



MARINHA DO BRASIL

INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

**PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
MARINHA**

DANIEL CAMPBELL DE ANDRADE

**ESTUDO DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA REGIÃO DO ARRAIAL DO
CABO, RIO DE JANEIRO, BRASIL**

ARRAIAL DO CABO / RJ

2018

DANIEL CAMPBELL DE ANDRADE

**ESTUDO DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA REGIÃO DO ARRAIAL DO
CABO, RIO DE JANEIRO, BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso, 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: MSc. Fábio Contrera Xavier

ARRAIAL DO CABO / RJ

2018

DANIEL CAMPBELL DE ANDRADE

**ESTUDO DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA REGIÃO DO ARRAIAL DO
CABO, RIO DE JANEIRO, BRASIL**

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. Bruno Corrêa Meurer
Universidade Santa Úrsula

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

Dr. Rogério Neder Candella
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

Prof. Dr. Flavio da Costa Fernandes
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

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

Arraial do Cabo, 08 de março de 2018.

Aos meus avós, Geraldo e Julieta, e meus pais, Márcia e Luiz. Sem o apoio e amor incondicional deles não seria possível realizar esse sonho.

Agradecimentos

À minha família, que sempre fizeram tudo para que eu conseguisse alcançar meus sonhos.

Ao meu irmão, Michel C. de Andrade, por tudo que vivemos juntos.

Ao Dr. Eduardo B. Fagundes Netto, pela confiança de me aceitar como seu orientando e pela oportunidade conviver com todos do IEAPM novamente.

Ao MSc. Fabio C. Xavier, pela imensa paciência e dedicação com o projeto e pela grande amizade criada.

Ao Dr. Luiz Ricardo Gaelzer, por todo apoio desde o tempo de estágio da graduação até os dias de hoje.

À Jurema Quintanilha, a Dra. Wanda Ribas, a Dra. Elisabeth S. Martins e Dra. Eliane G. Rodriguez por participarem e apoiarem minha trajetória como biólogo e amigo.

Ao aluno e futuro mestre Ubirajara, por ser meu fiel escudeiro sempre presente nas tardes de discussões acústicas.

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

Ao departamento de Acústica Submarina e ao departamento de Bioacústica, que sem o apoio técnico destes, esse estudo jamais aconteceria.

Ao departamento de Oceanografia Biológica, aonde passei bons momentos entre bons amigos e bons cafés.

Ao Dr. Ricardo Coutinho, Ten. Beatriz Dutra e a equipe do PPGBM por serem sempre tão compreensivos e solícitos.

Aos alunos do PPGBM pela chance e oportunidade de conhecer cada um deles e aumentar a lista de amigos queridos do IEAPM.

Ao Carlos Gustavo Ferreira, José Policarpo e Jean Miranda pela amizade e por nunca deixarem o espírito de biólogo morrer em mim.

Aos meus amigos, Fernando Paladino, Atton Sawada, Leonardo Versiani, Luciana Leite que me ensinaram que família além do sangue é quem escolhemos para estar ao nosso lado.

Ao Dr. Ricardo Chiattonne e todos que cuidaram da minha saúde durante todos esses anos para que eu pudesse me dedicar aos meus sonhos.

Ao João Carlos que sem me conhecer doou sua medula me dando a oportunidade de buscar meus sonhos.

Ao amigo Rodrigo Cozzolino, por me inspirar e motivar a viver um dia de cada vez.

A todos que acompanharam minha trajetória até aqui e vibraram por minha felicidade de dar cada passo novo nessa nova vida.

“Não são as espécies mais fortes que sobrevivem, nem as mais inteligentes e sim as mais suscetíveis as mudanças.” Charles Darwin.

RESUMO

A paisagem acústica submarina é entendida como elemento do ecossistema. O princípio fundamental da ecologia da paisagem acústica depende do fato que o som é parte da natureza e fornece informações valiosas sobre o meio em que este é produzido. O som gerado pelas espécies presentes em um determinado habitat cria um ambiente particular, uma paisagem acústica local. Contudo, o ruído gerado por atividades humanas é considerado um poluente ambiental, com potencial de impactar ecossistemas marinhos. Neste estudo, foram realizadas medições acústicas com o objetivo de caracterizar a paisagem acústica local e identificar padrões dos sons biológicos e antropogênicos na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil. Os resultados evidenciam a existência de um padrão para os sons de origem biológica com influência antropogênica. Esse padrão possivelmente sofre influência da variação da maré e do período de luz solar. O padrão da biofonia manteve algumas características. Por exemplo, os picos de potência média no alvorecer e anoitecer, assim como a redução desses níveis durante o período diurno, não apresentaram variação temporal significativa. Além disso, os sons de origem antropogênica causaram uma importante interferência no padrão dessa paisagem acústica local. As interferências ocorreram em momentos da madrugada e durante o período diurno. Esses períodos estão relacionados com a atividade pesqueira na marina dos pescadores e as embarcações de turismo que são características da região. Dessa forma, as medidas acústicas utilizadas (potência, entropia e máximo de potência/pico de frequência) demonstraram ser eficazes no auxílio à quantificação do impacto sonoro e na própria caracterização da paisagem acústica natural. A partir desses resultados foi possível ter uma visão holística do comportamento biológico e do impacto ambiental de atividades humanas na região.

Palavras-chave: Acústica submarina. Antropofonia. Biofonia. Ecologia acústica. Paisagem acústica submarina.

ABSTRACT

The underwater soundscape is seen as an element of the ecosystem. The fundamental principle of soundscape ecology lies on the fact that sound is a part of nature and provides valuable information on the environment in which it is produced. The sounds generated by the species living in a particular habitat create a specific environment, a local soundscape. However, the noise created by human activities is considered an environmental pollutant with the potential of affecting marine ecosystems. In this study, acoustic measurements were taken with the goal of profiling the local soundscape and identifying patterns of biological and anthropogenic sounds in the region of Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brazil. Results show the existence of a pattern for sounds of biological origin. This pattern shows influence from tide conditions and periods of sunlight. The biophonic pattern maintained some characteristics. For instance, levels of mean power peak at dusk and dawn as well as their decrease during daytime, it did not have significant temporal variations. Besides, sounds of anthropogenic origin interfered greatly in this soundscape pattern. The interferences happened during late-night hours and daytime. These timeframes are related to fishing activities at the dock and to the presence of tourism boats, typical in this region. Therefore, the acoustic measurements taken (power, entropy, and maximum frequency) have proven effective in helping to quantify the acoustic impact on the natural soundscape. These results enabled a holistic vision of the biological behavior and of the impacts caused by human activities on the environment.

Key-words: Anthrophony. Biophony. Soundscape ecology. Underwater acoustic. Underwater soundscape.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA (<i>UNDERWATER SOUNDSCAPE</i>) ..	11
1.2 BIOFONIA COSTEIRA.....	13
1.3 ECOLOGIA DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA	15
1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3 A VARIABILIDADE DIUTURNA DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO - RJ, BRASIL.....	20
4 <i>THE INFLUENCE OF BIOPHONY AND ANTHROPHONY ON THE REGIONAL UNDERWATER SOUNDSCAPE PATTERN OF CABO FRIO ISLAND, ARRAIAL DO CABO – RJ, BRAZIL</i>	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O oceano contém grande parte dos sistemas biológicos mais diversos da Terra, e a necessidade de monitorar a diversidade desses ecossistemas é de alta prioridade para os esforços de conservação (Convention on Biological Diversity, 2010). Esses ecossistemas prestam diferentes tipos de serviços ambientais que dependem de seu funcionamento saudável. Contudo, esses sistemas marinhos têm sido degradados e explorados de uma maneira insustentável. Comunidades marinhas são muitas vezes influenciadas por diversos tipos de poluição de origem terrestre, como os resíduos sólidos, lançamento de efluentes e sedimentos. A intensificação na redução da qualidade da água impacta negativamente os habitats marinhos, prejudicando a manutenção da biodiversidade. Os ambientes costeiros possuem fontes de recursos naturais insubstituíveis e a perda desses habitats pode resultar em um dano permanente.

Apesar do crescente esforço mundial de conservação, a biodiversidade continua a diminuir em diversos ecossistemas do planeta. Essa redução da biodiversidade representa uma ameaça ao bem-estar da humanidade e à estabilidade dos ecossistemas e habitats (HARRIS; RADFORD, 2014).

Cogan et al. (2009) discutem o papel do mapeamento dos habitats marinhos nas práticas de gestão dos ecossistemas. A base científica necessária para o planejamento, por meio de uma abordagem ecossistêmica sustentável, sugere que o mapeamento e classificação dos habitats devem ser realizados nas fases iniciais do planejamento da gestão da biodiversidade e seu monitoramento (MCINTYRE, 2015).

O monitoramento ambiental é um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar (qualitativa e quantitativamente) as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo (EMBRAPA, 2017). Para a realização de atividades com grande potencial poluidor, diversos países, através da legislação ambiental local, exigem estudos e relatórios dos possíveis impactos gerados ao meio ambiente. O monitoramento ambiental é comumente utilizado na elaboração de estudos e relatórios ambientais na tentativa de mitigar os impactos que são gerados ou serão gerados por atividades poluidoras.

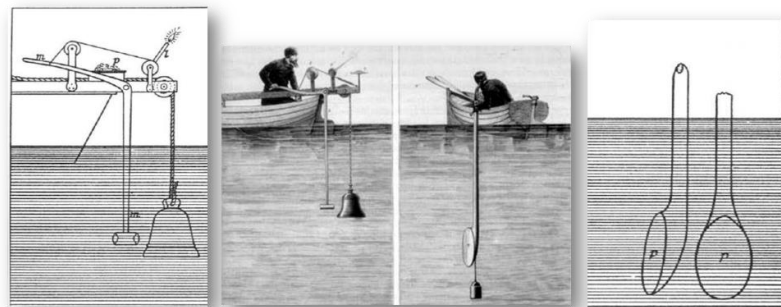
O aprimoramento das técnicas de Monitoramento Acústico Passivo ou *Passive Acoustic Monitoring* (PAM) submarino com a gravação dos sons nos habitats

marinhos tem levado a novas percepções no estudo de organismos sensíveis a fatores acústicos sobre um amplo campo de escalas temporais e espaciais (BLUMSTEIN et al., 2011; VAN PARIJS et al., 2009). Devido a essa rápida expansão no campo de estudos na área acústica, a demanda por especialistas acústicos vem crescendo ao longo dos últimos anos (WILLIAMS et al., 2015a).

Os primeiros registros de estudo da acústica submarina foram descritos por Leonardo Da Vinci, em 1490. Ele descreveu um experimento propondo detectar embarcações distantes através do som subaquático (URICK, 1983). Para isso ele propôs que, ao parar um barco e colocar um longo tubo na água e a outra extremidade no ouvido, seria possível ouvir navios a uma grande distância de si.

Em 1826, o físico suíço Daniel Colladon e o matemático francês Charles Sturm realizaram um experimento medindo o intervalo de tempo entre um feixe luminoso e a distância percorrida do som produzido por um sino submerso entre duas embarcações (D'AMICO; PITTENGER, 2009). Foi determinado um valor aproximado de 1.435 m/s para a velocidade do som subaquático nas condições ambientais locais, que está a 2% dos valores aceitos como corretos nos dias atuais (Figura 1).

Figura 1 – Experimento realizado por Colladon e Sturm em 1826 (MEDWIN; CLAY, 1997)



Fonte: MEDWIN; CLAY, 1997

No final do século XIX e início do século XX, surgiram os primeiros submarinos utilizados na Primeira Guerra Mundial, e estudos sobre a navegação submersa passaram a ser necessários. Entretanto, em 15 de abril de 1912, com o acontecimento do naufrágio do navio RMS Titanic, aonde 1.517 pessoas perderam suas vidas, estudos para tornar a navegação mais segura se intensificaram (BJØRNØ, 2003).

A necessidade de uma maneira consistente de comparar os pontos de maior intensidade sonora do sinal, e como eles mudam sob várias condições já existia desde

o surgimento das telecomunicações. Em 1920, o Bel (B) foi criado em homenagem ao inventor Alexander Graham Bell. Um (1) Bel representava um ganho ou perda de 10 de potência. Para a maioria dos cálculos utiliza-se o decibel (dB), ou 1/10 do Bel.

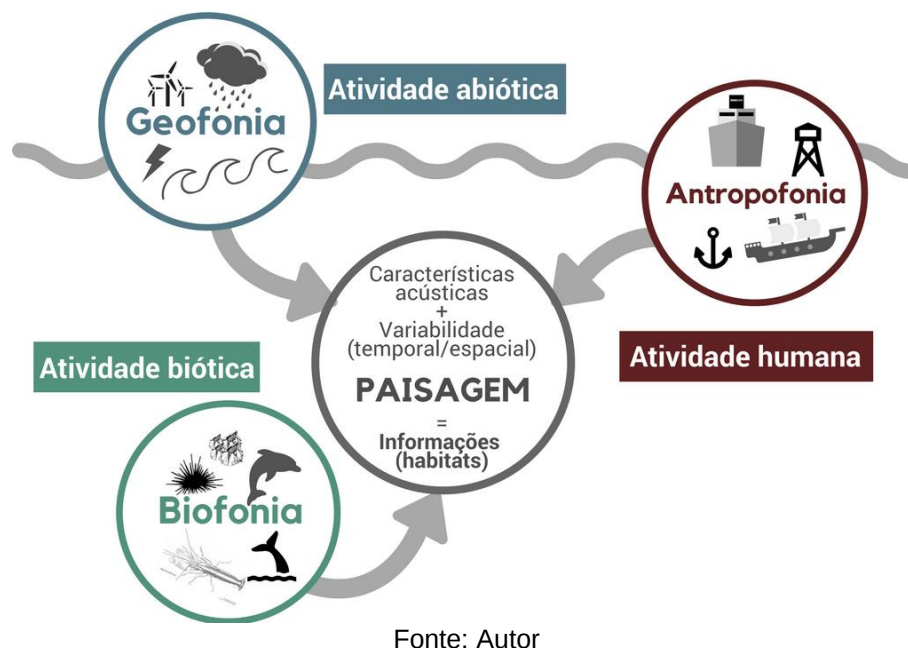
A acústica submarina apresenta um amplo campo de estudos. Uma das abordagens está relacionada ao nível do ruído, sendo empregada em apoio às operações navais. Esse ramo da ciência e tecnologia foi muito explorado durante as duas guerras mundiais. De acordo com Urick (1983), devido a esses acontecimentos, a geração, desenvolvimento e utilização desse campo de estudo evoluiu conforme o desenvolvimento das atividades de exploração dos oceanos. Atualmente, a acústica submarina ocupa um papel importante no desenvolvimento de grande parte das atividades submarinas, tanto na área de pesquisa básica, quanto no desenvolvimento tecnológico para aplicações comerciais (militares e civis).

1.1 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA (*UNDERWATER SOUNDSCAPE*)

Os sons submarinos podem ser gerados através de processos meteorológicos ou geológicos (geofonia), como ondas, chuvas, ventos, trovões e eventos sísmicos, além de sons de origem biológica (biofonia), gerados por diversos organismos marinhos que podem indicar a presença de características biológicas de um tipo particular de habitat. As comunidades ecológicas são geralmente específicas por tipos de habitat. A combinação da estrutura do habitat com o som gerado pelas espécies ali presentes cria um ambiente particular, uma paisagem acústica local. Essa paisagem acústica local pode ser um indicador confiável da diferença de habitats bentônicos para o assentamento de larvas (MONTGOMERY et al., 2006; RADFORD et al., 2008a; SIMPSON et al., 2005; STANLEY; RADFORD; JEFFS, 2012). Contudo, com a crescente exploração dos recursos, ocorre o aumento dos sons gerados por diversas atividades antropogênicas, como pesca, pesquisa sísmica, navegação, exploração de petróleo, entre outras (antropofonia).

A reunião dessas três fontes (geofonia, antropofonia e biofonia) geradoras de ruídos/som compõe a paisagem acústica submarina (Figura 2), que pode variar numa escala temporal e/ou espacial. Muitas dessas fontes sonoras estão localizadas ao longo do continente em águas rasas, que representam grande importância para habitats marinhos (HILDEBRAND, 2009).

Figura 2 – Fontes sonoras que compõem a paisagem acústica submarina



Essa paisagem acústica é entendida como elemento do ecossistema (PIJANOWSKI et al., 2011). De acordo com Harris e Radford (2014), o princípio fundamental do estudo da paisagem acústica considera o som (ruído) como componente da natureza e pode fornecer informações valiosas sobre o meio ambiente em que este é produzido. O ruído é considerado como o som indesejado em um ambiente, sua definição é subjetiva em relação à paisagem acústica analisada. Por exemplo, durante a avaliação da biofonia, a antropofonia é vista como um ruído. O som está presente em todas as profundidades e oceanos, comparado a outras fontes de sinais sensoriais no ambiente marinho, como luz e parâmetros químicos (KALMIJN, 1988). Além disso o som se propaga de forma independente de correntes sobre grandes distâncias, quando comparadas com outras variáveis ambientais de um mesmo habitat (LILLIS; EGGLESTON; BOHNENSTIEHL, 2013, 2014; MONTGOMERY et al., 2006), determinando padrões acústicos específicos para diferentes habitats.

Esses padrões da paisagem acústica submarina possuem o potencial de prover informações sensoriais significativas para organismos. Essas informações refletem em alterações nas características biológicas e físicas do ambiente e são relevantes em todos os ambientes, sendo de extrema importância para processos ecológicos marinhos (COTTER, 2009) e para a estrutura e funcionalidade das

comunidades marinhas. Pode ainda afetar em processos como orientação, reprodução, disposição territorial, forrageamento, assentamento das larvas e seleção de habitats (CATO; NOAD; MCCAULEY, 2005; MONTGOMERY et al., 2006).

Em águas rasas, a paisagem acústica submarina é particularmente afetada pelas condições da superfície em função dos ventos e das ondas, com a transmissão do ruído sendo influenciada pela batimetria do fundo do mar (URICK, 1983). As fontes abióticas de ruído (geofonia) incluem também abalos sísmicos.

A periodicidade e distribuição de ventos, ondas e tempestades tropicais sofre cada vez mais influência das mudanças climáticas (MICHENER et al., 1997). O impacto na paisagem acústica submarina relacionado às mudanças climáticas já pode ser observado na mudança da dinâmica do gelo. Esses sons de baixa frequência já são conhecidos como grande contribuinte para a paisagem acústica submarina em grande escala espacial (MIKSIS-OLDS; NICHOLS, 2016; WILCOCK et al., 2014). Ainda é desconhecido o quanto a mudança climática pode impactar na paisagem acústica submarina local e, conseqüentemente, na ecologia das espécies marinhas em regiões tropicais.

1.2 BIOFONIA COSTEIRA

A biofonia costeira é representada pelos sons gerados através de organismos costeiros presentes em costões rochosos, recife de corais e estruturas artificiais submersas. A distribuição de sons subaquáticos dos crustáceos não é excedida por nenhum outro tipo de animal. Alguns estudos com espécies de camarões demonstram que os sons gerados pelos estalos de suas pinças geram uma onda de pressão na água que pode ser considerada como uma grande arma no comportamento territorial. Esses estalos são ocasionados devido à redução da pressão ocasionada pelo rápido fechamento de suas quelas (EVEREST; YOUNG; JOHNSON, 1947; JOHNSON; EVEREST; YOUNG, 1947; VERLUIS et al., 2000). Esse fechamento cria uma bolha na cavidade que, quando explode, gera um som com potência que varia de 183 a 189 dB re 1 μ Pa a 1m (AU; BANKS, 1998), dentro da faixa de frequência sentida por peixes marinhos e possíveis larvas de invertebrados (STANLEY; RADFORD; JEFFS, 2012). O som dos estalos dos camarões ocorre em diversos habitats marinhos, incluindo banco de corais, cavidades de esponjas (HAZLETT; WINN, 1960), depositórios de corais e rochas (CONOVER; MILLER, 1978; HAZLETT; WINN, 1960). Estalos de

algumas espécies de camarões podem ser a fonte dominante no som ambiente em média de frequência (AU; BANKS, 1998; EVEREST; YOUNG; JOHNSON, 1947).

De acordo com Au e Banks (1998), os estalos dos camarões são uma das mais difusas fontes de ruídos biológicos em águas rasas. Tais estalos podem variar de 2,5 até 20 kHz, sendo facilmente identificados na faixa de frequência de aproximadamente 2 até 5 kHz. O número de estalos produzidos pelo camarão pode variar largamente para cada habitat estudado. Os estalos dos camarões são fontes biológicas onipresentes em águas tropicais e temperadas ao redor do mundo (AU; BANKS, 1998; BUTLER; STANLEY; BUTLER, 2016).

Os ouriços-do-mar são equinodermos sedentários, de locomoção relativamente lenta. Apresentam o corpo coberto por espinhos, sendo herbívoros e detritívoros, alimentando-se principalmente de algas. Esses organismos raspam o costão rochoso através de um órgão especial chamado lanterna de Aristóteles. São tipicamente encontrados no infralitoral, embora também sejam muito comuns na zona de médio litoral inferior. A frequência dos ruídos durante a alimentação dos ouriços-do-mar através da raspagem de algas fixadas a rochas pode variar de 800 até 2.500 Hz (BUTLER; STANLEY; BUTLER, 2016), com picos aproximadamente de 1.000 até 1.200 Hz e são mais ativos durante o crepúsculo (RADFORD et al., 2008a).

Os peixes produzem sons em baixas frequências (50 até 2.000 Hz, na maioria de 100 a 500 Hz). A intensidade sonora desse som pode ser uma forte componente para a paisagem acústica local (MYRBERG; FUIMAN, 2002; ZELICK; MANN; POPPER, 2011). Os sons dos peixes são produzidos de diversas maneiras, contudo são mais frequentes através da alimentação e/ou utilizando músculos da bexiga natatória que podem estar conectados a ossos. Os peixes não produzem sons apenas como indivíduos, mas também em coro (CATO; NOAD; MCCAULEY, 2005) e podem ser influenciados por variáveis ambientais como temperatura da água e período lunar (MCWILLIAM et al., 2017). O coro de peixes é definido como o som frequentemente produzido por vocalizações de diversos indivíduos que aumenta a intensidade sonora em baixa frequência podendo variar de 20 a 30 dB (HILDEBRAND, 2009). Essas vocalizações em baixa frequência são notáveis dentro da paisagem acústica em ambientes próximos à costa. Diversos coros demonstram elevada fidelidade com um habitat específico. Esses coros servem como indicador da importância ecológica desses habitats como área de agregação para desova. Os coros apresentam uma alta gama de periodicidade, de diárias a anuais. O estudo acústico dos coros fornece uma

nova percepção sobre a ecologia das espécies de peixes vocalizantes e seus ecossistemas (MCWILLIAM et al., 2017).

Mais recentemente, estudos realizados na costa da Carolina do Norte (EUA) registraram sons nos quais a assinatura acústica das ostras apresentou elevados níveis sonoros na faixa de frequência de 1,5 a 20kHz, em habitats de fundo arenoso (LILLIS; BOHNENSTIEHL; EGGLESTON, 2015; LILLIS; EGGLESTON; BOHNENSTIEHL, 2013, 2014). Esses estudos associam a influência da produção sonora originada dessa população de ostras na paisagem acústica submarina com o assentamento de suas larvas.

Estudos recentes estabelecem relação do ruído subaquático e os sinais de assentamento com uma variedade de larvas de peixes, moluscos e crustáceos, particularmente entre corais e sistemas de costões rochosos (STANLEY; RADFORD; JEFFS, 2012; TOLIMIERI; JEFFS; MONTGOMERY, 2000). Tais estudos sugerem que essas larvas podem detectar e responder às características associadas com seus habitats (MONTGOMERY et al., 2006; RADFORD et al., 2008b; SIMPSON et al., 2005).

Sinais de orientação e assentamento larval incluem salinidade, direção da corrente e turbulência, que podem ajudar a larva a se mover e assentar no habitat, assim como odor e filme bacteriano que auxiliam larvas a assentarem em substratos vantajosos e em proximidade suficiente para facilitar um sucesso reprodutivo como adulto (RITTSHOF et al., 1998). O som, em ambientes submarinos, também é importante na orientação de algumas larvas pelágicas de peixes recifais e decápodes para assentamento em habitats ao longo da costa (HOLLES et al., 2013; MONTGOMERY et al., 2006; RADFORD et al., 2008a; TOLIMIERI et al., 2004; TOLIMIERI; JEFFS; MONTGOMERY, 2000). O assentamento de diferentes espécies de larvas de peixes em recifes de corais é variavelmente afetado pela presença e alcance da frequência do som submarino transmitido por esses corais (DI IORIO et al., 2012).

1.3 ECOLOGIA DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

A ecologia da paisagem acústica apresenta uma visão holística da produção sonora integral da comunidade de organismos (SUEUR; AUBIN; SIMONIS, 2008). Utilizando essa abordagem, ecólogos têm desenvolvido diversas maneiras de aplicar os padrões acústicos como indicadores da paisagem, assim como da biodiversidade

em ambientes terrestres. O monitoramento, no contexto da ecologia da paisagem acústica, é mais rápido que as formas de monitoramento padrão, pois os dados podem ser coletados e analisados em tempo real (ELDRIDGE et al., 2015), enquanto medições da biodiversidade subaquática através de mergulhos requerem equipamentos caros e podem apresentar resultados tendenciosos devido à presença humana próxima no ambiente (DICKENS et al., 2011; FREEMAN et al., 2013).

Certos tipos de som, sejam naturais ou artificiais, podem prover pistas que ajudem os ecólogos a distinguirem entre um meio ambiente deteriorado ou saudável (PIJANOWSKI et al., 2011). Por exemplo, utilizando técnicas acústicas empregadas na identificação e rastreamento de populações ou indivíduos é possível avaliar a diferença entre populações e habitats, além da capacidade de recolonização de ambientes degradados através de ruídos e também como ferramenta de avaliação da densidade populacional ou diversidade entre populações (LAILOLO, 2010).

Ecologia da paisagem acústica submarina é um campo emergente. Pesquisas utilizando a paisagem acústica estão sendo realizadas em diversos países como, por exemplo, ao descrever padrões acústicos em habitats de regiões com clima temperado em zonas costeiras na Nova Zelândia (RADFORD et al., 2008b, 2010), ao comparar habitats através dos sons em diferentes recifes de coral (KENNEDY et al., 2010; STAATERMAN et al., 2014) e ao realizar medições espaciais heterogênicas em um ambiente costeiro, em uma região da Irlanda (MCWILLIAM; HAWKINS, 2013).

Somente nas últimas décadas, o ruído como uma fonte de distúrbio na vida marinha tornou-se um campo de estudo (SIMMONDS et al., 2014). Com o grande aumento da exploração dos recursos marinhos, torna-se cada vez mais necessário um plano de gestão ambiental e manejo dos recursos para cada região. Para desenvolver um plano de gestão apropriado para cada região é necessário entender como funciona o ecossistema local e o que interfere no seu equilíbrio. Através do monitoramento acústico passivo é possível agregar padrões acústicos fundamentais e suas variações temporais e espaciais que caracterizem a ecologia do habitat.

Os ruídos gerados de forma artificial nos oceanos (sons antropogênicos) recentemente passaram a ser considerados como poluentes. O ruído antropogênico é atualmente reconhecido como um problema global. O ruído das embarcações é cada vez mais reconhecido como um poluente significativo e disseminado com potencial de impactar ecossistemas marinhos em escala global (CLARK et al., 2009; PIROTTA et al., 2015; WILLIAMS et al., 2015a, 2015b).

Com o monitoramento da paisagem acústica submarina é possível entender a dinâmica das populações no habitat e compreender como os elementos da paisagem acústica afetam a funcionalidade do ecossistema local. Em resumo, o estudo da paisagem acústica promove o exame de padrões ecológicos, utilizando um quadro espacial e temporal mais amplo.

A ecologia da paisagem acústica submarina ainda carece de metodologias que avaliem de forma eficaz o potencial impacto ambiental gerado pela antropofonia em escalas temporais e espaciais que sejam relevantes para a fauna marinha e que afetem as funções dos ecossistemas.

1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos: 1 – Introdução, 2 – Objetivos, 3 – A Variabilidade Diuturna da Paisagem Acústica Submarina da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo -RJ, Brasil, 4 – *The influence of biophony and anthrophony on the regional underwater soundscape pattern of Cabo Frio Island, Arraial do Cabo – RJ, Brazil*, 5 – Considerações finais, 6 – Referências bibliográficas

No capítulo 2, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

No capítulo 3, foi realizado um estudo sobre a variabilidade diuturna da paisagem acústica submarina da enseada dos Anjos, Arraial do Cabo -RJ, Brasil. Esse estudo foi apresentado na forma oral durante o XXVII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, realizado entre os dias 28 a 30 de maio de 2017. Teve como objetivo caracterizar a paisagem acústica nos níveis da biofonia de maior influência de sons de invertebrados (faixa de frequência de 2 kHz a 4 kHz), em função da variação em escala temporal e da possível relação com fatores abióticos.

No capítulo 4, foi realizado um estudo sobre a Influência da biofonia e antropofonia no padrão da paisagem acústica submarina na região da ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo – RJ, Brasil. Esse estudo foi submetido à *Marine Pollution Bulletin*. O objetivo desse estudo foi caracterizar a paisagem acústica da região da ressurgência do Cabo Frio, analisando os padrões da biofonia e da antropofonia e suas contribuições para os padrões acústicos locais.

No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais. Esse capítulo sintetiza as conclusões encontradas nos estudos a partir dos resultados obtidos.

No capítulo 6, são apresentadas as referências bibliográficas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar e descrever os padrões da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a variação da escala temporal e espacial da biofonia;
- Analisar os padrões da biofonia e avaliar sua contribuição na paisagem acústica submarina;
- Analisar a influência da antropofonia na composição da paisagem acústica submarina.

3 A VARIABILIDADE DIUTURNA DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO - RJ, BRASIL



A VARIABILIDADE DIUTURNA DA PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO -RJ, BRASIL

CAMPBELL, Daniel¹; XAVIER, Fábio¹; SILVEIRA, Nilce¹, GONÇALVES, Ubirajara; FAGUNDES NETTO, Eduardo¹.

1- Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

RESUMO

Devido às mudanças climáticas e à acelerada degradação ambiental, o monitoramento da biodiversidade é considerado imprescindível para a conservação das espécies e seus ecossistemas. Atualmente, o monitoramento da Paisagem Acústica Submarina (PAS) tem se tornado uma saída utilizada por ecólogos no auxílio à identificação e monitoramento de ambientes marinhos saudáveis e/ou degradados. Tal monitoramento baseia-se no conceito da PAS, onde o ruído submarino possui origens biológicas (biofonia), antropogênicas (antropofonia) e/ou ambientais (geofonia). Ele pode fornecer detalhes sobre o habitat em tempo real, e também, evidenciar diversos efeitos das atividades humanas ou distúrbios naturais, que podem alterar o padrão natural do ruído. Com base nisso, o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) vem desenvolvendo, desde 2010, atividades de monitoramento da PAS na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo-RJ. Os dados acústicos foram coletados por 10 minutos a cada hora, por um hidrofone situado na Enseada do Anjos, próximo ao IEAPM. Os dados do mês de abril de 2013 foram analisados temporalmente na faixa de frequência de 2kHz a 4kHz. Os resultados mostram que a potência média possui um padrão temporal, onde a mesma aumenta durante períodos noturnos e diminui em períodos diurnos, com picos no crepúsculo. Também nota-se a possível influência da maré sobre os ruídos. Esse padrão temporal pode estar relacionado com a atividade biológica das espécies (camarões, cracas, ouriços, mexilhões, entre outros) localizadas nos costões próximos ao hidrofone.

Palavras-chave: Paisagem acústica; ecologia da paisagem acústica; acústica submarina, monitoramento acústico passivo.

ABSTRACT

Due to climate change and accelerated environmental degradation, monitoring of biodiversity is considered essential for the conservation of species and their ecosystems. Currently, the soundscape monitoring has become a tool that is used by ecologists to help in the identification and monitoring of healthy and/or degraded marine environments. Such monitoring is based on the Soundscape concept, where submarine noise has biological (biophony), anthropogenic (anthropophony) and/or environmental (geophony) origins. It can provide details on the habitat in real time, and also, show various effects of human activities or natural disturbances, which can change the natural pattern of noise. Based on this, the Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) has been developing, since 2010, activities of monitoring the marine soundscape in the Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo-RJ. The acoustic data were collected for 10 minutes every hour, by a hydrophone located at Enseada dos Anjos, near IEAPM. The data, for the month of April 2013, were analyzed temporarily in the frequency band of 2 kHz up to 4 kHz. The results show that the average power has a temporal pattern, where it increases during nocturnal periods and decreases in diurnal periods, with peaks in the dusk. The tide may be also affects the noises. This temporal pattern may be related to the biological activity of the species (shrimps, barnacles, sea urchins, mussels, among others) located in the rocky shores near the hydrophone.

Keywords: Soundscape ecology; Soundscape; Underwater soundscape, Passive acoustic monitoring.

INTRODUÇÃO

O oceano contém sistemas biológicos importantes do ponto de vista ecológico e econômico, e a necessidade de monitorar a diversidade desses ecossistemas é de alta prioridade para os esforços de conservação. O monitoramento da biodiversidade tornou-se uma ferramenta indispensável para este fim, devido à degradação ambiental de grande escala e das mudanças climáticas. Apesar do crescente esforço mundial de conservação, a biodiversidade continua a diminuir em diversos ecossistemas do planeta, representando uma ameaça ao bem-estar da humanidade e à estabilidade dos ecossistemas (HARRIS; RADFORD, 2014).

Os ruídos possuem diferentes tipos de origem. Juntos, os ruídos de origem biológica (biofonia), ambiental (geofonia) e antropogênica (antropofonia) constituem uma assinatura acústica que pode variar nas escalas espacial e temporal (PIJANOWSKI et al., 2011). Os mesmos autores consideram que a paisagem acústica é um dos elementos que compõem o ecossistema.

As comunidades ecológicas são geralmente específicas por tipos de habitat. A combinação da estrutura do habitat com os ruídos gerados pelas espécies ali presentes cria um ambiente particular, uma paisagem acústica local.

Padrões da paisagem acústica possuem o potencial de prover informações sensoriais significativas para animais, que refletem as mudanças nas características biológicas e físicas do ambiente. Comparado a outras fontes de sinais sensoriais no ambiente marinho, como luz e elementos químicos, o ruído está presente em todas as profundidades dos oceanos (COTTER, 2009). A paisagem acústica pode ser instrumento da estrutura e funcionalidade das comunidades marinhas, podendo afetar

em processos como locomoção, reprodução, disposição territorial, forrageamento, assentamento das larvas e seleções de habitats (CATO; NOAD; MCCAULEY, 2005; MONTGOMERY et al., 2006).

A biofonia (ruído biológico) cobre uma grande área de frequência sonora nos habitats marinhos. Alguns organismos aquáticos possuem a capacidade de produzir sons, que geralmente estão relacionados à comunicação, mas também podem ser sons incidentes de comportamento como alimentação, locomoção, reprodução, territorialismo e ecolocalização (CATO, 2005).

A distribuição de ruídos subaquáticos dos crustáceos não é excedida por nenhum outro tipo de animal (EVEREST; YOUNG; JOHNSON, 1947). Os estalos dos camarões são uma das mais difusas fontes de ruídos biológicos em águas rasas. Tais estalos podem variar de 2,5 kHz até 20 kHz, e não apresentam variações devido a hora do dia (AU, 1998).

Outros invertebrados como ouriços do mar também têm despertado o interesse de pesquisadores. A frequência dos ruídos durante a alimentação de ouriços pode variar de 0,8 kHz até 2,5 kHz com picos aproximadamente de 1 kHz até 1,2 kHz, e são mais ativos durante o crepúsculo (RADFORD et al., 2008).

Os peixes produzem ruídos em baixas frequências, variando de 0.05 kHz até 2 kHz, mas em sua maioria, emitem sons na faixa de 0.1 a 0.5kHz (MYRBERG; FUIMAN, 2002; ZELICK; MANN; POPPER, 2011). Peixes não produzem apenas ruídos como indivíduos, mas em coro, que são altamente variáveis por espécies, hora do dia e estação do ano. A energia em baixa frequência pode chegar a 20 ou 30 dB na presença do coro de peixes (HILDEBRAND, 2009).

Técnicas acústicas podem ser empregadas na identificação e rastreamento de populações ou indivíduos, na avaliação da diferença entre populações e habitats, na recolonização de ambientes degradados através de ruídos, e nas estimativas de densidade populacionais ou diversidade entre populações (LAILOLO, 2010).

O presente trabalho possui como objetivo a caracterização da paisagem acústica nos níveis da biofonia (faixa de frequência de 2 kHz a 4 kHz), sua variação temporal e sua possível relação com fatores abióticos.

DESENVOLVIMENTO

Área de estudo

As gravações acústicas foram realizadas durante o mês de abril de 2013 na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo – RJ (Figura 01). A morfologia da costa, associada ao regime de ventos de nordeste e leste que predominam principalmente entre os meses de setembro e março, desencadeiam o fenômeno da ressurgência. Assim, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) aflora à superfície, com características extremamente distintas, sendo as temperaturas menores que 20°C, chegando, muitas vezes, próximo a 15°C (FRANCHITO et al., 2008). As águas frias e ricas em nutrientes da ACAS contribuem para o aumento da riqueza de habitats e um consequente aumento na diversidade de espécies (VALENTIN; ANDRE; JACOB, 1987).

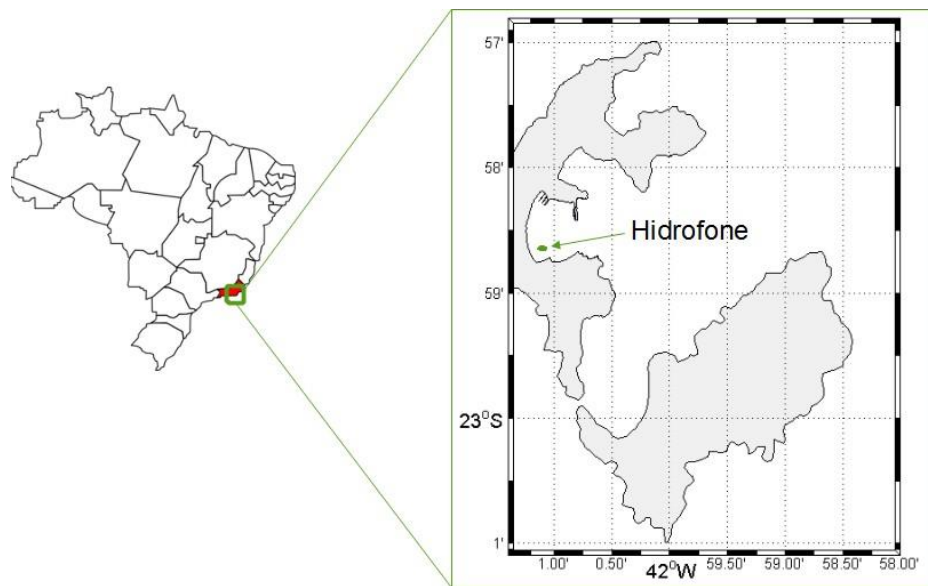


Figura 01: Área de estudo.

Coleta de dados *in situ*

As gravações foram feitas usando um hidrofone da marca *International Transducer Corporation*, modelo ITC-6080c com sensibilidade de -154dB re $1\text{V}/1\mu\text{Pa}$. Tais dados foram gravados durante o mês de abril de 2013, com uma frequência de amostragem $f_s = 44.1\text{kHz}$ (correspondente a frequência de Nyquist de 22.05kHz , resolução de 16 bits e digitalizados em formato *wav file* utilizando o software *ProTOOLS*). Eles foram armazenados em um notebook comercial, sendo 10 minutos a cada hora. O hidrofone estava a uma distância de 130m do antigo píer do IEAPM e 200m do costão. A profundidade local na região do hidrofone era de 4m e ele estava a 0,8m do fundo (Figura 02).

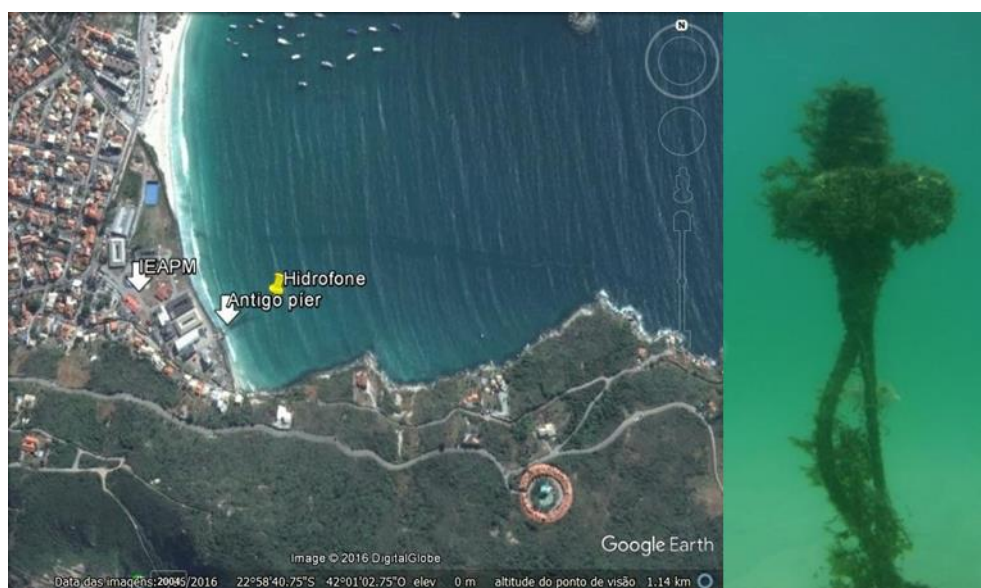


Figura 02: Posicionamento e hidrofone *in situ*.

Análise dos dados

A análise dos dados acústicos foi realizada utilizando os softwares *Raven* e *Matlab*. A Potência média (dB) foi calculada para cada arquivo de 10 minutos, no programa *Raven Pro 1.5*, na faixa de frequência entre 2 kHz a 4 kHz. Tais valores foram concatenados ao longo do tempo, de modo que fosse possível analisar a potência média nessa banda ao longo do tempo de monitoramento. A faixa de frequência foi selecionada devido à grande influência de sinais de origem biológica, como pode ser visto em (AU, 1998; EVEREST; YOUNG; JOHNSON, 1947; MYRBERG; FUIMAN, 2002; RADFORD et al., 2008) (Figura 03).

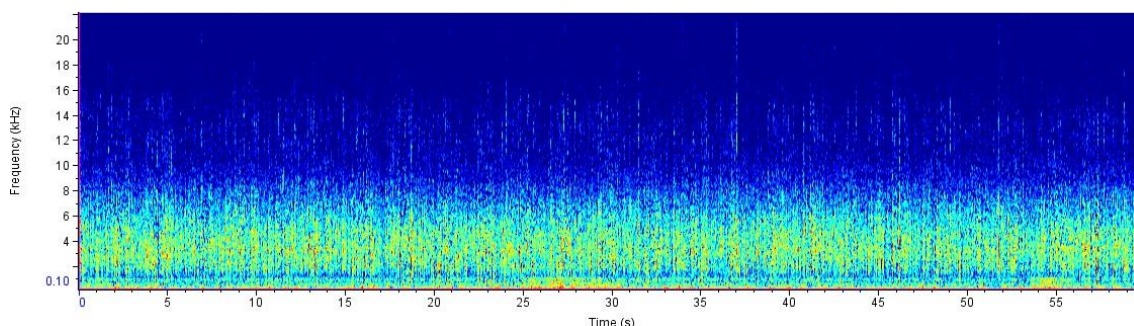


Figura 03: Exemplo do sinal coletado (Espectrograma).

Os dados abióticos (vento e maré) foram obtidos, respectivamente, pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Arraial do Cabo - RJ e pelo marégrafo da Marinha do Brasil instalado no Porto do Forno. Os dados de vento foram analisados semanalmente utilizando o software WRPLOT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação da potência média evidenciou um padrão diurno periódico ao longo do mês de monitoramento, onde a potência do ruído é maior durante a noite e menor de dia (Figura 04). As Figuras 05 e 06 mostram esse padrão através da média diária por semana e da potência durante o monitoramento. Na figura 05, nota-se também que durante o pôr (18h) e nascer (6h) do sol esse ruído é maior do que no restante das horas. Tais picos estão relacionados com uma maior atividade biológica durante os períodos de crepúsculo. De acordo com Radford et al (2008b), algumas espécies de crustáceos são mais ativas durante esses períodos.

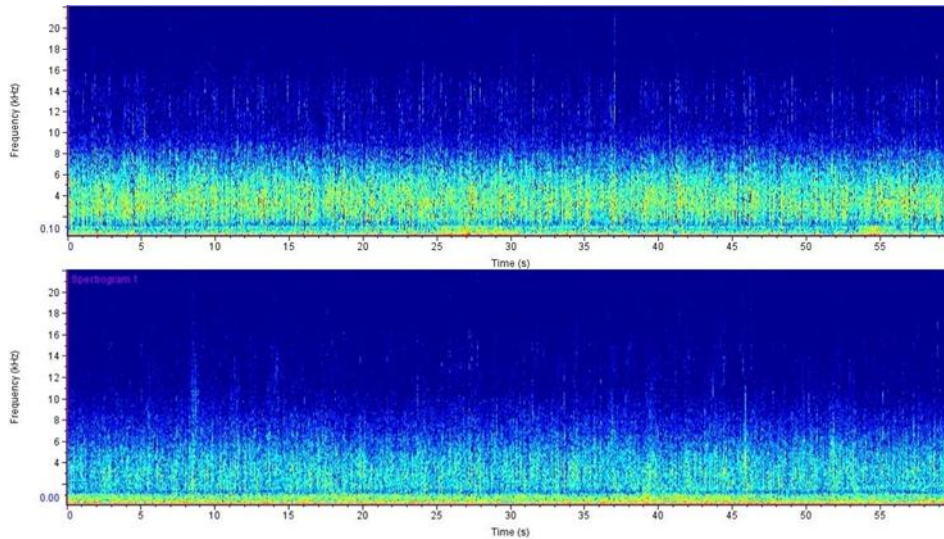


Figura 04: Espectrograma para 3h (superior) e 15h (inferior).

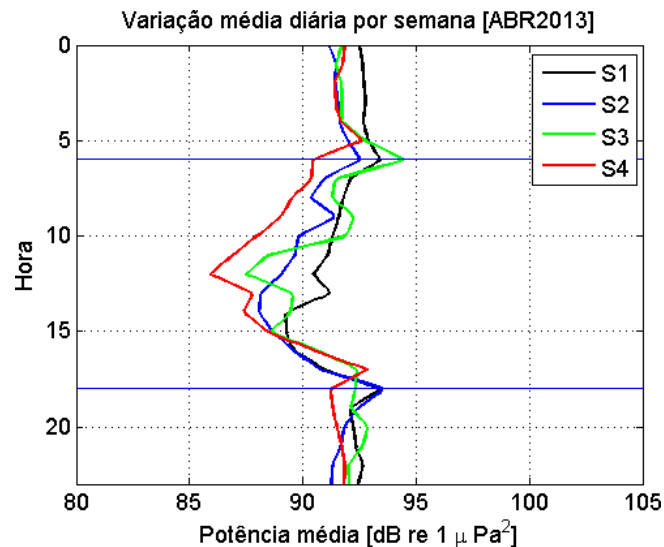


Figura 05: Média da variação diária por semana [S1: 1ª semana, S2: 2ª semana, S3: 3ª semana e S4: 4ª semana].

Além disso, entre o 15º e 20º dia do mês a potência média do ruído aumenta significativamente (em torno de 5 dB) o que indica a ocorrência de algum evento atípico, provavelmente provocado por um fator ambiental ou antropogênico (Figura 06 – retângulo tracejado). Analisando a potência média do ruído em relação a fase lunar nota-se o aumento do ruído no período de transição da lua nova para crescente. Ao contrário da maré de sizígia, na maré de quadratura ocorrem menores amplitudes, ou seja, o nível do mar varia menos nesse período. Outro fator importante é que nesse monitoramento a fase lunar não influencia a variação de ruído, exceto no período citado anteriormente. Nesse período, a influência indireta ocorre devido a uma menor amplitude de maré. Contudo, algumas espécies de animais têm demonstrado relação a padrões lunares e de maré (BUTLER et al., 2016; PARSONS et al., 2010). De acordo com Bertucci et al. (2015), durante a lua cheia alguns habitats apresentam um elevado nível de ruído em baixa frequência.

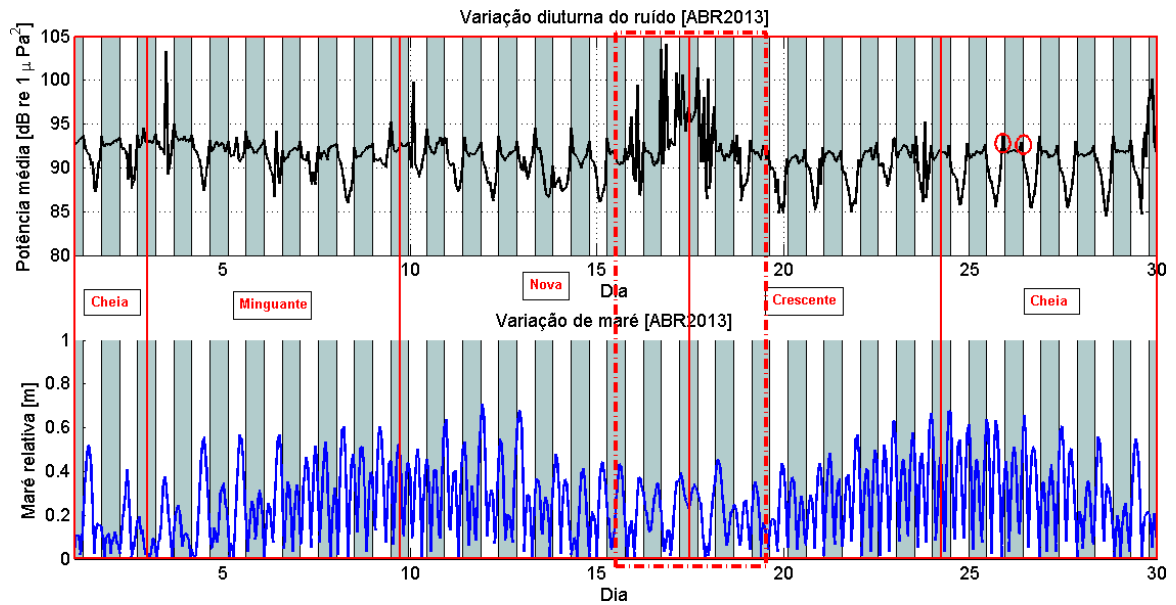


Figura 06: Variação da potência média (superior) e da maré (inferior) ao longo do mês de abril de 2013. (As faixas azuis e brancas representam, respectivamente, períodos noturnos e vespertinos; círculos vermelhos representam os períodos de pico durante o crepúsculo).

No mesmo período, os dados de vento mostram a incidência de ventos de OESTE, o que caracteriza a passagem de uma frente fria. Esse fenômeno coincidiu com o período de menor amplitude de maré, podendo influenciar a potência média (dB) dos ruídos. Contudo, não há dados suficientes para confirmar o ocorrido.

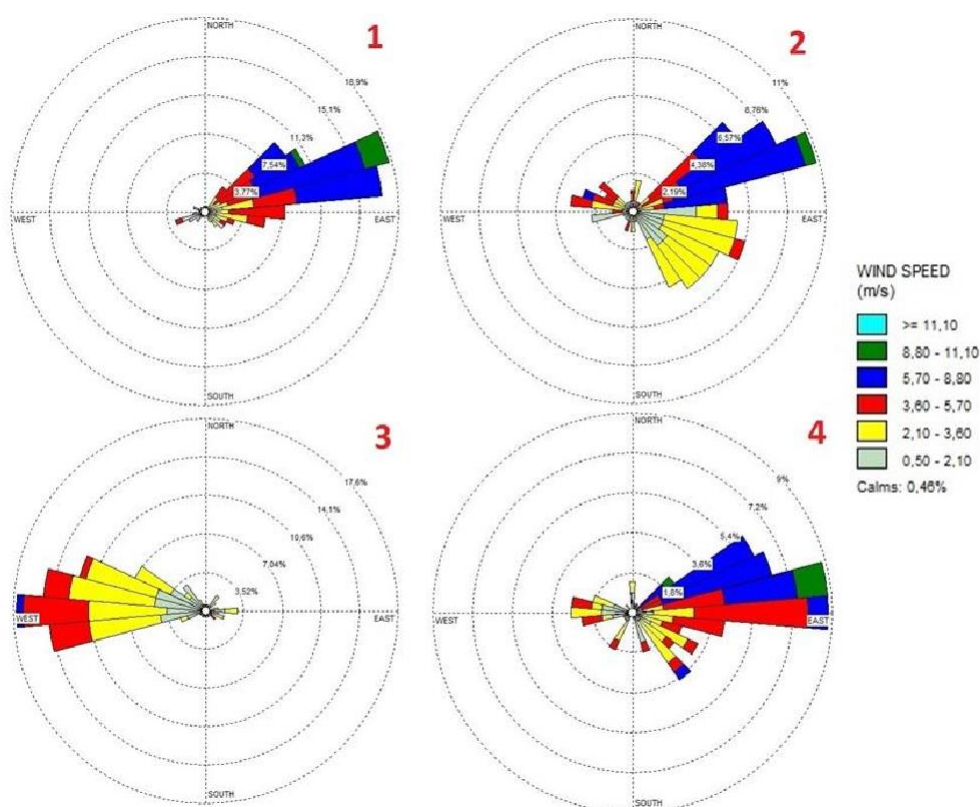


Figura 07: Rosa dos ventos por semanas durante o mês de abril na estação de Arraial do Cabo, RJ.

CONCLUSÕES

De acordo com o monitoramento acústico, pode-se concluir que a variação da potência média do ruído na faixa de 2 kHz a 4 kHz segue um padrão temporal periódico. Nesse padrão, nota-se que a potência do ruído é maior durante os períodos noturnos do que nos vespertinos. Além disso, as horas próximas ao crepúsculo têm potência maior do que no restante do dia, o que provavelmente está ligado a uma maior atividade biológica. A relação entre a menor amplitude de maré e o aumento do ruído ocorreu durante o período, porém é necessária uma série temporal de dados maior para confirmar esse fato.

A faixa de frequência analisada representa uma parte dos ruídos biológicos, contudo seria de grande interesse observar futuramente outras faixas de frequência, para que se possa obter uma visão holística entre a variação do ruído e ruídos dos habitats estudados.

A medição contínua e concomitante em outro ponto pode vir a agregar informações valiosas para uma futura comparação entre ruídos e habitats, de modo que seja possível observar assinaturas acústicas ou diferentes padrões acústicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Dr. Rogério Candella pelos dados oceanográficos e ao Grupo de Acústica Submarina do IEAPM pelos dados do monitoramento acústico.

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.

BERTUCCI, F. et al. Temporal and spatial comparisons of underwater sound signatures of different reef habitats in Moorea Island, French Polynesia. **PLoS ONE**, v. 10, n. 9, p. 1–12, 2015.

BUTLER, J.; STANLEY, J. A.; BUTLER, M. J. Underwater soundscapes in near-shore tropical habitats and the effects of environmental degradation and habitat restoration. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 479, p. 89–96, 2016.

CATO, D. H.; NOAD, M. J.; MCCAULEY, R. D. Passive acoustics as a key to the study of marine animals. In: H. MEDWIN (Ed.). **Sounds in the sea: from ocean acoustics to acoustical oceanography**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 411–429.

COTTER, A. J. R. The “Soundscape” of the Sea, Underwater Navigation, and Why We should be Listening More. **Advances in Fisheries Science: 50 years on from Beverton and Holt**, n. January 2008, p. 451–471, 2009.

EVEREST, F. A.; YOUNG, R. W.; JOHNSON, M. Acoustical Characteristics of Noise Produced by Snapping Shrimp. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 19, n. 4, p. 726, 1947.

FRANCHITO, S. H. et al. Interaction between coastal upwelling and local winds at Cabo Frio, Brazil: An observational study. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 6, p. 1590–1598, 2008.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. **Marine Soundscape Ecology**. Inter.noise, 2014.

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

LAILOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635–1645, 2010.

MONTGOMERY, J. C. et al. Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans. **Advances in Marine Biology**, v. 51, n. 6, p. 143–196, 2006.

MYRBERG, A. A.; FUIMAN, J. L. A. The Sensory World of Coral Reef Fishes. In: SCIENCE, E. (Ed.). **Coral Reef Fishes**, 2002.

PARSONS, M. J. G. et al. A comparison of techniques for ranging close-proximity mulloway (*Argyrosomus Japonicus*) calls with a single hydrophone. **Acoustics Australia**, v. 38, n. 3, p. 145–151, 2010.

PIJANOWSKI, B. C. et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape Ecology**, v. 26, n. 9, p. 1213–1232, 2011.

RADFORD, C. A. et al. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Marine Ecology Progress Series*, v. 362, p. 37–43, 2008a.

RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 921–929, 2008b.

VALENTIN, J. L.; ANDRE, D. L.; JACOB, S. A. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. **Continental Shelf Research**, v. 7, n. 1, p. 77–88, 1987.

ZELICK, R.; MANN, D. A.; POPPER, A. N. *Acoustic Communication in Fishes and Frogs*. 2011.

4 THE INFLUENCE OF BIOPHONY AND ANTHROPHONY ON THE REGIONAL UNDERWATER SOUNDSCAPE PATTERN OF CABO FRIO ISLAND, ARRAIAL DO CABO – RJ, BRAZIL

The influence of biophony and anthrophony on the regional underwater soundscape pattern of Cabo Frio Island, Arraial do Cabo – RJ, Brazil.

Authors: Daniel Campbell¹, Fábio Contrera Xavier¹, Ubirajara Gonçalves de Melo Junior¹, Nilce Silveira¹, Leonardo Leão Versiani¹, Eduardo B. Fagundes Netto¹.

¹Marine Biotechnology Program, Admiral Paulo Moreira Marine Research Institute (IEAPM), Brazilian Navy, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, 28930-000, Brazil

E-mail: campbell.dan@hotmail.com

Abstract

The sounds generated by all species present in a determined habitat plus sounds from the geophysical environment and humans create a particular environment, a local soundscape. However, the noise generated by vessel traffic is increasingly recognized as an environmental pollutant, with the potential of affecting marine ecosystems. For this reason, measurements of underwater sounds were taken to analyze the biophony and anthrophony patterns and their contribution to the regional soundscape of the island of Cabo Frio in Brazil. Average power, average entropy and frequency peaks were calculated, indicating the influence of anthrophony at daytime, interfering with the pattern generated by biophony during the day. These acoustic measurements, when associated, show to be efficient to help quantify the impacts of noise on the biological soundscape, being of great importance to management and handling of environmental protection areas.

Key words: Anthrophony – biophony – marine ecosystems - soundscape ecology – underwater acoustics

Introduction

Soundscape Ecology is considered a new field of Science. Different researchers use the term “soundscape” to describe the relationship between the environment and the sounds that form it (Pijanowski et al., 2011).

Meteorological processes such as rain, wind and thunder, and geological processes such as seismic events can generate underwater geophonic sounds, which compete with sounds of biological origin. Different marine organisms generate biophony. However, with increasing exploration of marine resources, anthropogenic sounds generated by different human activities such as fishing, seismic research, marine traffic, oil exploration activities, among others also increase. The sum of the biological, geological and anthropogenic sound-generating sources form the underwater soundscape, which may vary in a time and/or space.

Usually, ecologic communities are specific due to their habitat. The combination of the habitat's structure, sounds from the geophysical environment, anthrophony and sounds generated by the present species creates a characteristic acoustic environment (Montgomery et al., 2006; Radford et al., 2008b; Simpson et al., 2005).

The fundamental principle of soundscape ecology lies in the fact that sounds are part of nature and can provide valuable information on their surrounding environments, resulting in ecologically important studies for the evaluation of marine habitats (Harris and Radford, 2014)

The underwater soundscape can influence the structure and functioning of marine communities, possibly affecting processes such as migration, reproduction, territorial layout, foraging, larvae settlement and habitat selections (Montgomery et al., 2006). Research using soundscape information is being conducted in many countries, describing eco-acoustic indices to represent the local diversity (Harris *et al.*, 2016). Other studies address the detection of eco-acoustic events (Farina et al., 2016), heterogenic space measurements in a coastal environment (McWilliam and Hawkins, 2013) and noise levels in oceans (Merchant et al., 2016), confirming impacts of anthropogenic noises on marine life (Rob Williams et al., 2015). Eco-acoustic studies are used, for example, to determine the difference between populations and habitats (Lillis et al., 2014; Staaterman et al., 2014) and to evaluate the effects of damaged and restored species' areas as bio-indicators of habitat comparison (Butler et al., 2016).

By monitoring the acoustic, it is possible to understand the dynamics of populations in a habitat, as well as how the elements of a soundscape may affect the functionality of the local ecosystem. Soundscape studies allow the examining of ecological patterns, using a broader space-time frame. However, the methods that effectively evaluate monitoring efforts and that are relevant to determine the potential impact on the marine fauna and on the functioning of ecosystems have not yet been effectively defined (Merchant et al., 2016).

The noise generated by vessel traffic is increasingly being recognized as a significant and widespread contaminant, with the potential of affecting marine ecosystems on a global scale (Clark et al., 2009; Merchant et al., 2016; Simmonds et al., 2014; Rob Williams et al., 2015).

This study aims to depict the underwater soundscape of the upwelling region of Cabo Frio, analyzing biophonic and anthrophonic patterns and their contributions to local acoustic patterns.

Material and methods

Area of study

The region of Cabo Frio (23°S; 42°W) is characterized by the phenomenon of coastal upwelling (Valentin et al., 1987). This phenomenon is of great importance to the biological enrichment of the water and of local fishing activities (Mann and Grothues, 2009). It is typified by the upwelling of the South Atlantic Central Water (SACW) to surface (Calado et al., 2018). The city of Arraial do Cabo (Fig. 1) is known as one of the most attractive settings for tourism and recreational activities such as

diving, sailing and fishing, which are great contributors to the local economy. The city has become a support base for oil companies, due to its proximity to the Campos Basin (Pereira et al., 2008). The region represents the transition between tropical and subtropical zones along the Brazilian coast and is marked by its great biodiversity (Valentin et al., 1987). In 1997, the Arraial do Cabo Extractive Reserve (RESEXMAR) was created, with the intention of managing permitted fishing activities – only for the traditional local community – and other recreational activities (Giglio et al., 2017).

Acoustic data collection and analysis

Signals were captured from December 2016 to January 2017. Recordings were made using a Reson TC – 4032 hydrophone with sensitivity of $-164\text{dB re } 1\text{V}/1\mu\text{Pa}$. The hydrophone was installed at a depth of approximately 7 meters. The sampling frequency was of $f_s = 44.1\text{ kHz}$ (corresponding to the frequency of Nyquist of 22.05 kHz), with a resolution of 16 bits and was digitized and saved as “.wav” files. The duty cycle was of one-minute recording for every thirty minutes (Fig.2). A high-pass filter was used to exclude the waveband from 0 to 100 Hz due to noises generated by waves and by tidal frequencies that cause turbulence around the hydrophone (Merchant et al., 2016).

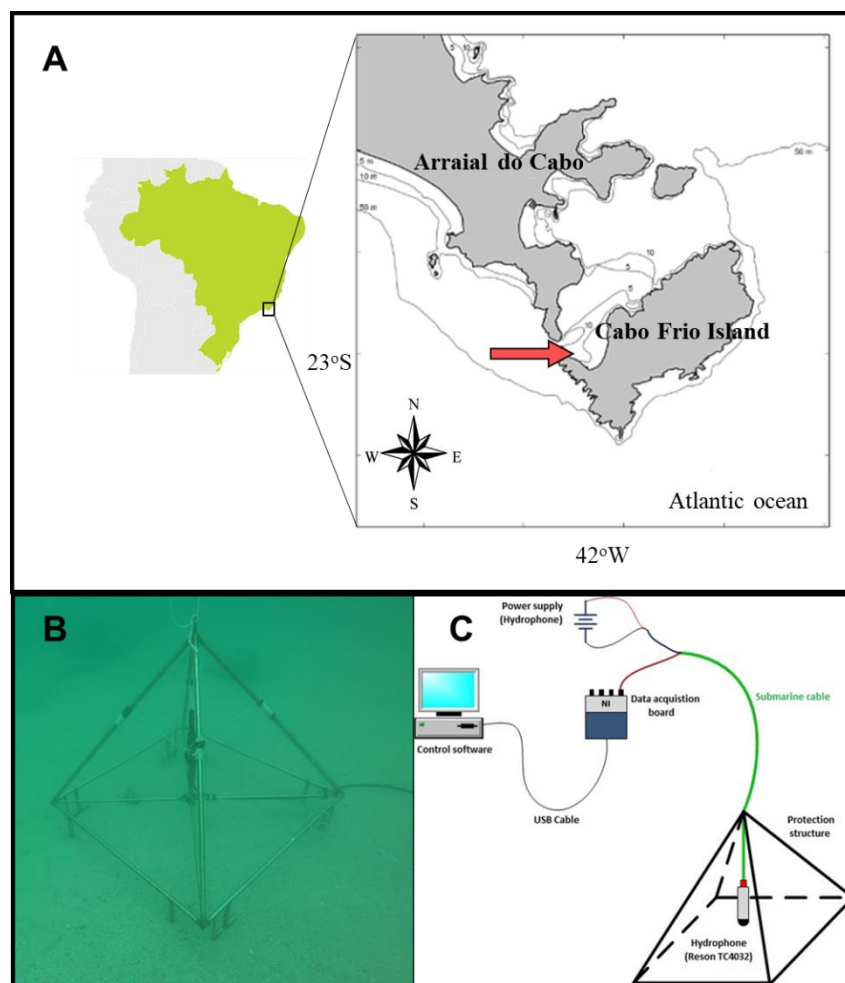


Fig. 1 Map of the area of study (A) and area of position of the hydrophone (red arrow), picture of the structure with the submersed hydrophone (B) and the signal-capturing scheme (C)

The selected wavebands (Fig. 2) ranged from 0.1 to 22 kHz, being that waveband A represents a holistic vision of the underwater soundscape and includes all other three wavebands (B, C and D) with a relevant number of biological and anthropogenic sounds (Ferguson and Cleary, 2001; Harris et al., 2016; Radford et al., 2008b) and the presence of anthropogenic sounds (Hildebrand, 2009).

Waveband B ranged from 0.1 to 2 kHz, depicting great influence/interference of anthropogenic noises, especially below 1 kHz (Bass and Ladich, 2008; Normandeau Associates, 2012), which may impact the effectiveness of communication between species (Amoser et al., 2004; Codarin et al., 2009; Radford et al., 2014; Vasconcelos et al., 2007) and the capturing of vocalization from fish and some invertebrates (Lillis et al., 2014; Radford et al., 2008a; Urick, 1983).

Waveband C ranged from 2 to 22kHz, dominated by sounds generated by invertebrates (Au and Banks, 1998), representative of the biological soundscape (Everest et al., 1947; Radford et al., 2008b) with main sources of biophony.

Waveband D ranged from 2 to 4 kHz (D), depicting sounds with influence from invertebrates (Au and Banks, 1998; Simpson et al., 2008) and some influence from anthropogenic sounds.

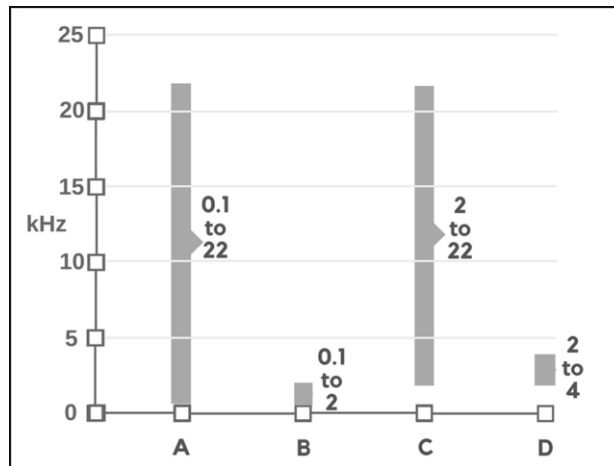


Fig. 2 Wavebands A (0.1 to 22 kHz), B (0.1 to 2 kHz), C (2 to 22 kHz), and D (2 to 4 kHz)

The wavebands were analyzed for acoustic measurements such as: Average Power ($dB re 1\mu Pa^2$), Average Entropy (bits) and Max Frequency (Hz). By definition, average power is the average value of the power spectrum density (PSD) in a selected waveband. Average Entropy is the average of all values of entropy from every analyzed frame. The value of average entropy represents the volume of sounds in a specific spectrum (Charif et al., 2010). The Max Frequency represents the waveband frequency in which the max power / peak power occurs (Charif et al., 2010).

For statistical analysis, the arithmetic average of the acoustic measurements, the standard deviation and different percentiles (5th, 25th, 50th, 75th and 95th) were calculated. The percentiles statistically explain the data layout according to the selected wavebands, showing the dominant distribution (R. Williams et al., 2015). The percentile is useful when noise levels vary over time

(Sánchez-Gendríz and Padovese, 2017), possibly revealing periods of low or high audio intensity during a small percentage of time, indicating the significance of acoustic level variations in comparison to the average (Gedamke et al., 2016).

The coefficient of variation was calculated to check on data dispersion on the average entropy (bits) and average power ($dB re 1\mu Pa^2$) of the wavebands. The coefficient of variation is the ratio between the standard deviation (S) and the average (m). The result is multiplied by 100, so that the coefficient of variation is presented as a percentage. Therefore: $CV = \frac{S}{m} 100$. The correlation between wavebands was calculated to determine the existing relation between the nighttime and daytime average power data. The calculus was based on the Pearson correlation coefficient (Vieira, 1942). A cluster analysis was calculated to measure the similarity of the selected wavebands and daily variations. (Barabba, 1990).

Results

The results of average power correlation at different times show a strong correlation between wavebands C and D during both daytime and nighttime. Wavebands A and B show strong correlation at nighttime, but null correlation at daytime. At nighttime, a strong correlation among all wavebands was observed (Fig. 3 Cluster).

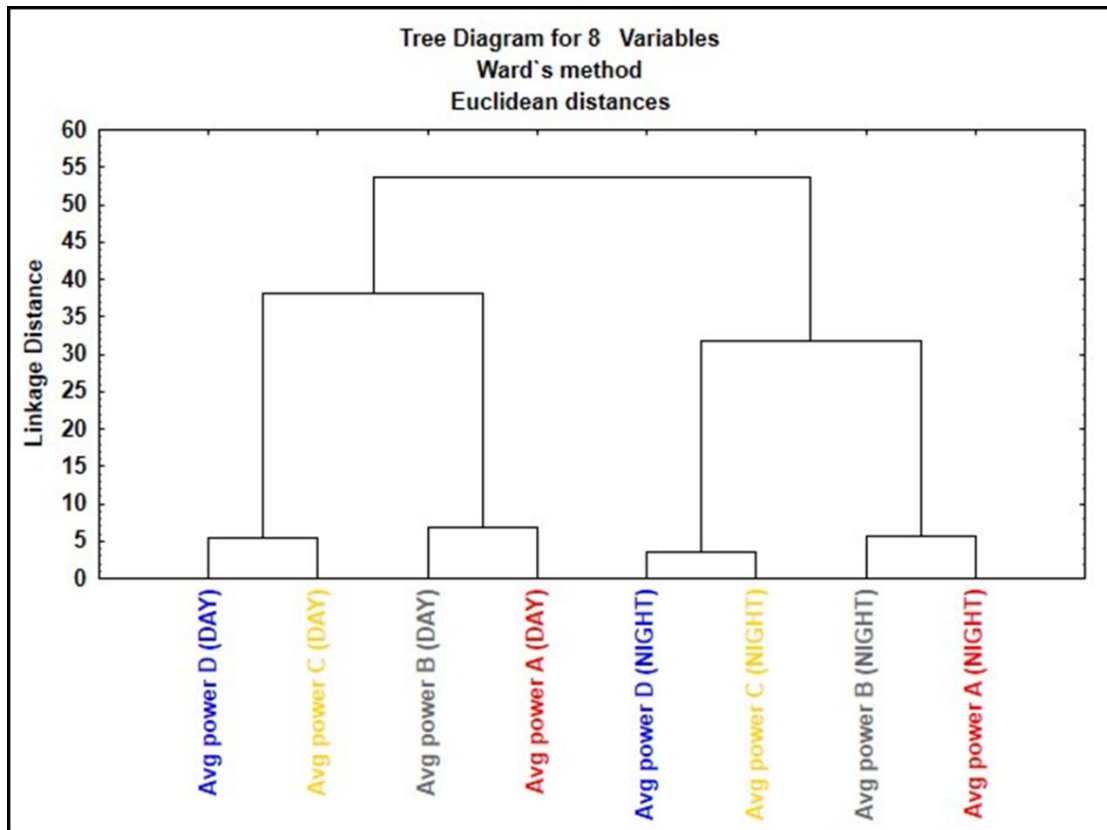


Fig. 3 Cluster analysis from average power of wavebands A, B, C and D during daytime and nighttime

The results of acoustic measurements of wavebands C and D were presented combined due to a 100% correlation between average power data and low variation in average entropy.

In wavebands C and D, 2 peaks of average power were observed (dB re 1 μPa^2), one at dusk (6h) and one at dawn (20h). In waveband C, dusk registered 85.1 dB re 1 μPa^2 and dawn 85.2 dB re 1 μPa^2 . At the same time, waveband D registered 89.4 dB re 1 μPa^2 at dusk and 89.8 dB re 1 μPa^2 at dawn. At daytime, a decrease in average power value was observed after the dusk peak, reaching the lowest daily value for both wavebands at 14h, at 81.2 dB re 1 μPa^2 (C) and 85.2 dB re 1 μPa^2 (D). After that time, an increase in average power was observed, up until reaching dusk peak. Nighttime shower values of average power with no important variation, except when close to twilight.

In these wavebands, entropy showed little amplitude, staying constant for the average of all days analyzed. Max frequency (Hz) in these wavebands registered values from 2,411.75 Hz to 3,445.3 Hz (C) and from 2,411.75 (Hz) to 3,057.7 Hz (D) (Fig. 4).

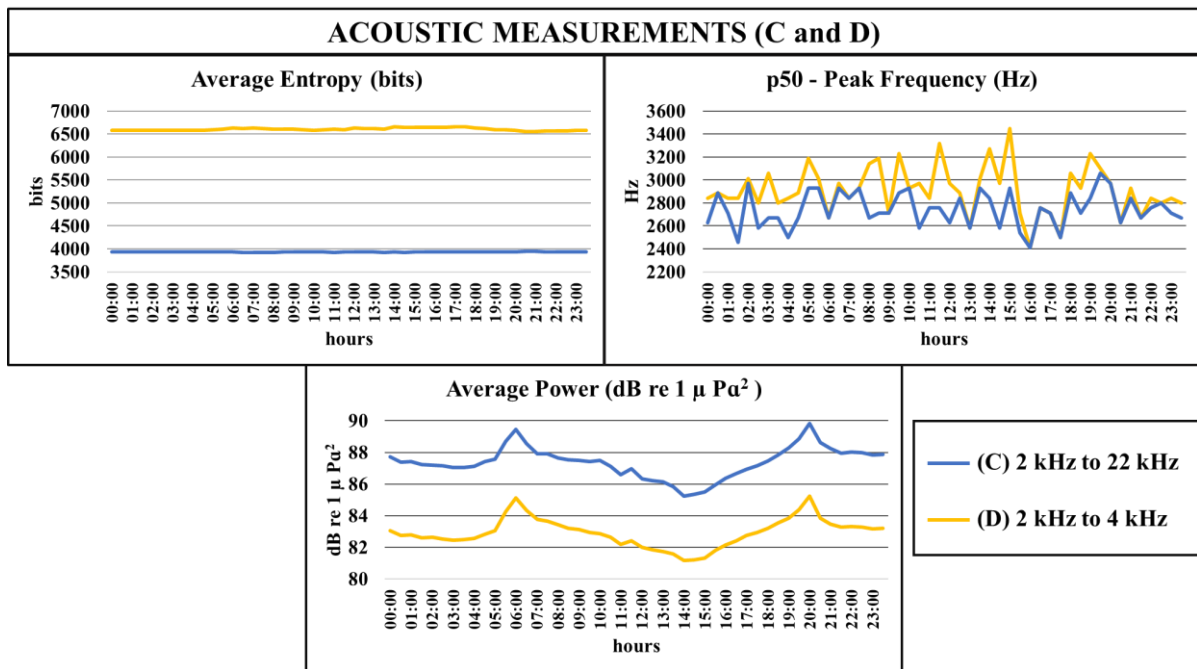


Fig.4 Acoustic measurements (average entropy, max frequency and average power) for frequency bands C and D

In waveband B, average power (dB re 1 μPa^2) registered high values during dusk and dawn, at 84.4 dB re 1 μPa^2 and 88.3 dB re 1 μPa^2 , respectively. However, unlike other wavebands, these values were registered at 6h30 and at 20h30. At daytime, an increase in average power was observed starting at 9h, registering 89.6 dB re 1 μPa^2 at 13h. Between 17h and 18h, a small decrease in average power was observed. From 18h on, the value started to increase again until it reached its peak at 20h30, and then decreasing once more, remaining lower than most daytime values during the entire night.

Still in waveband B, average entropy showed great variation with a peak of 3,641 bits registered at 9h and a subsequent decrease that registered 3,264 bits at 10h30. From this time on, daytime values remained lower than all values registered at night.

Max frequency values were 1,464.3 Hz at 9h and decreased to 258.4 Hz during the following thirty minutes. After this decrease, values remained under 300 Hz up until 21h30. Between 12h and 21h30, max frequency remained unaltered at 172.3 Hz. At 0h30 there was an important decrease to 215.4 Hz. At 5h, another important reduction brought the value down to 172.3 Hz, which remained the same for a half hour and went back up to 1,076.7 Hz at 6h, decreasing once more to 258.4 Hz at 6h30 (Fig. 5).

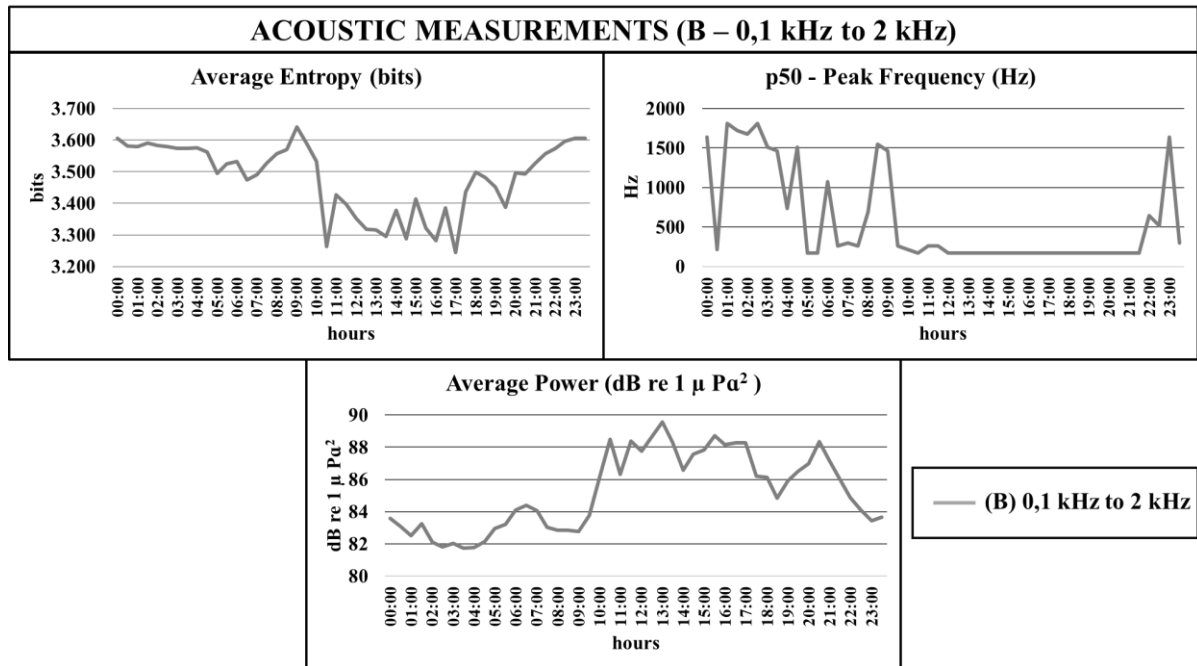


Fig.5 Acoustic measurements (average entropy, max frequency and average power) for waveband B

Waveband A registered average power peaks at dusk and dawn, of 85.1 dB re 1 μ Pa² and 85.2 dB re 1 μ Pa², respectively. At daytime, average power showed some variations with a minimum value of 82.1 dB re 1 μ Pa² at 14h. At nighttime, a small decrease in average power was observed between 0h and 4h. After this decrease, power started to rise until it reached dusk peak at 6h.

Average entropy for this waveband reached its highest at 6h, with a registered value of 6,735.8 bits. At 9h, it registered 6,717.8 bits, followed by a great reduction to 6,660.7 bits at 9h30. The lowest value was of 6,042 bits at 13h. During the day, there was a higher variation in values. At nighttime, average entropy in waveband A remained mainly above 6,600 bits, except for a decrease registered between 20h and 20h30. From 23h on, values stayed similar, always above 6,690 bits.

Still in waveband A, max frequency values registered an important reduction between 9h and 9h30, decreasing from 2,110.3 Hz to 258.5 Hz. The lowest value for the entire period was of 172.3 Hz, at 10h30, varying slightly during the following two hours and reestablishing itself at 12h30, remaining unaltered until 21h, time after which it started to increase. From 21h30 on, an important increase was

registered, reaching 2,067.2 Hz at 22h. At nighttime, there is no record lower than 500 Hz, except at 5h (172.3 Hz). A low value of 258.4 Hz was also registered at 6h30 (Fig. 6).

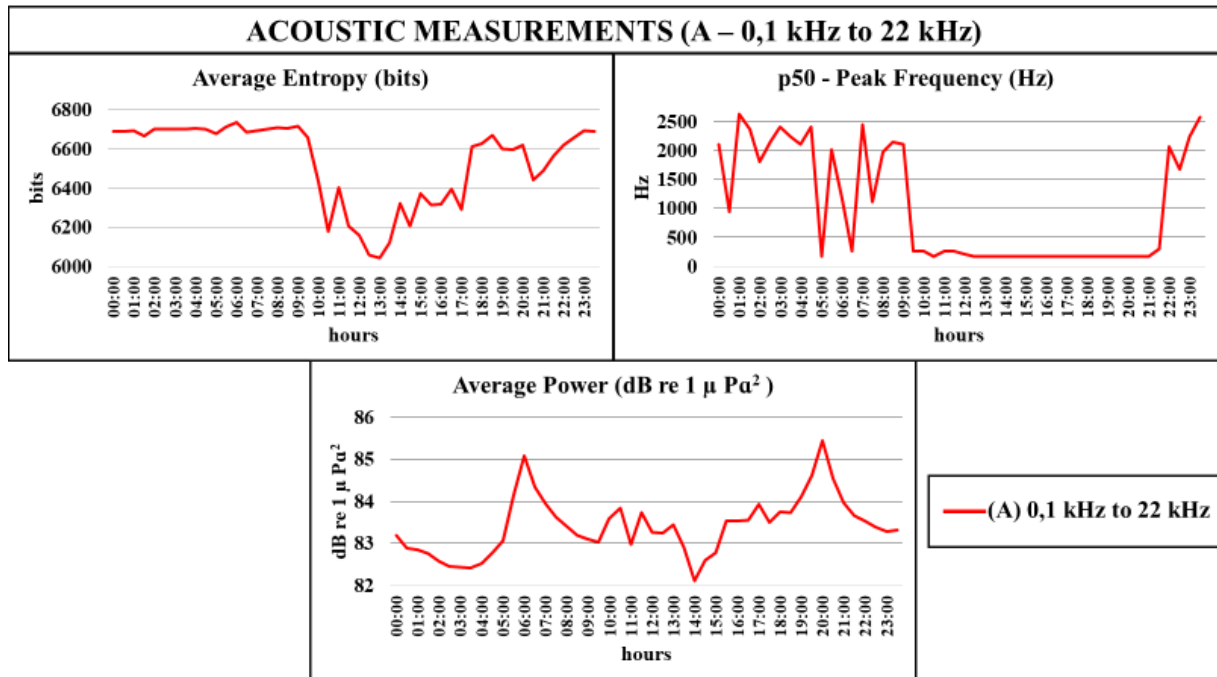


Fig.6 Acoustic measurements (average entropy, max frequency and average power) for waveband A

Among all wavebands, the highest record of variation coefficient for both day and nighttime happened in waveband B, with $\leq 6\%$ at daytime and $\leq 3\%$ at nighttime. At the same time, for the entire 24-hour period, waveband A showed a variation coefficient of $\leq 3\%$, waveband C of 1% and waveband B of $\leq 2\%$.

To better illustrate the contrast of average power between daytime and nighttime in all wavebands, two spectrograms were developed (Fig. 7). The first spectrogram represents 6h, when waveband B appears to have little activity, below 1,000 Hz. The second spectrogram represents 14h, when waveband B stands out for its sound activities. Observing the other wavebands (A, C and D), it is noticeable that waveband B has a distinct behavior. The spectrograms show, in a visual way, the same data indicated in the correlation analysis.

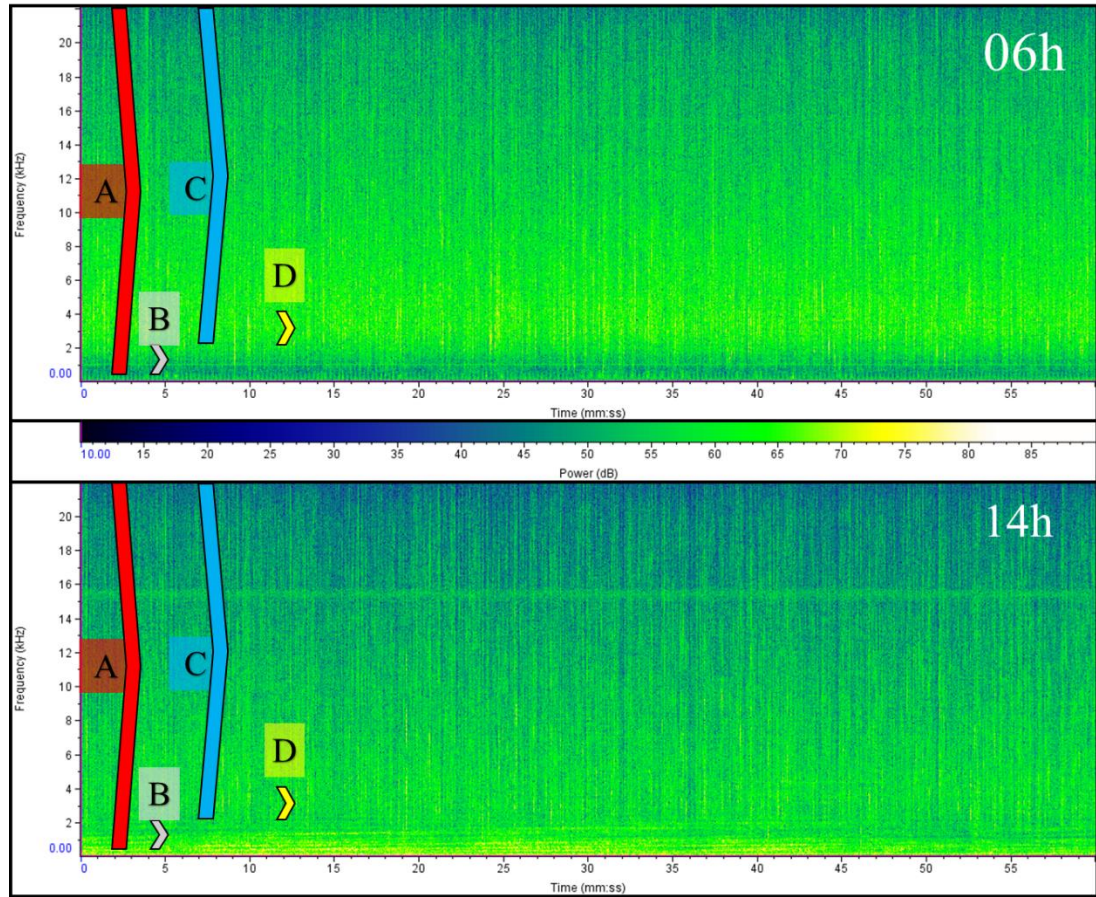


Fig.7 Comparative spectrograms for all four wavebands at 6h and 14h

The analysis of correlation between wavebands shows distinctive daytime average power data in waveband B, which shows null correlation with all other wavebands at daytime. At nighttime, however, all wavebands show similar variation patterns, with a strong correlation between wavebands B and A and a medium correlation between wavebands B, C and D.

When analyzing average entropy data, very little variation in value can be observed in wavebands C and D during the entire period. At the same time, wavebands A and B show slightly higher variations, presenting a similar variation pattern.

Finally, for max frequency data, wavebands A and B appear overlapped at 5h and then again at 6h30. Later, between 12h30 and 21h, they overlap again and maintain the same exact value of 172.3 Hz for a period of nine consecutive hours (Fig. 8).

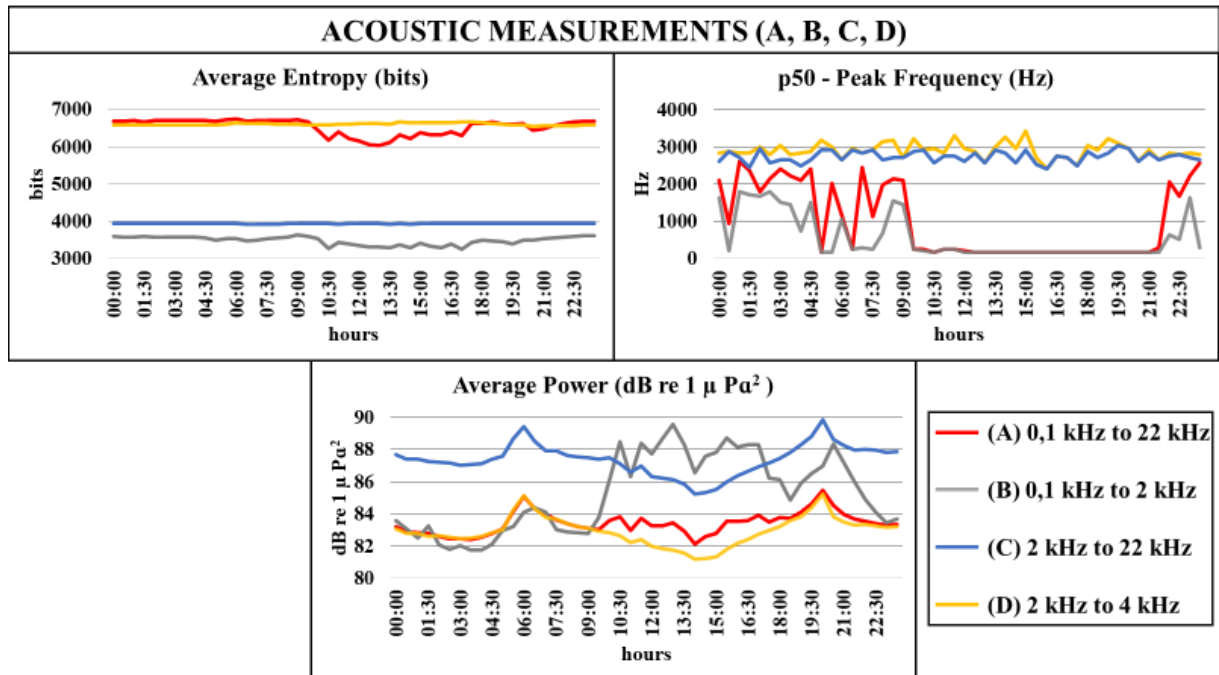


Fig.8 Acoustic measurements (average entropy, max frequency and average power) for wavebands A, B, C, D

Discussion

The results from the analysis of all four wavebands (A, B, C and D), register different levels of entropy, average power and max frequency. However, at certain hours, some of the wavebands registered medium or strong correlation. One example of correlation between all wavebands was the average power values at nighttime, where there is a pattern in sound intensity. Among all four wavebands (A, B, C and D), two maximum peaks were registered at twilight, which is considered the period with highest biological activity (Radford et al., 2010).

At daytime, waveband B showed null correlation to all other wavebands, registering an increase in average power, instead of a reduction. During most of the day, waveband B maintained values higher than those registered at dusk. In this waveband, the highest average power value was registered at 13h.

At dawn, wavebands B and D registered similar values of average power. However, according to Hildebrand (2005), vessels are the main source of low frequency noises (5-500 Hz) in oceans. Due to the max frequency values, when waveband B registers 172.3 Hz, it indicates a higher probability of values related to nighttime vessel activities, while waveband D registers 2,971.6 Hz, which suggests the presence of animals of nocturnal habits, such as snapping shrimp, who emit sounds at dusk and dawn (Butler et al., 2016; Radford et al., 2008a) in a range from 2 kHz to 5 kHz (Au and Banks, 1998). Snapping shrimp are known as an important underwater sound source in tropical and tempered waters (Au and Banks, 1998).

Analyzing daytime overall, there was a decrease in max frequency values for both wavebands A and B, with records below 500 Hz and unaltered values from 12h30 to 21h (172.3 Hz). At 9h, a pattern in acoustic measurements can be observed between these two wavebands, with a decrease in max frequency, a decrease in entropy and an increase in average power. Considering that vessels are the main source of low frequency noises (5-500 Hz) in oceans and that 9h is a time of high nautical tourism (Giglio et al., 2017; Pereira et al., 2008), one may suggest that times with high vessel activity may be related to the low frequency noises that were registered. Yet, according to analysis of times of high and low vessel activity, it was noted that from 21h on, increases in max frequency happen more often. This complements the suggestion of a relationship between lower vessel activities and the reestablishment of records mainly formed by sounds emitted by animals of nocturnal habits (Butler et al., 2016; Radford et al., 2008a)

Entropy measurements suggest a diversity of sound sources registered by the hydrophone in its different wavebands (Charif et al., 2010; Lillis et al., 2014). When observing wavebands C and D, both being the most influenced by biophony, very little and slight variations of average entropy are recorded. However, in wavebands A and B, A representing the holistic vision of the soundscape and B being the most influenced by anthrophony, steeper variations were recorded between 9h and 21h.

Considering the hours with more nautical tourism (Giglio et al., 2017; Pereira et al., 2008) and, consequently, with most human noises, one may suggest that the decrease in medium entropy may be associated to the increase in anthrophony. In case this association is correct, one may presume that the noise produced by vessels is dominant over biological sounds, reflecting in the acoustic measurements as one unique sound source. The overlapping of sounds is important, for some studies indicate that changes in the acoustic may inflict changes on how species behave (Butler et al., 2016; Neo et al., 2015; Van Oosterom et al., 2016). Noises produced by vessels are considered important sources of sound contamination, with the potential of affecting marine ecosystems on a global scale (Clark et al., 2009; Merchant et al., 2016; R. Williams et al., 2015)

Conclusion

The acoustic measurements of associated average entropy and the max frequency, when related, show great potential to evaluate the influence of vessels on the soundscape pattern.

Patterns of biological sounds were observed in different wavebands in the area of study. The soundscape is based on the pattern of sounds. However, the area of study suffers great interference from anthropogenic noises, especially during the day. Waveband B pointed out to be an important indicator of the presence of anthropogenic activities that modify the biological pattern from the underwater soundscape. The pattern registered in this waveband at daytime corresponds to common hours of

touristic and fishing activities at the region of Cabo Frio Island. At night, the biological pattern of the soundscape tends to reestablish itself.

One can point out the need for bigger efforts to develop tools that identify the impacts generated by this break in the soundscape's pattern. With the advance of research related to the ecology of soundscape, it will be possible to develop better environmental management policies for the maintenance of the natural characteristics of the area of study.

Bibliography

- Amoser, S., Wysocki, L.E., Ladich, F., 2004. Noise emission during the first powerboat race in an Alpine lake and potential impact on fish communities. *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 3789–3797. <https://doi.org/10.1121/1.1808219>
- Au, W.W.L., Banks, K., 1998. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *J. Acoust. Soc. Am.* 103, 41. <https://doi.org/10.1121/1.423234>
- Barabba, V.P., 1990. The market research encyclopedia. *Harvard business review*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12541-6>
- Bass, A.H., Ladich, F., 2008. Vocal–Acoustic Communication: From Neurons to Behavior, in: *Fish Bioacoustics*. Springer Science + Business Media, pp. 253–278. <https://doi.org/10.1097/00003446-199510000-00013>
- Butler, J., Stanley, J.A., Butler, M.J., 2016. Underwater soundscapes in near-shore tropical habitats and the effects of environmental degradation and habitat restoration. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 479, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.006>
- Calado, L., Camargo Rodríguez, O., Codato, G., Contrera Xavier, F., 2018. Upwelling regime off the Cabo Frio region in Brazil and impact on acoustic propagation. *J. Acoust. Soc. Am.* 143, 174–180. <https://doi.org/10.1121/1.5026244>
- Charif, R.A., Waack, A.M., Strickman, L.M., 2010. Raven Pro 1.4 User's Manual. Raven Pro 1.4 User's Man.
- Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Parijs, S.M. Van, Frankel, A., Ponirakis, D., 2009. Acoustic masking in marine ecosystems : intuitions , analysis , and implication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395, 201–222. <https://doi.org/10.3354/meps08402>
- Codarin, A., Wysocki, L.E., Ladich, F., Picciulin, M., 2009. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1880–1887. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.07.011>

- Everest, F. a., Young, R.W., Johnson, M., 1947. Acoustical Characteristics of Noise Produced by Snapping Shrimp. *J. Acoust. Soc. Am.* 20, 137–142. <https://doi.org/10.1121/1.1916566>
- Farina, A., Pieretti, N., Salutari, P., Tognari, E., Lombardi, A., 2016. The Application of the Acoustic Complexity Indices (ACI) to Ecoacoustic Event Detection and Identification (EEDI) Modeling. *Biosemiotics* 9, 227–246. <https://doi.org/10.1007/s12304-016-9266-3>
- Ferguson, B.G., Cleary, J.L., 2001. In situ source level and source position estimates of biological transient signals produced by snapping shrimp in an underwater environment. *J. Acoust. Soc. Am.* 109, 3031–3037. <https://doi.org/10.1121/1.1339823>
- Gedamke, J., Harrison, J., Hatch, L., Angliss, R., Barlow, J., Berchok, C., Caldow, C., Castellote, M., Cholewiak, D., Deangelis, M.L., Dziak, R., Garland, E., Guan, S., Hastings, S., Holt, M., Laws, B., Mellinger, D., Moore, S., Moore, T.J., Oleson, E., Pearson-Meyer, J., Piniak, W., Redfern, J., Rowles, T., Scholik-Schlomer, A., Smith, A., Soldevilla, M., Stadler, J., Parijs, S. Van, Wahle, C., 2016. Ocean Noise Strategy Roadmap.
- Giglio, V.J., Ternes, M.L.F., Mendes, T.C., Cordeiro, C.A.M.M., Ferreira, C.E.L., 2017. Anchoring damages to benthic organisms in a subtropical scuba dive hotspot. *J. Coast. Conserv.* 21, 311–316. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0507-7>
- Harris, S.A., Radford, C.A., 2014. Marine Soundscape Ecology. 43rd Int. Congr. Noise Control Eng.
- Harris, S.A., Shears, N.T., Radford, C.A., Reynolds, J., 2016. Ecoacoustic indices as proxies for biodiversity on temperate reefs. *Methods Ecol. Evol.* 7, 713–724. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12527>
- Hildebrand, J.A., 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Hildebrand, J.A., 2005. Impacts of Anthropogenic Sound on Cetaceans. *Mar. Mammal Res. Conserv. Beyond Sound* 101–124. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Lillis, A., Eggleston, D.B., Bohnenstiehl, D.R., 2014. Estuarine soundscapes: Distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 505, 1–17. <https://doi.org/10.3354/meps10805>
- Mann, D.A., Grothues, T.M., 2009. Short-term upwelling events modulate fish sound production at a mid-Atlantic ocean observatory. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 375, 65–71. <https://doi.org/10.3354/meps07720>
- McWilliam, J.N., Hawkins, A.D., 2013. A comparison of inshore marine soundscapes. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 446, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.05.012>

- Merchant, N.D., Brookes, K.L., Faulkner, R.C., Bicknell, A.W.J., Godley, B.J., Witt, M.J., 2016. Underwater noise levels in UK waters. *Sci. Rep.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep36942>
- Montgomery, J.C., Jeffs, A., Simpson, S.D., Meekan, M., Tindle, C., 2006. Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans, in: *Advances in Marine Biology*. pp. 143–196. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(06\)51003-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(06)51003-X)
- Neo, Y.Y., Parie, L., Bakker, F., Snelderwaard, P., Tudorache, C., Schaaf, M., Slabbekoorn, H., 2015. Behavioral changes in response to sound exposure and no spatial avoidance of noisy conditions in captive zebrafish. *Front. Behav. Neurosci.* 9, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00028>
- Normandeau Associates, I., 2012. Effects of noise on fish, fisheries, and invertebrates in the U.S. Atlantic and Arctic from energy industry sound-generating activities, Workshop report December 2012.
- Pereira, G.C., Coutinho, R., Ebecken, N.F.F., 2008. Data mining for environmental analysis and diagnostic: A case study of upwelling ecosystem of Arraial do Cabo. *Brazilian J. Oceanogr.* 56, 1–12. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592008000100001>
- Pijanowski, B.C., Villanueva-Rivera, L.J., Dumyahn, S.L., Farina, A., Krause, B.L., Napoletano, B.M., Gage, S.H., Pieretti, N., 2011. Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *Bioscience* 61, 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Radford, A.N., Kerridge, E., Simpson, S.D., 2014. Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise? *Behav. Ecol.* 25, 1022–1030. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru029>
- Radford, C.A., Jeffs, A., Tindle, C., Montgomery, J.C., 2008a. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 362, 37–43. <https://doi.org/10.3354/meps07444>
- Radford, C.A., Jeffs, A.G., Tindle, C.T., Montgomery, J.C., 2008b. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. *Oecologia* 156, 921–929. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1041-y>
- Radford, C.A., Stanley, J.A., Tindle, C.T., Montgomery, J.C., Jeffs, A.G., 2010. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 401, 21–29. <https://doi.org/10.3354/meps08451>
- Sánchez-Gendriz, I., Padovese, L.R., 2017. Temporal and spectral patterns of fish choruses in two protected areas in southern Atlantic. *Ecol. Inform.* 38, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.01.003>
- Simmonds, M.P., Dolman, S.J., Jasny, M., Weilgart, L., Leaper, R., 2014. Marine Noise Pollution -

- Increasing Recognition But Need for More Practical Action. *J. Ocean Technol.* 9, 71–90.
- Simpson, S.D., Meekan, M., Montgomery, J., Mccauley, R., Jeffs, A., 2005. Homeward Sound. *Sciencemag* 308, 221.
- Simpson, S.D., Meekan, M.G., Jeffs, A., Montgomery, J.C., McCauley, R.D., 2008. Settlement-stage coral reef fish prefer the higher-frequency invertebrate-generated audible component of reef noise. *Anim. Behav.* 75, 1861–1868. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.11.004>
- Staaterman, E., Paris, C.B., DeFerrari, H.A., Mann, D.A., Rice, A.N., D'Alessandro, E.K., 2014. Celestial patterns in marine soundscapes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 508, 17–32. <https://doi.org/10.3354/meps10911>
- Urick, R.J., 1983. Principles of Underwater Sound, 3rd ed, Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill, New York. <https://doi.org/10.1029/2003JD004173>.Aires
- Valentin, J.L., Andre, D.L., Jacob, S.A., 1987. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. *Cont. Shelf Res.* 7, 77–88. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(87\)90065-3](https://doi.org/10.1016/0278-4343(87)90065-3)
- Van Oosterom, L., Montgomery, J.C., Jeffs, A.G., Radford, C.A., 2016. Evidence for contact calls in fish: Conspecific vocalisations and ambient soundscape influence group cohesion in a nocturnal species. *Sci. Rep.* 6, 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep19098>
- Vasconcelos, R.O., Amorim, M.C.P., Ladich, F., 2007. Effects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish. *J. Exp. Biol.* 210, 2104–2112. <https://doi.org/10.1242/jeb.004317>
- Vieira, S., 1942. Introdução à Bioestatística, 4th ed. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Williams, R., Erbe, C., Ashe, E., Clark, C.W., 2015. Quiet(er) marine protected areas. *Mar. Pollut. Bull.* 100, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.012>
- Williams, R., Wright, A.J., Ashe, E., Blight, L.K., Brintjes, R., Canessa, R., Clark, C.W., Cullis-Suzuki, S., Dakin, D.T., Erbe, C., Hammond, P.S., Merchant, N.D., O'Hara, P.D., Purser, J., Radford, A.N., Simpson, S.D., Thomas, L., Wale, M.A., 2015. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean Coast. Manag.* 115, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos demonstraram a existência de um padrão para os sons de origem biológica. O padrão da biofonia manteve algumas características. Por exemplo, os picos de potência média no alvorecer e anoitecer, assim como a redução desses níveis durante o período diurno não apresentaram variação temporal significativa, apesar das coletas não terem sido muito extensas. Os horários dos picos de potência média demonstram uma relação com o tempo de luz solar diária. Dias mais longos possuem picos mais distantes sempre relacionados com o nascer e pôr-do-sol.

Os horários de crepúsculo apresentaram maiores valores de potência média, devido as atividades biológicas. Esse padrão comportamental, relacionado ao crepúsculo, ao longo do tempo serve como indicador para melhor compreensão da relação das comunidades com a região estudada.

Esse padrão de sons biológicos demonstra sofrer influência da variação da maré. Estudar a influência das variáveis ambientais, como a relação da biofonia com a variação da maré e a intensidade de luz do dia, além de outras variáveis abióticas, é de fundamental importância para entender a ecologia acústica da biofonia.

Os sons de origem biológica são os maiores responsáveis pela composição do padrão da paisagem acústica submarina em Arraial do Cabo. Contudo, os sons de origem antropogênica causaram uma importante interferência no padrão da paisagem acústica. Essa interferência ocorreu em momentos da madrugada e durante o período diurno. Esses períodos podem estar relacionados com embarcações pesqueiras e de turismo que são características da região. Através desses resultados, foi possível ter uma visão holística do comportamento biológico e do impacto ambiental de atividades humanas na região.

Os impactos gerados por essa interferência ainda são desconhecidos na região. Associar o comportamento de espécies alvo com a interferência da antropofonia é de fundamental importância para uma melhor compreensão da dimensão do impacto gerado pela quebra do padrão da paisagem acústica natural.

O monitoramento da paisagem acústica submarina, através das medidas de entropia média, potência média, máxima frequência/pico de frequência, mostrou ser uma ferramenta eficaz no controle de atividades antropogênicas. Esse controle pode auxiliar a gestão ambiental da região a fiscalizar tais atividades na área da RESEXMAR.

Estudar e desenvolver o monitoramento da paisagem acústica submarina com o intuito de definir o comportamento dessa interferência antropogênica na paisagem acústica, numa escala temporal maior, é fundamental para uma compreensão do impacto ambiental gerado. Através do monitoramento da paisagem acústica submarina é possível indicar em que períodos a interferência ocorre em maior quantidade e como a biofonia responde a essa interferência.

A ecologia da paisagem acústica é fundamental para compreender de forma holística o comportamento das comunidades de habitats locais, analisando como essas comunidades se comportam em determinada variação de escala temporal ou espacial.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS. Disponível em: <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html>. Acessado em: 10 nov 2017.

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

BJØRNØ, L. Features of Underwater Acoustics from Aristotle to Our Time. **Acoustical Physics**, v. 49, n. 1, p. 24–30, 2003.

BLUMSTEIN, D. T. et al. Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, p. 758–767, 2011.

BUTLER, J.; STANLEY, J. A.; BUTLER, M. J. Underwater soundscapes in near-shore tropical habitats and the effects of environmental degradation and habitat restoration. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 479, p. 89–96, 2016.

CATO, D. H.; NOAD, M. J.; MCCAULEY, R. D. Passive acoustics as a key to the study of marine animals. In: H. MEDWIN (Ed.). **Sounds in the sea: from ocean acoustics to acoustical oceanography**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 411–429.

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

COGAN, C. B. et al. The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management. **Journal of Marine Science**, v. 66, n. 9, p. 2033–2042, 2009.

CONOVER, M. R.; MILLER, D. E. The importance of the large chela in the territorial and pairing behaviour of the snapping shrimp, *Alpheus heterochaelis*. **Marine Behaviour and Physiology**, v. 5, n. October 2013, p. 185–192, 1978.

COTTER, A. J. R. The “Soundscape” of the Sea, Underwater Navigation, and Why We should be Listening More. **Advances in Fisheries Science: 50 years on from Beverton and Holt**, p. 451–471, 2009.

D'AMICO, A.; PITTENGER, R. A Brief History of Active Sonar. **Aquatic Mammals**, v. 35, n. 4, p. 426–434, 2009.

DI IORIO, L. et al. Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 432–433, p. 9–16, 2012.

DICKENS, L. C. et al. Quantifying Relative Diver Effects in Underwater Visual Censuses. **PLOS ONE**, v. 6, n. 4, p. 6–8, 2011.

ELDRIDGE, A. et al. A New Direction for Soundscape Ecology? Toward the Extraction and Evaluation of Ecologically-Meaningful Soundscape Objects using Sparse Coding Methods. **Peer J Computer Science**, v. 2020, p. 1–17, 2015.

EVEREST, F. A.; YOUNG, R. W.; JOHNSON, M. Acoustical Characteristics of Noise Produced by Snapping Shrimp. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 20, n. 2, p. 137–142, 1947.

FREEMAN, S. E. et al. Proceedings of Meetings on Acoustics ecosystems. **Acoustical Society of America**, v. 19, p. 1–8, 2013.

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

HAZLETT, B. A.; WINN, H. E. Sound Production and Associated Behavior of Bermuda Crustaceans (*Panulirus*, *Gonodactylus*, *Alpheus*, And *Synalpheus*). **Crustaceana**, v. 4, n. 1, p. 25–38, 1960.

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

HOLLES, S. H. et al. Boat noise disrupts orientation behaviour n a coral reef fish. **Marine Ecology Progress Series**, v. 485, p. 295–300, 2013.

JOHNSON, M. W.; EVEREST, F. A.; YOUNG, R. W. The Role of Snapping Shrimp (*Crangon* and *Synalpheus*) in the Production of Underwater Noise in the Sea. **The Biological Bulletin**, v. 93, n. 2, p. 122–138, 1947.

KALMIJN, A. J. Hydrodynamic and Acoustic Field Detection. In: **Sensory Biology of Aquatic Animals**. New York: [s.n.]. p. 83–130, 1988.

KENNEDY, E. V et al. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Spatial patterns in reef-generated noise relate to habitats and communities: Evidence from a Panamanian case study. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 395, n. 1–2, p. 85–92, 2010.

LAILOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635–1645, 2010.

LILLIS, A.; BOHNENSTIEHL, D. R.; EGGLESTON, D. B. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. **Peer J**, n. 3:e999, 2015.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds. **PLOS ONE**, v. 8, n. 10, p. 1–10, 2013.

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

MCINTYRE, K. **Benthic mapping of the Bluefields Bay fish sanctuary, Jamaica**. [s.l.] Lund University, 2015.

MCWILLIAM, J. N. et al. Patterns of biophonic periodicity on coral reefs in the Great Barrier Reef. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1–13, 2017.

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.

MEDWIN, H.; CLAY, C. S. **Fundamentals of Acoustical Oceanography**. [s.l.] ACADEMIC PRESS LIMITED, 1997.

MICHENER, W. K. et al. Nongeospatial metadata for the ecological sciences. **Ecological Applications**, v. 7, n. 1, p. 330–342, 1997.

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.

MONTGOMERY, J. C. et al. Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans. In: **Advances in Marine Biology**. [s.l: s.n.]. v. 51p. 143–196, 2006.

MYRBERG, A. A.; FUIMAN, J. L. A. The Sensory World of Coral Reef Fishes. In: SCIENCE, E. (Ed.). **Coral Reef Fishes**. [s.l: s.n.]. p. 123–148, 2002.

PIJANOWSKI, B. C. et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape Ecology**, v. 26, n. 9, p. 1213–1232, 2011.

PIROTTA, E. et al. Quantifying the effect of boat disturbance on bottlenose dolphin foraging activity. **Biological Conservation**, v. 181, p. 82–89, 2015.

RADFORD, C. A. et al. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, p. 37–43, 2008a.

RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 921–929, 2008b.

RADFORD, C. A. et al. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v. 401, n. September 2015, p. 21–29, 2010.

RITTSHOF, D. et al. Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research Cues and context: Larval responses to physical and chemical cues. **Biofouling**, v. 12, n. 1–3, p. 37–41, 1998.

SIMMONDS, M. P. et al. Marine Noise Pollution - Increasing Recognition But Need for More Practical Action. **The Journal of Ocean Technology**, v. 9, n. 1, p. 71–90, 2014.

SIMPSON, S. D. et al. Homeward Sound. **Sciencemag**, v. 308, p. 221, 2005.

STAATERMAN, E. et al. Celestial patterns in marine soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 508, n. November, p. 17–32, 2014.

STANLEY, J. A.; RADFORD, C. A.; JEFFS, A. G. Location, location, location: finding

a suitable home among the noise. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, p. 3622–3631, 2012.

SUEUR, J.; AUBIN, T.; SIMONIS, C. Equipment Review Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. **Bioacoustics**, v. 18, n. 2, p. 213–226, 2008.

TOLIMIERI, N. et al. Directional orientation of pomacentrid larvae to ambient reef sound. **Coral Reefs**, v. 23, n. 2, p. 184–191, 2004.

TOLIMIERI, N.; JEFFS, A.; MONTGOMERY, J. C. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. **Marine Ecology Progress Series**, 2000.

URICK, R. J. **Principles of Underwater Sound**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1983.

VAN PARIJS, S. M. et al. Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, n. Wiens 1989, p. 21–36, 2009.

VERLUIJS, M. et al. How Snapping Shrimp Snap: Through Cavitating Bubbles. **Science**, v. 289, p. 2114–2117, 2000.

WILCOCK, W. S. D. et al. Sounds in the Ocean at 1–100 Hz. **The Annual Review of Marine Science**, v. 6, n. July 2013, p. 117–40, 2014.

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

WILLIAMS, R. et al. Quiet(er) marine protected areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 154–161, 2015b.

ZELICK, R.; MANN, D. A.; POPPER, A. N. Acoustic Communication in Fishes and Frogs. In: **Comparative Hearing: Fish and Amphibians**. 1. ed. New York: [s.n.]. p. 363–411, 2011.