



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ - UESC
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE - PPGEBCB

THAÍS SAMPAIO SILVA

**PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA
BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL**

ILHÉUS - BAHIA
2025

THAÍS SAMPAIO SILVA

**PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA
BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL**

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

Área de concentração: Ecologia e Conservação de Populações

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Deborah Maria de Faria

Co-orientadoras:

Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Carvalho Gonçalves;
Prof.^a Dr.^a Renata Santoro de Sousa-Lima.

ILHÉUS - BAHIA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Essa ficha deverá ser preparada apenas pela Divisão de Biblioteca e Documentação ou por um profissional de Biblioteconomia da instituição, sendo obrigatória para dissertações e teses.

THAÍS SAMPAIO SILVA

**PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA
BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL**

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

Ilhéus, 30 de setembro de 2025.

Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Carvalho Gonçalves
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC
(Co-Orientadora)

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Azevedo
Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Dr. Sergio Carvalho Moreira
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dedico este trabalho, primeiramente ao Senhor, meu Deus, que tem me sustentado até aqui. À minha família, que sempre me apoiou e acreditou nos meus sonhos, sem medir esforços para que eu chegasse até este momento — em especial, a minha mãe, Raquel.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Senhor Jesus, por sempre estar comigo e me permitir realizar tantos sonhos que vieram juntos com este trabalho, as baleias, a vida na praia, a mudança de estado, o surfe, as novas amizades e muito mais. Em segundo, agradeço a minha mãe e conselheira, Raquel, que sempre me inspirou a sonhar alto, apoiou minhas decisões e que sempre orou por mim. À minha irmã Brenda, que sempre me puxa das nuvens e firma meus pés no chão, para que eu tenha foco e coragem para prosseguir. Ao meu irmão Eric, que em nossas longas conversas, me ensinou muito sobre paciência e calma para se viver a vida. Ao meu pai, Dorinato, que independente da situação, não mediu esforços para me apoiar estando perto ou longe de casa.

Agradeço também a minha enorme família de Cocalzinho de Goiás, que tem o meu coração para sempre! Eu jamais conseguaria deixar a minha terra, sem a esperança de poder retornar para o meu amado cantinho no Cerrado. Todo apoio financeiro, afetivo e principalmente as orações, foram cruciais para me sustentar em momentos de alegria e de dificuldades. A união da nossa família é o amor que consola a minha saudade diária. “Por tantos caminhos aprendi a andar, mas pra vocês quero sempre, sempre voltar” - Spirit.

Aos meus amigos e parentes que se foram, mas não antes depositarem a sua fé em mim e de me deixar com a certeza de que eu iria alcançar meus sonhos. Obrigada Black, por me encorajar a não desistir e seguir para o mar, à Tia Wanda, que me aconselhou antes de partir de Goiás e sempre me teve em suas orações e ao meu avô Zé, que sempre me ligava no meu aniversário para me desejar todo amor e apoio a distância. Meu tio Derico, que sempre me falou como gostava de me receber em sua casa, obrigada por todo carinho. Eu sempre penso em vocês quando reflito sobre a minha jornada, estarão sempre no meu coração.

Agradeço aos meus queridos amigos de Goiás, Ilhéus, Estados Unidos, e de qualquer outro lugar no mundo que possam estar, mas que sempre me ligam ou mandam mensagem para me animar, também sou grata aos meus vizinhos queridos que sempre me alegraram por aqui. Obrigada por todo apoio, desde os tempos de escola, colégio, universidade e pós-graduação, obrigada por me apoiarem e me darem força para não desistir e persistir até o fim. Vocês me ajudam a ver novos horizontes e ir atrás de novas aventuras, obrigada pela companhia e amor nessa jornada da vida.

Agradeço ao Prof. Dr. Fabrício B. Teresa, meu orientador de graduação, que acreditou que eu conseguia chegar até as baleias, aos meus amigos e professores do laboratório de Biogeografia e Ecologia Aquática - Bioecol UEG, que também sempre acreditaram em mim.

Em especial, agradeço à minha orientadora do Mestrado, Prof.^a Dr.^a Maria Isabel C. Gonçalves, que me recebeu com disposição e carinho na Bahia, e muitas vezes em sua própria casa, para que eu pudesse compartilhar do afeto de seu lar e das suas três criaturinhas. Sou grata de coração por toda a sua atenção, paciência, cuidado e amor que me acolheram em Ilhéus, estando tão longe de casa, em um lugar novo e que hoje, tenho certeza de que foi todo esse amor, que contribuiu para o meu desejo de ficar. Também agradeço a Prof.^a Dr.^a Deborah M. Faria, que aceitou me orientar no programa e me concedeu o apoio necessário para investir nos meus estudos e a Prof.^a Dr.^a Renata S. Sousa-Lima, por também aceitar me co-orientar e pelas oportunidades de trabalho, como o inesquecível embarque para monitorar cetáceos realizado junto à Marinha do Brasil. Agradeço aos meus amigos e equipe de trabalho do Projeto Baleias na Serra - PBS, que me aceitaram na equipe e me ensinaram muito sobre baleias, golfinhos e principalmente, a cultura baiana. Agradeço a minha amiga, Dr.^a Mariana S. Campelo, que foi meu apoio durante nossa viagem para embarcar no H39 e que me ajudou nas análises acústicas deste trabalho. Agradeço aos meus amigos do Laboratório de Ecologia Aplicada à Conservação - Leac, que me deram a mão nos momentos difíceis e muita força para enfrentar meus gigantes.

Também agradeço ao Dr. Renan Paitach que sempre esteve à disposição para me ajudar e demais parceiros da Socioambiental Consultores, PMC-BS e PETROBRAS, que forneceram o banco de dados e apoio estatístico para a realização do presente trabalho. Por fim, agradeço à Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade - PPGECB UESC, por me aceitarem como discente e apoiarem minha jornada acadêmica. Agradeço a CAPES – “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

“Oh, preciosa baleia, com vento ou temporal,
Sempre no oceano seu lar
Será um gigante de força descomunal,
E a Soberana do infinito mar.”

Canção da baleia – Moby Dick

PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL

RESUMO

No hemisfério Sul, a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), migra de regiões de alta latitude para baixa latitude durante o inverno. Os machos de uma mesma população são conhecidos por produzirem cantos complexos que são cantados principalmente nas áreas de reprodução. Desde a proibição da caça das baleias, as jubartes vem se recuperando e expandindo sua ocupação na costa brasileira, como na região Sudeste e Sul. O objetivo deste estudo foi avaliar a presença de acústica da espécie na Bacia de Santos, e saber quais fatores influenciam essa detecção. Os dados foram coletados pelo Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), utilizando um veículo autônomo subaquático (Seaglider), percorrendo rotas pré-programadas entre 2016 e 2021. O PMPAS-BS é realizado pela PETROBRAS como exigência do licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA. As gravações foram processadas utilizando o detector *Whistle-and-Moan* no programa PAMGuard para identificar os sinais acústicos de cetáceos. Os trechos com detecções foram recortados manualmente (trechos de 1-10min) e avaliados aural e visualmente em espectrogramas no programa Raven Pro 1.6. A coleta de dados variou entre os anos monitorados e apenas gravações entre abril e novembro foram processadas. Aplicou-se um modelo linear generalizado binomial (presença/ausência) considerando como variáveis explicativas as fases da lua; o dia (como dia Juliano), para capturar a relação baixa-alta-baixa ao longo da temporada; o horário; a profundidade e o ano. O modelo melhor ajustado (menor AIC), considerou as fases da lua nova e último quarto com menor probabilidade de detecção do canto em comparação com a fase da lua cheia. O horário das 18 horas, houve maior detecção de canto e quanto maior a profundidade, menor a detecção. Também houve variação entre os anos e ao longo dos dias da temporada reprodutiva, sendo o ano de 2016 com maior probabilidade de detecção em relação aos anos de 2017, 2018 e 2021, que não apresentaram diferença entre si, além disso a interação entre ano e dia revelou que em 2018 e 2021, as detecções aumentaram de forma mais acentuada ao longo da temporada reprodutiva, com maior probabilidade de canto no pico da temporada. Nossa estudo revelou que o canto da baleia-jubarte é influenciado por fatores ambientais e temporais, que ajudam a compreender o comportamento reprodutivo da espécie. Além disso, destacamos que a Bacia de Santos atua como um importante corredor migratório, reforçando a relevância do monitoramento acústico em uma região marcada por intensa atividade antrópica.

Palavras-chave: Bioacústica. Cetáceos. Distribuição. Oceano Atlântico.

ACOUSTIC PRESENCE OF HUMPBACK WHALES (*Megaptera novaeangliae*) IN THE SANTOS BASIN - SOUTHEAST AND SOUTH BRAZIL

ABSTRACT

In the Southern Hemisphere, the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) migrates from high-latitude to low-latitude regions during the winter. Males within a single population are known to produce complex songs, sung primarily in breeding grounds. Since the ban on whaling, humpback whales have been recovering and expanding their range along the Brazilian coast, including in the Southeast and South regions. The objective of this study was to evaluate the species' acoustic presence in the Santos Basin and to determine the factors that influence its detection. Data were collected by the Santos Basin Underwater Acoustic Landscape Monitoring Project (PMPAS-BS) using an autonomous underwater vehicle (Seaglider) along pre-programmed routes between 2016 and 2021. The PMPAS-BS is conducted by PETROBRAS as a requirement for federal environmental licensing, and is managed by IBAMA. The recordings were processed using the Whistle-and-Moan detector in the PAMGuard program to identify cetacean acoustic signals. The detected segments were manually cropped (1-10 min segments) and evaluated aurally and visually in spectrograms using Raven Pro 1.6. Data collection varied between monitoring years, and only recordings from April to November were processed. A binomial generalized linear model (presence/absence) was applied, considering as explanatory variables the moon phase; the day (as a Julian day) to capture the low-high-low relationship throughout the season; the time of day; the depth; and the year. The best-fitting model (lowest AIC) considered the new and last quarter moon phases, with a lower probability of detecting the song compared to the full moon phase. At 6 PM, there was greater song detection, and the greater the depth, the lower the detection. There was also variation between years and across the number of days of the breeding season, with 2016 having the highest probability of detection compared to 2017, 2018, and 2021, which showed no significant differences. Furthermore, the interaction between year and day revealed that in 2018 and 2021, detections increased more sharply throughout the breeding season, with a higher probability of songs occurring at the peak of the season. Our study revealed that humpback whale song is influenced by environmental and temporal factors, which help us understand the species' reproductive behavior. Furthermore, we highlight that the Santos Basin acts as an important migratory corridor, reinforcing the relevance of acoustic monitoring in a region marked by intense human activity.

Keywords: Bioacoustic. Cetaceans. Distribution. Atlantic Ocean.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 O som no ambiente marinho..... | 12 |
| 1.2 Comunicação dos cetáceos..... | 14 |
| 1.3 A baleia-jubarte (<i>Megaptera novaeangliae</i>)..... | 16 |
| 1.4 Ferramentas para o estudo dos sons dos cetáceos..... | 19 |
| REFERÊNCIAS..... | 22 |
| 2 Capítulo 1: PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (<i>Megaptera novaeangliae</i>) NA BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL..... | 29 |
| Resumo..... | 30 |
| Abstract..... | 31 |
| 2.1 Introdução..... | 32 |
| 2.2 Métodos..... | 34 |
| 2.3 Resultados..... | 38 |
| 2.4 Discussão..... | 43 |
| 2.5 Conclusão..... | 45 |
| REFERÊNCIAS..... | 47 |
| 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 55 |
| MATERIAL SUPLEMENTAR..... | 57 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 O som no ambiente marinho

O som é uma perturbação mecânica que se propaga por meios materiais, como o ar, a água ou o solo. Ele é gerado quando um objeto vibra, transferindo energia ao meio sob a forma de onda, que pode ser transversal ou longitudinal, a depender do meio de propagação (PASNAU, 1999). A transmissão do som na água se forma através de ondas longitudinais que oscilam as moléculas, fazendo com que a pressão do meio aumente (compressão) ou diminua (rarefação). A frequência de uma onda, medida em Hertz (Hz), corresponde ao número de vezes em que ela se repete por segundo, sendo o tamanho de uma onda inversamente proporcional ao seu comprimento, ou seja, uma frequência alta reflete uma onda curta (Figura 1). No ambiente aquático, as ondas sonoras se propagam muito mais rapidamente do que no ar ($V_m = 1450 \text{ m/s}$ na água e 343 m/s no ar), devido às propriedades físicas da água, como sua densidade e elasticidade. Embora as moléculas de água sejam mais densas que as do ar, elas também são mais elásticas, o que significa que, ao serem perturbadas, retornam mais rapidamente à sua posição original, o que permite ao som viajar com maior velocidade (BASS; CLARK, 2003; HAWKINS, 1986). Já a pressão do som é medida em Pascals (Pa), só que como existe uma variedade na capacidade de percepção da pressão sonora, o nível de pressão sonora (*sound pressure level* - SPL), é medido na escala logarítmica de decibel (dB), que para o ambiente aquático a medida de $SPL = db$, tendo como referência $1\mu\text{Pa}$ (HILDEBRAND, 2004). Além disso, a atenuação do som na água é consideravelmente menor em comparação com o ar, o que favorece a transmissão de sinais acústicos a longas distâncias. Essa característica, também favorece a propagação sonora recíproca entre a fonte emissora e o receptor, diferente do ar, onde a dispersão do som em todas as direções é limitada (HALE, 1961; ROGERS; COX 1988).

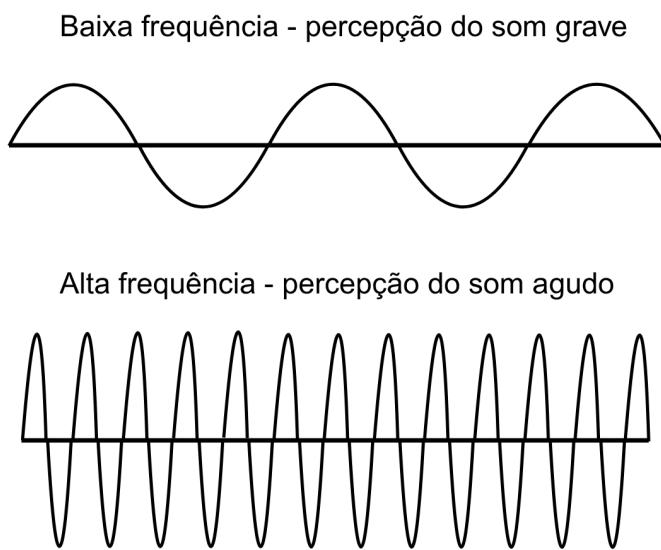


Figura 1. Representação de ondas sonoras de baixa e alta frequências. Ondas sonoras de baixa frequência são percebidas pelos ouvidos como sendo o som grave e as ondas sonoras de alta frequência são interpretadas como o som agudo.

O ambiente marinho apresenta uma complexa paisagem sonora, formada por sons geológicos (ondas, vento, chuva), biológicos (animais invertebrados, peixes e mamíferos aquáticos) e os sons de origem antrópica (atividades humanas) (KRAUSE, 1987; PIJANOWSKI et al., 2011). O som predominante é formado pela interação entre o vento e as ondas, que dominam frequências entre 10 e 1kHz (KINSMAN, 1984; NICHOLS, 1987; WILCOCK et al., 2014). Os sons produzidos pelos animais são atribuídos a diversas funções, como comunicação, forrageio, reprodução e ecolocalização, de modo que variam entre frequências abaixo de 20Hz produzidas por baleias (CUMMINGS; THOMPSON, 1971; STAFFORD; NIEUKIRK, 1999; NIEUKIRK et al., 2004), e frequências maiores que 200kHz para golfinhos e camarão (PILLERI, 1983; VERSLUIS, 2004). Já os sons produzidos por atividades antrópicas, como o tráfego de embarcações, exploração sísmica (petróleo e gás), turismo e pesquisas, também apresentam grande variação entre baixas frequências (<500Hz produzido majoritariamente por embarcações) e altas frequências (>100kHz gerados por sonares) (CUMMINGS; BRANDON, 2004; HILDEBRAND, 2004; GILLESPIE, 2007). Dessa forma, o conjunto de fatores bióticos e abióticos que compõem o ecossistema marinho, influenciam o estudo do som no papel de equilíbrio, como a mediação de relações intra e interespecíficas, forrageio e navegação dos animais (AU; HASTINGS, 2008; PINE, 2014).

VINCENT, 2005) e distúrbio do ambiente, como o ruído causado por atividades antrópicas (HILDEBRAND, 2005; MCCARTHY, 2004; WEILGART, 2008; ERBE et al., 2018).

As atividades humanas que causam ruído são bastante estudadas porque podem provocar o efeito do mascaramento acústico devido à abrangência no alcance de frequências que pode cobrir ou mascarar uma fonte sonora (CLARK et al., 2009). No ambiente marinho, a comunicação através do som é fundamental para diversas espécies marinhas como invertebrados, peixes (HAWKINS, 1986; HAWKINS; POPPER, 2017) e principalmente para os mamíferos marinhos (MORISAKA, 2012; MYRBERG JR, 1997; RICHARDSON et al., 2013). O grupo de mamíferos marinhos que são totalmente aquáticos são classificados como cetáceos (ordem Cetartiodactyla), são distribuídos globalmente e habitam ambientes limícolas, marinhos e estuários. Eles são representados pela subordem Mysticeti (baleias) e Odontoceti (golfinhos e botos) (HOOKER, 2018; PERRIN; WÜRSIG; THEWISSEN, 2009; THOMAS; REEVES; BROWNELL, 2016). Os cetáceos são animais vocalmente ativos e dependem do som para realizar diversas atividades, como navegação, forrageio e relações intra e interespécificas. A produção e recepção do som varia entre os grupos, de modo geral os Mysticeti produzem sons de baixa frequência (abaixo de 500Hz), enquanto os Odontoceti produzem sons entre média frequência (acima de 1kHz) e ultrassom (acima de 20kHz e.g cliques de ecolocalização) (PAVAN; BORSANI, 1997). Sendo assim, a sensibilidade dos cetáceos para o som levanta preocupações frente à crescente exposição das espécies ao ruído antrópico (ANDRÉ et al., 2005; AU, 2000; TYACK, 2008).

1.2 Comunicação dos cetáceos

A forma como as baleias e golfinhos se comunicam varia, podendo ser realizada através da visão, tato e principalmente pelo som (WÜRSIG; KIECKHEFER; JEFFERSON, 1990). A comunicação através do som é muito eficiente no ambiente aquático, onde a iluminação é limitada, seja pela profundidade ou pela turbidez da água, o que influencia diretamente no uso da visão (LARSEN; RADFORD, 2018).

O grupo dos Mysticeti evoluiu de forma a desenvolver uma produção de sons de baixa frequência, ideal para a comunicação a longas distâncias (ŠIROVIĆ; HILDEBRAND; WIGGINS, 2007). As baleias expelem o ar dos pulmões, que pressiona as pregas vocais, passa pela laringe em formato de “U” e segue para o saco laríngeo, órgão que auxilia na produção do som e na reciclagem do ar que vem dos pulmões, como mostra a figura 2. (ADAM et al., 2013; DOH et al, 2025). Dessa forma, as baleias conseguem produzir sons de

longa duração sem precisar subir à superfície para respirar, o que é muito útil quando elas engajam em cantar. O canto das baleias é muito popular, principalmente o da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), que já foi gravado por até 22 horas (CHOLEWIAK et al., 2013; SOUSA-LIMA et al., 2018; WINN; WINN, 1978).

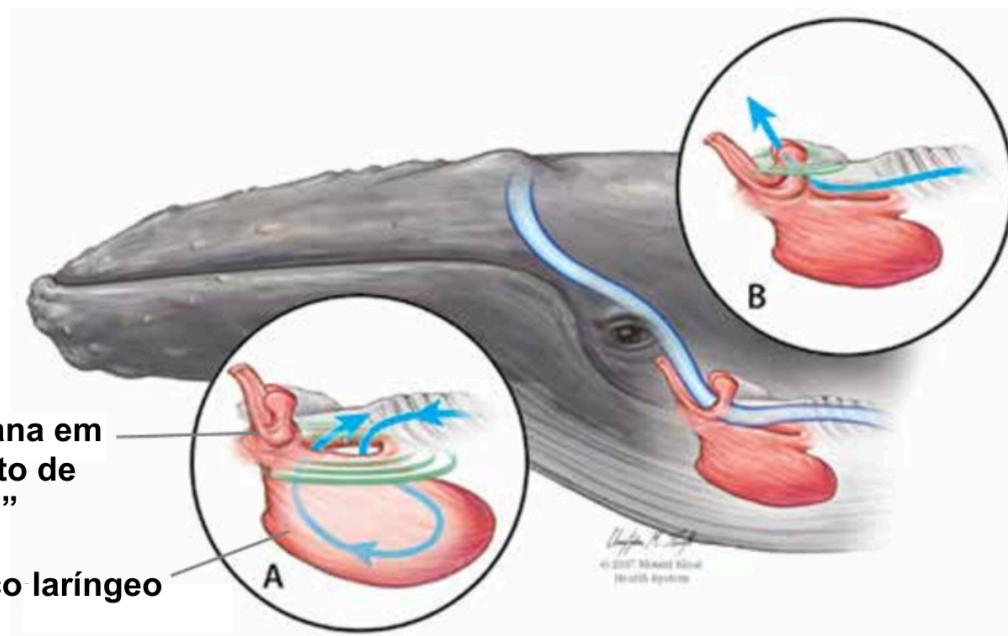


Figura 2. Esquema em desenho da laringe (vermelho) e do trato vocal (azul) em uma baleia Mysticeti. As setas azuis representam o fluxo do ar e os arcos em verde representam a produção de som. **A:** zoom da laringe (vermelho), com a membrana em formato de “U” aberta no topo, frente fechada da laringe, e o saco laríngeo abaixo. **B:** zoom da laringe fechada. O fluxo de ar passando pelo saco laríngeo e entre as cartilagens corniculadas. Ilustração por Christopher M. Smith. Fonte: *Discovery of Sound in the Sea* (<https://dosits.org>)

Os Odontoceti possuem um órgão especializado na produção de sons de alta frequência, chamado melão. O melão é formado por células lipídicas especiais que auxiliam na produção e direcionamento do som, funcionando como uma lente acústica (Figura 3). Assim, os golfinhos são capazes de produzirem sons de média frequência até a faixa do ultrassom, esses sons são classificados em assobios e cliques de ecolocalização. A ecolocalização é uma forma de navegação e localização de presas, que utiliza uma sequência curta de sons de alta frequência que são emitidas no ambiente, e ao tocar em algum objeto ou presa, as ondas sonoras que retornam ao emissor são recebidas e interpretadas pelo cérebro, capaz de identificar textura e composição do alvo (HERZING; JOHNSON, 2015).

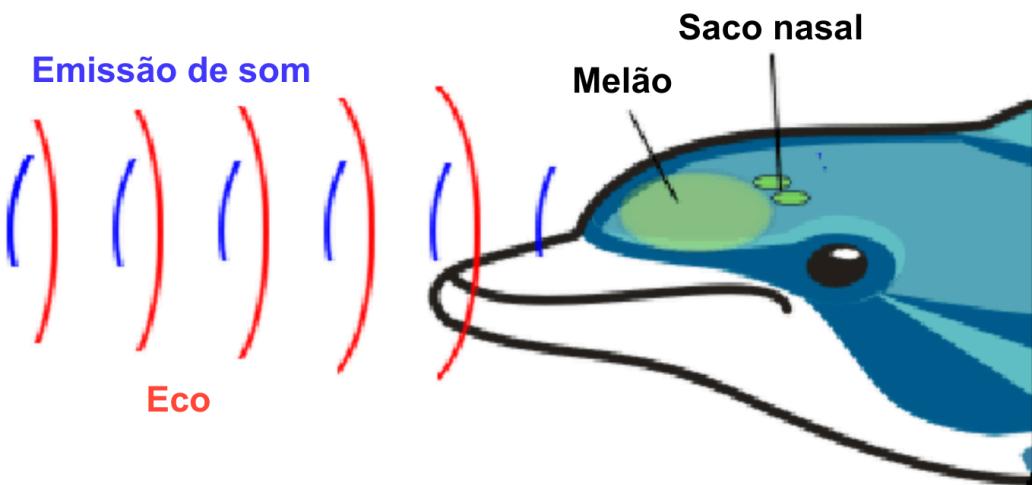


Figura 3. Esquema ilustrativo da emissão de ondas sonoras por Odontoceti (azul) e retorno do eco do som (vermelho), com destaque para os sacos nasal e melão. Adaptado de Kaveh e Farhoudi (2016).

Portanto, a comunicação através do som é crucial tanto para as baleias quanto para os golfinhos, porque eles dependem dessa habilidade para realizar diferentes atividades como alimentação, organização de grupos e reprodução (DUDZINSKI; HILL, 2018; HERMAN et al., 2013; TYACK, 2000). Desde o momento em que o filhote reconhece e aprende a se comunicar com a mãe, ele se desenvolve de modo a também identificar os sons do ambiente e da sua própria voz, como observado para os golfinhos que criam o seu próprio assobio assinatura (JANIK, 2014; TYACK, 2000). Conforme vão se desenvolvendo em grupos familiares, os indivíduos aprendem sinais de hierarquia e coesão para navegação ou estratégias de caça. Na fase adulta, sons de cortejo como parte de estratégias reprodutivas são criados e aprendidos, passados de geração em geração, fortalecendo laços sociais e tradições culturais entre famílias (GARLAND; RENDELL, 2020).

1.3 A baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*)

A baleia-jubarte é uma espécie cosmopolita do grupo dos Mysticeti que pode chegar até 16m de comprimento e pesar em média 40 toneladas, ela possui o dorso escuro e o ventre claro, o que facilita a sua identificação (CLAPHAM, 2000). As populações de baleia-jubarte são conhecidas pela fidelidade a diferentes áreas de reprodução, classificadas em estoques reprodutivos de A-G (Figura 4). No Hemisfério Sul, a população de jubarte que migra para a

costa brasileira é conhecida como estoque reprodutivo A (IWC, 1998), durante o inverno elas se concentram no Banco de Abrolhos, região Nordeste, e durante o verão elas migram para as ilhas Geórgia e Sandwich do Sul, próximo à Antártica (ANDRIOLI et al., 2010; CLAPHAM, 2000; MARCONDES et al., 2021).

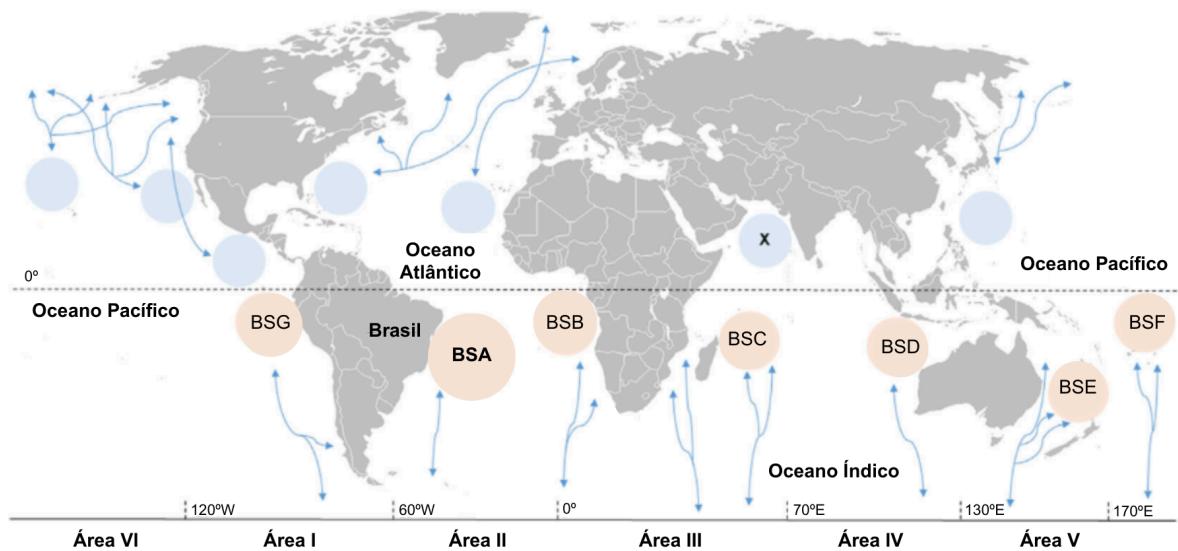


Figura 4. Mapa com a representação dos estoques reprodutivos de baleia-jubarte (representados pelas siglas BS, do inglês *breeding stock*, seguido por letra). Os círculos em azul representam as populações do Hemisfério Norte e os círculos em laranja as populações do Hemisfério Sul (classificadas de A-G), com destaque para o Brasil - BSA. A população marcada pelo X, não realiza migração entre baixa e alta latitude. As setas indicam o padrão de migração entre as áreas de baixa e alta latitude. As áreas em algarismos romanos separam as áreas de alimentação. Adaptado de Gonçalves et al. (2023).

Os machos de uma mesma população produzem canções únicas que mudam gradualmente a cada ano. O canto é caracterizado como um conjunto de unidades que formam subfrases, que são combinadas em frases. A sequência de várias frases formam um tema, sendo a sequência de diferentes temas seguindo uma ordem previsível, o que forma o canto (Figura 5). Normalmente o canto pode durar até 30 minutos, mas já foi registrado canto por até 22 horas (PAYNE; MCVAY, 1971; HELWEG et al., 1992; WINN; WINN, 1978). As áreas de reprodução são o local em que os machos mais engajam a cantar, o que evidencia a forte relação do canto com seleção sexual. Outras hipóteses favorecem o canto como forma de estabelecer hierarquia e mediar relações com outros machos (DARLING; BÉRUBÉ, 2001;

DARLING; JONES; NICKLIN, 2006; HERMAN et al., 2013; HERMAN, 2016). Fragmentos de canção também podem ser utilizados na produção de sons sociais, que são produzidos por ambos os sexos e faixa etária (TYACK, 1981 e 1983; DUNLOP et al., 2007).

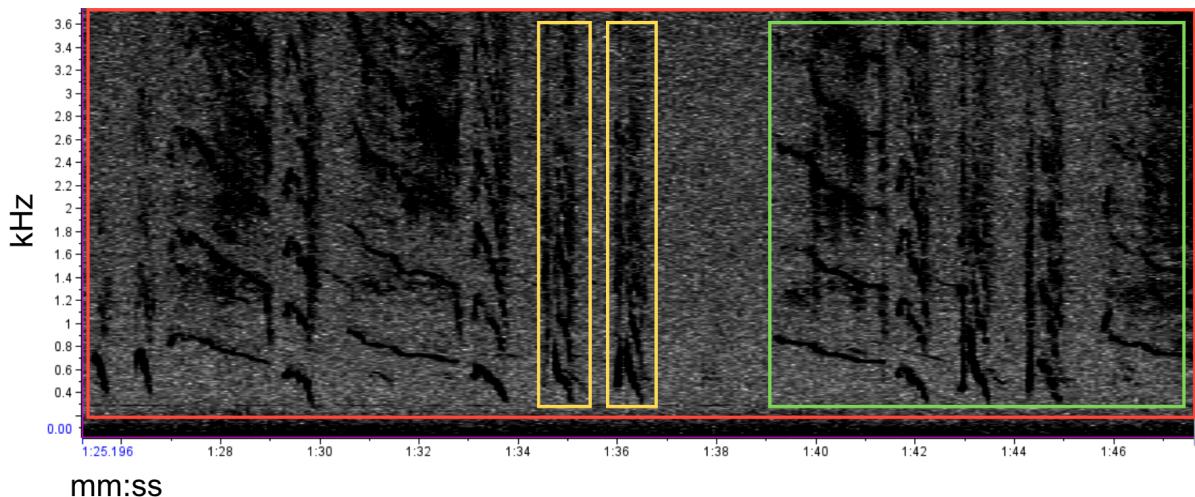


Figura 5. Espectrograma do fragmento de canto da baleia-jubarte (também chamado de sonograma) registrado em 2018 na Bacia de Santos. No eixo x está o tempo e no eixo y a frequência. Em destaque estão os componentes do canto, representados em amarelo pelas unidades, em verde uma frase e em vermelho o tema.

As baleias realizam diversos papéis ecológicos que são fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas marinhos. Entre eles destaca-se a fertilização dos oceanos por meio de suas fezes ricas em nitrogênio e ferro, que são dispersas ao longo de suas extensas migrações, enriquecendo o ambiente. Além disso, as baleias contribuem para o sequestro de carbono atmosférico ao armazená-lo em seu corpo. Ao final de suas vidas, suas carcaças podem ser utilizadas como fonte de alimento e abrigo para animais invertebrados que vivem na zona abissal (COOK et al., 2020). No passado, populações de baleias quase foram levadas à extinção pela caça, os navios baleeiros tinham interesse pela carne e principalmente, pela camada espessa de gordura servir como combustível para iluminar casas e cidades no início da Revolução Industrial. É estimado que cerca de 200 mil jubartes foram caçadas em todo o hemisfério Sul, o que levou ao declínio das populações e mobilizou um decreto internacional de proibição da caça das baleias em 1986 (ANDRIOLI et al., 2010; DE MORAIS et al., 2020; SEYBOTH et al., 2023).

Até o presente, o aumento da população de jubartes tem sido bem documentada em grande parte do mundo, no Brasil a população passou de pouco mais de 1500 indivíduos para

mais de 15 mil, sendo o tamanho da população estimado em mais de 20 mil para o período pré-industrial (BORTOLOTTI et al., 2016). Portanto, estudar sobre essas espécies para melhor compreender o seu comportamento é fundamental para que ações de conservação e manejo sejam bem sucedidas na proteção das jubartes e dos processos ecológicos dos quais participam, assegurando a manutenção da biodiversidade marinha (MALINAUSKAITE et al., 2021; QUAGGIOTTO et al., 2022; ROMAN et al., 2014).

1.4 Ferramentas para o estudo dos sons dos cetáceos

É possível utilizar diferentes ferramentas para capturar os sons da paisagem acústica submarina, a mais comum é por meio de hidrofones, que são microfones especializados na recepção de som no meio aquático. O hidrofone é composto por uma placa elétrica, chamada de transdutor piezoeletrico, que faz a transdução da onda sonora recebida em sinal elétrico, semelhante a transdução biológica dos animais. O sinal elétrico é gravado a uma determinada taxa de amostragem (kHz), através de um gravador digital, e assim o som pode ser reconstruído nos domínios do tempo, frequência e amplitude (Figura 6). O transdutor pode ter sensibilidade para sons audíveis ($20 > 20\text{kHz}$), ultrassom ($>20\text{kHz}$) ou infrassom ($<20\text{Hz}$). Dessa forma, o sinal elétrico pode ser amplificado (volume), gravado ou repetido em *playback* (BROWNING et al., 2017).



Figura 6. Esquema do hidrofone com detalhes de suas partes em A e um exemplo comercial do hidrofone com gravador em B. **A)** Composição do hidrofone e suas partes (Adaptado de: DE MARCO, Rocco et al. 2023). **B)** Exemplo disponível no mercado do hidrofone (amarelo) conectado a um gravador (azul) (Disponível em: cetaceanresearch.com).

Os hidrofones podem ser instalados em equipamentos mais sofisticados que aumentam a qualidade e proteção do sistema acústico (Figura 7). O equipamento acústico pode ser fixo, móvel ou até aderido ao animal, a escolha vai depender do objetivo de pesquisa e espécie alvo. Por exemplo, o sismômetro oceânico de fundo (Figura 7: 5) fica ancorado no fundo do mar e grava sons de até no máximo 100Hz, também é possível instalar hidrofones que são ancorados no fundo mas flutuam na coluna d'água e assim capturam frequências maiores (Figura 7: 2). A sonoboaia e o glider oceânico (drone subaquático), são equipamentos que possuem hidrofones instalados no seu sistema interno e não são fixos no fundo oceânico (Figura 7: 3 e 4, respectivamente). Por fim, as tags ou *bio-logging* (Figura 7: 1) são utilizadas para monitorar parte da vida de um animal, a tag é aderida no animal de uma maneira não invasiva, através de ventosas que se desprendem do corpo do animal depois de um determinado tempo, as tags podem ser equipadas com hidrofone para o monitoramento acústico, além de sensores como acelerômetro, medidores de temperatura e profundidade (BOUFFAUT, 2019; SOUSA-LIMA et al., 2013 e 2018).

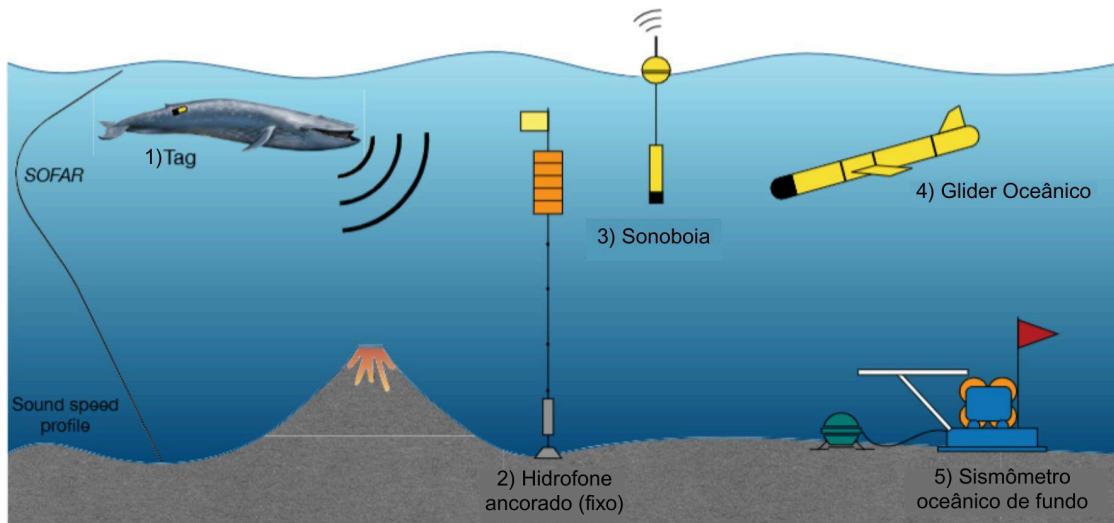


Figura 7. Esquema com diferentes tipos de equipamentos que podem ser utilizados para o monitoramento acústico passivo no ambiente marinho. Adaptado de BOUFFAUT, 2019.

Os cetáceos são animais de vida livre, porém é possível manter algumas espécies de golfinhos em cativeiro, como é o caso do golfinho-comum (*Tursiops sp.*) e a orca (LOTT; WILLIAMSON, 2017). Espécies em cativeiro são mais simples de se obter e estudar os sons, já para as espécies de vida livre é preciso investir em tecnologia e sofisticação para capturar o som e monitorar o comportamento do animal. O tipo de monitoramento acústico pode ser

ativo, quando o equipamento emite um sinal de ruído no ambiente, ou passivo quando o equipamento não emite sinal ruidoso que possa perturbar o comportamento da espécie-alvo (PYĆ; GEOFFROY; KNUDSEN, 2016; ZIMMER, 2011). O monitoramento acústico passivo (MAP) é um método não invasivo de obtenção de dados acústicos de longa duração, também possibilita a detecção de espécies raras, invasivas e ameaçadas em diferentes grupos e ambientes (DESJONQUÈRES; GIFFORD; LINKE, 2020; MELO et al, 2021). Outro aspecto importante para se observar é qual o grupo de interesse a se estudar, porque como já mencionado baleias e golfinhos vocalizam em diferentes faixas de frequência, da mesma forma a escolha do equipamento deve levar em consideração a sensibilidade ou poder de captura do som. Os Mysticeti vocalizam entre 14 Hz e 5 kHz, já os Odontoceti na faixa de 5 kHz e mais de 135 kHz (AU, 2000). Sendo assim, tanto para a obtenção do som do grupo de interesse quanto para o processamento do som capturado, é importante considerar as características do grupo e qual o tipo de ferramenta será útil para o tipo de estudo (AU, 2000).

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, M.; JOHANSSON, T.; DELORY, E.; VAN DER SCHAAR, M. Cetacean biosonar and noise pollution. In: **Europe Oceans** 2005. IEEE, 2005. p. 1028-1032.
- AU, W. W. Hearing in whales and dolphins: An overview. **Hearing by whales and dolphins**, p. 1-42, 2000.
- AU, Whitlow WL; HASTINGS, Mardi C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.
- ADAM, O.; CAZAU, D.; GANDILHON, N.; FABRE, B.; LAITMAN, J. T.; REIDENBERG, J. S. New acoustic model for humpback whale sound production. **Applied Acoustics**, v. 74, n. 10, p. 1182-1190, 2013.
- ANDRIOLLO, A.; KINAS, P. G.; ENGEL, M. H.; MARTINS, C. C. A.; RUFINO, A. M. Humpback whales within the Brazilian breeding ground: distribution and population size estimate. **Endangered Species Research**, v. 11, n. 3, p. 233-243, 2010.
- BASS, A. H.; CLARK, C. W. The physical acoustics of underwater sound communication. In: **Acoustic communication**. New York, NY: Springer New York, 2003. p. 15-64.
- BORTOLOTTO, G. A.; DANILEWICZ, D.; ANDRIOLLO, A.; SECCHI, E. R.; ZERBINI, A. N. Whale, whale, everywhere: increasing abundance of western South Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in their wintering grounds. **PLoS One**, v. 11, n. 10, p. e0164596, 2016.
- BOUFFAUT, Léa. **Détection et classification dans un contexte acoustique passif: application à la détection des signaux basse-fréquences des baleines bleues**. 2019. Tese de Doutorado. Université de Bretagne occidentale-Brest.
- BRADBURY, Jack W. Social complexity and cooperative behavior in delphinids. In: **Dolphin Cognition and Behavior**. Psychology Press, 2013. p. 361-372.
- BROWNING, E.; GIBB, R.; GLOVER-KAPFER, P.; JONES, K. E. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. Woking, UK, WWF-UK, 76pp. (WWF Conservation Technology Series 1(2)). 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OPB-876>
- CONNOR, RICHARD C. Group living in whales and dolphins. **Cetacean societies: Field studies of dolphins and whales**, p. 199-218, 2000.
- CHOLEWIAK, D. M.; SOUSA-LIMA, R. S.; CERCHIO, S. Humpback whale song hierarchical structure: Historical context and discussion of current classification issues. **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 3, p. E312-E332, 2013.
- CLARK, C. W.; ELLISON, W. T.; SOUTHALL, B. L.; HATCH, L.; VAN PARIJS, S. M.; FRANKEL, A.; PONIRAKIS, D. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201-222, 2009.
- CLAPHAM, Phillip J. The humpback whale. Cetacean Societies, field studies of dolphins and whales. **Chicago: The University of Chicago**, p. 173-196, 2000.

- COOK, D.; MALINAUSKAITE, L.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; ÖGMUNDARDÓTTIR, H.; ROMAN, J. Reflections on the ecosystem services of whales and valuing their contribution to human well-being. **Ocean & Coastal Management**, v. 186, p. 105100, 2020.
- CUMMINGS, W. C.; THOMPSON, P. O. Underwater sounds from the blue whale, *Balaenoptera musculus*. **The journal of the Acoustical Society of America**, v. 50, n. 4B, p. 1193-1198, 1971.
- CUMMINGS, J.; BRANDON, N. Sonic impact: a precautionary assessment of noise pollution from ocean seismic surveys. **Greenpeace International, Amsterdam, The Netherlands**, 2004.
- DARLING, J. D.; BÉRUBÉ, M. Interactions of singing humpback whales with other males. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 3, p. 570-584, 2001.
- DARLING, J. D.; JONES, M. E.; NICKLIN, C. P. Humpback whale songs: Do they organize males during the breeding season?. **Behaviour**, p. 1051-1101, 2006.
- DE MARCO, Rocco et al. The development of a low-cost hydrophone for passive acoustic monitoring of dolphin's vocalizations. **Remote Sensing**, v. 15, n. 7, p. 1946, 2023.
- DE MORAIS, I. O. B.; DANILEWICZ, D.; ZERBINI, A. N.; EDMUNDSON, W.; HART, I. B.; BORTOLOTTO, G. A. From the southern right whale hunting decline to the humpback whaling expansion: a review of whale catch records in the tropical western South Atlantic Ocean. **Mammal Review**, v. 47, n. 1, p. 11-23, 2017.
- DESJONQUÈRES, C.; GIFFORD, T.; LINKE, S. Passive acoustic monitoring as a potential tool to survey animal and ecosystem processes in freshwater environments. **Freshwater Biology**, v. 65, n. 1, p. 7-19, 2020.
- DOH, Yann et al. Study of Non-Linearities in Humpback Whale Song Units. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 13, n. 2, p. 215, 2025.
- DOLD, Christopher. Cetacea (whales, dolphins, porpoises). **Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine**, v. 8, p. 422-436, 2014.
- DUDZINSKI, K. M.; HILL, H. M. Cetacean communication. In: **Encyclopedia of animal cognition and behavior**. Springer, Cham, 2018. p. 1-12.
- DUNLOP, R. A.; NOAD, M. J.; CATO, D. H.; STOKES, D. The social vocalization repertoire of east Australian migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 5, p. 2893-2905, 2007.
- ERBE, C.; DUNLOP, R.; DOLMAN, S. Effects of noise on marine mammals. In: Effects of anthropogenic noise on animals. New York, NY: **Springer New York**, 2018. p. 277-309.
- ERBE, C.; WILLIAMS, R.; PARSONS, M.; PARSONS, S. K.; HENDRAWAN, I. G.; DEWANTAMA, I. M. I. Underwater noise from airplanes: An overlooked source of ocean noise. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p. 656-661, 2018.

FINDLAY, Ken P. et al. Humpback whale “super-groups”—A novel low-latitude feeding behaviour of Southern Hemisphere humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Benguela Upwelling System. **PloS one**, v. 12, n. 3, p. e0172002, 2017.

FORDYCE, R. E.; DE MUIZON, C. Evolutionary history of cetaceans: a review. Secondary adaptation of tetrapods to life in water, p. 169-233, 2001.

GARLAND, E. C.; RENDELL, L. Culture and communication among cetaceans. The Cambridge handbook of evolutionary perspectives on human behavior, p. 23-34, 2020.

GILLESPIE, Alexander. The precautionary principle in the twenty-first century: a case study of noise pollution in the ocean. **The international journal of marine and coastal law**, v. 22, n. 1, p. 61-87, 2007.

HALE, F. E. Long-Range Sound Propagation in the Deep Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 33, n. 4, p. 456-464, 1961.

HAWKINS, A. D. Underwater sound and fish behaviour. In: **The behaviour of teleost fishes**. Boston, MA: Springer US, 1986. p. 114-151.

HAWKINS, A. D.; POPPER, A. N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. **ICES Journal of Marine Science**, v. 74, n. 3, p. 635-651, 2017.

HELWEG, D. A.; FRANKEL, A. S.; MOBLEY JR, J. R.; HERMAN, L. M. Humpback whale song: Our current understanding. In: **Marine mammal sensory systems**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 459-483.

HERMAN, L. M.; PACK, A. A.; SPITZ, S. S.; HERMAN, E. Y.; ROSE, K.; HAKALA, S.; DEAKOS, M. H. Humpback whale song: who sings?. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 67, n. 10, p. 1653-1663, 2013.

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, 2016.

HERZING, D. L.; JOHNSON, C. M. (Ed.). Dolphin communication and cognition: past, present, and future. **MIT Press**, 2015.

HILDEBRAND, John. Sources of anthropogenic sound in the marine environment. In: **Report to the policy on sound and marine mammals: an international workshop**. US Marine Mammal Commission and Joint Nature Conservation Committee, UK. London, England. 2004.

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

HOOKER, Sascha K. Toothed whales (dontoceti). In: **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2018. p. 1004-1010.

IWC. Annex G. Report of the Sub-Committee on Comprehensive Assessment of Southern Hemisphere humpback whales. Rep. Int. Whal. Comm, v. 48, p. 170-182, 1998.

JANIK, Vincent M. Cetacean vocal learning and communication. **Current opinion in neurobiology**, v. 28, p. 60-65, 2014.

KAVEH, A.; FARHOUDI, N. Dolphin echolocation optimization for design of cantilever retaining walls. 2016.

KINSMAN, Blair. **Wind waves: their generation and propagation on the ocean surface**. Courier Corporation, 1984.

KRAUSE, Bernie. Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. **Whole Earth Review**, v. 57, n. 472, p. 14-18, 1987.

LARSEN, O. N.; RADFORD, C. Acoustic conditions affecting sound communication in air and underwater. In: Effects of anthropogenic noise on animals. New York, NY: **Springer New York**, 2018. p. 109-144.

LOCKYER, C. H.; BROWN, S. G. The migration of whales. **Animal migration**, v. 13, p. 105-137, 1981.

LOTT, R.; WILLIAMSON, C. Cetaceans in captivity. In: Marine mammal welfare: Human induced change in the marine environment and its impacts on marine mammal welfare. Cham: **Springer International Publishing**, 2017. p. 161-181.

MARCONDES, M. C. C. et al. The Southern Ocean Exchange: porous boundaries between humpback whale breeding populations in southern polar waters. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 23618, 2021.

MALINAUSKAITE, L.; COOK, D.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; ÖGMUNDARDÓTTIR, H. Socio-cultural valuation of whale ecosystem services in Skjálfandi Bay, Iceland. **Ecological Economics**, v. 180, p. 106867, 2021.

MCCARTHY, Elena. **International regulation of underwater sound: establishing rules and standards to address ocean noise pollution**. Boston, MA: Springer US, 2004.

MELO, I.; LLUSIA, D.; BASTOS, R. P.; SIGNORELLI, L. Active or passive acoustic monitoring? Assessing methods to track anuran communities in tropical savanna wetlands. **Ecological Indicators**, v. 132, p. 108305, 2021.

MORISAKA, Tadamichi. Evolution of communication sounds in odontocetes: a review. **International Journal of Comparative Psychology**, v. 25, n. 1, 2012.

MYRBERG JR, Arthur A. Underwater sound: its relevance to behavioral functions among fishes and marine mammals. **Marine & Freshwater Behaviour & Phy**, v. 29, n. 1-4, p. 3-21, 1997.

NIEUKIRK, Sharon L. et al. Low-frequency whale and seismic airgun sounds recorded in the mid-Atlantic Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 115, n. 4, p. 1832-1843, 2004.

NICHOLS, Rudolph H. Infrasonic ocean noise sources: Wind versus waves. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 82, n. 4, p. 1395-1402, 1987.

PASNAU, Robert. What is sound?. **The Philosophical Quarterly**, v. 49, n. 196, p. 309-324, 1999.

PAVAN, G.; BORSANI, J. F. Bioacoustic research on cetaceans in the Mediterranean Sea. **Marine & Freshwater Behaviour & Phy**, v. 30, n. 2, p. 99-123, 1997.

PAYNE, R. S.; MCVAY, S. Songs of Humpback Whales: Humpbacks emit sounds in long, predictable patterns ranging over frequencies audible to humans. **Science**, v. 173, n. 3997, p. 585- 597, 1971.

PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.

PIJANOWSKI, Bryan C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

PILLERI, Georg. The sonar system of the dolphins. **Endeavour**, v. 7, n. 2, p. 59-64, 1983.

PINE, Matthew K. **Marine Bioacoustics: The Importance of Sound in the Marine Environment**. 2014.

PIROTTA, V.; OWEN, K.; DONNELLY, D.; BRASIER, M. J.; HARCOURT, R. First evidence of bubble-net feeding and the formation of ‘super-groups’ by the east Australian population of humpback whales during their southward migration. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 9, p. 2412-2419, 2021.

PYĆ, C. D.; GEOFFROY, M.; KNUDSEN, F. R. An evaluation of active acoustic methods for detection of marine mammals in the Canadian Beaufort Sea. **Marine Mammal Science**, v. 32, n. 1, p. 202-219, 2016.

QUAGGIOTTO, M.-Martina et al. Past, present and future of the ecosystem services provided by cetacean carcasses. **Ecosystem Services**, v. 54, p. 101406, 2022.

RICHARDSON, W. J.; GREENE JR, C. R.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H. **Marine mammals and noise**. Academic press, 2013.

ROGERS, P. H.; COX, M. Underwater sound as a biological stimulus. In: **Sensory biology of aquatic animals**. New York, NY: Springer New York, 1988. p. 131-149.

ROMAN, Joe et al. Whales as marine ecosystem engineers. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 12, n. 7, p. 377-385, 2014.

SOUSA-LIMA, R. S.; NORRIS, T. F.; OSWALD, J. N.; FERNANDES, D. P. 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.

SOUSA-LIMA, R. S., ENGEL, M. H., SÁBATO, V., LIMA, B. R., QUEIRÓZ, T. S., BRITO, M. R., ...CLARK, C. W. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. **Western Indian Ocean Journal of Marine Science**, p. 23-40, 2018.

SEYBOTH, E.; MEYNECKE, J. O.; DE BIE, J.; ROYCHOUDHURY, A.; FINDLAY, K. A review of post-whaling abundance, trends, changes in distribution and migration patterns, and supplementary feeding of Southern Hemisphere humpback whales. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 997491, 2023.

ŠIROVIĆ, A.; HILDEBRAND, J. A.; WIGGINS, S. M. Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 2, p. 1208-1215, 2007.

STAFFORD, K. M.; NIEUKIRK, S. L.; FOX, Christopher G. Low-frequency whale sounds recorded on hydrophones moored in the eastern tropical Pacific. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 106, n. 6, p. 3687-3698, 1999.

THOMAS, P. O.; REEVES, R. R.; BROWNELL J.R, R. L. Status of the world's baleen whales. **Marine Mammal Science**, v. 32, n. 2, p. 682-734, 2016.

TYACK, Peter. Interactions between singing Hawaiian humpback whales and conspecifics nearby. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 8, n. 2, p. 105-116, 1981.

TYACK, P. Differential response of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, to playback of song or social sounds. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 13, n. 1, p. 49-55, 1983.

TYACK, Peter L. Dolphins whistle a signature tune. **Science**, v. 289, n. 5483, p. 1310-1311, 2000.

TYACK, Peter. Social organization of baleen whales. In: **Ethology and behavioral ecology of mysticetes**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 147-175.

VAN WEELDEN, C.; TOWERS, J. R.; BOSKER, T. Impacts of climate change on cetacean distribution, habitat and migration. **Climate Change Ecology**, v. 1, p. 100009, 2021.

VERSLUIS, Michel. On the sound of bubbles and shrimp. In: **The ABIOMED workshop on Ultrasound in Biomeasurements, Diagnostics and Therapy: Proceedings of the ABIOMED workshop on Ultrasound in Biomeasurements, Diagnostics and Therapy**. 2004. p. 7-10.

VINCENT, M. J. Underwater acoustic communication. **Animal communication networks**, p. 390, 2005.

WEILGART, Linda S. The impact of ocean noise pollution on marine biodiversity. **International Ocean Noise Coalition**, p. 1-6, 2008.

WILCOCK, W. S.; STAFFORD, K. M.; ANDREW, R. K.; ODOM, R. I. Sounds in the ocean at 1–100 Hz. **Annual review of marine science**, v. 6, n. 1, p. 117-140, 2014.

WINN, H. E.; WINN, L. K. The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. **Marine Biology**, v. 47, n. 2, p. 97-114, 1978.

WÜRSIG, B.; KIECKHEFER, T. R.; JEFFERSON, T. A. Visual displays for communication in cetaceans. In: **Sensory abilities of cetaceans: laboratory and field evidence**. Boston, MA: Springer US, 1990. p. 545-559.

CAPÍTULO 1:

PRESença ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA BACIA
DE SANTOS - SUDESTE E SUL DO BRASIL

O artigo segue a formatação estabelecida pela revista científica *Marine Mammal Science*

PRESENÇA ACÚSTICA DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) NA BACIA DE SANTOS, REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL

RESUMO

Os machos da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) produzem complexos cantos, especialmente em áreas de reprodução. A população que migra para o Brasil está crescendo e em expansão na costa brasileira, também nas regiões Sudeste e Sul, caracterizadas por intensa atividade antrópica. Este estudo avaliou a presença de vocalizações da espécie na Bacia de Santos, e analisou quais variáveis influenciam sua detecção. Os dados foram coletados pelo Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), utilizando um veículo autônomo subaquático (Seaglider), percorrendo rotas pré-programadas entre 2016 e 2021. O PMPAS-BS é realizado pela PETROBRAS como exigência do licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA. As gravações foram processadas utilizando o detector *Whistle-and-Moan* no programa PAMGuard para identificar a presença de sinais acústicos na faixa de 50 Hz a 3 kHz (FFT: 1024, overlap: 50%, SNR>6dB). Os trechos com detecções foram recortados manualmente (faixas de 1-10min) e avaliados aural e visualmente em espectrogramas no programa Raven Pro 1.6. A coleta de dados variou entre os anos monitorados e apenas gravações entre abril e novembro foram processadas, período reprodutivo da espécie. Aplicou-se um modelo linear generalizado (GLM) binomial (presença/ausência) considerando as fases da lua; dia Juliano² (elevado ao quadrado), para capturar a relação baixa-alta-baixa ao longo da temporada; horário (com transformação circular); profundidade e ano como variáveis explicativas. O modelo com menor AIC considerou todas as variáveis e a interação entre ano e dia Juliano². As fases da lua nova e último quarto apresentaram menor probabilidade de detecção do canto em comparação com a lua cheia. O horário das 18:00 horas, houve maior detecção de canto e quanto maior a profundidade, menor a detecção. Já a variável ano apresentou diferença entre os anos e ao longo dos dias da temporada reprodutiva, sendo o ano de 2016 com maior probabilidade de detecção em relação aos anos de 2017, 2018 e 2021, que não apresentaram variação entre si. Além disso, a interação entre o ano e o dia juliano² revelou que em 2018 e 2021, as detecções aumentaram de forma mais acentuada ao longo da temporada reprodutiva, com maior probabilidade de canto no pico da temporada. Nossa estudo revelou que o canto da baleia-jubarte é influenciado por fatores ambientais e temporais, que ajudam a compreender o comportamento reprodutivo da espécie. Também destacamos que a Bacia de Santos atua como um importante corredor migratório para a espécie, reforçando a relevância do monitoramento acústico em uma região marcada pela intensa atividade antrópica.

Palavras-Chave: canto, Hemisfério Sul, Mysticeti, reprodução.

ACOUSTIC PRESENCE OF HUMPBACK WHALES (*Megaptera novaeangliae*) IN THE SANTOS BASIN - SOUTHEAST AND SOUTH BRAZIL

ABSTRACT

Male humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) produce complex calls, especially in breeding areas. The population migrating to Brazil is growing and expanding along the Brazilian coast, including in the Southeast and South regions, which are characterized by intense human activity. This study evaluated the presence of this species' vocalizations in the Santos Basin and analyzed the variables that influence their detection. The data were collected by the Santos Basin Underwater Acoustic Landscape Monitoring Project (PMPAS-BS), using an autonomous underwater vehicle (Seaglider), following pre-programmed routes between 2016 and 2021. The PMPAS-BS is conducted by PETROBRAS as a requirement for federal environmental licensing, conducted by IBAMA. Recordings were processed using the Whistle-and-Moan detector in PAMGuard software to identify the presence of acoustic signals in the 50 Hz to 3 kHz range (FFT: 1024, overlap: 50%, SNR>6 dB). Detection segments were manually cropped (1-10 min bands) and evaluated aurally and visually in spectrograms in Raven Pro 1.6 software. Data collection varied between monitoring years, and only recordings from April to November were processed, the species' reproductive period in the study area. A binomial (presence/absence) generalized linear model (GLM) was applied considering the lunar phases; Julian day² (squared), to capture the low-high-low relationship throughout the season; time (with circular transformation); depth and year as explanatory variables. The model with the lowest AIC considered all variables and the interaction between year and Julian day². The new moon phase and last quarter moon phase presented a lower probability of detecting songs compared to the full moon; also in the early afternoon hours, between 12:00 and 6:00 pm, there was a higher detection rate, and the greater the depth, the lower the detection rate. The year variable varied between years and across the breeding season, with 2016 having the highest detection rate compared to 2017, 2018, and 2021, which showed no difference. Furthermore, the interaction between year and quadratic Julian day revealed that in 2018 and 2021, detections increased more sharply throughout the breeding season, with a higher probability of songs occurring at the peak of the season. Our study revealed that humpback whale song is influenced by environmental and temporal factors, which help understand the species' reproductive behavior. Furthermore, we highlight that the Santos Basin acts as an important migratory corridor, reinforcing the relevance of acoustic monitoring in a region marked by intense anthropic activity.

Keywords: Mysticeti, reproduction, song, Southern Hemisphere.

INTRODUÇÃO

No ambiente aquático, as ondas sonoras se propagam de modo mais eficiente do que no ar, favorecendo a evolução de mecanismos sonoros em organismos marinhos para comunicação, detecção de presas ou navegação (BASS; CLARK, 2003; HAWKINS, 1986; ROGERS; COX 1988). Portanto, entender como uma determinada espécie se utiliza desses mecanismos é crucial para avançar no entendimento de processos evolutivos, bem como em questões ecológicas relacionadas ao comportamento, distribuição populacional, efeitos das mudanças ambientais e ações de conservação (HASTINGS; POPPER, 2005; LIN et al., 2021; RAY; WATKINS, 1975; CUMMINGS; FISH, 1971).

Os cetáceos são modelos de estudo importantes na área da bioacústica. O desenvolvimento da modalidade acústica como principal canal sensorial e a capacidade de produção de diferentes tipos de sons tornaram esses mamíferos aquáticos os primeiros alvos do monitoramento acústico passivo (MAP) em ambiente marinho como ferramenta para coleta de dados de sua ocorrência e comportamento (GORDON; TYACK, 2002; PAVAN; BORSANI, 1997; SOUSA-LIMA et al., 2013). Este tipo de monitoramento permite explorar os sons de um ambiente por um longo período de tempo e com a mínima interferência possível nos organismos estudados, utilizando gravadores autônomos fixos, móveis ou acoplados aos animais (SOUSA-LIMA et al., 2018; VAN PARIJS et al. 2009).

A baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) é um cetáceo amplamente estudado utilizando o MAP, especialmente por seus cantos produzidos pelos machos, que são relacionados a comunicação interespecíficas, principalmente a seleção sexual (DARLING; BÉRUBÉ, 2001; DARLING; JONES; NICKLIN, 2006; HELWEG et al., 1992; HERMAN et al., 2017; TYACK, 1981). Os machos cantores de uma população criam composições que se repetem, principalmente em áreas de reprodução, e que mudam gradualmente ao longo dos anos, sugerindo aprendizado e transmissão cultural do canto (AU et al., 2006; GARLAND et al., 2011; NOAD et al., 2000; PAYNE et al., 2000; PAYNE; PAYNE, 1985). O canto é caracterizado como uma sequência longa, complexa e estereotipada, composta por unidades, que podem ser agrupadas em subfrases, que combinadas formam frases. A repetição das frases que são idênticas formam um tema, sendo o canto formado pelo conjunto de diferentes temas seguindo uma ordem, que se repete no tempo formando ciclos do canto (PAYNE; MCVAY, 1971; HELWEG et al., 1992). O ciclo do canto normalmente varia entre frequências de 100 e 4 kHz, e duração entre 7 e 30 minutos, mas pode passar de horas (PAYNE; MCVAY, 1971; WHITEHEAD, 1985; WINN; WINN, 1978). Os fragmentos do canto também fazem

parte do repertório de sons sociais da espécie (WIN; BEAMISH; PERKINS, 1979; DUNLOP, 2007). Os sons sociais é a classificação para outros tipos de vocalização produzidos independentemente da idade ou sexo, tanto em áreas de reprodução quanto em áreas de alimentação, também podem ocorrer em corredores migratórios (DUNLOP; CATO; NOAD, 2008; SALOMA et al., 2022; TYACK, 1983).

No Hemisfério Sul, a população de baleias-jubarte que migram para a costa brasileira é conhecida como 'estoque reprodutivo A' (IWC, 1998). Durante a estação do inverno, a população se concentra na região do Banco de Abrolhos, região Nordeste do Brasil (ANDRIOLI et al., 2010; RIGHI et al., 2024; WEDEKIN et al., 2010). Estudos recentes têm demonstrado o crescimento populacional das jubartes e a possível expansão de sua área de reprodução pela costa brasileira (e.g. ROSSI-SANTOS et al., 2008; GONÇALVES et al., 2018; WARD et al., 2011; WEDEKIN et al., 2014; ZERBINI et al., 2019). A região Sudeste e Sul, é utilizada como corredor migratório pelas jubartes, com alguns registros de alimentação oportunista na região (BORTOLOTTO et al., 2016; DANILEWICZ et al., 2009; SICILIANO et al., 2019). Nos últimos anos a espécie tem sido observada nesta região com evidências do uso do habitat para atividades de reprodução , como a formação de grupos competitivos entre machos e a presença de fêmeas com filhotes (MORETE et al., 2022).

A Bacia de Santos, localizada na região sudeste e sul do Brasil, é a maior bacia sedimentar do país e faz parte da rota de migração das baleias-jubarte (ANDRIOLI et al., 2006; MARTINS et al., 2022), onde ruídos prejudiciais à espécie provenientes do intenso tráfego de embarcações, atividades sísmicas e turismo estão presentes ao longo das suas rotas (CERCHIO et al., 2010; DUNLOP, 2019; ENGEL et al., 2004; ROSSI-SANTOS, 2015; SOUSA-LIMA; CLARK, 2008 e 2009).

O objetivo deste projeto é avaliar a variação temporal e espacial da presença acústica de baleias-jubarte, ou seja, qualquer sinal acústico da espécie na região sudeste e sul da costa brasileira, testando a influência do dia, fases da lua, horário, profundidade e o ano. Assim esperamos testar as hipóteses de que para a Bacia de Santos, serão detectados indivíduos durante o período de abril até outubro, mas com um pico durante os meses de junho e agosto (MORETE et al., 2022), também esperamos que as vocalizações serão mais frequentes durante o horário noturno (e.g. CAMPELO, 2020; CHOLEWIAK, 2008), e que devido redução da visibilidade durante esse período, é esperado observar o efeito das fases da Lua sobre as vocalizações, devido a variação de luz refletida no mar durante a noite (SOUSA-LIMA; CLARK, 2008), haverá um aumento da presença acústica ao longo dos anos devido ao aumento da população (ANDRIOLI, et al., 2010; GONÇALVES et al., 2018), e

por fim, avaliar a variação na detecção da presença acústica dentro da área de estudo (GONÇALVES et al., 2018; MARTINS, et al., 2001).

MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia de Santos abrange mais de 350.000 km², considerada a maior bacia do país e está localizada na costa sudeste e sul da margem continental brasileira, entre as latitudes 22° e 28° Sul e as longitudes de 42° e 48° Oeste (Figura 1); sua faixa de extensão vai de Florianópolis - Santa Catarina até Cabo Frio - Rio de Janeiro. O sudeste brasileiro é a região mais populosa do país e com grandes metrópoles localizadas próximo à costa, também abriga grande biodiversidade marinha devido ao encontro das correntes norte e sul que aumentam a produtividade de biomassa (SICILIANO et al., 2019; VALLS et al., 2023), além de englobar uma das maiores reservas de petróleo do país (DE SOUSA, CHAVES SGARBI, 2019), o que torna essa área bastante pressionada por atividades antrópicas como exportação marítima, extração de recursos (pesca, petróleo, gás) e turismo (tráfego de embarcações).

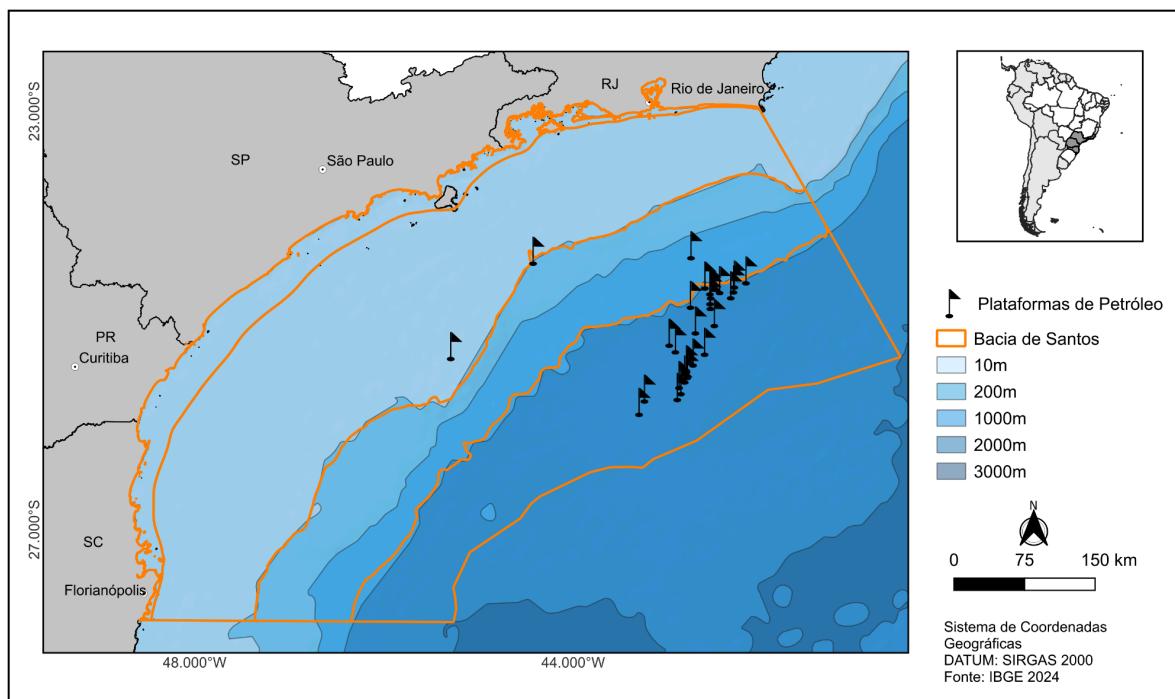


Figura 1. Mapa da área de estudo na Bacia de Santos, região Sudeste e Sul do Brasil.

Coleta de dados

Este projeto conta com dados coletados durante o período de 2016 a 2021, obtidos através da parceria com o Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS). O PMPAS-BS é realizado pela PETROBRAS como exigência do licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, e tem como objetivo caracterizar a paisagem acústica submarina, monitorar o nível de ruído submarino na região do pré-sal da Bacia de Santos e nas rotas de navegação preferenciais, que servem à região. Dessa forma, foram utilizados os dados obtidos entre os meses de abril e novembro, período no qual a presença das baleias-jubarte é comum na região sudeste (MORETE, et al. 2022). Os dados foram obtidos através de um veículo autônomo subaquático, o SeaGlider (Kongsberg Maritime). O glider possui um sistema de gravação interno e personalizado (Material suplementar - MS 1), é operado de forma remota e possui uma tecnologia que permite a coleta de dados em um padrão “dente-de-serra” que poupa energia e permite longa durabilidade, podendo atuar por mais de 9 meses e em profundidades de até 1.000 metros (Figura 2). Também é capaz de transmitir relatórios por telemetria sem fio quase simultâneos aos dados registrados no mar (ERIKSEN et al., 2001; ROSSI-SANTOS et al., 2022).

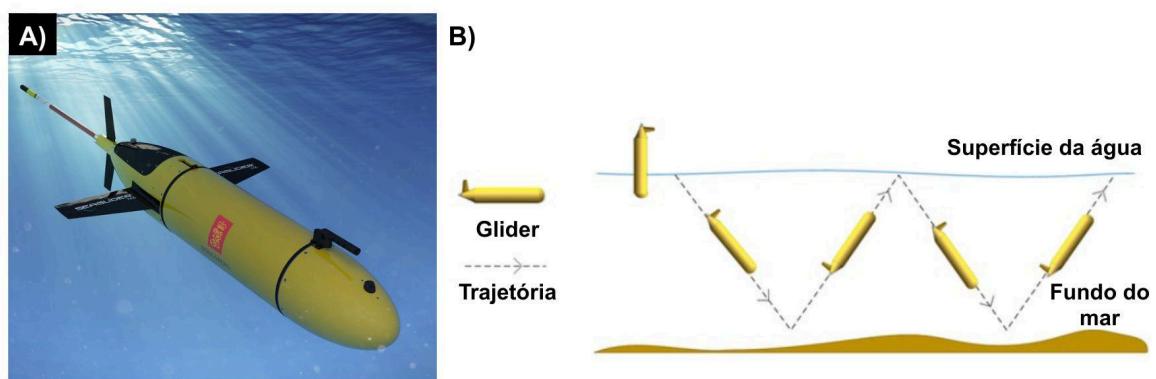


Figura 2. Esquema do veículo autônomo subaquático chamado de Seaglider. A) Imagem do drone obtida pelo fabricante Kongsberg Maritime (www.kongsberg.com). B) Esquema do modo de operação em “dente-de-serra” do glider (LI et al., 2020).

O glider realizou um total de 1.045 dias de esforço amostral percorrendo uma distância total de 23.069 km e 3.729 de mergulhos feitos com gravação (Figura 3). O MAP foi realizado através de rotas pré-programadas chamadas de campanhas (52 no total), que tinham como objetivo monitorar parte da área da Bacia de Santos, que faz parte da rota de migração

das jubartes (LANDINE et al., 2024; MARTINS, et al., 2022), registrando os sons e transmitindo suas coordenadas geográficas ao emergir, de modo que as gravações acústicas foram realizadas durante a submersão (LIMA et al., 2022). As rotas de navegação do glider se concentraram na zona intermediária oceânica, onde a batimetria varia de mil até 2 mil metros de profundidade (Figura 1). Também houve variação no esforço amostral (Figura 3, MS 1 e 2). As falhas nas amostragens no início de 2016 e 2017, também na metade do ano de 2021, correspondem a campanhas em que os gliders não puderam ser recuperados e portanto todas as gravações acústicas desse período foram perdidas.

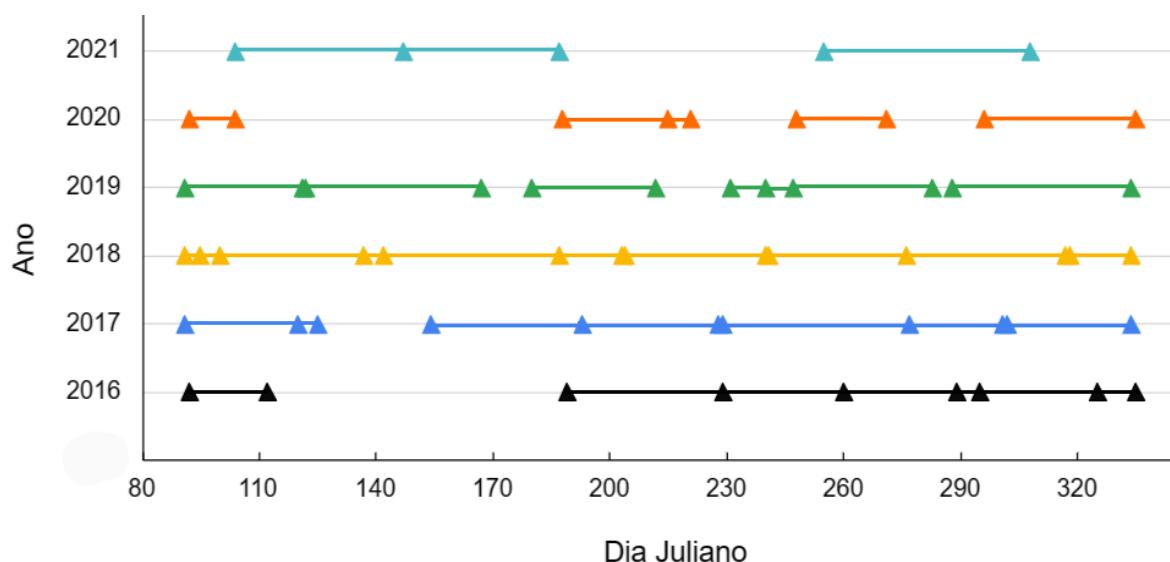


Figura 3. Esforço amostral realizado entre os meses de abril e novembro durante o período de 2016 até 2021, totalizando 35 campanhas e 1.045 dias de esforço. O início e fim de cada campanha estão representados pelos triângulos e as linhas representam a sua duração contados em dias Julianos.

Análise acústica - variável resposta

As gravações acústicas obtidas pelo SeaGlider foram processadas pela equipe do PMPAS-BS através do detector específico para os sinais acústicos de cetáceos *Whistle-and-Moan* (Assobios e Grunhidos), no programa PAMGuard (GILLESPIE et al., 2008). Assim, foi realizada a identificação da presença de sinais acústicos na faixa de 50 Hz a 3 kHz, Transformação Rápida de Fourier (FFT): 1024, sobreposição: 94% e relação sinal-ruído (SNR) maior que 6 dB. As detecções foram separadas em recortes de 1 minuto e trechos de 10 minutos com a maior quantidade de sinais detectados (Ref. 6º relatório - PMPAS). Dentro deste conjunto de dados, foram analisados apenas os trechos de 10 minutos

com SNR maior que 10 dB, medido através do parâmetro *inband power* (CHARIF et al., 2010). Em conjunto com espectrogramas FFT e janela Hann de 18204 com 50% de sobreposição. Todos os trechos foram analisados aural e visualmente no programa Raven Pro 1.6 (K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, 2025).

O canto das baleias-jubarte geralmente varia entre frequências de 100 Hz a 4 kHz, mas também há registros de harmônicos mais graves de 30 Hz e mais agudos de até 24 kHz (DUNLOP et al., 2007; HERMAN, 2017; PAYNE; MCVAY, 1971). Dessa forma, foi contabilizado como resposta binária de presença e ausência (1 e 0) o canto e/ou chamados sociais de baleia-jubarte em cada um dos trechos de gravação das campanhas realizadas entre 2016 e 2021, com intervalo mínimo de 5 horas entre cada detecção de presença do canto (em revisão, CAMPELO et al., 2020).

Análise das variáveis preditoras

A análise de variação na atividade do canto foi avaliada segundo o 1) Dia Juliano: considera os dias do ano de forma contínua e sem separação por meses, partindo do dia 1 até o dia 365 ou 366 para ano bissexto, correspondendo ao dia 91 até 334 (primeiro de abril até o dia 30 de novembro) e de 92 até o dia 335 para o ano bissexto 2016 e 2020; 2) Horário do dia: registrado em GMT -3, foi transformado em uma variável circular para que o modelo fizesse a interpretação correta do modo como registramos o tempo dentro de 24 horas circular, assim cada horário do dia entre 0 e 23 horas recebeu um valor no ângulo de 360°. Dessa forma o período diurno passou a ser representado pelo seno e o período noturno pelo cosseno dos ângulos. Assim, a variável horário foi dividida em “sin hora” e “cos hora”, seno e cosseno dos ângulos, respectivamente. 3) Fases da lua: como variável categórica para as fases nova, primeiro quarto, cheia e último quarto, consideradas pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); 4) Profundidade: sendo a profundidade máxima que o glider desceu quando realizou as gravações acústicas como variável contínua e 5) Ano: como variável categórica para 2016 a 2021.

Análises estatísticas e espaciais

Para testar a relação entre a variável resposta (presença ou ausência do canto de jubarte) e as variáveis preditoras (dia Juliano², seno hora e cos hora, fases da Lua, profundidade e ano) foi realizado um modelo linear generalizado de distribuição binomial (GLM binomial), que apresentou um modelo logístico com a função logit (*odds ratio*, ou razão de chances), para estimar a probabilidade do evento (canto) em função das variáveis

preditoras. O modelo escolhido foi o que melhor respondeu ao critério de Akaike (AIC). Todas as análises estatísticas foram realizadas através do programa R Studio (R Core Team versão 4.3.0), utilizando os pacotes “dplyr” (WICKHAM et al., 2023) para organizar os dados, “stats” para realizar o modelo estatístico (R core team, 2024), “carData” e “car” (FOX; WEISBERG, 2019; FOX; WEISBERG; PRICE, 2022) para avaliar a colinearidade entre as variáveis preditoras através do teste de “*Variance Inflation Factor*” (VIF). Apenas as variáveis com VIF menor que 5 foram mantidas no modelo (AKINWANDE et al., 2015), que foram as duas variáveis que representavam o dia, sendo elas o dia juliano e dia juliano², dessa forma o dia juliano² foi escolhido para que o modelo seguisse sem alta colinearidade entre as variáveis preditoras (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado do teste de colinearidade (VIF) entre as variáveis preditoras. Todas as variáveis apresentaram como resultado o VIF menor do que 5, o que indica baixa colinearidade no modelo.

| Variáveis preditoras | GVIF | Df | GVIF ^{(1/(2*Df))} |
|------------------------------|----------|----|----------------------------|
| Lua | 1,29 | 3 | 1,04 |
| Seno_hora | 1,10 | 1 | 1,05 |
| Cos_hora | 1,03 | 1 | 1,05 |
| Dia juliano ² | 1,22 | 1 | 1,10 |
| Profundidade | 42377,89 | 5 | 2,90 |
| Ano | 7,03 | 1 | 2,65 |
| Ano:dia_juliano ² | 51283,81 | 5 | 2,96 |

O software de mapeamento geoespacial QGis (QGIS Development Team, 2025), foi utilizado para criar o mapa apresentando a detecção de presença do canto de baleia-jubarte dentro da área de estudo e ao longo dos anos amostrados, utilizando os dados de coordenadas geográficas das detecções (EDWARDS et al., 2015).

RESULTADOS

Foram analisados um total de 433 dias, sendo 125 dias (29%), de presença acústica de baleia-jubarte distribuídas entre os anos de 2016 e 2021. Dentro deste período foram analisados 8.372 trechos de gravação com variação de 10 minutos. No período entre 08/07 e 02/08 do ano de 2020, foram analisados os recortes de 1 minuto de gravação, totalizando 125

arquivos (Tabela 2 e MS 2).

Tabela 2. Presença acústica do canto de baleia-jubarte entre os anos de 2016 e 2021 monitorados na área da Bacia de Santos realizado pelo PMPAS-BS. 1^a coluna) anos monitorados; 2^a coluna) total do número de dias de monitoramento para cada ano e 3^a coluna) total do número de presença acústica de baleia-jubarte para cada ano.

| Ano | Nº. dias monitorados | Nº. presença |
|------|----------------------|--------------|
| 2016 | 56 | 31 |
| 2017 | 48 | 12 |
| 2018 | 134 | 34 |
| 2019 | 60 | 27 |
| 2020 | 76 | 14 |
| 2021 | 59 | 7 |

O período de maior detecção acústica, principalmente do canto, foi registrado entre os meses de julho e setembro, seguido por poucos ou nenhum registro nos meses de outubro e novembro (Figura 4 e 5A). O início da temporada não apresentou detecções de baleia-jubarte nos meses de abril, maio de 2018 e 2021, e junho dos anos em que foi possível obter as gravações acústicas dos respectivos meses (2017, 2018 e 2021). Já o final da temporada, apenas em 2020 e 2021, não foi detectado presença acústica no mês de outubro, também não houve detecção em todos os anos para o mês de novembro, com exceção do ano de 2017.

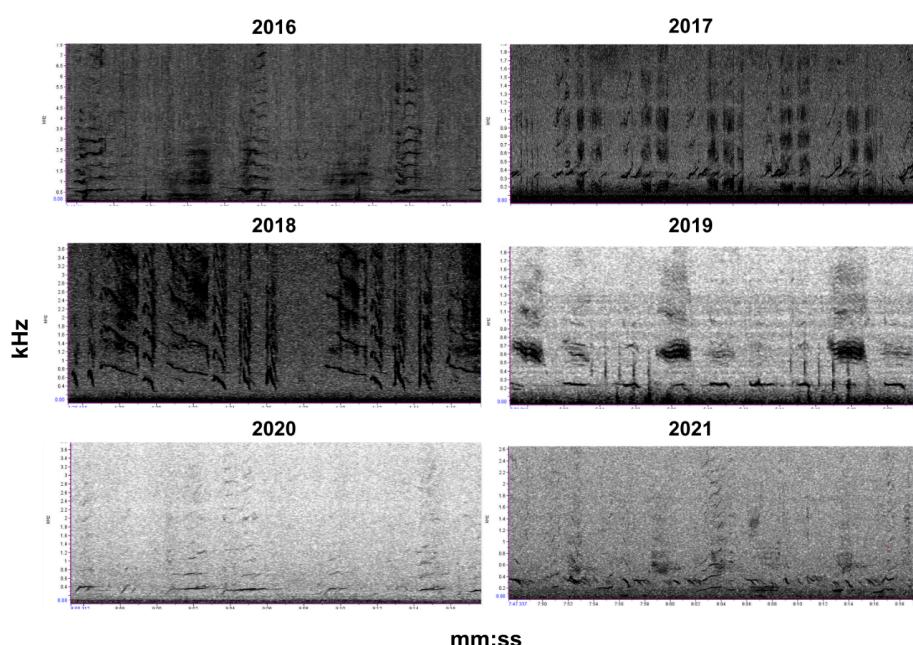


Figura 4. Exemplos de fragmentos do canto de baleia-jubarte registrados pelo PAMPS-BS ao longo dos anos através do monitoramento móvel realizado pelo Seaglider.

Presença acústica x variáveis preditoras

A seleção do modelo mais parcimonioso conforme o critério de AIC, incluiu todas as variáveis preditoras e a interação entre o ano e dia juliano² (Tabela 3). Obtivemos resultado para as fases da lua nova e último quarto com menores chances de vocalizações em comparação com a fase da lua cheia. O horário do dia, dividido em seno e cosseno, apenas a variável seno hora indicou maior chance de detecção durante as 18 horas. A maior profundidade diminui as chances de detecção de vocalização (Figura 5). Todos os anos, com exceção de 2019 e 2020, apresentaram uma relação negativa em comparação com as detecções de vocalizações do ano de 2016, e a interação entre a variável ano e dia juliano² (Figura 5 e Tabela 4). A detecção de presença acústica variou entre as fases da lua e não apresentou um padrão claro, além disso para o ano de 2020 e 2021 não houve detecção nas fases do último quarto e lua nova, respectivamente (Figura 4B e MS 3).

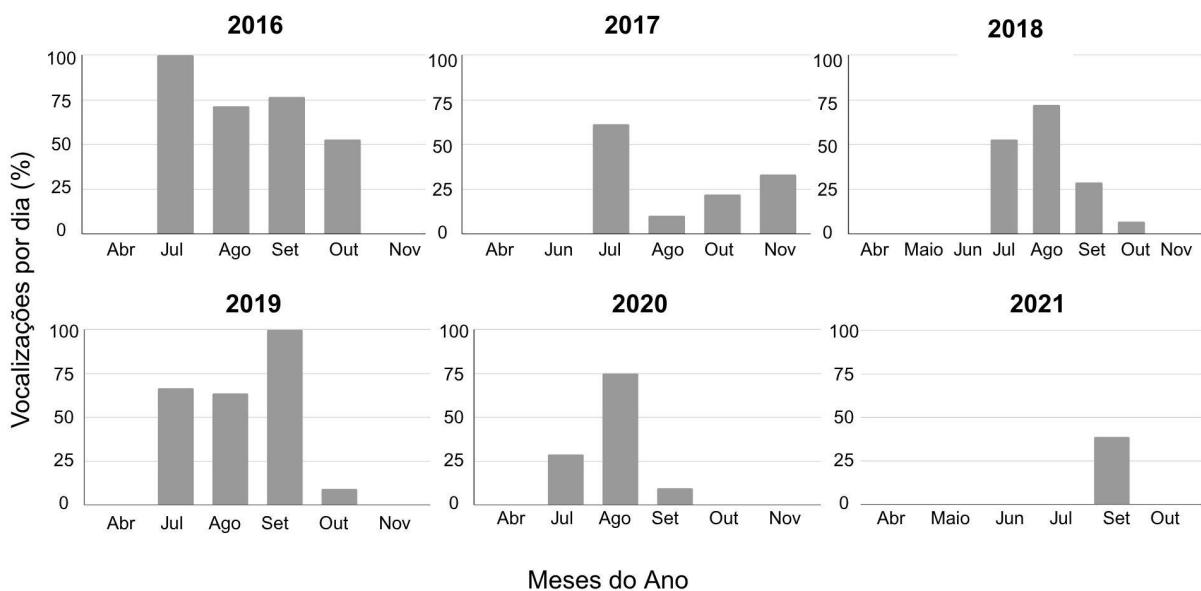
Tabela 3. Ranking de modelos com diferentes combinações para a escolha do que apresenta menor valor de AIC. O melhor modelo está destacado.

| Modelos | AICc | Delta AICc | Peso AICc |
|----------------|---------------|-------------------|------------------|
| Ano:dia | 679,48 | 0 | 0,91 |
| Sem_dia | 685,65 | 6,18 | 0,04 |
| Completo | 686,94 | 7,47 | 0,02 |
| Prof:hora | 687,09 | 7,61 | 0,02 |
| Sem_prof | 692,56 | 13,08 | 0,0 |
| Sem_hora | 694,23 | 14,75 | 0,0 |
| lua:hora | 694,59 | 15,12 | 0,0 |
| Sem_lua | 695,3 | 15,82 | 0,0 |
| Sem_ano | 750,54 | 71,06 | 0,0 |

Tabela 4. Resultado do GLM binomial para a presença acústica de baleia-jubarte entre os meses de abril e novembro durante o período de 2016 e 2021, em relação às variáveis preditoras. Os resultados numéricos em cada coluna foram arredondados do seu valor real, de modo que os valores muito baixos são apresentados como 0,00. As variáveis destacadas foram estatisticamente significativas. A variável categórica de fases da lua e ano, utilizou como referência para o modelo realizar a comparação com as demais categorias a fase da lua cheia e o ano de 2016, respectivamente, sendo por este motivo que elas não aparecem no resultado do modelo.

| Variáveis Preditoras | Estimate | Std. Error | z value | Pr(> z) |
|--|--------------|-------------|--------------|-------------|
| (Intercept) | 2,21 | 0,82 | 2,70 | 0,01 |
| 1º quarto | -0,31 | 0,26 | -1,20 | 0,23 |
| Último quarto | -0,84 | 0,32 | -2,67 | 0,01 |
| Nova | -0,85 | 0,28 | -2,98 | 0,00 |
| Seno_hora | -0,43 | 0,14 | -3,12 | 0,00 |
| Cos_hora | -0,12 | 0,15 | -0,84 | 0,40 |
| prof | -0,90 | 0,00 | -2,47 | 0,01 |
| Ano 2017 | -3,19 | 1,03 | -3,09 | 0,00 |
| Ano 2018 | -3,08 | 0,87 | -3,53 | 0,00 |
| Ano 2019 | -0,27 | 1,06 | -0,26 | 0,80 |
| Ano 2020 | -0,76 | 1,16 | -0,66 | 0,51 |
| Ano 2021 | -4,93 | 1,38 | -3,58 | 0,00 |
| Dia juliano ² | -0,02 | 0,00 | -1,64 | 0,10 |
| Ano2017:dia juliano ² | 0,02 | 0,00 | 1,31 | 0,19 |
| Ano2018:dia juliano² | 0,03 | 0,00 | 2,03 | 0,04 |
| Ano2019:dia_juliano ² | 0,00 | 0,00 | -0,10 | 0,92 |
| Ano2020:dia_juliano ² | -0,02 | 0,00 | -1,26 | 0,21 |
| Ano2021:dia_juliano² | 0,04 | 0,00 | 2,17 | 0,03 |

A) Presença acústica x Meses do Ano



B) Presença acústica x Fases da Lua

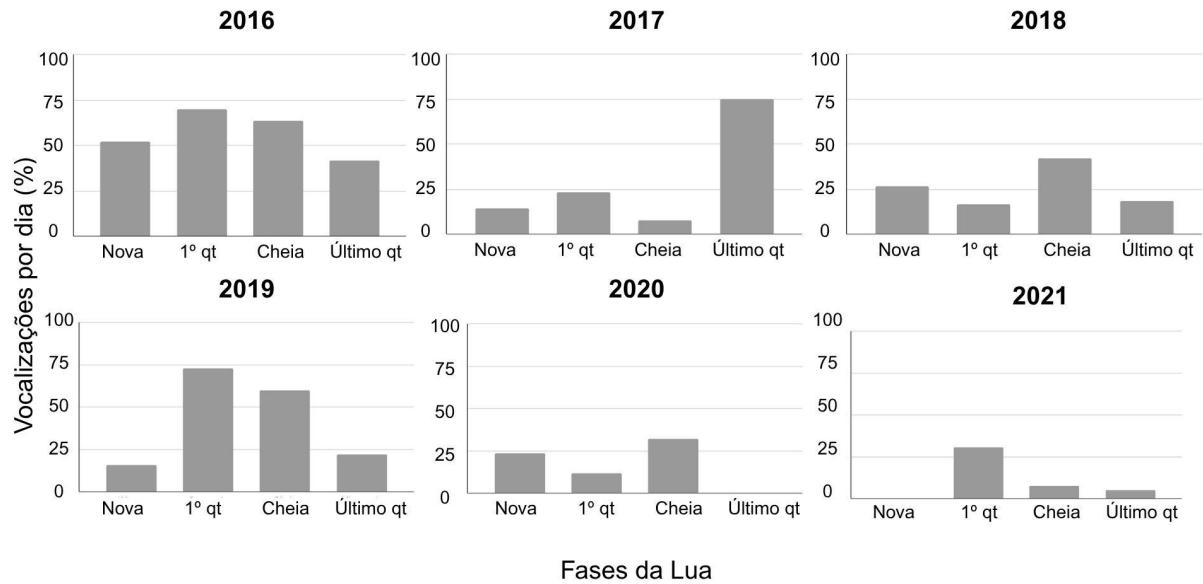


Figura 5. Porcentagem de vocalizações de baleia-jubarte detectados por dia durante a temporada reprodutiva da espécie entre os anos de 2016 e 2021. **A)** Eixo x: meses do ano de abril até novembro que foram realizados o monitoramento acústico pelo glider; e no eixo y: porcentagem do número de detecções por número de dias de cada mês em que houve coleta de dados. **B)** Eixo x: as quatro fases da lua e no eixo y: porcentagem de detecção por dia.

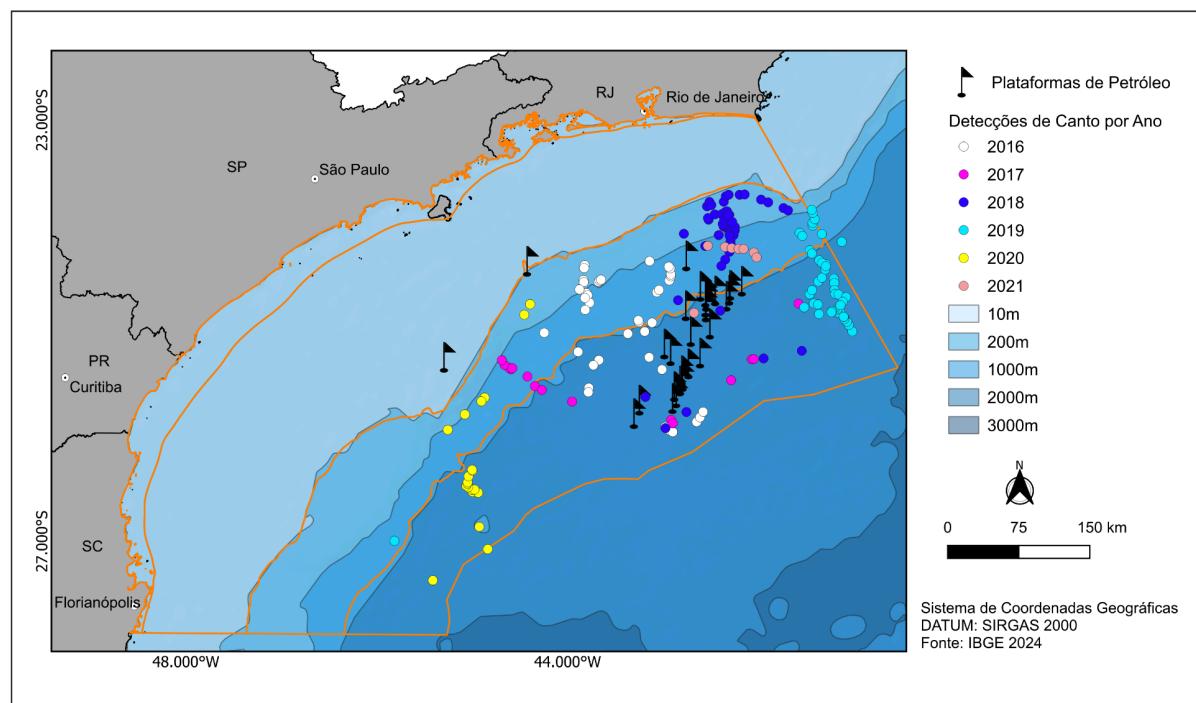


Figura 6. Mapa da presença acústica de baleia-jubarte entre 2016 e 2021 na Bacia de Santos, região Sudeste e Sul do Brasil. O mapa destaca o monitoramento acústico passivo realizado pelo PMPAS-BS utilizando o Seaglider entre 2016 e 2021. A Bacia de Santos está delimitada pela linha laranja, as plataformas de petróleo pelo ícone de bandeira preta e cada ano está

representado por um círculo de cor diferente, sendo cada círculo colorido referente a uma detecção de vocalização da espécie.

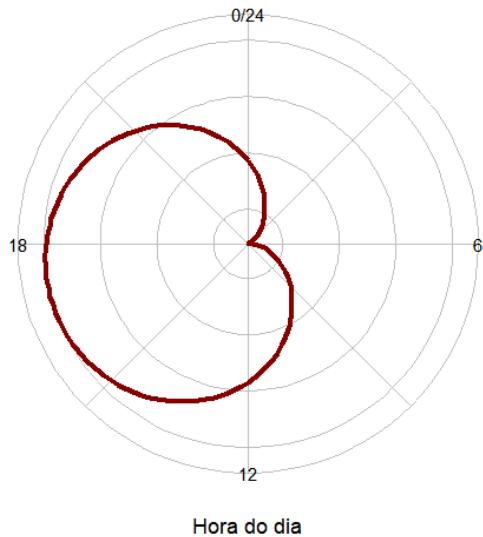


Figura 7. Resultado do monitoramento acústico com o Seaglider na Bacia de Santos entre 2016 e 2021, realizado pelo PMPAS-BS. O horário do dia com maior probabilidade de detecção da presença acústica de baleia-jubarte é às 18:00 horas. O destaque na linha vermelha para o período do dia entre 12:00 e 24:00 corresponde aos horários da variável sen_horario que foi relevante para o modelo.

DISCUSSÃO

O presente estudo identificou a presença acústica de baleia-jubarte em cada temporada reprodutiva (abril a novembro) na Bacia de Santos, através do monitoramento móvel realizado pelo glider dentro do período de 6 anos. A canção corresponde ao que foi registrado como presença acústica da espécie, representando 125 dias (28,3%) de detecção de jubarte, do total de 442 dias de coleta de dados acústicos.

Nossos resultados apresentaram grande variação sazonal na detecção de vocalizações entre 2016 e 2021 durante a temporada reprodutiva, o que pode ser explicado pela dinâmica social da espécie que vem se expandindo na costa brasileira (BORTOLOTTO et al., 2016; HERMAN et al., 2013; MORETE et al., 2022; SMITH, 2009). Herman (2017) destaca as múltiplas funções do canto, como atrair fêmeas, mediar relação com outros machos (estabelecer hierarquia, formar afiliação ou conflito) e formação de *lekking*. Também não são todos os machos que cantam e a presença de outro macho pode interromper um cantor, sendo

observado maior atividade de canto em indivíduos solitários (DARLING; BÉRUBÉ, 2001; SOUSA-LIMA et al., 2002 e 2018). Estudo sobre a população de jubartes no nordeste da Austrália mostrou que a atividade do canto diminuiu, apesar do aumento no número de avistagens indicarem que a população tem expandido (NOAD; DUNLOP; MACK, 2017). Além disso, não são todos os indivíduos que realizam a migração (CHICO et al., 2024; BROWN et al., 1985) e o canto pode influenciar na velocidade em que os machos permanecem ou chegam ao seu destino (NOAD; CATO, 2007). Outro ponto importante é a dispersão de indivíduos entre diferentes populações de baleia-jubarte, como observado para o Hemisfério Sul, e a sua influência no aprendizado e cultura do canto (RIZZO; SCHULTE, 2009; GARLAND et al., 2011; GONÇALVES et al., 2024). Sendo assim, apenas o monitoramento acústico da espécie pode não ser tão útil em revelar flutuações na população de jubartes. No ano de 2021, foi registrado um recorde de avistagens de baleia-jubarte na região sudeste do Brasil, infelizmente acompanhado por um recorde de encalhes de juvenis (BUCHERONI; FERRI, 2021). Portanto, é recomendado que quando possível, ambos o monitoramento visual e acústicos sejam realizados em estudos futuros (NOAD; DUNLOP; MACK, 2017).

As fases da lua nova e último quarto apresentam menor probabilidade de detecção de vocalização em comparação com a fase da lua cheia. Na região de Serra Grande - Bahia, foi possível observar visualmente uma maior quantidade de indivíduos durante a fase da lua cheia (GONÇALVES et al., 2018). Estudos apontam que durante o período noturno é possível detectar mais atividade vocal do que durante o período diurno (CERCHIO et al., 2010; HOMFELDT et al., 2022; KOBAYASHI et al., 2021; SOUSA-LIMA e CLARK, 2008). Esse resultado é apoiado pela teoria de que as baleias-jubarte preferem investir em comportamentos aéreos durante o dia, que possui maior iluminação, tornando o sentido da visão mais aguçado do que durante o período noturno, em que há pouca ou nenhuma iluminação, o que torna o sentido da audição mais útil para atrair parceiros reprodutivos (AU et al., 2000). Nossa pesquisa mostrou que as detecções são mais frequentes na fase da lua cheia, o que pode indicar que além da audição o sentido da visão também é importante para a comunicação da população de baleia-jubarte que migram pela costa brasileira.

O horário do dia apresentou influência negativa para o seno, que representa o período entre 12 e 24 horas, assim o resultado indicou que ao longo do dia, a maior probabilidade de detecção das vocalizações de baleia-jubarte é entre 15:00 e 19:00 horas. Esse resultado corrobora com a maior detecção de vocalizações classificadas como sons tonais de *Mysticeti* e *Odontoceti* entre 18 e 23 horas, publicado no relatório oficial (6º relatório PMPAS-BS).

Também foi observado para as populações da Bermudas e Canadá, que revelou aumento na atividade de vocal a partir das 18 horas (crepúsculo) e pico à noite (HOMFELDT et al., 2022; KOWARSKI et al., 2018). O aumento do turismo em observação de baleias (*whale-watching*), tem crescido bastante nos últimos anos, e já existem estudos que mostram o potencial efeito negativo do chamado mascaramento acústico, causado pelo ruído das embarcações que é similar a faixa de frequência de vocalização das jubartes, o que resulta na interrupção do canto e mudança rápida de comportamento (ROSSI-SANTOS et al., 2016; SOUSA-LIMA et al., 2008).

A profundidade revelou um efeito negativo, o que indica menor probabilidade de detecção em maiores profundidades. Charif et al., (2001) apresentou evidências de que os machos também cantam em corredores migratórios de grandes profundidades. No Brasil, já foi observado uma relação positiva entre a densidade de baleia-jubarte e a distância tanto da costa, quanto da quebra da plataforma continental, o que indica uma preferência pela região intermediária (BORTOLOTTO et al., 2017; LODI et al., 2020). Estudos mostram que existe um padrão na distribuição da espécie em relação ao uso do habitat, sendo as fêmeas com filhotes ocupando áreas mais próximas da costa e os adultos solitários nas áreas mais distantes (GONÇALVES et al., 2018; MARTINS et al., 2001). No Havaí, também foi possível observar o movimento diário de machos cantores entre a zona costeira e oceânica, durante períodos do dia em que a atividade do canto é mais favorável (KÜGLER et al., 2024). Também vale ressaltar que as plataformas de petróleo de concentram em áreas de maior profundidade (*offshore*) e que o ruído gerado no processo de extração de recurso apresenta impacto negativo para as baleias-jubartes, observado na Angola e no Brasil (CERCHIO et al., 2014; PARENTE; DE ARAÚJO, 2005; ROSSI-SANTOS, 2015).

Conclusão

O monitoramento acústico passivo realizado pelo Seaglider na Bacia de Santos, revelou a presença acústica da baleia-jubarte em uma região caracterizada pela intensa atividade antrópica de exploração de óleo e gás. A probabilidade de detecção das vocalizações dos machos é influenciada por fatores ambientais e temporais que ajudam no entendimento sobre o comportamento da espécie. As fases da lua, o horário do dia, profundidade e variação sazonal se mostraram variáveis relevantes na detecção da presença acústica de jubarte. A região Sudeste e Sul apresenta ser um importante corredor migratório para a espécie, sendo essencial a continuação de estudos em bioacústica que avaliam o impacto do ruído antrópico no ambiente marinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB-UESC), ao apoio financeiro da CAPES e do Laboratório de Ecologia Aplicado à Conservação - Leac. Também agradeço pela base de dados cedidos pelos nossos parceiros da SocioAmbiental e consultores, PMPAS-BS e PETROBRAS.

REFERÊNCIAS

- 6º relatório - PMAS. Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina (PMPAS) | Comunica Bacia de Santos | Petrobras > <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/projeto-de-monitoramento-da-paisagem-acustica-submarina-pmpas-jeto> de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina(PMPAS) | Comunica Bacia de Santos | Petrobras < Acesso em 2025.
- AKINWANDE, M. O.; DIKKO, H. G.; SAMSON, A. Variance inflation factor: as a condition for the inclusion of suppressor variable (s) in regression analysis. **Open journal of statistics**, v. 5, n. 07, p. 754, 2015
- ANDRIOLLO, A.; KINAS, P. G.; ENGEL, M. H.; MARTINS, C. C. A.; RUFINO, A. M. Humpback whales within the Brazilian breeding ground: distribution and population size estimate. **Endangered Species Research**, v. 11, n. 3, p. 233-243, 2010.
- ANDRIOLLO, A. et al. The first aerial survey to estimate abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). **J. Cetacean Res. Manage.**, v. 8, n. 3, p. 307-311, 2006.
- AU, W. W.; PACK, A. A.; LAMMERS, M. O.; HERMAN, L. M.; DEAKOS, M. H.; ANDREWS, K. Acoustic properties of humpback whale songs. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, n. 2, p. 1103-1110, 2006.
- BALLANCE, Lisa T. Cetacean ecology. In: Encyclopedia of marine mammals. **Academic Press**, 2018. p. 172-180.
- BASS, A. H.; CLARK, C. W. The physical acoustics of underwater sound communication. In: **Acoustic communication**. New York, NY: Springer New York, 2003. p. 15-64.
- BORTOLOTTO, G. A.; DANILEWICZ, D.; ANDRIOLLO, A.; SECCHI, E. R.; ZERBINI, A. N. Whale, whale, everywhere: increasing abundance of western South Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in their wintering grounds. **PLoS One**, v. 11, n. 10, p. e0164596, 2016.
- BORTOLOTTO, G. A.; KOLESNIKOVAS, C. K. M.; FREIRE, A. S.; SIMÕES-LOPES, P. C. Young humpback whale *Megaptera novaeangliae* feeding in Santa Catarina coastal waters, Southern Brazil, and a ship strike report. **Marine Biodiversity Records**, v. 9, n. 1, p. 29, 2016.
- BORTOLOTTO, G. A.; DANILEWICZ, D.; HAMMOND, P. S.; THOMAS, L.; ZERBINI, A. N. Whale distribution in a breeding area: spatial models of habitat use and abundance of western South Atlantic humpback whales. **Marine Ecology Progress Series**, v. 585, p. 213-227, 2017.
- BROWN, M. R.; CORKERON, P. J.; HALE, P. T.; SCHULTZ, K. W.; BRYDEN, M. M. Evidence for a sex-segregated migration in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*). **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 259, n. 1355, p. 229-234, 1995.
- BUCHERONI G.; FERRI, M. Mortes de baleias jubarte na costa brasileira bate recorde

histórico com 212 encalhes. G1 - Terra da Gente. 20/10/2021. Disponível em: Mortes de baleias jubartes na Costa Brasileira bate recorde histórico com 212 encalhes | Terra da Gente | G1 Acesso em: 20/08/2025

CAMPELO, M. S et al. Activity patterns of humpback whale singers on a coastal breeding area in northeast Brazil. 2020. Artigo em revisão.

CERCHIO S. A.; COLLINS, T; STRINDBERG, S. A; BENNETT, C. H.; ROSENBAUM, H. O. Humpback whale singing activity off northern Angola: an indication of the migratory cycle, breeding habitat and impact of seismic surveys on singer number in Breeding Stock B1. **Cambridge, UK: International Whaling Commission.** 2010 Jun.

CERCHIO, S.; STRINDBERG, S.; COLLINS, T.; BENNETT, C.; ROSENBAUM, H. Seismic surveys negatively affect humpback whale singing activity off northern Angola. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e86464, 2014.

CHARIF, R. A.; CLAPHAM, P. J.; CLARK, C. W. Acoustic detections of singing humpback whales in deep waters off the British Isles. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 4, p. 751-768, 2001.

CHOLEWIAK, Danielle. Evaluating the role of song in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) breeding system with respect to intra-sexual interactions. (Tese). 2008.

CUMMINGS, W. C.; FISH, J. F. A synopsis of marine animal underwater sounds in eight geographic areas. 1971.

DANILEWICZ, D.; TAVARES, M.; MORENO, I. B.; OTT, P. H.; TRIGO, C. Evidence of feeding by the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in mid-latitude waters of the western South Atlantic. **Marine Biodiversity Records**, v. 2, p. e88, 2009.

DARLING, J. D.; BÉRUBÉ, M. Interactions of singing humpback whales with other males. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 3, p. 570-584, 2001.

DARLING, J. D.; JONES, M. E.; NICKLIN, C. P. Humpback whale songs: Do they organize males during the breeding season?. **Behaviour**, p. 1051-1101, 2006.

DE SOUZA, L. S.; CHAVES SGARBI, G. N.. Bacia de Santos no Brasil: geologia, exploração e produção de petróleo e gás natural. **Boletín de Geología**, v. 41, n. 1, p. 175-195, 2019.

DUNLOP, R. A.; NOAD, M. J.; CATO, D. H.; STOKES, D. The social vocalization repertoire of east Australian migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 5, p. 2893-2905, 2007.

DUNLOP, R. A.; CATO, D. H.; NOAD, M. J. Non-song acoustic communication in migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). **Marine Mammal Science**, v. 24, n. 3, p. 613-629, 2008.

DUNLOP, R. A. The effects of vessel noise on the communication network of humpback whales. **Royal Society open science**, v. 6, n. 11, p. 190967, 2019.

- EDWARDS, E. F.; HALL, C.; MOORE, T. J.; SHEREDY, C.; REDFERN, J. V. Global distribution of fin whales *Balaenoptera physalus* in the post-whaling era (1980–2012). **Mammal Review**, v. 45, n. 4, p. 197-214, 2015.
- ENGEL, M. H.; MARCONDES, M. C.; MARTINS, C. C.; LUNA, F. O.; LIMA, R. P.; CAMPOS, A. Are seismic surveys responsible for cetacean strandings? An unusual mortality of adult humpback whales in Abrolhos Bank, northeastern coast of Brazil. **International Whaling Commission Document SC/56 E**, v. 28, 2004.
- ERIKSEN, C. C. et al. Seaglider: A long-range autonomous underwater vehicle for oceanographic research. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 26, n. 4, p. 424-436, 2001.
- FOX, J.; WEISBERG, S. *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <<https://www.john-fox.ca/Companion/>>. 2019
- FOX, J.; WEISBERG, S.; PRICE, B. *carData: Companion to Applied Regression Data Sets*. R package version 3.0-5, <<https://CRAN.R-project.org/package=carData>>. 2022
- GARLAND, Ellen C. et al. Dynamic horizontal cultural transmission of humpback whale song at the ocean basin scale. **Current biology**, v. 21, n. 8, p. 687-691, 2011.
- GONÇALVES, M. I. C.; DE SOUSA-LIMA, R. S.; TEIXEIRA, N. N.; MORETE, M. E.; DE CARVALHO, G. H.; FERREIRA, H. M.; BAUMGARTEN, J. E. Low latitude habitat use patterns of a recovering population of humpback whales. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 98, n. 5, p. 1087-1096, 2018.
- GONÇALVES, M. I. C.; SOUSA-LIMA, R. S. D.; TEIXEIRA, N. N.; CARVALHO, G. H.; DANILEWICZ, D.; BAUMGARTEN, J. E. Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018.
- GONÇALVES, M. I. C.; DJOKIC, D.; BAUMGARTEN, J. E.; MARCONDES, M. C.; PADOVESE, L. R.; EUGENIO, L. D.; SOUSA-LIMA, R. S. Abrupt change in humpback whale song from Brazil suggests cultural revolutions may occur in the South Atlantic. **Mar. Mamm. Sci.**, v. 40, 2024.
- GORDON, J.; TYACK, P. L. Acoustic techniques for studying cetaceans. In: **Marine Mammals: Biology and Conservation**. Boston, MA: Springer US, 2002. p. 293-324.
- HASTINGS, M. C.; POPPER, A. N. Effects of sound on fish. **California Department of Transportation**, 2005.
- HAWKINS, A. D. Underwater sound and fish behaviour. In: **The behaviour of teleost fishes**. Boston, MA: Springer US, 1986. p. 114-151.
- HELWEG, D. A.; FRANKEL, A. S.; MOBLEY JR, J. R.; HERMAN, L. M. Humpback whale song: Our current understanding. In: **Marine mammal sensory systems**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 459-483.
- HERMAN, Louis 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, 2016.

HERMAN, L. M.; PACK, A. A.; SPITZ, S. S.; HERMAN, E. Y.; ROSE, K.; HAKALA, S.; DEAKOS, M. H. Humpback whale song: who sings?. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 67, n. 10, p. 1653-1663, 2013.

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

HOMFELDT, T. N.; RISCH, D., STEVENSON, A.; HENRY, L. A. Seasonal and diel patterns in singing activity of humpback whales migrating through Bermuda. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 941793, 2022.

INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. Report of the Sub-Committee on other Southern Hemisphere whale stocks. **Report of the International Whaling Commission**, 48, 170–182. 1998.

K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics. “Raven Pro 2.0: Interactive Sound Analysis Software (version 2.0) [computer program],” Cornell Lab of Ornithology, 2024. <https://www.ravensoundsoftware.com>

KOBAYASHI, Nozomi et al. Diel patterns in singing activity of humpback whales in a winter breeding area in Okinawan (Ryukyuan) waters. **Marine Mammal Science**, v. 37, n. 3, p. 982-992, 2021.

KOWARSKI, K.; EVERE, C.; MOORS-MURPHY, H.; MARTIN, B.; DENES, S. L. Singing through winter nights: Seasonal and diel occurrence of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) calls in and around the Gully MPA, offshore eastern Canada. **Marine Mammal Science**, v. 34, n. 1, p. 169-189, 2018.

KÜGLER, Anke et al. Diel spatio-temporal patterns of humpback whale singing on a high-density breeding ground. **Royal Society Open Science**, v. 11, n. 1, p. 230279, 2024.

LANDINE, A.; ZERBINI, A. N.; DANILEWICZ, D.; SUCUNZA, F.; ANDRIOLI, A. Humpback whales in the Southwest Atlantic Ocean: investigating their breeding movements by satellite tracking. **Marine Mammal Science**, p. e13146. 2024

LIMA, Jose Antonio M. et al. Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, 2022.

LI, X.; XU, X.; YAN, L.; ZHAO, H.; ZHANG, T. Energy-efficient data collection using autonomous underwater glider: A reinforcement learning formulation. **Sensors**, v. 20, n. 13, p. 3758, 2020.

LIN, T. H.; AKAMATSU, T.; SINNIGER, F.; HARI, S. Exploring coral reef biodiversity via underwater soundscapes. **Biological Conservation**, v. 253, p. 108901, 2021.

LODI, L., TARDIN, R.; MARICATO, G. Modeling cetacean habitat use in an urban coastal

area in southeastern Brazil. **Marine Ecology Progress Series**, v. 642, p. 227-240, 2020.

MARTINS, C. C. A.; MORETE, M. E.; COITINHO, M. H. E.; FREITAS, A. C.; SECCHI, E. R.; KINAS, P. G. Aspects of habitat use patterns of humpback whales in the Abrolhos Bank, Brazil, breeding ground. 2001.

MARTINS, L. G.; DA SILVA, M.; SOUZA, A. F.; DUARTE, C. P.; LOPES, K. C.; DA SILVA, B. C. Distribuição espacial de avistamentos de baleias jubarte *Megaptera novaeangliae* (Borowski: 1781)(Cetacea: Balaenopteridae) na zona costeira do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e109111032463-e109111032463, 2022.

MORETE, Maria Emilia et al. Is the reproductive area of the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in Brazilian waters increasing? Evidence of breeding and calving activities around Ilhabela, São Paulo, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 17, n. 1, p. 63-67, 2022.

NOAD, M. J.; CATO, D. H. Swimming speeds of singing and non-singing humpback whales during migration. **Marine Mammal Science**, v. 23, n. 3, p. 481-495, 2007.

NOAD, M. J.; DUNLOP, R. A.; MACK, A. K. Changes in humpback whale singing behavior with abundance: implications for the development of acoustic surveys of cetaceans. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 142, n. 3, p. 1611-1618, 2017.

QGIS Development Team (2025). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

PARENTE, C. L.; DE ARAÚJO, M. E.. Is the diversity of cetaceans in Brazil reduced by the intensification of the seismic surveys. **IWC, SC/57 E**, v. 61, 2005.

PAVAN, G.; BORSANI, J. F. Bioacoustic research on cetaceans in the Mediterranean Sea. **Marine & Freshwater Behaviour & Phy**, v. 30, n. 2, p. 99-123, 1997.

PAYNE, R. S.; MCVAY, S. Songs of Humpback Whales: Humpbacks emit sounds in long, predictable patterns ranging over frequencies audible to humans. **Science**, v. 173, n. 3997, p. 585- 597, 1971.

PAYNE, K.; PAYNE, R. Large scale changes over 19 years in songs of humpback whales in Bermuda. **Zeitschrift für Tierpsychologie**, v. 68, n. 2, p. 89-114, 1985.

PAYNE, K.; WALLIN, N. L.; MERKER, B.; BROWN, S. The progressively changing songs of humpback whales. **The origins of music**, p. 135-150, 2000.

PIJANOWSKI, Bryan C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

RAY, G. C.; WATKINS, W. A. Social function of underwater sounds in the walrus *Odobenus rosmarus*. 1975.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing [software]. Versão 4.3.0. Viena, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em:

[https://www.r-project.org/.](https://www.r-project.org/)

REITER, Amanda Ceruti. Quem canta outras baleias encontra: distribuição e habitats críticos da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) na Bacia de Santos, sudeste do Brasil. Dissertação. 2021. <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/36632>>

RIGHI, B. M. et al. Exploring habitat use and movement patterns of humpback whales in a reoccupation area off Brazil: A comparison with the Abrolhos Bank. **Marine Mammal Science**, v. 40, n. 4, p. e13139, 2024.

RIZZO, L. Y.; SCHULTE, D. A review of humpback whales' migration patterns worldwide and their consequences to gene flow. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 89, n. 5, p. 995-1002, 2009.

ROGERS, P. H.; COX, M. Underwater sound as a biological stimulus. In: **Sensory biology of aquatic animals**. New York, NY: Springer New York, 1988. p. 131-149.

ROSSI-SANTOS, M. R.; NETO, E. S.; BARACHO, C. G.; CIPOLOTTI, S. R.; MARCOVALDI, E.; ENGEL, M. H. 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**, v. 65, n. 4, p. 667-673, 2008.

ROSSI-SANTOS, M. R. Oil industry and noise pollution in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) soundscape ecology of the southwestern Atlantic breeding ground. **Journal of Coastal Research**, v. 31, n. 1, p. 184-195, 2015.

ROSSI-SANTOS, Marcos R. Whale-watching noise effects on the behavior of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Brazilian breeding ground. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics**. Acoustical Society of America, 2016. p. 040003.

ROSSI-SANTOS, M. R.; FILUN, D.; SOARES-FILHO, W.; PARO, A. D.; WEDEKIN, L. L. "Playing the beat": Occurrence of Bio-duck calls in Santos Basin (Brazil) reveals a complex acoustic behaviour for the Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*). **Plos one**, v. 17, n. 9, p. e0255868, 2022.

SALOMA, A.; RATSIMBAZAFINDRANAHAKA, M. N.; MARTIN, M.; ANDRIANARIMISA, A.; HUETZ, C.; ADAM, O.; CHARRIER, I. Social calls in humpback whale mother-calf groups off Sainte Marie breeding ground (Madagascar, Indian Ocean). **PeerJ**, v. 10, p. e13785, 2022.

SICILIANO, S.; CARDOSO, J.; FRANCISCO, A.; MOREIRA, S. C. A stop for a snack: Apparent humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) feeding behavior and association with gillnets during migration off south-eastern Brazil. 2019.

SIMMONDS, M. P.; DOLMAN, S. J.; JASNY, M.; PARSONS, E. C. M.; WEILGART, L.; WRIGHT, A. J.; LEAPER, R. Marine noise pollution-increasing recognition but need for more practical action. 2014.

SMITH, J. N. Song function in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*): the use of song in the social interactions of singers on migration. **University of Queensland**, 2009.

SOUZA-LIMA, R. S.; CLARK, C. W. Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. **Canadian Acoustics**, v. 36, n. 1, p. 174-181, 2008.

SOUZA-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, p. 59-63, 2009.

SOUZA-LIMA, R. S.; NORRIS, T. F.; OSWALD, J. N.; FERNANDES, D. P. 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.

SOUZA-LIMA, Renata S. et al. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. **Western Indian Ocean Journal of Marine Science**, p. 23-40, 2018.

TYACK, Peter. Interactions between singing Hawaiian humpback whales and conspecifics nearby. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 8, n. 2, p. 105-116, 1981.

TYACK, P. Differential response of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, to playback of song or social sounds. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 13, n. 1, p. 49-55, 1983.

VALLS, F. C.; COSTA, P. L.; AWABDI, D. R.; BUGONI, L. An overview of seabirds in the Santos Basin, Brazil: species, threats, and current trends in studies. **Ocean and Coastal Research**, v. 71, p. e23011, 2023.

VAN PARIJS, S. M., CLARK, C. W., SOUSA-LIMA, R. S., PARKS, S. E., RANKIN, S., RISCH, D., & VAN OPZEELAND, I. C. Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 21-36, 2009.

WARD, E.; ZERBINI, A. N.; KINAS, P. G.; ENGEL, M. H.; ANDRIOLLO, A. Estimates of population growth rates of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the wintering grounds off the coast of Brazil (Breeding Stock A). **J. Cetacean Res. Manage.** p. 145-149, 2020.

WEDEKIN, L. L.; ROSSI-SANTOS, M. R.; BARACHO, C.; CYPRIANO-SOUZA, A. L.; SIMÕES-LOPES, P. C. Cetacean records along a coastal-offshore gradient in the Vitória-Trindade Chain, western South Atlantic Ocean. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 1, p. 137-144, 2014.

WEDEKIN, L. L.; NEVES, M. C.; MARCONDES, M. C.; BARACHO, C.; ROSSI-SANTOS, M. R.; ENGEL, M. H.; SIMÕES-LOPES, P. C. Site fidelity and movements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the Brazilian breeding ground, southwestern Atlantic. **Marine Mammal Science**, v. 26, n. 4, p. 787-802, 2010.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D. `_dplyr`: A Grammar of Data Manipulation_. R package version 1.1.4, <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>. 2023

WINN, H. E.; WINN, L. K. The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. **Marine Biology**, v. 47, n. 2, p. 97-114, 1978.

WINN, H. E.; BEAMISH, P.; PERKINS, P. J. Sounds of two entrapped humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Newfoundland. **Marine biology**, v. 55, n. 2, p. 151-155, 1979.

WISZ, Mary Susanne et al. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. **Biological reviews**, v. 88, n. 1, p. 15-30, 2013.

WHITEHEAD, H. Humpback whale songs from the North Indian Ocean. **Investigations on Cetacea**, v. 17, p. 157-162, 1985.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destacou que a presença acústica da baleia-jubarte na região Sudeste e Sul, especificamente na área da Bacia de Santos, é influenciada por fatores ambientais, como a profundidade e as fases da lua, assim como fatores temporais, como o horário do dia e ano. Nossos resultados identificaram a maior probabilidade de detecção do canto em determinados períodos ao longo da temporada reprodutiva, o que evidencia o papel da região como corredor migratório da espécie que se concentra na região Nordeste.

O monitoramento acústico da Bacia de Santos, ressalta o uso do MAP através do drone autônomo subaquático chamado de Seaglider, como ferramenta não invasiva para o estudo do comportamento da espécie na zona intermediária oceânica caracterizada pela intensa atividade antrópica, como tráfego de embarcações e exploração de óleo e gás. Estudos contínuos na área são recomendados para subsidiar políticas públicas de conservação, orientar práticas de licenciamento ambiental e reduzir os danos causados pelo impacto de atividades humanas.

A baleia-jubarte produz diferentes sons para se comunicar e esses sons podem ser classificados como canto e sons sociais. O canto é produzido apenas por machos e é exclusivo de uma mesma população, porém anualmente ele sofre alterações que indicam aprendizado por transmissão cultural. Os machos produzem o canto principalmente nas áreas de reprodução, o que indica uma relação com o sucesso reprodutivo da espécie. As partes ou fragmentos do canto também fazem parte dos chamados sociais, que são vocalizações produzidas por ambos os sexos e faixa etária. Dessa forma, a detecção da presença acústica da espécie, pode variar em função da dinâmica populacional que influencia na comunicação da espécie, de modo que a detecção das vocalizações variam em função da presença de fêmeas que se aproximam do cantor ou da aproximação de outros machos que podem se aproximar para intimidar ou formar grupos.

Portanto, apenas o monitoramento acústico pode não revelar o estado real do uso do habitat de uma determinada região. Como observado na Austrália, em que a quantidade de cantores diminuiu em relação ao crescente número de indivíduos na região. Dessa forma, a população de jubartes no Brasil, tem expandido e reocupado áreas de reprodução anteriores ao período de caça e comercialização de baleias, como observado na região de Serra Grande, no Sul da Bahia. Também, a região Sudeste e Sul da costa brasileira apresenta potencial para o estudo da espécie que tem apresentado crescente aumento de registros de avistagens nos últimos anos. Sendo assim, apesar das limitações do estudo em relação às análises acústicas, o monitoramento contínuo no tempo e espaço podem integrar e aperfeiçoar a base de dados,

assim como dados de coleta visual e oceanográficos podem aprofundar futuras discussões sobre a comunicação e comportamento da espécie.

MATERIAL SUPLEMENTAR

MS 1. Informações sobre o sistema acústico dos gliders operados entre 2016-2021 na área da Bacia de Santos realizado pelo PMPAS-BS. 1^a coluna) nome do glider; 2^a coluna) data do início do monitoramento; 3^a coluna) data do final do monitoramento; 4^a coluna) taxa de frequência de amostragem de cada equipamento, 5^a coluna) número de Bits; 6^a coluna) identificação do hidrofone e 7^a coluna) número do pré amplificador.

| Nome do glider | Início | Fim | Frequência de amostragem | nBits | Hidrofone | Pré-Amp |
|-----------------------|---------------|------------|---------------------------------|--------------|------------------|----------------|
| SG612 | 02/02/2016 | 20/04/2016 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 07/07/2016 | 16/08/2016 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 16/08/2016 | 16/09/2016 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 16/09/2016 | 15/10/2016 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 21/10/2016 | 20/11/2016 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 20/11/2016 | 11/01/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG570 | 24/03/2017 | 30/04/2017 | 125000 | 24 | 911009 | 1601 |
| SG569 | 30/04/2017 | 05/05/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG571 | 03/06/2017 | 12/07/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 12/07/2017 | 16/08/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 17/08/2017 | 04/10/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 04/10/2017 | 28/10/2017 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG571 | 29/10/2017 | 09/12/2017 | 125000 | 24 | 911005 | 1502 |
| SG612 | 22/02/2018 | 05/04/2018 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 10/04/2018 | 17/05/2018 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 22/05/2018 | 06/07/2018 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG612 | 06/07/2018 | 22/07/2018 | 125000 | 24 | 911008 | 1503 |
| SG656 | 23/07/2018 | 28/08/2018 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |
| SG657 | 29/08/2018 | 03/10/2018 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG656 | 03/10/2018 | 14/11/2018 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |
| SG657 | 13/11/2018 | 23/12/2018 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG656 | 23/03/2019 | 01/05/2019 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |
| SG657 | 02/05/2019 | 16/06/2019 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG656 | 29/06/2019 | 31/07/2019 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |
| SG657 | 02/08/2019 | 28/08/2019 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG656 | 04/09/2019 | 10/10/2019 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |
| SG657 | 15/10/2019 | 30/11/2019 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 01/12/2019 | 31/12/2019 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 02/01/2020 | 16/02/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 18/02/2020 | 19/03/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 25/03/2020 | 13/04/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 06/07/2020 | 02/08/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 02/08/2020 | 08/08/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 04/09/2020 | 27/09/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 22/10/2020 | 09/12/2020 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |

| Nome do glider | Início | Fim | Frequência de amostragem | nBits | Hidrofone | Pré-Amp |
|----------------|------------|------------|--------------------------|-------|-----------|---------|
| SG657 | 15/12/2020 | 29/01/2021 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 09/02/2021 | 18/03/2021 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 14/04/2021 | 27/05/2021 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG657 | 27/05/2021 | 06/07/2021 | 128000 | 24 | D000343 | AMAR-G4 |
| SG656 | 12/09/2021 | 04/11/2021 | 128000 | 24 | D000342 | AMAR-G4 |

| | |
|--------------|--|
| GC_C01 a C25 | Campanhas operadas pela ProOceano – Glider Seaglider com PAM |
| GL_C26 a C52 | Campanhas operadas pela Gardline/OceanPact – Glider Seaglider com PAM AMARG4, da JASCO |

MS 2 – Esforço amostral do SeaGlider entre os anos de 2016 e 2021. *1º coluna*) meses correspondentes de cada ano em que houve coleta de dados. *2º coluna*) número de presença por número de dias de cada mês em que foram coletados dados acústicos e a *3º coluna*) porcentagem de presença acústica por número de dias coletados.

| Mês/Ano | Nº. de presença / Nº. de dias coletados | Presença por dia (%) |
|----------|---|----------------------|
| 2016 | | |
| Abril | 0/4 | 0 |
| Julho | 4/4 | 100 |
| Agosto | 5/7 | 71 |
| Setembro | 13/17 | 76 |
| Outubro | 9/17 | 53 |
| Novembro | 0/7 | 0 |
| 2017 | | |
| Abril | 0/8 | 0 |
| Junho | 0/4 | 0 |
| Julho | 8/13 | 62 |
| Agosto | 1/10 | 10 |
| Outubro | 2/9 | 22 |
| Novembro | 1/3 | 33 |
| 2018 | | |
| Abril | 0/13 | 0 |
| Maio | 0/12 | 0 |
| Junho | 0/14 | 0 |
| Julho | 9/17 | 53 |

| | | |
|-------------|-------|-----|
| Agosto | 18/25 | 72 |
| Setembro | 6/21 | 29 |
| Outubro | 1/15 | 7 |
| Novembro | 0/17 | 0 |
| 2019 | | |
| Abril | 0/4 | 0 |
| Julho | 12/18 | 67 |
| Agosto | 7/11 | 64 |
| Setembro | 7/7 | 100 |
| Outubro | 1/11 | 9 |
| Novembro | 0/9 | 0 |
| 2020 | | |
| Abril | 0/2 | 0 |
| Julho | 6/21 | 29 |
| Agosto | 6/8 | 75 |
| Setembro | 2/21 | 10 |
| Outubro | 0/5 | 0 |
| Novembro | 0/19 | 0 |
| 2021 | | |
| Abril | 0/2 | 0 |
| Maio | 0/14 | 0 |
| Junho | 0/13 | 0 |
| Julho | 0/4 | 0 |
| Setembro | 7/18 | 39 |
| Outubro | 0/16 | 0 |

MS 3 – Esforço amostral da variável Fases da Lua realizado pelo Seaglider entre os anos de 2016 e 2021. *1º coluna*) as 4 fases da lua conforme a categoria seguida pela NOAA em cada ano amostrado, *2º coluna*) número de presença acústica de baleia-jubarte por número de dias coletados e *3º coluna*) porcentagem de presença acústica por cada fase da lua correspondente.

| Fases da Lua (2016-2021) | Nº. de presença / Nº. de dias coletados | Porcentagem |
|--------------------------|---|-------------|
| Nova | 12/23 | 52 |
| 1º Quarto | 7/10 | 70 |
| Cheia | 7/11 | 64 |

| | | |
|---------------|-------|-----|
| Último quarto | 5/12 | 42 |
| 2017 | | |
| Nova | 2/14 | 14 |
| 1º Quarto | 3/13 | 23 |
| Cheia | 1/13 | 8 |
| Último quarto | 6/8 | 75 |
| 2018 | | |
| Nova | 9/34 | 26 |
| 1º Quarto | 7/42 | 17 |
| Cheia | 13/31 | 42 |
| Último quarto | 5/27 | 19 |
| 2019 | | |
| Nova | 3/19 | 16 |
| 1º Quarto | 16/22 | 73 |
| Cheia | 6/10 | 60 |
| Último quarto | 2/9 | 22 |
| 2020 | | |
| Nova | 4/17 | 24 |
| 1º Quarto | 2/17 | 12 |
| Cheia | 8/25 | 32 |
| Último quarto | 0/17 | 0 |
| 2021 | | |
| Nova | 0/8 | 0 |
| 1º Quarto | 4/13 | 31 |
| Cheia | 2/26 | 7,7 |
| Último quarto | 1/20 | 5 |