



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
DABIODIVERSIDADE - PPGECB

TAMIRES FERNANDES DE OLIVEIRA

PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA
BALEIA-JUBARTENO BRASIL

ILHÉUS-BAHIA

2021

TAMIRES FERNANDES DE OLIVEIRA

**PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA
BALEIA-JUBARTE NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Área de concentração: Ecologia e conservação de comunidades, ecossistemas e paisagens.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Ernesto Baumgarten

Co-orientadoras:

Dr.^a Maria Isabel Carvalho Gonçalves

Prof.^a Dra. Renata Santoro de
Sousa Lima

ILHÉUS-BAHIA

2021

- O48 Oliveira, Tamires Fernandes de.
Paisagem acústica submarina de um sítio reprodutivo da baleia-jubart no Brasil / Tamires Fernandes de Oliveira. – Ilhéus, BA: UESC, 2021.
58f. : il.; anexos.
- Orientador: Júlio Ernesto Baumgarten.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.
Inclui referências.
1. Animais – Sons. 2. Baleia-jubarte – Habitat. 3. Acústico – Análise. 4. Habitat (Ecologia) – Conservação. I. Título.

CDD 591.594

TAMIRES FERNANDES DE OLIVEIRA

**PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA
BALEIA-JUBARTE NO *BRASIL***

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de
Santa Cruz como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Ecologia e
Conservação da Biodiversidade.

Ilhéus, 30 de setembro de 2021.

Prof. Dr. Júlio Ernesto Baumgarten
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
(Orientador)

Dra. Eliziane Garcia de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dr. Ignacio Sánchez Gendriz
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, por todo apoio emocional e financeiro, pelo incentivo à minha formação. Não existe ninguém no mundo igual a vocês.

À minha irmã, Tuzinha, por todas as conversas, apoio, amor e amizade. Mais que uma irmã.

Ao meu orientador, Júlio Baumgarten. Pela confiança, incentivo e oportunidade de entrar em um mundo totalmente novo: a bioacústica.

À minha coorientadora Maria Isabel Carvalho pela confiança e dedicação no desenvolvimento deste trabalho, além do acolhimento quando eu cheguei em Ilhéus.

À minha coorientadora Renata Sousa-Lima, pelo auxílio ao longo do trabalho e por ser uma cientista e mulher que inspira.

Uma imensa gratidão à Eliziane pelo auxílio no desenvolvimento e interpretação das análises. Muito obrigada!

Às minhas queridas amigas baleiólogas, Emi, Bianca, Ana Alice, Marcela...por compartilharem comigo as dores e amores pelo mestrado e pelas baleias. À minha amiga Mariane, por estar sempre presente, mesmo estando longe.

À Ana Laura, por toda a ajuda enquanto eu estava em Ilhéus e em Teresópolis. Você me salvou!

À IkyFonseca e AmábleKruschewsky, sempre tão atenciosas.

À Luccia, pelo auxílio na identificação dos sons.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB/UESC), pela estrutura e formação de excelência, que me transformou em uma mestra.

A todos os envolvidos no desenvolvimento do Projeto Baleias na Serra.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudo e aos demais suportes financeiros que possibilitaram a realização deste

trabalho: Cetacean Society International (CSI), Rufford Foundation, os patrocinadores anônimos, Universidade Estadual de Santa Cruz e Arim Componentes.

Ao suporte oferecido pela CAPES – “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

Ao professor Linilson Padovese, pela colaboração na coleta dos dados.

Por último, à baleia-jubarte. Pela graciosidade que inspira!

PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA BALEIA-JUBARTENO BRASIL

RESUMO

O ambiente marinho não é silencioso. As paisagens acústicas são formadas por sons de origem biológica (biofonia), sons de origem geológica (geofonia) e sons de origem antrópica (antropofonia). As paisagens acústicas com baixa interferência antrópica são dominadas por sons de origem biológica e geológica. A partir da revolução industrial, os oceanos começaram a ser impactados por ruídos antrópicos, prejudiciais à fauna marinha. Através do monitoramento acústico passivo é possível obter informações sobre a saúde de um ecossistema e as interações acústicas de uma comunidade. A Região de Serra Grande no sul do estado da Bahia, é um sítio reprodutivo para a população do estoque A da baleia-jubarte que migra para a costa brasileira para se reproduzir. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar padrões de utilização do espaço acústico pelos componentes da biofonia local e testar a efetividade de índices acústicos e de espectrogramas de falsa cor na descrição da paisagem acústica submarina local. Foram instalados Oceanpods a 16 – 22 metros de profundidade, a uma distância de 2,5 – 2,7 km da costa. A paisagem acústica da Região de Serra Grande é complexa devido a múltiplos contribuintes que produzem sons simultaneamente. A baleia-jubarte é um importante componente da biofonia, juntamente com outras fontes sonoras atribuídas a outros animais como peixes e crustáceos. O Índice de Complexidade Acústica evidenciou o canto de baleias-jubarte macho e os coros de peixes. Quando ocorrem muitas vocalizações simultaneamente, como peixes e baleias em conjunto, ou estas se estendem no tempo, os espectrogramas de falsa cor apresentam lacunas. Quando somente o canto da baleia-jubarte está presente, ele é evidenciado pela combinação de índices: o Índice de Complexidade Acústica com o Índice de Eventos Acústicos; e o Índice de Complexidade Acústica com a Entropia Temporal. O Índice de Eventos Acústicos não destacou o ruído de embarcações a motor. O presente trabalho caracteriza a paisagem acústica de um sítio reprodutivo da baleia-jubarte enquanto o local apresenta baixa interferência antrópica. Contudo, a cerca de 10 km da área de estudo, a construção de um Complexo Portuário está em fase inicial, com potencial de modificar o ambiente acústico da região. Considerando tais alterações, este estudo forneceu dados-base para a avaliação dos efeitos da modificação da paisagem acústica da Região de Serra Grande.

Palavras-chave: índices acústicos, monitoramento acústico passivo, habitat acústico, coro de peixes, biofonia

ABSTRACT

The marine environment is not silent. The soundscape is composed by animal sounds (biophony), geophysical sounds (geophony) and man-made sounds (anthropofony). Soundscapes with low anthropogenic noise are dominated by biological and geological sounds. After the industrial revolution, oceans have been impacted by anthropogenic noise, harmful for marine fauna. Passive acoustic monitoring enables the collection of information about ecosystem health and acoustic interaction within a community. Serra Grande (BA) is a breeding ground to the population of humpback whales from stock A that visits Brazil. The goal of this study was to characterize the acoustic space use pattern by local biophony as well as to evaluate if acoustic indices and Long Duration False-Colors spectrograms describe the local marine soundscape. Oceanpods were installed distant 2.5 – 2.7 km from the coast at 16 – 22m of depth. The underwater soundscape in Serra Grande is complex due to multiple, simultaneous contributors. Whales, fish and crustaceans are the major components of the local biophony. The Acoustic Complexity Index highlighted humpback whale song, and the onset of fish chorus. When there are many simultaneous vocalizations, both fish and whales, or a long sequence, a gap appears in false-colors spectrogram. When just humpback whale singing occurs, it is shown by the Acoustic Complexity Index and Acoustic Events Index combination as well as by the Acoustic Complexity Index and Temporal Entropy Index combination. The Acoustic Events Index didn't highlight the sounds from vessel engines. The current study characterizes the soundscape of a humpback whale breeding ground while the area has low anthropic interference. However, human activities may occur in the future, such as the construction of a new port in the region. Considering these future changes, this research provided a baseline for the assessment of the effects of the port sounds in the Serra Grande marine soundscape.

Palavras-chave: Acoustic indices, ecoacoustics, Passive Acoustic Monitoring, Acoustic habitat

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais estruturas que produzem sons nos peixes	16
Figura 2	<i>Alpheusheterochaeli</i> , uma das maiores espécies de camarão-pistola. A garra pode se desenvolver tanto do lado esquerdo quanto do direito, e em ambos os sexos	17
Figura 3	Lagosta-espinhosa da espécie <i>Panulirusargus</i> . O <i>plectrum</i> desliza no <i>file</i> para produzir o som	18
Figura 4	Representação esquemática da cabeça de 9dontocetos, mostrando algumas das estruturas que participam da produção sonora	19
Figura 5	Região de Serra Grande, localizada no Sul da Bahia, no nordeste do Brasil, onde o monitoramento acústico passivo foi realizado. Os locais onde os equipamentos foram instalados são marcados pelos asteriscos. Fonte: Gonçalves, 2017.	36
Figura 6	Sonotipos registrados na paisagem acústica submarina da Região de Serra Grande: peixes (1, 2, 4, 5, 6 e 9), crustáceos (3, 7 e 8), boto-cinza (10) e baleia-jubarte (11 e 12)	41
Figura 7	Espectrogramas dos dias 15 de agosto (15A), 15 de setembro (15S) e 15 de outubro (15O) de 2018 evidenciando a variação na duração dos eventos acústicos da paisagem acústica da Região de Serra Grande	44
Figura 8	Comparação entre espectrograma tradicional e false-colors do dia 13 de agosto de 2019. As caixas representam eventos significantes da paisagem, produzidos pela baleia-jubarte, peixes, lagosta e camarão. O som do camarão é melhor evidenciado pelo espectrograma de falsa cor.	45
Figura 9	Espectrograma de falsa cor do dia 13 de agosto de 2018. As caixas evidenciam a passagem de embarcações, que formam um gap no espectrograma de falsa cor.	46
Figura 10	<i>Ribbonplot</i> da paisagem acústica da Região de Serra Grande.	47

Exemplo das gravações do mês de setembro de 2019. A atividade dos crustáceos, em verde, azul e amarelo, é bem evidenciada no período da manhã e ao longo do dia, assim como o coro 1, em vermelho.

- Figura 11 *Ribbonplot* da paisagem acústica da Região de Serra Grande. 49
Exemplo das gravações do mês de setembro de 2018
- Figura 12 *Ribbonplot* da paisagem acústica da Região de Serra Grande. 50
Exemplo das gravações do mês de setembro de 2015

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes do esquema de gravação para a coleta dos dados acústicos.....	37
Tabela 2 - Tabela com os índices calculados utilizando o programa Analysis Program.....	39
Tabela 3 - Esforço amostral em cada um dos anos da temporada reprodutiva.....	40
Tabela 4 - Frequência mínima e máxima dos sonotipos registrados.....	42
Tabela 5 - Duração média, mínima e máxima dos coros registrados.....	42
Tabela 6 - Horário de ocorrência dos sonotipos registrados.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
	GERAL	
1.1	O ambiente sonoro marinho: As paisagens acústicas submarinas	12
1.2	Os sons gerados pela fauna: A Biofonia	14
1.3	Impactos do ruído antrópico na biofonia	19
1.4	Metodologias e desafios práticos	20
1.5	A costa brasileira como área reprodutiva das baleias-jubarte	22
	REFERÊNCIAS	24
2	CAPÍTULO 1: PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA BALEIA-JUBARTE NO BRASIL	29
	RESUMO	30
	ABSTRACT	31
2.1	INTRODUÇÃO	00
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	00
2.3	RESULTADOS	00
2.4	DISCUSSÃO	00
2.5	CONCLUSÃO	00
	REFERÊNCIAS	00
	ANEXO	00

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 O ambiente sonoro marinho: As paisagens acústicas submarinas

O ambiente marinho não é silencioso (URICK, 1983). As fontes sonoras presentes nos oceanos incluem animais, tais como crustáceos, moluscos, equinodermos, peixes e mamíferos (biofonia). Além dos animais, existem os sons gerados por fenômenos naturais, como vento, chuva, ondas (geofonia), e os sons gerados direta e indiretamente pelo homem, como tráfego embarcações, atividades sísmicas e exploração de petróleo (antropofonia). O conjunto destes sons formam a paisagem acústica, que pode ser definida como “a distribuição temporal e espacial de sons através de uma paisagem, que refletem importantes processos ecossistêmicos e atividades humanas” (PIJANOWSKI *et al.*, 2011a)

O termo paisagem acústica tem sua origem no contexto urbano, sendo definido por Southworth (1969) como as propriedades acústicas das cidades que ajudam as pessoas a se localizarem em certos espaços. A partir de 1977, o termo começou a ser usado também para abordar questões relacionadas a ambientes naturais (OLIVEIRA, 2020). Em 2011, uma série de artigos da *Landscape Ecology* formalizou a origem dessa nova área da Ecologia, a Ecologia de Paisagens Acústicas (PIJANOWSKI *et al.*, 2011b). Através da caracterização das paisagens acústicas é possível obter informações sobre as condições e qualidade de um habitat, monitorar a biodiversidade através da detecção da presença de espécies e avaliar os possíveis impactos do ruído antrópico, rastrear atividades ilegais, como tiros de caçadores, motosserras na extração ilegal de madeiras e ruídos de barco onde a pesca é ilegal (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; BURIVALOVA *et al.*, 2019; ASTARAS *et al.*, 2017).

A Ecologia de Paisagens Acústica é uma área de pesquisa emergente (PIJANOWSKI *et al.*, 2011b), principalmente no ambiente marinho. Os estudos desenvolvidos no ambiente terrestre têm avançado de modo significativo em comparação aos estudos no ambiente marinho (GASC *et al.*, 2013; FARINA, 2014, FERREIRA *et al.*, 2018;). No entanto, o interesse e o financiamento de pesquisas sobre paisagens acústicas marinhas vêm crescendo nos últimos anos, sendo uma importante área de pesquisa para a gestão sustentável do ambiente marinho (ERBE *et al.*, 2016).

Erbe e colaboradores (2015) realizaram a caracterização da paisagem acústica submarina de Perth Canyon, localizado na Austrália Ocidental, e determinaram a contribuição espectral das diferentes fontes sonoras presente na paisagem acústica. O local possui alta biodiversidade e é uma área de alimentação e descanso para algumas espécies de baleias em

migração. Os resultados do trabalho mostraram que, de forma geral, as fontes biológicas são importantes contribuintes da paisagem acústica da região, com a presença sazonal das baleias (15-100Hz) e a presença de coros de peixes e invertebrados (1800-2500Hz) à noite, ao longo do ano. Os navios contribuem de forma significativa nas frequências de 8-100Hz. Através dos resultados, os autores mostraram que o Monitoramento Acústico Passivo é uma forma eficiente de monitorar a visitação de animais e a densidade relativa, além de potenciais influências do ruído antrópico.

Algumas espécies de peixes produzem sons diferenciados no momento da desova (LOBEL & MANN, 1995). Através do estudo da paisagem acústica, é possível quantificar esses sons em determinada área ao longo do tempo. Identificar onde e quando os peixes estão desovando fornece informações chave sobre os locais que são utilizados pelas espécies para reprodução, o que permite um melhor gerenciamento de áreas importantes para espécies vulneráveis (LOBEL, 2001).

Coquereau e colaboradores (2017) realizaram um estudo na Baía de Brest, localizada na França, para avaliar se os impactos da pesca podem ser avaliados com base nas mudanças da paisagem acústica. Os resultados mostraram que as atividades de pesca predatória alteram fortemente o ambiente acústico. Através de um método não invasivo como a gravação de sons, os autores forneceram informações sobre a degradação de um habitat devido à pesca de arrasto e à dragagem, e mostraram que as paisagens acústicas representam um indicador estável, eficiente e confiável de mudanças de um habitat. Apesar do estudo ter sido realizado apenas em uma localidade, a utilização da paisagem acústica e das modificações dos padrões sonoros devido à pesca podem ser aplicados em qualquer região costeira que desenvolva atividades pesqueiras.

Buscaino e colaboradores (2016) investigaram os padrões temporais da paisagem acústica de uma área marinha protegida, localizada no Mar Mediterrâneo. Os autores buscaram identificar as principais fontes biológicas, físicas e antrópicas que compõem a paisagem acústica. Em frequências menores que 1kHz, a paisagem acústica da região é dominada pelo ruído das ondas, que são mais intensas no inverno. Por outro lado, frequências mais altas (4 a 96kHz) são dominadas pelo camarão-pistola, que aumenta sua atividade noturna durante o verão. Coros de peixes, abaixo de 2kHz, caracterizam a paisagem no pôr do sol durante o verão. A passagem de embarcações foi registrada, causando interferência nos coros de peixes. Embora a área seja considerada uma área de proteção marinha, o estudo mostrou que ela não pode ser considerada protegida de ruído.

No Brasil, a caracterização de paisagens acústica ainda está iniciando. A maior parte dos estudos se concentra na região sudeste (BITTENCOURT *et al.*, 2016; SANCHEZ-GENDRIZ & PADOVESE, 2016; CAMPBELL *et al.*, 2019; BITTENCOURT *et al.*, 2020; DESCONTO *et al.*, 2021)

O habitat acústico do arquipélago oceânico da Ilha de Trindade-Martin Vaz, localizado no Sudeste do Brasil, foi caracterizado por Bittencourt e colaboradores (2016). O camarão-pistola foi uma fonte dominante nas frequências mais altas durante o verão, enquanto no inverno as frequências mais baixas tiveram maior nível sonoro devido à presença da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e de seu canto. A vocalização de peixes foi registrada, sendo detectada principalmente durante à noite, tanto no inverno quanto no verão. Este estudo mostrou que o Arquipélago é um habitat acústico dominado por sons de origem biológica e é um importante local para a baleia-jubarte no inverno.

Também na região Sudeste do Brasil, Sánchez-Gendríz e Padovese (2016) descreveram a paisagem acústica submarina de duas áreas marinhas protegidas: o Parque Estadual Marinho da Laje de Santos e o Parque Estadual Xixová-Japuí. As regiões possuem importância tanto para a biodiversidade quanto para atividades antrópicas. O estudo mostrou que os principais componentes acústicos da paisagem são os coros de peixes, que apresentam um padrão diário. Além da atividade dos peixes, esse padrão diário também está relacionado aos ruídos de embarcações.

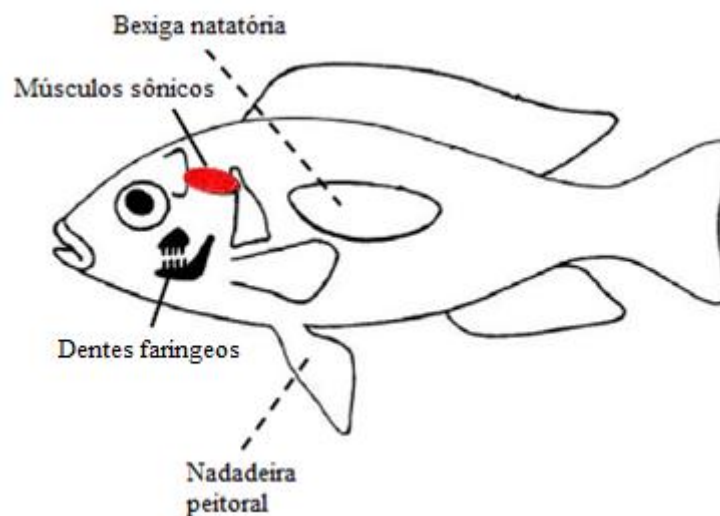
1.2 Os sons gerados pela fauna: A Biofonia

Ao considerar todas as habilidades sensoriais de um animal, torna-se evidente que cada um fornece um tipo particular de informação. No ambiente marinho, existe a limitação dos sinais sensoriais (FARINA, 2014). Os sinais químicos são duradouros, no entanto, apenas no ar, e funcionam adequadamente apenas quando o animal receptor está próximo da fonte química. O toque é útil somente quando o animal está muito próximo de um estímulo. A luz, por sua vez, é limitada à superfície. Em contraste, o som fornece informações aos animais sobre objetos a grandes distâncias e em todas as direções, pois no ambiente marinho a onda sonora está presente em todas as profundidades e se propaga a grandes distâncias (URICK, 1983).

Indicando a importância das pistas acústicas de um ambiente, aparentemente a capacidade de ouvir surgiu cedo na filogenia da vida, há cerca de 400 milhões de anos, nos peixes ósseos (PECK, 1994). Nestes animais, produção de sons está associada a diversos contextos comportamentais, como comunicação, alimentação, reprodução, mecanismo de defesa e comportamentos agonísticos (SLABBEKOORN & BOUTON, 2008; BUSCAINO *et al.*, 2011; BRADBURY & VEHRENCAMP, 2011; LADICH, 2014).

Os chamados produzidos individualmente pelos peixes podem se transformar em coro, quando os animais sincronizam sua atividade vocal em um período específico, que pode se estender por horas (MCCAULEY, 2012; PARSONS, MCCAULEY & THOMAS, 2013). Existem três principais mecanismos de produção de som pelos peixes ósseos: através da bexiga natatória, das nadadeiras peitorais e dos dentes faríngeos (PARSONS *et al.*, 2013; LADICH, 2014) (Figura 1). Os sons produzidos na bexiga natatória são gerados a partir da contração dos músculos sônicos e geram sons abaixo de 500Hz (LADICH, 2014). A partir das nadadeiras peitorais e dos dentes faríngeos são produzidos sons de estridulação (quando duas partes do corpo são friccionadas), que geram sons pulsados que podem chegar a 4kHz (LADICH, 2014).

Figura 1. Principais estruturas que produzem som nos peixes

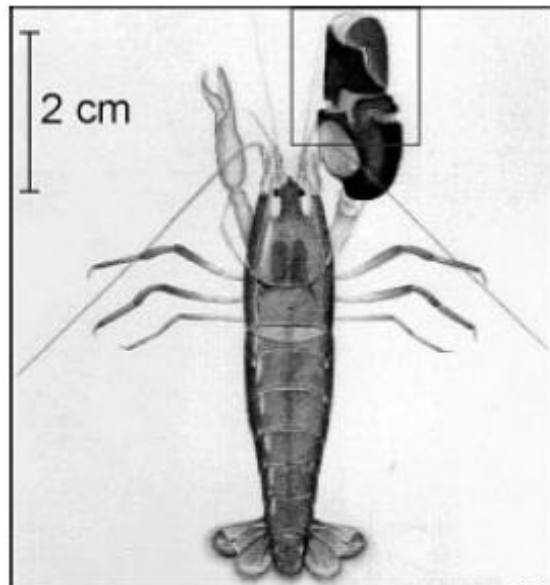


Fonte: Modificado de LADICH, 2014

A maior parte dos invertebrados marinhos produz sons através do mecanismo de estridulação (SCHMITZ, 2002). Outros mecanismos com vibração da carapaça (PATEK & CALDWELL 2006), emissão de bolhas (CRANE, 1966), através da mandíbula (MEYER-ROCHOW & PENROSE, 1976) e contração dos músculos internos (HENNINGER & WATSON, 2005) também já foram registradas.

O camarão-pistola (camarões marinhos, membros da família Alpheidae) possui um dos sons mais intensos do ambiente marinho. O animal possui duas garras, e uma delas pode atingir metade do comprimento total do corpo (Figura 2). Quando essa garra se abre e fecha rapidamente, a água vaporiza, formando uma bolha. Quando essa bolha estoura, é produzido um som que pode chegar a 210 dB re 1 μ Pa a 1 metro de distância (SCHMITZ, 2002). Esse processo é chamado de cavitação. O estalo é produzido para atordoar ou matar as presas, para comunicação intraespecífica e interespecífica, defesa de território e em comportamentos agonísticos (SCHMITZ & HERBERHOLZ, 1998; VERSLUIS et al., 2000; SCHMITZ, 2002).

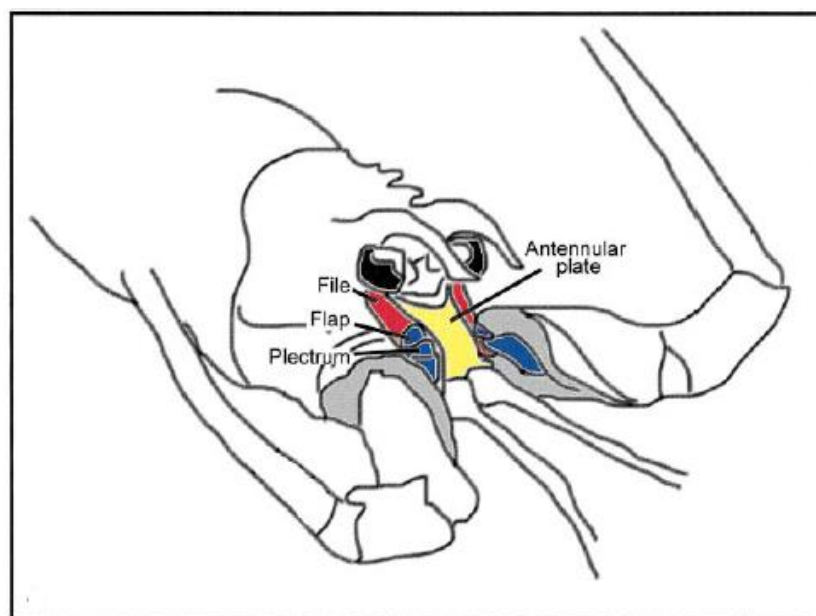
Figura 2. *Alpheusheterochaeli*, uma das maiores espécies de camarão-pistola. A garra pode se desenvolver tanto do lado esquerdo quanto do direito, e em ambos os sexos.



Fonte: VERSLUIS et al., 2000

As lagostas-espinhosas, pertencentes à família Palinuridae, produzem sons através de um mecanismo similar a um violino. Elas deslizam uma estrutura chamada *plectrum*, que é um tecido mole localizado na base das antenas, sobre um tecido rígido localizado abaixo do olho, chamado de *file*, produzindo assim um som (PATEK, 2001; PATEK & OAKLEY, 2003; PATEK & BAIO, 2007) (Figura 3). As lagostas produzem este som como mecanismo de defesa contra predadores (PATEK & OAKLEY, 2003).

Figura 3 – Lagosta-espinhosa da espécie *Panulirusargus*. O *plectrum* desliza no *file* para produzir o som



Fonte: PATEK & OAKLEY, 2003

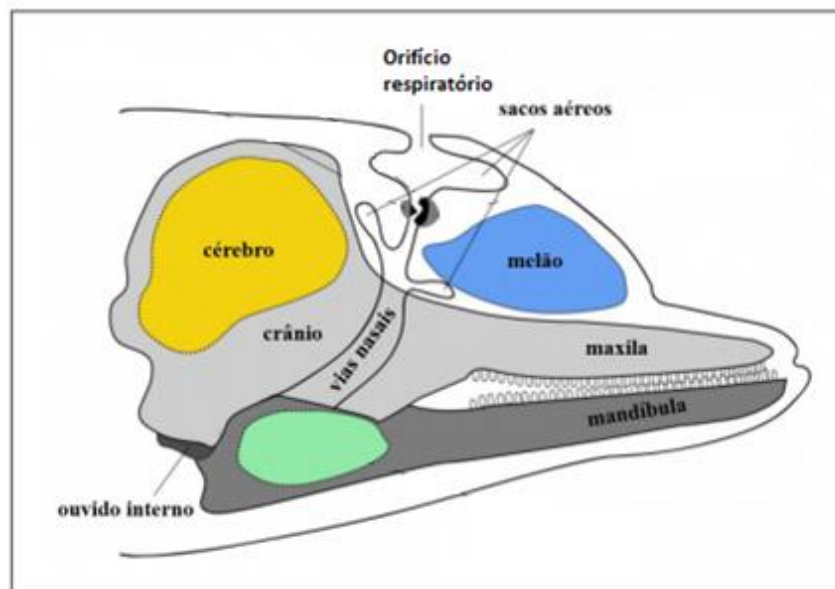
Os cetáceos produzem uma variedade de tipos sonoros, utilizados para navegar, encontrar e capturar presas, detectar predadores, para se reproduzir e para interação social (BERTA; SUMICH; KOVACS, 2015; TYACK & CLARK, 2000).

Os odontocetos emitem os assobios, sons pulsantes e cliques de ecolocalização (RICHARDSON *et al.*, 1995). Os assobios e os sons pulsantes são emissões sonoras com modulação de frequência utilizadas na comunicação e interação social, enquanto os cliques são pulsos de alta frequência, utilizados para ecolocalização (TYACK & CLARK, 2000).

Através da ecolocalização o animal consegue obter informações do ambiente e navegar. Um clique emitido por um indivíduo se propaga na água e colide com algum obstáculo. Esse som então volta para o emissor como um eco, com as informações a respeito

do obstáculo, que pode ser uma presa, um predador, ou componentes do próprio meio abiótico. A produção dos cliques de ecolocalização ocorre através da passagem do ar pelos sacos aéreos nasais, localizados perto do orifício respiratório. Esse sistema de produção é acoplado a uma estrutura que amplifica o som, chamado de melão (Figura 4). Já os assobios são produzidos através da laringe.

Figura 4. Representação esquemática da cabeça de odontoceto, mostrando algumas das estruturas que participam da produção sonora.



Fonte: Adaptado de KASSEWITZ *et al.* (2016)

Os mysticetos emitem sons adaptados para comunicação a longa distância, categorizados como chamados e canto (CLARK, 1990). Os chamados podem ser definidos como sons de curta duração e isolados, que são produzidos tanto pelos machos quanto pelas fêmeas (WINN *et al.*, 1979, CLARK, 1990). São divididos em três categorias: chamados simples, chamados complexos e cliques, pulsos e batidas. Os chamados simples geralmente são de baixa frequência e com frequência modulada. Podem, ocasionalmente, conter harmônicos e modulação de amplitude. Os chamados complexos consistem em sons pulsantes de banda larga que possuem diferentes modulações de amplitude e/ou frequência. Os cliques, pulsos e batidas são sons de curta duração, com pouca ou nenhuma modulação de frequência. Os cliques e pulsos não têm sido reportados amplamente e são considerados os sons mais controversos atribuídos aos mysticetos (CLARK, 1990).

A classificação dos chamados em categorias funcionais ainda é controversa, devido à variação das vocalizações entre indivíduos e entre espécies. Sendo assim, é recomendado o estudo de cada emissão de forma isolada (WINN *et al.*, 1979).

O canto, por sua vez, pode ser definido como vocalização prolongada, com sequências fixas e repetidas. É produzido apenas pelos machos e é composto por uma sequência de diferentes sons de curta duração, chamados de unidades. Juntas, as unidades compõem as frases, que podem se repetir várias vezes. A repetição das frases é chamada de tema. O conjunto dos temas constitui o que é chamado de canto (PAYNE & MCVAY, 1971).

Quando uma baleia canta, contrações musculares na garganta e no peito movem o ar dos pulmões através das pregas vocais para dentro dos sacos laríngeos, fazendo vibrar a prega em formato de U. O som resultante ecoa nos sacos laríngeos, fazendo o canto se propagar a longas distâncias. Durante o canto, o ar é reciclado de volta para os pulmões, sendo possível a produção do som continuamente.

São conhecidas cinco espécies que produzem o canto: baleia-azul (*Balaenoptera musculus*), baleia-fin (*Balaenoptera physalus*), baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), baleia-da-Groelândia (*Balaenamysticetus*), baleia-minke (*Balaenoptera acutorostrata*) e baleia-de-Omura (*Balaenoptera omurai*) (AU & HASTINGS, 2008; GEDAMKE, COSTA, DUNSTAN; 2001, CERCHIO *et al.*, 2017).

O canto da baleia-jubarte tem recebido maior atenção por parte dos pesquisadores nos últimos anos (AU & HASTINGS, 2008) devido, em parte, à facilidade de acesso a este tipo de dado da espécie durante a temporada reprodutiva. O canto foi descrito por Payne e Webb, em 1971, é considerado um canto complexo e é estudado até os dias de hoje.

O canto é produzido com maior frequência durante a temporada reprodutiva, onde os machos competem pelas fêmeas (PAYNE & MCVAY, 1971). Não existe um consenso para a função do canto no sistema de acasalamento das baleias-jubarte. No entanto, existem três hipóteses que são mais aceitas: atrair a fêmea para um determinado cantor; facilitar a interação entre machos e atrair fêmeas para uma agregação de machos cantores (HERMAN, 2017).

1.3 Impactos do ruído antrópico na biofonia

Até 1760, as paisagens acústicas marinhas eram compostas principalmente por sons de origem geológica e biológica, com uma contribuição mínima de sons antrópicos (DUARTE *et al.*, 2021). Com o início da Revolução Industrial, os oceanos começaram a ser impactados

com ruídos antrópicos, oriundos de navios, sonares, exploração sísmica, dentre outros, os quais, potencialmente, impactam a fauna do ambiente marinho (DUARTE *et al.*, 2021).

Em áreas cada vez mais amplas do oceano, o ruído antrópico sobrepõe as bandas de frequência de audição de animais marinhos. Essa sobreposição é chamada de mascaramento acústico, o que reduz o espaço de comunicação acústica dos peixes e dos mamíferos marinhos (PUTLAND; CONSTANTINE; RADFORD, 2017; RICHARDSON, 1995). O mascaramento acústico pode aumentar a falha em evitar a predação, o que leva ao aumento da mortalidade (EVERLEY; RADFORD; SIMPSON, 2016), pode levar à perda de oportunidade de alimentação e à falta de coesão de grupo (ERBE *et al.*, 2016).

Um estudo realizado por Sousa-Lima e Clark (2009) no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos avaliou os efeitos do tráfego de embarcações de turismo de observação de baleias no comportamento espacial e acústico de machos cantores de baleia-jubarte. Todas as baleias saíram de suas posições quando a embarcação se aproximou, e 44.5% pararam de cantar (SOUSA-LIMA & CLARK, 2009).

Estes resultados indicam que o ruído gerado por embarcações de turismo de observação de baleias pode mascarar aspectos importantes da comunicação das baleias, além de ter, potencialmente, influência no sucesso reprodutivo e crescimento da população das baleias jubarte (ROSSI-SANTOS, 2015; SPROGIS, VIDESEN, MADSEN; 2020).

1.4 Metodologias e desafios práticos

Sensores autônomos com custo acessível permitiram a gravação de sons por longos períodos de tempo (SOUSA-LIMA *et al.*, 2013). O Monitoramento Acústico Passivo (MAP) tornou-se um método de coleta de dados relativamente barato, não necessita da presença do pesquisador em campo e não interfere no comportamento das espécies, diminuindo potenciais impactos da presença do pesquisador no comportamento dos animais. O sistema MAP permite gravações em largas escalas de espaço e tempo, com uma alta taxa amostral (SOUSA-LIMA *et al.*, 2013).

A coleta de dados para o desenvolvimento de estudos em escalas maiores, como de paisagens, é uma questão solucionada. Os desafios atuais são a interpretação destes dados. Os gravadores autônomos coletam grandes quantidades de dados que não são passíveis de análises manuais, como acontece na bioacústica, que foca em uma ou poucas espécies (SUEUR *et al.*, 2014).

Estes dados podem ser analisados a partir de diferentes métricas. Lindseth e Lobel (2018) listaram as métricas mais utilizadas e recomendadas na caracterização de paisagens acústicas. A mais utilizada é o *Power Spectral Density*(PSD), que mostra a distribuição estatística da energia com a frequência (MERCHANT *et al.*, 2015; ERBE *et al.*, 2016). Em seguida, a mais utilizada é o Nível de Pressão Sonora, que é o nível de pressão sonora do ambiente relativo a um valor de referência, que resulta em uma medida em dB (LINDSETH & LOBEL, 2018). Este valor de referência no ambiente marinho geralmente é 1 μ Pa. O uso do Nível de Pressão Sonora para caracterizar paisagens acústicas pode ser complicado porque a distância da maioria dos sons que são gravados é desconhecida (LINDSETH & LOBEL, 2018).

Atualmente não existe um padrão para a análise de dados no estudo de paisagens acústicas marinhas, tornando difícil a comparação entre resultados (ERBE *et al.*, 2016). Uma nova abordagem de análise é a utilização de índices acústicos (SUEUR *et al.*, 2014), que são estatísticas capazes de resumir aspectos da distribuição da energia acústica que vão se correlacionar com uma informação ecológica (TOWSEY *et al.*, 2014). Índices acústicos podem ser calculados para caracterizar a paisagem acústica no tempo e na frequência (FERREIRA *et al.*, 2018). Eles podem ser derivados do envelope da onda (utilizando amplitude/ intensidade sonora) de espectrogramas (estimando a complexidade em termo de tempo, frequência e/ou amplitude) ou podem se basear na contribuição relativa dos três componentes da paisagem acústica (biofonia, geofonia e antropofonia). A utilização de índices acústicos para monitorar e diferenciar táxons em áreas com alta biodiversidade representa um desafio no estudo de paisagens acústicas (FERREIRA *et al.*, 2018). Desafio ainda maior no ambiente marinho, onde a utilização dos índices acústicos é incipiente (SUEUR *et al.*, 2014; BOHNENSTIEHL *et al.*, 2018; BUXTON *et al.*, 2018).

A utilização de um único índice acústico para a caracterização e monitoramento das paisagens acústicas é considerada uma utopia. A combinação de índices acústicos está sendo utilizada e resultados mostram que, quando em conjunto, de forma ponderada, eles produzem informações ecológicas mais completas do que quando utilizados separadamente (TOWSEY *et al.*, 2014; PHILLIPS; TOWSEY; ROE, 2017).

Lopes (2018) avaliou como diferentes índices acústicos e o PSD reagem a dois níveis de antropofonia no ambiente acústico marinho do Banco dos Abrolhos. Os dados foram coletados em uma área controle (baixo tráfego de embarcações) e em uma área de tratamento (alto tráfego de embarcações). Para cada área o PSD e 9 índices acústicos foram calculados.

As duas áreas apresentaram um padrão diferente no PSD em frequências abaixo de 600Hz, com o tratamento apresentando maiores intensidades sonoras. Essa faixa de frequência é característica de ruído de barcos, indicando que o PSD foi capaz de diferenciar as áreas. O resultado dos índices acústicos variou, e a autora recomenda a utilização de métricas acopladas com a combinação de certos índices acústicos, a depender do objetivo do trabalho, para obter uma interpretação efetiva das paisagens acústicas.

1.5 A costa brasileira como área reprodutiva das baleias-jubarte

A Região do Banco dos Abrolhos, localizada no nordeste do Brasil, é a maior área de concentração de baleias-jubarte do Atlântico Sul (ANDRIOLO *et al.*, 2006). Sousa-Lima e Clark (2008) descreveram o canto da espécie na região. Os autores descreveram a composição do canto, variações entre anos e padrões de atividade entre os anos 2000 e 2005. Na Região, a espécie apresenta maior atividade de canto no período da noite, provavelmente devido à concentração de ruído antrópico oriundo de barcos de turismo de observação de baleias durante o dia (CASAGRANDE, 2016).

Ao norte de Abrolhos está localizada a Região de Serra Grande, uma área reprodutiva reocupada pela baleia-jubarte após seu declínio populacional devido à caça (GONÇALVES *et al.*, 2018a; SOUSA-LIMA *et al.*, 2018). A Região, além de ser um sítio reprodutivo da espécie, é uma importante área de descanso e de amamentação dos filhotes (GONÇALVES *et al.*, 2018a).

Atualmente a Região de Serra Grande apresenta baixa interferência antrópica (GONÇALVES *et al.* 2018b). No entanto, a 10km de distância de Serra Grande está em fase inicial a construção de um complexo portuário – Complexo Logístico e Intermodal Porto Sul – com previsão de capacidade de escoamento de até 42 milhões de toneladas, sendo metade reservada para minério de ferro, através de navios cargueiros (BAMIN, 2021; TCU, 2012). O Complexo Logístico e Intermodal Porto Sul deve se tornar o primeiro porto do Nordeste a receber navios com capacidade de até 220 mil toneladas, e com potencial de se tornar o terceiro maior porto do Brasil (BAMIN, 2011; BAMIN, 2021). Este empreendimento levará ao aumento do tráfego de embarcações de grande porte na Região de Serra Grande e, conseqüentemente, ao aumento do nível de ruído antrópico subaquático.

O ruído antrópico atualmente é reconhecido como um problema global e estudos recentes apontam uma série de efeitos negativos que ele tem causado na fauna marinha (WILLIAMS *et al.*, 2019, PIRES *et al.*, 2021). O aumento do ruído antrópico em uma área de

descanso e reprodução da baleia-jubarte pode ser prejudicial à espécie porque pode, potencialmente, levar à redução do tempo de amamentação e prejudicar o crescimento dos filhotes (BRAITHWAITE *et al.*, 2015). Além disso, a fauna da região é composta por diversas outras espécies, que podem vir a ser prejudicadas devido ao potencial efeito de mascaramento acústico e pela redução do espaço acústico de comunicação (PUTLAND *et al.*, 2017).

OBJETIVO GERAL

Diante do cenário de futuras modificações no ambiente marinho da Região de Serra Grande, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e identificar os principais contribuintes da paisagem acústica submarina da Região de Serra Grande, Uruçuca-BA, durante a temporada reprodutiva das baleias-jubarte. Os objetivos específicos incluem:

- 1) caracterizar padrões de utilização do espaço acústico pelos componentes da biofonia local;
- 2) testar a efetividade de índices acústicos (Índice de Complexidade Acústica, Entropia Temporal e Índice de Eventos Acústicos) e de espectrogramas de falsa cor (false-colour spectrogram) na descrição da paisagem submarina local.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, A, Martins, CCA, Engel, MH, Pizzorno, JL, Más-Rosa, S, Freitas, AC, Morete, ME & Kinas, PG (2006). The first aerial survey of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to estimate abundance in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). *Journal of Cetacean Research and Management*, 8, 307-311
- ASTARAS, C., Linder, J. M., Wrege, P., Orume, R. D., & Macdonald, D. W. (2017). Passive acoustic monitoring as a law enforcement tool for Afrotropical rainforests. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(5), 233–234. <https://doi.org/10.1002/fee.1495>
- AU, W.W.L, HASTINGS, M.C. Principles of Marine Bioacoustics. Ed **Springer**. 2008.
- BAMIN. Relatório de Impacto Ambiental Porto Sul. Bahia Mineração Ltda.,118. 2011
- BAMIN. “Nossos projetos” - Disponível em <<https://www.bamin.com.br/bamin.php>> Acesso em 1 de ago de 2021.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. Marine Mammals. Evolutionary Biology. Third Ed. **Elsevier** [s.l: s.n.]. 2015
- BITTENCOURT, L, *et al.* Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 115, 103-111. 2016
- BITTENCOURT, L, *et al.* Anthropogenic noise influences on marine soundscape variability acrosscoastal areas. **Marine Pollution Bulletin**. 2020
- BOHNENSTIEHL, D. R. et al. Investigating the utility of ecoacoustic metrics in marine soundscapes. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. 2, p. 1–1, 14 set. 2018.
- BRADBURY, J. W.; VEHRENCAMP, S. L. Principles of animal communication. [s.l.] **Sinauer Associates**, 2011.
- BRAITHWAITE et al. 2015. Optimal migration energetics of humpbackwhales and the implications of disturbance. **Conservation Physiology**
- BURIVALOVA, Z., Game, E. T., & Butler, R. A. (2019). The sound of a tropical forest. *Science*, 363(6422), 28–29. <https://doi.org/10.1126/science.aav1902>
- BUSCAINO, G. et al. Acoustic behaviour of the European spiny lobster *Palinurus elephas*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 441, p. 177–184, 15 nov. 2011.

- BUSCAINO, G. *et al.* Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific Reports**. 2016
- BUXTON, R. T. *et al.* Efficacy of extracting indices from large-scale acoustic recordings to monitor biodiversity. **Conservation Biology**, v. 32, n. 5, p. 1174–1184, 1 out. 2018.
- CASAGRANDE (2016) Ritmo de atividade vocal de machos de Baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- CAMPBELL, D. *et al.* Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio Island, Brazil. Acoustical Society of America. 2019.
- CERCHIO, S., DORNING, S., B. ANDRIANANTENAINA, D. CHOLEWIAK. A first description of rhythmic song in Omura's whale (*Balaenoptera omurai*). **Journal of the Acoustical Society of America**. 2017.
- CLAPHAM, P. J.; MEAD, J. G. *Megaptera novaeangliae*. **Mammalian Species**, n. 604, p. 1, 1999.
- CLARK, 1990. ACOUSTIC BEHAVIOR OF MYSTICETE WHALES
- COQUEREAU L, Lossent J, Grall J, Chauvaud L. Marine soundscape shaped by fishing activity. *R. Soc. open sci.* 4: 160606. 2017
- DESCONTO M.B.S. *et al.* Influence of natural and anthropogenic sound sources on the soundscape of the Cananéia estuary, southeastern Brazil. 2021. **Marine Pollution Bulletin**
- DUARTE, C. M. *et al.* The soundscape of the Anthropocene ocean **Science American Association for the Advancement of Science**, 5 fev. 2021.
- ERBE, C. *et al.* The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*. 2015.
- ERBE, C. *et al.* Communication masking in marine mammals: A review and research strategy **Marine Pollution Bulletin** Elsevier Ltd, , 15 fev. 2016.
- EVERLEY, K.; RADFORD, A.; SIMPSON, S. Advances in Experimental Medicine and Biology 875 The Effects of Noise on Aquatic Life II. **The Effects of Noise on Aquatic Life II**, n. Unit 16, p. 273–279, 2016.
- FARINA, A. Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications. **Springer**. 2014
- FERREIRA, L.M. *et al.* What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. 1, p. 1–1, 27 fev. 2018.

GASC, A. et al. ‘Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities?’, *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd, 25, 279–287. 2013

GONÇALVES et al., 2018a. Low latitude habitat use patterns of recovering population of humpback whales

GONÇALVES et al., 2018b Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground

HERMAN, L. M. The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. **Biological Reviews**, v. 92, n. 3, p. 1795–1818, 1 ago. 2017.

JEFFERSON, T. A., WEBBER, M.C. PITMAN, R.L. *Marine Mammals of the World. A Comprehensive Guide to Their Identification. Second Edition.* Elsevier. 2015

KASSEWITZ, J.; HYSON, M. T.; REID, J. S.; BARRERA, R. L. A phenomenon discovered while imaging dolphin echolocation sounds. *Journal of Marine Science: Research and Development*, v. 6, 1000202, 2016.

LADICH, F. Fish bioacoustics. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 28, p. 121–127, 2014.

LINDSETH, A. V. and Lobel, P. S. ‘Underwater Soundscape Monitoring and Fish Bioacoustics: A Review’, *Fishes*, 3(3), p. 36. 2018.

LOBEL, P.S.; Mann, D.A. Spawning sounds of the damselfish, *Dascyllus albisella* (*Pomacentridae*), and relationship to male size. *Bioacoustics* 1995, 6, 187–198.

LOBEL, P.S. Fish bioacoustics and behavior: Passive acoustic detection and the application of a closed-circuit rebreather for field study. *Mar. Technol. Soc. J.* 2001, 35, 19–28.

LOPES, C. L. INTERPRETANDO A CONTRIBUIÇÃO DA ANTROPOFONIA SOBRE MÉTRICAS ACÚSTICAS EM UMA PAISAGEM SONORA MARINHA. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018

MCCAULEY, R. D. **Fish choruses from the Kimberley, seasonal and lunar links as determined by long term sea noise monitoring.** [s.l: s.n.]. Disponível em: www.cmst.curtin.edu.au 2012

MERCHANT, N. D. et al. ‘Measuring acoustic habitats’, *Methods in Ecology and Evolution*, 6(3), pp. 257–265. 2015

OLIVEIRA, E.G., PAISAGENS ACÚSTICAS E O USO DE MONITORAMENTO ACÚSTICO PASSIVO EM BIOMAS BRASILEIROS. **Tese de doutorado.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2020.

PATEK. S.N. Spiny lobsters stick and slip to make sound. 2001

PATEK, S.N. Comparative Tests Of Evolutionary Trade-Offs In A Palinurid Lobster Acoustic System. 2003.

PATEK, S.N., BAILO, J.E. The acoustic mechanics of stick–slip friction in the California spiny lobster (*Panulirus interruptus*). *The Journal of Experimental Biology* 210, 3538–3546. 2007

PARSONS. *et al.* THE SOUNDS OF FISH OFF CAPE NATURALISTE, WESTERN AUSTRALIA. **Acoustics Australia** Vol. 41, No. 1, April 2013.

PAYNE, R. S.; MCVAY, S. Songs of humpback whales **Science**, 1971.

PAYNE, R.; WEBB, D. ORIENTATION BY MEANS OF LONG RANGE ACOUSTIC SIGNALING IN BALEEN WHALES*. [s.l: s.n.]. 1971

PECK, James E. Development of Hearing. Part I. Phylogeny. *J Am Acad Audiol*, [s. l.], v. 5, p. 291–299, 1994.

PHILLIPS, Y. F.; TOWSEY, M.; ROE, P. Visualization of environmental audio using ribbon plots and acoustic state sequences. **International Symposium on Big Data Visual Analytics, BDVA 2017**, 2017.

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, nov. 2011a.

PIJANOWSKI, B.C. *et al.* Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61, 203–216. 2011b

PIRES, A.L. M.S. *et al.* The effects of anthropogenic noise on cetaceans in Brazil: the need to consider recent scientific advances in environmental licensing. *Journal of Coastal Conservation*, 2021

PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2017

RICHARDSON, W. J. (WILLIAM J. **Marine mammals and noise**. [s.l.] Academic Press, 1995.

ROSSI-SANTOS MR, *et al.* Occurrence and distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the north coast of the State of Bahia, Brazil, 2000–2006. *ICES Journal of Marine Science* 65: 667– 673. 2008.

ROSSI-SANTOS, MR (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, 299, 184–195.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, I, & Padovese, LR. Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 105, 65–72. 2016

SCHMITZ & HERBERHOLZ. Snapping behavior in intraspecific agonistic encounters in the snapping shrimp (*Alpheus heterochaelis*). 1998. Bioscience. Indian Academy of Sciences.

SCHMITZ B. Sound Production in Crustacea with Special Reference to the Alpheidae. In: Wiese K. (eds) The Crustacean Nervous System. Springer, Berlin, Heidelberg. 2002

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N. Soundscape orientation: a new field in need of sound investigation. **Animal Behaviour**, v. 76, n. 4, out. 2008.

SOUSA-LIMA, RS, & Clark, CW. Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Canadian Acoustics*, 36(1), 174-181. 2008

SOUSA-LIMA, R. S.; CLARK, C. W. Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian marine park. **Park Science**, v. 26, n. 1, 2009

SOUSA-LIMA et al. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. 2018

SOUSA-LIMA, R. S. et al. A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, p. 23–53, 2013.

SOUTHWORTH, M. The Sonic Environment of Cities. *Environment and Behavior*, 50–70. Retrieved from file:///Users/mohdsayeed/Desktop/laptu_desktop/others/etcetc/SAGE_JOURNALS/SAGE_JOURNALS/environment_and_behavior/june/the_sonic_environment_of_cities.pdf 1969

SPROGIS *et al.* Vessel noise levels drive behavioural responses of humpback whale. **eLife**. 2020.

SUEUR, J. et al. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 100, n. 4, p. 772–781, 2014.

TCU - TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório de fiscalização – Sintético. Fiscalização 377/2012. TC (010.207), 2012

TOWSEY, M. et al. **Visualization of long-duration acoustic recordings of the environment**. *Procedia Computer Science*. **Anais...Elsevier**, 2014.

TOWSEY, M. et al. Long-duration, false-colour spectrograms for detecting species in large audio data-sets. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. 1, p. 1–1, 26 abr. 2018.

TYACK, P. L.; CLARK, C. W. **Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales**. 2000

URICK, R. J. 'Principles of underwater sound'. Los Altos, California: Peninsula Publishing (3ed). 1983

VERSLUIS, M. et al. How snapping shrimp snap: Through cavitating bubbles. **Science**, v. 289, n. 5487, p. 2114–2117, 2000.

WINN, HE, & Winn, LK . The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biology*, 47, 97-114. 1979

ZERBINI, A. N. et al. Satellite-monitored movements of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Southwest Atlantic Ocean. ***Marine Ecology Progress Series***, v. 313, p. 295–304, 11 maio 2006.

CAPÍTULO 1:

PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA BALEIA-JUBARTENO BRASIL

PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA DE UM SÍTIO REPRODUTIVO DA BALEIA-JUBARTENO BRASIL

RESUMO

As paisagens acústicas são formadas por sons de origem biológica (biofonia), sons de origem geológica (geofonia) e sons de origem antrópica (antropofonia). Os ambientes acústicos com baixa interferência antrópica são dominados por sons de origem biológica e geológica. A costa do Brasil é uma importante área de reprodução para a população do estoque A da baleia-jubarte, que migra para a costa brasileira para se reproduzir. A Região de Serra Grande no sul do estado da Bahia, é um sítio reprodutivo da baleia-jubarte reocupado após a recuperação populacional da espécie. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar padrões de utilização do espaço acústico pelos componentes da biofonia local e testar a efetividade de índices acústicos e de espectrogramas em Long Duration False-Colors (LDFC) na descrição da paisagem acústica submarina local. Foram instalados Oceanpods a 16 – 22 metros de profundidade, a uma distância de 2,5 – 2,7 km da costa. A paisagem acústica da Região de Serra Grande é complexa devido a múltiplos contribuintes que produzem sons simultaneamente. A baleia-jubarte é um importante componente da biofonia, juntamente com outras fontes sonoras atribuídas a outros animais como peixes e crustáceos. O Índice de Complexidade Acústica evidenciou o canto de baleias-jubarte macho e os coros de peixes. Quando ocorrem muitas vocalizações simultaneamente, tanto de peixes quanto de baleias, ou estas se estendem no tempo, os LDFC apresentam lacunas. Quando somente o canto da baleia-jubarte está presente, ele é evidenciado pela combinação de índices: o Índice de Complexidade Acústica com o Índice de Eventos Acústicos; e o Índice de Complexidade Acústica com a Entropia Temporal. O Índice de Eventos Acústicos não destacou o ruído de embarcações a motor. O presente trabalho caracteriza a paisagem acústica de um sítio reprodutivo da baleia-jubarte enquanto o local apresenta baixa interferência antrópica. Contudo, a cerca de 10 km da área de estudo, a construção de um Complexo Portuário está em fase inicial, com potencial de modificar o ambiente acústico da região. Considerando tais alterações, este estudo fornece dados-base para a avaliação dos efeitos da modificação da paisagem acústica da Região de Serra Grande.

Palavras-chave: índices acústicos, monitoramento acústico passivo, habitat acústico, coro de peixes, biofonia

ABSTRACT

The soundscape is composed by animal sounds (biophony), geophysical sounds (geophony) and man-made sounds (anthropofony). Soundscapes with low anthropogenic noise are dominated by biological and geological sounds. After the industrial revolution, oceans have been impacted by anthropogenic noise, harmful for marine fauna. Passive acoustic monitoring enables the collection of information about ecosystem health and acoustic interaction within a community. Serra Grande (BA) is a breeding ground to the population of humpback whales from stock A that visits Brazil. The goal of this study was to characterize the acoustic space use pattern by local biophony as well as to evaluate if acoustic indices and Long Duration False-Colors spectrograms describe the local marine soundscape. OceanPods were installed distant 2.5 – 2.7 km from the coast at 16 – 22m of depth. The underwater soundscape in Serra Grande is complex due to multiple, simultaneous contributors. Whales, fish and crustaceans are the major components of the local biophony. The Acoustic Complexity Index highlighted humpback whale song, and the onset of fish chorus. When there are many simultaneous vocalizations, fish and whales, or a long sequence, a gap appears in false-colors spectrogram. When just humpback whale singing occurs, it is shown by the Acoustic Complexity Index and Acoustic Events Index combination as well as by the Acoustic Complexity Index and Temporal Entropy Index combination. The Acoustic Events Index didn't highlight the sounds from vessel engines. The current study characterizes the soundscape of a humpback whale breeding ground while the area has low anthropic interference. However, human activities may occur in the future, such as the construction of a new port in the region. Considering these future changes, this research provided a baseline for the assessment of the effects of the port sounds in the Serra Grande marine soundscape.

Palavras-chave: Acoustic indices, ecoacoustics, Passive Acoustic Monitoring, Acoustic habitat

1. INTRODUÇÃO

Os principais grupos de animais marinhos, invertebrados, peixes e mamíferos utilizam o som para interação e interpretação do seu ambiente (TAVOLGA, POPPER & FAY, 1981; VERSLUIS *et al.*, 2000; TYACK & CLARK, 2000; LADICH, 2014). O habitat acústico, também chamado de paisagem acústica, é formado pelo conjunto de sons que emanam de uma comunidade em um determinado tempo, incluindo fatores abióticos e antrópicos (PIJANOWSKI *et al.*, 2011).

Lindseth & Lobel (2018) fizeram uma revisão das métricas e parâmetros mais utilizados no estudo de paisagens acústicas e fizeram indicações de métodos que possibilitem futuras comparações, como padronização na amostragem, ferramentas de visualização de dados e sensores calibrados. Uma métrica recente é o uso de índices acústicos, que são funções matemáticas projetadas para avaliar rapidamente aspectos da biodiversidade (SUEUR *et al.*, 2014). Estudos têm mostrado que quando utilizados em conjunto, os índices acústicos produzem informações ecológicas mais completas do que quando utilizados separadamente (TOWSEY *et al.*, 2014; PHILLIPS; TOWSEY; ROE, 2017).

Em ambientes marinhos costeiros os sons de origem biológica são produzidos por peixes, invertebrados e mamíferos marinhos, de maneira intencional ou como subproduto da alimentação e navegação (BUSCAINO *et al.*, 2016). Nos peixes, a produção de sons está relacionada à comunicação, reprodução, alimentação, comportamentos agonísticos, detecção de predadores e mecanismo de defesa (LADICH, 2019; SLABBEKOORN *et al.*, 2010), enquanto nos invertebrados a acústica tem papel no mecanismo de defesa e na reprodução (VERSLIUS *et al.* 2000). Os cetáceos utilizam o som na comunicação, navegação, para encontrar e capturar presas, detectar predadores, para se reproduzir e para interação social (BERTA; SUMICH; KOVACS, 2015; TYACK & CLARK, 2000).

Entender como os sinais acústicos de origem biológicos influenciam as paisagens acústicas que possuem uma baixa interferência antrópica ajudam a compreender quais as bandas de frequência mais críticas que, se mascaradas, podem interferir na comunicação da

fauna (BITTENCOURT *et al.*, 2016). Com o início da Revolução Industrial, os oceanos começaram a ser impactados com ruídos antrópicos, oriundos de navios, sonares, exploração sísmica, dentre outros (DUARTE *et al.*, 2021). Em áreas cada vez mais amplas do oceano, o ruído antrópico sobrepõe as bandas de frequência de audição de animais marinhos. Essa sobreposição é chamada de mascaramento acústico, que reduz o espaço de comunicação acústica dos peixes e dos mamíferos marinhos (PUTLAND; CONSTANTINE; RADFORD, 2017; RICHARDSON, 1995). Essa redução pode aumentar a falha em evitar a predação, levando ao aumento da mortalidade (EVERLEY; RADFORD; SIMPSON, 2015), pode levar à perda de oportunidade de alimentação e à falta de coesão de grupo (ERBE *et al.*, 2016).

O estudo de paisagens acústicas cresceu nos últimos anos em razão da acessibilidade do Monitoramento Acústico Passivo (MAP). A redução dos custos de sensores autônomos possibilitou a aquisição e armazenamento de grandes volumes de dados (SOUSA-LIMA *et al.*, 2013; MERCHANT *et al.*, 2015) e os desafios atuais são processamento, a visualização e interpretação destes dados.

No Brasil a caracterização de paisagens acústicas marinhas vem crescendo nos últimos anos, com trabalhos caracterizando habitats acústicos de regiões *offshore*, (BITTENCOURT *et al.*, 2016), e regiões costeiras (BITTENCOURT *et al.*, 2019; SÁNCHEZ-GENDRIZ & PADOVESE, 2016), incluindo o Banco dos Abrolhos (LOPES, 2018), a principal área de concentração de baleias-jubarte do Atlântico Sul (ANDRIOLO, *et al.*, 2006).

Este estudo foi conduzido no nordeste brasileiro, uma área reprodutiva da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), reocupada após a recuperação da população, que teve um declínio significativo devido à caça (ZERBINI *et al.*, 2019). Estudos desenvolvidos na região de Serra Grande mostram que atualmente a área possui baixa interferência antrópica e é utilizada pela baleia-jubarte para reprodução (GONÇALVES *et al.*, 2018). No entanto, a 10km de distância de Serra Grande a construção de um complexo portuário será iniciada em breve (BAMIN, 2021).

No caso da baleia-jubarte, os ruídos antrópicos podem levar o mascaramento do canto (ROSSI-SANTOS, 2019), um comportamento vocal que, de acordo com a hipótese mais aceita, é uma exibição reprodutiva para atrair parceiros para acasalar. Levando em conta a futura modificação da paisagem acústica submarina em Serra Grande, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e identificar os principais contribuintes da paisagem acústica da área,

durante a temporada reprodutiva das baleias-jubarte antes da implantação do novo empreendimento. Os objetivos específicos incluem:

- 1) caracterizar padrões de utilização do espaço acústico pelos componentes da biofonia local;
- 2) testar a efetividade de índices acústicos (Índice de Complexidade Acústica, Entropia Temporal e Índice de Eventos Acústicos) e de espectrogramas em Long Duration False-Colors na descrição da paisagem submarina local.

As hipóteses deste trabalho foram que a paisagem acústica seria composta por sons produzidos por crustáceos, peixes e mamíferos, pois estes grupos são os principais contribuintes da biofonia (BITTENCOURT *et al.*, 2016; ERBE *et al.*, 2015), com domínio de determinados grupos em diferentes faixas de frequência. Esperava-se baleia-jubarte como um importante contribuinte da paisagem, por ser uma espécie vocalmente ativa e a área de estudo ser um sítio reprodutivo (GONÇALVES *et al.*, 2018). Além disso, esperava-se que os peixes e os crustáceos apresentassem um padrão diário nas emissões sonoras. Quanto aos índices acústicos, esperava-se que o Índice de Complexidade Acústica se correlacionasse com os sons da baleia-jubarte, pois este índice é sensível a sons com amplitude modulada, sendo esta uma característica dos sons da espécie. O Índice de Eventos Acústicos evidenciaria a passagem de embarcações, por ser um índice que evidencia eventos acima de 3dB, e a Entropia Temporal evidenciaria os sons produzidos por peixes e crustáceos, por ser um índice que se correlaciona com sons que possuem energia concentrada. A combinação dos 3 índices seria capaz de caracterizar efetivamente a paisagem acústica, considerando que cada índice leva em conta diferentes características de cada som.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Região de Serra Grande está localizada no município de Uruçuca, no sul do estado da Bahia no nordeste brasileiro (Figura 1). O assoalho oceânico da região possui características predominantemente arenosas e de rochas carbonáticas (FREIRE & DOMINGUEZ, 2006). Além disso, plataforma continental possui uma característica particular: Ela detém a menor largura da costa brasileira, atingindo cerca de 5km (FREIRE & DOMINGUEZ, 2006). Esta característica permite que as baleias-jubarte, que se encontram na região entre julho e novembro, se concentrem perto da costa (GONÇALVES *et al.*, 2018).

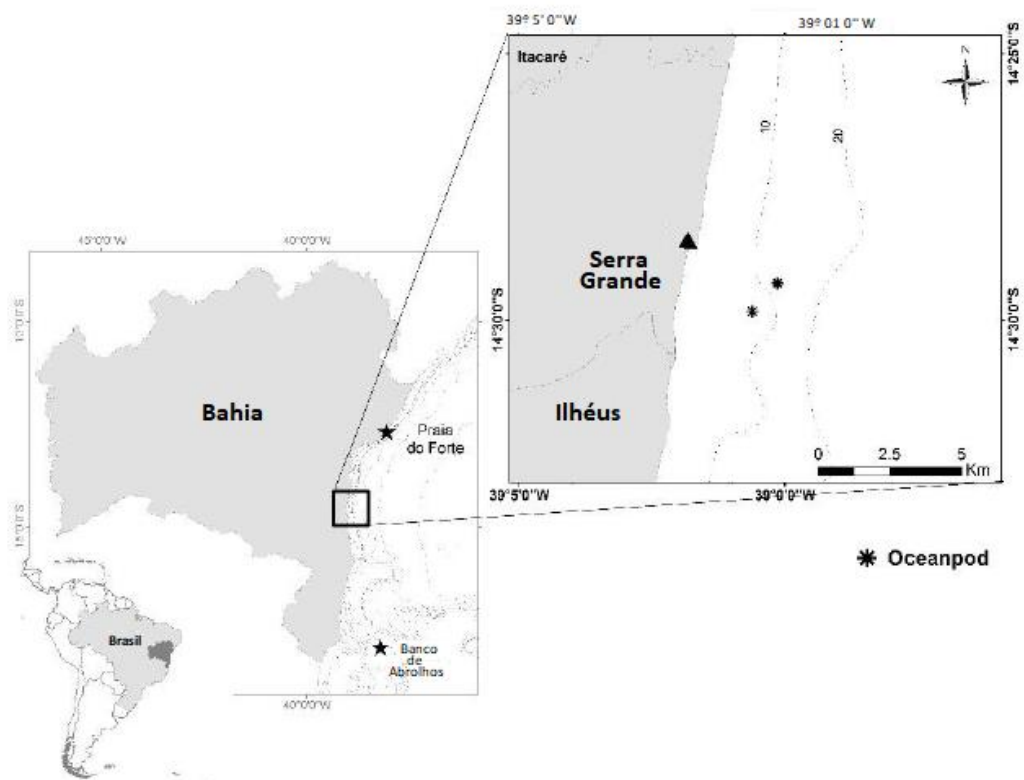


Figura 5. Região de Serra Grande, localizada no Sul da Bahia, no nordeste do Brasil, onde o monitoramento acústico passivo foi realizado. Os locais onde os equipamentos foram instalados são marcados pelos asteriscos. Fonte: Gonçalves, 2017.

2.2 Coleta dos dados

Gravadores aquáticos autônomos desenvolvidos pelo Laboratório de Acústica e Meio Ambiente (LACMAM/USP) (CALDAS-MORGAN, ALVAREZ-ROSARIO & PADOVESE, 2015; SÁNCHEZ-GENDRIZ & PADOVESE, 2016) foram instalados no assoalho oceânico usando poitas apropriadas em 2015, 2018 e 2019, entre 16 e 22m de profundidade, a até 2.7km da costa. As gravações foram realizadas durante a temporada de reprodução das baleias-jubarte e os gravadores foram programados para gravar 24 horas por dia. A taxa de amostragem no ano de 2015 foi de 11,025kHz, gravando frequências entre 0 e 5.51kHz, enquanto nos anos de 2018 e 2019 a taxa foi de 16kHz, gravando frequências entre 0 e 8kHz (Tabela 1). Estas taxas de amostragem foram planejadas para o estudo das vocalizações da baleia-jubarte, que geralmente vocalizam dentro das faixas de frequência amostradas (LEVENSON, 1969, 1972). No entanto, os dados coletados através do monitoramento acústico passivo podem ser armazenados, formando um banco de dados. Este banco de dados pode ser utilizado para diversos outros tipos de estudos, como este.

Tabela 1. Detalhes do período da coleta dos dados acústicos

Ano	Meses de gravação
2015	Setembro a novembro
2018	Agosto a outubro
2019	Julho a outubro

2.3 Análise dos dados

Para entender o conteúdo biológico dos dados, um dia de cada mês de gravação foi escolhido, aleatoriamente, e janelas de 2 minutos foram analisadas a cada 2 minutos. Todos os sonotipos encontrados foram contados manualmente. Um sonotipo aqui foi definido como uma nota, ou uma série de notas, com um padrão distinto que pode representar a vocalização de um grupo taxonômico (FERREIRA et al., 2018). Cada sonotipo foi categorizado como provável grupo taxonômico e parâmetros de frequência mínima e frequência máxima foram registrados.

Este tipo de abordagem possui limitações, porque a mesma espécie pode apresentar diferentes repertórios vocais. Os peixes, por exemplo, podem alterar o tipo de vocalização em resposta à fatores ambientais, como presença de predadores (LADICH, 2019). No entanto, considerando que o objetivo deste trabalho não foi identificar espécies, esta metodologia é válida. Existem cerca de 30.000 espécies de peixes que possuem estruturas para a produção de sons, devido a esta diversidade, a caracterização de sons espécie-específicos permanece como um desafio (LADICH, 2014).

Para identificar padrões diários da paisagem acústica, foram gerados espectrogramas de 24 horas no software Raven Pro 2.0 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY; www.birds.cornell.edu/raven). Os espectrogramas foram inspecionados aural- e visualmente à procura de eventos ao longo do dia, incluindo ruído de embarcações através dos espectrogramas de 24 horas, com confirmação através dos arquivos de áudio.

2.4 Índices Acústicos

Pesquisadores da Universidade de Queensland, na Austrália, desenvolveram ferramentas de análise e visualização de dados de longa duração. O *Analysis Program*, um programa que atua na interface *PowerShell*, foi utilizado para calcular os índices acústicos e gerar espectrogramas de falsa cor. Os espectrogramas de falsa cor são gráficos baseados em três índices acústicos, chamados índices ortogonais, geralmente Índice de Complexidade Acústica, Entropia Temporal e Índice de Eventos Acústicos. Estes índices foram calculados, a partir de segmentos de um minuto de gravação. Os índices são mapeados para valores *Red – Green – Blue* (RGB) e exibidos em formato de espectrograma, mostrando a dinâmica espectro-temporal da gravação (TOWSEY *et al.*, 2018).

O Índice de Complexidade Acústica é amplamente utilizado para mensurar a biofonia, por ser mais sensível a sons complexos e com amplitude modulada (TOWSEY *et al.*, 2018). A Entropia Temporal responde a eventos acústicos com energia concentrada e com alta amplitude, e o Índice de Eventos Acústicos responde a pulsos de alta amplitude (TOWSEY *et al.*, 2018).

Como a taxa de amostragem variou entre os anos, para a padronização no cálculo dos índices, foi realizada uma redução da taxa de amostragem das gravações de 2018 e 2019, padronizando o cálculo para a taxa de amostragem de 11.025kHz. O cálculo dos índices acústicos e a geração dos LDFC foi realizado para cada dia de gravação (24h). Cada dia foi

segmentado em 1440 minutos, com as seguintes configurações: 11.025 de taxa de amostragem, FFT= 512, janela Hamming, 1000 Hz de frequência mínima, 2750 Hz de frequência média e 5.5kHz frequência máxima, 0% de sobreposição. Outras configurações foram padrão do *Analysis Program*. Os parâmetros de frequência mínima, média e máxima são configurações que são modificadas no *Analysis Program* de acordo com os objetivos do trabalho. Estas frequências foram ajustadas de acordo com as frequências das vocalizações da biofonia presente na área.

Para observação do padrão temporal da paisagem acústica, foram gerados *ribbonplots* de cada mês de gravação. Ribbons são espectrogramas em LDFC com resolução reduzida, o que torna possível que as imagens sejam concatenadas. A concatenação dos ribbons fornece um meio de visualização de gravações de áudio de vários meses, possibilitando a observação de mudanças progressivas ou padrões que ocorrem ao longo do tempo. Os ribbons concatenados são chamados de ribbonplots (PHILLIPS, TOWSEY & ROE, 2017).

Tabela 2. Tabela com os índices calculados utilizando o programa *Analysis Program*.

Índice	Definição	Fórmula	Referência
Índice de Complexidade Acústica	Calcula a diferença absoluta entre dois valores de intensidade adjacentes, em uma única <i>frequency bin</i>	$ACI[f] = \frac{\sum_i A_{if} - A_{i-1,f} }{\sum_i A_{if}}$	Pieretti <i>et al.</i> 2011 Towsey, 2018
Índice de Eventos Acústicos	Um evento acústico é considerado quando um bin ultrapassa o limite de 3dB, de valores mais baixos para os mais altos	Eventos Acústicos por Minuto	Towsey, 2018
Entropia Temporal	Energia acústica dispersa ao longo do tempo. Calcula a uniformidade da amplitude de um sinal ao longo do tempo em cada <i>frequency bin</i>	$H_t = \frac{\sum_i p_{mf_i} \times \log_2 p_{mf_i}}{\log_2 N}$	Towsey, 2018

RESULTADOS

Um total de 206 dias foram analisados. Os esforços de amostragens em cada um dos anos estão representados na tabela 3.

Tabela 3. Esforço amostral das gravações acústicas realizadas em Serra Grande, no sul do estado da Bahia (Brasil) em cada um dos anos das temporadas reprodutivas.

Temporada reprodutiva	Total de dias amostrados	Início das gravações	Final das gravações
2015	57	Setembro	Novembro
2018	68	Agosto	Outubro
2019	91	Julho	Outubro

Para o levantamento dos componentes da paisagem, um total de 10 dias foram analisados. Para a análise dos índices acústicos, foram gerados 206 espectrogramas tradicionais e 206 espectrogramas de falsa cor.

Panorama geral da paisagem acústica da Região de Serra Grande

A paisagem acústica da Região de Serra Grande é uma paisagem complexa devido à múltiplos contribuintes que produzem sons simultaneamente. A baleia-jubarte é um forte componente da biofonia, juntamente com outras fontes sonoras. Foram registrados 10 sonotipos na paisagem acústica (Figura 3). Os sonotipos 1, 2, 4, 5, 6 e 9 se concentram abaixo de 2kHz, e não possuem modulação de frequência e amplitude. Tais características são típicas da vocalização de peixes (AMORIM, 2006). Os sonotipos 3, 7 e 8 ocupam uma ampla faixa de frequência, uma característica de sons produzidos pelos crustáceos (JÉZÉQUEL *et al.*, 2020; RADFORD *et al.*, 2008). O sonotipo 7, possivelmente pertence a lagostas da família Palinuridae. No entanto, uma confirmação com especialistas se faz necessária. Os parâmetros de frequências mínima e máxima de cada sonotipo foram registrados (Tabela 4).

Figura 6 - Sonotipos registrados na paisagem acústica submarina da Região de Serra Grande: peixes (1, 2, 4, 5, 6 e 9), crustáceos (3, 7 e 8), boto-cinza (10) e baleia-jubarte (11 e 12)

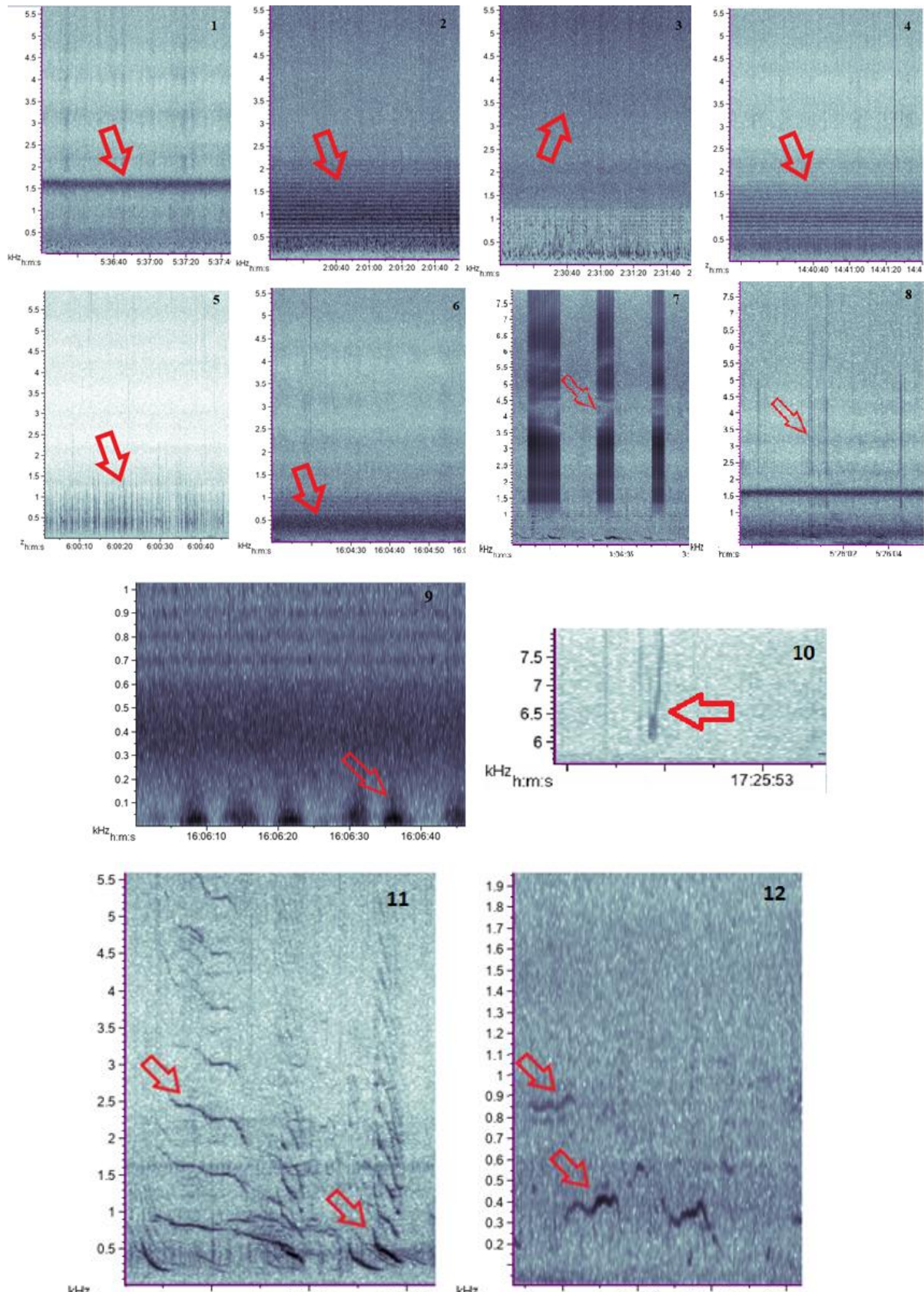


Tabela 4. Frequência mínima e máxima dos sonotipos registrados em Serra Grande, no sul do estado da Bahia (Brasil) em todos os anos das temporadas reprodutivas.

Sonotipo	Frequência mínima (Hz)	Frequência Máxima (Hz)
1	1430	1730
2	440	1780
3	2500	8000
4	582	1260
5	72	2380
6	200	600
7	920	8000
8	60	8000
9	0	360
10	6000	8000
11	20	8000

Os sonotipos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 e o canto da baleia-jubarte foram regularmente registrados na paisagem em todos os anos amostrados. O sonotipo 3 esteve presente apenas nos anos de 2018 e 2019. O sonotipo 10, um assobio de odontocetos, foi registrado apenas em 2019. Os parâmetros de duração média, mínima e máxima das vocalizações que tiveram um padrão em coro foram registrados (Tabela 5). Os sonotipos 5, 8 e 9 não tiveram a duração média, mínima e máxima avaliada porque não apresentaram uma atividade acústica contínua que pudesse ser mensurada em termos de duração. Eles estavam presentes ao longo do dia.

Tabela 5. Duração média, mínima e máxima dos coros registrados em Serra Grande, no sul do estado da Bahia (Brasil) em cada ano da temporada reprodutiva

Sonotipo	Duração Média			Duração Mínima			Duração Máxima		
	2015	2018	2019	2015	2018	2019	2015	2018	2019
1	3:30	14:20	3:00	2:00	4:00	2:15	6:00	24	5:00
2	1:20	02:30	02:30	1:00	2:00	1:30	1:40	3:00	3:40
4	2:00	03:00	3:20	1:00	1:30	1:30	2:30	5:30	4:00
6	5:00	5:00	10:00	6:00	5:00	4:00	24h	24h	24h
7	1:40	1:50	5:00	1:00	1:30	1:30	2:00	3:00	8:00

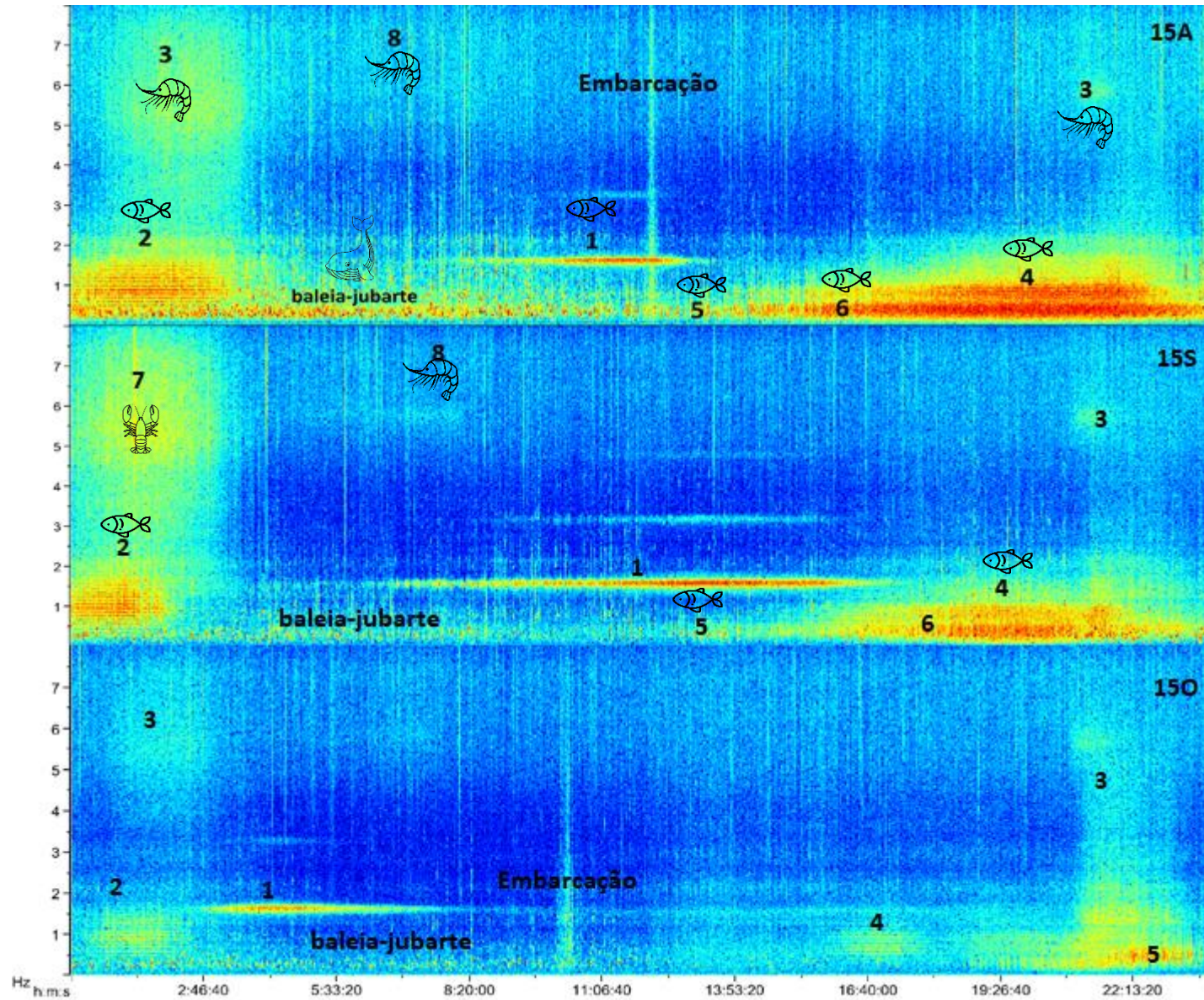
Padrão temporal da paisagem acústica

Os horários de ocorrência dos sonotipos são mostrados na Tabela 6. A variação na duração dos eventos acústicos pode ser vista na figura 5.

Tabela 6. Horário de ocorrência dos sonotipos registrados em Serra Grande, no sul do estado da Bahia (Brasil) em cada ano da temporada reprodutiva

Sonotipo	Horário de ocorrência (UTC)		
	2015	2018	2019
1	Entre 3h e 10h	Ao longo do dia	Entre 4h e 9h
2	Entre 00h e 1:40	Entre 00h e 3h	Entre 00h e 4h
3	-	Entre 1h e 3:30h	Entre 1h 3 h
4	-	Entre 15h e 23h	Entre 14h e 20h
5	Ao longo do dia	Ao longo do dia	Ao longo do dia
6	Ao longo do dia	Ao longo do dia	Ao longo do dia
7	Entre 22h e 00h	Entre 00h e 4h	Entre 22h e 5h
8	Ao longo do dia	Ao longo do dia	Ao longo do dia
9	Ao longo do dia	Ao longo do dia	Ao longo do dia

Figura 7. Espectrogramas dos dias 15 de agosto (15A), 15 de setembro (15S) e 15 de outubro (15O) de 2018 evidenciando a variação na duração dos eventos acústicos da paisagem acústica da Região de Serra Grande

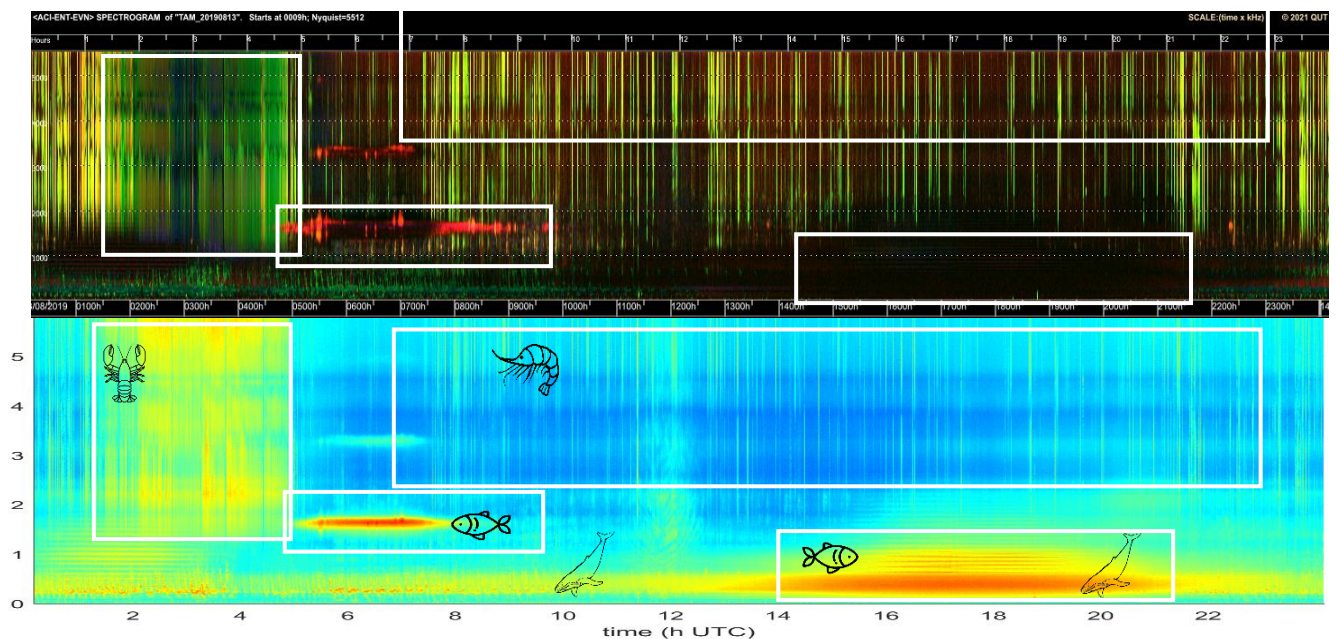


Índices acústicos, Espectrogramas em falsa cor e Ribbonplots

Foram gerados espectrogramas em falsa-cor para cada dia de gravação. Quando realizada uma comparação visual entre os espectrogramas tradicionais e os de falsa cor, é possível observar a correlação entre os eventos acústicos da paisagem e os índices acústicos.



Figura 8. Comparação entre espectrograma tradicional e de falsa-cor do dia 13 de agosto de 2019. As caixas representam eventos significantes da paisagem, produzidos pela baleia-jubarte, peixes, lagosta e camarão. O som do camarão é melhor evidenciado pelo espectrograma de falsa cor



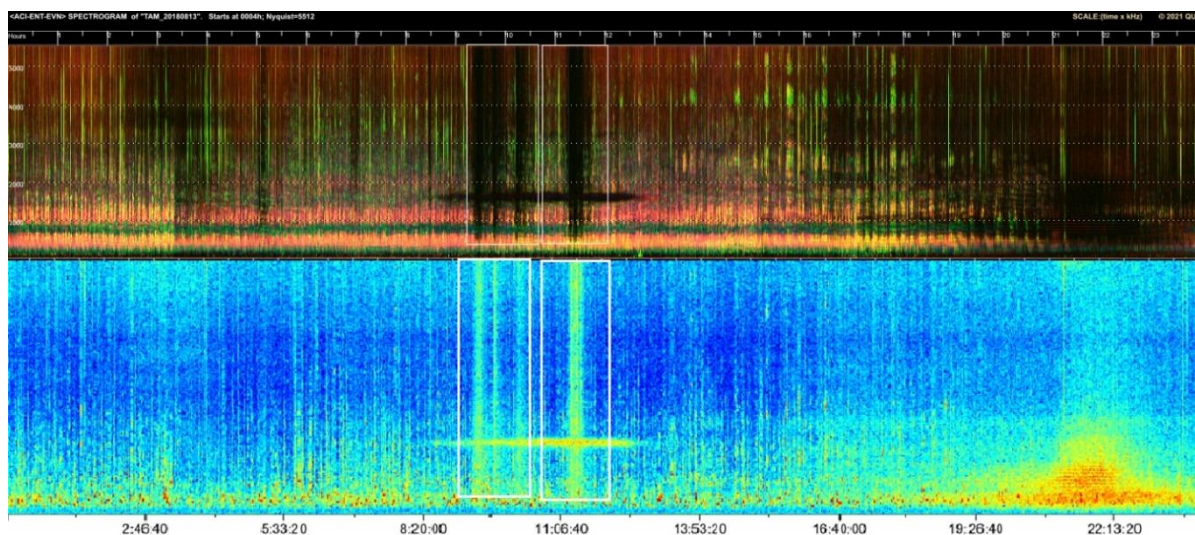
O sonotipo 1 foi evidenciado nos LDFC pelo índice de complexidade acústica (em vermelho). O sonotipo 2 apresenta uma fraca correlação com a combinação do índice de complexidade acústica com o índice de eventos acústicos (em rosa). Quando as vocalizações da baleia-jubarte estão combinadas com os sonotipos 4 e 6, nos espectrogramas de falsa cor aparece um gap.

O sonotipo 5 foi identificado na inspeção visual dos arquivos de áudio, não sendo claramente evidente nos espectrogramas de 24h e nos espectrogramas de falsa cor. O sonotipo 8 é mais evidente nos espectrogramas de falsa cor, com um padrão entre verde e amarelo (interação entre entropia temporal e o índice de complexidade acústica). O sonotipo 7 (lagosta) é bem evidenciado tanto nos espectrogramas de falsa cor quanto nos espectrogramas tradicionais (Figura 4). O sonotipo 3, que possivelmente pertence a um crustáceo, foi evidenciado pela Entropia Temporal (em verde) e pela combinação da Entropia Temporal com o índice de complexidade acústica (Figura 4)

As vocalizações da baleia-jubarte foram evidenciadas pela Entropia Temporal (em verde), abaixo de 1 kHz. Quando acima desta faixa de frequência, a vocalização é evidenciada pela combinação do índice de complexidade acústica com o índice de eventos acústicos (em rosa) e do índice de complexidade acústica com a entropia temporal (em amarelo).

No entanto, a passagem de embarcações, que era esperada ser evidenciada pelo índice de eventos acústicos, por se tratar de um índice que contabiliza eventos acústico acima de 3dB, não aparece nos espectrogramas em falsa cor (Figura 9).

Figura 9 - Espectrograma de falsa cor do dia 13 de agosto de 2018. As caixas evidenciam a passagem de embarcações, que formam um gap no LDFC.



Os *ribbonplots* evidenciaram parcialmente o padrão temporal que era esperado ser visível em gravações de longa duração. A partir desta ferramenta é possível observar a forte contribuição dos crustáceos para a paisagem acústica da Região de Serra Grande (Figuras 8, 9 e 10).

Em 2019, no início do dia é possível observar a atividade do sonotipo 7 (lagosta) pela Entropia Temporal (verde), pelo Índice de Eventos Acústicos (azul) e pela combinação da Entropia Temporal com o Índice de Complexidade Acústica (amarelo). Ao longo do dia, a atividade do sonotipo 8 (crustáceo) é evidenciada em verde e amarelo, em linhas verticais. A atividade dos crustáceos, em verde, azul e amarelo, é bem evidenciada no período da manhã e ao longo do dia, assim como o coro 1, em vermelho. O coro 1 também é visível, através do Índice de Complexidade Acústica.

Já em 2018, no início do dia, uma série de gaps (em preto) podem ser observados. Esses gaps se devem à sobreposição de diferentes vocalizações, verificadas nos arquivos de áudio. A atividade dos crustáceos também é evidente pelo Índice de Eventos Acústicos (azul) e pela combinação da Entropia Temporal com o Índice de Complexidade Acústica (amarelo), assim como as vocalizações da baleia-jubarte e o coro 1, pelo o Índice de Complexidade Acústica (vermelho).

Em 2015 a atividade da baleia-jubarte é evidenciada pela Entropia Temporal (em verde), assim como pelo Índice de Complexidade Acústica (vermelho). No fim do segundo e do quarto dia a atividade das lagostas é evidente pela Entropia Temporal e pela combinação em do Índice de Complexidade Acústica com a Entropia Temporal. Assim como em 2018 e 2019, ao longo dos dias, a presença de outros crustáceos é marcante pelas linhas verticais.

Os *ribbonplots* de todos os meses podem ser acessados no material suplementar.

Figura 10. *Ribbonplot* da paisagem acústica da Região de Serra Grande. Exemplo das gravações do mês de setembro de 2019. A atividade dos crustáceos, em verde, azul e amarelo, é bem evidenciada no período da manhã e ao longo do dia, assim como o coro 1, em vermelho.

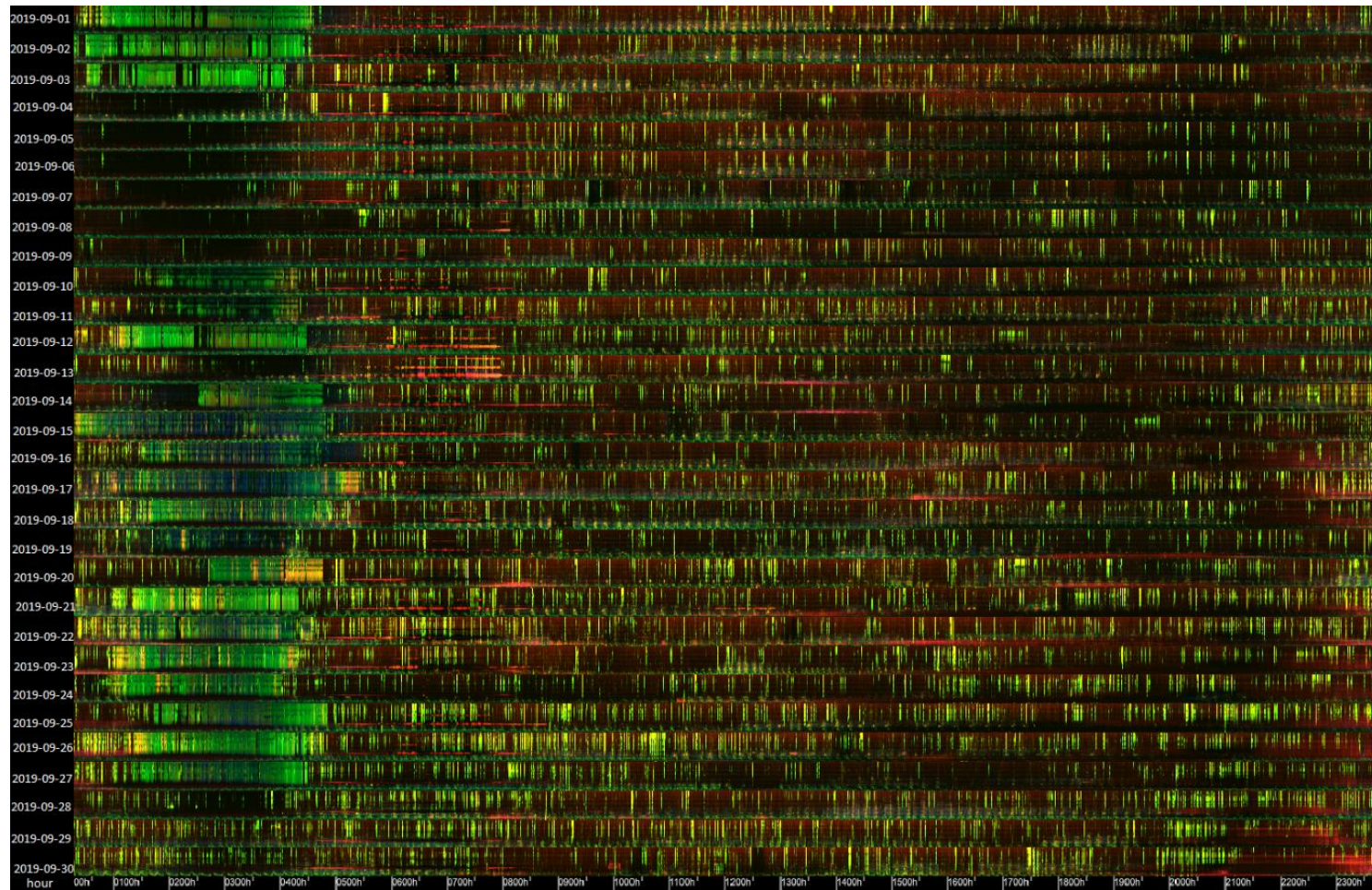


Figura 11. *Ribbonplot* da paisagem acústica da Região de Serra Grande. Exemplo das gravações do mês de setembro de 2018

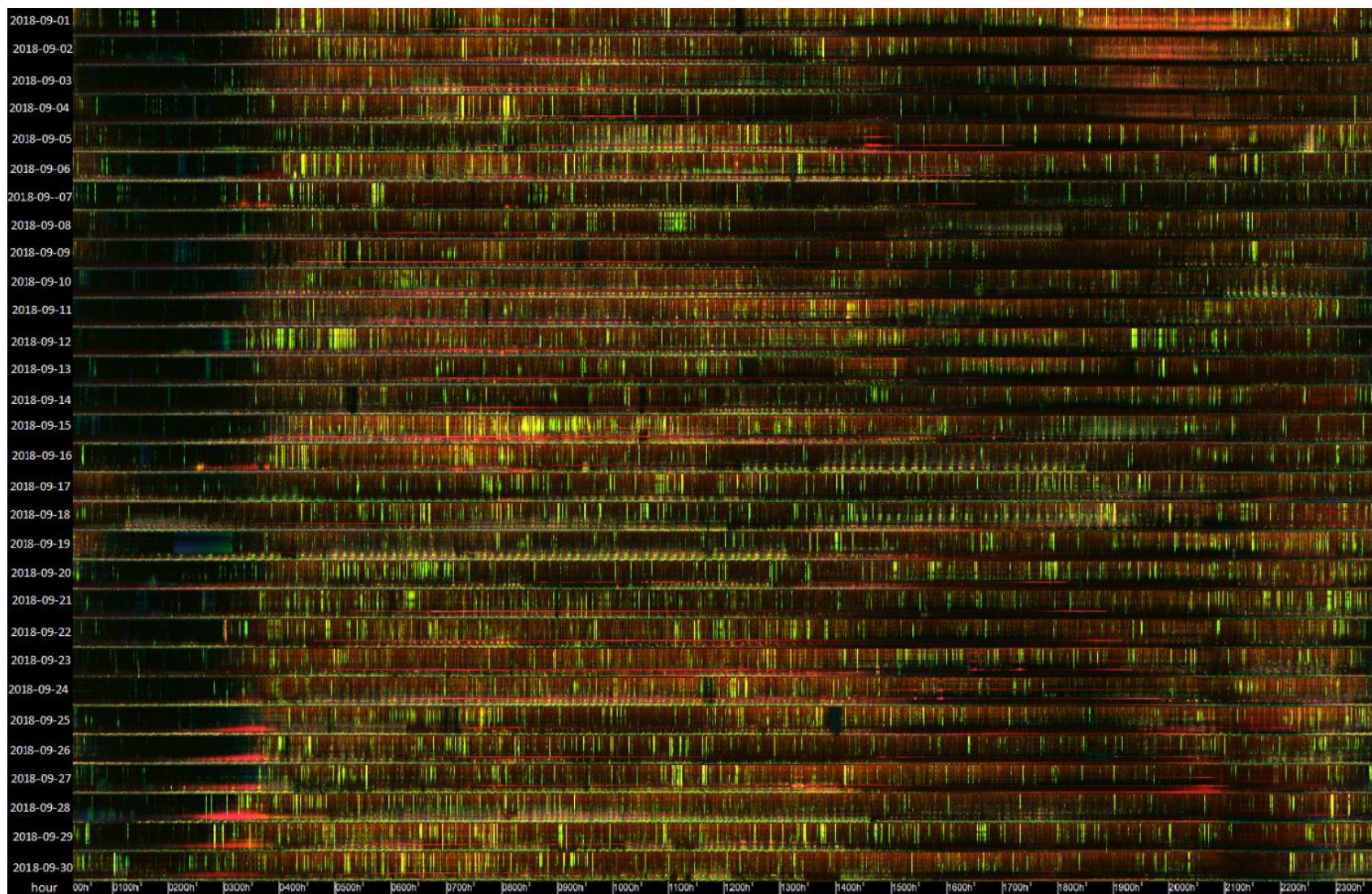
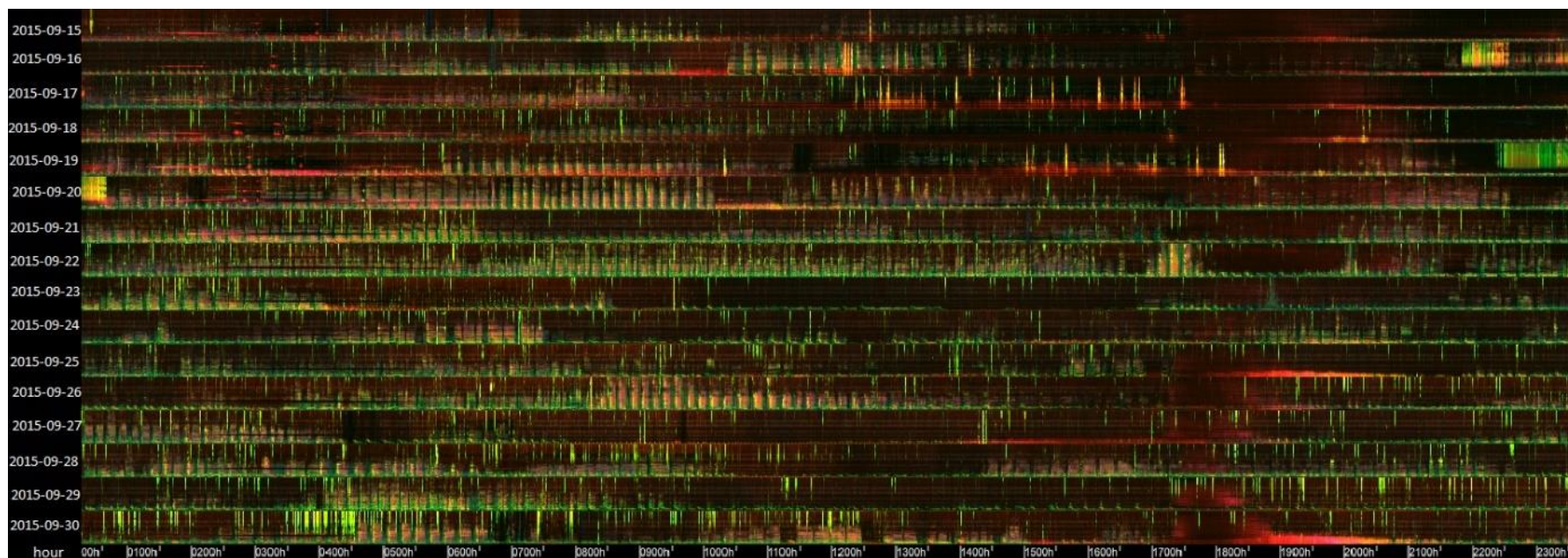


Figura 12. Ribbonplot da paisagem acústica da Região de Serra Grande. Exemplo das gravações do mês de setembro de 2015



DISCUSSÃO

Os componentes da paisagem acústica da Região de Serra Grande são consistentes, mas mudam com o tempo. Todos os sonotipos, exceto o 3 (crustáceo) e o 10 (boto-cinza), foram encontrados em todos os anos amostrados, mas a duração das vocalizações muda entre os anos. O sonotipo 1, um coro de peixes (Figura 3), apresentou, em 2019, uma duração média de 3 horas, enquanto em 2018, a duração média é de 14:20 horas. Os padrões de vocalização dos peixes podem variar de acordo com parâmetros abióticos, como temperatura, ciclo de marés e fases da lua (SIDDAGANGAIA *et al.*, 2021). Logo, essa variação encontrada entre os anos pode estar relacionada às variações ambientais.

As bandas de frequência abaixo dos 2 kHz são dominadas pelas vocalizações de peixes e da baleia-jubarte, enquanto as frequências mais altas são dominadas pelos crustáceos. Esse tipo de padrão já foi observado em outras paisagens acústicas marinhas da costa brasileira (SÁNCHEZ-GENDRIZ & PADOVESE, 2017; BITTERCOURT *et al.*, 2016). Embora passagens de embarcações tenham sido registradas, a região de Serra Grande é um local com baixa interferência antrópica (GONÇALVES *et al.* 2018), e os resultados mostram que a paisagem acústica é composta de forma predominante por sons de origem biológica.

A identificação das espécies não foi possível. No entanto, estudos realizados na região registraram a ocorrência de pelo menos 14 famílias de peixes (BURDA, 2007, BURDA & SCHIAVETTI, 2008, ANDRADE *et al.*, 2016), destas, 9 são soníferas: Carangidae, Clariidae, Haemulidae, Lutjanidae, Polynemidae, Sciaenidae, Serranidae, Sparidae, Sphyraenidae (TAVOLGA, POPPER & FAY, 1981; LADICH *et al.*, 2006; LOBEL, RICE & KAATZ, 2010).

Além dos peixes, a presença de famílias de crustáceos que produzem sons também já foi registrada na Região de Serra Grande, como Alpheidae, a família do camarão pistola (ALMEIDA *et al.*, 2006) e Palinuridae, família de lagostas que emitem sons que podem ser detectados a mais de 3 km de distância (JÉZÉQUEL, CHAUVAUD & BONNEL, 2020).

A produção de sonotipo 7 (Figura 3), que possivelmente pertence à um crustáceo, ocorre de forma predominante à noite. O aumento na atividade dos crustáceos é comum à noite, e geralmente é um comportamento associado a um mecanismo de defesa contra predadores (RADFORD *et al.*, 2008). Por outro lado, o sonotipo 8, que também acredita-se pertencer aos crustáceos, está presente ao longo de todo dia.

O registro de uma emissão sonora de um odontocetos (sonotipo 10), aparentemente um assobio, possivelmente de um boto-cinza (*Sotaliaguianensis*), reforça que este grupo está presente na região, conforme já foi registrado (LIMA & LE PENDU, 2014). A detecção em apenas um dia provavelmente ocorreu devido a nossa taxa de amostragem, que não é adequada para o estudo de sons de odontocetos. A frequência do componente fundamental dos assobios dos odontocetos costuma ficar entre 5 e 15 kHz (HERMAN & TAVOLGA, 1980).

Para uma correta interpretação na caracterização da paisagem acústica de Serra Grande, diferentes métricas devem ser combinadas. O sonotipo 8 (Figura 3), por exemplo, foi claramente visível nos espectrogramas em falsa cor, enquanto nos espectrogramas tradicionais, não. O uso de métricas combinadas já foi indicada por outros autores (LOPES, 2018; BLONDEL & HATTA, 2017).

Os nossos resultados dos índices variaram. O Índice de Complexidade Acústica evidenciou o canto da baleia-jubarte e, no início da vocalização, os coros de peixes. Quando a vocalização dos peixes está no início, ocorre uma mudança na amplitude no intervalo de tempo inicial. A partir do momento que essa vocalização permanece constante, sem modificação na amplitude, o Índice de Complexidade Acústica deixa de evidenciar o som. Este índice considera que os sons de origem biológica são complexos e com amplitude modulada, enquanto os sons gerados por atividade antrópicas, como barcos, são constantes (PIERETTI *et al.*, 2011). Quando ocorrem muitas vocalizações simultaneamente, ou a vocalização se estenda no domínio do tempo, aparece um gap nos espectrogramas de falsa cor, o que poderia ser interpretado erroneamente como ausência de atividade acústica, possivelmente devido à constância dos sons. Quando somente o canto da baleia-jubarte está presente, ele é evidenciado por duas combinações: Índice de Complexidade Acústica com o Índice de Eventos Acústicos e Índice de Complexidade Acústica com a Entropia Temporal.

Sendo assim, a combinação destes três índices se mostrou efetiva para o monitoramento das vocalizações da baleia-jubarte, entretanto, apenas quando não existir sobreposição entre os sons da espécie e de outros animais, como os peixes.

Lopes (2018) avaliou como diferentes índices acústicos reagiam a dois níveis de antropofonia no Banco dos Abrolhos, a área de maior concentração de baleias-jubarte do Atlântico Sul. A autora gerou espectrogramas em falsa cor com a combinação do Índice de Complexidade Acústica, Índice de Eventos Acústicos e Entropia Temporal. Nos

espectrogramas em falsa cor com dados coletados a uma taxa de amostragem menor que a utilizada no nosso estudo (2 kHz), o Índice de Complexidade Acústica foi altamente influenciado pela baleia-jubarte, que dominou os espectrogramas em falsa cor. Na Região de Serra Grande as baleias-jubarte também exercem uma forte influência na paisagem acústica no período de julho a outubro. Entretanto, taxas de amostragem diferentes influenciam diretamente os resultados. O Índice de Complexidade Acústica considera a mudança na intensidade acústica em cada *frequency bin*. Quanto maior a taxa de amostragem, maiores as faixas de frequências que serão coletadas, logo, mais informações em termos de frequência serão utilizadas no cálculo do índice, influenciando nos resultados (TOWSEY *et al.*, 2018).

Towsey e colaboradores (2018) descreveram a paisagem acústica de um sítio reprodutivo da baleia-franca-do-Atlântico-Norte (*Eubalaena glacialis*). Os autores utilizaram espectrogramas em falsa cor e obtiveram uma boa visualização dos padrões da paisagem. No entanto, a resolução para o cálculo dos índices foi de 30 segundos, e os principais componentes eram o coro de apenas uma espécie de peixe e a passagem de navios. Vocalizações da baleia-franca não foram registradas porque os dados foram coletados quando a espécie não estava presente na região, devido aos padrões de migração. Possivelmente a resolução do cálculo dos índices e os componentes da paisagem influenciam na visualização e performance dos índices acústicos.

Era esperado que o Índice de Eventos Acústicos evidenciasse a passagem de embarcações, por ser um índice que contabiliza eventos que ultrapassem qualquer evento acústico acima de 3dB. Contudo, quando embarcações foram registradas, um gap apareceu nos espectrogramas de falsa cor, erroneamente indicando a ausência de atividade acústica. De acordo com Lopes, (2018), não existe uma teoria ecológica por trás do cálculo do Índice de Eventos Acústicos que permita a distinção de quem está produzindo o som, fontes antrópicas ou biológicas, como é o caso do Índice de Complexidade Acústica. O Índice de Eventos Acústicos destacou os sons produzidos pela lagosta (Figura 4), por serem eventos acima de 3dB. Este índice se mostrou eficiente no destaque de sons produzidos pela lagosta, portanto, o uso de índices acústicos que contabilizam apenas eventos com altos decibéis devem ser utilizado com cautela, a depender dos componentes da paisagem de cada local, especificamente.

Os *ribbonplots* não evidenciaram todos os componentes da paisagem que era esperado serem visíveis. No ano de 2019, por exemplo, os coros de peixe presente no fim do dia são

bem evidenciados nos espectrogramas tradicionais, no entanto, eles não são visíveis nos *ribbonplots*. Por outro lado, a atividade dos crustáceos é evidente nos *ribbonplots*, mostrando que este grupo é um importante contribuinte para a paisagem acústica da Região de Serra Grande em uma ampla faixa de frequência (60 a 8000 Hz). Logo, esta ferramenta se mostrou útil na visualização de determinados componentes da paisagem, como no caso dos crustáceos, porém, somente através dela, não é possível visualizar os padrões de todos os elementos presentes na paisagem acústica.

Conclusão

Um dos grandes desafios atuais é entender como mudanças no ambiente acústico podem modificar os componentes e a dinâmica de paisagens, considerando a necessidade de dados anteriores e posteriores à modificação. Este trabalho forneceu uma linha de base para a caracterização da paisagem acústica de Serra Grande enquanto o local possui uma baixa interferência antrópica, o que permitirá futuras comparações, durante e após a instalação do Complexo Portuário Porto Sul. Atualmente a Paisagem Acústica da Região de Serra Grande é composta principalmente por sons de origem biológica, onde os componentes são consistentes, mas mudam o padrão temporal entre os anos. Em esforços futuros para a descrição da paisagem acústica de Serra Grande é indicado a coleta de dados com taxas de amostragem maiores, para que seja possível incluir sons produzidos pelos odontocetos, que vocalizam em frequências acima das que foram coletadas neste estudo. Os índices acústicos foram capazes de evidenciar parcialmente os componentes da paisagem. Portanto, para um monitoramento acústico efetivo da paisagem, os resultados indicam que a combinação de espectrogramas tradicionais com índices acústicos é necessária.

Para o programa de monitoramento do Complexo Portuário, nós recomendamos a realização de monitoramento acústico contínuo no período de desenvolvimento do porto e após a sua implementação, para detectar possíveis modificações na atividade acústica dos grupos taxonômicos presentes na paisagem acústica de Serra Grande.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA et al. Crustáceos decápodos estuarinos de Ilhéus, Bahia, Brasil. **Biota Neotropica** v6 (n2). 2006

AMORIM, M.C.P. Communication in fishes. Capítulo 3 Diversity of Sound Production in Fish. 2006.

ANDRADE et al. Pesca artesanal costeira: um olhar das interações socioeconômicas sobre essa atividade no sul da Bahia, Brasil. **Entre Rios e Mares: um Patrimônio de Ambientes, História e Saberes - Tomo V da Rede BrasPor**. 2016

BAMIN, 2021 SITE

BURDA, C.L. Análise ecológica da pesca artesanal e consumo de pescado por quatro comunidades pesqueiras da costa de Itacaré (BA). Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz. 2007.

BURDA, C. L.; SCHIAVETTI, A. Análise ecológica da pesca artesanal em quatro comunidades pesqueiras da Costa de Itacaré, Bahia, Brasil: Subsídios para a Gestão Territorial Revista de Gestão Costeira Integrada - **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, vol. 8, núm. 2, 2008.

BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. **Marine Mammals. Evolutionary Biology**. Elsevier. 2015

BITTENCOURT, L. et al. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 115, p. 103–111, 2016.

BLONDEL, P; HATTA, A.A.Z. ‘Acoustic Soundscapes and Biodiversity – Comparing Metrics , Seasons and Depths With Data From the Neptune Ocean Observatory Offshore British Columbia’ - **4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition**, pp. 763–768. 2017

BUSCAINO et al. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific Reports**. 2016

CALDAS-MORGAN, M. ALVAREZ-ROSARIO, A., PADOVESE, L.R. An Autonomous Underwater Recorder Based on a Single Board Computer. **Plos One**. 2015.

DUARTE et al., The soundscape of the Anthropocene ocean. **Science**. 2021

ERBE, C. et al. The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*. 2015

ERBE, C. et al. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy *Marine Pollution Bulletin* Elsevier Ltd, , 15 fev. 2016.

EVERLEY, K.A., RADFORD, A.N., SIMPSON, S.D.. Pile-Driving Noise Impairs Anti-Predator Behaviour of the European sea Bass *Dicentrarchus labrax*. In: Popper, A.N., Hawkins, A.D. (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life II*. Springer, New York, pp. 273–279. 2015

- FERREIRA, L. M. et al. What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. February, p. PVH6YZ, 2018.
- FREIRE, F; DOMINGUEZ, J.M.L. A sequência holocênica da plataforma continental central do Estado da Bahia. **B. Geociências. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 247-267, maio/nov. 2006
- GONÇALVES M.I.C. 2017. USO DE HABITAT, COMPORTAMENTO E EMISSÕES ACÚSTICAS DASBALEIAS-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA REGIÃO DE SERRA GRANDE –BAHIA. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Santa Cruz.
- GONÇALVES, M.I.C et al. Low latitude habitat use patterns of a recovering population of humpback whales. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**. 2018a
- GONÇALVES et al. **Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground**. 2018b
- HERMAN, L. M., TAVOLGA, W. N. ‘The Communication Systems of Ceta-ceans, in Cetacean Behavior: Mechanisms and Function, L. H. Herman, ed.(Wiley-Interscience, New York), pp. 149–209. 1980
- JÉSEQUEL et al. Spiny lobster sounds can bedetectable over kilometresunderwater. **Scientific Reports**. 2020
- LADICH, F. Fish bioacoustics. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 28, p. 121–127, 2014.
- LADICH, F. Ecology of sound communication in fishes. **Fish and Fisheries**, v. 20, n. 3, p. 552–563, 2019.
- LEVENSON, C. Behavioral, physical, and acoustic characteristics of humpbackwhales (*Megaptera novaeangliae*) at Argus Island. Informal Report No. 69–54. NavalOceanographic Office, Washington, DC. 1969.
- LEVENSON, C. Characteristics of sounds produced by humpback whales(*Megaptera novaeangliae*). NAV-OCEANO Technical Note. 7700-6-72. 1972
- LIMA, A., LE PENDU, Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins(*Sotaliaguianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. 2014.
- LOBEL, P.S., KAATZ, I.M., RICE, A.N.Acoustical Behavior of Coral Reef Fishes. **University of California Press** 2010
- LOPES,C. L. INTERPRETANDO A CONTRIBUIÇÃO DA ANTROPOFONIA SOBRE MÉTRICAS ACÚSTICAS EM UMA PAISAGEM SONORA MARINHA. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018
- LINDSETH, A. V. AND LOBEL, P. S. ‘Underwater Soundscape Monitoring and Fish Bioacoustics: A Review’, *Fishes*, 3(3), p. 36. 2018.
- MENZE et al. The influence of sea ice, wind speed and marine mammals on Southern Ocean ambient sound. **Royal Society**. 2017
- MERCHANT et al. Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution* 2015, 6, 257–265. 2015

- PHILLIPS, Y. F.; TOWSEY, M.; ROE, P. Visualization of environmental audio using ribbon plots and acoustic state sequences. **International Symposium on Big Data Visual Analytics, BDVA 2017**.
- 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.
- PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2017
- RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia. Springer**. 2008.
- RICHARDSON, W. J. (WILLIAM J. **Marine mammals and noise**. [s.l.] Academic Press, 1995.
- ROSSI-SANTOS, M. Louder than love: Anthropogenic noise overlaps humpback whale songs in coastal soundscapes of Bahia, Brazil. **Acoustic Society of America**. 2019.
- SÁNCHEZ-GENDRIZ, I. PADOVESE, L. R. A methodology for analyzing biological choruses from long-term passive acoustic monitoring in natural areas. **Ecological Informatics**. 2017
- SÁNCHEZ-GENDRIZ, I. & PADOVESE, L. R. Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, 105, 65-72. 2016.
- SLABBEKOORN, H. et al. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 7, p. 419–427, 2010.
- SOUSA-LIMA, R. S. et al. A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, p. 23–53, 2013.
- SUEUR, J. et al. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 100, n. 4, p. 772–781, 2014.
- TAVOLGA, POPPER & FAY *Hearing and Sound Communication in Fishes*. 1981
- TOWSEY, M., BARCLAY, BROCK. Visualizing the soundscape of the calving grounds of the North Atlantic Right Whale. **TEXT Special Issue 52: Anticipatory Imaginaries**. 2018
- TOWSEY, M., Zhang, L., et al. ‘Visualization of long-duration acoustic recordings of the environment’, *Procedia Computer Science*. Elsevier Masson SAS, 29(Krause 2008), pp. 703–712. (2014a)
- TOWSEY, M., Barclay, L. and Brock, G. ‘Visualizing the soundscape of the calving grounds of the North Atlantic Right Whale University of the Sunshine Coast’. 2018
- TYACK, P. L.; CLARK, C. W. **Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales**. Springer-Verlag New York Inc. 2000
- VERSLUIS et al., How Snapping Shrimp Snap: Through Cavitating Bubbles. *Science*. 2000.

ZERBINI et al., Assessing the recovery of an Antarctic predator from historical exploitation.
Royal Society. 2019