



## COMO A ACÚSTICA PODE SER UTILIZADA COMO UM RECURSO BIOTECNOLÓGICO AMBIENTAL MARINHO?

YAGHO FERREIRA RAMOS; MURILO MINELLO; UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JUNIOR; BERNARDO ANTONIO PEREZ DA GAMA; FABIO CONTRERA XAVIER

### RESUMO

Os oceanos são fundamentais para a vida no planeta e suportam muitos bens e serviços ecossistêmicos. No entanto, diferentes pressões têm ameaçado esses ecossistemas. Nesse contexto, a Biotecnologia pode ser uma ferramenta útil para alcançar as principais metas estabelecidas na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. O objetivo deste trabalho é caracterizar um método acústico como recurso biotecnológico para a avaliação de um ambiente marinho. Este estudo foi realizado na Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo, no Estado do Rio de Janeiro. Os dados foram coletados por um sistema fixo de aquisição equipado com hidrofones que foi instalado em um ponto próximo ao costão rochoso da ilha. A partir de uma análise da paisagem acústica local, observamos que os menores valores mínimos e os maiores valores máximos foram encontrados em bandas mais baixas. O maior coeficiente de variação em bandas mais baixas ocorre devido aos picos de antropofonia. Bandas mais altas apresentaram menor variação e maior estabilidade, devido à predominância de biofonia e menor influência de sons antrópicos. Analisando o Índice de Complexidade Acústica, é possível observar que os maiores valores de mediana e o maior valor máximo dos níveis de pressão sonora foram obtidos em períodos de água fria e sem embarcações. Isso pode sugerir grande influência do fenômeno da ressurgência sobre a complexidade acústica local. Os testes estatísticos demonstram que condições de temperatura da água e ruído antropogênico são fatores capazes de afetar a complexidade de uma paisagem acústica. Neste âmbito, estimamos o desenvolvimento de produtos e serviços baseados em características bioacústicas para medição de parâmetros que auxiliem na avaliação da saúde de ambientes marinhos. O Monitoramento Acústico Passivo possui papel importante no monitoramento da biodiversidade e pode auxiliar em práticas de conservação e gestão ambiental. Assim, o desenvolvimento e ampliação da Biotecnologia Marinha somam-se aos esforços científicos, em prol do Oceano que queremos.

**Palavras-chave:** Monitoramento Acústico Passivo; Paisagem Acústica Submarina; Biofonia; Índice de Complexidade Acústica; Serviços ecossistêmicos.

### 1 INTRODUÇÃO

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

Para minimizar esses problemas, a Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030) (UN, 2015). Entre os objetivos propostos, o ODS 14 – Vida na Água – visa conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos. Isso ocorre através do incentivo o desenvolvimento de tecnologias de pesquisa científica para contribuir para a saúde dos oceanos e da biodiversidade marinha. Nesse contexto, a Biotecnologia pode ser uma ferramenta útil para alcançar as principais metas estabelecidas na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

A Biotecnologia pode ser definida como campo de aplicação tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos ou derivados destes, para fabricar produtos ou processos com utilidade específica (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 1992). Diferentes áreas da biotecnologia podem se relacionar entre si e constituir outras áreas de aplicação, como a Biotecnologia Ambiental Marinha. Segundo Singh (2017), a Biotecnologia Ambiental consiste no desenvolvimento, uso e regulação de sistemas biológicos (produtos ou serviços) para aplicações em diferentes campos, incluindo monitoramento ambiental. A Biotecnologia Ambiental Marinha está presente em diversas atividades de pesquisa ao utilizar um sistema biológico marinho para obter informações sobre seu ambiente. Neste caso, um exemplo consiste no uso recorrente de organismos indicadores ecológicos pela comunidade científica para estudos ambientais (PARMAR *et al.*, 2016).

O monitoramento ambiental é essencial para a conservação e preservação de ecossistemas marinhos (COSTELLO *et al.*, 2017). No entanto, muitas tecnologias utilizadas não são sustentáveis e possuem caráter invasivo (WYNSBERGHE e DONHAUSER, 2018). Uma alternativa a isso é o uso de técnicas de Monitoramento Acústico Passivo (MAP), que se baseiam na recepção de sinais acústicos por meio de sensores. Diversos estudos mostraram que o MAP é uma ferramenta inovadora, não invasiva e promissora para avaliar os ecossistemas marinhos (MERCHANT *et al.*, 2015; HOWE *et al.*, 2019).

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

O objetivo deste trabalho é caracterizar um método acústico como recurso biotecnológico para a avaliação de um ambiente marinho. Para isso, analisamos as variações na paisagem acústica de uma área de costão rochoso e; analisamos a complexidade acústica da Paisagem Acústica Submarina.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo (23°00'04"S, 42°00'34"W). O município está localizado na Região dos Lagos, litoral sudeste do Estado do Rio de Janeiro. Nos últimos anos, observou-se o crescimento do fluxo turístico na região, atraído principalmente pelas praias, atividades náuticas e mergulho autônomo. O aumento constante e expressivo da atividade turística na região tem chamado a atenção, sobretudo pelos potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos (FABIANO, 2011).

O monitoramento foi realizado pelo projeto “Construção de Métodos de Sinalização com Características de Ruídos Bioacústicos da Comunicação submarina” (BIOCOM). Os dados foram coletados por um sistema fixo de aquisição equipado com hidrofones (modelo digital Hyd TP-1 de 4 canais da Marsensing Ltda). O equipamento foi instalado em um ponto próximo ao costão rochoso da ilha. O sistema foi configurado com uma frequência de amostragem de 52.7 Hz, resolução de 24 bits, sensibilidade de -174,9 dB re 1V/1 $\mu$ Pa e resposta plana entre 0,1 e 40 kHz. As gravações acústicas foram realizadas entre 08 de fevereiro de 2018 e 31 de janeiro de 2019 com uma taxa (*duty cycle*) de 20% – 1 minuto a cada 5 minutos (12min/h). Durante o período de monitoramento, foram coletados cerca de 84 mil minutos de gravações acústicas.

A caracterização da paisagem acústica foi realizada a partir de 23 frequências centrais de 1/3 de oitava. Os níveis de pressão sonora das bandas (SPL dB re 1 $\mu$ Pa) foram calculados para cada minuto nas frequências: 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 kHz (11.2 - 14.1 kHz), 16 kHz (14.1 - 17.8 kHz), 20 kHz (17.8 - 22.4 kHz). A análise da variação de SPL foi realizada utilizando linguagem *Python*, levando em consideração medidas de tendência central e medidas de dispersão.

Para calcular o Índice de Complexidade Acústica (ACI) foi utilizado o pacote *Soundecology* do *R* (3.6 version) (VILLANUEVA-RIVERA & PIJANOWSKI, 2018). Este índice é calculado através da diferença absoluta entre dois valores adjacentes da intensidade, dentro de determinadas caixas de frequência e intervalos temporais no espectrograma (PIRETTI *et al.*, 2011). O ACI é calculado para cada gravação selecionada. Nesta análise, consideramos o intervalo de frequência entre 125 Hz e 20 kHz, valor do algoritmo para processamento digital de sinais (FFT = 1024) e tamanho do cluster ( $j = 5$  segundos).

As gravações foram selecionadas levando em consideração condições de temperatura da água, radiação solar, precipitação, vento, número de embarcações e período do dia. Nesta análise, foram consideradas apenas as gravações do período do dia, entre 08-17h. As gravações foram divididas em um grupo controle e quatro grupos para comparação. Para o grupo controle foram considerados: temperatura da água entre 21° e 22°C; radiação solar ( $\leq 10$  KJ/m<sup>2</sup>); sem precipitação (=0mm); sem vento ( $\leq 2$ m/s) e sem embarcações (<10).

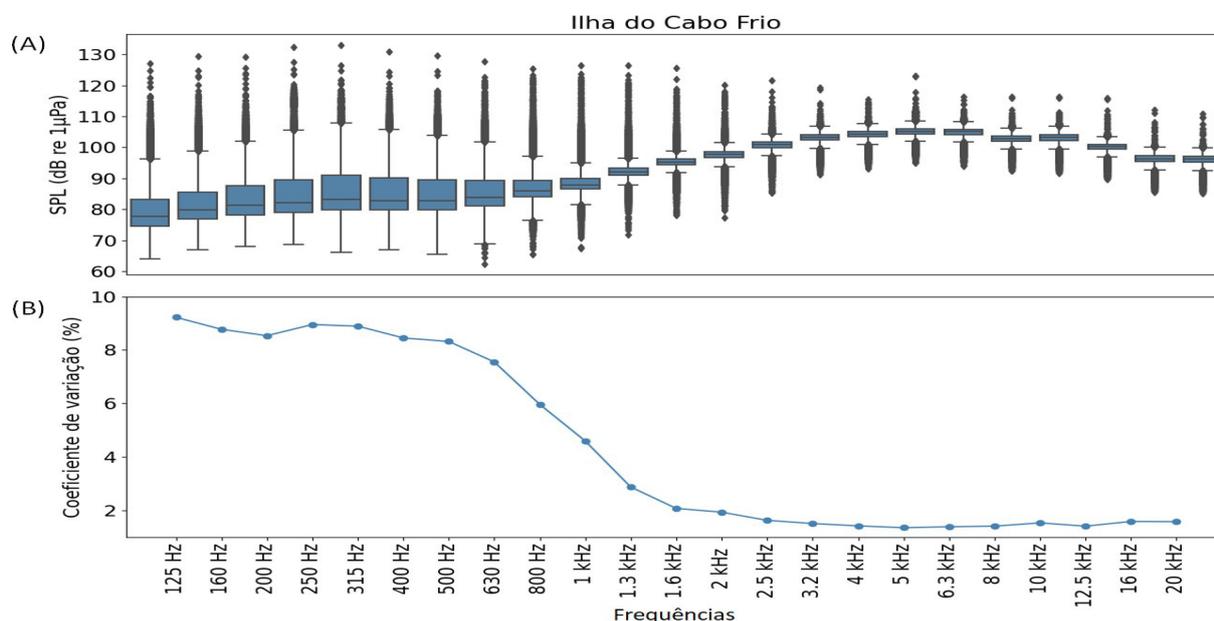
Para os grupos de comparação, foram consideradas como principais variáveis: água fria ( $\leq 20^\circ\text{C}$ ) e água quente ( $\geq 24^\circ\text{C}$ ); dias sem embarcações (<10) e com embarcações (>100). Assim foram estabelecidos seguintes grupos: (AQ\_sE) água quente e dias sem embarcações; (AQ\_cE) água quente e dias com embarcações; (AF\_sE) água fria e dias sem embarcações e; (AF\_cE) água fria e dias com embarcações. Para todos os grupos comparados, foram considerados os parâmetros de radiação solar  $\geq 300$  KJ/m<sup>2</sup>, precipitação = 0mm e vento Nordeste  $\geq 3$ m/s (entre 0/80°(gr)). As gravações que não se enquadraram nestas condições foram desconsideradas nesta análise.

Os valores de ACI foram submetidos ao teste de normalidade D’Agostino-Pearson. Em seguida, foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis, para avaliar diferenças estatísticas significativas e o teste post-hoc de Dunn, de comparações múltiplas. A análise estatística foi realizada utilizando linguagem *Python*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a caracterização inicial da Paisagem Acústica do costão rochoso da Ilha do Cabo

Frio, analisamos os níveis de pressão sonora (SPL) das diferentes bandas de frequência. A variação anual do SPL, acompanhada do coeficiente de variação (cv) é apresentada na Figura 1.



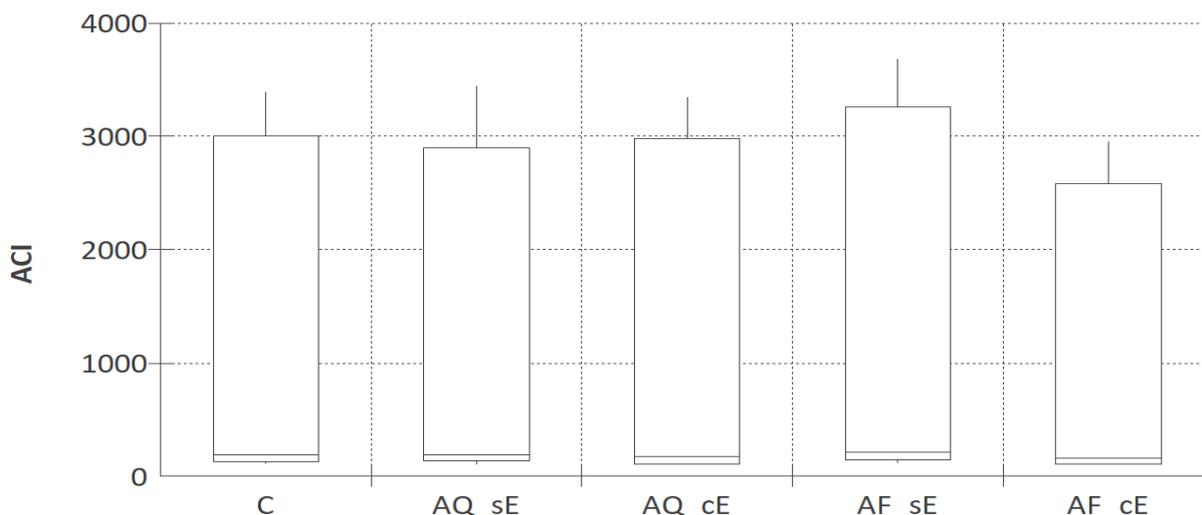
**Figura 1:** Variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava, da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo – RJ (A); Coeficiente de variação calculado para a variação anual de SPL nas bandas de frequências centrais de 1/3 de oitava (B). Dados obtidos de gravações entre fevereiro de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

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

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

O maior CV em bandas mais baixas ocorre devido aos picos de antropofonia, predominantes em frequências <1kHz (HILDEBRAND, 2009). Bandas mais altas apresentaram menor variação e maior estabilidade, devido à predominância de biofonia e menor influência de sons antrópicos (CAMPBELL, 2018).

Para a análise de complexidade da PAS da Ilha do Cabo Frio, foram consideradas as variáveis: temperatura da água e número de embarcações. A distribuição dos valores de ACI calculados para cada grupo é apresentada na Figura 2. O ACI permite identificar alterações nos padrões das paisagens acústicas. Este índice baseia-se na hipótese de que estes sons bióticos têm uma variabilidade intrínseca de intensidades. Em contrapartida, ruídos de origem antrópica apresentariam valores constantes de intensidade (PIERETTI *et al.*, 2011).



**Figura 2:** ACI em diferentes condições de temperatura e número de embarcações, considerando as faixas de frequências entre 125Hz - 20kHz. Classificação das variáveis em: “AQ” – água quente; “AF” – água fria; “sE” – sem embarcações; “cE” – com embarcações.

Analisando os valores de ACI, é possível observar que os maiores valores de mediana e o maior valor máximo foram obtidos em períodos de água fria e sem embarcações. Isso pode sugerir grande influência do fenômeno da ressurgência sobre a complexidade acústica local. A ressurgência costeira consiste no afloramento de águas mais frias e ricas em nutrientes favorecem a produtividade primária e influenciam diretamente a composição das espécies marinhas (BATISTA, GRANTHOM-COSTA e COUTINHO, 2020).

Em contrapartida, os menores valores de mediana correspondem aos períodos de água fria e com embarcações. Esses resultados podem sugerir a influência negativa do ruído sobre a complexidade do ambiente. Em seus respectivos trabalhos, Xavier *et al.* (2018), Campbell *et al.* (2019) e Mendes (2021) destacam e descrevem a atividade bioacústica presente nos costões locais e a influência exercida pela antropofonia.

Os testes estatísticos indicaram que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) em relação à complexidade entre AQ\_cE x AF\_sE e AF\_cE x AF\_sE.

A utilização do ACI como métrica, permitiu identificar alterações nos padrões da PAS local. Neste caso, os testes estatísticos demonstram que condições de temperatura da água e ruído antropogênico são fatores capazes de afetar a complexidade de uma paisagem acústica. Há, no entanto, algumas comparações onde não foram identificadas diferenças significativas. Diante disso, sugere-se que outras análises envolvendo estas faixas de frequências sejam realizadas.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, ressaltamos o potencial promissor do Monitoramento Acústico Passivo para estudos ambientais. A aplicação desta metodologia pode permitir a extração de informações que, por vezes, não são evidenciadas por meio de outras metodologias mais convencionais. Além de um potencial mais sustentável, o MAP permite um monitoramento em ampla escala (temporal e espacial), detecção de espécies raras e com hábitos crípticos e o monitoramento de ambientes de difícil acesso.

A aparente sensibilidade das Paisagens Acústicas Submarinas pode ajudar a identificar a influência do ruído e de outras variáveis sobre os organismos marinhos. Diante das limitações observadas nesta análise preliminar, estimamos o monitoramento acústico da região por períodos mais longos, para uma análise em escala sazonal. Além disso, aspiramos à realização de mais análises a partir outras métricas como, por exemplo, outros índices

ecoacústicos.

Embora a relação entre a “Biotecnologia” e a “Acústica” não seja evidenciada nas bases de literatura mais usuais, diversos estudos estimam a utilização de sons de origem biológica para avaliar sistemas biológicos. Neste âmbito, estimamos o desenvolvimento de produtos e serviços baseados em características bioacústicas para medição de parâmetros que auxiliem na avaliação da saúde de ambientes marinhos. Logo, de acordo com sua definição, podemos classificar a utilização da biofonia como recurso dentro da área da Biotecnologia Ambiental Marinha. O reconhecimento das assinaturas acústicas de animais como produto biotecnológico extrapola os limites mais tradicionais, mas que ampliam as possibilidades para novos ramos de pesquisa.

Diante do acelerado processo de degradação de ecossistemas marinhos, estimamos que recursos biotecnológicos baseados em acústica sejam amplamente explorados e difundidos no Brasil. O Monitoramento Acústico Passivo possui papel importante no monitoramento da biodiversidade e pode auxiliar em práticas de conservação e gestão ambiental. Assim, o desenvolvimento e ampliação da Biotecnologia Marinha somam-se aos esforços científicos, em prol da conservação dos oceanos e seus recursos.

## REFERÊNCIAS

- BARBIER, E. B. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 2017, v. 27 (11), p. R507-R510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.020>.
- BATISTA, D.; GRANTHOM-COSTA, L. V.; COUTINHO, R. (2020). **Biodiversidade Marinha dos Costões Rochosos de Arraial do Cabo: Histórico, Ecologia e Conservação**. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira.
- BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N.; CORRIAS, V.; FARINA, A.; FILICCIOTTO, F.; MACCARRONE, V.; GRAMMAUTA, R.; CARUSO, F.; GIUSEPPE, A.; MAZZOLA, S. (2016). Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. *Scientific reports*, v. 6, n. 1, p. 1-13. DOI: [10.1038/srep34230](https://doi.org/10.1038/srep34230).
- CAMPBELL, D. (2018). **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Arraial do Cabo, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/843553>. Acesso em 01 Out. 2021.
- CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L. L.; NETTO, E. B. (2019). Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio island, Brazil. *Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL*, 37, 070003. DOI: [10.1121/2.0001100](https://doi.org/10.1121/2.0001100).
- CLAUDET, J. *et al.* (2020). A roadmap for using the UN Decade of ocean science for sustainable development in support of science, policy, and action. *One Earth*, Elsevier, v. 2, n. 1. p. 34–42. DOI: [10.1016/j.oneear.2019.10.012](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.012).
- CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. (1992). **Estudos Avançados** [online]. v. 6, n. 15, p. 193-233. DOI: [10.1590/S0103-40141992000200015](https://doi.org/10.1590/S0103-40141992000200015). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/H5FpKWzV533fzcdFZXxFAQbM/?lang=en>. Acesso em 01 Out. 2021.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PIERETTI, N.; FARINA, A.; MORRI, D. (2011). A new methodology to infer the singing

activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). In: *Ecological Indicators*. Elsevier, 11, p.868-873. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.11.005

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

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

UN GENERAL ASSEMBLY. (2015). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**, 21 October 2015, A/RES/70/1.

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

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

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