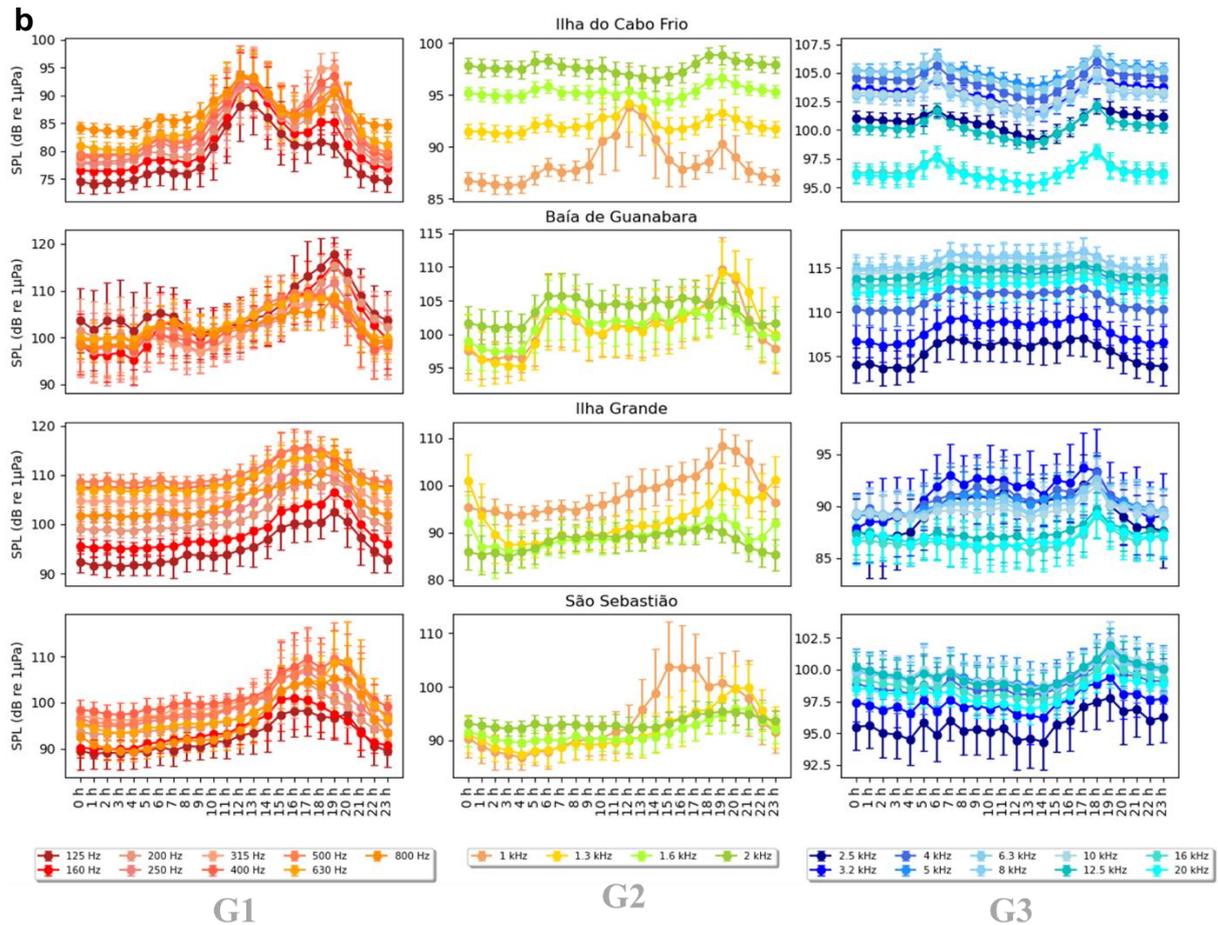
3.2 ANÁLISES TEMPORAIS

3.2.1 Análises de padrões diários

Nas análises dos padrões diários da paisagem acústica, baseados nas medianas e suas variações de cada ponto de amostragem, foram detectados diferentes tipos de padrões vindos dos sinais, tanto na faixa de frequência G1 (125 - 800 Hz) quanto nas faixas G2 (1 - 2 kHz) e G3 (2,5 - 20 kHz). No entanto, a faixa G2 novamente se apresentou como uma zona de transição, devido às mudanças nos padrões acústicos em relação às frequências e à influência dos diferentes tipos de sinais ao longo das horas. Vale ressaltar que as seleções consideraram os padrões acústicos mais intensos de cada ponto de amostragem, exceto para as seleções S5 da Ilha do Cabo Frio e S6 da Ilha Grande e São Sebastião, que apresentaram uma atenuação do SPL (Figura 4a).

Figura 4: A figura **a** mostra os espectrogramas a partir de dados medianos de horas por frequências, no período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019. As seleções nomeadas com as letras S e seus respectivos números correspondem aos sinais observados em cada um dos pontos de amostragem. A figura **b** mostra os valores medianos do SPL por hora, com ênfase em suas variações a partir dos desvios absolutos da mediana.





A Tabela 2 a seguir complementa as informações observadas na Figura 4a mostrando, além das faixas de horários e larguras de bandas de cada seleção, informações sobre os horários de picos, as frequências de picos, os picos de SPL, as classificações dos sinais baseados na literatura e suas respectivas referências. Os horários de picos correspondem aos horários que ocorreram os maiores valores de SPL nas seleções. As frequências de picos são referentes às frequências correspondentes aos maiores valores de SPL nas seleções. Por fim, os picos de SPL são os valores mais acentuados do SPL na seleção.

Tabela 2: Classificações de ruídos baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de cada ponto de amostragem.

Locais	Sinais	Faixas de horários	Larguras de bandas	Horários de picos	Frequências de picos	Picos de SPL	Classificações dos ruídos	Referências
Ilha do Cabo Frio	S1	05:00 - 7:00 h	250 Hz - 1 kHz	06:00 h	1 kHz	88,1 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	12:00 h	1 kHz	93,9 dB re 1µPa	Sinais de Embarcações	HILDEBRAND, 2009
	S3	17:00 - 20:00 h	160 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	95,0 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S4	05:00 - 7:00 h	3,2 - 10 kHz	18:00 h	5 kHz	106,5 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados	COQUEREAU et al., 2016
	S5	10:00 - 15:00 h	2,5 - 10 kHz	10:00 h	5 kHz	104,8 dB re 1µPa	Atenuação do SPL ou migração vertical diária	CAMPBELL et al., 2019 ; WILLIAMSON et al., 2011
	S6	17:00 - 19:00 h	3,2 - 10 kHz	18:00 h	6,3 kHz	106,8 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados	COQUEREAU et al., 2016
Baía de Guanabara	S1	00:00 - 05:00	200 Hz	00:00 h	200 Hz	102,3 dB re 1µPa	Tons harmônicos antropogênicos ou cavitação	LIMA et al., 2022; HERMANNSEN et al., 2019
	S2	00:00 - 9:00 h	125 - 200 Hz	07:00 h	125 Hz	105,3 dB re 1µPa	Tons harmônicos antropogênicos ou cavitação	LIMA et al., 2022
	S3	16:00 - 22:00 h	125 - 315 Hz	20:00 h	125 Hz	117,8 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S4	13:00 - 19:00 h	400 - 800 Hz	18:00 h	500 Hz	109,6 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S5	20:00 - 22:00 h	400 Hz - 1,3 kHz	20:00 h	1 kHz	109,7 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S6	06:00 - 09:00 h	630 Hz - 2,5 kHz	08:00 h	2,5 kHz	107,0 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S7	07:00 - 19:00 h	2 - 20 kHz	18:00 h	8 kHz	116,7 dB re 1µPa	Sinais de cavitações ou de invertebrados	HERMANNSEN et al., 2019; COQUEREAU et al. 2016
Ilha Grande	S1	11:00 - 18:00 h	160 Hz - 1 kHz	17:00 h	400 Hz	116,0 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S2	19:00 - 21:00 h	160 Hz - 1 kHz	19:00 h	630 Hz	115,0 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S3	23:00 - 00:00 h	1,3 kHz	23:00 h	1,3 kHz	102,2 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S4	06:00 - 16:00 h	2,5 - 4 kHz	16:00 h	3,2 kHz	92,8 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados (camarões)	LILLIS & MOONEY, 2018
	S5	06:00 - 11:00 h	5 - 10 kHz	8:00 h	5 kHz	91,2 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados (camarões)	AU & BANKS, 1998
	S6	12:00 - 15:00 h	4 - 10 kHz	15:00 h	4 kHz	91,3 dB re 1µPa	Atenuação do SPL ou migração vertical diária	CAMPBELL et al., 2019 ; WILLIAMSON et al., 2011
	S7	17:00 - 19:00 h	2,5 - 20 kHz	18:00 h	3,2 kHz	93,9 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados (camarões)	RADFORD et al., 2010
São Sebastião	S1	14:00 - 18:00 h	200 - 630 Hz	16:00 e 17:00 h	400 Hz	109,5 dB re 1µPa	Sinais de peixes	CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995
	S2	19:00 - 21:00 h	315 Hz - 1 kHz	20:00 h	630 Hz	109,1 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S3	14:00 - 18:00 h	800 Hz - 1 kHz	16:00 h	1 kHz	105,1 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S4	19:00 - 22:00 h	1,3 kHz	20:00 h	1,3 kHz	100,3 dB re 1µPa	Sinais de peixes	BOLGAN et al., 2022
	S5	05:00 - 7:00 h	3,2 - 12,5 kHz	5:00 e 19:00 h	5 kHz	100,1 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados	COQUEREAU et al. 2016
	S6	12:00 - 15:00 h	3,2 - 12,5 kHz	15:00 h	5 kHz	91,1 dB re 1µPa	Atenuação do SPL ou migração vertical diária	CAMPBELL et al., 2019; WILLIAMSON et al., 2011
	S7	17:00 - 19:00 h	3,2 - 16 kHz	19:00 h	10 kHz	102,0 dB re 1µPa	Sinais de invertebrados	COQUEREAU et al. 2016

3.2.2 Análises de padrões sazonais

Os resultados originados da média dos testes de *Kruskal-Wallis* ($p \leq 0,05$) evidenciaram que ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre as mesmas frequências de períodos sazonais distintos, em todas as regiões estudadas.

Na Ilha do Cabo Frio os valores medianos do SPL foram mais intensos durante o período do verão, corroborando com o resultado da análise de agrupamento que destacou esse período das demais estações. Tal análise também agrupou os períodos do inverno e da primavera indicando uma maior proximidade desses períodos. Os resultados vindos das médias dos testes de múltiplas comparações de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) mostraram que ocorreram diferenças significativas na maioria das comparações de mesmas frequências entre as estações. No entanto não houve diferenças em três frequências entre o inverno e a primavera (125 Hz, 8 e 10 kHz), duas entre o outono e primavera (160 Hz e 6,3 kHz) e uma entre o outono e inverno (400 Hz) e a primavera e verão (2 kHz). Esses resultados reforçaram o agrupamento entre o inverno e a primavera, pois foram os períodos em que ocorreram menores diferenças entre as frequências (Figura 5).

Na Baía de Guanabara os valores medianos do SPL foram mais intensos durante o outono, corroborando com o resultado da análise de agrupamento que destaca esse período das demais estações. Tal análise também agrupa os períodos do verão e do inverno indicando uma maior proximidade desses períodos. Os resultados dos testes de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) também mostraram que ocorreram diferenças significativas na maioria das comparações de mesmas frequências entre as estações. No entanto, não houve diferenças em quatro frequências entre o inverno e a primavera (1,6, 6,3, 8 e 10 kHz) e duas entre o verão e o inverno (125 e 250 Hz). O agrupamento entre o verão e o inverno provavelmente ocorreu devido à maior proximidade dos dados medianos na faixa de G1 (Figura 5).

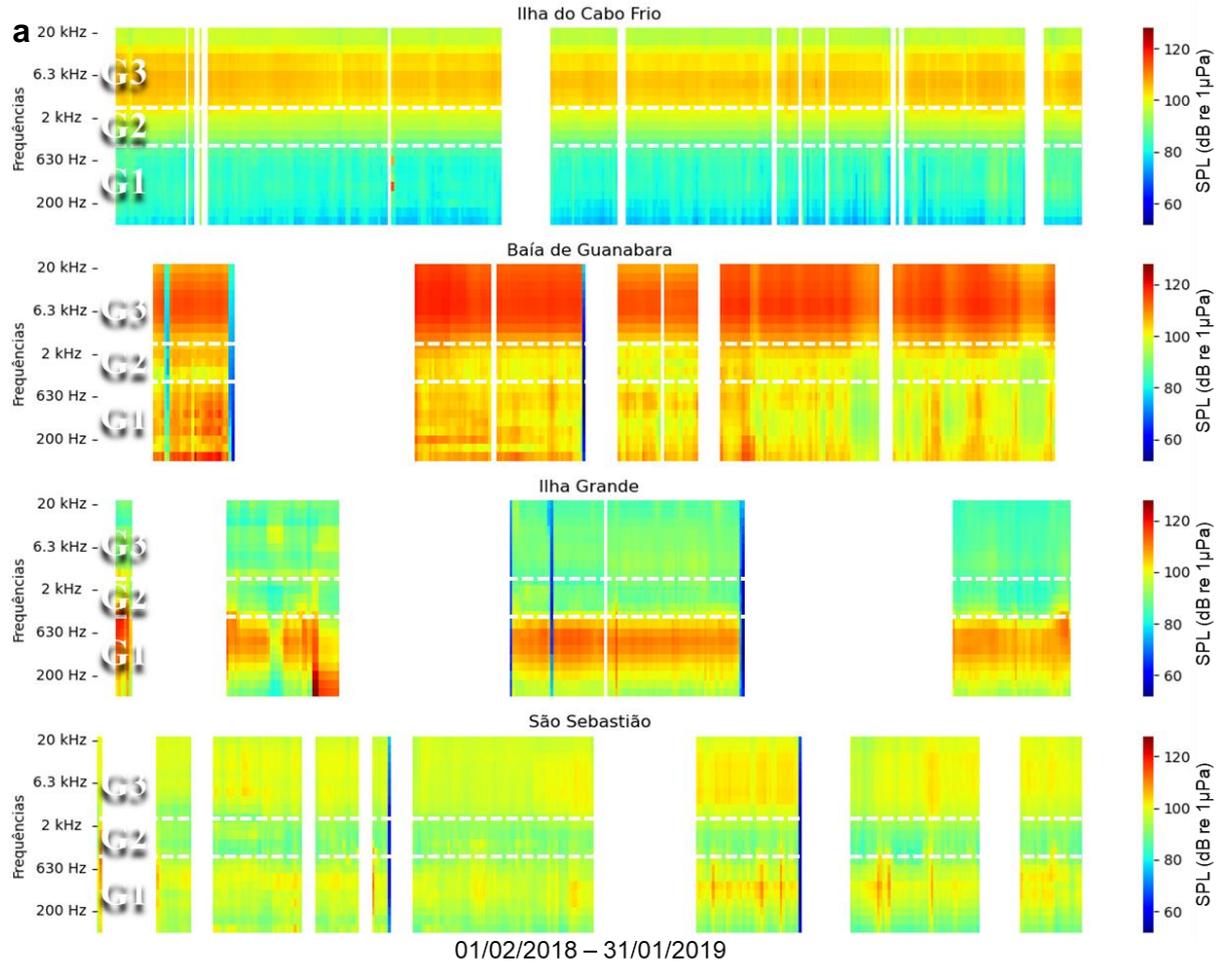
Na Ilha Grande, os valores de SPL em relação às frequências na faixa G1 oscilaram e foram muito próximos. Entretanto, a partir do agrupamento G2 os períodos mais frios (outono e inverno) apresentam valores de SPL mais acentuados em comparação com os mais quentes (primavera e verão). Essa separação entre períodos frios e quentes, também foi confirmada pela análise de agrupamento. Os resultados dos testes de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) mostraram diferenças significativas na maioria das comparações de mesmas frequências entre as estações. No entanto não houve diferenças estatísticas em três frequências entre o inverno e a primavera (125,

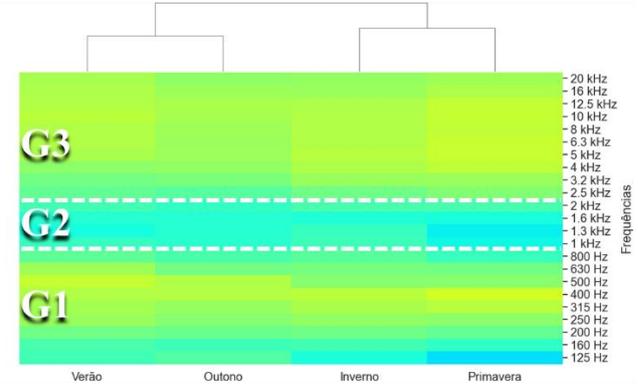
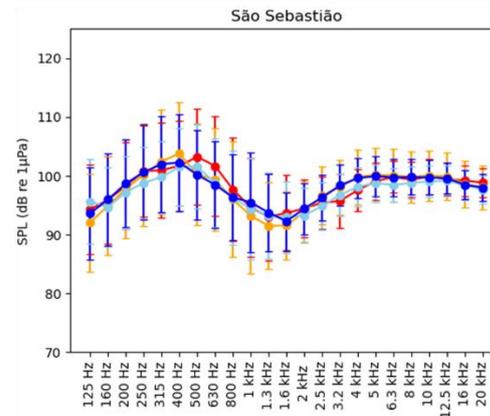
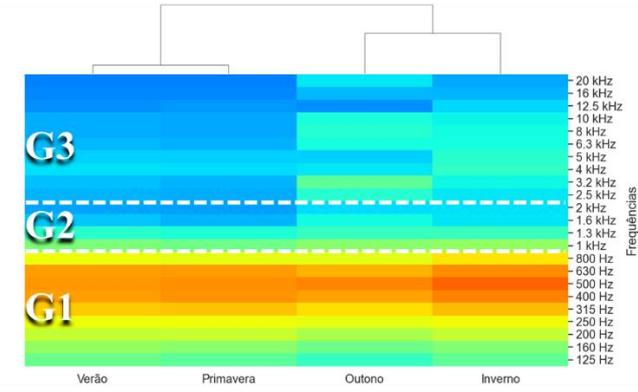
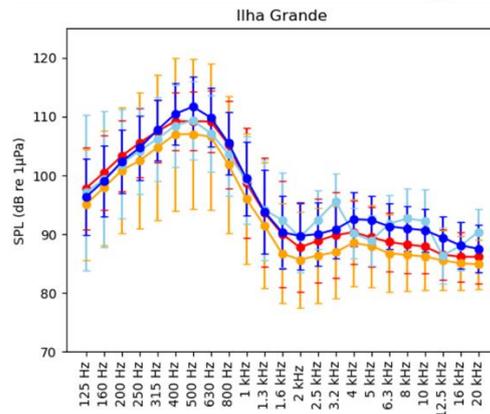
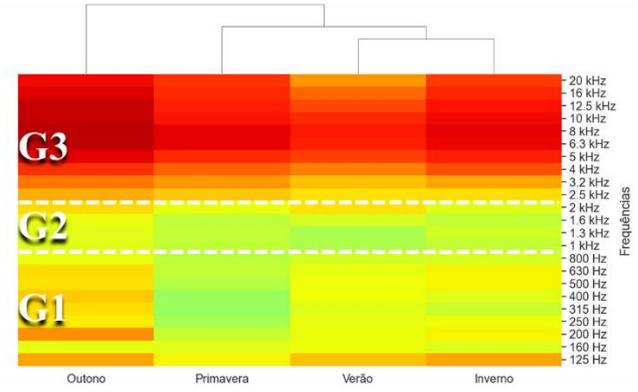
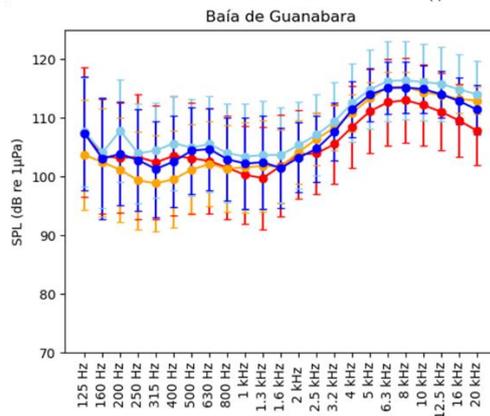
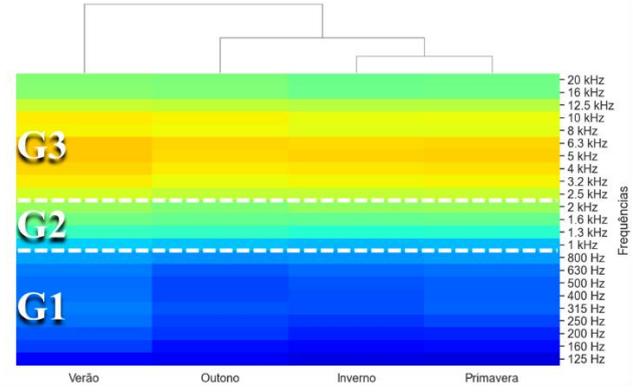
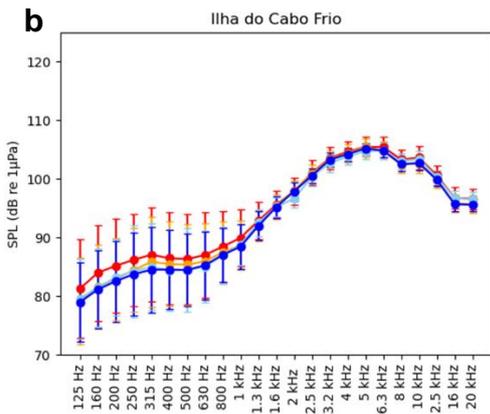
160 e 200 Hz), duas entre a primavera e o verão (315 Hz e 12,5 kHz), duas entre o outono e a primavera (500 Hz e 5 kHz), duas entre o outono e o verão (4 e 5 kHz) e uma entre outono e o inverno (1,3 kHz). O agrupamento entre o verão e a primavera e entre outono e o inverno, provavelmente ocorreu devido à maior proximidade dos respectivos períodos dos dados medianos por frequência a partir da faixa de G2 (Figura 5).

Em São Sebastião os valores de SPL, em relação às frequências, são próximos e apresentaram muita oscilação em toda a faixa estudada. No entanto foi possível observar que os valores medianos máximos pertenceram principalmente ao período da primavera, seguido do verão. Entretanto os períodos do verão e outono e do inverno e primavera alinharam-se principalmente na faixa de 2,5 a 5 kHz, o que deve ter contribuído para o resultado da análise de agrupamento. Os resultados dos testes de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) mostraram diferenças significativas na maioria das comparações de mesmas frequências entre as estações. No entanto, não ocorreram diferenças estatísticas em duas frequências entre o outono e a primavera (160 e 200 Hz), duas entre outono e inverno (400 e 630 Hz), duas entre o inverno e primavera (250 Hz e 3,2 kHz) e uma entre verão e inverno (12,5 kHz) (Figura 5).

Nas análises dos padrões sazonais, os resultados, em sua maioria, apresentaram diferenças estatisticamente significativas na comparação de mesmas frequências entre as estações em todos os pontos de amostragem, apesar de algumas frequências não apresentarem essas distinções.

Figura 5: A figura **a** mostra espectrogramas, a partir de dados medianos por dia para cada uma das frequências, no período de 01 de fevereiro de 2018 a 31 de janeiro de 2019 de todos os pontos de amostragem. Os espaços em branco representam os dias sem gravações. A figura **b** mostra tendências sazonais de todos os pontos de amostragem, através de gráficos de linha, utilizando os dados medianos e os desvios absolutos das medianas, além das análises de agrupamentos, a partir de dados medianos, baseados na distância euclidiana e no método de *Ward*.





3.3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Em todos os pontos de amostragem os parâmetros abióticos, os antropogênicos e os oceanográficos (eixos de X) apresentaram correlações nulas ($r = 0,0$ ou $p > 0,05$), negativas ($r = - 0,1$ a $-1,0$ e $p \leq 0,05$) ou positivas ($r = 0,1$ a $1,0$ e $p \leq 0,05$) com o SPL (eixos de Y). O método utilizado foi a correlação de *Spearman* de dois lados, com o intervalo de confiança de 95%. Além dos valores de r e p , os valores de poder foram importantes para compreender os efeitos detectados apresentados pelas correlações. O teste de poder varia de 0,0 a 1,0 e quanto mais próximo de 1,0 mais robusta é a análise, ou seja, maior é a capacidade de detectar se há um efeito significativo causado por um determinado parâmetro sobre o SPL. Segundo os resultados provenientes das correlações, as frequências do agrupamento G1 (125 a 800 Hz) apresentaram padrões distintos dos padrões oriundos do agrupamento G3 (2,5 a 20 kHz). O agrupamento G2 (1 a 2 kHz), novamente apresentou características de uma faixa de transição, assim como nas análises descritivas (Figura 13).

3.3.1 Número de Embarcações

O total do número de embarcações para a Ilha do Cabo Frio, durante o período de estudo foi de 24.169 registros, considerando a contagem visual. O verão foi o período sazonal com o maior número de embarcações ($n = 10.591$), seguido da primavera ($n = 5.520$), do outono ($n = 4.845$) e do inverno ($n = 3.213$). Na Ilha do Cabo Frio o número embarcações por dia (Figura 6a) e o número médio do SPL por dia ($n = 288$), apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram na faixa de 5 a 16 kHz ($r = 0,1$) e poder variando entre 0,2 e 0,5. As correlações positivas ocorreram na faixa de 125 Hz a 4 kHz e na frequência de 20 kHz, com valores de r variando entre 0,1 e 0,8 e poder entre 0,6 e 1,0. Os valores mais representativos foram encontrados na faixa de 125 Hz a 1 kHz (r entre 0,6 e 0,8 e poder = 1,0) (Figura 6b).

O total do número de embarcações para a Baía de Guanabara, durante o período de estudo foi de 281.340 registros, considerando a contagem por AIS. A primavera foi o período sazonal com o maior número de embarcações ($n = 74.111$), seguido do outono ($n = 70.404$), do inverno ($n = 69.502$) e do verão ($n = 67.323$). Na Baía de Guanabara o número de embarcações por hora (Figura 6a) e o número médio do SPL por hora ($n = 5.185$), apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram em 2 kHz e nas faixas entre 4 e 16 kHz ($r = 0,0$), com

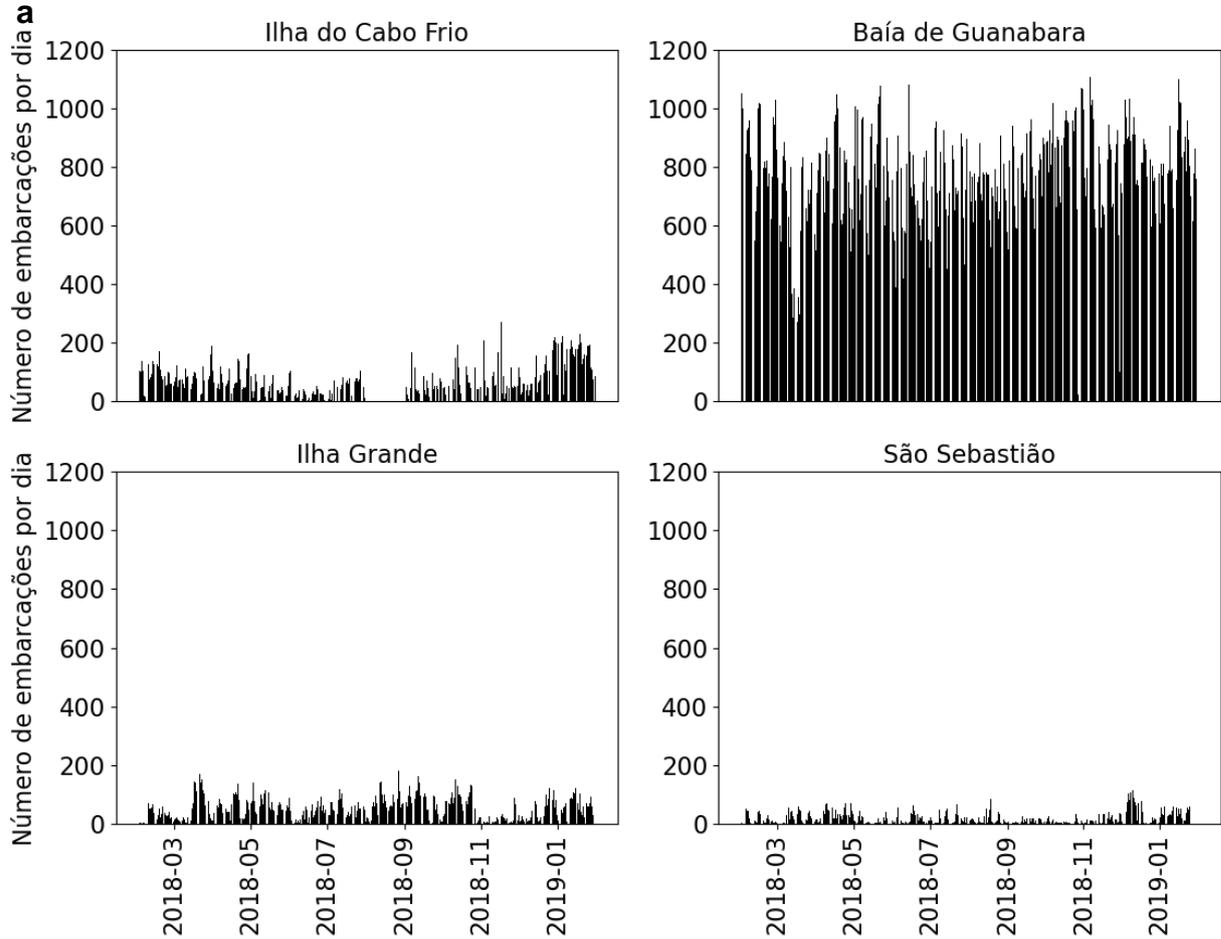
valores de poder variando entre 0,1 e 0,9. As correlações positivas ocorreram entre as faixas de 125 Hz a 1,6 kHz, entre 2,5 e 3,2 kHz e em 20 kHz, com valores de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,9 e 1,0. Os valores mais representativos foram encontrados entre as faixas de 125 Hz a 200 Hz (r entre 0,1 e 0,2 e poder = 1,0) (Figura 6b).

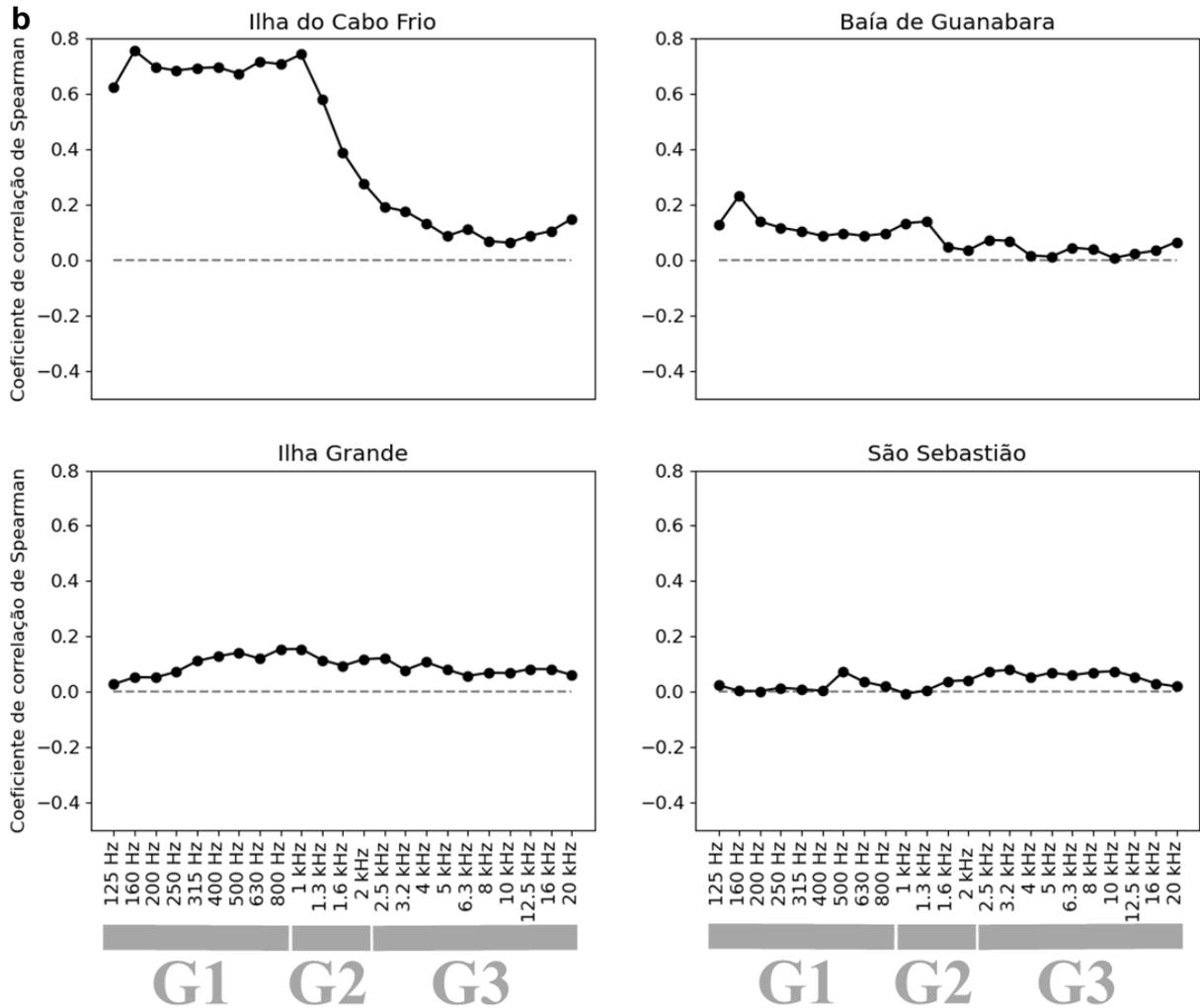
O total do número de embarcações para a Ilha Grande, durante o período de estudo foi de 19.002 registros, considerando a contagem por AIS. O inverno foi o período sazonal com o maior número de embarcações ($n = 5.978$), seguido do outono ($n = 5.229$), do verão ($n = 4.164$) e da primavera ($n = 3.631$). Na Ilha Grande o número embarcações por hora (Figura 6a) e o número médio do SPL por hora ($n = 3.882$), apresentaram uma correlação nula e correlações positivas. A correlação nula ocorreu na frequência 125 Hz, com valor de r igual a 0,0 e poder 0,4. As correlações positivas ocorreram entre as faixas de 160 Hz e 20 kHz, com valores de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,9 e 1,0. Os valores mais representativos foram encontrados entre as faixas de 800 Hz a 1 kHz ($r = 0,2$ e poder = 1,0) (Figura 6b).

O total do número de embarcações para São Sebastião, durante o período de estudo foi de 6.847 registros, considerando a contagem por AIS. O outono foi o período sazonal com o maior número de embarcações ($n = 1.968$), seguido do verão ($n = 1.856$), da primavera ($n = 1.724$) e do inverno ($n = 1.299$). Em São Sebastião o número embarcações por hora (Figura 6a) e o número médio do SPL por hora ($n = 5.614$), apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de frequência entre 125 Hz e 400 Hz, entre 630 Hz e 2 kHz e entre 16 e 20 kHz ($r = 0,0$), com poder variando entre 0,1 e 0,9. As correlações positivas ocorreram em 500 Hz e entre 2,5 e 12,5 kHz ($r = 0,1$ e poder = 1,0). Os valores mais representativos foram encontrados entre as faixas de 2,5 a 10 kHz ($r = 0,1$ e poder = 1,0) (Figura 6b).

Vale ressaltar que as localizações das embarcações por AIS, em todos os pontos de amostragem, podem ser visualizadas nas figuras presentes nos apêndices e anexos deste documento.

Figura 6: A figura **a** mostra o número de embarcações por dia dos pontos de amostragem (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019). Ilha de Cabo Frio obtidos por contagem visual pelo IEAPM; Baía de Guanabara, Ilha Grande e São Sebastião obtidos por AIS, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* do número de embarcações por dia com o número médio do SPL por dia para Ilha do Cabo Frio. Para os demais pontos de amostragem a figura **b** mostra as correlações de *Spearman* entre o número embarcações por hora com o número médio do SPL por hora.





3.3.2 Radiação global

Na Ilha do Cabo Frio, a radiação (Figura 7a) e o SPL ($n = 6.999$) por hora apresentaram correlações negativas e positivas. As correlações negativas ocorreram na faixa de 1,6 a 20 kHz com valor de r variando entre -1 e -4 (poder = 1,0). As correlações negativas mais representativas ocorreram nas faixas de 3,2 a 4 kHz e de 6,3 e 8 kHz ($r = 0,4$ e poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram na faixa de 125 Hz a 1,3 kHz com valor de r variando entre 0,2 e 0,5 (poder = 1,0), com correlações mais representativas na faixa de 125 Hz a 800 Hz ($r = 0,5$ e poder = 1,0) (Figura 7b).

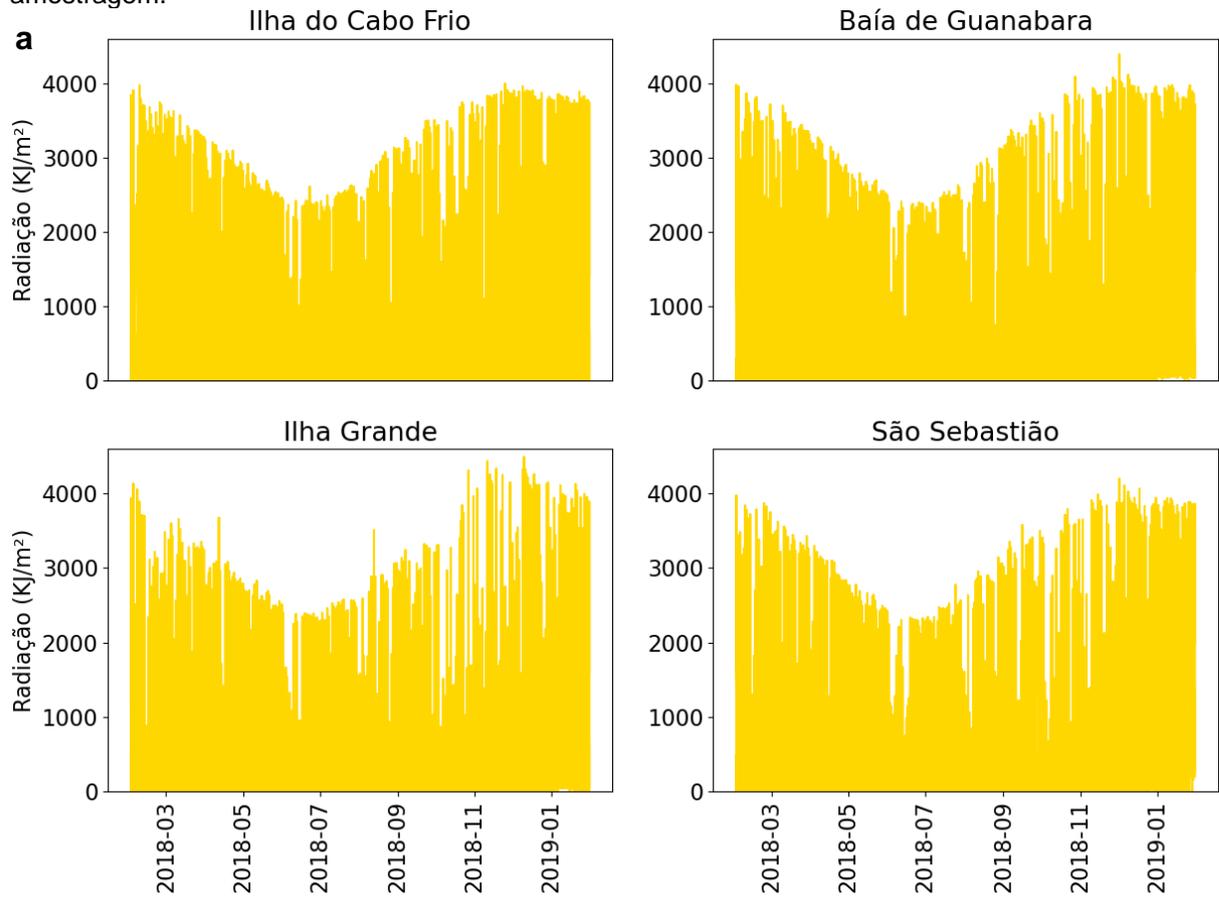
Na Baía de Guanabara, a radiação (Figura 7a) e o SPL ($n = 5.138$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. A correlação nula ocorreu apenas em 250 Hz ($r = 0,0$), com valor de e e poder 0,1. As correlações negativas ocorreram nas frequências 125 e 200 Hz ($r = -0,1$ e poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram em 160 Hz e na faixa de 315 Hz a 20 kHz, com valor

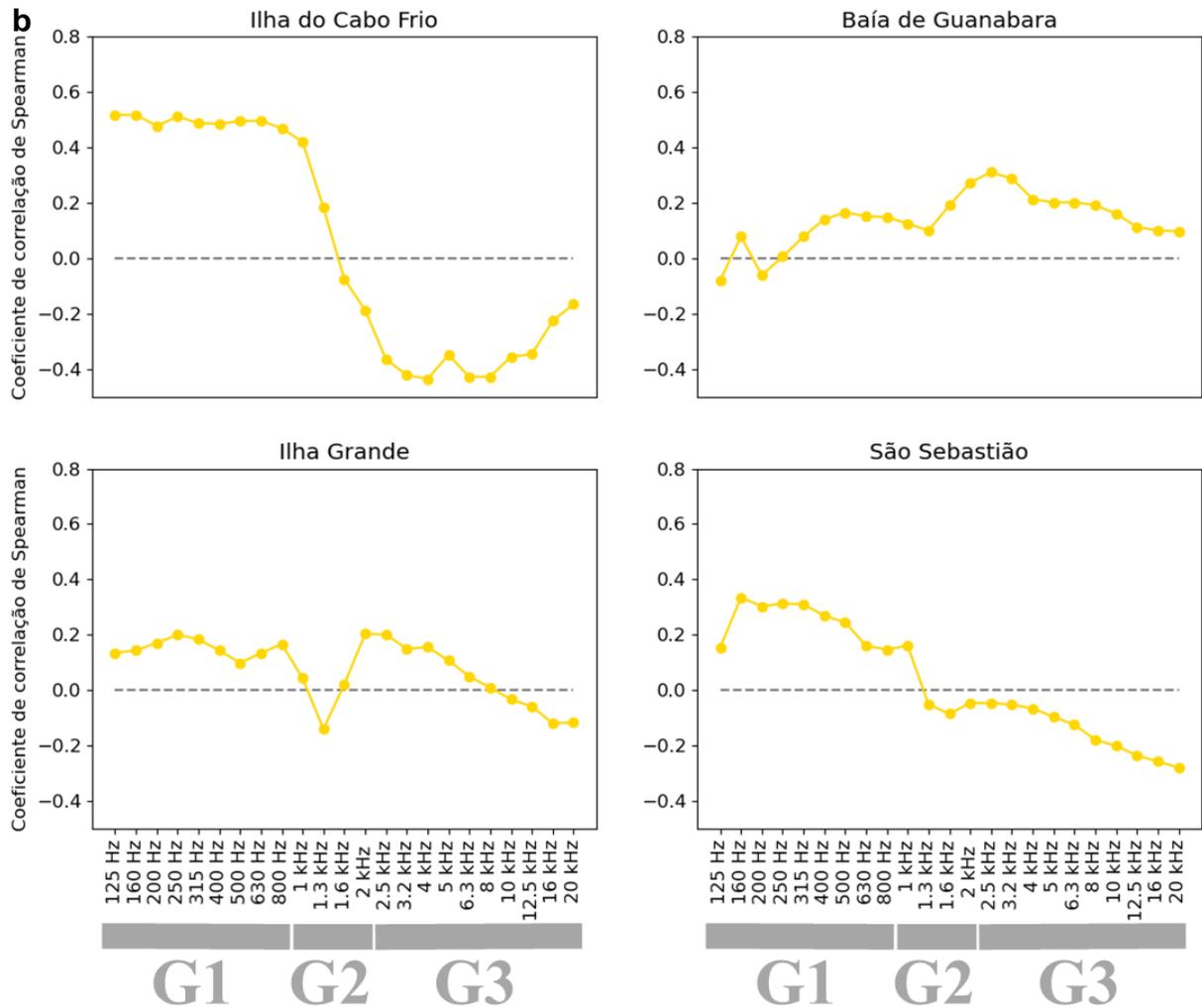
de r variando entre 0,1 e 0,3 (poder = 1,0), com frequências mais representativas entre 2 e 3,2 kHz ($r = 0,3$ e poder = 1,0) (Figura 7b).

Na Ilha Grande, a radiação (Figura 7a) e o SPL ($n = 3.443$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas frequências de 1 e 1,6 kHz e na faixa de 8 a 10 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,7. As correlações negativas ocorreram na frequência de 1,3 kHz e na faixa de 12,5 Hz a 20 kHz ($r = -0,1$) com valores de poder variando entre 0,9 e 1,0. As correlações positivas ocorreram nas faixas de 125 a 800 Hz e de 2 a 6,3 kHz com valores r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,8 e 1,0. As correlações mais representativas ocorreram nas frequências de 250 Hz, 2 e 2,5 kHz, com valor de r igual a 0,2 e poder igual a 1,0 (Figura 7b).

Em São Sebastião, a radiação (Figura 7a) e o SPL ($n = 5.455$) por hora apresentaram correlações negativas e positivas. As correlações negativas ocorreram na faixa de 1,3 a 20 kHz, com valores r variando entre -0,1 e -0,3 e poder entre 0,9 e 1,0. As correlações positivas ocorreram na faixa de 125 Hz a 1 kHz, com valores r variando entre 0,1 e 0,3 (poder = 1,0) (Figura 7b).

Figura 7: A figura **a** mostra os dados de radiação global (kJ/m^2) por hora (01 de fevereiro de 2018 - 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de radiação com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.





3.3.3 Precipitação

Na Ilha do Cabo Frio, a precipitação (Figura 8a) e o SPL ($n = 6.795$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas entre 1,6 a 3,2 kHz e entre 6,3 e 20 kHz ($r = 0,0$) com valores de poder variando entre 0,1 e 0,8. As correlações negativas ocorreram na faixa de 125 Hz a 1,3 kHz ($r = -0,1$ e poder = 1,0). A correlação positiva ocorreu apenas a 5 kHz ($r = 0,1$ e poder = 1,0) (Figura 8b).

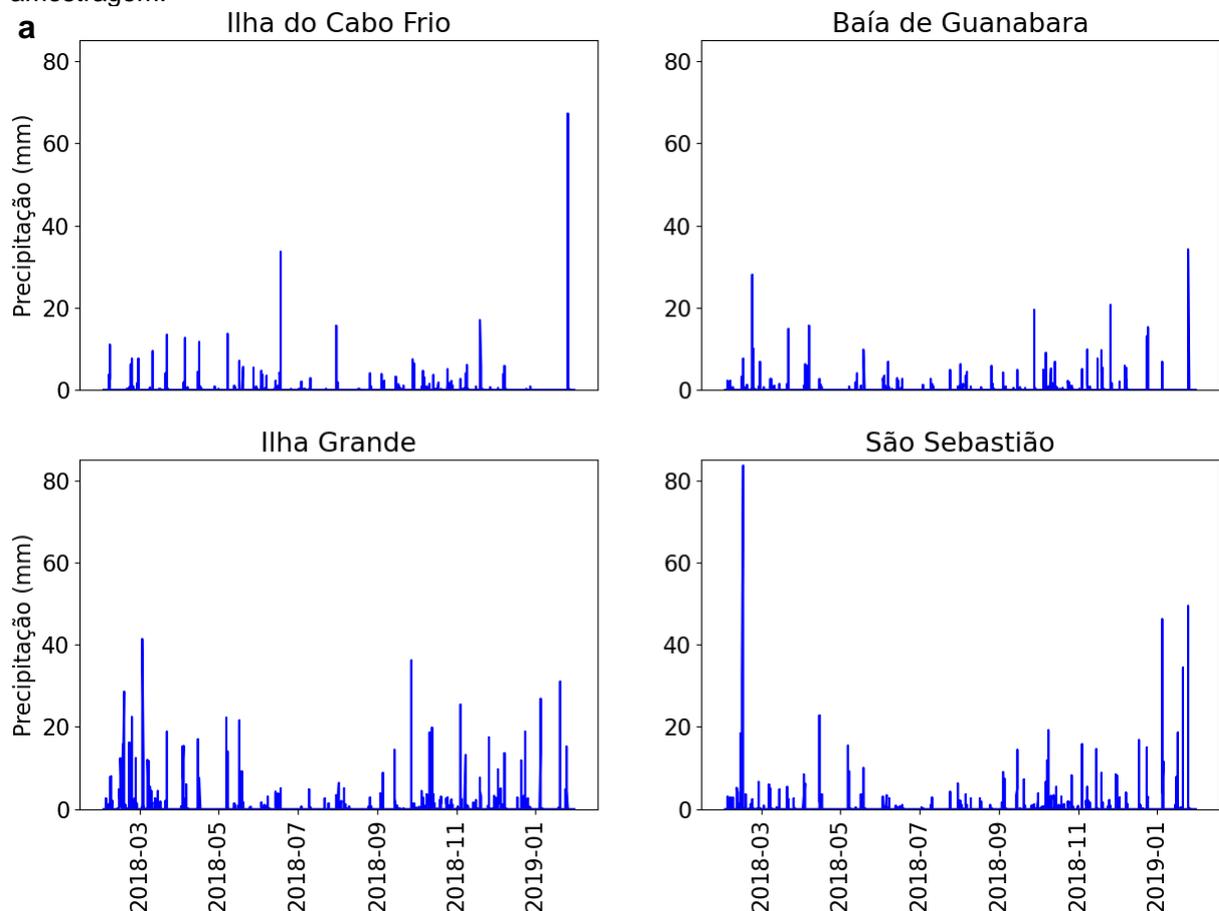
Na Baía de Guanabara, a precipitação (Figura 8a) e o SPL ($n = 5.138$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram na faixa de 125 Hz a 10 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,8. As correlações positivas ocorreram na faixa de 12,5 a 20 kHz ($r = 0,1$), com valores de poder variando entre 0,9 e 1,0 (Figura 8b).

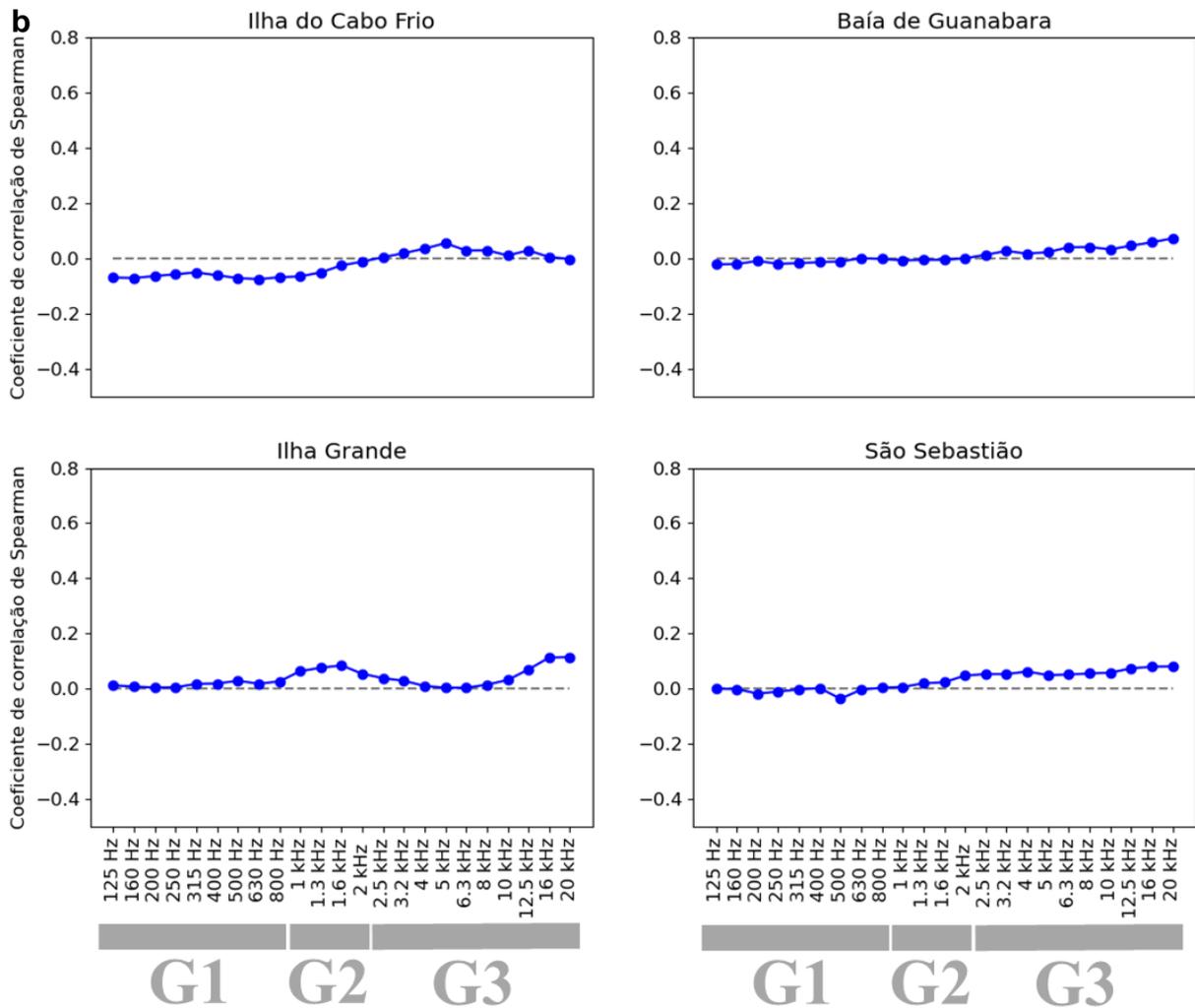
Na Ilha Grande, a precipitação (Figura 8a) e o SPL ($n = 3.443$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas

faixas de 125 a 800 Hz e de 2,5 a 10 kHz ($r = 0,0$) com valores de poder variando entre 0,1 e 0,6. As correlações positivas ocorreram nas faixas de 1 a 2 kHz e de 12,5 a 20 kHz ($r = 0,1$) com valores de poder variando entre 0,9 e 1,0 (Figura 8b).

Em São Sebastião, a precipitação (Figura 8a) e o SPL ($n = 5.455$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram entre 125 Hz e 1,6 kHz ($r = 0,0$) com poder variando entre 0,1 e 0,8. As correlações positivas ocorreram na faixa de 2 a 20 kHz ($r = 0,1$), com valores de poder variando entre 0,9 e 1,0 (Figura 8b).

Figura 8: A figura **a** mostra os dados de precipitação (mm) por hora (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de precipitação com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.





3.3.4 Velocidade do vento

A Ilha do Cabo Frio apresentou predominância dos ventos lés-nordeste e segunda predominância dos ventos leste. Os ventos lés-nordeste e nordeste apresentaram os valores mais acentuados de velocidade média. A velocidade do vento (Figura 9a) e o SPL ($n = 6.495$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram na frequência de 1,6 kHz e na faixa de 2,5 a 5 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,5. As correlações negativas ocorreram na faixa de 6,3 a 20 kHz, com valores de r variando entre -0,1 e -0,2 (poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram na faixa de 125 a 1,3 kHz e a 2 kHz, com valores de r variando entre 0,1 e 0,3 (poder = 1,0), com valores mais representativos na faixa de 400 Hz a 1 kHz, com valores de r variando entre 0,2 e 0,3 (poder = 1,0) (Figura 9b).

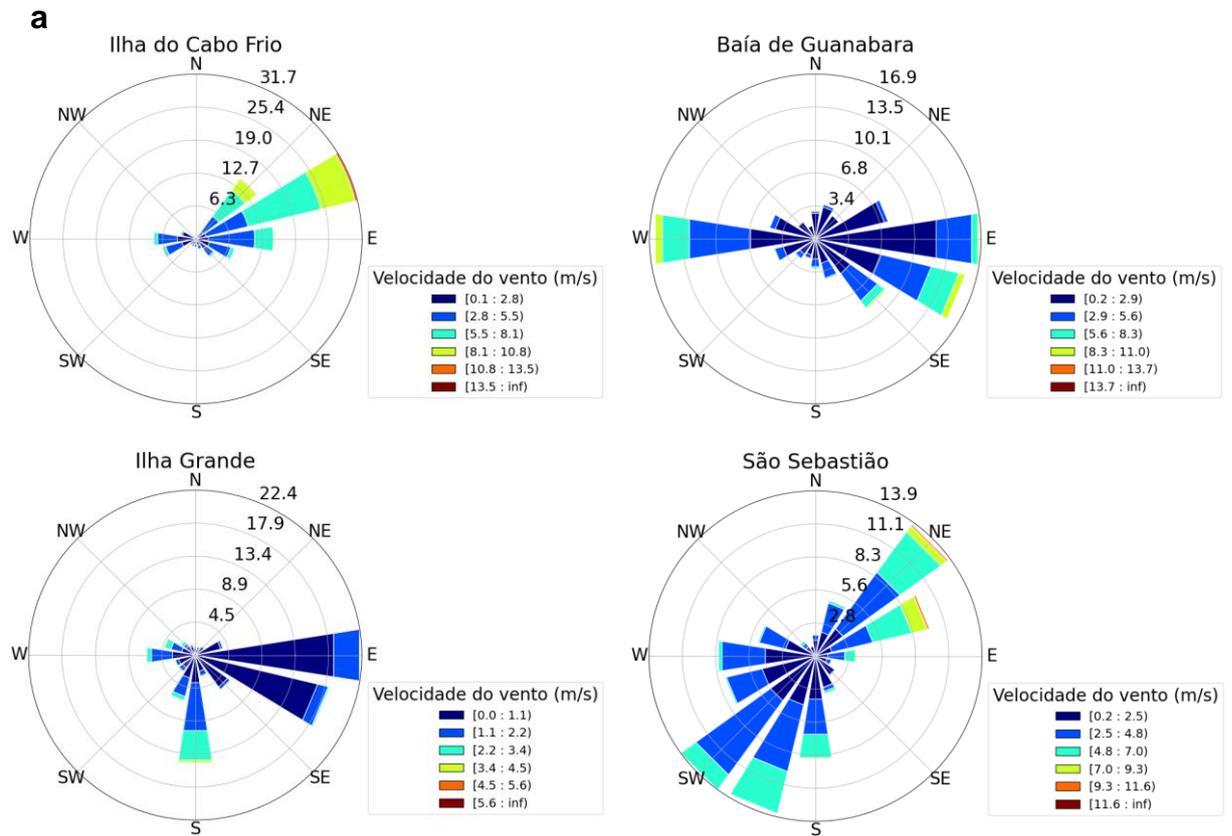
A Baía de Guanabara apresentou predominância dos ventos leste e segunda predominância dos ventos oeste. Os ventos oeste e lés-sudeste apresentaram os

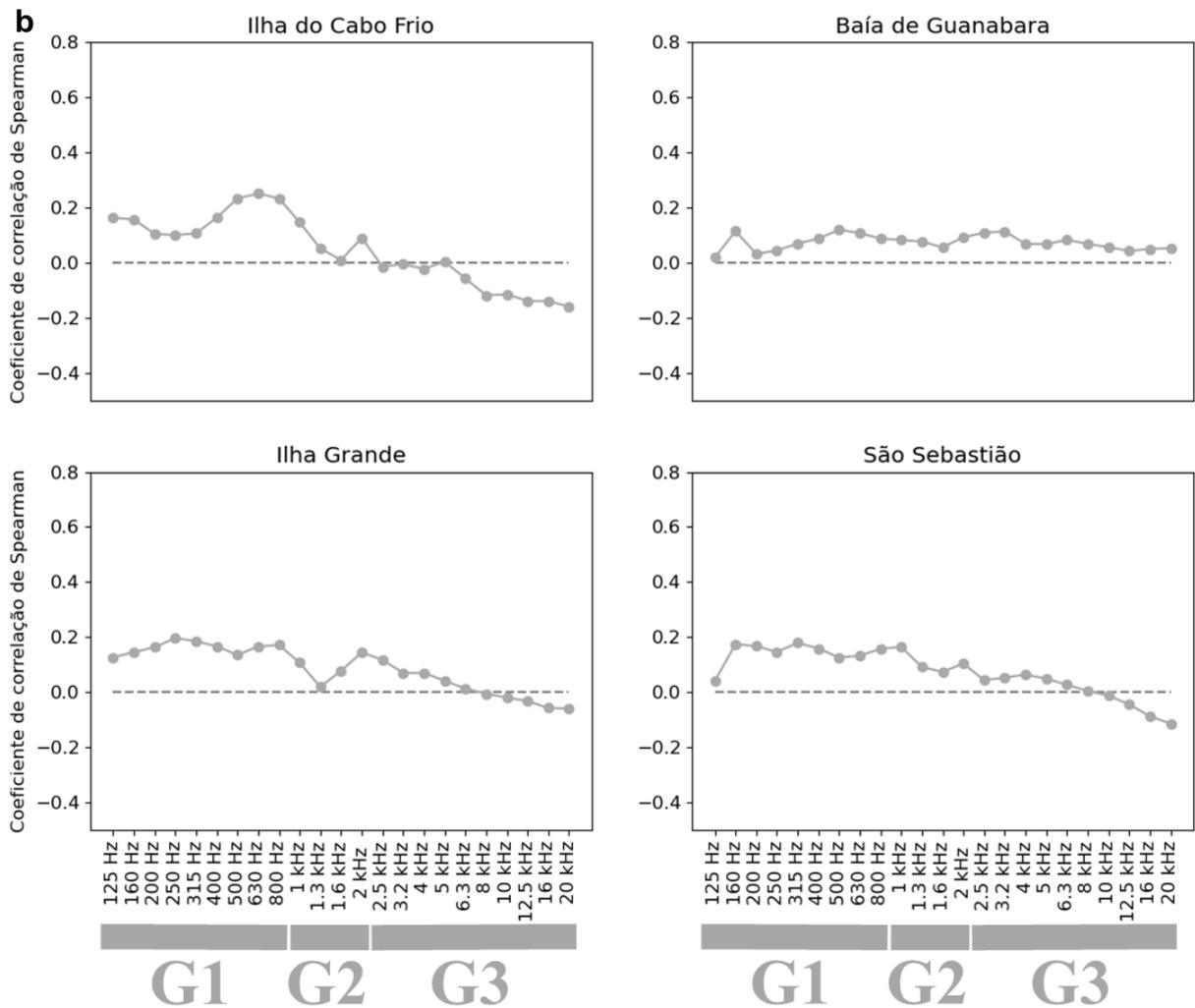
valores mais acentuados de velocidade média. A velocidade do vento (Figura 9a) e o SPL ($n = 5.137$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas frequências de 125, 200 e 250 Hz e 12,5 kHz ($r = 0,0$) e poder variando entre 0,2 e 0,9. As correlações positivas ocorreram na frequência de 160 Hz, na faixa entre 315 Hz a 10 kHz e entre 16 e 20 kHz ($r = 0,1$), com valor de poder variando entre 0,9 e 1,0. As correlações positivas mais representativas ocorreram nas faixas de 400 a 630 Hz e de 2 a 3,2 kHz ($r = 0,1$ e poder = 1,0) (Figura 8b).

A Ilha Grande apresentou predominância dos ventos leste e segunda predominância dos ventos lés-sudeste. Os ventos sul e oeste apresentaram os valores mais acentuados de velocidade média. A velocidade do vento (Figura 9a) e o SPL ($n = 3.443$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram na frequência de 1,3 kHz e na faixa de 5 a 12,5 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,7. As correlações negativas ocorreram na faixa de 16 a 20 kHz ($r = -0,1$ e poder = 0,9). As correlações positivas ocorreram nas faixas de 125 Hz a 1 kHz e de 1,6 a 4 kHz, com valor de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder igual a 1,0 (Figura 9b).

O Canal de São Sebastião apresentou predominância dos ventos sudoeste e segunda predominância dos ventos nordeste. Os ventos lés-nordeste e nordeste apresentaram os valores mais acentuados de velocidade média. A velocidade do vento (Figura 9a) e o SPL ($n = 3.649$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas frequências de 125 Hz e 2,5 kHz e na faixa de 6,3 a 12,5 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,8. As correlações negativas ocorreram na faixa de 16 a 20 kHz ($r = -0,1$ e poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram nas faixas de 160 Hz a 2 kHz e de 3,2 a 5 kHz, com valor de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,8 e 1,0 (Figura 9b).

Figura 9: A figura **a** mostra os dados de distribuição da velocidade (m/s) e direção dos ventos ($^{\circ}$ (gr)) por hora (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo INMET. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de velocidade do vento com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.





3.3.5 Altura da maré

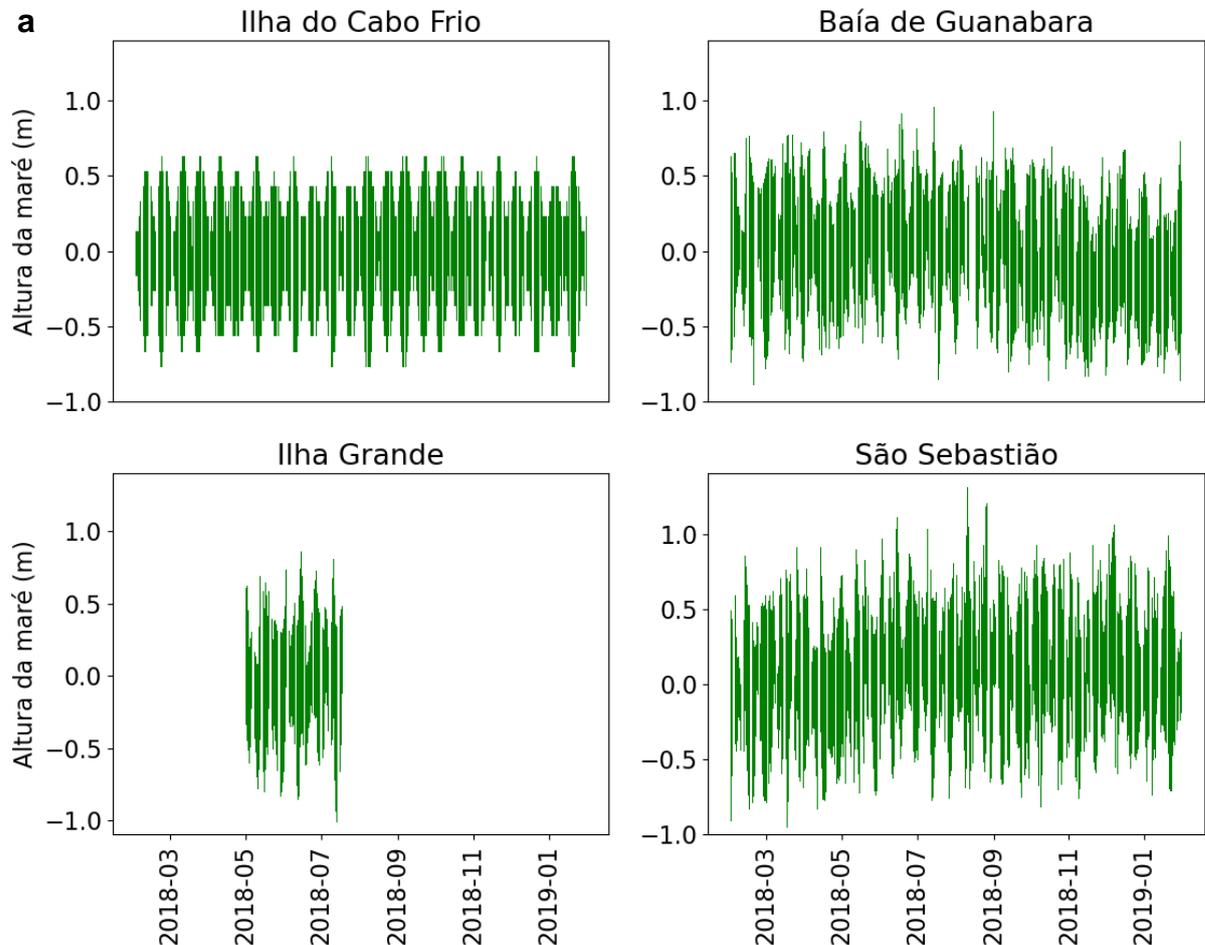
Na Ilha do Cabo Frio altura da maré (Figura 10a) e o SPL ($n = 1.122$) a cada 6 horas apresentaram correlações, tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de 315 a 500 Hz e de 4 a 12,5 kHz (r), com valores r variando entre 0,0 e 0,1 e de poder entre 0,1 e 0,4. As correlações negativas ocorreram na faixa de 630 Hz a 3,2 kHz com valores de r variando entre -0,1 e -0,2 e poder entre 0,8 e 1,0. As correlações positivas ocorreram nas faixas de 125 a 250 Hz e de 16 a 20 kHz de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,5 e 1,0 (Figura 10b).

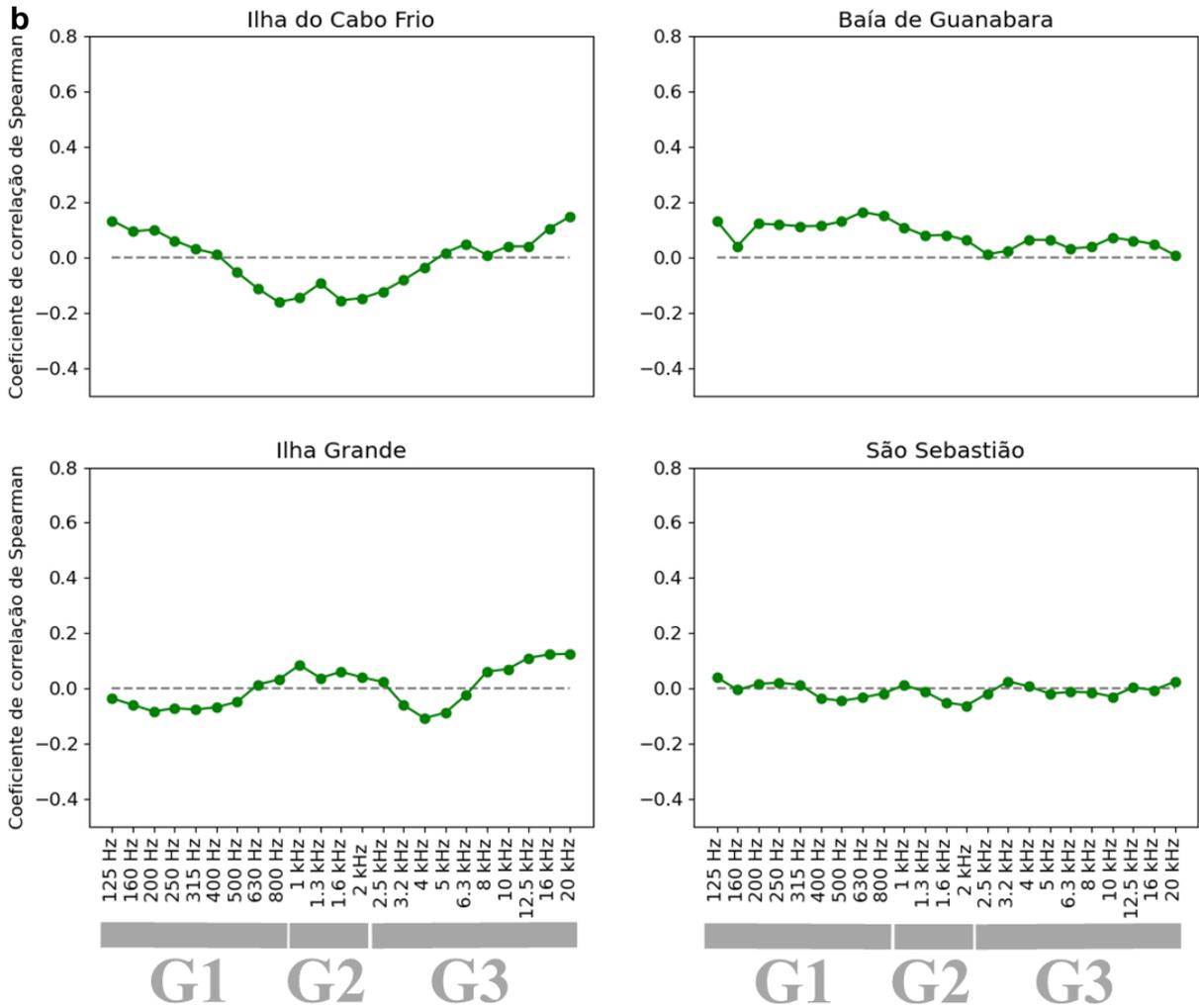
Na Baía de Guanabara a altura da maré (Figura 10a) e o SPL ($n = 5.132$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas frequências de 160 Hz, 2,5, 3,2, 6,3, 8 e 20 kHz ($r = 0,0$), com valores de poder variando entre 0,1 e 0,8. As correlações positivas ocorreram na frequência de 125 Hz e nas faixas de 200 Hz a 2 kHz, de 4 a 5 kHz e de 10 a 16 kHz com valor de r variando entre 0,1 e 0,2 e poder entre 0,9 e 1,0 (Figura 10b).

Na Ilha Grande a altura da maré (Figura 10a) e o SPL ($n = 161$) por hora apresentaram apenas correlações nulas, com valor de r variando entre 0,0 e 0,1 e poder entre 0,1 e 0,4 (Figura 10b).

Em São Sebastião a altura da maré (Figura 10a) e o SPL ($n = 5.424$) por hora apresentaram correlações, tanto nulas e negativas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de 125 a 1,3 kHz e de 2,5 a 20 kHz ($r = 0,0$), com poder variando entre 0,1 e 0,9. As correlações negativas ocorreram na faixa de 1,6, 2 e 10 kHz ($r = -1$ e poder = 1,0) (Figura 10b).

Figura 10: A figura **a** mostra os dados de altura da maré (m) de 01 de fevereiro de 2018 a 31 de janeiro de 2019, a cada 6 horas, para a Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo CPTEC e pelo INPE e por hora para os demais pontos de amostragem, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de altura da maré com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.





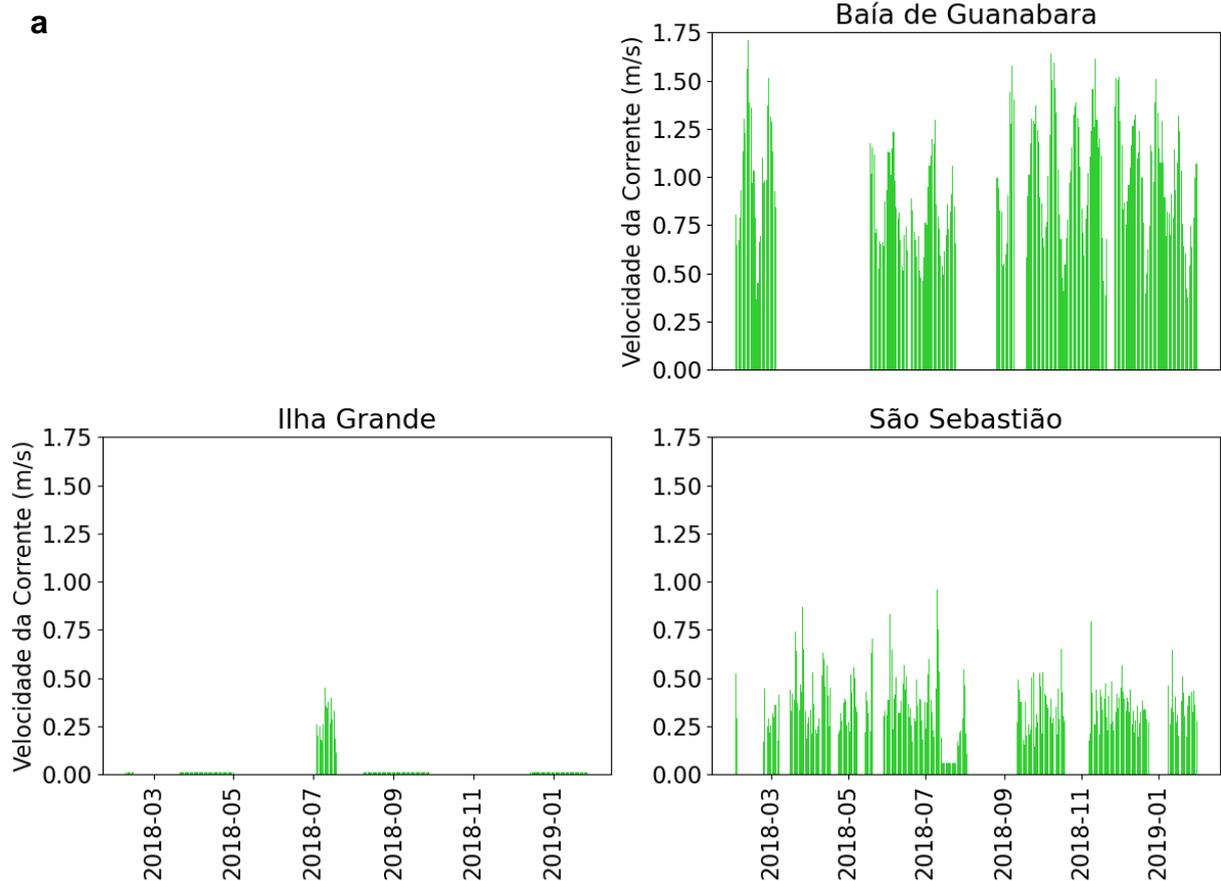
3.3.6 Velocidade da corrente

Na Baía de Guanabara os dados de corrente (Figura 11a) e o SPL ($n = 321.466$) por minuto apresentaram apenas correlações positivas com valor de r variando entre 0,1 e 0,3 (poder = 1,0). As correlações mais representativas correram nas faixas de 315 a 500 Hz e de 5 a 12,5 kHz (r entre 0,2 e 0,3 e poder = 1,0) (Figura 11b).

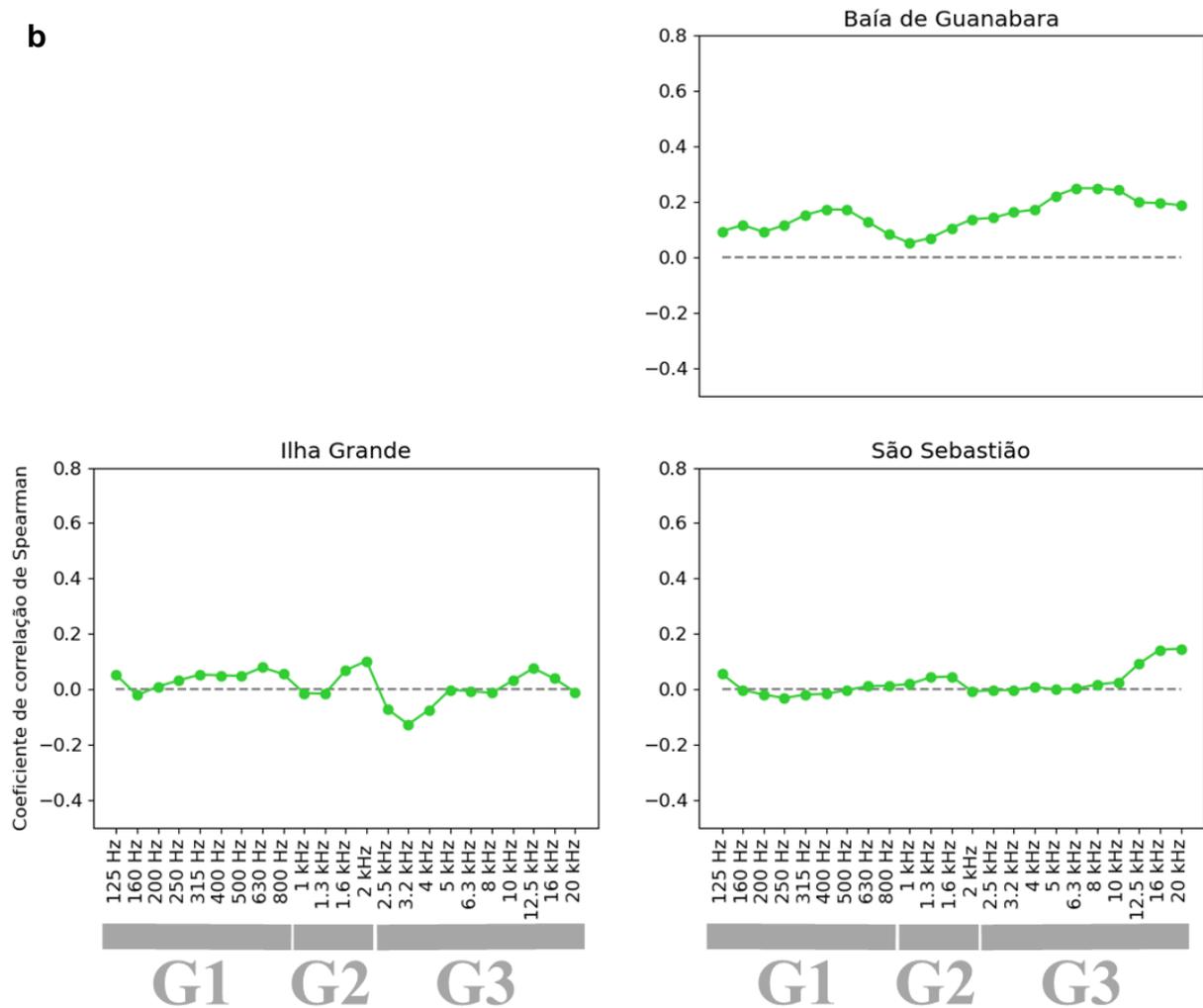
Na Ilha Grande os dados de corrente (Figura 11a) e o SPL ($n = 208.734$) por minuto apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de frequências entre 160 e 250 Hz, entre 1 e 1,3 kHz, entre 5 e 10 kHz e entre 16 e 20 kHz ($r = 0,0$) e poder variando entre 0,1 e 1,0. As correlações negativas ocorreram na faixa de 2,5 a 4 kHz ($r = -0,1$ e poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram na frequência de 125 Hz, nas faixas de 315 a 800 Hz e de 1,6 a 2 kHz e na frequência de 12,5 kHz ($r = 0,1$ e poder = 1,0) (Figura 11b).

No canal de São Sebastião os dados de corrente (Figura 11a) e o SPL ($n = 321.807$) por minuto apresentaram correlações nulas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de frequência de 160 Hz a 1,3 kHz e de 2 a 10 kHz ($r = 0,0$) com valor de poder variando entre 0,1 e 1,0. As correlações positivas ocorreram nas frequências de 125 Hz, 1,6 kHz e na faixa de 12,5 a 20 kHz com o valor de r variando entre 0,1 e 0,2 (poder = 1,0) (Figura 11b).

Figura 11: A figura **a** mostra os dados de velocidade da corrente (m/s) por minuto (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e de São Sebastião, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de velocidade da corrente com os dados acústicos da Baía de Guanabara, da Ilha Grande e de São Sebastião.



b



3.3.7 Temperatura da água

Na Ilha do Cabo Frio os dados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 12a) e o SPL ($n = 4.324$) por hora apresentaram apenas correlações positivas com valor de r variando entre 0,2 e 0,5 (poder = 1,0). As correlações mais representativas correram nas faixas de 1,3 Hz a 1,6 kHz e de 5 a 20 kHz (r entre 0,3 e 0,5 e poder = 1,0) (Figura 12b).

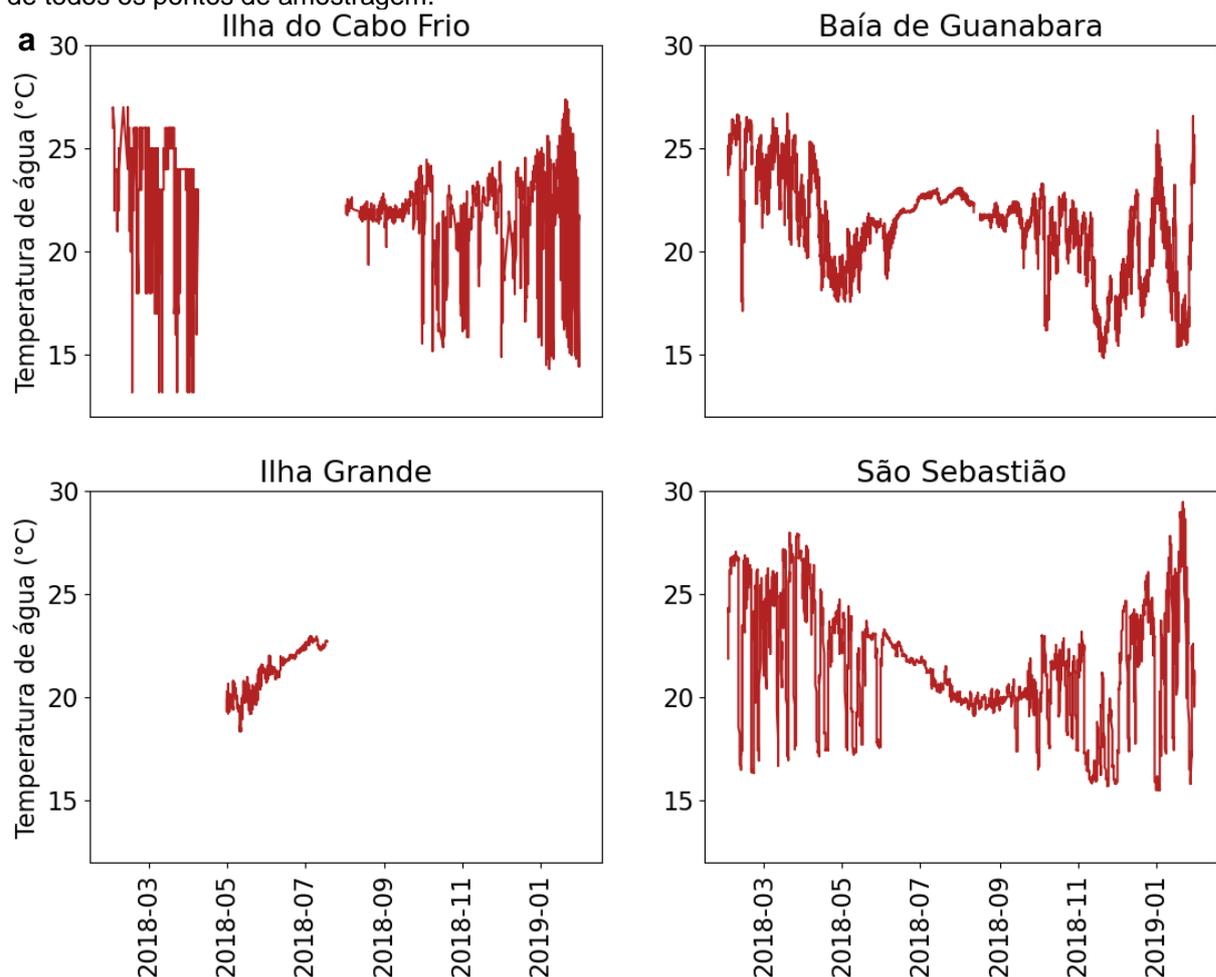
Na Baía de Guanabara os dados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 12a) e o SPL ($n = 5.132$) por hora apresentaram correlações nulas e positivas. Apenas a correlação de 20 kHz foi nula ($r = 0,0$ e poder = 0,5). As correlações positivas ocorreram na faixa de frequência de 125 Hz a 16 kHz (r entre 0,1 e 0,3 e poder = 1,0). As correlações mais representativas correram nas faixas de 250 a 800 Hz e de 4 a 10 kHz (r entre 0,2 e 0,3 e poder = 1,0) (Figura 12b).

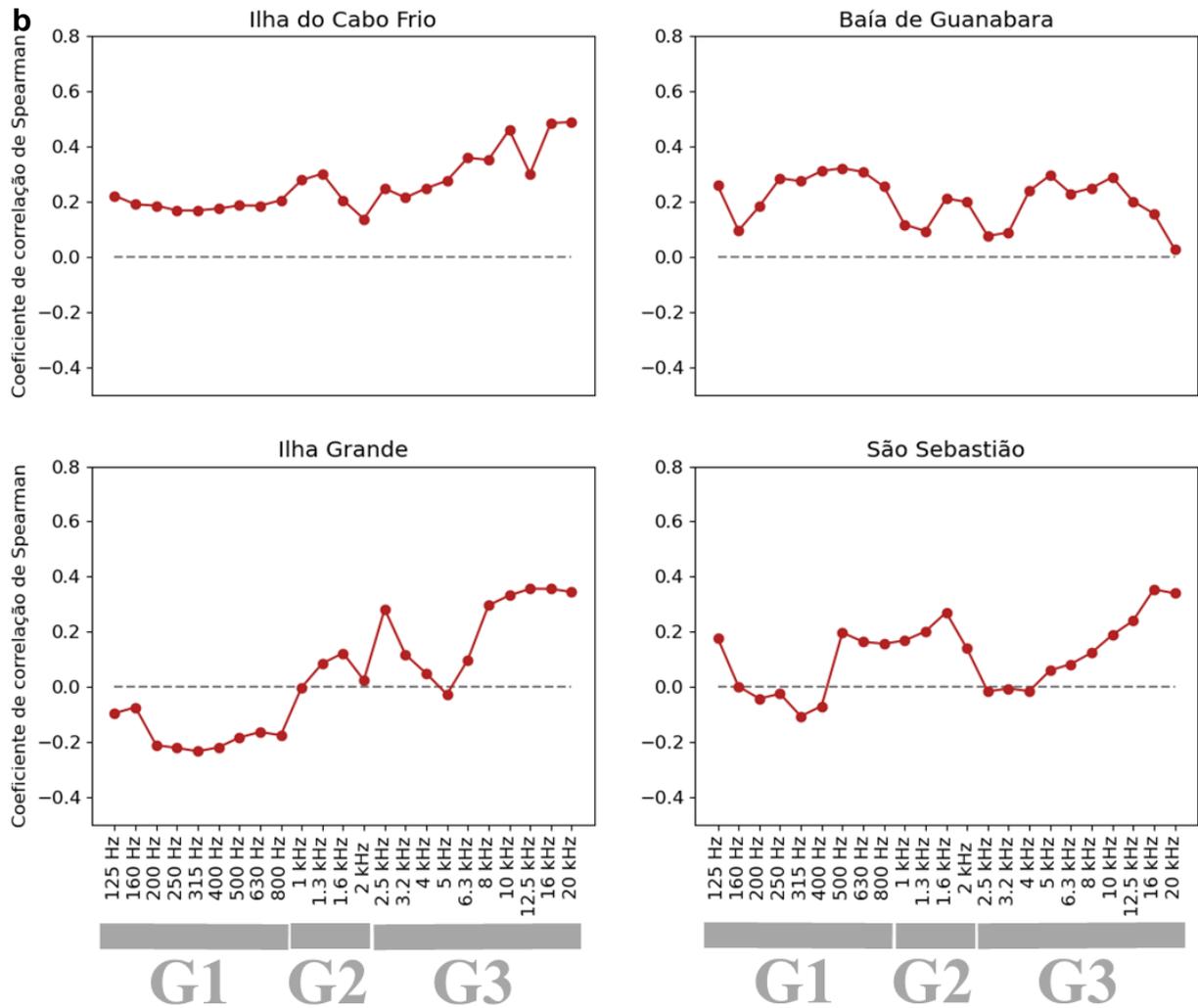
Na Ilha Grande os dados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 12a) e o SPL ($n = 161$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas.

As correlações nulas ocorreram nas faixas de frequências de 125 a 160 Hz, de 1 a 2 kHz e de 3,2 a 6,3 kHz com valor de r variando entre 0,0 e 0,1 e poder entre 0,0 e 0,3. As correlações negativas ocorreram na faixa de 200 a 800 Hz ($r = 0,2$) com valor de poder variando entre 0,5 e 0,8. As correlações positivas ocorreram na frequência de 2,5 kHz, na faixa de 8 a 20 kHz, com valor de r variando entre 0,3 e 0,4 (poder = 1,0) (Figura 12b).

Em São Sebastião os dados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 12a) e o SPL ($n = 5.424$) por hora apresentaram correlações tanto nulas quanto negativas e positivas. As correlações nulas ocorreram nas faixas de frequências de 160 e 250 Hz e de 2,5 a 4 kHz ($r = 0,0$) com valor de poder variando entre 0,1 e 0,9. As correlações negativas ocorreram na faixa de 315 a 400 Hz ($r = 0,1$ e poder = 1,0). As correlações positivas ocorreram na frequência de 125 Hz e nas faixas de 500 a 2 kHz e de 5 a 20 kHz, com valor r variando entre 0,1 e 0,4 (poder = 1,0) (Figura 12a).

Figura 12: A figura **a** mostra os dados de temperatura da água por hora (01 de fevereiro de 2018 - 31 de janeiro de 2019) dos pontos de amostragem, disponibilizados pelo IEAPM e pelo IPqM / PMPAS-BS. A figura **b** mostra as correlações de *Spearman* dos dados de altura da maré com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.



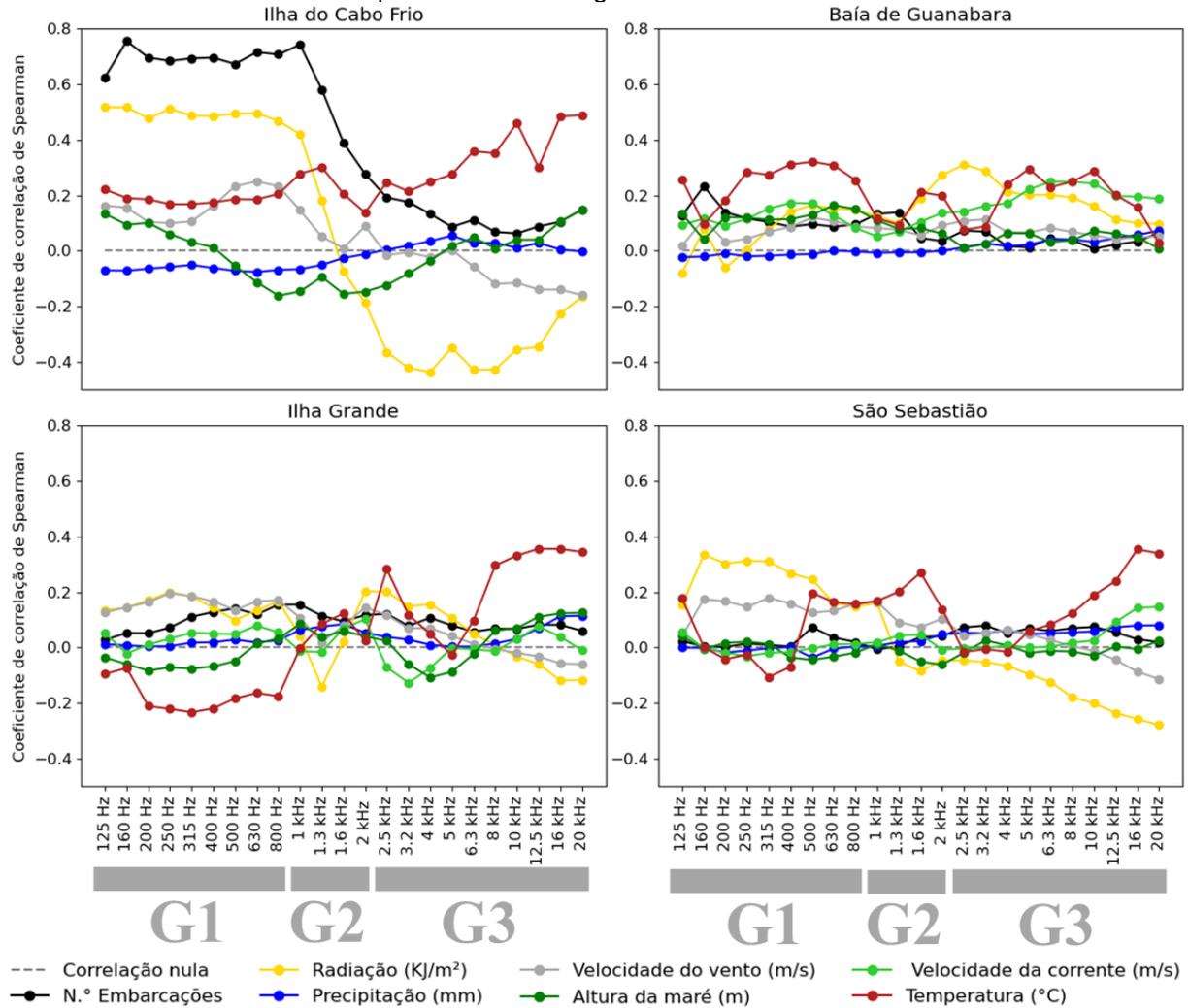


Em relação ao número de embarcações a correlação positiva, para cada uma das frequências, significou que o SPL foi mais intenso com o aumento desse fator. Vale ressaltar que não ocorreram correlações negativas para esse parâmetro em nenhum dos pontos de amostragem. Para a radiação (kJ/m^2) a correlação negativa significou que o SPL foi mais intenso durante a noite, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso durante o dia. Para a precipitação (mm) a correlação negativa significou que o SPL foi menos intenso com o aumento da ocorrência de chuvas, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso com o aumento da ocorrência de chuvas. No que se refere a velocidade do vento (m/s) a correlação negativa significou que o SPL foi menos intenso com o aumento desse fator, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso com o aumento desse fator. Para a altura da maré (m) a correlação negativa significou que o SPL foi mais intenso na maré baixa, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso na maré alta. Em relação à velocidade da

corrente (m/s) a correlação negativa significou que o SPL foi mais intenso em velocidades mais baixas, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso com o aumento desse fator. Para a temperatura (°C) a correlação negativa significou que o SPL foi mais intenso na água fria, enquanto a correlação positiva significou que o SPL foi mais intenso na água quente (Figura 13).

Vale ressaltar que o ponto da Ilha do Cabo Frio apresentou resultados com as maiores variações entre as frequências no que se refere às correlações positivas e negativas, quando comparados aos outros pontos de amostragem. Enquanto a Baía de Guanabara apresentou as menores variações (Figura 13).

Figura 13: Correlações de Spearman dos parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos com os dados acústicos de todos os pontos de amostragem.

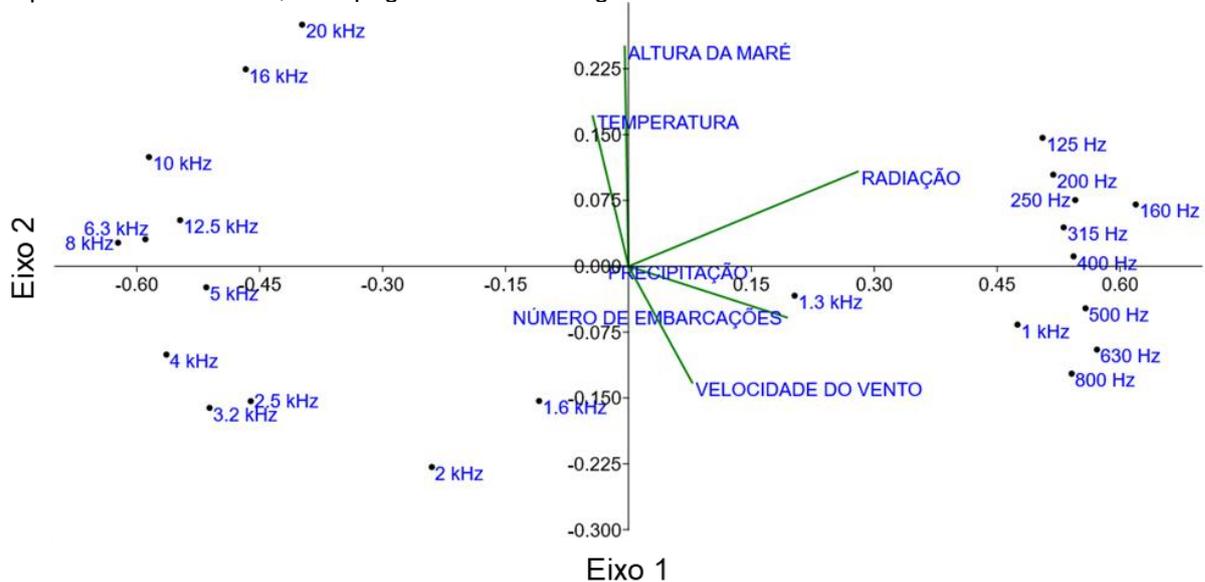


3.4 ANÁLISES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

As ACPs foram realizadas a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos, para cada uma das frequências analisadas, de cada ponto de amostragem. Sendo assim, foram utilizadas as matrizes de variâncias-covariâncias para definir os principais componentes de cada ponto.

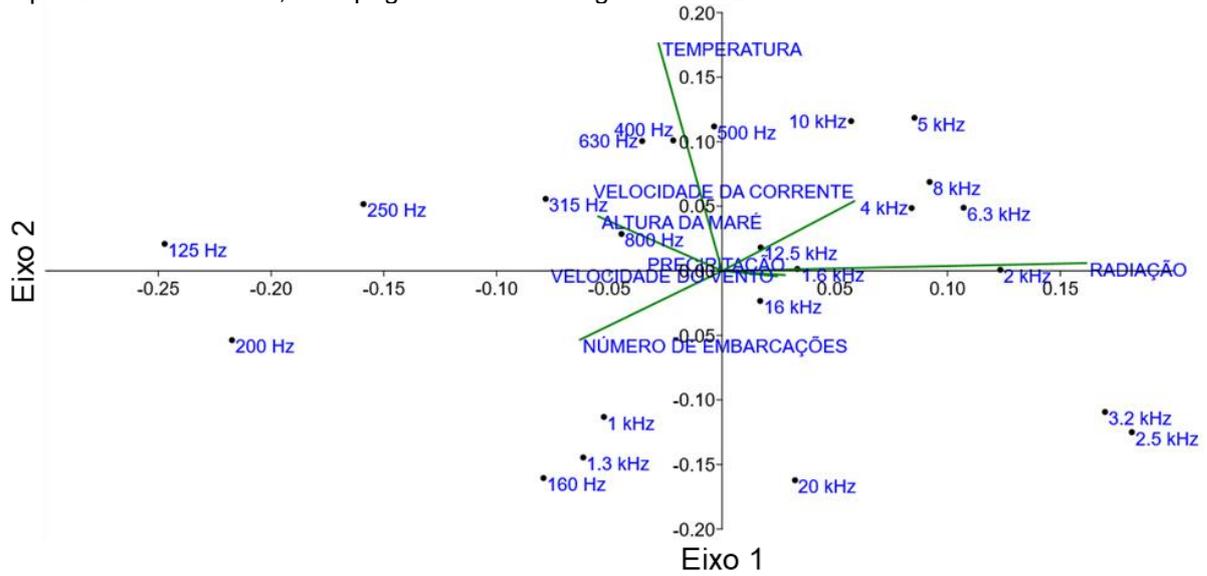
A ACP realizada com os dados da Ilha do Cabo Frio revelaram que a radiação (loadings = 0,79) e o número de embarcações (loading = 0,55) são as variáveis mais representativas do eixo 1, enquanto a altura da maré (loading = 0,71) e a temperatura (loading = 0,48) são as variáveis mais representativas do eixo 2. Juntos, esses eixos explicam 97,60 % da variância total.

Figura 14: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Ilha do Cabo Frio.



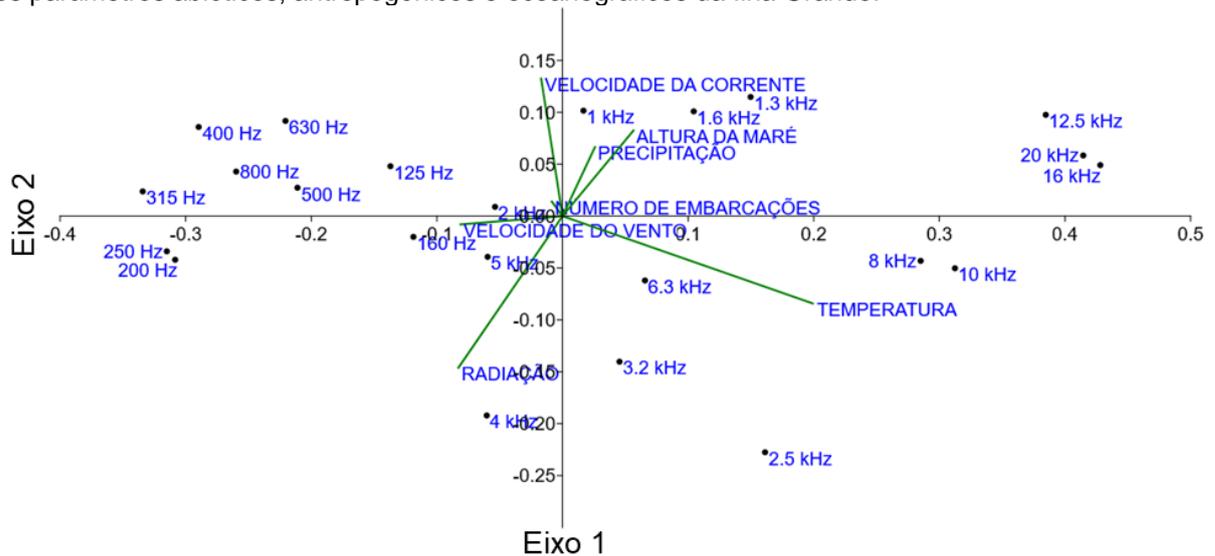
A ACP realizada com os dados da Baía de Guanabara revelaram que a radiação (loading = 0,82) é a variável mais representativa do eixo 1, enquanto a temperatura (loading = 0,90) é a variável mais representativa do eixo 2. Juntos, esses eixos explicam 80,08 % da variância total.

Figura 15: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Baía de Guanabara.



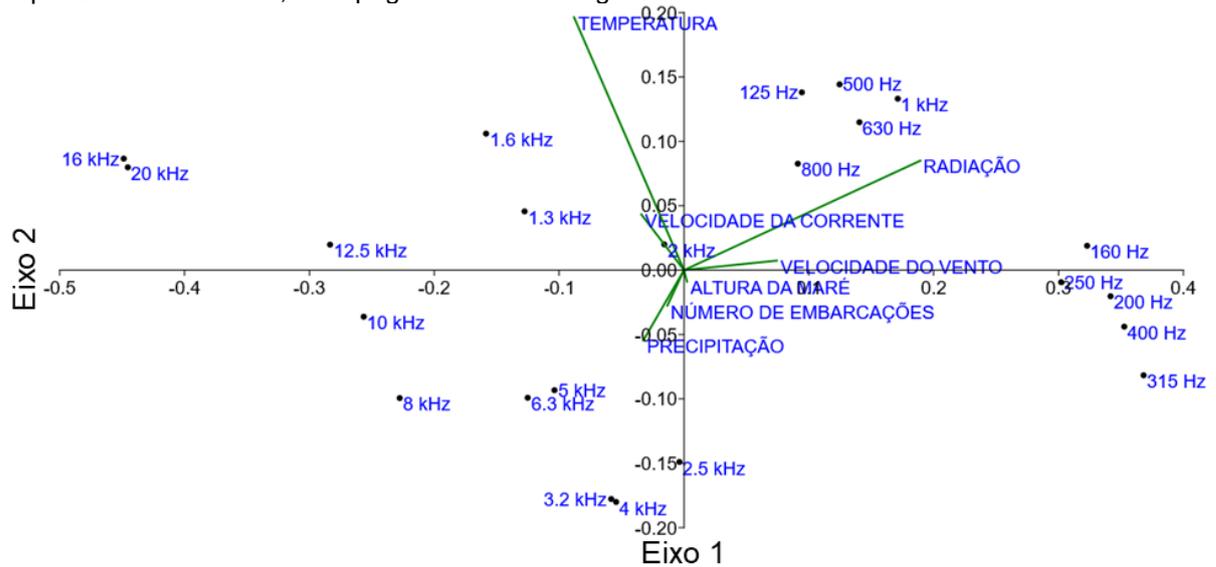
A ACP realizada com os dados da Ilha Grande revelaram que a temperatura (loading = 0,83) é a variável mais representativa do eixo 1, enquanto a velocidade da corrente (loading = 0,55) é a variável mais representativa do eixo 2. Juntos, esses eixos explicam 89,67 % da variância total.

Figura 16: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos da Ilha Grande.



A ACP realizada com os dados de São Sebastião revelaram que a radiação (loading = 0,83) é a variável mais representativa do eixo 1, enquanto a temperatura (loading = 0,86) é a variável mais representativa do eixo 2. Juntos, esses eixos explicam 92,99 % da variância total.

Figura 17: ACP realizado a partir dos resultados originados das análises de correlações entre o SPL e os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos de São Sebastião.



Vale ressaltar que a temperatura foi único parâmetro que esteve entre os principais componentes das análises em todos os pontos de amostragem, seguido da radiação. A radiação não foi considerada um dos principais componentes apenas na Ilha Grande.

4. DISCUSSÃO

Os resultados das análises espaço-temporais, das correlações com parâmetros oceanográficos, abióticos e antropogênicos e das análises dos componentes principais, revelaram similaridades e diferenças nos padrões acústicos dos locais estudados, permitindo traçar o perfil da paisagem acústica dos quatro pontos de amostragem na costa sudeste do Brasil.

4.1 Padrões acústicos comuns a todos os pontos

Em relação aos padrões acústicos comuns foi possível observar, através das análises do coeficiente de variação, uma maior variação dos dados nas frequências mais baixas em relação às mais altas (Figura 2). Segundo Hildebrand (2009), as fontes de baixas frequências (G1) têm potencial significativo para propagação de longo alcance, pois são submetidas a pouca atenuação. Em contraste, as frequências mais altas (G3) possuem um potencial limitado de propagação (10 km), devido à sua maior atenuação (HILDEBRAND, 2009). Portanto, apenas fontes locais contribuem para o campo do ruído ambiente. Além disso, a análise espacial de agrupamento mostrou a

identificação de padrões diferenciados por faixas de frequências (G1, G2 e G3) e a existência das zonas de transição (G2) (Figura 3).

Outro ponto importante foi a temperatura da água entre os principais componentes das análises em todos os pontos de amostragem, pois essa informação corrobora com os estudos que indicaram a presença das ACAS e do fenômeno da ressurgência na Ilha do Cabo Frio (CALADO et al., 2018), na Baía de Guanabara (FERNANDES et al., 2023), na Ilha Grande (RODRIGUES et al., 2022) e em São Sebastião (CERDA & CASTRO, 2014). Vale ressaltar que Rodrigues et al. (2022) também indicaram a presença da ACAS no fundo da Baía Sul do Brasil (BSB) em uma profundidade média de até 25 m. A BSB se estende de Cabo Frio (23°S) no estado do Rio de Janeiro até o Cabo de Santa Marta (28,6°S) no estado de Santa Catarina, com uma extensão ao longo da costa de cerca de 1000 km, abrangendo toda área de estudo. Além disso, a atenuação do SPL em sinais nas faixas de frequências entre 2,5 e 12,5 kHz encontrados na Ilha do Cabo Frio (S5), Ilha Grande (S6) e São Sebastião (S6) normalmente associados a influência da antropofonia (HARRIS & RADFORD, 2014; CAMPBELL et al., 2019), podem estar associados à migração vertical diária (MVD) do zooplâncton. Esse fenômeno é caracterizado pela migração descendente do zooplâncton para águas profundas durante o dia e migração ascendente para águas superficiais à noite (HAYS, 2003). As migrações do zooplâncton são altamente variáveis em sua amplitude, variando de menos de um metro a várias dezenas de metros em lagos e até centenas de metros em alguns oceanos (WILLIAMSON et al., 2011). Segundo Williamson et al. (2011) a teoria da MVD do zooplâncton é focada em fatores bióticos (alimentação e predação) e abióticos (radiação ultravioleta e temperatura). No aspecto biótico, o zooplâncton migra para baixo na coluna d'água durante o dia para evitar predadores visuais e retornam às águas superficiais ricas em alimentos à noite para se alimentarem (HAYS 2003; YOSHIDA et al. 2004). No aspecto abiótico, o zooplâncton migra para baixo na coluna d'água durante o dia para evitar radiação ultravioleta que pode danificar o DNA, membranas e uma variedade de outros produtos bioquímicos que podem elevar as taxas de mortalidade do zooplâncton (WILLIAMSON et al., 2011). Temperaturas mais elevadas em águas superficiais, induzem um maior crescimento e reprodução (STICH & LAMPERT 1984). Por isso, em alguns sistemas de migração vertical, a temperatura mais quente incentiva o zooplâncton a migrar para as águas superficiais à noite (WINDER et al. 2003). Sendo assim, a MVD do zooplâncton possui fatores tanto

bióticos (predação) quanto abióticos (radiação ultravioleta) que regem sua dinâmica e podem promover a atenuação do SPL nos sinais encontrados na Ilha do Cabo Frio (S5), Ilha Grande (S6) e São Sebastião (S6). Na Baía de Guanabara essa atenuação pode não ter sido percebida, devido aos sons de cavitação oriundos do intenso tráfego de embarcações presentes em frequências mais altas.

4.1.1 Caracterização da faixa G1 (125 – 800 Hz)

As características sonoras das faixas de frequência G1 foram atribuídas, sobretudo, aos sons antropogênicos e aos sons de peixes (Figura 4 e Tabela 2). Segundo Picciulin et al. (2010) os ruídos antropogênicos nas áreas costeiras ocorrem, principalmente, pelo tráfego de embarcações, os quais afetam a paisagem acústica, sobretudo, nas frequências menores que 1 kHz (HILDEBRAND, 2009). Na costa sudeste do Brasil, o aumento do tráfego de embarcações e outras atividades antropogênicas têm afetado de maneira significativa o ambiente acústico marinho (BITTENCOURT et al., 2014). Já as características sonoras dos peixes, normalmente os teleósteos, estão associadas a pulsos de baixas frequências e baixas amplitudes (AMORIM, 2006), geralmente produzidos por estridulações e por movimentos dos músculos da bexiga natatória ou músculos conectados aos ossos ao redor da bexiga natatória (ZELICK et al., 1999). Enquanto as estridulações geram sons pulsados de banda larga de vários kHz, os sons originados das bexigas natatórias produzem sons de baixa frequência, menores que 1 kHz, geralmente harmônicos (LADICH & BASS, 2003). Os peixes podem detectar sons tanto por movimento de partículas quanto por pressão, e geralmente ouvem melhor em frequências abaixo de 1 kHz. Esses organismos detectam o movimento das partículas acústicas diretamente com o ouvido interno em frequências superiores a cerca de 200 Hz, e com o ouvido e a linha lateral em frequências inferiores a 200 Hz (AU & HASTINGS, 2008). As preocupações em relação aos efeitos dos sons antropogênicos de baixa frequência (< 1 kHz) no comportamento e/ou fisiologia dos peixes existem há algum tempo (POPPER, 2003). Segundo Slabbekoorn et al. (2010), esses sons antropogênicos podem afetar a distribuição, o crescimento, a reprodução, as interações predador-presa e a comunicação da ictiofauna. Sendo assim, a ictiofauna da região sudeste do Brasil tem sido alvo dos efeitos da antropofonia, pois além dos resultados, existem evidências bibliográficas que demonstram a influência antrópica em todos os pontos de

amostragem (Figura 1a) deste estudo (ARASAKI et al., 2004; PAULA & CREED, 2004; DE MIRANDA MENDONÇA et al., 2013; BITTENCOURT et al., 2014).

4.1.2 Caracterização da faixa G2 (1 – 2 kHz)

Uma outra característica comum a todos os locais estudados foi a presença da zona de transição (G2). Esse nome foi adotado pelo presente estudo, pois as faixas de frequências G2 apresentaram características de transição entre os padrões das faixas G1 e G3. Foi possível observar essas características tanto nas análises espaço-temporais quanto nas análises de correlações. Os aspectos da zona de transição (G2) podem estar associados às características distintas de propagação sonora entre as frequências mais baixas (G1) e as frequências mais altas (G3), como explicado por Hildebrand (2009). Nas análises espaciais, os dados do coeficiente de variação, para essa faixa, apresentaram picos na Baía de Guanabara, Ilha Grande e São Sebastião e um declínio acentuado na Ilha do Cabo Frio (Figura 2). Os resultados oriundos das regiões onde foram registrados os picos poderiam indicar a presença de fontes sonoras localizadas em pontos distintos no entorno de cada hidrofone, enquanto o declínio acentuado do coeficiente de variação observado na Ilha do Cabo Frio poderia ser explicado pela proximidade de apenas 5 m do costão rochoso (Tabela 1). Vale ressaltar que os pontos com as maiores distâncias dos seus costões, Ilha Grande (\cong 5.000 m) e São Sebastião (\cong 1.200 m) respectivamente, foram os pontos com as maiores variações do SPL (Tabela 1).

Os resultados vindos das correlações com SPL também aparentaram estar associados às explicações de Hildebrand (2009), pois as frequências do agrupamento G1 apresentaram padrões distintos dos padrões oriundos do agrupamento G3, sendo G2, um agrupamento de frequências de transição. A mudança de padrão do SPL em relação às frequências, em torno de 1 a 2 kHz (G2), também foram relatados por Buscaino et al. (2016). Em seus estudos, a zona de transição foi chamada de banda de silêncio e ocorreu na frequência de 2 kHz. Nesse estudo, Buscaino et al. (2016) citaram a possibilidade de a banda de silêncio ser causada por ruídos de navios ou algum efeito de propagação desconhecido que pode criar níveis mais baixos de ruído como encontrado neste estudo. Segundo Farina (2014), a sobreposição espacial das geofonias, biofonias e antropofonias criam padrões sonoros específicos chamados de *sonotopes*. Inseridos nos *sonotopes* estão os *soundtopes* que, por sua vez, são subdivisões sonoras criadas apenas pelas contribuições das biofonias. Quando

diferentes *soundtopes* se encontram, como no caso de uma paisagem heterogênea, espera-se uma “zona de tensão”, essas zonas especiais são definidas como *sonotones* ou ecótonos acústicos, onde a informação é trocada entre os dois ou mais *soundtopes* adjacentes (FARINA et al., 2014). Assim poderíamos especular que os sons produzidos nos agrupamentos de frequências G1 e G3 seriam *sonotopes* com seus respectivos *soundtopes* e G2 poderia ser entendido como uma banda de frequência propensa à ocorrência de ecótonos acústicos (*sonotones*), principalmente ao entardecer. Dessa maneira, poderíamos esperar uma combinação de diferentes características acústicas em uma zona muito complexa, possivelmente com mascaramentos e sobreposições sonoras, na qual seria difícil decodificar os sinais adequadamente (FARINA, 2014). Vale ressaltar que este estudo utilizou algumas teorias ecoacústicas apenas para especular e indicar a necessidade de investigação sobre a zona de transição, silêncio ou tensão com mais atenção, uma vez que foram notórias as mudanças de padrões acústicos a partir das faixas de frequências entre 1 e 2 kHz (G2).

4.1.3 Caracterização da faixa G3 (2,5 – 20 kHz)

As características sonoras das faixas de frequência G3 foram relacionadas, principalmente, aos invertebrados e aos sons de cavitações originados das pequenas e grandes embarcações. Os estudos acústicos voltados para os invertebrados têm demonstrado a produção de sons nessas mesmas faixas. Essas emissões sonoras são originadas de estruturas morfológicas diversificadas. Os camarões *Synalpheus parneomeris* e *Alpheus formosus*, por exemplo, produzem sons, a partir de suas garras frontais, de até 189 dB re 1 μ Pa na banda de 2,5 a 20 kHz, com frequências de pico variando entre 2 e 5 kHz (AU & BANKS, 1998). Ouriços das famílias Diadematidae e Echinometridae podem produzir sons amplificados de aproximadamente 90 dB re 1 μ Pa na banda de 1,2 a 18 kHz, com frequências de pico entre 2,3 a 9,2 kHz (SOARS, et al., 2016), a partir de seus esqueletos ressonantes (RADFORD, et al., 2008). Bivalves como a espécie *Perna perna* podem emitir sons de até 110 dB re 1 μ Pa com frequências de pico principalmente entre 4 e 6 kHz (MELO JÚNIOR et al., 2020). Coquereau et al. (2016) encontraram um valor médio de frequências de pico entre 4 e 9 kHz em seu estudo com invertebrados. Segundo Jesus et al. (2020), os ruídos dos invertebrados presentes em costões rochosos são claramente audíveis ao longo do dia na faixa acima de 1,5 kHz.

Nesta mesma banda de frequência da faixa G3 também são registrados muitos dos sons gerados por fontes antropogênicas, que têm o potencial de prejudicar os organismos marinhos, inclusive os invertebrados (POPPER et al., 2020). As pequenas (LI et al., 2015) e grandes embarcações possuem sons de banda larga devido à cavitação (ARVESON & VENDITTIS, 2000). Os ruídos de cavitação ocorrem devido aos colapsos das bolhas, que geram sons de banda larga, e à alta velocidade e passagem das lâminas das hélices, que geram componentes tonais com frequências harmônicas mais altas (HILDEBRAND, 2009; HERMANNSEN et al., 2019). As frequências mais altas envolvidas na cavitação não se propagam a grandes distâncias. Entretanto, estudos têm demonstrado que sons antropogênicos nessa faixa podem influenciar no comportamento (WILKENS et al., 2012), no recrutamento e no assentamento das larvas (LILLIS et al., 2015), no metabolismo e até mesmo na expressão gênica desses seres vivos (PENG et al., 2016).

4.2 Padrões acústicos distintos a todos os pontos

Os resultados oriundos dos locais estudados também apresentaram padrões acústicos distintos, tanto nas análises espaciais quanto temporais. Tais resultados corroboraram com dados apresentados pelos estudos dedicados à variabilidade espacial e temporal das paisagens acústicas (NEDELEC et al., 2015; BUSCAINO et al., 2016; CAMPBELL et al., 2019). As análises espaciais demonstraram diferenças significativas na comparação entre todas as frequências, exceto entre as frequências de 200 Hz dos pontos Baía de Guanabara e da Ilha Grande. Bandas de até 200 Hz têm sido associadas a embarcações turísticas (CAMPBELL *et al.*, 2019) e a propulsões de navios comerciais (TYACK et al., 2008; BITTENCOURT et al., 2020; WEISS et al., 2021), presentes em ambos os locais. As análises temporais em relação aos períodos sazonais demonstraram que houve diferenças estatisticamente significativas na maioria das comparações de mesmas frequências entre as estações, assim como no trabalho de Buscaino et al. (2016), que estudaram os padrões temporais da paisagem acústica nas águas rasas do Mediterrâneo. Nas análises de padrões diários as faixas de frequência G1, G2 e G3 também apresentaram sinais distintos em diferentes horários, em todos os pontos de amostragem. Essas diferenças nos horários dos sinais poderiam ser explicadas pela hipótese do nicho acústico. Essa hipótese, proposta por Krause (1987), diz que em um ecossistema maduro, o som de uma espécie ocupa uma largura de banda única em frequência

pode mudar no tempo para evitar a competição, tornando a comunicação mais eficiente. Além disso, os pontos de amostragem apresentaram resultados diferentes nas variações entre as frequências no que se refere às correlações positivas e negativas do SPL com os parâmetros analisados. Dentre os locais estudados, a Ilha do Cabo Frio apresentou as maiores variações e a Baía de Guanabara as menores variações entre as regiões estudadas. Dessa forma, estes padrões em relação aos resultados podem estar associados à qualidade do ambiente, onde as menores variações podem estar relacionadas a um ambiente com forte influência da antropofonia e as maiores variações podem estar ligadas um ambiente de boa qualidade.

4.2.1 Perfil da paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio

A Ilha do Cabo Frio apresentou tanto sinais de embarcações quanto sinais de peixes na faixa G1. A faixa G2 se apresentou como zona de transição sem nenhum sinal específico. A faixa G3 apresentou os valores mais acentuados de SPL desse local, e os sons dessa banda foram associados a sinais de invertebrados (Figuras 4a e b e Tabela 2), provavelmente devido à proximidade do hidrofone em relação ao costão rochoso (5 m) (Tabela 1). Os costões rochosos são conhecidos por apresentarem uma complexa biodiversidade, abrigando diversas espécies de peixes e invertebrados (MESSANO et al., 2020).

Na faixa G1, o pico de SPL entre 10:00 e 15:00 h (S2) foi associado principalmente aos sons antropogênicos, devido aos resultados das correlações positivas com o número médio de embarcações (Figuras 6b e 13), seguido das correlações positivas da radiação (Figuras 7b e 13). Vale ressaltar que a Ilha do Cabo Frio se encontra em uma região turística (DE MIRANDA MENDONÇA et al., 2013), sendo assim, os padrões das correlações do SPL com o número médio de embarcações e a radiação são similares para essa faixa, ou seja, quanto maior a radiação, maior é a quantidade de barcos de passeio na região, sobretudo nos períodos de verão e feriados. Essas informações corroboraram com as análises sazonais, que mostraram o período do verão com valores medianos mais acentuados do SPL, seguido do outono que apresentou um número maior de feriados (Figuras 5a e b). Para reforçar a influência do número de embarcações na paisagem acústica, o SPL se apresentou menos intenso, para essa faixa, em relação ao aumento da ocorrência de chuvas, de acordo com as correlações referente à precipitação. O SPL

menos intenso possivelmente esteve associado à diminuição do número de embarcações em períodos chuvosos (Figura 13). Os sinais encontrados entre 5:00 e 7:00 h (S1) e entre 17:00 e 20:00 h (S3) foram associados principalmente ao sinal de peixes (Figuras 4a e b e Tabela 2). Diversas espécies alteram suas taxas de emissões sonoras de acordo com a hora do dia, algumas sendo noturnas, outras diurnas e ainda outras apresentando picos de madrugada ou crepúsculos, que podem estar associados a diferentes atividades, como formação de coros de desova, alimentação e comportamento territorial (CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995; BOLGAN et al., 2022).

Na faixa G3 foram encontrados sinais associados aos invertebrados principalmente ao amanhecer (6:00 h – S4) e ao anoitecer (18:00 h – S6) (Figuras 4a e b e Tabela 2). Esses sinais foram relatados por Staaterman et al. (2014) na banda de 2 a 10 kHz. Radford et al. (2008) e Harris & Radford (2014) encontraram os mesmos padrões e os associaram a sinais de invertebrados, principalmente a ouriços e a camarões. As correlações negativas da radiação a partir 1,6 kHz, somadas aos resultados oriundos dos padrões diários para esta faixa, sugerem que os invertebrados da Ilha do Cabo Frio produzem sons mais intensos no período noturno (Figuras 7b e 13). Esse mesmo resultado tem sido relatado em outros estudos (HARRIS & RADFORD, 2014; ERBE et al., 2015; BUSCAINO et al., 2016; CAMPBELL et al., 2019). É possível que a atividade acústica seja mais intensa à noite, devido ao tráfego de embarcações que ocorreram durante o dia (HARRIS & RADFORD, 2014; CAMPBELL et al., 2019) (Figura 4a e Tabela 2) ou pela MVD do zooplâncton (WILLIAMSON et al., 2011).

Os resultados originados da correlação do SPL com velocidade do vento, principalmente nas faixas de 400 Hz a 1 kHz (correlações positivas) e de 8 a 20 kHz (correlações negativas) (Figuras 9b e 13), somados aos ventos mais intensos identificados na direção lés-nordeste (Figura 9a) e as correlações positivas do SPL com a temperatura, sugerem uma relação com os eventos de ressurgência. O fenômeno da ressurgência costeira, ocorre devido à quebra de orientação do litoral, aliado à persistência de fortes ventos de nordeste (NE) que ocorrem paralelamente à costa. Esses ventos empurram as águas costeiras e geram a subida das ACAS frias e ricas em nutrientes (CALADO et al., 2018). Essa disponibilidade de nutrientes na zona eufótica promove uma alta produtividade primária (VALENTIN et al., 1991). Essa alta produtividade primária é controlada rapidamente pela predação zooplanctônica.

O crescimento do zooplâncton é regulado por pequenos peixes pelágicos, que por sua vez são consumidos por peixes predadores maiores (COELHO-SOUZA et al, 2012). Sendo assim, a atividade alimentar da ictiofauna, devido à ressurgência, pode ter contribuído para o aumento do SPL na faixa de 400 Hz a 1 kHz, comum aos sinais de peixes (Figuras 4a e b e Tabela 2). No entanto os eventos de ressurgência são mais comuns durante os meses de verão (CALADO et al., 2018) (Figura 12a), assim como o aumento do número de embarcações devido às atividades turísticas (Figura 6a). Dessa forma, são necessárias mais investigações para determinar se a atribuição do aumento do SPL nessa faixa foi dada pelo comportamento alimentar da comunidade de peixes ou pelo aumento do número de embarcações. A ressurgência nas águas da Ilha do Cabo Frio está relacionada às temperaturas abaixo de 20 °C (CALADO et al., 2015) como pode ser observado na Figura 12a. Os resultados provenientes das correlações mostraram que o SPL foi mais intenso em temperaturas mais altas, em toda a faixa de frequência estudada, no entanto isso também significa que em temperaturas mais baixas o SPL foi menos intenso. Sendo assim, entre o SPL menos intenso provocado por águas mais frias e ricas em nutrientes, desencadeado pelos ventos lés-nordeste, e o SPL mais intenso encontrado em temperatura mais altas, provavelmente ocorreu um atraso (delay) da disponibilidade de nutrientes para reprodução fitoplanctônica até o consumo do zooplâncton pela ictiofauna. Tal atraso já foi observado por Daly & Smith (1993) que estudaram as influências físico-biológicas na produção do plâncton marinho. A redução do SPL principalmente na faixa de 8 a 20 kHz referente à correlação com a velocidade do vento (Figuras 9b e 13) pode ser explicada pela queda da temperatura da água devido à ressurgência. Calado et al., (2018) relataram através de simulações, que a ressurgência pode ser responsável por criações de “zonas de sombras”, nas quais as probabilidades de detecções de fontes acústicas se apresentam muito reduzidas.

Por fim, as correlações nulas da altura da maré nas faixas de 315 a 500 Hz e 4 a 12,5 kHz podem ter sido indicativos de que determinados sinais de algumas espécies de peixes e invertebrados não se alteraram em resposta à oscilação da maré (Figura 10a e b) e outros são mais intensas na maré baixa, principalmente na faixa de 630 Hz a 3,2 kHz. Outro ponto que vale ressaltar foi o da correlação negativa na altura da maré na frequência de 1,3 kHz. É possível que exista um sinal de peixes mascarado pelo sinal de invertebrados nessa faixa durante o período noturno, assim como nos outros pontos de amostragem (Figuras 4a e b e Tabela 2).

4.2.2 Perfil da paisagem acústica da Baía de Guanabara

A Baía de Guanabara apresentou tanto sinais de embarcações quanto sinais de peixes na faixa G1. A faixa G2 também se apresentou como uma zona de transição, no entanto foi possível detectar alguns sinais de peixes (S5 e S6) para essa faixa. (Figuras 4a e b e Tabela 2). A faixa G3 também apresentou os valores mais acentuados de SPL quando comparado com as faixas G1 e G2, entretanto o sinal foi atribuído aos sons de embarcações.

Na faixa G1, os sinais entre 00:00 e 05:00 h (S1) e entre 00:00 e 9:00 h (S2) foram associados aos tons harmônicos antropogênicos baseados nos estudos de Lima et al. (2022) sobre o monitoramento da paisagem acústica submarina no território brasileiro. Embora os resultados oriundos das correlações tenham indicado 160 Hz como a frequência mais influenciada pelo número de embarcações. A frequência de 160 Hz encontra-se entre as frequências dos sinais S1 e S2. As frequências de 125 e 200 Hz são mais afetadas pela temperatura. O padrão dos resultados vindo das correlações de 125, 160 e 200 Hz, associado aos horários dos sinais S1 e S2 sugerem que esses sejam sinais de peixes. Dessa forma, talvez sejam necessárias mais investigações sobre os sinais S1 e S2 (Figura 13). Os sinais de 16:00 a 22:00 h (S3), de 13:00 a 19:00 h (S4) e de 20:00 a 22:00 h (S5) foram atribuídos aos sons de peixes devido ao horário específico e à faixa de frequência nos quais ocorreram (CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995; BOLGAN et al., 2022).

Na faixa G3 foi identificado um único tipo de sinal entre 7:00 e 19:00 h (S7). Esse sinal foi associado aos sons de cavitações vindo de pequenas (LI et al., 2015; HERMANNSEN et al., 2019) e grandes embarcações (ARVESON & VENDITTIS, 2000), e pelo intenso e constante de tráfego embarcações na Baía de Guanabara (BITTENCOURT et al., 2014) (Figuras 4a e b e Tabela 2). Apesar do grande fluxo de embarcações, as análises de correlações do SPL com esse parâmetro não apresentaram resultados significativos (Figura 6b). Provavelmente, porque a maioria das pequenas embarcações não possuem AIS. Hermannsen et al. (2019) em sua investigação sobre as contribuições de ruído de embarcações com e sem AIS em uma área costeira da Dinamarca, constataram que as embarcações sem AIS, dominaram a paisagem acústica, pois elas têm uma ocorrência muito maior que as embarcações com AIS. Entretanto, é possível que o sinal S7 pertença à sons de cliques e estalos originados de invertebrados (COQUEREAU et al., 2016). A Tabela 2 mostra que o horário de pico (18:00 h) e a frequência de pico (8 kHz) para o sinal S7 também

corroboraram com as características dos sinais desses organismos. Entretanto, este estudo considera que são necessárias mais investigações em relação ao sinal S7.

Na Baía de Guanabara, as análises de correlações do SPL com a radiação também responderam aos padrões acústicos diários (Figuras 7b e 13). Os sinais S1, S2 e S3 ocorreram principalmente no período da noite, o que contribuiu para as correlações negativas das frequências de 125 e 200 Hz (Figuras 7b e 13). As correlações na banda de 400 a 800 Hz não foram significativas, provavelmente devido ao sinal S4, que mostrou um aumento da intensidade do SPL a partir de 13:00 h, com o horário de pico às 18:00 h (Figuras 4a e b e Tabela 2). As correlações na faixa de 2 a 3,2 kHz apresentaram valores de correlação mais elevados, provavelmente devido ao sinal S7 que apresentou o SPL mais intenso principalmente no horário entre 7:00 e 18:00 (Figuras 4a e b e Tabela 2). Análises de correlações do SPL com a precipitação foram nulas na maioria das frequências, apresentando correlações positivas apenas entre 12,5 e 20 kHz, mostrando que o aumento do SPL em resposta à ocorrência de chuvas é mais perceptível nesta última faixa. As correlações nulas com a precipitação provavelmente ocorreram devido aos intensos sinais na faixa de frequência estudada (Figuras 4a e 13 e tabela 2). As correlações do SPL com a velocidade do vento mostraram que a intensidade do som cresceu com o aumento desse fator, principalmente na faixa de 400 a 630 Hz relacionada ao sinal de peixes S4 e de 2 a 3,2 kHz (Figura 9b), próximo aos sinais S5, S6 e S7. Isso pode ter ocorrido devido às turbulências na coluna d'água, provocada principalmente pela velocidade dos ventos oeste (Figura 9a). Tais turbulências, podem promover uma camada de mistura que, em pequena escala, aumenta as taxas de encontro entre peixes larvais e suas presas (MACKENZIE et al., 1994). Esses resultados indicaram que o aumento do sinal S4, provavelmente, ocorreu pela própria ação do vento ou pela atividade de alimentação dos peixes. Assim como a Ilha do Cabo Frio, a Baía de Guanabara apresentou registros de temperatura da água abaixo de 20 °C (Figura 12a), o que caracteriza ressurgência segundo Calado et al. (2015). Sendo assim, é possível que ventos tenham desencadeado o fenômeno da ressurgência. Corroborando com Fernandes et al. (2023) que estudaram estratificação da temperatura na Baía de Guanabara e sua relação com a ressurgência costeira induzida pelo vento na região de Cabo Frio. Não foi possível relacionar a causa do aumento do SPL na faixa de 2 a 3,2 kHz em relação à velocidade do vento, devido a influência de diferentes tipos de sinais. As correlações positivas do SPL com a temperatura mais representativas

ocorreram nas faixas de 250 a 800 Hz e de 4 a 10 kHz. A faixa de 250 a 800 Hz faz referência aos sinais de peixes S3, S4 e S5. Segundo Mann & Grothues (2009), a temperatura oceânica é um dos fatores que podem promover a variação da produção sonora de peixes e Ladich (2018), mostrou que o aumento da temperatura pode intensificar o som vindo desses organismos. A faixa de 4 a 10 kHz, para a Baía de Guanabara, faz referência ao sinal S7 originado das embarcações ou invertebrados. A temperatura da água, para esse ponto de amostragem, foi maior em meses de primavera e verão (Figura 12a), os quais também costumam aumentar o número de embarcações para fins recreativos, talvez isso justifique a correlação positiva do SPL com a temperatura para essa faixa. Entretanto, as correlações positivas mais representativas na faixa de 4 a 10 kHz do SPL com a temperatura, também pode ser considerado um indicativo de sons biológicos de invertebrados (Figura 12b). Uma vez que, a temperatura também é um fator físico que influencia a ecologia e a fisiologia desses seres vivos (COELHO-SOUZA et al, 2012). As correlações do SPL com a velocidade da corrente foram mais representativas nas faixas de 250 a 630 Hz e de 5 a 12,5 kHz. A faixa de 250 a 630 Hz possivelmente esteve relacionada, principalmente, aos sinais de peixes S3 e S4. Para essa faixa, provavelmente a velocidade da corrente atuou na formação de turbulências na coluna d'água, assim como a velocidade dos ventos oeste (Figuras 4, 13 e tabela 2). No entanto, as medições de frequências mais baixas podem ser afetadas pelos ruídos de fluxo que não estavam realmente presentes no ambiente, mas podem ter sido causados pelas turbulências do fluxo de maré ao redor do hidrofone (GEEL et al., 2020). A faixa de 5 a 12,5 kHz possivelmente esteve relacionado aos ruídos gerados por cargas de fundo, semelhante ao estudo de Geay et al. (2017). Entretanto, vale ressaltar que o estudo de Geay et al. (2017) foi desenvolvido no leito de um grande rio com fundo de cascalho. As correlações do SPL com a altura da maré foram todas positivas e ocorreram principalmente na frequência de 125 Hz e na faixa de 200 a 800 Hz, essas faixas correspondem aos sinais S1, S2, S3, S4 e S5 que parecem aumentar a intensidade do som na maré alta.

As análises dos padrões sazonais mostraram que o SPL foi mais intenso no período do outono em toda a faixa de frequência. Esse resultado descarta a contagem do número de embarcações por AIS, que apresentou o maior número durante a primavera. Outra possibilidade, foi devido à velocidade da corrente menos acentuada durante esse período (Figura 11a). Com menos influência da velocidade da corrente, os ruídos originados pelas embarcações e os sinais de peixes podem ter predominado

na paisagem acústica. Dessa forma, os valores de SPL devem ter variado menos, elevando os dados medianos usados para as análises sazonais (Figura 5b).

4.2.3 Perfil da paisagem acústica da Ilha Grande

Na Ilha Grande, a faixa G1 apresentou basicamente sinais de peixes. A faixa G2 também se apresentou como uma zona de transição, com a identificação de um pequeno sinal de peixes. A faixa G3 apresentou principalmente sinais de invertebrados.

Na faixa G1, os sinais de peixes foram predominantes durante todos os horários, principalmente entre 11:00 e 18:00 h (S1) e entre 19:00 e 21:00 (S2) (CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995; BOLGAN et al., 2022). Na faixa G2, foi encontrado um sinal de peixes entre 23:00 e 00:00 h (S3). Sinais de peixes com sons pulsados foram observados por Bolgan et al. (2022) nessa faixa de frequência. Na faixa G3, os sinais de invertebrados (S4, S5 e S7) foram atribuídos aos camarões, visto que essas espécies apresentam estalos na banda de 2 a 20 kHz (RADFORD et al., 2010), frequências de pico entre 2 e 5 kHz (AU & BANKS, 1998) e sons mais intensos durante o dia (LILLIS & MOONEY, 2018), principalmente ao entardecer (RADFORD et al., 2010), como encontrado neste no local. A atenuação do SPL pela antropofonia em S6 (CAMPBELL et al., 2019) possivelmente ocorreu pelo aumento do número de embarcações (PAULA & CREED, 2004; CASSANO et al., 2006) ou pela MVD do zooplâncton (WILLIAMSON et al., 2011) (Figuras 4a e b e tabela 2). Outro fator que afetou o sinal de camarões foi a velocidade da corrente. As correlações desse fator com SPL mostraram que os sons se tornaram menos intensos em resposta ao aumento da velocidade da corrente, principalmente, na faixa de 2,5 a 4 kHz, correspondente ao sinal de camarões S4 (Figuras 11a e b). Na Ilha Grande as análises de correlações do SPL com a radiação também responderam aos padrões acústicos diários (Figuras 7b). O sinal S1 foi mais intenso no período entre o início da tarde e o entardecer e os sinais S2 e S3 foram mais intensos à noite (Figuras 4a e b). No entanto, os sinais de peixes S1 e S2, de uma forma geral, se apresentaram contínuos ao longo do tempo. Provavelmente por isso, as correlações positivas apresentaram os valores de r variando entre 0,1 e 0,2 na faixa de 125 a 800 Hz (Figuras 7b). Por outro lado, o sinal de peixes S3 apresentou pico de SPL às 23:00 h em 1,3 kHz, por esse motivo a correlação foi negativa nessa frequência ($r = -0,1$) (Figuras 4a e b, 7b, 13 e tabela 2). A faixa de 2 a 4 kHz apresentou valores de correlações positivas de r

igual a 0,2 (Figuras 7b), possivelmente devido aos hábitos mais diurnos dos camarões (LILLIS & MOONEY, 2018). As correlações positivas do SPL com a precipitação demonstraram que os sons foram mais intensos em relação ao aumento da ocorrência de chuvas nas faixas de 1 a 2 kHz e de 12,5 a 20 kHz (Figuras 8a e b). Essas faixas de frequências apresentaram menos influências dos sinais de peixes e de camarões nos horários das 00:00 às 5:00 h entre 1 e 2,5 kHz e durante todo dia, exceto às 18:00 h, entre 12,5 e 20 kHz (Figura 4a e b, 13 e Tabela 2). Talvez o efeito da chuva nas frequências citadas tenha sido possível devido à maior ocorrência desse fator na região (Figura 8a). Na Ilha Grande, as velocidades dos ventos nas direções entre sul e noroeste contribuíram significativamente para as correlações positivas, principalmente na faixa de 125 Hz a 1 kHz, correspondentes aos sinais de peixes (S1 e S2), assim como na faixa de 1,6 a 4 kHz correspondentes aos sinais de camarões (S4, S5 e S7) (Figuras 4a e b, 9b, 13 e tabela 2). Esses ventos podem ter provocado turbulências na coluna d'água e formado uma camada de mistura, assim como na Baía de Guanabara, promovendo atividades alimentares tanto de peixes quanto de camarões (MACKENZIE et al., 1994). No entanto, Rodrigues et al. (2022) mostraram que a estrutura vertical média anual da coluna d'água sobre o trecho da Ilha Grande evidenciou a presença das ACAS ao longo da costa. Apesar de encontrarmos temperaturas menores que 20°C na Ilha Grande (figura 12a), não foi possível afirmar que o fenômeno da ressurgência é recorrente neste ponto de amostragem, devido às lacunas nos dados de temperatura da água (Figura 12a). Entretanto, foram encontradas correlações negativas na faixa de 200 a 800 Hz ($r = - 0,2$) com poder variando entre 0,5 e 0,8 e correlações positivas na frequência de 2,5 kHz e na faixa de 8 a 20 kHz (r entre 0,3 e 0,4), com todos os resultados apresentando poder igual a 1,0 (Figura 12b). Além disso, a ACP revelou que a temperatura foi o principal componente responsável pela variação do SPL entre as frequências (Figura 16). Esses últimos resultados, associados a presença das ACAS na região da Ilha Grande (RODRIGUES et al., 2022), sugerem a ocorrência de ressurgência. Para as correlações da altura da maré com o SPL a lacuna dos dados pode ter comprometido a capacidade de detectar um efeito significativo da altura da maré sobre o SPL, já que não foram encontradas nenhuma correlação entre esse fator e o SPL (Figuras 10a e b).

As análises dos padrões sazonais demonstraram que os sons foram mais intensos durante o período do inverno e do outono (Figura 5b), o que coincidiu com a

contagem por AIS dos números de embarcações em relação às estações. Algumas espécies de peixes produzem vocalizações conhecidas como chamadas de contato para manter a coesão do grupo (VAN OOSTEROM, et al. 2016). Essas chamadas de contato podem mascarar os ruídos oriundos de embarcações, no entanto também podem afetar a aptidão individual, diminuindo a ingestão de alimentos e/ou as taxas de sobrevivência desses organismos (PUTLAND, et al. 2017). O aumento da intensidade dos sinais de peixes pode ter ocorrido em resposta ao aumento do número de embarcações, mascarando a antropofonia. Isso explicaria os valores r entre 0,1 e 0,2 no que se refere às frequências de 125 a 800 Hz desse ponto (Figura 6b), além das discrepâncias provocadas pelos números de embarcações com e sem AIS. Entretanto, os resultados encontrados podem estar relacionados ao ciclo de vida desses organismos.

4.2.4 Perfil da paisagem acústica de São Sebastião.

Em São Sebastião, a faixa G1 também apresentou basicamente sinais de peixes. A faixa G2 também se apresentou como uma zona de transição, com a identificação de dois pequenos sinais de peixes e a faixa G3 também apresentou principalmente sinais de invertebrados (Figura 4a e b e tabela 2).

Na faixa G1, os sinais de peixes foram predominantes durante todos os horários, porém mais intensos entre 14:00 e 18:00 h (S1) e entre 19:00 e 21:00 (S2) (CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995; BOLGAN et al., 2022). Na faixa G2, os sinais de peixes foram encontrados entre 14:00 e 18:00 h (S3) e entre 19:00 e 22:00 h (S4) (BOLGAN et al., 2022).

Na faixa G3, os sinais de invertebrados foram identificados entre 05:00 e 7:00 h (S5) e entre 17:00 e 19:00 h (S7). Essa faixa também pode ter apresentado a atenuação do SPL pela antropofonia entre 12:00 e 15:00 h (S6) (Figura 4a e b e Tabela 2) ou pelos padrões da MVD do zooplâncton (WILLIAMSON et al., 2011).

Em São Sebastião as análises de correlações do SPL com a radiação também responderam aos padrões acústicos diários. Os sinais S1 e S3 ocorreram do início da tarde até o entardecer e os sinais S3 e S4 ocorreram principalmente no período da noite. É possível que o sinal S1 tenha sido responsável pelas correlações positivas na faixa de 250 a 500 Hz ($r = 0,3$). No entanto a faixa de 125 a 200 Hz pode estar indicando uma influência do número de embarcações na faixa G1, como na Ilha de Cabo Frio (Figuras 4a e b, 13 e Tabela 2). Na faixa entre 1,3 e 2,5 kHz as correlações

negativas com valor de r igual a $-0,1$, ocorreram possivelmente por influência do sinal de peixes S4. A partir de 4 kHz as correlações negativas ficaram mais acentuadas (r entre $0,1$ e $0,3$), indicando que os invertebrados, nesse local, produziram sons mais intensos durante a noite (Figuras 4a e b, 13 e Tabela 2). Análises de correlações do SPL com a precipitação foram nulas na maioria das frequências até 1,6 kHz, apresentando correlações positivas na faixa de 2 a 20 kHz ($r = 0,1$), demonstrando que o aumento do SPL durante as chuvas é mais perceptível na faixa G3 (Figuras 4 e 13). As correlações nulas com a precipitação na faixa de 125 Hz a 1,6 kHz, provavelmente ocorreram devido aos sinais de peixes mais intensos presentes nessa faixa de frequência (Figuras 4a e b, 13 e Tabela 2). As correlações do SPL com a velocidade do vento mostraram que a intensidade do som cresceu com o aumento desse fator, nas faixas de 125 Hz a 2 kHz e de 3,2 e 5 kHz, relacionada aos sinais de peixes e invertebrados, e diminuiu na faixa de 16 a 20 kHz. Nas faixas de 125 Hz a 2 kHz e de 3,2 e 5 kHz os ventos podem ter provocado turbulências na coluna d'água e formado uma camada de misturas, assim como na Baía de Guanabara e na Ilha Grande, promovendo aumento do SPL em resposta à própria ação dos ventos ou pelas atividades alimentares desses organismos, principalmente os peixes (MACKENZIE et al., 1994). A faixa de 16 a 20 kHz pode ter apresentado correlações negativas devido às “zonas de sombras”, descritas por Calado et al. (2018), que podem ocorrer em águas frias, as quais são comuns em regiões de ressurgência. Corroborando com essa informação, Cerda e Castro (2014) mostraram que um núcleo das ACAS estende-se da Ilha de São Sebastião até Cabo Frio durante o verão, denotando intrusões oceânicas ao longo da região. Essas informações são importantes, pois os resultados originados das correlações negativas do SPL com a velocidade do vento na faixa 8 a 20 kHz e as correlações positivas da temperatura para essa mesma faixa de frequência, podem estar demonstrando mais um indicativo da presença do fenômeno da ressurgência tanto no ponto de amostragem de São Sebastião quanto nos pontos da Ilha Grande e da Ilha do Cabo Frio (Figura 13). As correlações do SPL com a temperatura também apresentaram correlações negativas na faixa de 315 a 400 Hz e correlações positivas, principalmente, na faixa 500 Hz a 1,6 kHz. A faixa de 315 a 400 Hz corresponde principalmente ao sinal de peixes S1, enquanto a faixa 500 Hz a 1,6 kHz corresponde, principalmente, aos sinais de peixes S2, S3 e S4. A correlação negativa sugere que os sinais S1 são mais intensos em temperatura da água mais baixas e a correlação positiva sugere que os sinais S2, S3 e S4 são mais

intensos em temperaturas da água mais elevadas. Essas informações sobre a influência da temperatura em relação aos sinais de peixes, somados aos diferentes horários de pico desses sinais, sugerem a existência de diferentes espécies de peixes. As correlações do SPL com a velocidade das correntes foram a maioria nulas na faixa de 125 Hz até 10 kHz, apresentando correlações positivas (r entre 0,1 e 0,2) na faixa de 8 a 20 kHz (Figura 13 e Tabela 2). Associado aos resultados das correlações do SPL com a velocidade do vento, esses resultados podem estar indicando a ascensão das águas frias das ACAS (CERDA & CASTRO, 2014). As correlações do SPL com a altura da maré foram a maioria nulas, apresentando correlações negativas na faixa de 1,6 e 2 kHz ($r = -1$), indicando que a altura da maré apresentou pouca ou nenhuma influência sobre os sinais biológicos.

As análises dos padrões sazonais demonstraram que os sons foram mais intensos durante o período da primavera (Figura 5b). Esse resultado difere da contagem do número de embarcações por AIS, que apresentou o maior número durante o outono. Essas diferenças podem ter sido provocadas pelas inconsistências entre os números de embarcações com e sem AIS. Entretanto, é possível que tenha ocorrido algo semelhante às análises sazonais da Baía de Guanabara em relação às correntes. Com menos influência da velocidade da corrente, os ruídos originados de sinais de peixes e invertebrados devem ter predominado, elevando os dados medianos, uma vez que a velocidade da corrente também foi menor na primavera (Figura 11a). Além disso, os resultados encontrados podem estar associados ao ciclo de vida dos peixes e invertebrados.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, podemos concluir que o MAP pode evidenciar informações importantes originadas de diferentes regiões. Os resultados também demonstraram que as paisagens acústicas de cada uma das regiões estudadas são diferentes entre elas, tanto espacial quanto temporalmente. Foi possível observar que as frequências dos quatro pontos de amostragem se agruparam da mesma maneira, quando submetidas às métricas da distância euclidiana e do método de *Ward*. Cada uma das faixas de frequência (G1, G2 e G3) formadas na análise de agrupamento, de cada ponto de amostragem, apresentaram sinais característicos. Entre os pontos, as faixas G1 foram caracterizadas por sinais de embarcações de baixas frequências e de peixes. As faixas G2 foram caracterizadas

por zonas de transição, apresentando alguns sinais de peixes e sendo influenciadas por sinais de invertebrados ou de cavitações vindo de pequenas e de grandes embarcações presentes na faixa G3. As análises de correlações dos dados acústicos com os parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos geraram resultados importantes sobre o comportamento de peixes e invertebrados, sobre a influência da antropofonia na assinatura bioacústica, e sobre a relação da paisagem acústica com a ressurgência. Frente a todos os resultados encontrados, fica evidente que projetos relacionados ao monitoramento da paisagem acústica devem ser continuados e expandidos por toda a costa brasileira. O acompanhamento desses padrões e características da paisagem acústica poderá ajudar a identificar possíveis impactos originados pela antropofonia ou pelas mudanças climáticas, em uma larga escala espacial e temporal. A crescente preocupação com os últimos fatores mencionados deixa clara a relevância do monitoramento da paisagem acústica para subsidiar regulamentações e mitigações mais eficazes que busquem, através do planejamento e gerenciamento dos ambientes marinhos, a manutenção da biodiversidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHO, C. J. R.; SCHNEIDER, M.; VASCONCELLOS, L. A. Grau de ameaça à diversidade biológica no Parque Estadual da Ilha Grande (RJ) e diretrizes para conservação. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 62, p. 375-385, 2002.
- AMORIM, M. C. P. Diversity of sound production in fish. **Communication in Fishes**, v. 1, p. 71-104, 2006.
- ANDRADE, L. G. Emissões sonoras de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ), sudeste do Brasil. 116 f. tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- ANDRADE, L. G.; MARIA SEABRA LIMA, I.; BITTENCOURT, L.; LEMOS BISI, T.; LAILSON BRITO JÚNIOR, J.; DE FREITAS AZEVEDO, A. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 137, n. 1, p. EL15-EL19, 2014.
- ARASAKI, E.; MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A. M. S. A functional analysis of the benthic macrofauna of the São Sebastião Channel (Southeastern Brazil). **Marine Ecology**, v. 25, n. 4, p. 249-263, 2004.
- AU, W. W. L. & HASTINGS, M. C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.
- AU, W. W., & BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. 1, p. 41-47, 1998.
- ARVESON, P. T. & VENDITTIS, D. J. Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 107, n. 1, p. 118-129, 2000.
- BITTENCOURT, L.; BARBOSA, M.; BISI, T. L.; LAILSON-BRITO JR, J.; AZEVEDO, A. F. Anthropogenic noise influences on marine soundscape variability across coastal areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111648, 2020.

BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M.; ANDRADE, L. G.; CARVALHO, R. R.; BISI, T. L.; LAILSON-BRITO JR, J.; AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2016.

BITTENCOURT, L.; CARVALHO R. R.; LAILSON-BRITO J.; AZEVEDO A.F. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. **Marine Pollution Bulletin**. (2014).

BOLGAN, M.; DI IORIO, L.; DAILIANIS, T.; CATALAN, I. A.; LEJEUNE, P.; PICCIULIN, M.; PARMONTIER, E. Fish acoustic community structure in Neptune seagrass meadows across the Mediterranean basin. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 32, n. 2, p. 329-347, 2022.

BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N.; CORRIAS, V.; FARINA, A.; FILICIOTTO, F. MACCARRONE V.; GRAMMAUTA R.; CARUSO, F.; GIUSEPPE, A. & MAZZOLA, S. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.

CALADO, L.; RODRIGUEZ, O. C.; CODATO G.; XAVIER, F. C. Upwelling regime off the Cabo Frio region in Brazil and impact on acoustic propagation. **The Journal of the Acoustical Society of America**. Am. 143 (3), march, 2018.

CALADO, L.; RODRIGUES, V. B.; SANTOS, G. N.; FLORES, L. M.; SILVA, G. C. A.; OLIVEIRA, E. A. S.; SARAIVA, N. FERNANDES, A. M.; COUTINHO, R. Comissão Oceanográfica INCT: Primeira Comissão Oceanográfica INCT 1 – Cruzeiros de Alta Resolução. **A Ressurgência**, v. 9, n. 8, p. 5 - 10, 2015.

CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L. L.; NETTO, E. B. Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio Island, Brazil. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Acoustical Society of America, 2019.

CASSANO, V.; SZÉCHY, M. T. M.; FUJII, M. T. *Laurencia caduciramulosa* (Ceramiales, Rhodophyta) from Ilha Grande Bay, Rio de Janeiro, Brazil: a recent introduction into the Atlantic Ocean? **Cryptogamie-Algologie**, v. 27, n. 3, p. 265-278, 2006.

CERDA, C., & CASTRO, B. M. Hydrographic climatology of South Brazil Bight shelf waters between Sao Sebastiao (24°S) and Cabo Sao Tome (22°S). **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 5-14, 2014.

COELHO-SOUZA, S. A.; ARAUJO, F. V.; CURY, J. C.; JESUS, H. E.; PEREIRA, G. C.; GUIMARAES, J. R.; PEIXOTO, R. S.; DÁVILA, A. M.R.; ROSADO, A. S. Bacterial and archaeal communities variability associated with upwelling and anthropogenic pressures in the protection area of Arraial do Cabo (Cabo Frio region-RJ). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87, 1737-1750 (2015).

COELHO-SOUZA, S. A.; LÓPEZ, M. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; COUTINHO, R.; CANDELLA, R. N. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, p. 353-365, 2012.

CHOU, E.; SOUTHALL, B. L.; ROBARDS, M.; ROSENBAUM, H. C. International policy, recommendations, actions and mitigation efforts of anthropogenic underwater noise. **Ocean & Coastal Management**, v. 202, p. 105427, 2021.

CONNAUGHTON, M. A. & TAYLOR, M. H. Seasonal and daily cycles in sound production associated with spawning in the weakfish, *Cynoscion regalis*. **Environmental Biology of Fishes**, v. 42, n. 3, p. 233-240, 1995.

COQUEREAU, L., GRALL, J., CHAUVAUD, L., GERVAISE, C., CLAVIER, J., JOLIVET, A., & DI IORIO, L. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, v. 163, n. 5, p. 1-13, 2016.

CREED J. C.; PIRES DÉBORA O.; FIGUEIREDO M. A. O. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília-DF, Brasil, 417p., 2007.

DALY, K. L.; SMITH JR, W. O. Physical-biological interactions influencing marine plankton production. **Annual Review of Ecology and Systematics**, p. 555-585, 1993.

DE MIRANDA MENDONÇA, T. C.; DE MORAES, E. A.; MACIEL, M. A. Turismo e pesca nas Reservas Extrativistas Marinhas de Arraial do Cabo (RJ) e da Prainha do Canto Verde (CE): possibilidades e limites de complementaridade. **Caderno Virtual de Turismo**, v. 13, n. 3, p. 372-390, 2013.

DUARTE, C. M.; CHAPUIS, L.; COLLIN, S. P.; COSTA, D. C.; DEVASSY, R. P.; EGUILUZ, V. M.; ERBE, C.; GORDON, A. C.; HALPERN, B. S.; HARDING, H. R. HAVLIK, M. N.; MEEKAN, M.; MERCHANT, N. D.; MIKSI-OLDS, J. L.; PARSONS, M.; PREDRAGOVIC, M.; RADFORD, A. N.; RADFORD, C. A.; SIMPSON, S. D.; SLABBEKOORN, H.; STAATERMAN, E.; OPZEELAND, I. C. V.; WINDEREN, J.; ZHANG, X. JUANES, F. The soundscape of the Anthropocene Ocean. **Science**, v. 371, n. 6529, p. eaba4658, 2021.

ERBE, C.; VERMA, A.; MCCAULEY, R.; GAVRILOV, A.; PARNUM, I. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, v. 137, p. 38-51, 2015.

ERBE, C. Underwater acoustics: noise and the effects on marine mammals. **A Pocket Handbook**, v. 164, n. 9, p. 10-35, 2011.

ESKINAZI-SANT ANNA, E. M. & BJÖRNBERG, T. K. S. Seasonal dynamics of microzooplankton in the São Sebastião Channel (SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 1b, p. 221-231, 2006.

FARINA, A. **Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications**. [s.l.] Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2014.

FARINA, A.; BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N. The soundscape approach for the assessment and conservation of Mediterranean landscapes: principles and case studies. **Journal of Landscape Ecology**, v. 7, n. 1, p. 10-22, 2014.

FERNANDES, A. M., PASSOS, E. N., CALIL, P. H. R., MOSER, G. A. O., DE OLIVEIRA, E. N., & ESPÍNDOLA, R. P. Temperature stratification in the Guanabara Bay and its relationship with wind-induced coastal upwelling off Cabo Frio, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 291, p. 108433, 2023.

FREEMAN, S. E.; ROHWER, F. L.; D'SPAIN, G. L.; FRIEDLANDER, A. M.; GREGG, A. K.; SANDIN, S. A.; BUCKINGHAM, M. J. The origins of ambient biological sound from coral reef ecosystems in the Line Islands archipelago. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 4, p. 1775-1788, 2014.

FURTADO, V. V. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr.** S.Paulo, 11: 27-35, 1995.

FURTADO, V. V.; BONETTI FILHO, J.; RODRIGUES, M.; BARCELLOS, R. L. Aspectos da sedimentação no canal de São Sebastião. **Relat. Téc. Inst. Oceanogr.**, 43: 15-31, 1998.

GAELZER, L. R.; G.R. MACHADO; R.C. NOGUCHI. Peixes de praias arenosas. Pp: 323-348 In: CREED J. C.; PIRES, D.O.; FIGUEIREDO, O. M. A. Biodiversidade Marinha da Baía de Ilha Grande, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2007.

GEAY, T.; BELLEUDY, P.; GERVAISE, C.; HABERSACK, H.; AIGNER, J.; KREISLER, A.; SEITZ, H.; LARONNE, J. B. Passive acoustic monitoring of bed load discharge in a large gravel bed river. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 122, n. 2, p. 528-545, 2017.

GEEL, N. C. F. V.; MERCHANT, N. D.; CULLOCH, R. M.; EDWARDS, E. W. J.; DAVIES, I. M.; O'HARA MURRAY, R. B. & BROOKES, K. L. Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 148, n. 2, p. 701-712, 2020.

- GUIMARÃES, M. A. & COUTINHO, R. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at Cabo Frio upwelling region, Rio de Janeiro, Brazil. **Aquat. Bot.** V. 119, p. 283-299, 1996.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., AND RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, 2001.
- HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine soundscape ecology. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, p. 5003-5011, 2014.
- HAYS, G. C. A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. In: **Migrations and Dispersal of Marine Organisms**: Proceedings of the 37 th European Marine Biology Symposium held in Reykjavík, Iceland, 5–9 August 2002. Springer Netherlands, p. 163-170 2003.
- HASTINGS, M. C. Coming to terms with the effects of ocean noise on marine animals. **Acoustics today**, v. 4, n. 2, p. 22-34, 2008.
- HAWKINS, A. D. & POPPER, A. N. Assessing the impacts of underwater sounds on fishes and other forms of marine life. **Acoustics Today**, v. 10, n. 2, p. 30-41, 2014.
- HERMANNSEN, L., MIKKELSEN, L., TOUGAARD, J., BEEDHOLM, K., JOHNSON, M., & MADSEN, P. T. Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 15477, 2019.
- HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5-20, 2009.
- ILYINA, T.; ZEEBE, R. E.; BREWER, P. G. Future ocean increasingly transparent to low-frequency sound owing to carbon dioxide emissions. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 1, p. 18-22, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) & MARINHA DO BRASIL. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2011.
- JESUS, S. M.; XAVIER, F. C.; VIO, R. P.; OSOWSKY, J.; SIMÕES, M. V. S.; NETTO, E. B. F. Particle motion measurements near a rocky shore off Cabo Frio Island. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 147, n. 6, p. 4009-4019, 2020.
- KAPLAN, M. B. & MOONEY, T. A. Coral reef soundscapes may not be detectable far from the reef. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016.
- KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H.; DIAS, G. T.; FILIPPO, A. M. & QUARESMA, V. D. S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental shelf research**, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.
- KRAUSE, B. The niche hypothesis: How animals taught us to dance and sing. **Whole Earth Review**, v. 57, n. 57, p. 14-16, 1987.
- KUNC, H. P.; MCLAUGHLIN, K. E.; SCHMIDT, R. Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1836, p. 20160839, 2016.
- YOSHIDA, T., TODA, T., KUWAHARA, V., TAGUCHI, S., & OTHMAN, B. H. R. Rapid response to changing light environments of the calanoid copepod *Calanus sinicus*. **Marine Biology**, v. 145, p. 505-513, 2004.
- LADICH, Friedrich. Acoustic communication in fishes: Temperature plays a role. **Fish and Fisheries**, v. 19, n. 4, p. 598-612, 2018.

- LADICH, F. & BASS, A. H. Underwater sound generation and acoustic reception in fishes with some notes on frogs. In: **Sensory processing in aquatic environments**. Springer, New York, NY, p. 173-193, 2003.
- LI, S., WU, H., XU, Y., PENG, C., FANG, L., LIN, M., XING, L., & ZHANG, P. Mid-to high-frequency noise from high-speed boats and its potential impacts on humpback dolphins. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 2, p. 942-952, 2015.
- LIMA, J. A. M.; DE PAULA, T. P.; SOARES FILHO, W.; SPENGLER, A.; DE ALMEIDA, F. G.; PEREIRA, D. P. C.; GALOTA, C.; JÚNIOR CORREA, C.; BODART, C. P.; STEIN, M. Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Baía de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, 2022.
- LILLIS, A.; BOHNENSTIEHL, D. R.; EGGLESTON, D. B. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. **PeerJ**, v. 3, p. e999, 2015.
- LILLIS, A. & MOONEY, T. A. Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. **Coral Reefs**, v. 37, n. 2, p. 597-607, 2018.
- LOUZA, F. B.; OSOWSKY, J.; XAVIER, F. C.; VALE, E. E.; MAIA, L. P.; VIO, R. P.; SIMÕES M.V.S.; JESUS, S. M. Communications and biological monitoring experiment in an upwelling environment at Cabo Frio Island Bay. In: **OCEANS 2019-Marseille**. IEEE, p. 1-7, 2019.
- MACKENZIE, B. R.; MILLER, T. J.; CYR, S.; LEGGETT, W. C. Evidence for a dome-shaped relationship between turbulence and larval fish ingestion rates. **Limnology and Oceanography**, v. 39, n. 8, p. 1790-1799, 1994.
- MANN, D. A. & GROTHUES, T. M. Short-term upwelling events modulate fish sound production at a mid-Atlantic Ocean observatory. **Marine Ecology Progress Series**, v. 375, p. 65-71, 2009.
- MARTIN, S. B.; MORRIS, C.; BRÖKER, K.; O'NEILL, C. Sound exposure level as a metric for analyzing and managing underwater soundscapes. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 146, n. 1, p. 135-149, 2019.
- MELO JÚNIOR, U. G. D.; XAVIER, F. C., CAMPBELL, D., SILVEIRA, N., VERSIANI, L., CUMPLIDO, R., RODRIGUES T. M.; NETTO, E. B. F. Characterization of the acoustic activity of *Perna perna* (bivalve mollusc) under laboratory conditions. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Acoustical Society of America, 2020.
- MENDES, A. B.; SILVA, E. P.; SOUZA, R. C. C. L. Biodiversity of marine fishes from shellmounds of ilha grande bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Chilena de Antropología**, n. 29, 2014.
- MESSANO, L. V. R; GONÇALVES J. E. A; FERREIRA C. E. L; COUTINHO R. Capítulo 2: Caracterização ecológica dos ambientes de substrato consolidado. Pp. 48 -75, In: BATISTA, D.; GRANTHOM-COSTA L. V.; COUTINHO, R. (ed.), Biodiversidade Marinha dos Costões Rochosos de Arraial do Cabo: Histórico, Ecologia e Conservação, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo (IEAPM), Arraial do Cabo – RJ Brasil, 407 p., 2020.
- MENDES, D. C. A influência da antropofonia no coro bioacústico marinho da Ilha do Cabo Frio. 48 f. dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2021.
- MINELLO, M.; CALADO, L.; XAVIER, F. C. Ecoacoustic indices in marine ecosystems: a review on recent developments, challenges, and future directions. **ICES Journal of Marine Science**, v. 78, n. 9, p. 3066-3074, 2021.
- MOONEY, T. A.; DI IORIO, L.; LAMMERS, M., LIN; T. H.; NEDELEC, S. L.; PARSONS, M.; RADFORD,

C.; URBAN, E.; STANLEY, J. Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. **Royal Society open science**, v. 7, n. 8, p. 201287, 2020.

NEDELEC, S. L.; SIMPSON, S. D.; HOLDERIED, M.; RADFORD, A. N.; LECCELLIER, G.; RADFORD, C.; LECCHINI, D. Soundscapes and living communities in coral reefs: temporal and spatial variation. **Marine Ecology Progress Series**, v. 524, p. 125-135, 2015.

NETTO, L. F.; HADEL, V. F.; TIAGO, C. G. Echinodermata from São Sebastião Channel (São Paulo, Brazil). **Revista de Biología Tropical**, p. 207-218, 2005.

OLIVER, T. H.; HEARD, M. S.; ISAAC, N. J.; ROY, D. B.; PROCTER, D.; EIGENBROD, F.; FRECKLETON, R.; HECTOR, A.; ORME, D. L.; PETCHEY, O. L.; PROENÇA V.; RAFFAELLI, D.; SUTTLE, K. B. MACE, G. M.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; WOODCOCK, B. A.; BULLOCK, J. M. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 11, p. 673-684, 2015.

PAIXÃO, S. V.; CASTRO, B. M.; JUNIOR, S. B. S. Estudo de caso de duas condições hidrográficas em Arraial do Cabo com ventos predominantes de sudoeste e nordeste. **Revista Pesquisa Naval**, Brasília, 25: 2-11, 2013.

PICCIULIN, M.; SEBASTIANUTTO, L.; CODARIN, A.; FARINA, A.; FERRERO. *In situ* behavioural responses to boat noise exposure of *Gobius cruentatus* (Gmelin, 1789; fam. Gobiidae) and *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758; fam. Pomacentridae) living in a Marine Protected Area. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 386, n. 1-2, p. 125-132, 2010.

PARSONS, M. J. G.; LIN, T.; MOONEY, T. A.; ERBE, C.; JUANES, F.; LAMMERS, M.; LI, S.; LINKE, S.; LOOBY, A.; NEDELEC, S. L.; OPZEELAND I. V.; RADFORD C.; RICE, A. N.; SAYIGH L.; STANLEY J.; URBAN E.; DI IORIO L. Sounding the Call for a Global Library of Underwater Biological Sounds. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 08 February 2022.

PAULA A.F. & CREED J.C. Two species of the coral *Tubastrea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: a case of accidental introduction. **Bulletin of Marine Science** 74, 175–183, 2004.

PENG, C.; ZHAO, X.; LIU, S.; SHI, W.; HAN, Y.; GUO, C.; JIANG J.; WAN, H.; SHEN, T.; LIU, G. Effects of anthropogenic sound on digging behavior, metabolism, Ca²⁺/Mg²⁺ ATPase activity, and metabolism-related gene expression of the bivalve *Sinonovacula constricta*. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2016.

PIMM, S. L.; JENKINS, C. N.; ABELL, R.; BROOKS, T. M.; GITTLEMAN, J. L.; JOPPA, L. N.; RAVEN, P. H.; ROBERTS, C. M. & SEXTON, J. O. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, v. 344, n. 6187, p. 1246752, 2014.

PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L J.; DUMYAHN S. L., FARINA, A.; KRAUSE B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H.; and PIERETTI, N. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Referência da linguagem Python, versão 3.9. Disponível em <http://www.python.org>, 2022.

POPPER, A. N.; HAWKINS, A. D.; THOMSEN, F. Taking the animals' perspective regarding anthropogenic underwater sound. **Trends in ecology & evolution**, v. 35, n. 9, p. 787-794, 2020.

POPPER, A. N. Effects of anthropogenic sounds on fishes. **Fisheries**, v. 28, n. 10, p. 24-31, 2003.

PUTLAND, R. L., MERCHANT, N. D., FARCAS, A., & RADFORD, C. A. Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals. **Global change biology**, v. 24, n. 4, p. 1708-1721, 2018.

RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C.; JEFFS, A. G. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v. 401, p. 21-29, 2010.

RADFORD, C.; JEFFS, A.; TINDLE, C.; MONTGOMERY, J.C. Resonating Sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, n. June, p. 37–43, 2008

RAMOS, Y. F.; MINELLO, M.; XAVIER, F. C. O som como ferramenta de estudo ambiental: Análise bibliométrica sobre estudos em paisagem acústica. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**. Campos dos Goytacazes/RJ, fev. 2020.

RODRIGUES, D., FERNANDES, A., FILIPPO, A., KJERFVE, B., PINTO, L., & NEVES, R. Low-frequency circulation on the Ilha Grande channel, Rio de Janeiro, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 50, p. 102129, 2022.

RODRIGUES, R. R. & LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, n. 4, p. 371-394, 2001.

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N.; VAN OPZEELAND, I.; COERS, A.; TEN CATE, C.; POPPER. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 7, p. 419-427, 2010.

SOARES-GOMES, A.; DA GAMA, B. A. P.; BAPTISTA NETO, J. A.; FREIRE, D. G.; CORDEIRO, R. C.; MACHADO, W., BERNADES, M. C.; COUTINHO, R.; THOMPSON, F. L.; PEREIRA, R. C. An environmental overview of Guanabara Bay, Rio de Janeiro. **Regional Studies in Marine Science**, 8, 319–330, 2016.

SOARS, N.; BYRNE, M.; CATO, D. H. Characterization of the sounds produced by temperate and tropical sea urchins during feeding (Diadematidae and Echinometridae). In: **The Effects of Noise on Aquatic Life II**. Springer, New York, NY, p. 1075-1080, 2016.

STAATERMAN, E.; PARIS, C. B.; DEFERRARI, H. A.; MANN, D. A.; RICE, A. N.; D'ALESSANDRO, E. K. Celestial patterns in marine soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 508, p. 17-32, 2014.

TYACK, P. L. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 3, p. 549-558, 2008.

VALENTIN, J.L.; Macedo-Saidah, F. E.; Tenenbaum, D. R.; da Silva, N. M. L. A diversidade específica para a análise das sucessões fitoplancônicas. Aplicação ao ecossistema da ressurgência de Cabo Frio (RJ). **Revista Nerítica**, v. 6, n. 1-2, p. 7-26, 1991.

VALENTIN, J. L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). **Marine Biology**. n. 82 p.259-279, 1984.

VAN OOSTEROM, L., MONTGOMERY, J. C., JEFFS, A. G., & RADFORD, C. A. Evidence for contact calls in fish: conspecific vocalisations and ambient soundscape influence group cohesion in a nocturnal species. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 19098, 2016.

WEISS, S. G.; CHOLEWIAK, D.; FRASIER, K. E.; TRICKEY, J. S.; BAUMANN-PICKERING, S.; HILDEBRAND, J. A. & VAN PARIJS, S. M. Monitoring the acoustic ecology of the shelf break of Georges Bank, Northwestern Atlantic Ocean: New approaches to visualizing complex acoustic data. **Marine Policy**, v. 130, p. 104570, 2021.

WILKENS, S. L.; STANLEY, J. A.; JEFFS, A. G. Induction of settlement in mussel (*Perna canaliculus*) larvae by vessel noise. **Biofouling**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2012.

WILLIAMSON, C. E., FISCHER, J. M., BOLLENS, S. M., OVERHOLT, E. P., & BRECKENRIDGE, J. K. Toward a more comprehensive theory of zooplankton diel vertical migration: Integrating ultraviolet radiation and water transparency into the biotic paradigm. **Limnology and oceanography**, v. 56, n. 5, p. 1603-1623, 2011.

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

WINDER, M.; BOERSMA, Maarten; SPAAK, P. On the cost of vertical migration: are feeding conditions really worse at greater depths?. **Freshwater Biology**, v. 48, n. 3, p. 383-393, 2003.

XAVIER, F. C. Assinatura bioacústica de costões rochosos: caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas. 51 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2021.

ZELICK, R.; MANN, D. A.; POPPER, A. N. Acoustic communication in fishes and frogs. In: **Comparative hearing: fish and amphibians**. Springer, New York, NY, p. 363-411, 1999.

CAPÍTULO 2

ECOLOGIA DA PAISAGEM ACÚSTICA: O EFEITO CASCATA DESENCADEADO PELA RESSURGÊNCIA NA ILHA DO CABO FRIO

RESUMO

A paisagem acústica pode variar espaço-temporalmente e transmitir informações que podem ser usadas para a sobrevivência dos organismos, além de evidenciar diversos efeitos das atividades antropogênicas e fenômenos oceanográficos importantes como a ressurgência. O presente estudo tem o objetivo de avaliar a influência da ressurgência na paisagem acústica submarina da Ilha do Cabo Frio. Para isso, este trabalho utilizou os dados acústicos na faixa de 125 Hz - 20 kHz, no período de 01/02/2018 até 31/01/2019, originados do Projeto de Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos para Comunicação Submarina (BIOCOM), a partir do monitoramento acústico passivo (MAP), além de dados de ventos e temperatura. Os resultados indicaram a relação dos ventos com a temperatura da água e da mesma com níveis de pressão sonora (SPL). Os ventos léis-nordeste (E-NE), predominantes na região, foram um dos fatores determinantes para a ocorrência da ressurgência. Dessa maneira, a ressurgência influencia a paisagem acústica de duas formas. Através da atenuação do SPL em relação à subida das águas frias e do aumento do SPL em dias precedidos de ressurgência em resposta à disponibilidade de nutrientes para a cadeia trófica. Assim, demonstrando a influência da ressurgência nos padrões acústicos locais, principalmente em relação aos sinais de peixes e invertebrados. Dessa forma, podemos concluir que o monitoramento da paisagem acústica da região se faz necessário, uma vez que as consequências diretas do aquecimento global, como alterações na temperatura dos oceanos, podem alterar os padrões acústicos submarinos, assim como afetar a biodiversidade e os estoques pesqueiros.

Palavras chaves: Monitoramento acústico passivo, sons de peixes, sons de invertebrados, fatores abióticos.

1. INTRODUÇÃO

A acústica desempenha um papel central nas interações da humanidade com o oceano e na vida dentro dele (HOWE et al., 2019). Através do monitoramento acústico passivo (MAP), a paisagem acústica submarina pode apresentar uma visão holística de uma determinada comunidade ecológica (HARRIS & RADFORD, 2014). Isso é possível, devido às detecções de espécies produtoras de sons e às caracterizações de ecossistemas e suas condições ambientais através da acústica (PARSONS et al., 2022). Além disso, a paisagem acústica pode evidenciar diversos efeitos que podem afetar a biodiversidade e o padrão sonoro natural (HARRIS & RADFORD, 2014).

Um fenômeno oceanográfico importante que pode afetar a paisagem acústica é a ressurgência. A ressurgência é um fenômeno oceanográfico complexo caracterizado por um movimento ascendente de águas frias e profundas, que são ricas em nutrientes e proporcionam um ambiente ideal para a produtividade biológica das espécies marinhas (CALADO et al. 2018). A medida em que a produtividade primária aumenta, eles atraem uma gama diversificada de organismos marinhos que

compõem a teia alimentar, incluindo zooplâncton, peixes e mamíferos marinhos, para fins alimentares (COELHO-SOUZA et al., 2012).

Na região da Ilha do Cabo Frio e arredores, a ressurgência costeira ocorre o ano todo, no entanto os eventos são mais comuns durante os meses de verão (CALADO et al., 2018). A combinação de fatores como a topografia do fundo e o transporte de Ekman causado pelos ventos E-NE predominantes na área, provoca a subida das águas frias e ricas em nutrientes (CALADO et al., 2018; VALENTIN, 1984).

Essas águas possuem uma temperatura abaixo de 20°C (CALADO et al., 2015). A massa de água fria é chamada de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e ocupa a camada inferior da Corrente do Brasil ao longo do talude continental. A ACAS invade a camada de fundo sobre a plataforma continental fornecendo nutrientes na zona eufótica, promovendo um aumento da produtividade na região (VALENTIN et al., 1991).

O aumento da disponibilidade de alimentos devido à ressurgência pode levar a mudanças na paisagem acústica submarina. Diversas espécies de peixes (CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995; AMORIM et al., 2004) e de invertebrados marinhos (COQUEREAU et al., 2016) alteram suas taxas de emissões sonoras durante a alimentação. Além disso, mudanças de temperaturas associadas a fenômenos oceanográficos, como a ressurgência, podem estar diretamente relacionadas ao comportamento dos peixes (MANN & GROTHUES, 2009) e invertebrados (LILLIS & MOONEY, 2022).

Na região de Arraial do Cabo existem alguns estudos que utilizaram a abordagem acústica. Esses estudos avaliaram os impactos da ressurgência nas atividades biológicas (LOUZA et al., 2019) e na propagação acústica (CALADO et al., 2018), o padrão da assinatura bioacústica (XAVIER, 2021), o movimento de partículas em ecossistemas de costão rochoso (JESUS et al., 2020) e a influência da antropofonia na paisagem acústica (CAMPBELL et al., 2019; MENDES, 2021). No entanto, os efeitos diretos da ressurgência, em uma escala temporal anual, nos sinais sonoros produzidos por peixes e invertebrados ainda necessita de mais investigações. Além disso, pouco se sabe sobre como a atividade ecoacústica em habitats marinhos é alterada por mudanças ambientais, como a temperatura (LILLIS & MOONEY, 2022)

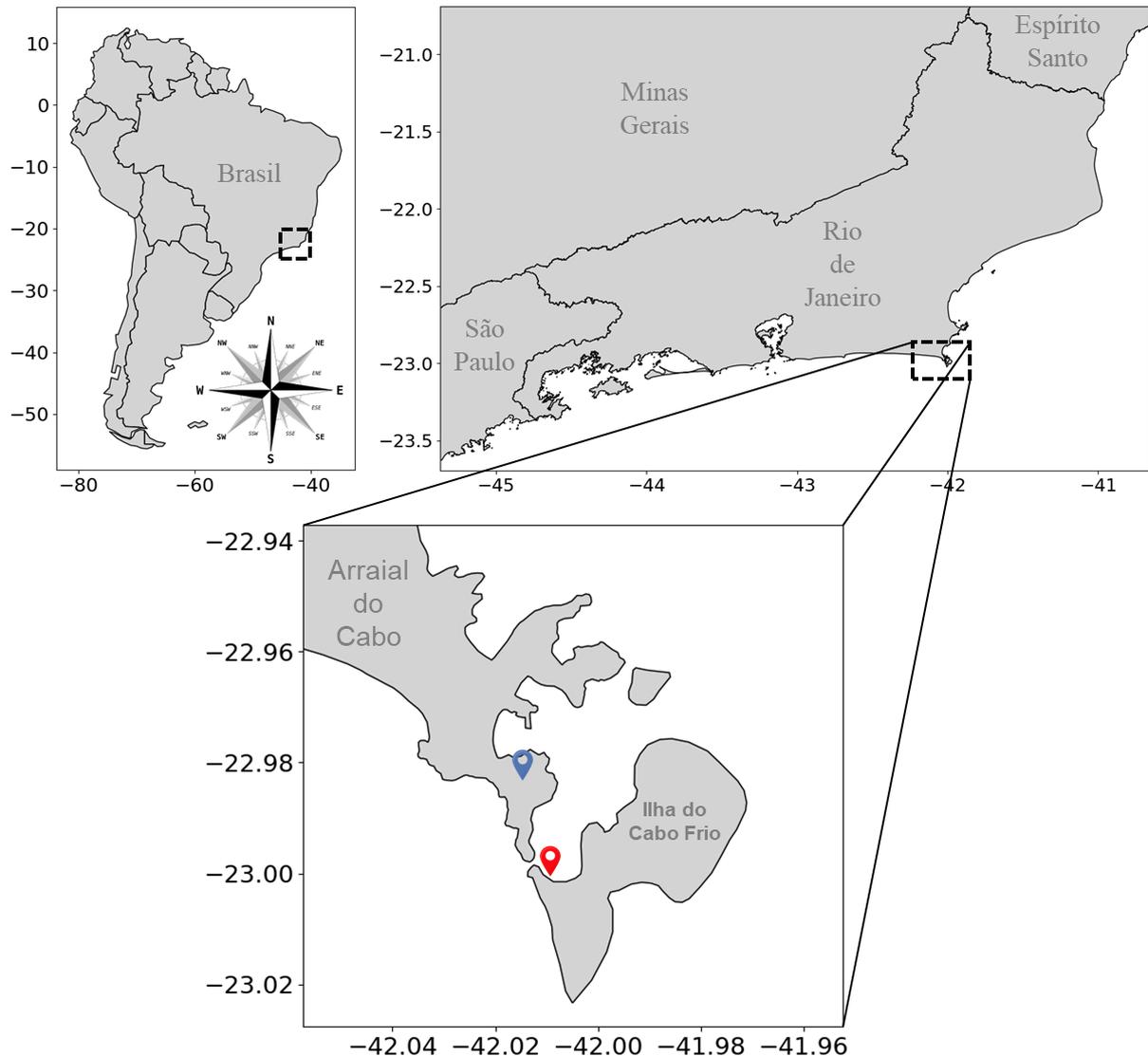
Dessa forma, para uma melhor compreensão desse ambiente acústico marinho o presente estudo tem o objetivo de avaliar a influência da ressurgência na paisagem acústica submarina da Ilha do Cabo Frio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Ilha do Cabo Frio está localizada na cidade de Arraial do Cabo no estado do Rio de Janeiro (Figura 1). O sistema utilizado para a aquisição de dados acústicos encontra-se próximo ao costão rochoso na parte interna e abrigada da ilha. O local é mais protegido dos ventos lés-nordeste (MESSANO et al., 2020) e os costões rochosos apresentam profundidades variando de 2 a 12 m com baixa declividade (PAIXÃO et al., 2013).

Figura 1: O ponto em vermelho mostra a localização do hidrofone. Enquanto o ponto em azul mostra a localização da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



2.2 Aquisição dos dados

Os dados acústicos utilizados foram provenientes de gravadores autônomos, instalados na Ilha do Cabo Frio, pelo Projeto de Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos para Comunicação Submarina (BIOCOM), durante o período entre 01 fevereiro de 2018 até 31 janeiro de 2019. O projeto BIOCOM foi fomentado pelo Programa Ciência Sem Fronteiras do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O projeto foi executado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) em parceria com a Universidade do Algarve de Portugal. Este projeto teve como objetivo principal o estudo de padrões bioacústicos e suas características para aplicação na modulação de sinais para comunicações submarinas (LOUZA et al., 2019).

As medições acústicas foram rotuladas pela data/hora de sua aquisição, sincronizadas pelos seus equipamentos na superfície antes do lançamento. A hora adotada é a hora – 3 UTC. Mais informações sobre os sistemas de gravações estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações sobre o posicionamento do hidrofone e o sistema de gravação na Ilha do Cabo Frio.

Características	
Latitude	23°00'03.59"S
Longitude	42°00'34.14"W
Profundidade	8,75 metros
Distância aproximada do costão	5 metros
Tempo de gravação	1 min. a cada 5 min
Sistema de gravação	digitalHyd TP1-4A Marsensing Lda
Resolução	24 bits
Sensibilidade	-174.9 dB re 1V/1µPa
Faixa de frequência	125 Hz - 20 kHz

Os dados de temperatura da água (°C) por hora para Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo IEAPM, foram obtidos a partir de sensores do tipo *datalogger* (*HOBO Pendant, Onset Computer Corporation*) instalados na estrutura de proteção do sistema autônomo de gravação.

Os dados de velocidade (m/s) e direção do vento (°(gr)) por hora, foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através das estações meteorológicas

automáticas, para todos os pontos de amostragem. A localização da estação meteorológica pode ser observada na Figura 1.

2.3 Análise dos dados

O nível de pressão sonora (*Sound Pressure Level* - SPL, dB re 1 μ Pa) das bandas de 1/3 de oitava foi calculado considerando-se o valor médio quadrático do SPL (RMS, do inglês *Root Mean Square*) para cada minuto. No total, foi calculado o SPL para 23 faixas de um terço de oitava, considerando as frequências centrais entre 125 Hz e 20 kHz (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações sobre os limites inferiores e superiores das frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava utilizadas no estudo.

Frequências Centrais	Um terço de oitava	
	Limites inferiores	Limite superiores
125 Hz	112 Hz	141 Hz
160 Hz	141 Hz	178 Hz
200 Hz	178 Hz	224 Hz
250 Hz	224 Hz	282 Hz
315 Hz	282 Hz	355 Hz
400 Hz	355 Hz	447 Hz
500 Hz	447 Hz	562 Hz
630 Hz	562 Hz	708 Hz
800 Hz	708 Hz	891 Hz
1 kHz	891 Hz	1,1 kHz
1,3 kHz	1,1 kHz	1,4 kHz
1,6 kHz	1,4 kHz	1,8 kHz
2 kHz	1,8 kHz	2,2 kHz
2,5 kHz	2,2 kHz	2,8 kHz
3,2 kHz	2,8 kHz	3,6 kHz
4 kHz	3,6 kHz	4,5 kHz
5 kHz	4,5 kHz	5,6 kHz
6,3 kHz	5,6 kHz	7,1 kHz
8 kHz	7,1 kHz	8,9 kHz
10 kHz	8,9 kHz	11,2 kHz
12,5 kHz	11,2 kHz	14,1 kHz
16 kHz	14,1 kHz	17,8 kHz
20 kHz	17,8 kHz	22,4 kHz

Utilizou-se uma partição de banda de frequência não linear para se obter maior resolução em baixas frequências, que apresentaram maior variabilidade do que as altas frequências.

Para compreender a relação do vento e a temperatura foram gerados gráficos mostrando a variação da temperatura, da direção e da velocidade do vento durante todo o período de estudo (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019) (Figura 2a). Além de gráficos com dois eixos y (temperatura e direção do vento), em função do tempo (Figura 2b), de rosa dos ventos mostrando da distribuição da direção e velocidade do vento (Figura 2c) e a distribuição da frequência (%) dos ventos em cada uma das direções (Figura 2d).

Para demonstrar a relação entre a temperatura e a paisagem acústica, foi calculada a mediana de cada frequência para cada hora dos dados oriundos de todo o período estudado. Após o cálculo foram estabelecidas seleções denominadas S1, S2, S3, S4 e S5 que podem ser visualizadas nas figuras 3 e 5. As seleções foram estabelecidas baseadas nas presenças dos sinais registrados na paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio. As seleções S1 e S3 foram classificadas como coro de peixes (BOLGAN et al., 2022, CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995), a seleção S2 como ruído de embarcações (HILDEBRAND, 2009) e as seleções S4 e S5 foram classificadas como sinais de invertebrados (COQUEREAU et al., 2016).

Também foram estabelecidas três classes de temperatura. $T < 20$, para a temperaturas abaixo de 20°C , T_{20-24} , para temperaturas entre 20 e 24°C e $T > 24$, para temperaturas acima de 24°C para verificar a variação da intensidade desses sinais em resposta a essas diferentes classes. Além disso, foram criadas outras duas classes para verificar a variação da intensidade do som em períodos precedidos e não precedidos de ressurgência, ambos os períodos com temperatura entre 20°C e 24°C .

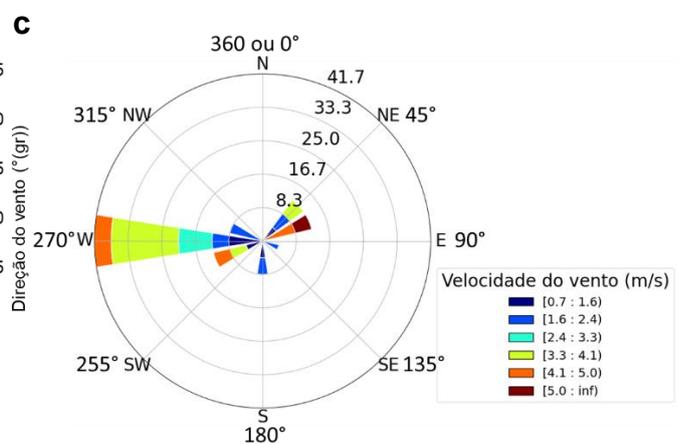
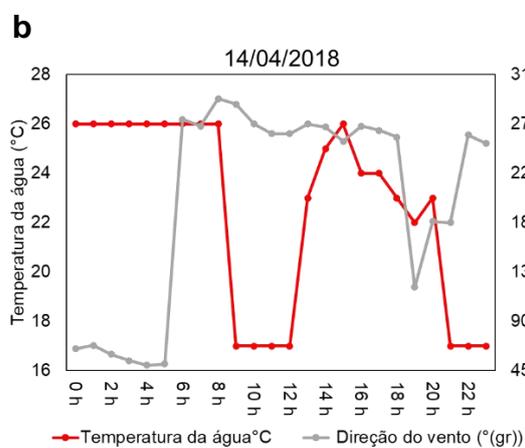
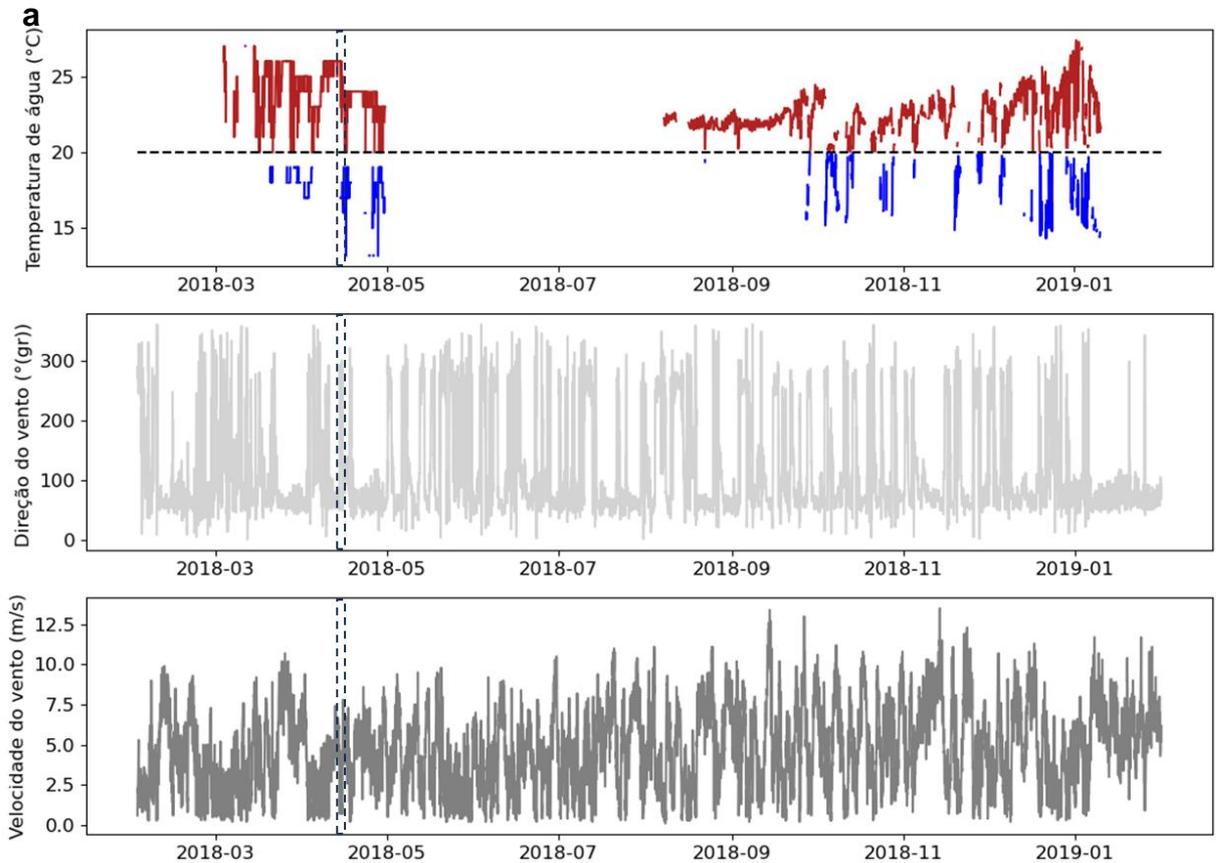
Para avaliar as diferenças entre as seleções das classes de temperatura e entre as seleções dos períodos precedidos e não precedidos de ressurgência foi utilizado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*. Para avaliar a homogeneidade das variâncias foi utilizado o teste de *Levene*. Dessa maneira, para os dados que apresentaram normalidade e variâncias homogêneas foram adotados testes paramétricos (*ANOVA* e *post-hoc de Tukey HSD* ou teste *t* para amostras independentes). Para os dados não normais foram adotados testes não paramétricos (*Kruskal-Wallis* e *post-hoc de Nemenyi* ou *Mann-Whitney*).

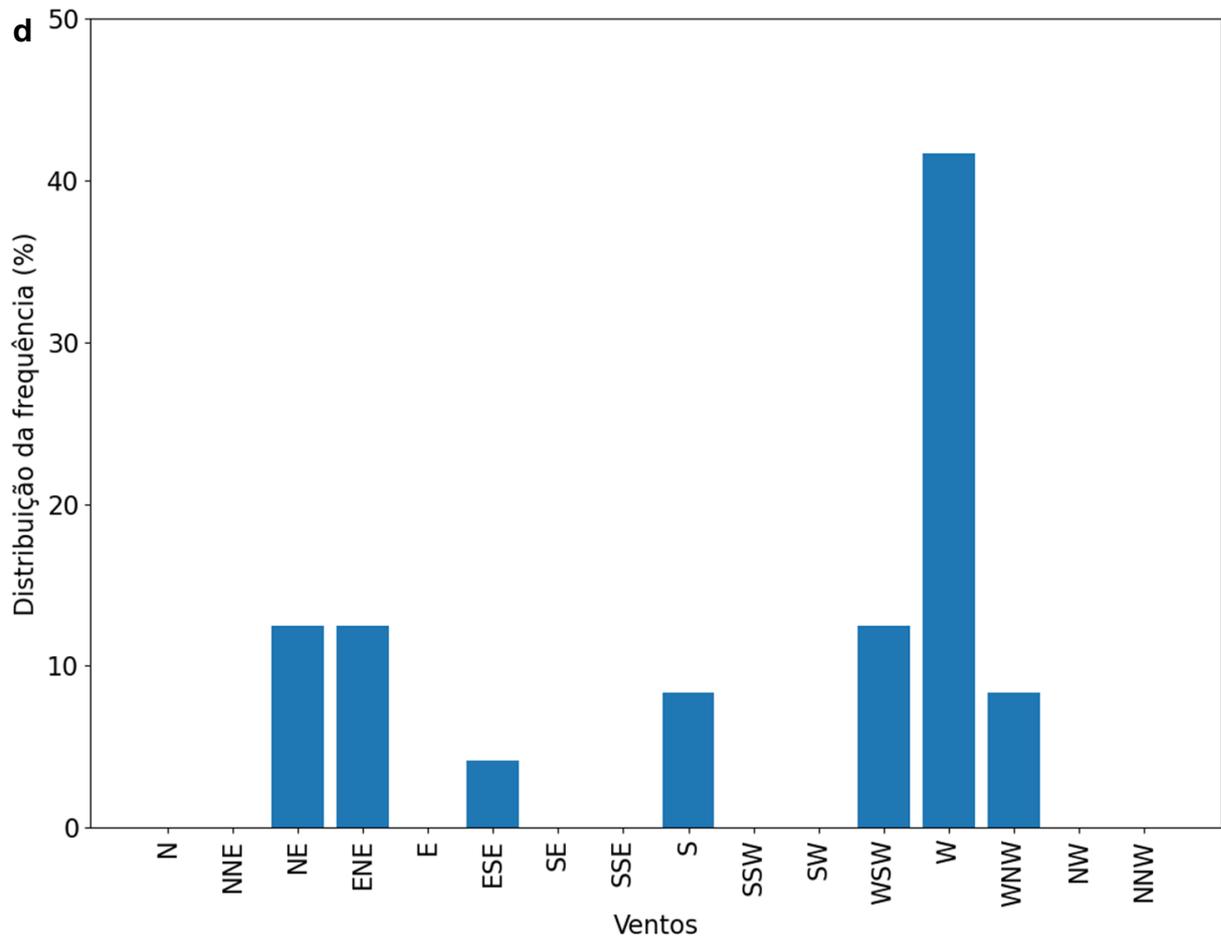
3. RESULTADOS

Durante o período do estudo, a temperatura média da água na Ilha do Cabo Frio foi de $22,3 \pm 2,3^{\circ}\text{C}$, com temperatura mínima de $13,2^{\circ}\text{C}$ e máxima de $27,4^{\circ}\text{C}$. Os percentis de 25°, 50° e 75° apresentaram, respectivamente as temperaturas de $21,7^{\circ}\text{C}$, $22,4^{\circ}\text{C}$ e $24,0^{\circ}\text{C}$. Em relação aos ventos, houve predominância do lés-nordeste (32%) seguida dos ventos leste (15%). Os ventos lés-nordeste e nordeste apresentaram os valores mais acentuados de velocidade média, sendo registrados ventos de até 13,5 m/s (Figura 2a).

Os gráficos entre os ventos da região e a temperatura da água, foram referentes ao dia 14/04/2018 (Figura 2b, c e d). Na figura 2b foi possível observar que após a incidência de ventos entre 45° e 135° , a temperatura da água cai de 26°C para 17°C em uma média de 3 horas. A figura 2c mostrou que o principal vento no primeiro quadrante foi o lés-nordeste, em relação à intensidade, apresentando valores de velocidade do vento de até 5,0 m/s. Entretanto, a distribuição da frequência (%) dos ventos mostrou que houve a predominância dos ventos oeste (W) para o dia 14/04/2018 (Figura 2d).

Figura 2: A figura **a** mostra a variação da temperatura (vermelho = sem ressurgência e azul = ressurgência), da direção e da velocidade do vento durante todo o período de estudo (01 de fevereiro de 2018 – 31 de janeiro de 2019). As seleções verticais representadas pelas linhas pontilhadas, em cada um dos gráficos da figura **a**, fazem referência ao dia 14/04/2018. As figuras **b**, **c** e **d**, são análises do dia 14/04/2018. A figura **b** mostra a relação entre a direção do vento e a temperatura da água através de um gráfico com dois eixos y. O primeiro eixo y mostra a variação da temperatura em 24 horas (linha vermelha) e o segundo eixo mostra a variação da direção do vento em 24 horas (linha cinza). A figura **c** mostra a distribuição da direção e da velocidade do vento a partir de um gráfico de rosa dos ventos. A figura **d** mostra a distribuição da frequência (%) dos ventos em cada uma das direções.



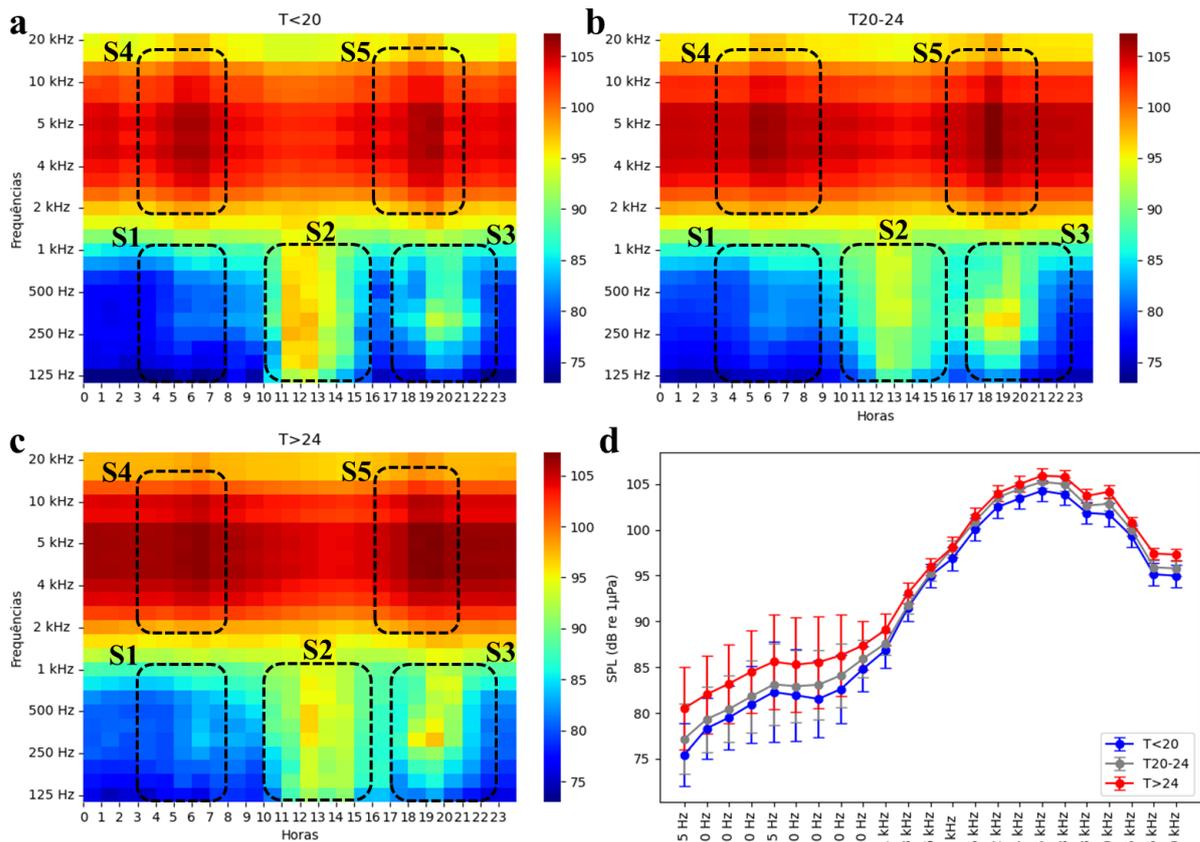


A partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, foi constatado que os dados dos sinais S1 e S3 foram considerados paramétricos para todas as classes de temperatura, além da classe T20-24 do sinal S2. Para as outras classes de temperatura do sinal S2, bem como para todas as classes dos sinais S4 e S5 os dados foram considerados não paramétricos. O teste de *Levene* demonstrou que apenas entre as classes dos sinais S2 os dados não apresentaram variâncias homogêneas. Dessa forma, para os dados que apresentaram normalidade e variâncias homogêneas foram adotados os testes paramétricos *ANOVA* e *post-hoc de Tukey HSD*. Para os dados não normais e não homogêneos foram adotados os testes não paramétricos *Kruskal-Wallis* e *post-hoc de Nemenyi*.

Na comparação entre os sinais referente às classes de temperatura T<20, T20-24 e T>24 os resultados originados do teste *ANOVA* ($p \leq 0,05$) demonstraram que pelo menos uma das comparações eram significativamente diferentes e o teste *post-hoc de Tukey HSD* ($p \leq 0,05$) encontrou diferença estatisticamente significativa entre as classes T<20 e T>24 para os sinais S1. Referente aos sinais S3, as diferenças foram encontradas entre as classes T<20 e T20-24 e entre T<20 e T>24. Os

resultados originados do teste *Kruskal-Wallis* ($p \leq 0,05$) também mostraram que pelo menos uma das comparações eram significativamente diferentes e o teste *post-hoc* de *Nemenyi* ($p \leq 0,05$) encontrou diferenças estatisticamente significativas entre as classes T<20 e T20-24 e entre T20-24 e T>24 para os sinais S2. Em relação aos sinais S4 e S5 foram encontradas diferenças estatísticas entre todas as comparações (Figura 3).

Figura 3: Espectrogramas no domínio do tempo (**a**, **b**, **c**) a partir de dados medianos do SPL de cada hora por cada frequência, no período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019 e o espectro da frequência (**d**) a partir de dados medianos do SPL e seus respectivos desvios absolutos das medianas por frequência. As seleções nomeadas com a letra **S** e seus respectivos números, correspondem aos sinais observados na Ilha do Cabo Frio.



A Tabela 3 a seguir complementa as informações contidas na Figura 3 mostrando, além das faixas de horários e larguras de bandas de cada seleção, informações sobre os horários de picos, as frequências de picos e os picos de SPL. Os horários de picos correspondem aos horários que ocorreram os maiores valores de SPL nas seleções. As frequências de picos são referentes às frequências correspondentes aos maiores valores de SPL nas seleções. Por fim, os picos de SPL são os valores mais acentuados do SPL na seleção.

Os sinais S1, parecem corroborar com os resultados obtidos nas comparações estatísticas. Para esses sinais, as diferenças ocorreram principalmente em relação aos horários ($T < 20 = 6:00$ h, $T_{20-24} = 6:00$ h e $T > 24 = 8:00$ h), a maior diferença entre os picos de SPL ocorreu entre as classes $T < 20$ e $T > 24$ (0,8 dB re $1\mu\text{Pa}$). Os sinais S2 apresentaram diferenças nos horários ($T < 20 = 11:00$ h, $T_{20-24} = 12:00$ h e $T > 24 = 12:00$ h) e principalmente nas frequências de pico ($T < 20 = 250$ Hz, $T_{20-24} = 1$ kHz e $T > 24 = 400$ Hz), a maior diferença entre os picos de SPL ocorreu entre as classes $T < 20$ e T_{20-24} (3,3 dB re $1\mu\text{Pa}$). Os sinais S3 apresentaram diferenças apenas em relação aos picos de SPL, a maior diferença ocorreu entre as classes $T < 20$ e $T > 24$ (4,1 dB re $1\mu\text{Pa}$). Os sinais S4 apresentaram diferenças nos horários de pico ($< 20^\circ\text{C} = 5:00$ h, $T_{20-24} = 5:00$ h e $T > 24 = 6:00$ h), a maior diferença entre os picos de SPL ocorreu entre classes $T < 20$ e $T > 24$ (0,7 dB re $1\mu\text{Pa}$). Os sinais S5 apresentaram diferenças nos horários de pico ($T < 20 = 19:00$ h, $T_{20-24} = 18:00$ h e $T > 24 = 19:00$ h), apresentando diferença de apenas 1 dB re $1\mu\text{Pa}$ da classe de $T < 20$ para as outras duas classes (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização dos sinais baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de diferentes classes de temperatura.

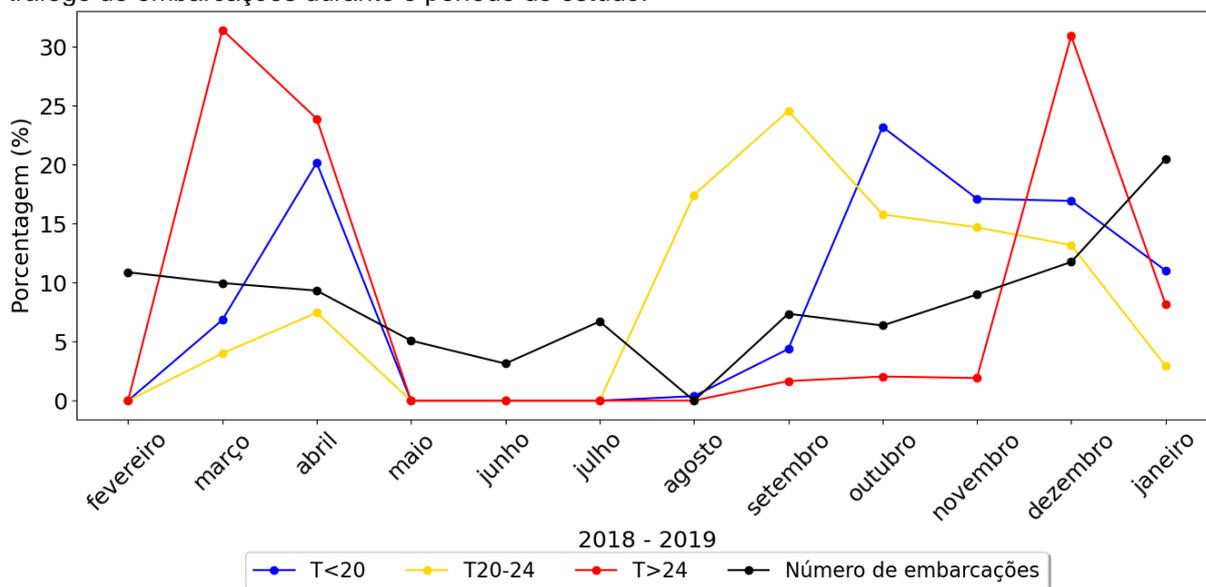
Classes de temperatura	Ruídos	Faixas de horários	Larguras de bandas	Horários de picos	Frequências de picos	Picos de SPL
T < 20	S1	03:00 - 8:00 h	125 Hz - 1 kHz	06:00 h	1 kHz	88,1 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	11:00 h	250 Hz	97,7 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S3	17:00 - 22:00 h	125 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	93,0 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S4	03:00 - 8:00 h	2 - 16 kHz	5:00 h	5 kHz	106,1 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S5	16:00 - 20:00 h	2 - 16 kHz	19:00 h	5 kHz	106,2 dB re $1\mu\text{Pa}$
T₂₀₋₂₄	S1	03:00 - 8:00 h	125 Hz - 1 kHz	06:00 h	1 kHz	87,8 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	12:00 h	1 kHz	94,2 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S3	17:00 - 22:00 h	125 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	96,2 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S4	03:00 - 8:00 h	2 - 16 kHz	5:00 h	5 kHz	106,4 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S5	16:00 - 20:00 h	2 - 16 kHz	18:00 h	5 kHz	107,2 dB re $1\mu\text{Pa}$
T > 24	S1	03:00 - 8:00 h	125 Hz - 1 kHz	8:00 h	1 kHz	88,9 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	12:00 h	400 Hz	96,4 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S3	17:00 - 22:00 h	125 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	97,1 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S4	03:00 - 8:00 h	2 - 16 kHz	6:00 h	5 kHz	106,8 dB re $1\mu\text{Pa}$
	S5	16:00 - 20:00 h	2 - 16 kHz	19:00 h	5 kHz	107,2 dB re $1\mu\text{Pa}$

Para a identificação da origem dos dados acústicos usados para a construção dos espectrogramas no domínio do tempo e da frequência, na Figura 3 a, b, c e d foi calculada a porcentagem dos dados obtidos ao longo dos meses do período estudado. Também foi calculada a porcentagem do número de embarcações para avaliar a influência da antropofonia na paisagem acústica em cada classe de temperatura.

Entre os meses estudados, janeiro de 2019 foi o mês com a maior porcentagem em relação à presença de embarcações (20,5%, $n = 4.943$). Entre as classes de temperatura, a classe $T < 20$ (11,0%, $n = 58$) apresentou o maior percentual em relação aos dados acústicos obtidos para a construção dos espectrogramas (Figura 3 a, b, c e d), seguido da classe $T > 24$ (8,2%, $n = 64$) e da classe $T 20-24$ (2,9%, $n = 80$).

Os maiores percentuais da classe $T < 20$, para os dados acústicos obtidos, foram encontrados respectivamente nos meses de outubro (23,2%, $n = 122$) e de abril (20,2%, $n = 106$), totalizando 43,3 % dos dados. Para a classe $T 20-24$ os maiores percentuais foram encontrados nos meses de setembro (24,6%, $n = 669$) e de agosto (17,4%, $n = 475$), totalizando 42,0% dos dados. Por fim, os maiores percentuais para a classe $T > 24$ foram encontrados nos meses de março (31,4%, $n = 187$) e de dezembro (30,9%, $n = 242$), totalizando 62,3% dos dados.

Figura 4: Identificação da origem dos dados acústicos usados para construção dos espectrogramas no domínio do tempo e da frequência (Figura 3 a, b, c e d) e a influência da antropofonia originada do tráfego de embarcações durante o período do estudo.



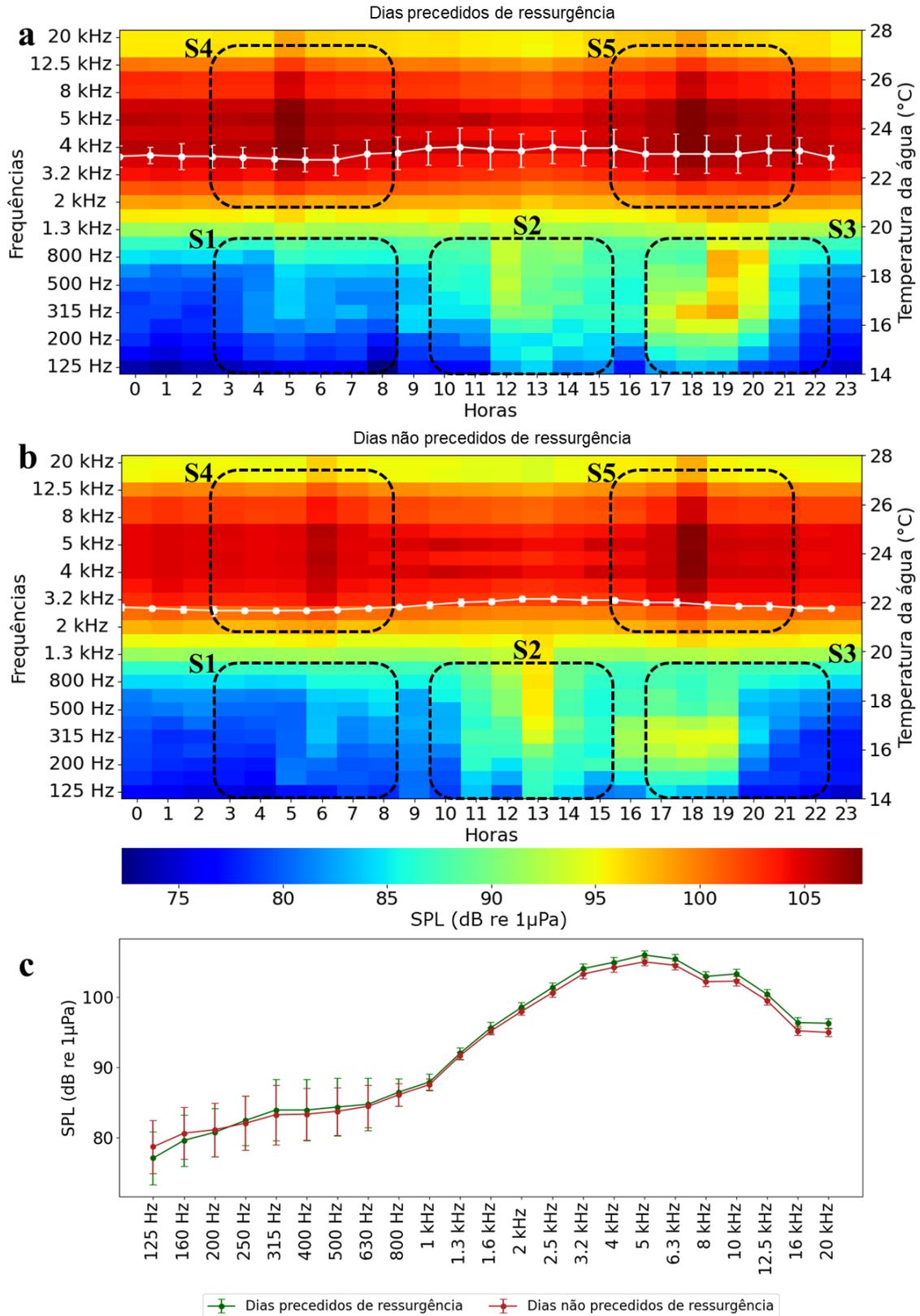
Os dados utilizados para construção dos espectrogramas no domínio do tempo e da frequência para os períodos precedidos de ressurgência foram originados dos dias 29 e 30 de setembro, 01, 02, 15, 16 e 17 de outubro, 30 de novembro e 01 e 03 de dezembro (Figura 5 a e c). Para os períodos não precedidos de ressurgência os dados foram originados dos dias 01, 02, 03, 04, 05, 06, 12, 13, 14 e 15 de setembro (Figura 5 b e c). Foi utilizado um total de 20 dias, considerando os períodos precedidos

e não precedidos de ressurgência, totalizando 480 minutos em gravações de um minuto a cada hora.

A partir do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, foi verificado que os dados dos sinais S1 e S3 foram considerados paramétricos para os períodos precedidos e não precedidos de ressurgência, além do período precedido de ressurgência do sinal S2. Para o período não precedido de ressurgência do sinal S2, bem como para os períodos precedidos e não precedidos de ressurgência dos sinais S4 e S5, os dados foram considerados não paramétricos. Os testes de *Levene* demonstraram que todos os sinais equivalentes entre os períodos precedidos e não precedidos apresentaram variâncias homogêneas. Dessa forma, para os dados que apresentaram normalidade e variâncias homogêneas foi adotado o teste *t* para amostras independentes. Para os dados não normais foi adotado o teste não paramétrico de *Mann-Whitney*.

Na comparação entre os sinais referentes às classes de períodos precedidos e não precedidos de ressurgência o teste *t* para amostras independentes detectou a diferença estatisticamente significativa apenas entre os sinais S3. O teste de *Mann-Whitney* encontrou diferença estatística apenas entre os sinais S4.

Figura 5: Espectrogramas no domínio do tempo (**a** e **b**) a partir de dados medianos do SPL de cada hora por cada frequência, em dias de temperaturas entre 20 e 24°C precedidos e não precedidos de ressurgência, combinados com gráficos de temperatura (linha branca) através de dados medianos e seus respectivos desvios absolutos da mediana. A figura **c** apresenta o espectro da frequência a partir de dados medianos do SPL e seus respectivos desvios absolutos das medianas por frequência. As seleções nomeadas com a letra **S** e seus respectivos números, correspondem aos sinais observados na Ilha do Cabo Frio.



Assim como na Tabela 3, a Tabela 4 a seguir complementa as informações observadas na Figura 5 mostrando, além das faixas de horários e larguras de bandas de cada seleção, informações sobre os horários de picos, as frequências de picos e os picos de SPL.

Apesar de não apresentarem diferença estatisticamente significativa, os sinais S1, para períodos precedidos e não precedidos de ressurgência, diferiram em relação aos horários de pico (05:00 e 6:00 horas respectivamente), apresentando uma diferença de 1,2 dB re 1 μ Pa em relação ao pico do SPL. Os sinais S2 também diferiram em relação aos horários de pico (12:00 e 13:00 horas), apresentando uma diferença de 2,7 dB re 1 μ Pa em relação ao pico do SPL. Os sinais S3 foram distintos apenas em relação ao pico do SPL, apresentando uma diferença de 3,9 dB re 1 μ Pa. Os sinais S4 diferiram tanto no horário (05:00 e 6:00 horas) quanto na frequência de pico (5 e 6,3 kHz), apresentando uma diferença de 1,7 dB re 1 μ Pa em relação ao pico do SPL. Os sinais S5 diferiram na frequência de pico (5 e 6,3 kHz), apresentando uma diferença insignificante de 0,2 dB re 1 μ Pa em relação ao pico de SPL (Tabela 4).

Tabela 4: Caracterização dos sinais baseados nos padrões diários das paisagens acústicas a partir de dados medianos (percentil 50) de dias temperatura entre 20 e 24°C em períodos precedidos e não precedidos de ressurgência.

Classes	Ruídos	Faixas de horários	Larguras de bandas	Horários de picos	Frequências de picos	Picos de SPL
Dias precedidos de ressurgência	S1	03:00 - 8:00 h	125 Hz - 1 kHz	05:00 h	1 kHz	88,8 dB re 1 μ Pa
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	12:00 h	800 Hz	93,2 dB re 1 μ Pa
	S3	17:00 - 22:00 h	125 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	98,5 dB re 1 μ Pa
	S4	03:00 - 8:00 h	2 - 16 kHz	5:00 h	5 kHz	107,8 dB re 1 μ Pa
	S5	16:00 - 20:00 h	2 - 16 kHz	18:00 h	5 kHz	107,8 dB re 1 μ Pa
Dias não precedidos de ressurgência	S1	03:00 - 8:00 h	125 Hz - 1 kHz	06:00 h	1 kHz	87,6 dB re 1 μ Pa
	S2	10:00 - 15:00 h	125 Hz - 1 kHz	13:00 h	800 Hz	95,9 dB re 1 μ Pa
	S3	17:00 - 22:00 h	125 Hz - 1 kHz	19:00 h	315 Hz	94,6 dB re 1 μ Pa
	S4	03:00 - 8:00 h	2 - 16 kHz	6:00 h	6.3 kHz	106,1 dB re 1 μ Pa
	S5	16:00 - 20:00 h	2 - 16 kHz	18:00 h	6.3 kHz	107,6 dB re 1 μ Pa

4. DISCUSSÃO

A combinação dos dados acústicos originados do BIOCOM, com os dados de temperatura e número de embarcações cedidos pelo IEAPM e os dados de ventos adquiridos pelo INMET, permitiu uma melhor compreensão da evolução da ressurgência com a paisagem acústica submarina da Ilha do Cabo Frio.

4.1 Relação entre a temperatura e o vento.

O 25º percentil da temperatura (21,7°C), os 32% de ocorrência do vento lés-nordeste e a variação de sua intensidade no período do estudo sugerem a relação do vento lés-nordeste e a ressurgência. Corroborando com essa relação, foi observado que após a incidência de ventos entre 45° e 135°, a temperatura da água caiu de 26°C para 17°C em uma média de 3 horas, para a análise do dia 16/04/2018 (Figura 2 a). Além disso, foi mostrado que o principal vento no primeiro quadrante foi o lés-nordeste, em relação à intensidade (velocidade do vento de até 5,0 m/s) (Figura 2 b). Segundo Calado et al. (2015) temperaturas da água abaixo de 20°C, na região da Ilha do Cabo Frio, caracterizam a ressurgência. Valentin (1984) já sugeria que o transporte de Ekman era um dos fatores que favoreciam a ascensão de águas frias, que por sua vez, era causado, principalmente, pelo vento lés-nordeste predominante na área.

4.2 Classificação dos sinais.

As seleções S1 e S3 foram classificadas como sinais de peixes. As características sonoras das espécies, normalmente de peixes ósseos, estão associadas a pulsos de baixas frequências e baixas amplitudes (AMORIM, 2006). Os sons originados das bexigas natatórias produzem sinais de baixa frequência, menores que 1 kHz (LADICH & BASS, 2003). Essas espécies alteram suas taxas de emissões sonoras de acordo com o período do dia, algumas sendo noturnas, outras diurnas e ainda outras apresentando picos de madrugada ou crepúsculos, que podem estar associados a atividades alimentares (BOLGAN et al., 2022, CONNAUGHTON & TAYLOR, 1995). A seleção S2 foi classificada como ruídos de embarcações. O tráfego de embarcações afeta a paisagem acústica, sobretudo, nas frequências menores que 1 kHz (HILDEBRAND, 2009). A Ilha do Cabo Frio se encontra em uma região turística (DE MIRANDA MENDONÇA et al., 2013). Sendo assim, a maior contribuição para a antropofonia na região, provavelmente, foi oriunda de barcos de passeio, que ocorreram em maior quantidade nos períodos de verão e feriados. Essas informações

corroboraram com os resultados obtidos na Figura 4, a qual mostraram os maiores percentuais de número de embarcações nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. A Figura 3a ($T < 20$) registrou os valores medianos mais acentuados em relação aos sinais S2, esse resultado pode estar relacionado ao maior percentual (11%) de dados acústicos obtidos no mês de janeiro de 2019 (Figura 4). As seleções S4 e S5 foram classificadas como sinais de invertebrados. Os ruídos dos invertebrados presentes em costões rochosos são claramente perceptíveis ao longo do dia na faixa acima de 1,5 kHz (JESUS et al., 2020). Podendo apresentar um valor médio de frequências de pico entre 4 e 9 kHz (COQUEREAU et al., 2016). Esses sons são originados de estruturas morfológicas diversificadas presentes em organismos como camarões (AU & BANKS, 1998), ouriços (RADFORD, et al., 2008) e bivalves (MELO JÚNIOR et al., 2020). Os horários estabelecidos nas seleções foram baseados nos sinais mais intensos encontrados nos espectrogramas. Os sinais biológicos (S1, S3, S4 e S5) são mais intensos nos crepúsculos e no período da noite, provavelmente devido à migração vertical diária (MVD) do zooplâncton. A MVD é um fenômeno comportamental mais comum no zooplâncton (SHA et al., 2021). Esse fenômeno é caracterizado pela migração descendente do zooplâncton para águas profundas durante o dia e migração ascendente para águas superficiais à noite (HAYS, 2003).

4.3 Relação entre a temperatura e o SPL.

Na comparação entre os sinais equivalentes foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, em relação às classes de temperatura $T < 20$, T_{20-24} e $T > 24$ (Figura 3). A detecção de som e a comunicação acústica são afetadas pela temperatura em animais de sangue frio conhecidos como ectotérmicos (LADICH, 2018). Em relação aos peixes as características dos sons estão positivamente correlacionadas com a temperatura se os pulsos forem diretamente baseados em contrações musculares sônicas (LADICH, 2018). Além disso, a temperatura também é um fator físico que influencia a ecologia e a fisiologia dos invertebrados bentônicos (COELHO-SOUZA et al., 2012). Os sinais S1 apresentaram diferenças entre as classes $T < 20$ e $T > 24$. No que se refere aos sinais S2 as diferenças ocorreram entre as classes $T < 20$ e T_{20-24} e entre T_{20-24} e $T > 24$. As diferenças relacionadas aos sinais S3 ocorreram entre as classes $T < 20$ e T_{20-24} e entre $T < 20$ e $T > 24$. Em relação aos sinais S4 e S5 foram encontradas diferenças estatísticas entre todas as comparações (Figura 3). Além disso, foram encontradas diferenças relacionadas

principalmente aos horários de pico. Essas distinções foram observadas entre os sinais S1, S2, S4 e S5. As frequências de picos apresentaram diferenças apenas entre os sinais S2. As diferenças encontradas entre os sinais S2 provavelmente estão relacionadas às diferentes características das embarcações e aos diferentes períodos sazonais. A maior diferença em relação ao pico de SPL ocorreu em S3 (Tabela 3). No que diz respeito aos sinais de peixes (S1 e S3) e invertebrados (S4 e S5) as diferenças ocorreram principalmente entre as classes $T < 20$ e $T > 24$. Esses resultados sugerem que as espécies presentes na área de estudos também são sensíveis às variações da temperatura. Mann e Grothues (2009), indicaram que a temperatura oceânica foi um dos fatores mais importantes em relação a variação da produção sonora de peixes. No entanto, Ladich (2018), em seu estudo de revisão sobre os efeitos da temperatura na comunicação acústica de peixes, demonstrou que, dependendo da espécie, os sons foram intensificados, atenuados ou não foram alterados com o aumento desse fator. Ladich (2018), identificou 27 espécies pertencentes a 15 famílias estudadas. Dessa forma, espécies representantes dessas famílias podem estar relacionadas com a produção dos sinais encontrados na paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio. Em relação aos invertebrados, o estudo de Lillis e Mooney (2022), mostrou que as taxas de produção de estalos de camarão e o SPL estavam intimamente correlacionados positivamente com a temperatura da água. Vale lembrar que a atividade acústica dos camarões-estalo é muitas vezes o principal determinante dos níveis de som ambiente nas áreas costeiras (LILLIS et al., 2014; KAPLAN et al., 2015). No costão rochoso próximo a localização do hidrofone (Figura 1), usado neste estudo, foram encontradas espécies dos grupos Cirripedia (cracas), Bivalvia (mexilhões), Echinoidea (ouriços-do-mar) e Decapoda > Alpheidae (camarões-estalo) em um levantamento focado nos grupos de organismos com interesse para os estudos bioacústicos realizado para subsidiar os resultados do projeto BIOCUM (KASSUGA et al., 2017).

Na comparação entre os sinais referente às classes de períodos precedidos e não precedidos de ressurgência foram encontradas diferenças estatisticamente significativas apenas entre os sinais S3 e S4 (Figura 5). No entanto os horários de pico apresentaram diferenças em relação aos sinais S1, S2 e S4. No que se refere às frequências de pico foram encontradas diferenças nos sinais S4 e S5 (Tabela 4). Os sinais biológicos (S1, S3, S4 e S5) referentes à classe dos dias precedidos de ressurgência, de uma forma geral, apresentaram sons mais intensos (Figura 5). Entretanto a maior diferença de intensidade foi registrada entre os sinais S3 (Tabela

4). Uma das principais características da ressurgência é a subida de águas ricas em nutrientes (VALENTIN, 1984) Essa disponibilidade de nutrientes na zona eufótica aumenta a produtividade primária (VALENTIN et al., 1991). Esse aumento da produtividade primária é controlado pela predação zooplânctônica. O crescimento do zooplâncton é regulado por pequenos peixes pelágicos planctívoros, que por sua vez são consumidos por peixes maiores, geralmente predadores carnívoros (COELHO-SOUZA et al., 2012). Sendo assim, o presente estudo sugere que os sons mais intensos nos dias precedidos de ressurgência se dão pelo efeito cascata desencadeado pela própria ressurgência. Vale ressaltar que o conjunto de dados disponível, permitiu uma avaliação da influência da ressurgência na paisagem acústica em uma escala espaço-temporal mais curta. Os estudos Daly & Smith (1993) já demonstravam a existência de um atraso (delay) entre a disponibilidade de nutrientes promovido pela ressurgência e a resposta fisiológica e comportamental do plâncton marinho e sua influência na comunidade de peixes. Além disso, Daly e Smith (1993) indicaram que essa escala espaço-temporal pode variar de segundos a um século, desde as turbulências verticais que promovem a ressurgência até as adaptações evolutivas em diferentes regiões, decorrentes da circulação das correntes na bacia oceânica. Corroborando com Daly e Smith (1993), Fernandes et al. (2017) demonstraram pela primeira vez, na mesma região do presente estudo, que anos de ressurgência altamente intensos e frequentes iniciam um enorme fluxo de energia que não é totalmente transmitido através da teia alimentar clássica, mas por meio de etapas ontogenéticas adicionais.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) as emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, oriundo das atividades humanas provocaram o aquecimento, a acidificação e a perda de oxigênio dos oceanos, além de outras mudanças físicas e químicas que estão afetando os ecossistemas marinhos em todo o mundo (IPCC, 2022). As mudanças climáticas, causadas pelo efeito estufa, são uma ameaça relevante em escala global, levando a impactos nos ecossistemas e na biodiversidade oceânica (AFFATATI et al., 2022), bem como para nossa sociedade (CHENG et al., 2022). As mudanças nas variáveis ambientais, como temperatura, pH e oxigênio dissolvido, provocadas pelas mudanças do clima em ecossistemas marinhos, provavelmente afetarão os padrões da paisagem acústica submarina. No entanto, essas relações e seus impactos são amplamente desconhecidos (LILLIS & MOONEY et al., 2022). Entretanto alguns estudos têm indicado que as mudanças

climáticas podem impactar as propriedades físicas de propagação do som, com implicações para a comunicação de organismos marinhos ameaçados (AFFATATI et al., 2022). Além disso, as alterações na temperatura podem apresentar efeitos deletérios no sucesso reprodutivo, afetando negativamente a biomassa da população, conseqüentemente toda a cadeia alimentar e, posteriormente, a pesca (LADICH, 2018). Os resultados apresentados pelo presente estudo sugerem uma influência significativa da temperatura em relação aos sinais acústicos de peixes e invertebrados. Algumas projeções têm sugerido que o aquecimento histórico dos oceanos é irreversível para este século, indicando que o oceano Pacífico apresentará o maior reservatório de calor devido ao seu tamanho e o oceano Atlântico e as regiões oceânicas austrais continuarão apresentando uma temperatura média mais elevada (CHENG et al., 2022). Dessa forma, quantificar documentar e monitorar a biodiversidade é fundamental (MOONEY et al., 2020) e o monitoramento acústico passivo se apresenta como uma tecnologia de sensoriamento remoto não invasiva capaz de obter informações do ambiente marinho a cada minuto caso necessário.

5. CONCLUSÃO

Levando-se em consideração os resultados obtidos, podemos concluir que o monitoramento acústico passivo (MAP) é uma tecnologia de sensoriamento eficaz para detectar variações do SPL em resposta às mudanças de temperatura da água. Os resultados também reforçaram a influência dos ventos E-NE como um fator importante para a ocorrência da ressurgência na região do Cabo Frio, corroborando com estudos anteriores. Além disso foi possível observar que a ressurgência interfere no padrão da paisagem acústica submarina basicamente de duas formas. A primeira forma, é a atenuação do SPL em relação à subida das águas frias. A segunda forma, é o aumento do SPL em dias após a ocorrência da ressurgência em resposta à disponibilidade de nutrientes para a cadeia trófica. O monitoramento da paisagem acústica submarina é uma excelente ferramenta para acompanhar as alterações no meio ambiente e conseqüentemente entender mudanças nos padrões e nos comportamentos das comunidades biológicas. As conseqüências diretas do aquecimento global, como as mudanças climáticas e o aumento das temperaturas nos oceanos, podem alterar os padrões acústicos submarinos, assim como a biodiversidade e os estoques pesqueiros. O monitoramento acústico pode ser usado

para detectar essas mudanças e fornecer informações valiosas para os gestores ambientais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFATATI, A.; SCAINI, C.; SALON, S. Ocean sound propagation in a changing climate: Global sound speed changes and identification of acoustic hotspots. **Earth's Future**, v. 10, n. 3, p. e2021EF002099, 2022.

AMORIM, M.C.P, STRATOUDAKIS, Y., & HAWKINS, A.D. Sound production during competitive feeding in the grey gurnard. **Journal of Fish Biology**, v. 65, n. 1, p. 182-194, 2004.

AU, W. W., & BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. 1, p. 41-47, 1998.

BOLGAN, M.; DI IORIO, L.; DAILIANIS, T.; CATALAN, I. A.; LEJEUNE, P.; PICCIULIN, M.; PARMENTIER, E. Fish acoustic community structure in Neptune seagrass meadows across the Mediterranean basin. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 32, n. 2, p. 329-347, 2022.

CALADO, L.; RODRIGUEZ, O. C.; CODATO G.; XAVIER, F. C. Upwelling regime off the Cabo Frio region in Brazil and impact on acoustic propagation. **J. Acoust. Soc. Am.** 143 (3), março, 2018.

CALADO, L.; RODRIGUES, V. B.; SANTOS, G. N.; FLORES, L. M.; SILVA, G. C. A.; OLIVEIRA, E. A. S.; SARAIVA, N. FERNANDES, A. M.; COUTINHO, R. Comissão Oceanográfica INCT: Primeira Comissão Oceanográfica INCT 1 – Cruzeiros de Alta Resolução. **A Ressurgência**, v. 9, n. 8, p. 5 - 10, 2015.

CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L. L.; NETTO, E. B. Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio Island, Brazil. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Acoustical Society of America, 2019.

CHENG, L., VON SCHUCKMANN, K., ABRAHAM, J. P., TRENBERTH, K. E., MANN, M. E., ZANNA, L., ENGLAND, M. H., ZIKA J. D., FASULLO, J. T., YU, Y., PAN, Y., ZHU, J., NEWSOM, E. R., BRONSELAER, B. & LIN, X. Past and future ocean warming. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 11, p. 776-794, 2022.

CONNAUGHTON, M. A. & TAYLOR, M. H. Seasonal and daily cycles in sound production associated with spawning in the weakfish, *Cynoscion regalis*. **Environmental Biology of Fishes**, v. 42, n. 3, p. 233-240, 1995.

COELHO-SOUZA, S. A.; LÓPEZ, M. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; COUTINHO, R.; CANDELLA, R. N. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, p. 353-365, 2012.

COQUEREAU, L., GRALL, J., CHAUVAUD, L., GERVAISE, C., CLAVIER, J., JOLIVET, A., & DI IORIO, L. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, v. 163, n. 5, p. 1-13, 2016.

DALY, K. L.; SMITH JR, W. O. Physical-biological interactions influencing marine plankton production. **Annual Review of Ecology and Systematics**, p. 555-585, 1993.

DE MIRANDA MENDONÇA, T. C.; DE MORAES, E. A.; MACIEL, M. A. Turismo e pesca nas Reservas Extrativistas Marinhas de Arraial do Cabo (RJ) e da Prainha do Canto Verde (CE): possibilidades e limites de complementaridade. **Caderno Virtual de Turismo**, v. 13, n. 3, p. 372-390, 2013.

FERNANDES, L. D. A., FAGUNDES NETTO, E. B., COUTINHO, R., & PELD-RECA. Inter-annual cascade effect on marine food web: A benthic pathway lagging nutrient supply to pelagic fish stock. **PLoS One**, v. 12, n. 9, p. e0184512, 2017.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine soundscape ecology. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, p. 5003-5011, 2014.

HOWE, B. M., MIKSIS-OLDS, J., REHM, E., SAGEN, H., WORCESTER, P. F., & HARALABUS, G. Observing the oceans acoustically. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 426, 2019.

HAYS, G. C. A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. In: **Migrations and Dispersal of Marine Organisms**: Proceedings of the 37 th European Marine Biology Symposium held in Reykjavík, Iceland, 5–9 August 2002. Springer Netherlands, p. 163-170 2003.

HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5-20, 2009.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. PÖRTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LÖSCHKE, V. MÖLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844. 2022.

JESUS, S. M.; XAVIER, F. C.; VIO, R. P.; OSOWSKY, J.; SIMÕES, M. V. S.; NETTO, E. B. F. Particle motion measurements near a rocky shore off Cabo Frio Island. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 147, n. 6, p. 4009-4019, 2020.

KASSUGA, A. D.; ALTVATER, L. FERREIRA, C. G.; XAVIER, L. P. D. N. Levantamento de Fauna de Costão Rochoso. Relatório 1 - Hidrofone, Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruído Bioacústico para Comunicação Submarina, CNPq/CsF, 2017.

MANN, D. A. & GROTHUES, T. M. Short-term upwelling events modulate fish sound production at a mid-Atlantic Ocean observatory. **Marine Ecology Progress Series**, v. 375, p. 65-71, 2009.

MELO JÚNIOR, U. G. D.; XAVIER, F. C., CAMPBELL, D., SILVEIRA, N., VERSIANI, L., CUMPLIDO, R., RODRIGUES T. M.; NETTO, E. B. F. Characterization of the acoustic activity of *Perna perna* (bivalve mollusc) under laboratory conditions. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Acoustical Society of America, 2020.

MENDES, D. C. A influência da antropofonia no coro bioacústico marinho da Ilha do Cabo Frio. 48 f. dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2021.

LADICH, F. Acoustic communication in fishes: Temperature plays a role. **Fish and Fisheries**, v. 19, n. 4, p. 598-612, 2018.

LADICH, F. & BASS, A. H. Underwater sound generation and acoustic reception in fishes with some notes on frogs. In: **Sensory processing in aquatic environments**. Springer, New York, NY, p. 173-193, 2003.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Estuarine soundscapes: distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 1-17, 2014.

LILLIS, A. & MOONEY, T. A. Sounds of a changing sea: Temperature drives acoustic output by dominant biological sound-producers in shallow water habitats. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 960881, 2022.

LOUZA, F. B.; OSOWSKY, J.; XAVIER, F. C.; VALE, E. E.; MAIA, L. P.; VIO, R. P.; SIMÕES M.V.S.; JESUS, S. M. Communications and biological monitoring experiment in an upwelling environment at Cabo Frio Island Bay. In: **OCEANS 2019-Marseille**. IEEE, p. 1-7, 2019.

KAPLAN, M. B., MOONEY, T. A., PARTAN, J., & SOLOW, A. R. Coral reef species assemblages are associated with ambient soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 533, p. 93-107, 2015.

PARSONS, M. J. G.; LIN, T.; MOONEY, T. A.; ERBE, C.; JUANES, F.; LAMMERS, M.; LI, S.; LINKE, S.; LOOBY, A.; NEDELEC, S. L.; OPZEELAND I. V.; RADFORD C.; RICE, A. N.; SAYIGH L.; STANLEY J.; URBAN E.; DI IORIO L. Sounding the Call for a Global Library of Underwater Biological Sounds. **Front. Ecol. Evol.**, 08 February 2022.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Referência da linguagem Python, versão 3.9. Disponível em <http://www.python.org>, 2023.

RADFORD, C.; JEFFS, A.; TINDLE, C.; MONTGOMERY, J.C. Resonating Sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, n. June, p. 37–43, 2008

SHA, Y., ZHANG, H., LEE, M., BJÖRNERÅS, C., ŠKERLEP, M., GOLLNISCH, R., HERZOG, D., EKELUND UGGE, G., VINTERSTARE, V., HU, N., PARSSINEN, V., HULTHÉN, K., NILSSON, P. A., RENGEFORS, K., BRONMARK, C. & HANSSON, L. A. Diel vertical migration of copepods and its environmental drivers in subtropical Bahamian blue holes. **Aquatic Ecology**, v. 55, n. 4, p. 1157-1169, 2021.

VALENTIN, J.L.; Macedo-Saidah, F. E.; Tenenbaum, D. R.; da Silva, N. M. L. A diversidade específica para a análise das sucessões fitoplanctônicas. Aplicação ao ecossistema da ressurgência de Cabo Frio (RJ). **Revista Nerítica**, v. 6, n. 1-2, p. 7-26, 1991.

VALENTIN, J. L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). **Mar Biol**. n. 82 p.259-279, 1984.

XAVIER, F. C. Assinatura bioacústica de costões rochosos: caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas. 51 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2021.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos capítulos desenvolvidos na presente tese sugerem que o MAP é uma tecnologia de sensoriamento capaz de detectar as variações espaço-temporais da paisagem acústica submarina, bem como as variações do SPL em resposta às diferentes condições de parâmetros abióticos, antropogênicos e oceanográficos. Além disso, também é capaz de detectar a influência da ressurgência nos sinais bioacústicos. Para ambos os capítulos, a metodologia aplicada pode ser considerada uma sugestão de protocolo de monitoramento da paisagem acústica. No primeiro capítulo foi possível identificar as distinções espaciais entre os pontos de amostragem e as diferenças sazonais de cada um dos pontos estudados, além de mostrar o nível de influência de cada parâmetro na paisagem acústica de cada local. No segundo capítulo foi possível observar as diferenças nos sinais bioacústicos em resposta as variações da temperatura e da disponibilidade de nutrientes devido à ressurgência.

No primeiro capítulo, intitulado de *Variabilidade espaço-temporal da paisagem acústica submarina na costa sudeste do Brasil*, parte dos parâmetros não foram obtidos especificamente para esse estudo. Entretanto foram importantes para entendermos os motivos que promoveram as diferenças entre os pontos. Sendo assim, futuros estudos de monitoramento devem considerar as medições desses parâmetros junto da aquisição dos dados acústicos. Uma vez detectado a influência desses parâmetros na paisagem acústica é interessante utilizar abordagens voltadas para o aprendizado de máquina (*machine learning*) para a identificação dos padrões acústicos frente à variação de cada um dos parâmetros utilizados. Dessa forma, talvez possamos estimar alguns desses fatores baseados nos sons dos ambientes estudados. O número de embarcações por contagem AIS, foi um parâmetro considerado pouco satisfatório para aferir a poluição sonora de um local, devido às discrepâncias de embarcações com e sem AIS. Sugerimos regulamentações para exigir que embarcações, principalmente as mais rápidas e potentes, transportem transmissores AIS, uma vez que os impactos desse tipo de som no ambiente marinho é consenso na literatura científica. Outra sugestão, é criar uma metodologia considerando a contagem de embarcações por imagens de satélites como realizado por Bruno et al. (2011). Nessa ocasião, Bruno et al. (2011) utilizaram imagens de satélites e o MAP para detecções e classificações para pequenas embarcações.

Um ponto que devemos considerar no capítulo 1 é a zona de transição. Vale lembrar que foram notórias as mudanças de padrões acústicos a partir de 1 e 2 kHz (G2) e apesar de serem mencionadas em alguns outros estudos não existe um consenso da comunidade científica sobre o assunto. Sendo assim, novos estudos devem ser desenvolvidos para melhor elucidação dessa questão. Outro ponto que não foi encontrado um consenso na literatura e necessita de mais investigações foram as atenuações do SPL nos sinais das faixas de frequências entre 2,5 e 12,5 kHz encontrados na Ilha do Cabo Frio (S5), Ilha Grande (S6) e São Sebastião (S6). Alguns estudos indicaram que essas atenuações ocorreram devido à influência da antropofonia, entretanto as atenuações podem estar associadas à MVD do zooplâncton que possuem fatores tanto bióticos quanto abióticos que podem promover a atenuação do SPL nos sinais mencionados. Sendo assim, estudos sobre a influência da antropofonia e da MVD do zooplâncton na paisagem acústica devem ser desenvolvidos para responder essas questões.

No segundo capítulo, intitulado de *Ecologia da paisagem acústica: o efeito cascata desencadeado pela ressurgência na Ilha do Cabo Frio*, foi utilizado apenas os dados de temperatura para caracterizar a ressurgência ($< 20^{\circ}\text{C}$) e seus efeitos na paisagem acústica submarina. Entretanto, dados de coleta de plâncton poderiam ser utilizados para complementar os resultados e ainda responder outras questões. Por exemplo, os motivos do estabelecimento dos padrões acústicos diários da paisagem acústica ainda não estão completamente elucidados pela literatura. Por isso, a presente tese levanta a MVD do zooplâncton como uma das possibilidades de influência dos padrões circadianos, tanto no capítulo 1 quanto no capítulo 2. Dessa forma, a presente tese sugere trabalhos direcionados à influência da MVD do zooplâncton na paisagem acústica, tanto para investigar as atenuações do SPL nos pontos anteriormente mencionados, referentes ao capítulo 1 quanto para elucidar a influência desse fenômeno no ritmo circadiano evidenciado pelos dados acústicos no capítulo 2. Além dessas últimas sugestões de estudos, o efeito da ressurgência na paisagem acústica poderia ser aplicado aos outros pontos de amostragem estudados no capítulo 1, principalmente para os pontos da Baía de Guanabara e São Sebastião, que possuem uma grande quantidade de dados de temperatura. Outros trabalhos que podem ser desenvolvidos em todos os locais estudados nesta tese, são as variações da paisagem acústica em relação às diferentes fases da Lua e a influência da altura da maré nos sinais bioacústicos.

Nos dois capítulos apresentados, os resultados demonstraram que a temperatura da água foi um fator importante na variação dos sinais bioacústicos. Esses resultados se demonstraram ainda mais significativos frente ao aumento da média global da temperatura das superfícies dos oceanos e aos recentes e sucessivos recordes de temperaturas registrados. O aquecimento oceânico coloca os ecossistemas marinhos em risco e pode intensificar as mudanças climáticas. As mudanças climáticas e o aquecimento oceânico são ameaças globais e podem impactar diretamente os ecossistemas e a biodiversidade. Dessa forma, o monitoramento acústico se apresenta como uma tecnologia de sensoriamento capaz de obter informações do ambiente marinho em uma larga escala espacial e temporal, evidenciando aspectos importantes da vida marinha. Essas informações podem ser utilizadas para subsidiar ações que visem a manutenção da biodiversidade e dos estoques pesqueiros, trazendo benefícios diretos para o meio ambiente e para nossa sociedade, se conectando com os princípios da biotecnologia ambiental marinha. Dessa forma, venho novamente ressaltar a importância de projetos relacionados ao monitoramento da paisagem acústica submarina que precisam ser, mais do que nunca, continuados e expandidos por toda a costa brasileira, tanto pelo acelerado aquecimento oceânico que coloca em risco sua estabilidade quanto pelos interesses nacionais em relação aos diversos recursos que podem ser encontrados na plataforma continental conhecida como Amazonia Azul.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFATATI, A.; SCAINI, C.; SALON, S. Ocean sound propagation in a changing climate: Global sound speed changes and identification of acoustic hotspots. **Earth's Future**, v. 10, n. 3, p. e2021EF002099, 2022.

BURDIC, W. S. **Underwater Acoustic System Analysis**. 2nd. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, 1991.

BRUNO, M., SUTIN, A., CHUNG, K. W., SEDUNOV, A., SEDUNOV, N., SALLOUM, H., GRABER, H. & MALLAS, P. Satellite imaging and passive acoustics in layered approach for small boat detection and classification. **Marine Technology Society Journal**, v. 45, n. 3, p. 77-87, 2011.

CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L. L.; NETTO, E. B. Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio Island, Brazil. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Acoustical Society of America, 2019.

CHENG, L., VON SCHUCKMANN, K., ABRAHAM, J. P., TRENBERTH, K. E., MANN, M. E., ZANNA, L., ENGLAND, M. H., ZIKA J. D., FASULLO, J. T., YU, Y., PAN, Y., ZHU, J., NEWSOM, E. R., BRONSELAER, B. & LIN, X. Past and future ocean warming. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 11, p. 776-794, 2022.

COLLINS, Jane; BROGGIATO, Arianna; VANAGT, Thomas. Blue Biotechnology. In: **Building Industries at Sea-‘Blue Growth’and the New Maritime Economy**. River Publishers, 2022. p. 39-71.

DITLEVSEN, P.; DITLEVSEN, S. Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. **Nature Communications**, v. 14, n. 1, p. 4254, 2023.

FARINA, A. **Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications**. [s.l.] Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2014.

KRAUSE, B. L. Bioacoustics, Habitat Ambience in Ecological Balance," Whole Earth Review. **Wild Sanctuary**, v. 57, p. 14–18, 1987.

MINELLO, M.; CALADO, L.; XAVIER, F. C. Ecoacoustic indices in marine ecosystems: a review on recent developments, challenges, and future directions. **ICES Journal of Marine Science**, v. 78, n. 9, p. 3066-3074, 2021.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine soundscape ecology. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, p. 5003-5011, 2014.

PARSONS, M. J. G.; LIN, T.; MOONEY, T. A.; ERBE, C.; JUANES, F.; LAMMERS, M.; LI, S.; LINKE, S.; LOOBY, A.; NEDELEC, S. L.; OPZEELAND I. V.; RADFORD C.; RICE, A. N.; SAYIGH L.; STANLEY J.; URBAN E.; DI IORIO L. Sounding the Call for a Global Library of Underwater Biological Sounds. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 08 February 2022.

PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L J.; DUMYAHN S. L., FARINA, A.; KRAUSE B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H.; and PIERETTI, N. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

RAMOS, Y. F. Caracterização da zona de transição acústica de costões rochosos e seu potencial como recurso biotecnológico ambiental marinho. 81 f. dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2023.

RAMOS, Y. F.; MINELLO, M.; MELO JUNIOR, U. G.; GAMA, B. A. P.; XAVIER, F. C. Como a acústica pode ser utilizada como um recurso biotecnológico ambiental marinho?. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, V. 4, Nº2, 2023.

SCHAFER, R. M. **Tuning of the World**. New York: Knopf, 1977.

SINGH, R. L. (Ed.). **Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future**. Springer Singapore, 2017.

SOUTHWORTH, M. The sonic environment of cities. **Environment and Behavior**, v. 1, p. 49–70, 1969.

TEIXEIRA, V. L. **Caracterização do estado da arte em biotecnologia marinha no Brasil**. Ministério da Saúde, 2010.

THOMPSON, F.; THOMPSON, C. **Biotecnologia Marinha**. p. 855, Rio Grande: Ed. FURG, 2020.

THAKUR, N.L.; THAKUR, A.N. **Marine biotechnology: an overview**. 2006.

URICK, R. J. **Principles of underwater sound**. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 1983.

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

XAVIER, F. C. Assinatura bioacústica de costões rochosos: caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas. 51 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Marinha) - Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, 2021.

5. APÊNDICES E ANEXOS

Figura 4: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para a Ilha do Cabo Frio, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS.

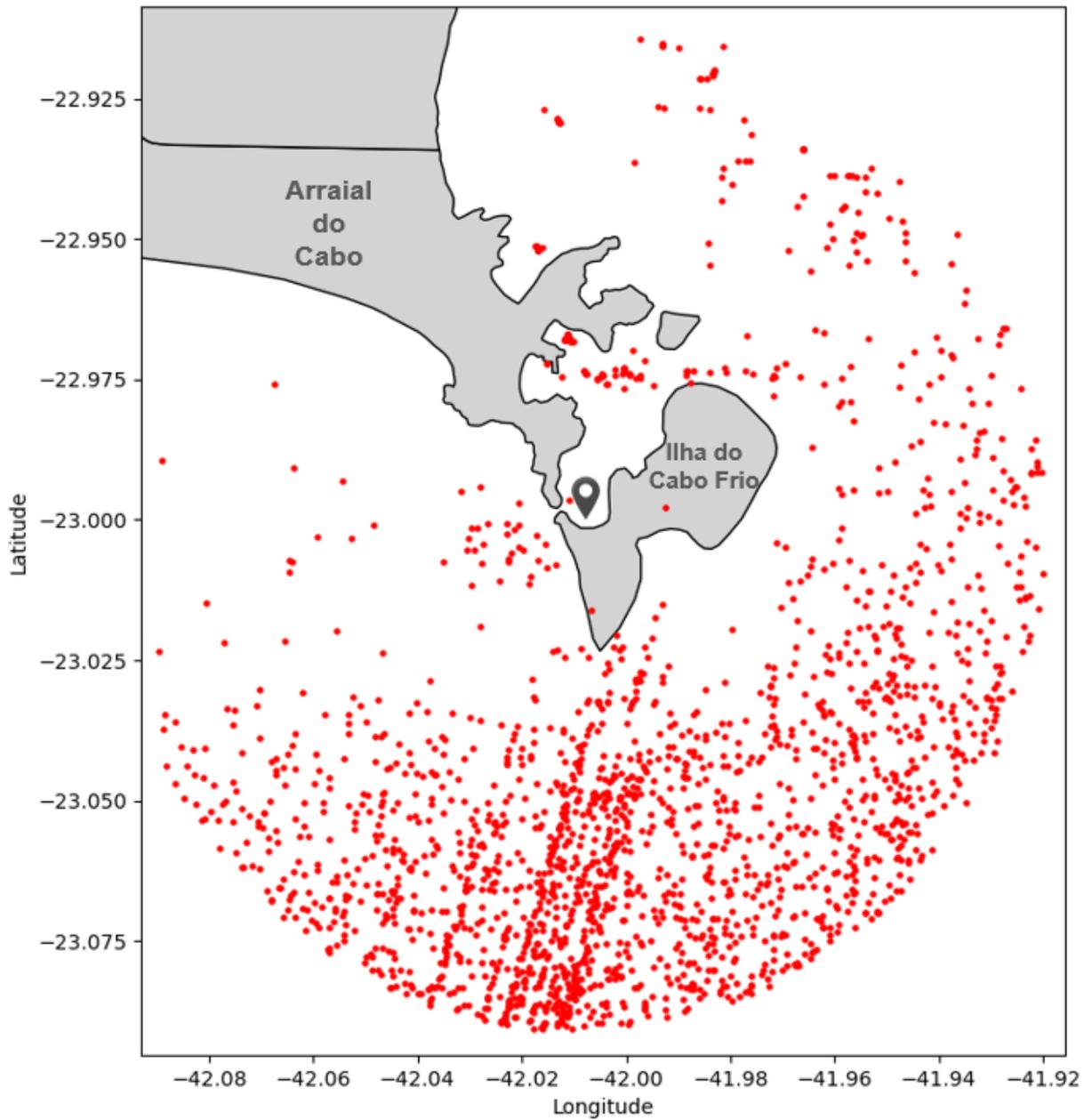


Figura 5: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para a Baía de Guanabara, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS.

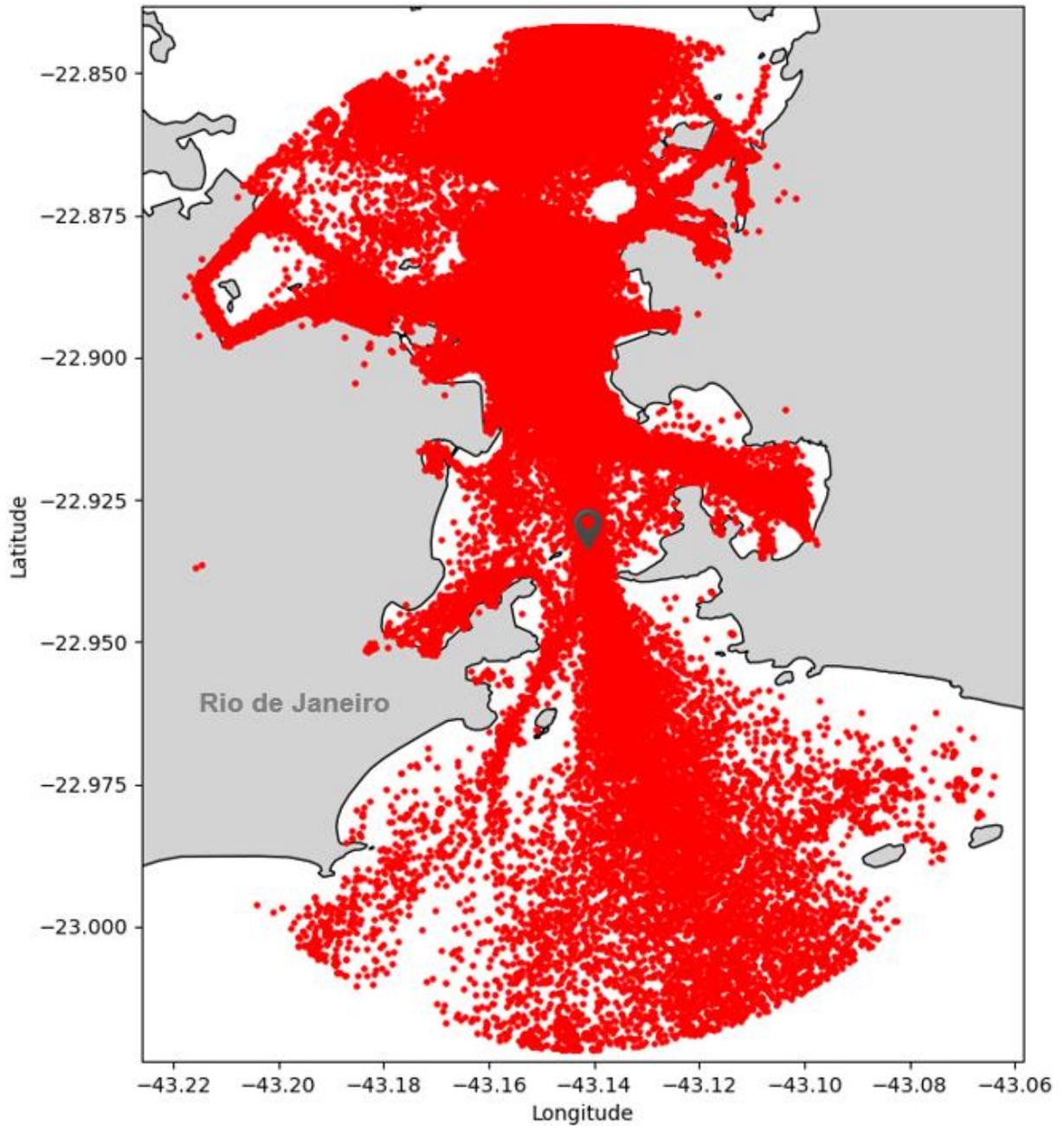


Figura 6: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para Ilha Grande, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS.

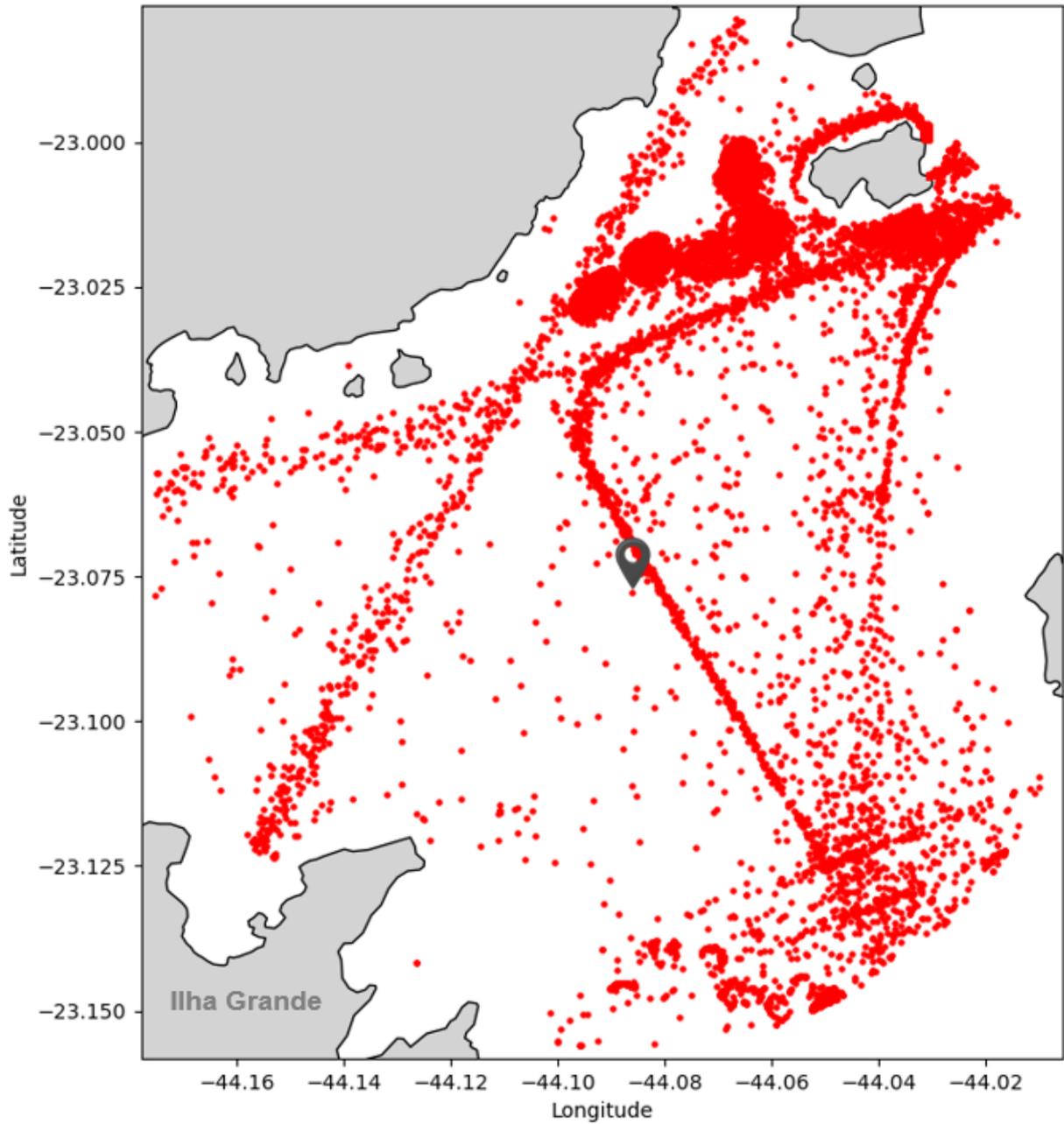


Figura 7: Dados de *Automatic Identification System* (AIS), no período de 01 de fevereiro de 2018 à 31 de janeiro de 2019, do número de embarcações por minuto, considerando a distância no raio de 10 km e a exclusão das embarcações em velocidade zero, para São Sebastião, disponibilizados pelo IPqM / PMPAS-BS.

