



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

DÉBORA CEDRO MENDES

A INFLUÊNCIA DA ANTROPOFONIA NO CORO BIOACÚSTICO MARINHO DA
ILHA DO CABO FRIO

ARRAIAL DO CABO / RJ

2021

DÉBORA CEDRO MENDES

**A INFLUÊNCIA DA ANTROPOFONIA NO CORO BIOACÚSTICO MARINHO DA
ILHA DO CABO FRIO**

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Contrera Xavier

ARRAIAL DO CABO / RJ

2021

DÉBORA CEDRO MENDES

**A INFLUÊNCIA DA ANTROPOFONIA NO CORO BIOACÚSTICO MARINHO DA
ILHA DO CABO FRIO**

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

COMISSÃO JULGADORA:

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

Dr. Bernardo Antonio Perez da Gama
Universidade Federal Fluminense

Dr. David Barreto de Aguiar
Instituto Federal do Rio de Janeiro

Dra. Lilian Sander Hoffmann
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Suplente

Arraial do Cabo, 10 de Novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas (Romanos 11.36).

A minha família, por entender as minhas ausências. Em especial aos meus pais, Alex José Mendes e Rosangela Cedro Mendes que providenciavam tudo para que eu me dedicasse a concluir esse trabalho, especialmente nesses últimos meses que o tempo foi bastante apertado para nós. Sem vocês seria muito mais difícil. Amo vocês.

Ao noivo Gabriel Arantes Pacheco que aguentou firme até eu terminar. Muito obrigada por todo apoio, amor e compreensão, amo você.

Aos meus orientadores, Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto e Fábio Contrera Xavier que abriram as portas e caminharam comigo até aqui. Ao Dr. Eduardo por ser sempre prestativo. Ao Dr. Fábio, por pacientemente ouvir minhas dúvidas e ter sempre uma super explicação e palavras de incentivo. Por toda segurança passada.

Ao Ubirajara Gonçalves de Melo Júnior (O Bira), pela disposição em ajudar e por todas as discussões e contribuições. Por pacientemente ouvir meus desabafos pelo telefone.

Ao Rafael Gomes Menezes por toda ajuda, revisões e contribuições nos últimos meses. Sua ajuda foi fundamental.

À banca, Dr. Dr. Bernardo Antonio Perez da Gama, Dr. David Barreto de Aguiar e Dra. Lilian Sander Hoffmann pelo aceite do convite e pelas importantes considerações na conclusão deste trabalho.

Às amigas queridas, em especial Aline Simões, Ane Mary dos Santos Siqueira, Samuele Williams, Bruna Sampaio, Verônica Oliveira e Antônia Mendonça que estiveram ao meu lado e me apoiaram de diversas formas. Pelos convites a “respirar” e por não me deixarem só, muito obrigada.

Às minhas diretoras Rachel Feijolli e Cláudia Sant'Anna dos Santos, que foram compreensivas nas trocas de dias de trabalho e ajustes de horário, em especial à Claudia por todo carinho e incentivo.

Ao grupo de bioacústica, por poder aprender com vocês em cada reunião e em especial ao Daniel Campbell de Andrade, que iniciou esse trabalho (*in memoriam*).

RESUMO

O coro de peixes é uma importante contribuição para a biofonia do ambiente marinho. A paisagem sonora de alguns habitats é dominada pela biofonia, particularmente intensa em certas horas do dia devido à presença desse coro. No entanto, alterações na paisagem acústica referentes às atividades antropogênicas, como as decorrentes de embarcações, têm sido motivo de grande preocupação. Uma das principais consequências dessa mudança na paisagem acústica é o mascaramento de sinais importantes de comunicação entre os seres vivos, devido à sobreposição de sons. Este trabalho tem como objetivo compreender a influência dos sons antropogênicos produzidos pelo turismo náutico sobre o coro de peixes da região da Ilha do Cabo Frio em Arraial do Cabo, RJ. A caracterização do tráfego náutico foi realizada através de registro de embarcações cedido pelo IEAPM e os dados acústicos do projeto BIOCUM. As bandas centrais de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz foram utilizadas para caracterizar a paisagem acústica da região, conforme a Diretiva Quadro de Estratégia Marinha Europeia (MSFD) para monitoramento de ruído marinho. Foram criadas as seguintes categorias de análise de nível de pressão sonora (SPL) para avaliação da antropofonia referente ao tráfego: 1) dias com passeio e sem passeio, 2) meses de alta e baixa temporada, 3) dias de semana, finais de semana e feriados. Os resultados apresentaram uma maior variabilidade nas frequências de 250 Hz e 500 Hz em todas as categorias de análise e menor variabilidade em 2000 Hz. Os horários de maior intensidade de embarcações foram bem definidos nas bandas de 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz, mostrando horários de maiores picos de 9 às 15h. Foi observado maior intensidade de SPL nos finais de semana e feriados. O coro bioacústico foi evidenciado das 0 às 5 h do dia e no entardecer, de 17 a 20h. Os ruídos antropogênicos influenciaram o tempo de início e duração do coro no entardecer, melhor observado na frequência de 250 Hz e 500 Hz. Os SPL de dias intensos de tráfego náutico se aproximaram dos limites recomendados no MSFD. O monitoramento acústico conforme apresentado neste trabalho é um método não invasivo de estudar e contribuir na conservação da biodiversidade marinha costeira. Os resultados do presente estudo podem ser úteis para conscientizar sobre a importância do som no ambiente marinho e contribuir para um plano de gestão que considere o monitoramento acústico passivo como uma importante ferramenta para avaliação dos riscos de poluição sonora.

Palavras-chave: Paisagem Acústica, Monitoramento Acústico Passivo, Coro de Peixes, Antropofonia.

ABSTRACT

Fish choir is an important contribution to the biophony of the marine environment. The soundscape of some habitats is dominated by biophony, which is particularly intense at certain times of the day due to the presence of this chorus. However, changes in the acoustic landscape, referring to anthropogenic activities, such as those arising from vessels, have been a matter of great concern. One of the main consequences of the change in the acoustic landscape is the masking of important communication signals between living beings, due to the overlapping of sounds. This work aims to understand the influence of anthropogenic offspring obtained by nautical tourism on the bioacoustic choir of the Cabo Frio Island region in Arraial do Cabo, RJ. The characterization of nautical traffic was carried out through the registration of vessels provided by the IEAPM and the acoustic data of the BIOCUM project. The central bands of 1/3 octave of 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz and 2000 Hz were used to characterize the acoustic landscape of the region, according to European Marine Strategy Framework (MSFD) for marine noise monitoring. The categories of analysis of Sound Pressure Level (SPL) for the assessment of anthropophony related to traffic were raised as categories: days with and without tours, months of high and low season, weekdays, weekends and holidays. Greater variability was observed in the frequencies of 250 Hz and 500 Hz in all categories of analysis and less variability in 2000 Hz. The times of greatest intensity of vessels were defined in the bands of 63Hz, 125 Hz, 250 Hz and 500Hz, showing times of highest peaks from 9 am to 3 pm. Greater SPL intensity was observed on weekends and holidays. The bioacoustic choir was recorded from zero to five o'clock in the day and in the evening, from 17 to 20 hours. Anthropogenic noise influences the onset time and duration of the choir at dusk, best observed at the frequency of 250 Hz and 500 Hz. The SPL of intense days of nautical traffic approached the limits recommended in MSFD. The acoustic monitoring presented in this work is a non-invasive method to study and contribute to the conservation of coastal marine biodiversity. The results of this study can be useful to raise awareness about the importance of sound in the marine environment and contribute to a management plan that considers passive acoustic monitoring as an important tool for assessing noise risks.

Keywords: Soundscape, Passive Acoustic Monitoring, Fish Chorus, Anthropophony.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – A) Mapa da costa da Região dos Lagos, RJ, com destaque para o zoneamento da Unidade de Conservação (UC) Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo em laranja (ICMBio, 2020b). B) Área de Estudo localizada em Arraial do Cabo – RJ com o ponto de localização do hidrofone. O tracejado mostra as principais rotas dos barcos de passeio saindo do Porto do Forno em direção às principais praias: Praia do Forno, Prainhas do Pontal, Ilha do Cabo Frio e a Gruta Azul (Adaptado de Menezes, 2019).....18
- Figura 2 - Densidade Espectral de Potência (PSD) de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019 baseado nas frequências de 1/3 de oitava de 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz mostrando os horários de maior intensidade de SPL (linha amarela). As setas indicam o evento de menor duração, melhor visualizados em frequências específicas, 125, 250 e 500 Hz. As partes em branco são referentes a dados ausentes.....23
- Figura 3 – Variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava no período de um ano, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, evidenciando maior variabilidade das bandas de baixa frequência (63, 125, 250 e 500 Hz) em relação às de alta frequência (1000 e 2000 Hz) e o aumento de SPL conforme o aumento da frequência..... 24
- Figura 4 – Variação mensal de SPL (dB re 1 μ Pa) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, conforme as diferentes bandas de frequência (Hz) de 1/3 de oitava.....25
- Figura 5 – Número de embarcações por dia, que visitaram a Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, durante os meses de fevereiro de 2018 e janeiro de 2019. As marcações em vermelho mostram os finais de semana (sábados e domingos).....26
- Figura 6 – Média e desvio da distribuição mensal e semanal de embarcações de visitantes na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019.....28
- Figura 7 – Comparação da variação de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, entre os meses de alta temporada (fevereiro de 2018 e janeiro de 2019) e baixa temporada (maio e junho de 2018) em relação às bandas de frequência centrais de 1/3 de oitava.....28
- Figura 8 – Distribuição da variação de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, entre as categorias de final de semana, feriado e dias da semana mostrando a semelhança das categorias final de semana e feriado nas bandas de baixa frequência (63, 125, 250 e 500 Hz).....30
- Figura 9 – Distribuição estatística de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, mostrando a diferença de amplitude entre as categorias com passeio e sem passeio de barco em cada frequência, com destaque para as frequências que apresentaram maior variação (63, 125, 250 e 500 Hz).....32

Figura 10 – Espectrograma do mês de fevereiro da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, evidenciando eventos associados à paisagem acústica local. A marcação em vermelho mostra um evento de maior duração seguido de um com menor duração em laranja. As marcações em roxo mostram detecções de eventos que destoaram dos outros dias do mês.....34

Figura 11 – Comparação do SPL das medidas de tendências centrais das bandas de 1/3 de oitava da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, em um período de 16 dias do mês de fevereiro, evidenciando o comportamento do coro, em dias com passeio e sem passeio de barco, ao amanhecer, ao meio dia e ao entardecer. Os círculos indicam os horários de início do coro bioacústico com passeio e sem passeio de barco nas frequências de 250 e 500 Hz.35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva do SPL (dB) das bandas de frequência de 1/3 de oitava de 63, 125, 250, 500, 1000 e 2000. Dados obtidos de gravações entre fevereiro de 2018 e janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.....	22
Tabela 2 – Resultados do teste de comparações múltiplas (Nemenyi), das bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava, no período de um ano, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, mostrando que houve diferença estatística significativa entre as frequências de 1/3 de oitava. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.....	24
Tabela 3 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi entre as categorias alta e baixa temporada, mostrando que não houve diferença estatística significativa apenas para a frequência de 63 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.....	29
Tabela 4 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi entre as categorias final de semana, feriado e dias da semana mostrando que não houve diferença significativa para a frequência de 63, 1000 e 2000 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.....	31
Tabela 5 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi mostrando que não houve diferença significativa apenas para a frequência de 2000 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 HIPÓTESE	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
4.1 ÁREA DE ESTUDO E MONITORAMENTO DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA.....	17
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM ACÚSTICA LOCAL	20
4.3 AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO NÁUTICO E CORO BIOACÚSTICO.....	21
5 RESULTADOS	22
5.2 TRÁFEGO NÁUTICO	26
5.3 CORO BIOACÚSTICO	33
DISCUSSÃO	36
7 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

No ambiente marinho, diversos autores relatam a produção de som como condição física que faz parte da comunicação entre os seres vivos (AU e BANKS, 1998; RADFORD et al., 2008a; RADFORD et al., 2008b; MCWILLIAM & HAWKINS, 2013; BORIE et al., 2015). O som é um importante meio de informação para muitos organismos marinhos e faz parte da rotina de sinalização de perigo, acasalamento e agregação (NOWACEK et al., 2007; FARINA, 2014). De acordo com Vieira et al. (2021), em ambientes marinhos a principal relevância do som está em sua velocidade, em comparação com o ar (cinco vezes mais rápido) e em sua propagação alcançar grandes distâncias, muitas vezes além dos limites nacionais. (HARRISON et al., 2016; NOAA, 2016; IWC, 2018; CHOU et al., 2021).

A paisagem acústica pode ser dividida em três componentes: Biofonia (sons intencionais ou não intencionais produzidos pelos seres vivos), Geofonia (sons meteorológicos e abióticos) e Antropofonia (sons gerados pelo homem) (KRAUSE, 1987; PIJANOWSKI et al., 2011). A paisagem acústica pode ser utilizada para caracterizar determinada região, pois a interação de suas componentes exhibe padrões sonoros fortemente associados à fauna local e aos padrões periódicos diários e sazonais das fontes sonoras (PIJANOWSKI et al., 2011; FARINA, 2014; GENDRIZ e PADOVESE, 2016; SIDDAGANGAIAH et al., 2021; VIEIRA et al., 2021). Tais padrões, por sua vez, são geralmente expressos em frequências (em Hertz - Hz), nível de pressão sonora, *sound pressure level* em inglês (SPL, em decibéis - dB), e tempo (em segundos - s), e determinam respectivamente a altura do som (número de oscilações por segundo), a intensidade e duração dos eventos associados a cada local.

Em ambientes marinhos de águas rasas, a biofonia é formada pela contribuição de mamíferos, peixes e invertebrados, que produzem sons para comunicação, reconhecimento ambiental e forrageio (BUSCAINO et al., 2016; VIEIRA et al., 2021). Sons abióticos, tais como ventos, correntes e marés, exibem sons de baixas frequências, podendo variar sazonalmente (BUSCAINO et al., 2016; VIEIRA et al., 2016). Mudanças climáticas também podem alterar o padrão acústico de uma região, através de enchentes, tempestades ou ondas de calor, por exemplo. No entanto, são as alterações referentes à inserção da energia acústica no mar, por meio de atividades antropogênicas é que têm sido motivo de maior preocupação

(KUNC., 2016; SMOTT et al., 2018; SIDDAGANGAIAH et al., 2021; CHOU et al., 2021). Segundo Smott et al. (2018), 90% da energia sonora emitida no mar é correspondente a ruídos de embarcações comerciais e recreativas. Estes ruídos, decorrentes da rotação das hélices e cavitação (BUSCAINO et al., 2016), também exibem sons de baixa frequência (abaixo de 1 kHz) e já são consideradas como um problema crônico que está mudando as paisagens acústicas subaquáticas pelo mundo (BRACIALI., 2012; FRISK ,2012; KUNC et al., 2016; MCKENNA et al., 2016; THOMSON e BARCLAY, 2020).

Os efeitos adversos da antropofonia na vida marinha têm sido preocupação da comunidade científica desde a década de 1970 (Richardson et al., 1985). Durante a última década, os problemas do ruído têm sido amplamente pesquisados por uma série de instituições científicas, agências governamentais e órgãos intergovernamentais como a Comissão Baleeira Internacional (IWC), a Organização Marítima Internacional (IMO), a Convenção sobre Diversidade Biológica, (CBD), a Convenção sobre Espécies Migratórias (CMS), a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), a Convenção para a Proteção do Meio Marinho do Atlântico Nordeste (OSPAR) e a Comissão de Proteção do Meio Marinho do Báltico (HELCOM) (HILDEBRAND 2005; NOWACEK et al. 2007; CHOU et al., 2021). Esses estudos documentaram a presença de efeitos fisiológicos e respostas comportamentais dos seres vivos marinhos, trazendo a discussão para a formulação de políticas sobre o potencial dos impactos do ruído subaquático e medidas de mitigação.

Embora alguns autores concordem sobre a diminuição dos níveis de ruído ou sua estabilização (CHAPMAN e PRICE, 2011; MIKSIS-OLDS e NICHOLS, 2016; HARRIS et al., 2019; THOMSON & BARCLAY, 2020), ainda há muitas lacunas sobre a extensão do prejuízo causado aos seres vivos (THOMSON & BARCLAY., 2020). É conhecido que esses impactos variam de nenhuma influência à morte imediata, dependendo da intensidade, frequência e distância da fonte sonora (PENG et al., 2015) e é importante considerar que o potencial impacto nos níveis de som ambiente não afetará todas as áreas de igual modo. Por exemplo, segundo a OSPAR Commission (2009) há um impacto diferencial em regiões específicas onde a atividade *offshore* é alta, e em águas rasas onde há constantes mudanças nas condições de propagação do som. Isso tem levado a uma tendência de aumento de pesquisas sobre os impactos do ruído antropogênico no ambiente marinho.

Uma das principais consequências dessa mudança na paisagem acústica é o mascaramento de sinais importantes de comunicação entre os seres vivos, devido à sobreposição de sons. Muitas espécies de peixes podem detectar sons de 0,1 a 1kHz (BRACIALI et al., 2012), ou até cerca de <2 kHz, se levar em consideração a percepção do movimento das partículas e a pressão do som pelas espécies que possuem bexiga natatória (Dale et al., 2015; FRANCO et al., 2020). Esta faixa de frequência também compreende a maioria dos ruídos antropogênicos (HAWKINS E POPPER, 2018).

Os sons antropogênicos de mesma faixa de frequência dos seres vivos podem mascarar parcialmente ou totalmente os sons bióticos potencialmente importantes para a fauna. O mascaramento é considerado parcial se o receptor conseguir detectar o sinal, mas de forma confusa e é considerado completo quando um sinal importante não é detectado (BUSCAINO et al., 2016). O ruído de mesma frequência da biofonia também pode provocar reações de aumento da intensidade ou alteração das frequências dos produzidos pelos seres vivos (BUSCAINO et al., 2016; GARRETI et al., 2016), causar prejuízos, como mudanças de comportamento, no forrageamento e no cuidado com a prole (POPPER e HASTINGS, 2009; PICCIULIN et al., 2010; BRUINTJES e RADFORD., 2013; SIMPSON et al., 2015). Alguns estudos também observaram alterações fisiológicas, como aumento de variáveis plasmáticas associadas ao estresse (cortisol, glicose, ACTH, triglicerídeos, colesterol, Hsp70, lactato e hematócrito), ao consumo de oxigênio e à ventilação (WYSOCKI et al., 2006; SIMPSON et al., 2015; CELI et al., 2016; DEBUSSCHERE et al., 2016).

Nesse contexto, a avaliação dos ruídos antropogênicos e o entendimento da ecologia local são importantes para avaliação do impacto e das perturbações provocadas pelas atividades humanas nos habitats marinhos (BUSCAINO et al., 2016). Esta sobreposição dos sons (biofonia, geofonia e antropofonia) é, na maioria das vezes, difícil de distinguir. Nesse sentido, a orientação mais recente para o monitoramento do ruído subaquático é a Diretiva Quadro Estratégia Marinha da União Europeia (MSFD) (2008/56 / CE), que sinalizou as principais orientações indicadas no Descritor 11.2 (MSFD, 2010). Este descritor trata sobre o "som de baixa frequência contínuo" e visa monitorar tendências no nível de ruído ambiente dentro das bandas de 1/3 de oitava centradas em 63 e 125 Hz, utilizadas como indicadores de poluição sonora (BUSCAINO et al., 2016). O MSFD sugeriu o uso

dessas frequências (63 e 125 Hz) para quantificar o ruído antropogênico com objetivo de proteger e conservar o ambiente marinho, mantendo a biodiversidade e oceanos e mares limpos, saudáveis e produtivos. Essas duas bandas de 1/3 de oitava são, portanto, consideradas para identificar a contribuição antropogênica do transporte marítimo (MSFD, 2010). Estas bandas também são frequentemente utilizadas em estudos de mascaramento em mamíferos marinhos (RICHARDSON et al., 1995; MADSEN et al., 2006). Segundo Dekeling et al. (2014), um princípio importante do MSFD é abordar o ecossistema, ao invés espécies ou animais individualmente.

O coro de peixes é uma importante contribuição para biofonia do ambiente marinho. Segundo Siddagangaiah et al. (2021), a paisagem sonora de alguns habitats é dominada pela biofonia, particularmente intensa em certas horas do dia devido à presença desse coro (RADFORD et al., 2008a; GENDRIZ E PADOVESE., 2016). De acordo com Greenfield e Shaw (1983), quando três ou mais animais emitem vocalizações que se sobrepõem ou são reproduzidos em sucessão, há a identificação de um coro que pode ser sustentado de minutos à horas (GENDRIZ E PADOVESE, 2016; RICE et al., 2017). Muitos comportamentos de peixes têm fortes ciclos diários (HELFMAN, 1986). Os coros de peixes podem ser classificados em padrões de vocalização acústica diurna, crepuscular ou noturna, concentrando a vocalização durante um determinado momento do dia (RUPPÉ et al., 2015). Muitos coros que foram identificados à noite foram associados a comportamentos reprodutivos ou agonísticos (GENDRIZ e PADOVESE., 2016; RICE et al., 2017; WILSON et al., 2020), com picos associados ao período de desova (LUCZKOVICH et al., 2008a; GENDRIZ e PADOVESE, 2016). Alguns cardumes também produzem sons ao amanhecer (MANN e GROTHUES, 2009) e foram associados ao comportamento alimentar de algumas espécies (BRACIALI et al., 2012).

Esses padrões de vocalizações diurnas e noturnas resultam em diferentes paisagens sonoras em diferentes momentos do dia para o mesmo local (LOCASCIO e MANN, 2011a, MCIVER et al., 2014; SIDDAGANGAIAH et al., 2021). Estudos mostram que coros de peixes apresentam periodicidade com base em vários fatores abióticos, como padrões lunares, hora do amanhecer e pôr do sol, estação do ano e temperatura (MCCAULEY, 2016; MCWILLIAM, 2017; RICE et al., 2017). Porém, segundo Buscaino et al. (2016), esse padrão pode ser alterado quando há mascaramento e os animais compensam o espaço acústico ocupado com ajuste das

vocalizações, aumentando sua intensidade, duração ou mudando a frequência (SIDDAGANGAIAH et al., 2021).

Áreas costeiras são ambientes de grande riqueza e diversidade de espécies, e espécies de peixes e invertebrados podem estar sujeitos a um impacto ainda maior devido às fontes sonoras estarem localizadas em águas rasas (HILDEBRAND, 2009). A região de Arraial do Cabo é uma área costeira que atrai uma grande quantidade de turistas principalmente no período de alta temporada. Segundo o Plano de Manejo da Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo (ICMBio, 2020b), a atividade náutica representa um grande desafio para o manejo sustentável, principalmente nos meses de verão já que coincidem com o período de reprodução de peixes. O monitoramento acústico passivo de longo prazo pode permitir conhecer a dinâmica de determinada região e avaliar as condições do ruído antropogênico, levantando dados relevantes que podem contribuir no planejamento e gestão do ambiente marinho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a influência dos sons antropogênicos produzidos pelo turismo náutico no coro de peixes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a variação do tráfego náutico na região da Ilha do Cabo Frio;
- Caracterizar os horários de início do coro de peixes e sua intensidade no amanhecer e entardecer, nos dias de maior e menor intensidade de tráfego;
- Avaliar o nível de poluição sonora em baixa frequência.

3 HIPÓTESE

- O ruído antropogênico, produzido pelo tráfego náutico, influencia o coro bioacústico dos peixes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO E MONITORAMENTO DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

O estudo foi realizado na Ilha do Cabo Frio, localizada no município de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Arraial do Cabo faz parte da Unidade de Conservação (UC) da categoria Reserva Extrativista Marinha (Resexmar-AC) criada em 1997, a fim de garantir a exploração de recursos de forma sustentável (ICMBio, 2020b). A região também é beneficiada com um importante fenômeno chamado ressurgência, que acontece principalmente durante os meses de primavera e verão na predominância dos ventos Leste e Nordeste. Estes ventos fortes afastam as águas superficiais permitindo o afloramento de águas profundas com temperaturas abaixo de 20°C que são ricas em nutrientes e promovendo o aumento da produtividade primária atraindo grandes cardumes (MIRANDA et al., 1985).

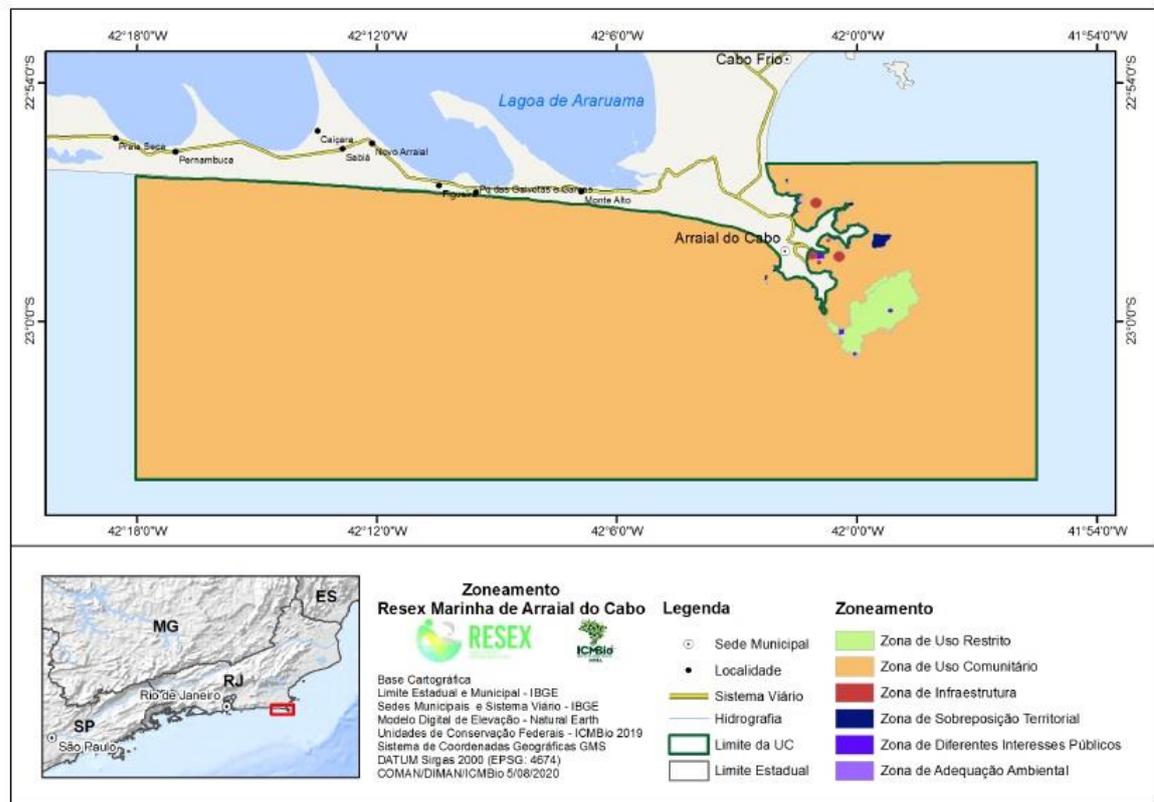
Esta região também é conhecida por receber uma grande quantidade de turistas, principalmente no período de alta temporada onde há intensa movimentação de barcos de passeio. Segundo o plano de manejo do ICMBio (2020b), em 2018 foram registrados 1.156.698 visitantes e em 2019, 966.357. No ano de 2019 foi considerada a 5ª UC federal e a 1ª RESEX mais visitada do Brasil, representando um desafio em relação à gestão, pois coincide com a principal período de pesca e reprodução de peixes (verão) (ICMBio. 2020b). É possível que o ruído antropogênico contribua ainda mais para o agravamento da situação, provocando uma redução na taxa de captura de algumas espécies de peixes marinhos comerciais, em situações de exposição à poluição sonora (PENG et al., 2015). Nesse sentido, o presente estudo pode ser útil na disposição de informações que ajudem no objetivo de conservar e preservar a presente área com apontamentos relevantes para um plano de gestão mais eficiente e que considere os impactos provenientes do aumento do ruído antropogênico.

A Ilha do Cabo Frio também está sob a gestão e responsabilidade administrativa do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e é “patrimônio da União, de interesse da Defesa Nacional sob a jurisdição da Marinha do Brasil” (IEAPM, 2017).

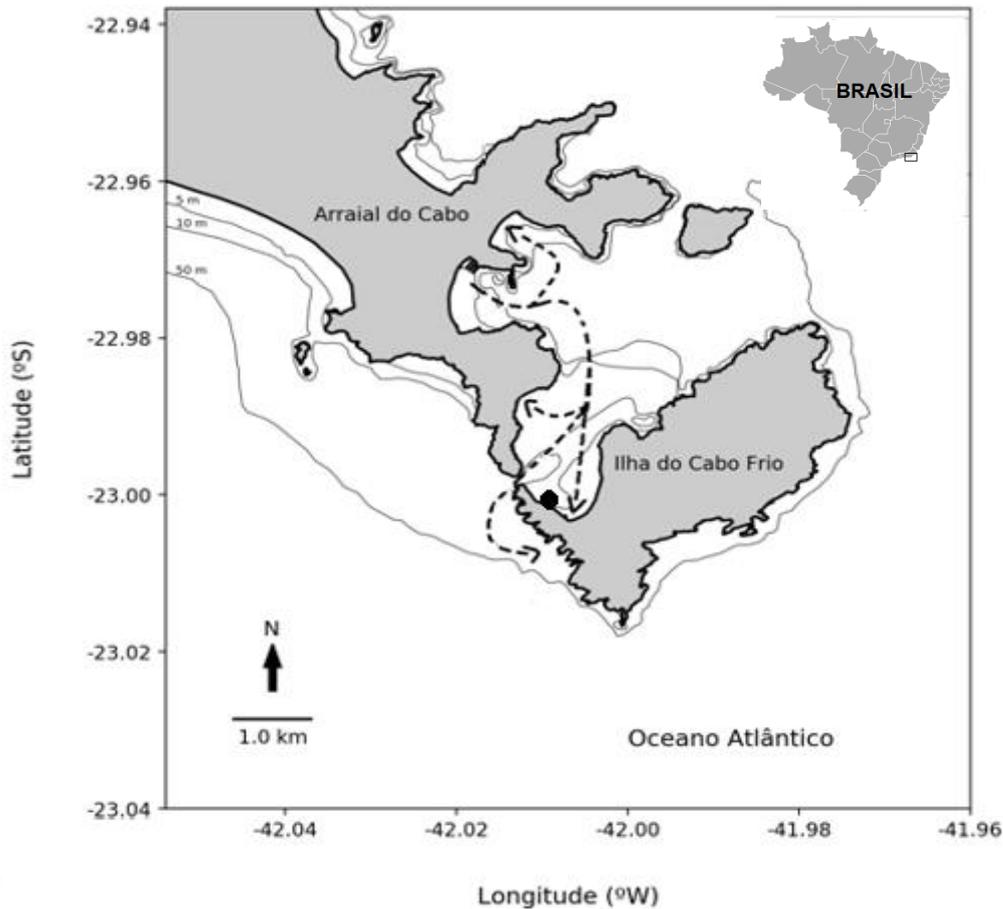
A Figura 1 em A) contextualiza a área da Resex Arraial do Cabo que compreende cerca de 51.000 e em B) as principais rotas das embarcações e a localização do hidrofone na região de Arraial do Cabo.

Figura 1 – A) Mapa da costa da Região dos Lagos, RJ, com destaque para o zoneamento da Unidade de Conservação (UC) Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo em laranja, que compreende uma área total de 51.601,46 hectares (ICMBio, 2020b). B) Área de Estudo localizada em Arraial do Cabo – RJ com o ponto de localização do hidrofone. O tracejado mostra as principais rotas dos barcos de passeio saindo do Porto do Forno em direção às principais praias: Praia do Forno, Prainhas do Pontal, Ilha do Cabo Frio e a Gruta Azul (Adaptado de Menezes, 2019).

A)



B)



Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo monitoramento do projeto “Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruído Bioacústico para Comunicação Submarina” (BIOCOM). Os dados do monitoramento foram coletados a partir de um sistema composto por uma estrutura de proteção com um hidrofone, modelo digital Hyd TP-1 (Marsensing Ltda). A transmissão de energia e dados foi fornecida por meio de um cabo para uma estação de apoio localizada na Ilha do Cabo Frio. O sistema foi posicionado próximo à Ilha do Cabo Frio a 7,55 m de profundidade, a uma distância de 5 m da base do costão rochoso, onde a profundidade local era de 8,75 m. O gravador acústico foi configurado com uma frequência de amostragem de 52.734 Hz, resolução de 24 bits e sensibilidade de -174,9 dB re 1 μ Pa. As gravações acústicas foram realizadas a uma taxa (duty cycle) de 20%, ou seja, 1 minuto de gravação a cada 5 minutos (totalizando 12’/h).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM ACÚSTICA LOCAL

A caracterização da paisagem acústica foi realizada em 6 frequências centrais de 1/3 de oitava. Estas bandas foram escolhidas para análise pois apresentam eventos de sobreposição de fontes biológicas e antropogênicas, como coro de peixes e ruídos de embarcação.

Seguindo a recomendação do Descritor 11.2 do Quadro de Estratégia Marinha Europeia, Diretiva 2008/56 / EC11, para monitoramento de ruído marinho, um local específico foi monitorado por um ano, no período de 08 de fevereiro de 2018 até 31 de janeiro de 2019. O Nível de Pressão Sonora das bandas (SPL dB re 1 μ Pa) de 1/3 de oitava foi calculado para cada minuto nas 6 frequências centrais de 63 (56,2 -70,8), 125 (112 -141), 250 (224-282), 500 (447- 562), 1000 (891-1122) e 2000 (1778 - 2239) Hz e a avaliado de acordo com o MSFD para as bandas de 63 Hz e 125Hz (MSFD, 2010).

Os dados de SPL das frequências de 1/3 de oitava foram submetidos ao teste de normalidade D'Agostino de Pearson ($p < 0,005$). Como não atenderam aos critérios de normalidade, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, para avaliar se havia diferença estatística significativa entre eles, seguido do teste pos-hoc Nemenyi, de comparações múltiplas.

O método de Monte Carlo foi utilizado para considerar os diferentes números amostrais de cada grupo. Os números de gravações, escolhidos randomicamente, foram estabelecidos baseados na menor quantidade amostral entre as categorias comparadas. Os testes de Kruskal-Wallis e Nemenyi foram repetidos 10 mil vezes. O resultado de cada teste foi obtido através da média das repetições.

Para melhor visualização da distribuição dos dados, foi feita uma análise e representação por box plot, para cada frequência mensal de 1/3 de oitava.

4.3 AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO NÁUTICO E CORO BIOACÚSTICO

Uma planilha de contagem do número de embarcações da Ilha do Cabo Frio foi disponibilizada pelo do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). A partir dessa planilha, o número de embarcações por mês e o número de embarcações por dia foram contabilizados para avaliação de períodos de maior e menor intensidade de antropofonia. Para avaliar as contribuições do tráfego náutico na paisagem acústica, os dados referentes ao número de embarcações foram agrupados nas seguintes categorias: 1) dias com e dias sem passeio de barco; 2) meses de alta (fevereiro e janeiro) e baixa (maio e junho) temporada, escolhidos por apresentarem respectivamente maiores e os menores números de embarcações registradas; e 3) dias da semana, fins de semana e feriados. As frequências de 1/3 de oitava foram analisadas para cada categoria.

A análise do coro de peixes foi feita do dia 08 ao dia 28 de fevereiro de 2018 (20 dias), com base em variações de SPL de baixas frequências comparadas em relação ao período do dia (amanhecer e entardecer) e entre os dias com e sem passeio de barco. Foram analisados horários de início, pico e fim do coro bioacústico e sua duração. O tempo de pico se refere ao momento em que um determinado coro atinge seu valor máximo de SPL.

Os dados de SPL referentes aos meses de alta e baixa temporada e períodos com e sem passeio de barco foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro – Wilk. Como não houve normalidade nos dados, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi realizado para verificar se existia diferença estatística significativa entre as categorias, seguido do teste post-hoc de Nemenyi, utilizado para avaliação da diferença entre elas.

5 RESULTADOS

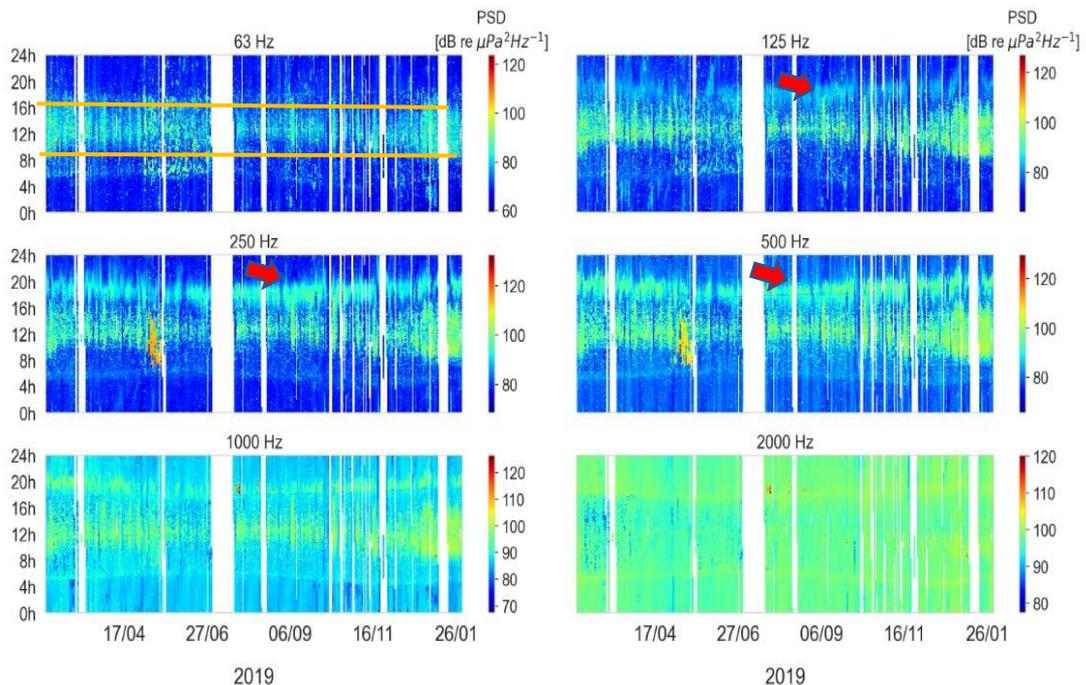
As gravações utilizadas no período de um ano compreenderam um total de 84 mil minutos (aproximadamente 1.403 horas) de dados acústicos gravados. A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados de cada banda de frequência de 1/3 de oitava analisada neste trabalho. É possível perceber que a banda de 250 Hz apresentou maior SPL máximo, maior desvio padrão e maior amplitude (diferença entre máximo e mínimo). A frequência mais alta (2000 Hz) apresentou a menor amplitude e a banda de 63 Hz apresentou o menor valor mínimo de SPL, embora o seu valor máximo tenha superado o da frequência de 2000 Hz.

Tabela 1- Estatística descritiva do SPL (dB) das bandas de frequência de 1/3 de oitava de 63, 125, 250, 500, 1000 e 2000. Dados obtidos de gravações entre fevereiro de 2018 e janeiro de 2019 em Arraial do Cabo, RJ.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Média	73.1	79.8	84.6	85.1	89.0	97.6
Desvio Padrão	7.3	7.4	7.6	7.1	4.1	1.9
Mínimo	59.2	64.0	68.5	65.5	67.4	77.3
25%	68.0	74.4	79.0	79.9	86.6	96.7
50%	70.7	77.7	82.2	82.8	87.8	97.7
75%	77.0	83.1	89.6	89.5	90.0	98.6
Máximo	123.8	127.0	132.4	129.7	126.4	120.2

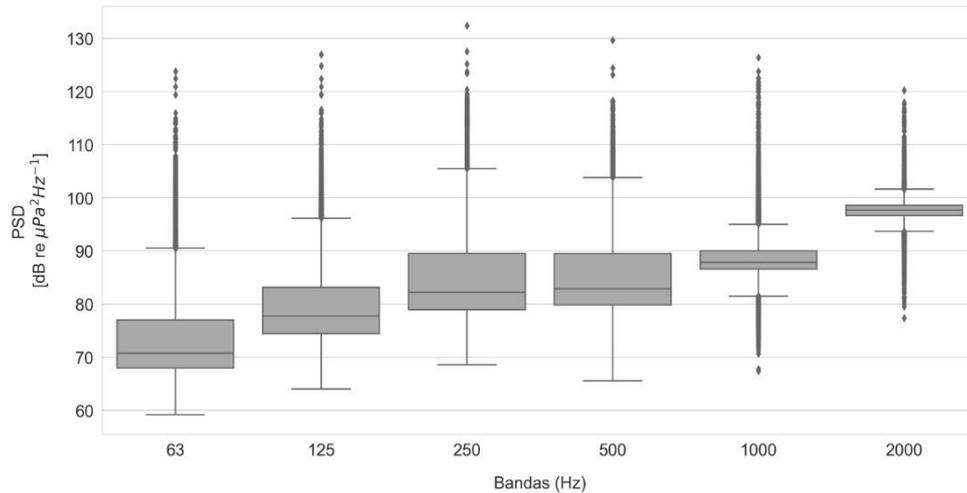
É importante observar, na Figura 2, marcações mais fortes (predominantemente em azul claro) no período de 17/04 a 26/01, com uma mudança de intensidade de energia nos demais meses. Os horários de maior intensidade de energia foram melhor representados pelas bandas de 63, 125, 250 e 500 Hz, com picos entre 9 e 15h. É possível observar também duas faixas bem marcadas nas frequências de 125, 250 e 500 Hz nos horários de aproximadamente 5:00 e 20:00h com características e intensidades distintas. Essas faixas não estão presentes na banda de 63 Hz e ficam menos nítidas conforme o aumento da frequência, como nas frequências de 1000 e 2000 Hz (Figura 2).

Figura 2 - Densidade Espectral de Potência (PSD) de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019, baseado nas frequências de 1/3 de oitava de 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz, mostrando os horários de maior intensidade de SPL (linha amarela). As setas indicam o evento de menor duração, melhor visualizados em frequências específicas, 125, 250, 500 Hz. As partes em branco são referentes a dados faltantes.



A Figura 3 apresenta a distribuição dos dados em cada banda de frequência de 1/3 de oitava referentes à paisagem acústica no período de um ano. Nessa figura é possível observar que o SPL aumenta conforme o aumento da frequência, no entanto, as frequências mais altas (1000 e 2000 Hz) foram as que apresentaram menores variabilidades com maior quantidade de *outliers*. A maioria das bandas apresentaram a linha da mediana (segundo quartil) mais próximas aos valores do primeiro quartil, indicando dados assimétricos positivos, ou simétricos no caso das frequências de 2 kHz (Figura 3).

Figura 3 – Variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava no período de um ano, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, evidenciando maior variabilidade das bandas de baixa frequência (63, 125, 250 e 500 Hz) em relação às de alta frequência (1000 e 2000 Hz) e o aumento de SPL conforme o aumento da frequência.



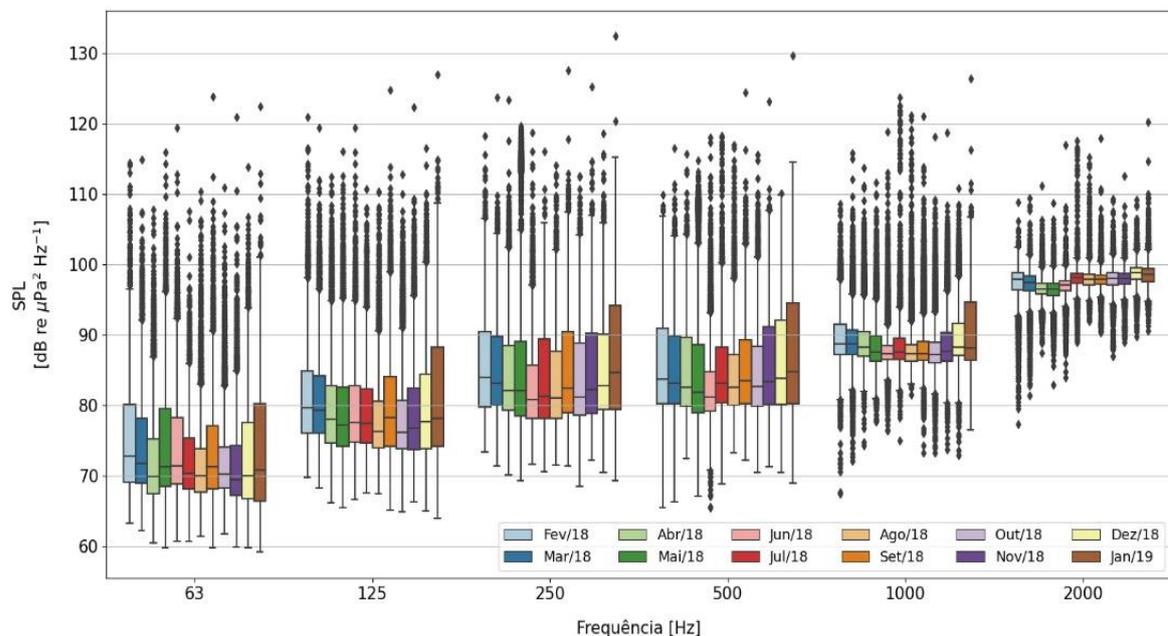
O teste de Kruskal-Wallis evidenciou que houve diferença significativa entre todas as bandas de frequências de 1/3 de oitava, considerando as gravações de todo ano (KW: 300438,46; $p \leq 0,05$). O teste de comparações múltiplas, de Nemenyi, indicou diferenças estatisticamente significativas entre todas as frequências, considerando as gravações de todo ano ($p \leq 0,05$), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do teste de comparações múltiplas (Nemenyi), das bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava, no período de um ano, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, mostrando que houve diferença estatisticamente significativa entre as frequências de 1/3 de oitava. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.

Nemenyi post-hoc test						
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
63 Hz	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
125 Hz	0.001	1	0.001	0.001	0.001	0.001
250 Hz	0.001	0.001	1	0.001	0.001	0.001
500 Hz	0.001	0.001	0.001	1	0.001	0.001
1000 Hz	0.001	0.001	0.001	0.001	1	0.001
2000 Hz	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1

A variação mensal de SPL nas frequências centrais de 1/3 de oitava, mostrou uma maior variabilidade nas frequências de 63, 125, 250 e 500 Hz (Figura 4). Os valores nessas bandas variaram de menos de 70 a mais de 90 dB re 1 μ Pa. As frequências de 1000 e 2000 Hz tiveram menores variações, de aproximadamente 85 a 95 dB re 1 μ Pa, com destaque para a frequência de 2000 Hz que apresentou maior homogeneidade e simetria (Figura 4). Além disso, as frequências de 1000 Hz e 2000 Hz apresentaram outliers acima e abaixo dos limites dos desvios, enquanto nas outras bandas os outliers se localizaram apenas acima. Maiores valores de SPL foram encontrados predominantemente no mês de janeiro em quase todas as frequências analisadas, com exceção da banda de 2000 Hz que não apresentou diferenças evidentes entre os meses (Figura 4). No entanto, alguns meses de baixa temporada apresentaram grande variabilidade como o mês de outubro.

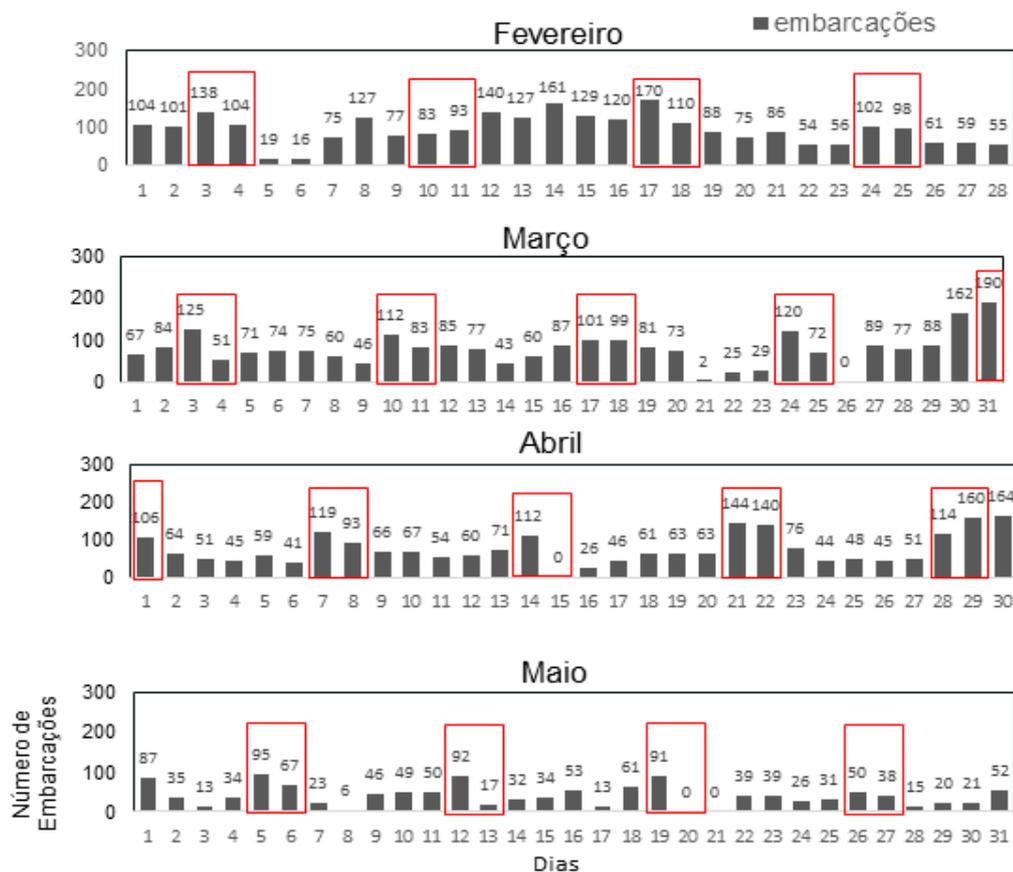
Figura 4 – Variação mensal de SPL (dB re 1 μ Pa) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, conforme as diferentes bandas de frequência (Hz) de 1/3 de oitava.



5.2 TRÁFEGO NÁUTICO

O número diário de embarcações foi registrado durante todo o período de gravação utilizado. A Figura 5 apresenta a intensidade de tráfego em cada dia e os finais de semana estão destacados em vermelho. Nota-se que os meses de maior intensidade de tráfego foram os meses de verão e alta temporada: fevereiro/2018, dezembro/2019 e janeiro/2019 com médias de respectivamente 84, 92 e 159 embarcações (Figuras 5 e 6). O mês de menor quantidade de embarcações registradas foi junho, com uma média de 25 embarcações por dia (Figuras 5 e 6). O segundo mês de menor quantidade de embarcações foi maio, com uma média de 40 embarcações. O mês com maior quantidade de dias sem passeio foi registrado em outubro (7 dias). Apesar disso, a média de embarcações do mês de outubro superou os meses de maio e junho, com 50 embarcações por dia (Figura 5).

Figura 5 – Número de embarcações por dia, que visitaram a Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, durante os meses de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019. As marcações em vermelho mostram os finais de semana (sábados e domingos).



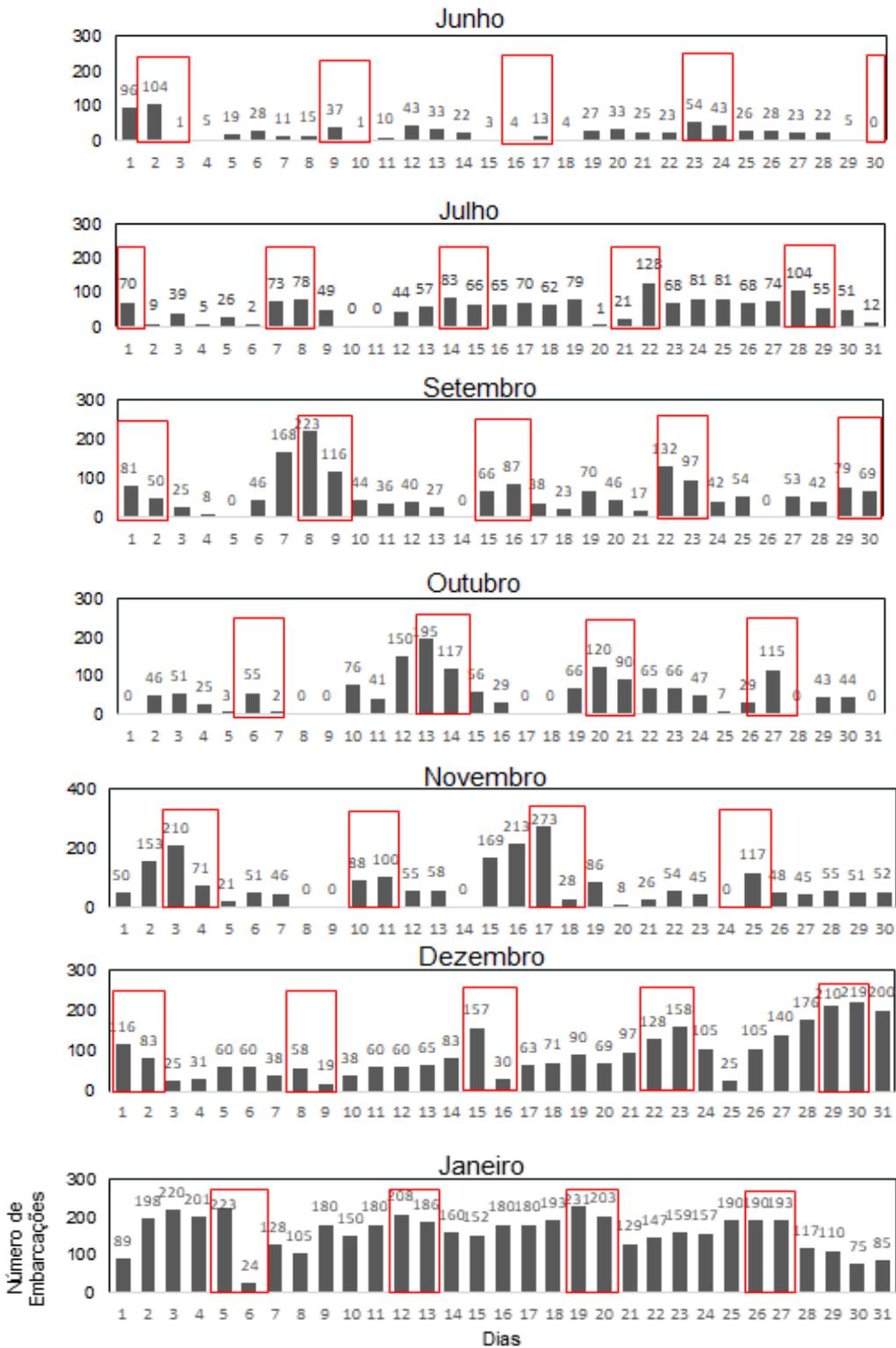
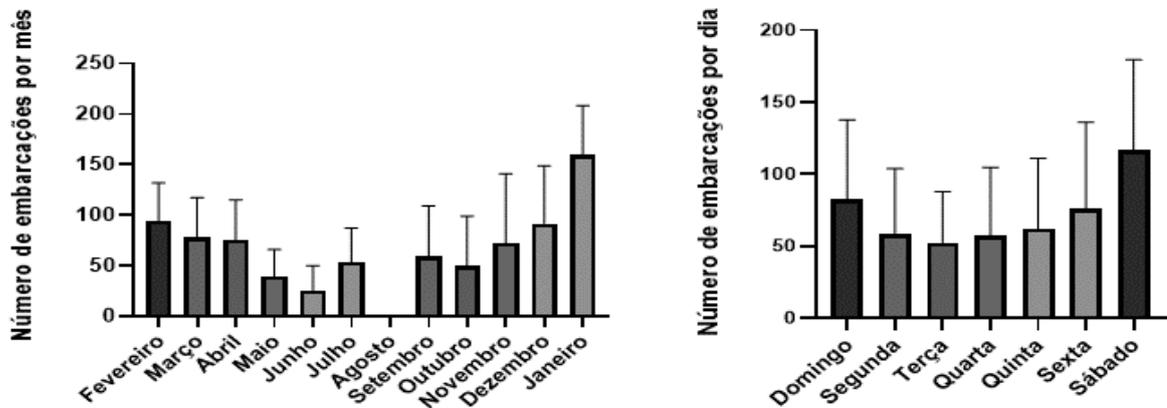


Figura 6 – Média e desvio da distribuição mensal e semanal de embarcações de visitantes na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019.



Na comparação entre a alta temporada e a baixa temporada, foram considerados os meses de fevereiro e janeiro, alta temporada e maio e junho, baixa temporada (Figura 6). É possível observar no boxplot da Figura 7 que todos os valores de SPL foram maiores durante a alta temporada. A banda de 63 Hz foi a que apresentou menor variação de amplitude entre as categorias e maior proximidade de medianas entre os períodos.

Figura 7 – Comparação da variação de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, entre os meses de alta temporada (fevereiro de 2018 e janeiro de 2019) e baixa temporada (maio e junho de 2018) em relação às bandas de frequência centrais de 1/3 de oitava.

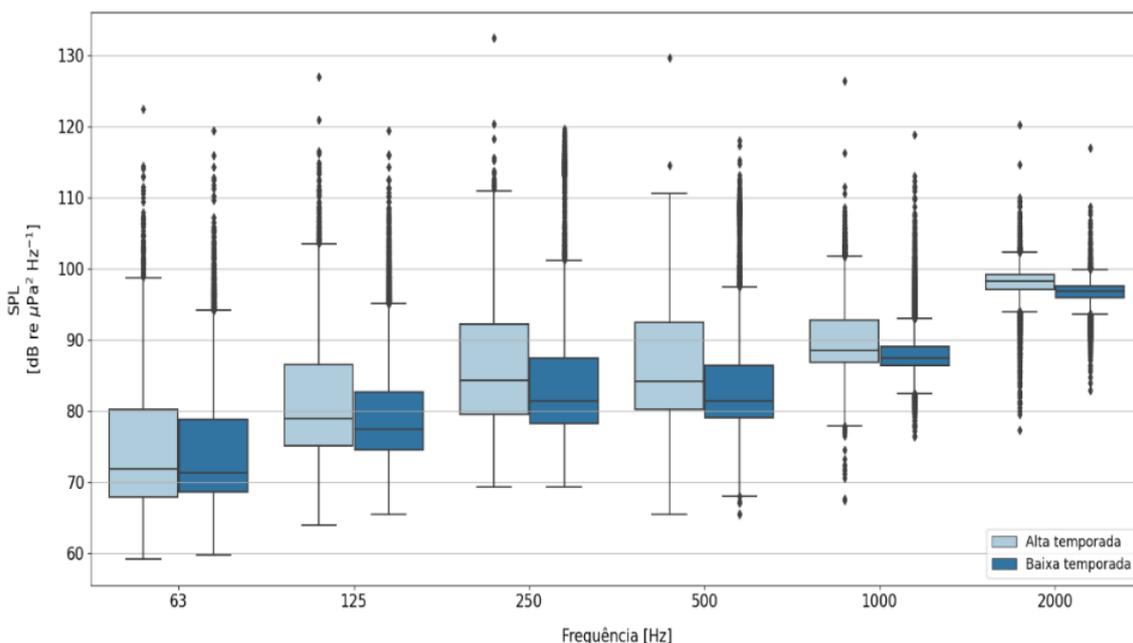


Tabela 3 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi entre as categorias alta e baixa temporada, mostrando que não houve diferença estatística significativa apenas para a frequência de 63 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.

Nemenyi post-hoc test (Alta x Baixa Temporada)						
Temporadas	63 Hz - alta	125 Hz - alta	250 Hz - alta	500 Hz - alta	1000 Hz - alta	2000 Hz - alta
63 Hz - baixa	0.890232	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
125 Hz - baixa	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
250 Hz - baixa	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
500 Hz - baixa	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
1000 Hz - baixa	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2000 Hz - baixa	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

O teste de Kruskal-Wallis evidenciou que houve diferença significativa entre as bandas de 1/3 de oitava, considerando as gravações de alta e baixa temporada (KW: 79242,30; $p \leq 0,05$). Nas comparações do teste de Nemenyi, entre a mesma frequência para cada categoria, mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa somente para a frequência de 63 Hz ($p > 0,05$), como é possível observar na Tabela 3. Quando consideradas as comparações entre todas as frequências, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa apenas entre 250 e 500 Hz ($p > 0,05$).

As medianas entre as categorias fins de semana, feriados e dias da semana, também não diferiram muito entre si (Figura 8). A frequência de 2000 Hz apresentou menor variabilidade para as três categorias seguindo a mesma tendência para outliers das Figuras 3 e 7. O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve diferença significativa entre as categorias feriados, fins de semana e dias da semana (KW: 47130,49; $p \leq 0,05$). No entanto, o teste de Nemenyi mostrou que não havia diferença significativa em nenhuma das frequências entre feriados e fins de semana ($p > 0,05$), conforme apresentado na Tabela 4. Já em relação aos dias da semana, houve diferença significativa nas frequências de 125, 250 e 500 Hz ($p \leq 0,05$), tanto na comparação com feriados, quanto fins de semana (Tabela 4).

Figura 8 – Distribuição da variação de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraijal do Cabo, RJ, entre as categorias final de semana, feriado e dias da semana mostrando a semelhança das categorias final de semana e feriado nas bandas de baixa frequência (63, 125, 250 e 500 Hz).

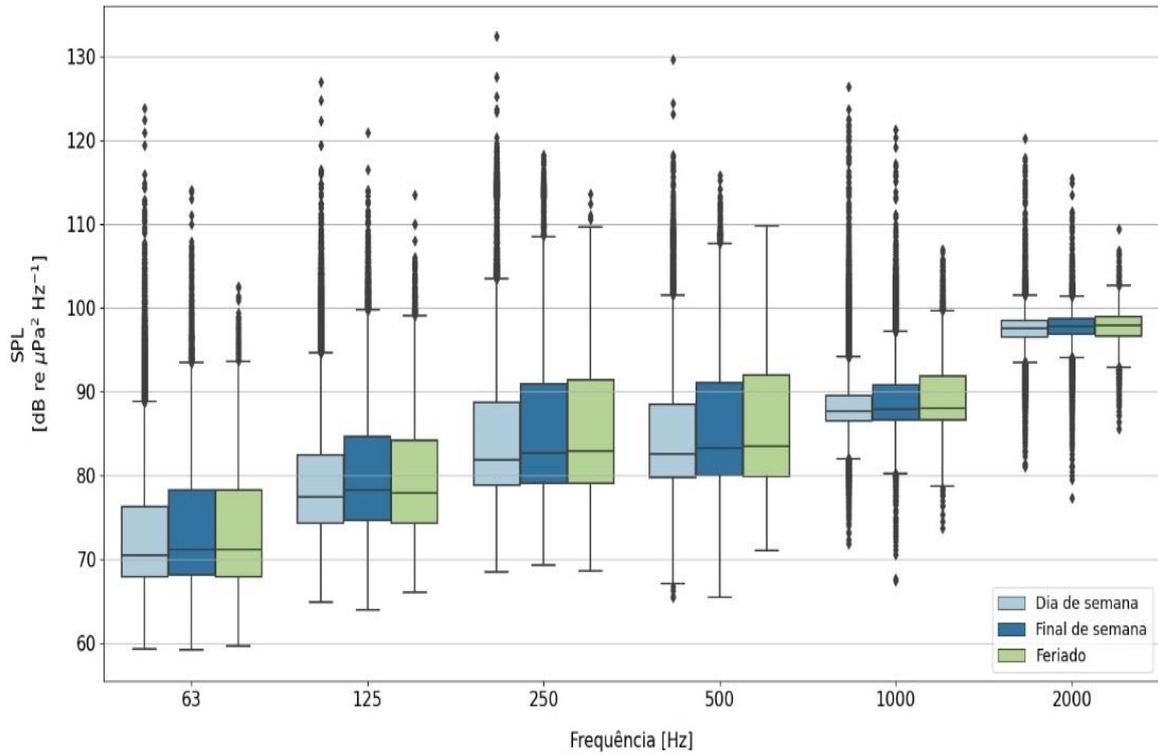


Tabela 4 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi entre as categorias final de semana, feriado e dias da semana mostrando que não houve diferença significativa para a frequência de 63 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.

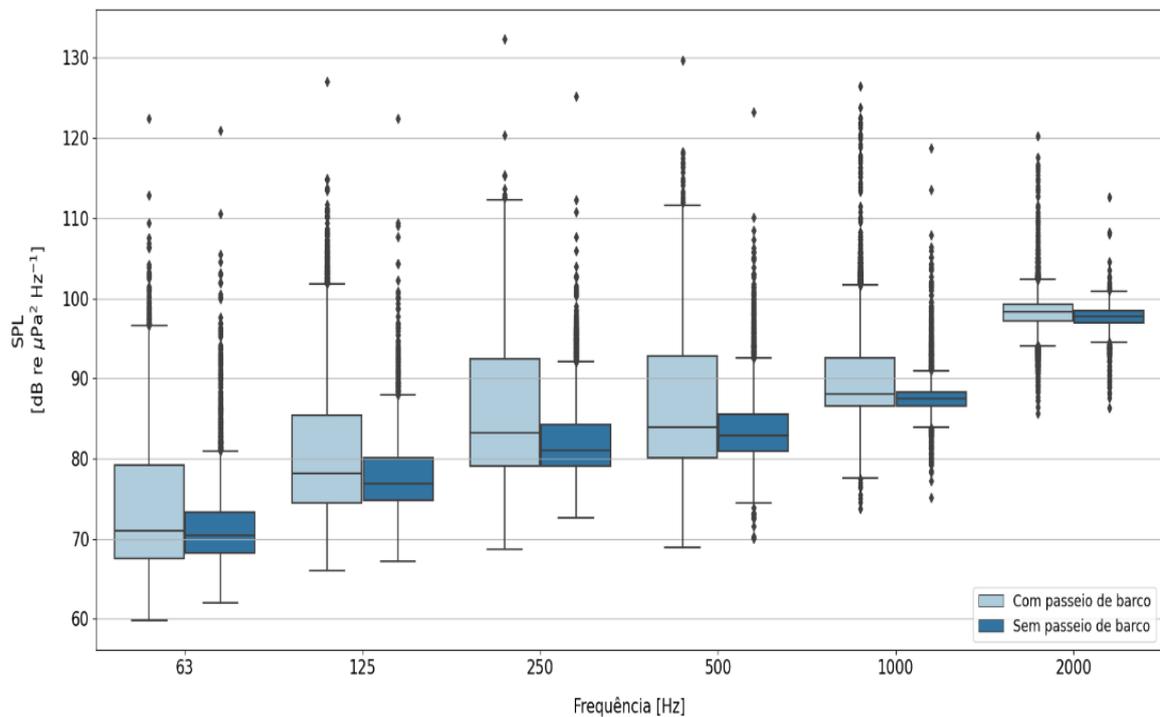
Nemenyi post-hoc test (Feriado X dia de semana X final de semana)

	63Hz - feriado	125 Hz - feriado	250 Hz - feriado	500 Hz - feriado	1000 Hz - feriado	2000 Hz - feriado
63 Hz - dia da semana	0.168343	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
125 Hz - dia da semana	0.001	0.008581	0.001	0.001	0.001	0.001
250 Hz - dia da semana	0.001	0.001	0.001091	0.001	0.001	0.001
500Hz - dia da semana	0.001	0.001	0.290118	0.001108	0.001	0.001
1000Hz - dia da semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.079943778	0.001
2000Hz - dia da semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.889887
63 Hz - final semana	0.898523	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
125 Hz - final semana	0.001	0.844521	0.001	0.001	0.001	0.001
250 Hz - final semana	0.001	0.001	0.860984	0.061892	0.001	0.001
500 Hz - final semana	0.001	0.001	0.722328	0.852111	0.001	0.001
1000 Hz - final semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.899834335	0.001
2000 Hz - final semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.9

Comparando todas as frequências, o teste apontou que não houve diferença estatística significativa entre 250 Hz, da categoria dias da semana e 500 Hz ($p > 0,05$), das categorias finais de semana e feriados. Também não houve diferença entre 250 Hz da categoria finais de semana e 500 Hz da categoria feriados ($p > 0,05$).

O boxplot apresentado na Figura 9 evidencia a amplitude de SPL ao comparar dias com passeio e dias sem passeio de barco. A variação de SPL foi maior principalmente em baixas frequências, isto é, 63, 125, 250 e 500 Hz. (Figura 9).

Figura 9 – Distribuição estatística de SPL da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, mostrando a diferença de amplitude entre as categorias com passeio e sem passeio de barco em cada frequência, com destaque para as frequências que apresentaram maior variação (63, 125, 250 e 500 Hz).



O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve diferença significativa nas comparações das frequências das categorias com passeio e sem passeio (KW: 27515, 23; $p \leq 0,05$). Considerando as comparações múltiplas entre as mesmas frequências para este grupo, a tabela 5 mostra que não houve diferença significativa apenas na frequência de 2000 Hz ($p > 0,05$). Além disso, abrangendo todas as comparações, não foi detectado diferença estatística apenas entre as frequências de 250 Hz do grupo com passeio em relação a frequência de 500 Hz do grupo sem passeio ($p \leq 0,05$).

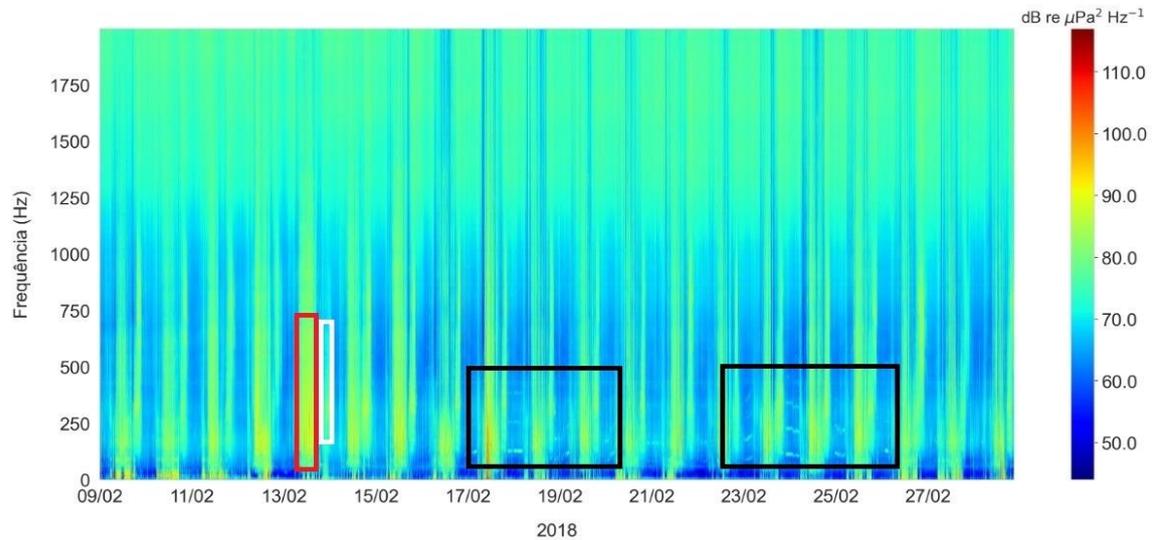
Tabela 5 – Resultados do teste de comparações múltiplas de Nemenyi mostrando que não houve diferença significativa apenas para a frequência de 2000 Hz. Os números destacados em verde mostram a comparação das mesmas frequências em categorias distintas.

Nemenyi post-hoc test (Com passeio X sem passeio)						
	63Hz com passeio	125 Hz com passeio	250 Hz com passeio	500 Hz com passeio	1kHz com passeio	2k Hz com passeio
63 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
125 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
250 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
500 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001000001	0.001	0.001	0.001
1000 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2000 Hz sem passeio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.149014561

5.3 CORO BIOACÚSTICO

Para avaliação do coro, foi analisado o período de 08 a 28 do mês de fevereiro no qual é possível observar eventos de baixa frequência, principalmente até 500 Hz e de aproximadamente 90 dB (Figura 10). É possível observar uma marcação mais intensa seguida de uma menos intensa, sempre na mesma frequência, em torno de 250 Hz, como mostra a Figura 10. Nos dias 17/02 a 19/02 e 23 a 25 de fevereiro é possível notar ainda alguns padrões que destoam do que foi observado nos outros dias do mesmo mês.

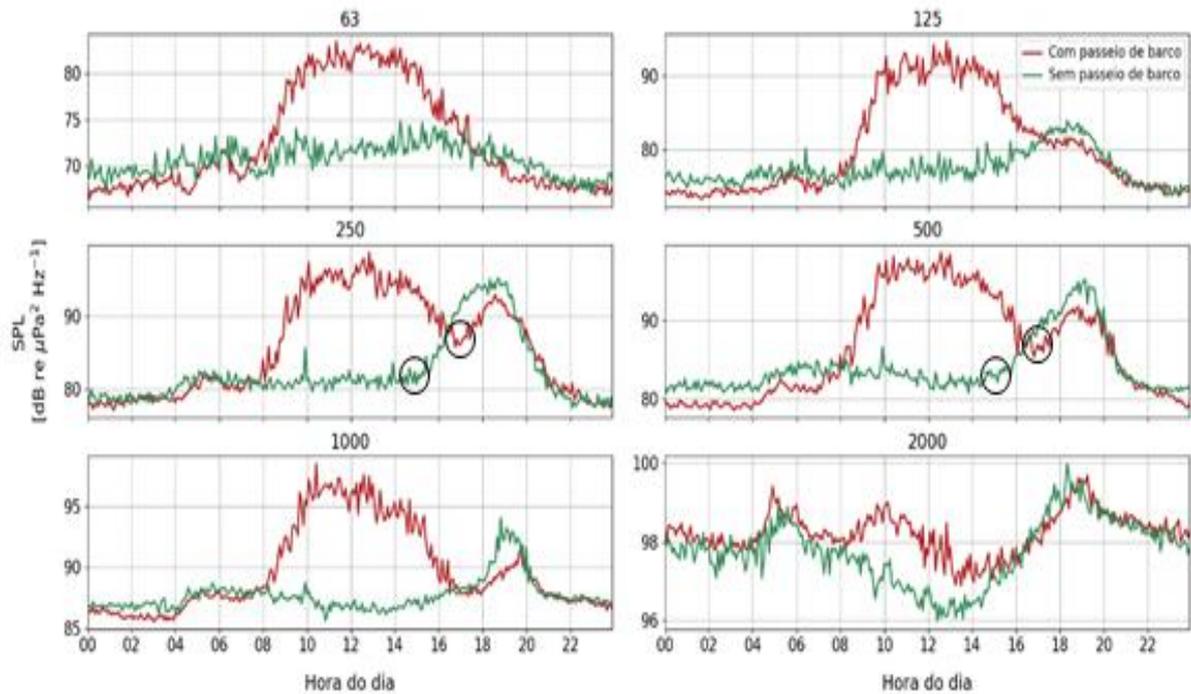
Figura 10 – Espectrograma do mês de fevereiro da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, evidenciando eventos associados à paisagem acústica local. A marcação em vermelho mostra um evento de maior duração seguido de um com menor duração em laranja. As marcações em roxo mostram detecções de eventos que destoaram dos outros dias do mês.



Baseado na planilha de registro de embarcações, foi realizada uma comparação de SPL entre os momentos do dia (hora), para avaliar o comportamento do coro bioacústico. Nesta análise foram utilizados 16 dias sem passeio (0) e 16 dias com passeio de barco (Figura 9), e foi calculada a média para cada minuto do dia e para cada faixa de frequência de 1/3 de oitava.

Em todas as faixas de frequência os valores de SPL foram maiores nos dias com passeio, com picos de 80 dB a aproximadamente 100 dB, entre os horários em torno de 9 às 15h aproximadamente, com pico às 12h variando de 80 a quase 100 dB re 1 μ Pa (Figura 11). Com exceção da banda de 2000 Hz, é possível observar um discreto aumento de SPL em dias sem passeio em comparação aos dias com passeios, no amanhecer do dia e no entardecer, de 18 a 20h.

Figura 11 – Comparação do SPL das medidas de tendências centrais das bandas de 1/3 de oitava da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ, em um período de 16 dias do mês de fevereiro, evidenciando o comportamento do coro, em dias com passeio e sem passeio de barco, ao amanhecer, ao meio dia e ao entardecer. Os círculos indicam os horários de início do coro com passeio e sem passeio de barco nas frequências de 250 e 500 Hz.



DISCUSSÃO

O Ambiente Marinho da Ilha do Cabo Frio em Arraial do Cabo sofre grande influência de antropofonia referente aos barcos de passeio que transportam um número variável de turistas ao longo do ano.

A caracterização da paisagem acústica da região, de acordo com os descritores para poluição sonora do MSFD, aponta que o valor mínimo de SPL foi encontrado na banda de 63 Hz. No entanto, ao analisar o seu valor máximo observa-se que este ultrapassa o valor máximo de SPL da banda mais alta analisada (2000 Hz). É possível perceber que em 2000 Hz o SPL é mais estável, conforme o desvio e simetria mostrados nas Figuras 3, 7, 8 e 9. Buscaíno et al. (2016) descrevem o mesmo resultado para o ano todo, classificando a frequência de 2000 Hz como uma "banda mais estável". O coro de peixes e eventos abióticos são expressos em baixas frequências, portanto, interferências de ruído antropogênico causam maiores variações nas bandas de menores frequências, como 63, 125, 250 e 500 Hz (BUSCAÍNO et al., 2016; VIEIRA et al., 2021). Buscaíno et al. (2016) explicam que a banda de 2000 Hz é dominada por sons de alta frequência, como ondas e alguns invertebrados, tais como os camarões. Portanto, seu valor de SPL é menos variável. Por isso, observa-se tão claramente na Figura 2 que a frequência de 2000 Hz não foi apropriada para evidenciar sons característicos de interesse do presente estudo (antropofonia e coro de peixes).

A paisagem acústica da região, no ano estudado, é caracterizada por intensa influência de antropofonia nas bandas de 63 e 250 Hz (Figura 2). Os horários em torno de 9 às 15h com pico às 12h evidenciam os repetidos ruídos que na região são produzidos pelos barcos de passeio (CAMPBELL et al., 2019). Além disso, duas outras faixas bem marcadas são observadas em torno das 5h da manhã e das 20h, entre as bandas de 125 e 500 Hz. Como não há passeios de barco nestes horários, mas apenas eventuais barcos de pesca circulando, essas marcações estão associadas ao coro de peixes e parecem coincidir com outros estudos, como os de Radford et al. (2008a, b), Gendriz e Padovese (2017), Rice et al. (2017) e Siddagangaiyah (2021). Estes estudos evidenciaram os coros ao amanhecer e entardecer em diferentes regiões, sendo o coro do anoitecer mais intenso que o do amanhecer (Figura 11). A sobreposição das frequências do coro e dos passeios de

barcos nas bandas de frequência de 125 e 500 Hz parecem explicar as maiores amplitudes e, portanto, variabilidade (Figura 3).

É evidente uma maior intensidade do tráfego náutico nos meses de alta temporada (dezembro, janeiro e fevereiro) com as festas de fim de ano, período de férias escolares e o verão (Figuras 2 e 6). O mês de junho, além de baixa temporada e inverno, não possui feriados e é, portanto, apresentado como o mês de menor tráfego náutico na região, conforme as Figuras 5 e 6. No entanto, não houve diferença significativa na banda de 63 Hz ($p > 0,05$) entre alta e baixa temporada (Tabela 3). De acordo com Haxel et al. (2013), que estudaram a paisagem acústica de baixa frequência em águas rasas, na costa noroeste do Pacífico da América do Norte, e Buscaino et al. (2016), que estudaram a paisagem acústica de águas rasas sazonalmente no Mar Mediterrâneo, há fortes contribuições ambientais no período de inverno. Estes autores mostram que no inverno a paisagem acústica de águas rasas é fortemente dominada pela ação das ondas e dos ventos, que são medidos em baixas frequências. Por exemplo, nas águas rasas do Mar Mediterrâneo foi encontrado um SPL médio similar à frequência de 62,5 Hz no inverno e verão do presente estudo (103,7 e 97,8 dB re $1\mu\text{Pa}$, respectivamente). Na região de Arraial do Cabo há fortes ventos Leste e Nordeste que, periodicamente, contribuem para o fenômeno da ressurgência (MIRANDA et al., 1985). Estes ventos fortes podem também influenciar as condições do mar e influenciar a intensidade do SPL de baixa frequência.

Dois eventos recorrentes acontecem em torno da banda de 250 Hz, no espectrograma da Figura 10, um mais intenso seguido de outro menos intenso. É possível que a marcação do coro de peixes seja seguida do dia intenso de tráfego em alta temporada, causando nos dias 23 a 25 o deslocamento do coro no tempo. Segundo Gause (1934), a “teoria da exclusão competitiva prevê que, quando os recursos são limitados, as espécies que competem pelo mesmo se tornarão excluídas ou dividirão o recurso para permitir a coexistência”. A hipótese do nicho acústico expõe o particionamento da largura de banda pelo qual os organismos ajustam suas vocalizações para compensar o espaço vocal ocupado, evitando mascaramento (VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018). A inserção de ruídos antropogênicos no ambiente marinho pode representar uma fonte sonora com os quais os organismos competem, sendo compensado por meio do comportamento vocal, com adaptações, como mudança de duração, frequência, tempo ou amplitude

do coro (BRUMM e SLABBEKOORN, 2005). No domínio do tempo, por exemplo, os animais evitam a interferência acústica de ruído antropogênico mudando o horário de sua atividade acústica (BRUMM e SLABBEKOORN, 2005; VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018).

Estes ajustes das vocalizações podem ser observados na Figura 11, que exhibe coros ao longo do dia, tanto com quanto sem passeios de barcos. Nas bandas de frequência de 250 e 500 Hz, o coro de peixes da categoria sem passeio, no entardecer, iniciou aproximadamente às 15h, enquanto na categoria com passeio, começou aproximadamente às 17h, (diferença de 2h). Também é importante observar que os coros dos dias com passeio apresentaram menor tempo de duração nessas mesmas frequências. Muitos autores tratam do coro do entardecer, particularmente importante por estar associado à reprodução e desova de muitas espécies de peixes (LUCZKOVICH et al., 2008a; GENDRIZ e PADOVESE., 2016; RICE et al., 2017; WILSON et al., 2020). Essas atividades estão diretamente ligadas ao equilíbrio do ecossistema, pois estes organismos estão presentes em diferentes níveis tróficos (detritívoros, consumidores primários e predadores) e podem influenciar na abundância, distribuição e composição de muitas espécies de algas e invertebrados marinhos (ICMBio, 2020a). Estas duas horas de atraso em períodos de reprodução, no verão (alta temporada), podem representar sérios danos ecológicos, econômicos, sociais e culturais, já que a região deste estudo que é uma unidade de conservação de uso sustentável, na categoria Reserva Extrativista Marinha (RESEXMAR- AC), criada em 1997 com a finalidade de proteger a cultura e a pesca artesanal em Arraial do Cabo (ICMBio, 2020b).

De acordo com MSFD (2010) a escolha das bandas de 1/3 de oitava de 63 e 125 Hz (frequência central) é baseada em assinaturas que evitam a maioria das fontes naturais e seu SPL não deve exceder 100 dB re 1 μ Pa. As bandas de 1/3 de oitava de 63 Hz e 125 Hz foram suficientes para observar eventos de antropofonia na região, porém fortes influências ambientais para a frequência de 63 Hz também foram observadas neste estudo. As médias de SPLs nas bandas de 63 e 125 Hz se aproximam dos limites recomendados pelo MSFD, como pode ser observado na Tabela 1. Estes dados podem servir como indicadores de alerta de poluição sonora no local de estudo (MSFD, 2010; VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018; LEDUC et al., 2021).

De acordo com Van Opzzeland e Boebel (2018), o ambiente acústico marinho deve ser utilizado racionalmente. Nesse sentido, o planejamento da paisagem acústica pode ser uma boa estratégia, pois concilia o uso sustentável do ambiente, protegendo os recursos naturais conjugados aos interesses humanos (BROWN, 2012; VAN OPZEELAND, 2018). O planejamento da paisagem sonora, até o momento, tem sido aplicado principalmente em áreas urbanas, principalmente no gerenciamento da distribuição de sons (Torigoe, 2003; Deng et al., 2009; Kang et al., 2016). No entanto, embora o gerenciamento da paisagem acústica seja um campo crescente no âmbito terrestre, até hoje não foi consolidado no ambiente subaquático (VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018).

Como estratégias de gerenciamento, o mapeamento acústico da região e a redução do grau de perturbação sonora em áreas de alta atividade antropogênica e importância biológica durante períodos específicos, pode contribuir para a redução dos impactos sonoros (VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018; CHOU et al., 2021). Uma vez observada a existência de um coro em horários específicos, é possível que a preservação de locais estratégicos em relação a horários restritos de funcionamento do tráfego possa zelar pela dinâmica e saúde do ecossistema. Um estudo sobre as espécies de peixes produtoras de som na região e o seu modo de partição do nicho acústico também pode nos permitir entender melhor os fatores ecológicos e comportamentais associados a elas (WILSON et al., 2018). Além disso, estudos e tecnologias para redução de ruído de motores, desaceleração de embarcações, a criação de uma legislação sobre ruídos e fiscalização com limite de embarcações, são estratégias importantes a serem consideradas (AUDOLY et al., 2017; VAN OPZEELAND e BOEBEL, 2018; CHOU et al., 2021).

O conceito de planejamento de paisagem sonora, embora ainda em formação, apresenta o potencial de conscientização de que a introdução do som em ambientes acústicos naturais pode ter sérias consequências para o ambiente acústico local. É preciso considerar que a densidade populacional de ocupação humana no litoral já é cinco vezes maior do que a média global (Neumann et al., 2015; LEDUC et al., 2021), com a tendência de que mais da metade população viva a menos de 100 km de uma costa (Creel, 2003). Isto sem dúvida pode implicar em mudanças na paisagem acústica submarina, que podem ser percebidas em alterações de pequeno, médio ou longo prazo, temporária ou permanentemente, como mostra um estudo feito durante o carnaval brasileiro de Salvador, que elevou os níveis de pressão sonora

subaquática em mais de 30 dB re 1 μ Pa² e interferiu no forrageamento no peixe donzela (*Stegastes fuscus*) (LEDUC et al., 2021).

A busca por melhores estratégias de monitoramento acústico passivo tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias para preservação e gestão dos ecossistemas marinhos (MOONEY et al., 2020; MINELLO et al., 2021). O conhecimento da paisagem acústica de uma região, suas características e seus eventos recorrentes, são dados imprescindíveis para melhor analisar o cenário local, permitindo um diagnóstico rápido de algum eventual desequilíbrio. Em adição, o monitoramento acústico, conforme apresentado neste trabalho, é um método não invasivo de estudar a biodiversidade marinha costeira e contribuir para sua conservação.

7 CONCLUSÃO

Poucos estudos sobre ruído antropogênico subaquático em áreas costeiras brasileiras são conhecidos sob o ponto de vista do monitoramento de poluição sonora pelas frequências de 1/3 de oitava. Embora sons de baixa frequência em horários específicos sejam associados ao coro de peixes, é difícil correlacioná-los às espécies conhecidas da região devido à carência de dados locais destes organismos.

Os dados apresentados neste trabalho apontam que a paisagem acústica da Ilha do Cabo Frio é marcada por intensa antropofonia nos horários aproximados de 9 às 15h, principalmente na alta temporada e nos finais de semana e feriados, relacionados ao turismo náutico na região. Os sons registrados apresentaram valores mais altos de SPL na alta temporada, com grande variabilidade nos meses de baixa temporada devido aos feriados. Os valores de SPL em dias de intenso tráfego náutico se aproximam dos limites recomendados no Descritor 11.2 do MSFD. Os ruídos antropogênicos influenciaram o tempo de início e duração do coro de peixes em baixa frequência, principalmente em 250 Hz, no entardecer.

Esses resultados, associados a dados de identificação espacial de sons biológicos como o coro de peixes, são importantes para avançar no conhecimento e conservação da biodiversidade local. Uma melhor análise do coro de peixes em alta temporada seria importante para avaliar o impacto na reprodução das espécies envolvidas. É importante destacar que a paisagem acústica varia sazonalmente conforme as mudanças ambientais e antropogênicas, sendo necessária continuidade do monitoramento para melhor compreensão desses processos.

Os resultados deste trabalho foram comparados ao Descritor 11.2 do MSFD porque são referências de monitoramento no mundo. Porém, há necessidade de desenvolvimento de medidas protetivas e desenvolvimento de legislação que melhor avalie as condições da região, levando em conta suas diferenças e peculiaridades, ou seja, é necessária uma adequação regional da recomendação encontrada na diretiva da União Europeia.

REFERÊNCIAS

- AU, W. W. L. 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, 1998.
- AUDOLY, C.; GAGGERO, T.; BAUDIN, E.; FOLEGOT, T.; RIZZUTO, E.; MULLOR, R. S.; KELLETT, P. Mitigation of underwater radiated noise related to shipping and its impact on marine life: A practical approach developed in the scope of AQUO project. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 42, n. 2, p. 373-387, 2017.
- BORIE, A.; BEZERRA, N. P.; KLARIAN, S. A.; TRAVASSOS, P. Soundscape of a management and exploitation area of benthic resources in central Chile. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, n. 5, p. 993-997, 2015.
- BRACCIALI, C.; CAMPOBELLO, D.; GIACOMA, C.; SARA, G. Effects of nautical traffic and noise on foraging patterns of Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*). **PloS one**, v. 7, n. 7, p. e40582, 2012.
- BROWN, A. L. A review of progress in soundscapes and an approach to soundscape planning. **Int. J. Acoust. Vib**, v. 17, n. 2, p. 73-81, 2012.
- BRUINTJES, R.; RADFORD, A. N. Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 6, p. 1343-1349, 2013.
- BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic communication in noise. **Advances in the Study of Behavior**, v. 35, p. 151-209, 2005.
- BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N.; CORRIAS, V.; FARINA, A.; FILICCIOTTO, F.; 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.
- CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO J. 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. **Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL**. Vol. 37. No. 1. Acoustical Society of America, 2019.
- CELI, M.; FILICCIOTTO, F.; MARICCHIOLO, G.; GENOVESE, L.; QUINCI, E. M.; MACCARRONE, V.; BUSCAINO, G. Vessel noise pollution as a human threat to fish: assessment of the stress response in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758). **Fish Physiology and biochemistry**, v. 42, n. 2, p. 631-641, 2016.
- CHAPMAN, N. R.; PRICE, A. Low frequency deep ocean ambient noise trend in the Northeast Pacific Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 5, p. EL161-EL165, 2011.
- 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.

CREEL, L. Ripple effects: population and coastal regions. Washington, DC: Population reference bureau, 2003.

DALE, J. J.; GRAY, M. D.; POPPER, A. N.; ROGERS, P. H.; BLOCK, B. A. Hearing thresholds of swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 201, n. 5, p. 441-454, 2015.

DEBUSSCHERE, E.; HOSTENS, K.; ADRIAENS, D.; AMPE, B.; BOTTELDOOREN, D.; DE BOECK, G.; DEGRAER, S. Acoustic stress responses in juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving. **Environmental Pollution**, v. 208, p. 747-757, 2016.

DEKELING, R. P. A.; TASKER, M. L.; VAN DER GRAAF, A. J.; AINSLIE, M. A.; ANDERSSON, M. H.; ANDRÉ, M.; YOUNG, J. V. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part II: Monitoring Guidance Specifications. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive by MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise. 2014.

DENG, Z.; Z., WU, W.; SHI, D. Two case studies on the soundscape in historical area and its subjective assessment from the local people. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, 2009. p. 2672-2680.

FARINA, A. **Soundscape Ecology: Principles Patterns, Methods and Applications**. Italia: Editora Springer, 2014.

FRISK, G. V. Noiseconomics: The relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2012.

GARRETT, J. K.; BLONDEL, P.; GODLEY, B. J.; PIKESLEY, S. K.; WITT, M. J.; JOHANNING, L. Long-term underwater sound measurements in the shipping noise indicator bands 63 Hz and 125 Hz from the port of Falmouth Bay, UK. **Marine Pollution Bulletin**, v. 110, n. 1, p. 438-448, 2016.

GREENFIELD, M. D.; SHAW, K. C. Adaptive significance of chorusing with special reference to the Orthoptera. **Orthopteran mating systems: sexual competition in a diverse group of insects/edited by DT Gwynnw and GK Morris**, 1983.

HARRISON, J.; Ferguson, M.; Gedamke, J.; Hatch, L.; Southall, B.; Van Parijs.; S. National Oceanic and Atmospheric Administration's cetacean and sound mapping effort: continuing forward with an integrated ocean noise strategy. In: *The Effects of Noise on Aquatic Life II*. **Springer**, New York, NY, 2016. p. 409-416.

HAWKINS, A. D.; POPPER, A. N. Effects of man-made sound on fishes. In: *Effects of anthropogenic noise on animals*. **Springer**, New York, NY, 2018. p. 145-177.

HAXEL, J. H.; DZIAK, R. P.; MATSUMOTO, H. Observations of shallow water marine ambient sound: The low frequency underwater soundscape of the central Oregon coast. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 5, p. 2586-2596, 2013.

HELFMAN, G. S. Fish behaviour by day, night and twilight. In: **The behaviour of teleost fishes**. Springer, Boston, MA, 1986. p. 366-387.

HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**. 395, 5–20. 2009. <https://doi.org/10.3354/meps08353>

HILDEBRAND, J. A. Impacts of anthropogenic sound. **Marine mammal research: conservation beyond crisis**, p. 101-124, 2005.

ICMBIO. Peixes: Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.p.10, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/Peixes.pdf/view>. Acessado em 31/10/2021.

ICMBIO. Plano de Manejo da Reserva Extravista Marinha Do Arraial Do Cabo, Setembro, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/search?SearchableText=plano%20macedo%20reserva%20extrativistas%202020%20arraial> . Acessado em 03/01/2022.

IEAPM. Normas para acesso à Ilha do Cabo Frio. Marinha do Brasil. Anexo (5), da Port n° 46/2017. <https://www.marinha.mil.br/ieapm/sites/www.marinha.mil.br/ieapm/files/Normas%20para%20acesso%20a%20Ilha%20do%20Cabo%20Frio.pdf>. Acessado em 04/01/2022.

IWC. International Whaling Commission. **Summary of Main Outcomes, Decisions, and Required Actions from the 67th Annual Meeting**. Paper IWC/67/GEN/05/rev1 (2018)

KANG, J.; ALETTA, F.; GJESTLAND, T. T.; BROWN, L. A.; BOTTELDOOREN, D.; SCHULTE-FORTKAMP, B.; LAVIA, L. Ten questions on the soundscapes of the built environment. **Building and environment**, v. 108, p. 284-294, 2016.

KRAUSE, B. Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. **Whole Earth Review**, v. 57, n. Winter, 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.

LEDUC, A. O.; NUNES, J. A. C.; DE ARAÚJO, C. B.; QUADROS, A. L.; BARROS, F.; OLIVEIRA, H. H.; SLABBEKOORN, H. Land-based noise pollution impairs reef fish behavior: a case study with a Brazilian carnival. **Biological Conservation**, v. 253, p. 108910, 2021.

LOCASCIO, J. V.; MANN, D. A. Localization and source level estimates of Black drum (*Pogonias cromis*) calls. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 4, p. 1868-1879, 2011.

LUCZKOVICH, J. J.; PULLINGER, R. C.; JOHNSON, S. E., SPRAGUE, M. W. Identifying sciaenid critical spawning habitats by the use of passive

- acoustics. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 137, n. 2, p. 576-605, 2008a.
- 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.
- MCCAULEY, R. D.; CATO, D. H. Evening choruses in the Perth Canyon and their potential link with Myctophidae fishes. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 4, p. 2384-2398, 2016.
- MCKENNA, M. F.; SHANNON, G.; FRISTRUP, K. Characterizing anthropogenic noise to improve understanding and management of impacts to wildlife. **Endangered Species Research**, v. 31, p. 279-291, 2016.
- MCWILLIAM, J. N.; HAWKINS, A. D. A comparison of inshore marine soundscapes. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 446, p. 166-176, 2013.
- MCWILLIAM, J. N.; McCauley, R. D.; Erbe, C.; Parsons, M. J. Patterns of biophonic periodicity on coral reefs in the Great Barrier Reef. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2017.
- MENEZES, R. G. **Ciência de dados aplicada à conservação e à bioprospecção marinha: síntese do banco de dados do SISBIO para Arraial do Cabo (RJ) e Fernando de Noronha (PE), Brasil. Arraial do Cabo, RJ, 2019.** 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha IEAPM/UFF, Arraial do Cabo, 2019.
- MIKSIS-OLDS, J. L.; NICHOLS, S. M. Is low frequency ocean sound increasing globally?. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 139, n. 1, p. 501-511, 2016.
- 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**, 2021.
- MIRANDA, Luiz Bruner. Forma da correlação TS de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 33, n. 2, p. 105–119, 1985.
- MOONEY, T. Aran et al. Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. **Royal Society Open Science**, v. 7, n. 8, p. 201287, 2020.
- NEUMANN, B.; Vafeidis, A. T.; Zimmermann, J.; Nicholls, R. J. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. **PloS One**, v. 10, n. 3, p. e0118571, 2015.
- NOWACEK, D. P.; Thorne, L. H.; Johnston, D. W.; Tyack, P. L. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. **Mammal Review**, v. 37, n. 2, p. 81-115, 2007.

OSPAR Commission. SERIES, Biodiversity. Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment, 2009.

PENG, C.; ZHAO, X.; LIU, G. Noise in the sea and its impacts on marine organisms. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 10, p. 12304-12323, 2015.

PICCIULIN, M.; SEBASTIANUTTO, L.; CODARIN, A.; FARINA, A.; FERRERO, E. A. 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.

PIJANOWSKI, B. C.; FARINA, A.; GAGE, S. H.; DUMYAHN, S. L.; KRAUSE, B. L. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape ecology**, v. 26, n. 9, p. 1213-1232, 2011.

POPPER, A. N.; HASTINGS, M. C. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. **Journal of fish biology**, v. 75, n. 3, p. 455-489, 2009.

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

RADFORD, C. A.; JEFFS, A. G.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 921-929, 2008.

RICE, A. N.; SOLDEVILLA, M. S.; QUINLAN, J. A. Nocturnal patterns in fish chorusing off the coasts of Georgia and eastern Florida. **Bulletin of Marine Science**, v. 93, n. 2, p. 455-474, 2017.

RICHARDSON, W. J.; GREENE Jr. C. R.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H. Marine mammal hearing. **Marine mammals and noise**, p. 205-240, 1995.

ROSSI, T.; CONNELL, S. D.; NAGELKERKEN, I. Silent oceans: ocean acidification impoverishes natural soundscapes by altering sound production of the world's noisiest marine invertebrate. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1826, p. 20153046, 2016.

RUPPÉ, L.; CLÉMENT, G.; HERREL, A.; BALLESTA, L.; DÉCAMPS, T.; KÉVER, L.; PARMENTIER, E. Environmental constraints drive the partitioning of the soundscape in fishes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 19, p. 6092-6097, 2015.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 105, n. 1, p. 65-72, 2016.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I.; PADOVESE, L. R. Temporal and spectral patterns of fish choruses in two protected areas in southern Atlantic. **Ecological Informatics**, v. 38, p. 31-38, 2017.

SIDDAGANGAIAH, S.; Chen, C.F.; Hu, W.C.; Danovaro, R.; Pieretti, N. Silent winters and rock-and-roll summers: The long-term effects of changing oceans on marine fish vocalization. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107456, 2021.

SIMPSON, S. D.; PURSER, J.; RADFORD, A. N. Anthropogenic noise compromises antipredator behaviour in European eels. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 586-593, 2015.

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N.; VAN OPZEELAND, I.; COERS, A.; TEN CATE, C.; POPPER, A. N. 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.

SMOTT, S.; MONCZAK, A.; MILLER, M. E.; MONTIE, E. W. Boat noise in an estuarine soundscape—A potential risk on the acoustic communication and reproduction of soniferous fish in the May River, South Carolina. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 246-260, 2018.

TORIGOE, K. Insights taken from three visited soundscapes in Japan. In: **Conf. proceedings “Acoustic Ecology”, Australian Forum for Acoustic Ecology/World Forum for Acoustic Ecology, Melbourne, Australia, 19-23 March. 2003.**

MSFD, MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE Task Group 11 Report Underwater noise and other forms of energy. **Report No. EUR**, v. 24341, p. 2010, 2010.

THOMSON, D. J. M.; BARCLAY, D. R. Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 147, n. 5, p. 3390-3396, 2020.

VAN OPZEELAND, I.; BOEBEL, O. Marine soundscape planning: seeking acoustic niches for anthropogenic sound. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. 5GSNT, 2018.

VIEIRA, M.; FONSECA, P. J.; AMORIM, M.; Clara, P. Fish sounds and boat noise are prominent soundscape contributors in an urban European estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 172, p. 112845, 2021.

WYSOCKI, L. E.; DITTAMI, J. P.; LADICH, F. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. **Biological Conservation**, v. 128, n. 4, p. 501-508, 2006.