



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Instituto de Ciências Biológicas**

Guilherme Lisbeni Petrocchi Passos Fonseca

**Catálogo e descrição das unidades presentes nos cantos  
da população brasileira de baleias jubarte (*Megaptera  
novaeangliae*) na temporada de 2024**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

**Orientadora:** Dra. Bianca Romeu

**Coorientadores:**

Dr. Paulo C. Simões-Lopes

Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar

Belo Horizonte, 2024

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho jamais seria possível sem o incondicional apoio dos meus pais, Luciana e Tarcísio, que embarcaram comigo nessa aventura de me tornar biólogo e sempre me motivaram a continuar firme nos estudos, apesar de todas as dificuldades que eu tinha. Provavelmente meu interesse na natureza só surgiu porque vocês sempre foram muito respeitosos e amantes dela também. Obrigado por me levarem pro sítio tantas vezes quando eu era pequeno e por sempre acharem um potinho para eu colocar os bichinhos que encontrava por lá. Também agradeço à toda minha família: avós, tios e primos, os quais eu senti tanta saudade enquanto estive morando fora. Talvez seja nessas horas de distância que nós realmente passamos a perceber o quanto a família é importante, e jamais vou me esquecer desse sentimento. Obrigado.

Sou muito grato aos professores e amigos que fiz no Laboratório de Ecologia de Insetos da UFMG: Fred, Ju, Camarota, Flavinho, Beirão, Bernardo, Nem e Lodi. Vocês estiveram presentes na minha primeira iniciação científica e minha primeira experiência de trabalho na biologia, e eu não poderia ter escolhido melhor. Todo o companheirismo, amizade e auxílio que me deram, me fizeram ter um vislumbre de como uma tarde no laboratório pode ser divertida e produtiva. Estendo este agradecimento ao Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar, que conheci em uma das viagens de campo enquanto estive no LEI, e hoje é um dos meus coorientadores. Obrigado por me dar esse apoio, topar ser meu coorientador e se colocar à disposição para um futuro mestrado, que demonstrei interesse. Mesmo em uma área completamente desconexa com a sua e com um convite de última hora, aceitou estar comigo. Tenho grande admiração por você, professor.

Agradeço imensamente aos amigos que fiz na UFMG e estiveram comigo durante a graduação: Os veteranos que me acolheram tão bem, nosso grupinho do “Crises” e todos os outros que apareceram pelo caminho. Vocês tornaram os dias de aula mais divertidos, as festas mais animadas e me jogaram pra cima quando reprovei em Histologia. Muito obrigado também aos amigos que me fizeram companhia quando decidi me mudar para Florianópolis: Tárik, Letícia, Laura, Sarah e Nina. Vocês sabem o quão difícil foi esse tempo na ilha para mim, mas ter vocês me ajudou a continuar focado e seguir em frente. Espero voltar logo pra gente tomar um quentão juntos. E agradeço muito aos meus amigos de BH, que me receberam na melhor festa de aniversário da minha vida quando voltei, não vou citar todos, mas vocês sabem quem são, e não imaginam o quanto fizeram falta. Ter amigos tão bons como vocês, me faz acreditar que também posso ser uma pessoa boa.

Muito obrigado a todos os colegas do LAMAQ que estiveram presentes durante esses meses na UFSC, desde a primeira reunião eu me senti acolhido por vocês e eu não poderia ter pedido pessoas melhores para estarem ao meu lado. Obrigado Bruna, Jara, Gustavo, Ana Suhr, Lu e Maurício. Foi um prazer trabalhar com vocês durante as tardes, reuniões, eventos de educação ambiental, e estar junto em todos os momentos de brincadeira e descontração. E obrigado Hanna, que se tornou uma amiga para muito além do laboratório.

E por fim, um agradecimento muito especial à minha orientadora, Dra. Bianca Romeu e ao meu coorientador Dr. Paulo C. Simões-Lopes. Foi angustiante me mudar para Florianópolis na cara e na coragem, em busca do meu sonho de trabalhar com os mamíferos marinhos sem nenhuma garantia de que conseguiria. E vocês me acolheram de uma forma que eu jamais esperaria. Muito obrigado Bianca, pela oportunidade de trabalhar contigo e por ser tão presente e cuidadosa. Ser orientado por você é um prazer enorme. E muito obrigado Paulinho, pela confiança de abrir as portas do LAMAQ para mim e me dar todo suporte que eu precisei enquanto aí estive, trabalhar se torna mais divertido e leve com você por perto.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1. OBJETIVOS GERAIS	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>14</b>
3.1 COLETA DE DADOS	14
3.2 AMOSTRAGEM DAS GRAVAÇÕES	16
3.3 ANÁLISE DAS UNIDADES	16
3.3.1. Nomenclatura	16
3.3.2. Métodos de Análise	17
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>20</b>
4.1 ANÁLISE DAS GRAVAÇÕES	20
4.1.1. Gravações	20
4.1.2. Filhotes	23
4.2 REGISTRO DAS UNIDADES	24
4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	26
4.3.1. Teste de Kruskal-Wallis	26
4.3.2. Análise de Componentes Principais (PCA)	27
4.3.3. Análise de Função Discriminante (DFA)	28
4.4 CATÁLOGO DAS UNIDADES	29
4.5 TABELA DE PARÂMETROS	34
<b>5. DISCUSSÃO</b>	<b>35</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>40</b>

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, localizado no sul da Bahia, Brasil. Mapa realizado pelo QGIS (Quantum Geographic Information System). (Créditos: Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar)

**Figura 2:** Tag do tipo CATS Cam. É possível observar o tag preso a um longo cabo, pronto para ser colocado nas costas de uma baleia. Fonte: Kate McPherson, 2023.

**Figura 3:** Exemplo de chamada de filhote presente na segunda gravação (01/09/2024). O eixo Y representa a faixa de frequência (kHz) e o X o tempo (mm:ss). É possível perceber que as chamadas estão em uma faixa de frequência bem mais alta do que a maioria das unidades e que sua modulação não se parece com nenhuma unidade registrada no catálogo. Espectrograma gerado usando janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

**Figura 4:** Unidade “Purr” como exemplo de “som pulsado”, mostrando as divisões das subunidades em um som que, em tempo real, parece contínuo. Espectrograma gerado usando janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

**Figura 5:** Gráfico da representação dos componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2), com a representação das variáveis (setas pretas com as descrições das variáveis). À direita, indicação das unidades catalogadas consideradas na análise com suas respectivas cores, representadas no gráfico (Créditos: Lucas Oliveira)

**Figura 6:** Gráfico da representação das discriminantes lineares 1 (LD1) e 2 (LD2) da regressão simples, com a representação das variáveis (setas pretas com as descrições das variáveis). À direita, indicação das unidades catalogadas consideradas na análise com suas respectivas cores, representadas no gráfico (Créditos: Lucas Oliveira)

**Figura 7:** Catálogo ilustrado das unidades encontradas no canto das baleias jubartes de Abrolhos na temporada de 2024. Para visualizar o catálogo com maior detalhamento, conferir PDF disponível dos materiais suplementares. (Ilustrações: Lorenzo Monteran)

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Parâmetros utilizados para caracterização das unidades.

**Tabela 2:** Duração do tag preso à baleia; Número de divisões de 3 minutos a cada 15 minutos de tempo de canto; Tempo analisado de cada gravação após divisões; Número total de unidades de cada gravação e Número total de unidades diferentes categorizadas em cada gravação. As chamadas dos filhotes não foram consideradas aqui.

**Tabela 3:** Registro das unidades catalogadas, encontradas nas gravações, e suas categorias.

**Tabela 4:** Média de todos os parâmetros acústicos utilizados para mensurar as unidades. As unidades que possuem sons pulsados não entraram na tabela pois não é possível usar os valores de seus parâmetros de frequência e inflexões.

## ABREVIATURAS

**ANOVA** - Análise de Variância de Um Fator

**ANP** - Agência Nacional do Petróleo

**CATS Cam** - Customized Animal Tracking Solutions

**CENPES** - Centro de Pesquisa da Petrobrás

**dB** - Decibéis

**DFA** - Análise de Função Discriminante

**FFT** - Transformada Rápida de Fourier

**Hz** - Hertz

**IBAMA** - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**kHz** - Kilohertz

**LD1** - Discriminante Linear 1

**LD2** - Discriminante Linear 2

**MARESYS** - Projeto “Respostas Individuais dos Mamíferos Marinhos à Sísmica”

**P&D** - Pesquisa e Desenvolvimento

**PCA** - Análise de Componentes Principais

**PC1** - Componente Principal 1

**PC2** - Componente Principal 2

**QGIS** - Quantum Geographic Information System

## RESUMO

As baleias costumam usar a comunicação acústica, entre outras coisas, para fins de reprodução, seja para encontrar parceiros ou competir por eles. Entre as emissões sonoras produzidas pelas baleias, o canto das jubartes é conhecido por sua complexidade. Embora amplamente estudados, os cantos das baleias jubarte carregam muitas dúvidas e dificuldades que limitam nossa compreensão sobre o comportamento acústico desses animais. Este estudo apresenta um catálogo com as unidades emitidas pela população brasileira de jubartes na temporada de 2024 na área de reprodução localizada no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, com uma amostra de cerca de 9 horas de cantos divididos em três gravações realizadas em dias distintos e por indivíduos diferentes. As gravações foram analisadas por espectrogramas, elaborados utilizando o software Raven Pro 1.16.5. Cada unidade de canto encontrada foi avaliada quanto a sua qualidade de registro na gravação e alguns parâmetros acústicos, de frequência, duração e modulação, foram medidos. Ao total foram registradas 1546 unidades com qualidade considerada adequada para estudo, que foram classificadas dentro de 25 categorias de tipos diferentes de unidade, constituindo um catálogo de unidades. As classificações foram confirmadas por testes estatísticos, os quais utilizaram os parâmetros acústicos mensurados, e que ratificaram ser este um catálogo consistente, representativo dos tipos de unidades que compuseram o canto da temporada. A tabela descritiva, contendo todas as informações dos parâmetros acústicos mensurados usados para descrever individualmente cada unidade registrada, também é apresentada. O catálogo e a tabela descritiva fornecidos por este trabalho podem ser usados como base para estudos posteriores, contribuindo para um melhor entendimento da função e da forma de uso dessas vocalizações. Ademais, as informações que podem ser obtidas em futuros trabalhos usando este estudo como base, podem representar mais um passo para a compreensão da complexa comunicação destes animais.

**Palavras-chave:** Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Acústica, Mamíferos Marinhos;

## ABSTRACT

Whales often use acoustic communication for reproductive purposes, whether to find mates or to compete for them. Among the sound emissions produced by whales, humpback songs are known for their complexity. Although widely studied, humpback whale songs carry many doubts and difficulties that limit our understanding of the acoustic behavior of these animals. This study presents a catalog of the units emitted by the Brazilian population of humpback whales in the 2024 season in the breeding area located in the Abrolhos Marine National Park, with a sample of approximately 9 hours of songs divided into three recordings made on distinct days and by different individuals. The recordings were analyzed by spectrograms, prepared using Raven Pro 1.16.5 software. Each song unit found was evaluated for its recording quality and some acoustic parameters were measured, such as frequency, duration, and modulation. A total of 1546 units were recorded with quality considered adequate for that study, which were classified within 25 categories of different types, constituting a catalog of units. The classifications were confirmed by statistical tests using the measured acoustic parameters, which ratified this as a consistent catalog, representative of the types of units that composed the song of the season. The descriptive table, containing all the information of the measured acoustic parameters used to individually describe each recorded unit, is also presented. The catalog and descriptive table provided by this study can be used as a basis for future studies, contributing to a better understanding of the function and uses of these vocalizations. Furthermore, the information that can be obtained in future research using this study as a basis, may represent another step towards understanding the complex communication of these animals.

**Keywords:** Abrolhos Marine National Park; Acoustic; Marine Mammals;

## 1. INTRODUÇÃO

Os animais frequentemente usam de variadas estratégias para se comunicarem tanto inter quanto intra-especificamente, comunicações essas que são utilizadas por diferentes razões em diferentes contextos (HEBETS et al., 2016). Dentre os motivos para se comunicarem, um dos mais importantes está ligado ao seu sucesso reprodutivo. Essa característica foi primeiramente observada por Darwin (1871) em seu livro “The Descent of Man” (DARWIN, 1871), no qual ele percebeu que em diversos animais haviam características visíveis que não se encaixavam na explicação da seleção natural comum para sobrevivência. Neste sentido, Darwin relatou algumas características relacionadas ao dimorfismo sexual, como “o tamanho maior, a força e a combatividade do macho, suas armas de ataque ou meios de defesa contra rivais, sua coloração chamativa e vários ornamentos, seu poder de cantar e outras características semelhantes.” (DARWIN, 1871). Estes foram os atributos citados para exemplificar aqueles que não possuíam propósito de sobrevivência, e a partir deste momento foi cunhado pela primeira vez o termo “seleção sexual”.

No caso dos mamíferos marinhos, os sons desempenham um papel essencial em suas vidas. Todas as espécies de mamíferos marinhos produzem sons, que podem estar associados a diversos comportamentos, como o acasalamento, contato entre mãe e filhotes, interações sociais, coesão de grupo e alimentação (ERBE et al., 2016). Ao relacionarmos este fato às observações de Darwin (1871), é possível perceber que “seu poder de cantar” foi uma característica que já estava relacionada à seleção sexual, e este parece realmente ser o caso para diversas espécies de mamíferos marinhos. As baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*), cetáceos da subordem dos mysticetos, são animais que produzem sons caracteristicamente de média e baixa frequência para se comunicarem. Da mesma forma que outros animais fazem o uso de sinais visuais e/ou químicos para comunicação durante o período de acasalamento, as jubarte parecem usar da estratégia sonora para solucionar este desafio reprodutivo. A repetição sem pausas de seus sons produzidos, sendo entoados apenas pelos machos e ocorrendo durante as temporadas de reprodução, sugere fortemente que seu papel é relativo à seleção sexual (WINN; WINN, 1978).

Já é bem estabelecido que as jubartes se comunicam de diversas formas, podendo utilizar de meios acústicos e não-acústicos. Os sons não-acústicos incluem sons percussivos gerados pelo impacto com a superfície da água, como saltos, batidas com as nadadeiras peitorais e com a cauda. Esses sons são conhecidos como “sons sociais” (DUNLOP et al., 2007) e são geralmente produzidos em áreas de alimentação e áreas de reprodução, tanto

por fêmeas quanto por machos. No entanto, os sinais acústicos mais conhecidos das baleias jubartes são os chamados “cantos”, que apresentam estrutura mais complexa e de maior duração (PAYNE; MCVAY, 1971), produzidos exclusivamente pelos machos da espécie.

Acredita-se que os machos que estão sexualmente maduros produzem os cantos com o intuito de determinar o espaço que possuem disponível, permitir que as fêmeas os encontrem e demonstrar que são machos suficientemente bons para o acasalamento. Já foi descrito inclusive que, para se “destacar” acusticamente de seus concorrentes da mesma população, alguns machos começam a realizar variações individuais em seus cantos, de forma a se distinguirem dos outros machos, estratégia que se provou eficiente (LAMONI et al., 2023).

Esses cantos variam muito em frequência e duração. Há registros de que, em geral, a frequência de seus cantos fica na faixa entre 100 Hz e 4000 Hz (TYARKS et al., 2022), no entanto já foram encontradas emissões sonoras de 30 Hz (PAYNE; PAYNE, 1985) e até 24 kHz (AU et al., 2006). Já quanto à sua duração, um ciclo de um canto costuma durar de 6 a 35 minutos, e esses ciclos podem se repetir continuamente por muitas horas, com relatos de cantos emitidos por até 22 horas (WINN; WINN, 1978).

Os cantos das jubartes foram inicialmente descritos por Payne e McVay (1971), quando publicaram, pela primeira vez, um artigo descrevendo os padrões e as estruturas hierárquicas dos cantos gravados em Bermudas, relacionando-os com o canto dos pássaros. Mais tarde, em 1978, Winn e Winn (1978) também fizeram uma caracterização de cantos usando populações de jubartes presentes nas Índias Ocidentais. Estes descreveram sua hierarquia com abordagens e termos um pouco diferentes das usadas anteriormente por Payne e McVay, mas se referindo às mesmas estruturas.

A estrutura hierárquica de um canto é basicamente a separação das estruturas semelhantes dentro do ciclo de um canto, de forma a organizá-lo. Primeiramente caracterizada por Payne e McVay (1971), foram divididas as partes de um ciclo em: Canto, temas, frases, subfrases, unidades e subunidades. Nessa separação, o som mais curto é chamado de unidade, que pode ser dividido em subunidades quando composto de pulsos que são muito rápidos para serem diferenciados individualmente em velocidade real. Um conjunto de unidades combinadas formam uma frase, que pode ser dividida em subfrases quando há distinção entre padrões diferentes de unidades dentro da mesma. A repetição de frases semelhantes

formam um tema, e por fim, um canto é definido por uma série de temas subsequentes (CHOLEWIAK; SOUSA-LIMA; CERCHIO, 2013).

Quando Winn e Winn, em 1978, caracterizam as canções, chamaram as subfrases de motifs e as unidades de sílabas. Outros autores, ainda, referem-se às unidades como notas. É provável que muitas dessas nomenclaturas tenham se confundido devido à similaridade deste tipo de comunicação sonora com o estudo das vocalizações de aves, que possuem terminologias bem estabelecidas, porém distintas das usadas nos estudos das jubartes. Portanto, é possível notar que houve uma discrepância nas abordagens e nomenclaturas nos primeiros estudos destes sons complexos, mas até os dias atuais os critérios de classificação, medição e descrição destes cantos ainda são muito variados e despadronizados nos trabalhos ao redor do mundo. Além da questão das nomenclaturas, outra questão que divide pesquisadores é a subjetividade para definir o que são algumas divisões hierárquicas dentro do canto, pois ocorre muitas vezes um delineamento inconsistente entre trabalhos, utilizando de critérios amplos e divergentes para discernir as hierarquias de um canto (CHOLEWIAK; SOUSA-LIMA; CERCHIO, 2013). Essa despadronização é um grande empecilho para o estudo acústico desses animais, pois se torna uma dificuldade a mais para realizar comparações sólidas entre trabalhos semelhantes.

Outro grande desafio na caracterização destes sons é o fato de que os cantos de jubarte possuem uma natureza de constante evolução, isto é, elas mudam gradativamente parte de seus cantos ao longo do tempo (CATO, 1991; PAYNE; PAYNE, 1985; WINN; WINN, 1978). Dessa forma, o canto que uma população emite no início de uma temporada pode já não ser mais idêntico ao percebido ao final dela (ARRAUT; VIELLIARD, 2004), e essa mudança continua acontecendo até que em algum momento se torna um canto totalmente novo.

Devido a esta característica efêmera dos cantos de baleias jubarte, não é possível fazer apenas uma descrição definitiva sobre como é este canto para todas as suas populações, visto que em cada lugar e a cada passagem de tempo, os cantos já não são os mesmos ou são completamente distintos uns dos outros. No entanto, já se perceberam padrões que se mantêm constantes, como por exemplo o fato de que os cantos de uma mesma população costumam ser semelhantes na estrutura das frases e dos temas, bem como a ordem em que eles aparecem. Já o número de frases em qualquer tema específico parece ser imprevisível (ARRAUT; VIELLIARD, 2004; PAYNE; PAYNE, 1985).

O estudo dos cantos pode nos fornecer informações inéditas sobre a comunicação desses animais, principalmente por serem um dos mecanismos de seleção sexual utilizados por eles. Destrinchar e entender melhor estes sons complexos, pode nos ajudar a entender diversos aspectos de seus comportamentos e de sua ecologia, podendo ser usados futuramente para outros trabalhos que ajudem em sua conservação. Além disso, ao estudar as mudanças e complexidades do canto das baleias jubarte, podemos obter discernimentos essenciais a respeito da dinâmica do canto que podem nos auxiliar na compreensão da capacidade de aprendizado vocal e social dessa espécie (TYARKS et al., 2022).

No Brasil, as baleias Jubartes ocorrem no período de julho a novembro, proporcionando a oportunidade de estudar seu canto na área de reprodução e amamentação mais importante destes animais no Atlântico Sul Ocidental: o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (MORETE; BISI; ROSSO, 2007). Criado em 1983 pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Parque está sobre a plataforma continental brasileira situada na parte sul do estado da Bahia, nordeste do Brasil. Por muitos anos, acreditou-se que essa era a única área de reprodução e nascimento da baleia jubarte no Oceano Atlântico Sul Ocidental (ARRAUT; VIELLIARD, 2004), mas há evidências de que a população que passa o inverno na costa brasileira aumentou nos últimos anos (FREITAS et al., 2023) e as baleias jubarte agora estão sendo encontradas ao longo de toda a costa do Brasil (MORETE; BISI; ROSSO, 2007).

O objetivo deste trabalho é catalogar e caracterizar as unidades do canto da população de baleias jubarte presente no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos na temporada reprodutiva de 2024. A realização deste tipo de registro pode ser útil para posteriores estudos relacionados aos cantos da população brasileira de jubartes, pois devido à característica de constante evolução e de não-uniformidade destes sons com o passar do tempo, conhecer as unidades que estiveram presentes no canto de 2024 pode servir de base e comparação para os novos cantos que serão emitidos no futuro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

Criar um catálogo ilustrado com as unidades identificadas nos cantos das baleias jubarte gravadas no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Bahia, durante a temporada de 2024.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**2.2.1.** Desenvolver um catálogo com todos os tipos de unidades diferentes que foram encontradas nas gravações, que possua tanto sua representação no espectrograma quanto uma representação ilustrada que possa servir de comparação para o leitor distinguir as unidades entre si e de outros sons que possam estar presentes.

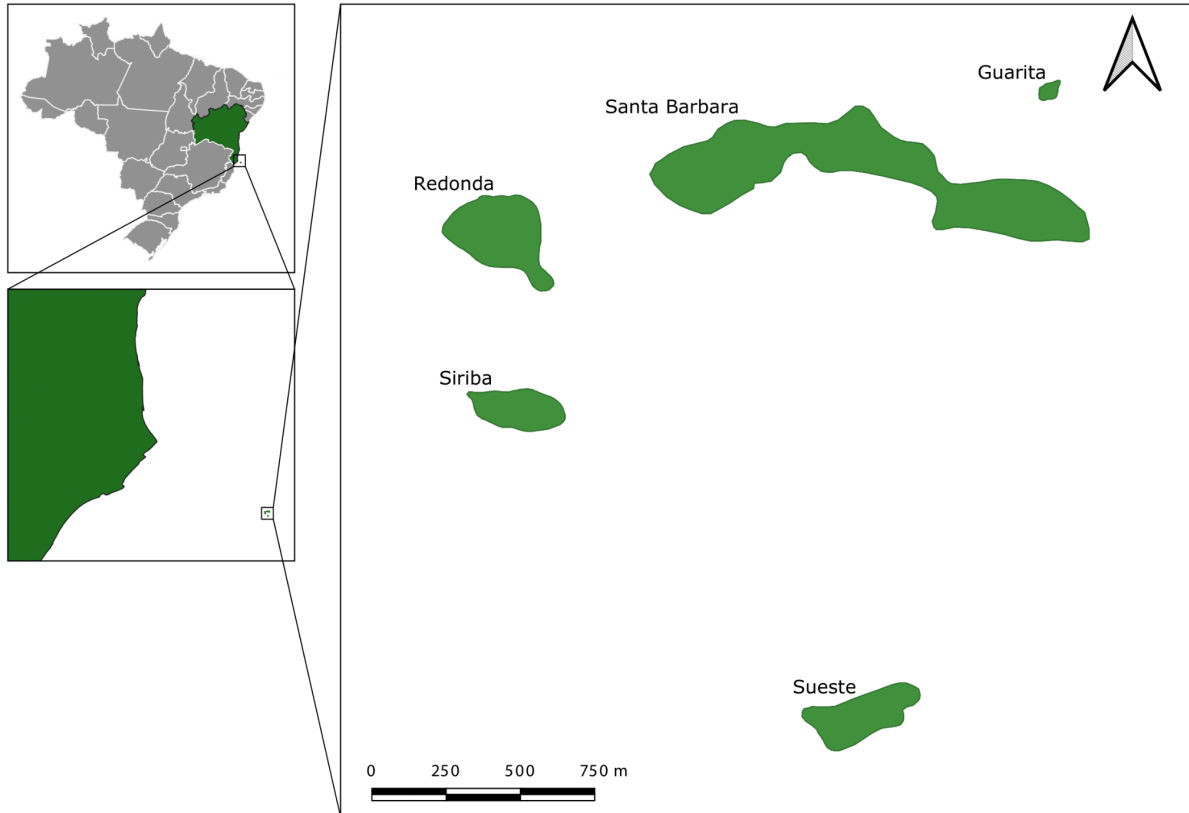
**2.2.2.** Construir e disponibilizar uma tabela descritiva com os parâmetros acústicos das unidades catalogadas, cuja descrição é relevante para a caracterização das unidades.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

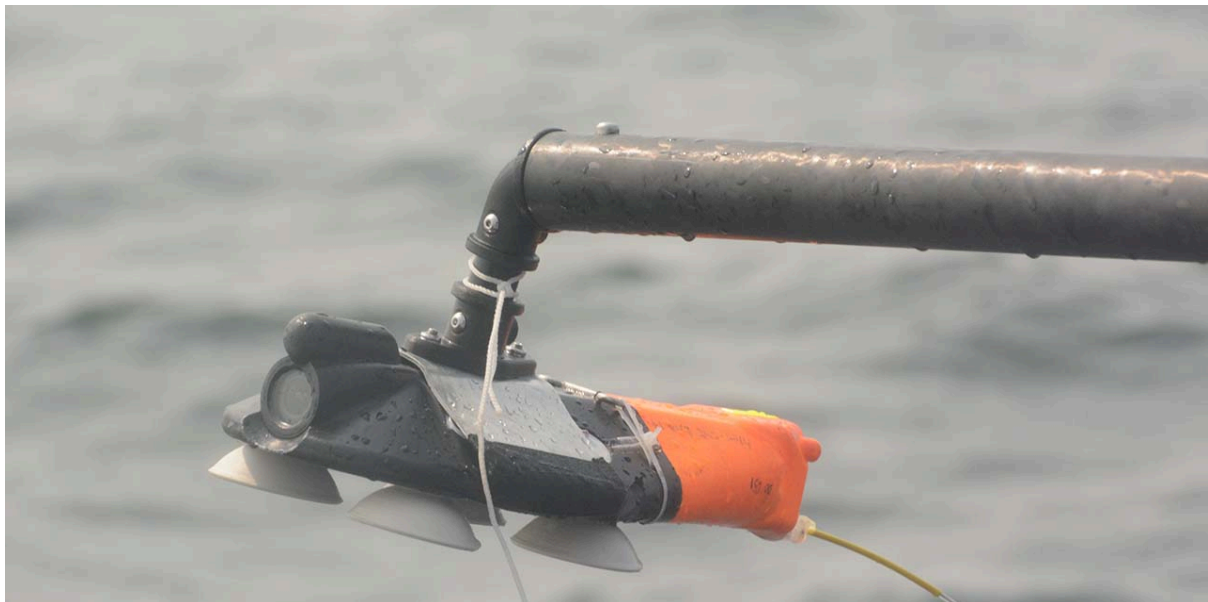
#### **3.1 COLETA DE DADOS**

Os dados utilizados no presente estudo foram cedidos pelo Projeto “Respostas Individuais dos Mamíferos Marinhos à Sísmica” (MARESYS). O MARESYS é um projeto executado pelo Instituto Baleia Jubarte, em parceria com a Socioambiental Consultores Associados e com pesquisadores do Centro de Pesquisa da Petrobrás (CENPES). Esse projeto atende à cláusula de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) dos contratos de exploração e produção de petróleo, sendo um Projeto de P&D I ANP, financiado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e pela Petrobrás.

Os dados foram coletados no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (Figura 1) nos dias 22/08, 23/08 e 01/09 de 2024 através da implantação de um tag do tipo CATS Cam (Customized Animal Tracking Solutions) (Figura 2). O tag é fixado na baleia utilizando uma vara desenvolvida especificamente para este tipo de trabalho, a partir de um bote semi-rígido que se aproxima da baleia se mantendo a uma distância segura. O equipamento é programado para permanecer preso ao animal, por meio de ventosas, por um período determinado. Após este período, o tag se libera, flutua e é resgatado. As gravações acústicas foram realizadas pelos hidrofones HTI-96-min de dois tags, utilizados durante o período de coleta, com uma taxa de amostragem de 24 kHz/16 bits.



**Figura 1:** Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, localizado no sul da Bahia, Brasil. Mapa realizado pelo QGIS (Quantum Geographic Information System). (Créditos: Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar)



**Figura 2:** Tag do tipo CATS Cam. É possível observar o tag preso a um longo cabo, pronto para ser colocado nas costas de uma baleia. Fonte: Kate McPherson, 2023.

## **3.2 AMOSTRAGEM DAS GRAVAÇÕES**

Os tags foram colocados em três indivíduos de baleias jubarte, nos fornecendo três gravações diferentes que foram analisadas individualmente e depois os resultados foram agregados para as análises. Devido ao grande volume de dados contido nas gravações, durante as quais havia uma grande sobreposição de sinais sonoros dos cantos das baleias, e seguindo uma metodologia adaptada daquela utilizada por Tyarks e colaboradores (2022), a triagem dos dados foi feita por amostragem. Para gravações com mais de uma hora de duração, utilizou-se uma amostragem aleatória de 3 minutos a cada 15 minutos de gravação, considerando como gravações de interesse apenas aquelas realizadas durante o período em que o tag estava preso à baleia. Dessa maneira, seria possível avaliar de modo uniforme todo o canto, do início ao fim, coletando um número amostral significativo de unidades, sem que houvesse grande perda ou variações irregulares em relação a quais partes do canto seriam analisadas. As gravações não foram analisadas de forma cronológica. Para determinar a ordem de análise foram consideradas a duração e a qualidade da gravação, sendo esta última relativa a sobreposição de sinais sonoros, que influenciavam na medida dos parâmetros acústicos das unidades identificadas. Deste modo, as gravações foram analisadas na seguinte ordem: primeiro a gravação do dia 23/08, depois a gravação do dia 01/09 e, por fim, a gravação de 22/08.

## **3.3 ANÁLISE DAS UNIDADES**

### **3.3.1. Nomenclatura**

Para contornar as inconsistências de nomenclatura e subjetividades de delimitação frequentes nos estudos, foram usadas as terminologias da estrutura do som e critérios de definição dos níveis hierárquicos sugeridas por Cholewiak e colaboradores (2012), que parecem coerentes e buscam padronizar os estudos dos cantos, tornando-os mais consistentes.

Dessa forma, neste trabalho será utilizado o termo unidade para se referir ao som mais curto e contínuo que é possível de ser avaliado em tempo real (ISAAC; MARLER, 1963). Criada inicialmente por Payne e McVay (1971), essa definição é simples e não possui ambiguidade, permitindo comparações robustas. Além disso, o termo unidade é mais amplamente utilizado na literatura para estudos com jubartes.

### 3.3.2. Métodos de Análise

As análises das gravações foram realizadas através de espectrogramas (representação gráfica do som da frequência pelo tempo) usando o Software Raven Pro 1.16.5 (Cornell Lab of Ornithology) para a visualização das faixas de áudios e identificação das unidades dos cantos gravados. O espectrograma foi configurado com a janela do tipo Hann, tamanhos 1024 e 2048 e sobreposição de 75%.

Para as análises foram selecionadas apenas as unidades que possuíam boa visualização no espectrograma, excluindo aquelas em que haviam sobreposições, ruídos de fundo ou relação sinal-ruído menor que 10 dB (e.g. Tyarks et al., 2022). Usando a ferramenta de seleção do software, as unidades que se adequaram aos padrões de qualidade estabelecidos eram selecionadas, registradas em uma tabela do software e identificadas. Os critérios de identificação principais foram seu contorno (modulação da frequência), a faixa de frequência em que ocorriam, a similaridade auditiva entre os sons, a conferência e a comparação dos parâmetros acústicos utilizados para descrever e caracterizar as unidades entre elas.

Outro critério utilizado para determinar algumas unidades foi a presença ou não de harmônicos. A menor frequência do som é chamada de frequência fundamental, e quando emitida uma unidade, pode ocorrer a ressonância desse som, que gera múltiplos inteiros da frequência fundamental emitida em outras faixas de frequência, estes múltiplos inteiros são chamados de harmônicos (YOST, 2000). No entanto, embora seja um critério que pode variar muito, foi notado um padrão no qual algumas unidades características quase sempre apresentavam um ou mais harmônicos no espectrograma, enquanto para outras não foram registrados. Portanto, essa característica acabou sendo útil muitas vezes para diferenciar unidades que se assemelhavam na visualização do espectrograma e também para a contagem de inflexões quando algum harmônico estava com visualização melhor do que a frequência fundamental. O ideal para o registro das unidades é sempre registrá-las em suas frequências fundamentais, no entanto muitas vezes a frequência fundamental das unidades que regularmente possuíam harmônicos, não estava visível ou com boa qualidade. Por isso, para tornar a análise dos parâmetros consistentes, optou-se por registrar, para algumas unidades, algum dos harmônicos presentes, ao invés de suas frequências fundamentais, atentando-se sempre a registrá-las no mesmo harmônico.

Os parâmetros usados para descrever e medir as unidades foram alguns dos aplicados por Dunlop e colaboradores (2007), que são: Duração (Delta Time), Variação de Frequência (Delta Frequency), Frequência Mínima (Low Freq Hz), Frequência Máxima (High Freq Hz), Range de Frequência (Frequência Máxima/Frequência Mínima), Inflexões (Inversões na inclinação) e Pico de Frequência (Peak Frequency) (Tabela 1). Estes parâmetros foram medidos utilizando as ferramentas do Raven Pro 1.16.5 e, posteriormente, no Excel, já que nem todos eles são obtidos através do software.

Parâmetro	Unidade de Medida	Definição
Duração (Delta Time)	Segundos	Duração de tempo da unidade
Variação de Frequência (Delta Freq)	Hertz ou quilohertz	Frequência máxima menos a frequência mínima
Frequência Mínima (Low Freq)	Hertz ou quilohertz	Menor frequência em que o sinal ocorre
Frequência Máxima (High Freq)	Hertz ou quilohertz	Maior frequência em que o sinal ocorre
Range de Frequência	Hertz ou quilohertz	Razão da frequência máxima pela frequência mínima
Inflexões	Unidades	Mudança de direção do sinal, de ascendente para descendente ou vice-versa.
Pico de Frequência (Peak Freq)	Hertz ou quilohertz	Frequência onde há maior intensidade do sinal

**Tabela 1:** Parâmetros utilizados para caracterização das unidades.

Por fim, para verificar se os tipos de unidades definidas realmente diferem entre si, quais dos parâmetros acústicos medidos melhor respondem à variação entre os tipos de unidades e verificar se a classificação definida para os tipos de unidades é consistente, foram realizados três testes estatísticos. Primeiro foi realizado um teste de Kruskal-Wallis (post-hoc de Dunn e correção de Bonferroni), para conferir se as médias dos parâmetros acústicos diferiam entre as unidades; em seguida, foi realizada uma análise de componentes principais (do inglês, PCA), para encontrar quais dos parâmetros acústicos medidos melhor explicam as variações entre os tipos de unidades; por fim, uma análise de função discriminante (do inglês, DFA) foi realizada para verificar se a classificação dos tipos de unidades definida é consistente. A DFA foi realizada com duas abordagens, a correlação cruzada e a regressão simples. Para a correlação cruzada, um modelo é construído a partir do treinamento que usa parte dos dados. Assim, utilizou-se 80% dos dados para treinar o

modelo e 20% para testá-lo, de modo a avaliar o desempenho do modelo gerado. Todas as análises citadas foram realizadas no software R (R Core Team, 2024) utilizando os scripts desenvolvidos por Lucas Oliveira, pesquisador do Projeto MARESYS.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DAS GRAVAÇÕES

Ao todo, foram analisados 125 minutos de gravação. Dentre as três gravações realizadas, a primeira gravação analisada, coletada em 23/08/24, possuía apenas 14 minutos de canto, de modo que ela foi completamente examinada, com todas as unidades de qualidade ótima selecionadas e medidas. A abordagem de amostragem aleatória foi utilizada na segunda (01/09/2024) e na terceira (22/08/2024) gravações analisadas, que possuíam mais horas totais e sua análise por completo consumiria muito tempo de processamento, além de gerar redundância nos dados, visto que as unidades se repetem ao longo dos cantos. Usando desta metodologia, as horas de canto desses áudios foram fracionadas nos intervalos de 3 minutos a cada 15 e serão melhor descritas individualmente abaixo.

#### 4.1.1. Gravações

##### A) PRIMEIRA GRAVAÇÃO (23/08/2024)

Na primeira gravação, o tag foi colocado em uma fêmea que estava acompanhada de seu filhote. A duração do tag preso à baleia foi de aproximadamente 14 minutos, com registros de cantos de baleias. Para visualização, o espectrograma foi gerado usando a janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 16.8 Hz.

Essa gravação possuía muito ruído e sobreposições de sinais, tornando difícil selecionar uma grande quantidade de unidades em qualidade ótima, portanto foram ignoradas aquelas que pareciam incertas demais para catalogar e foram selecionadas as que possuíam uma visualização mais forte (maiores valores em dB) e limpa.

Após a análise de seus 14 minutos, foram feitas ao todo 76 seleções, distribuídas entre 5 categorias de unidades diferentes (Tabela 3).

## **B) SEGUNDA GRAVAÇÃO (01/09/2024)**

Já na segunda gravação, o tag foi colocado em um macho que acompanhava uma fêmea com filhote, o qual é denominado “Escorte”. O tempo em que o tag ficou preso à baleia foi de 3 horas, com registro de cantos. Usando a amostragem já previamente explicada, as 3 horas de canto dessa gravação foram amostradas em 13 segmentos de 3 minutos cada, totalizando 39 minutos analisados, sendo eles nos seguintes tempos da gravação:

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. 29:00 - 32:00 (+15)     | 7. 1:59:00 - 2:02:00 (+15)  |
| 2. 44:00 - 47:00 (+15)     | 8. 2:14:00 - 2:17:00 (+15)  |
| 3. 59:00 - 1:02:00 (+15)   | 9. 2:29:00 - 2:32:00 (+15)  |
| 4. 1:14:00 - 1:17:00 (+15) | 10. 2:44:00 - 2:47:00 (+15) |
| 5. 1:29:00 - 1:32:00 (+15) | 11. 2:59:00 - 3:02:00 (+15) |
| 6. 1:44:00 - 1:47:00 (+15) | 12. 3:14:00 - 3:17:00 (+15) |
|                            | 13. 3:29:00 - 3:32:00       |

Para visualização, o espectrograma foi gerado usando a janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

Foi a gravação de melhor qualidade entre as três, com menos ruído e sobreposição, possuindo várias unidades bem marcadas e definidas que representam de forma mais nítida o contorno dos tipos de unidade encontrados e suas frequências fundamentais. Foi a gravação que mais ajudou a definir e catalogar as unidades mais frequentes que foram encontradas e serviu muitas vezes como base para entender como eram as unidades encontradas também nas outras gravações.

Nesta análise, foram selecionadas 353 unidades e 36 chamadas de filhotes, somando 389 seleções totais com a qualidade de acordo com os critérios definidos, distribuídas entre 13 categorias de unidades diferentes (Tabela 3).

### **C) TERCEIRA GRAVAÇÃO (22/08/2024)**

Por fim, na terceira gravação, o tag foi colocado em um indivíduo solitário que não foi possível identificar se era macho ou fêmea. Nesta, o tag ficou preso à baleia por cerca de 5 horas e 48 minutos, com registros de cantos. Usando a amostragem explicada, as 5 horas e 48 minutos de canto dessa gravação foram amostradas em 24 segmentos de 3 minutos cada, totalizando 72 minutos amostrados, sendo eles nos seguintes trechos da gravação:

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>1.</b> 1:01:30 - 1:04:30 (+15)  | <b>13.</b> 4:01:30 - 4:04:30 (+15) |
| <b>2.</b> 1:16:30 - 1:19:30 (+15)  | <b>14.</b> 4:16:30 - 4:19:30 (+15) |
| <b>3.</b> 1:31:30 - 1:34:30 (+15)  | <b>15.</b> 4:31:30 - 4:34:30 (+15) |
| <b>4.</b> 1:46:30 - 1:49:30 (+15)  | <b>16.</b> 4:46:30 - 4:49:30 (+15) |
| <b>5.</b> 2:01:30 - 2:04:30 (+15)  | <b>17.</b> 5:01:30 - 5:04:30 (+15) |
| <b>6.</b> 2:16:30 - 2:19:30 (+15)  | <b>18.</b> 5:16:30 - 5:19:30 (+15) |
| <b>7.</b> 2:31:30 - 2:34:30 (+15)  | <b>19.</b> 5:31:30 - 5:34:30 (+15) |
| <b>8.</b> 2:46:30 - 2:49:30 (+15)  | <b>20.</b> 5:46:30 - 5:49:30 (+15) |
| <b>9.</b> 3:01:30 - 3:04:30 (+15)  | <b>21.</b> 6:01:30 - 6:04:30 (+15) |
| <b>10.</b> 3:16:30 - 3:19:30 (+15) | <b>22.</b> 6:16:30 - 6:19:30 (+15) |
| <b>11.</b> 3:31:30 - 3:34:30 (+15) | <b>23.</b> 6:31:30 - 6:34:30 (+15) |
| <b>12.</b> 3:46:30 - 3:49:30 (+15) | <b>24.</b> 6:46:30 - 6:49:30       |

Para visualização, o espectrograma foi gerado usando a janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

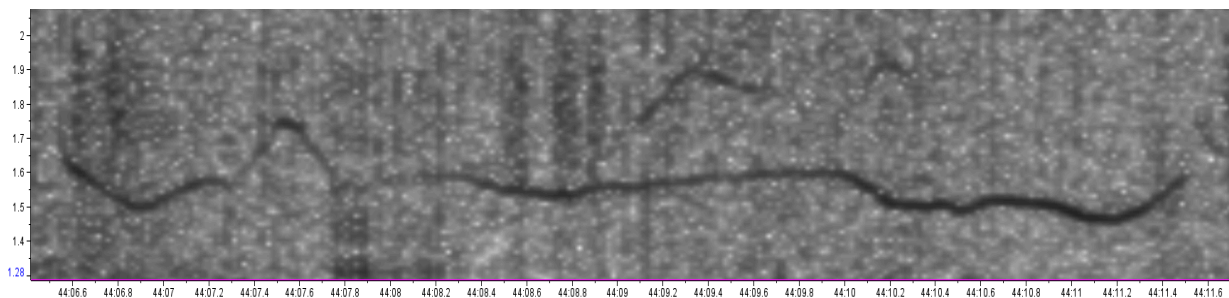
Essa gravação possuía muitos ruídos e sobreposição. Foi difícil determinar qual o tamanho para a transformada rápida de Fourier (FFT) usar para gerar o espectrograma, pois usando o tamanho de 2048 para a FFT algumas unidades ficavam mais visíveis, porém outras quase desapareceriam. Por esse motivo, decidiu-se usar um tamanho de 1024 para a FFT, que era um meio termo onde todas eram nitidamente visíveis.

Nesta análise foram selecionadas 1117 unidades ótimas e 48 chamadas de filhotes, distribuídas entre 24 categorias de unidades diferentes (Tabela 3).

### 4.1.2. Filhotes

Uma categoria que foi marcada algumas vezes foi denominada de “filhote”, referente às chamadas de filhotes (RATSIMBAZAFINDRANAHAKA et al., 2024) (Figura 3). De início, foram selecionadas todas as emissões sonoras que eram chamadas de filhote, no entanto durante as análises, foi observado que as chamadas emitidas pelos filhotes não possuem um padrão definido, como os cantos dos machos adultos, sendo apenas sons sociais de interação mãe-filhote (SALOMA et al., 2022), por isso, não podemos denominá-las de unidades. Considerando este motivo, as chamadas dos filhotes só foram registradas por um período das análises, sendo abandonadas posteriormente devido às diferenças e impossibilidade de comparação com as unidades de canto, bem como a categoria “filhote”, criada inicialmente, não foi considerada como uma das categorias de unidades do catálogo e nem nas demais análises realizadas.

Na primeira gravação não houveram registros de filhote. Já na segunda, foram identificadas 36 chamadas, enquanto na terceira gravação foram selecionadas 48 chamadas. Essas chamadas não estarão presentes no catálogo final, na tabela descritiva ou nas análises estatísticas, pois não representam unidades de um canto. No entanto, foi considerado importante o registro da ocorrência das chamadas dos filhotes nas gravações e por isto elas estão sendo apresentadas nos resultados do trabalho.



**Figura 3:** Exemplo de chamada de filhote presente na segunda gravação (01/09/2024). O eixo Y representa a faixa de frequência (kHz) e o X o tempo (mm:ss). É possível perceber que as chamadas estão em uma faixa de frequência bem mais alta do que a maioria das unidades e que sua modulação não se parece com nenhuma unidade registrada no catálogo. Espectrograma gerado usando janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

## 4.2 REGISTRO DAS UNIDADES

Na análise das três gravações, foram selecionadas um total de 1546 unidades, em 25 categorias diferentes (Tabela 2). As categorias foram definidas com nomes que facilitassem a sua identificação à medida em que as unidades iam sendo selecionadas, geralmente relacionando ao som percebido ou ao seu contorno no espectrograma (Tabela 3). Este tipo de identificação é muito comum em estudos de cantos de jubarte quando se refere a unidades (AU et al., 2006; DUNLOP et al., 2007; MERCADO; PERAZIO, 2022).

Gravação	Duração do Tag	Nº de Divisões	Tempo analisado	Nº de Unidades	Nº de Categorias
Primeira (23/08/2024)	14min	-	14min	76	5
Segunda (01/09/2024)	3h	13	39min	353	14
Terceira (22/08/2024)	5h 48min	24	72min	1117	24
<b>Total</b>	<b>09h 02min</b>	<b>37</b>	<b>125min</b>	<b>1546</b>	<b>25</b>

**Tabela 2:** Duração do tag preso à baleia; Número de divisões de 3 minutos a cada 15 minutos de tempo de canto; Tempo analisado de cada gravação após divisões; Número total de unidades de cada gravação e Número total de unidades diferentes categorizadas em cada gravação. As chamadas dos filhotes não foram consideradas aqui.

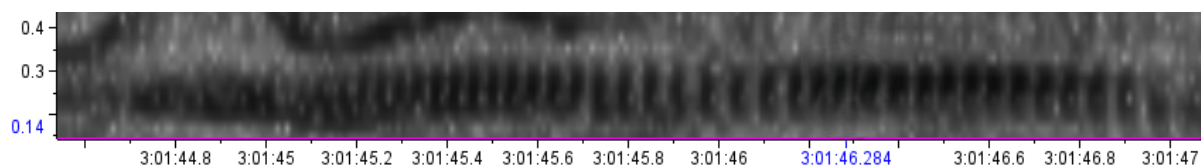
	Gravação 23/08/2024	Gravação 01/09/2024	Gravação 22/08/2024	Total
Angry Moan	-	12	16	<b>28</b>
Angry Pulse	-	-	25	<b>25</b>
Ascend	-	5	2	<b>7</b>
Cow	-	9	21	<b>30</b>
Low Line	-	-	3	<b>3</b>
Mid Line	-	-	14	<b>14</b>
Piu	-	22	16	<b>38</b>
Pré-Piu	-	9	38	<b>47</b>
Pós-Piu	-	21	57	<b>78</b>
Pulse1	-	-	2	<b>2</b>
Pulse2	-	-	2	<b>2</b>
Pulse3	-	-	2	<b>2</b>
Purr	-	20	139	<b>159</b>
Scream	-	9	40	<b>49</b>
Sad Moan	34	68	124	<b>226</b>
Slide	3	-	-	<b>3</b>
Small	-	22	82	<b>104</b>
Thick Line	-	-	10	<b>10</b>
Uiu	-	-	5	<b>5</b>
Viking Boat	4	7	35	<b>46</b>
Waves	9	45	137	<b>191</b>
Woo	26	104	312	<b>442</b>
Wow1	-	-	12	<b>12</b>
Wow2	-	-	12	<b>12</b>
Wow3	-	-	11	<b>11</b>
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>353</b>	<b>1117</b>	<b>1546</b>

**Tabela 3:** Registro das unidades catalogadas, encontradas nas gravações, e suas categorias.

### 4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Dentre as unidades identificadas, as unidades “Angry Moan”, “Angry Pulse”, “Pulse1”, “Pulse2”, “Pulse3”, “Purr”, “Wow1”, “Wow2” e “Wow3” não entraram nas análises estatísticas, pois apesar de se enquadrarem nos padrões de qualidade pré-estabelecidos para serem consideradas na seleção das unidades, possuem a característica de serem “sons pulsados”, não sendo possível portanto medir alguns parâmetros utilizados nas análises, como os valores de frequências e inflexões. No entanto, elas entrarão normalmente no catálogo de unidades.

As unidades com “sons pulsados” para as jubartes são aquelas que podem ser divididas em “subunidades”. Originalmente definidas por Payne e McVay (1971), as subunidades são componentes do som que, em tempo real, são auditivamente indistinguíveis como partes separadas, aparentando ser uma coisa só. Mas quando analisadas no espectrograma ou reproduzidas em uma taxa mais lenta de tempo, esses sons aparentemente contínuos podem ser mostrados como compostos de uma série de pulsos discretos, ou subunidades. (Figura 4)



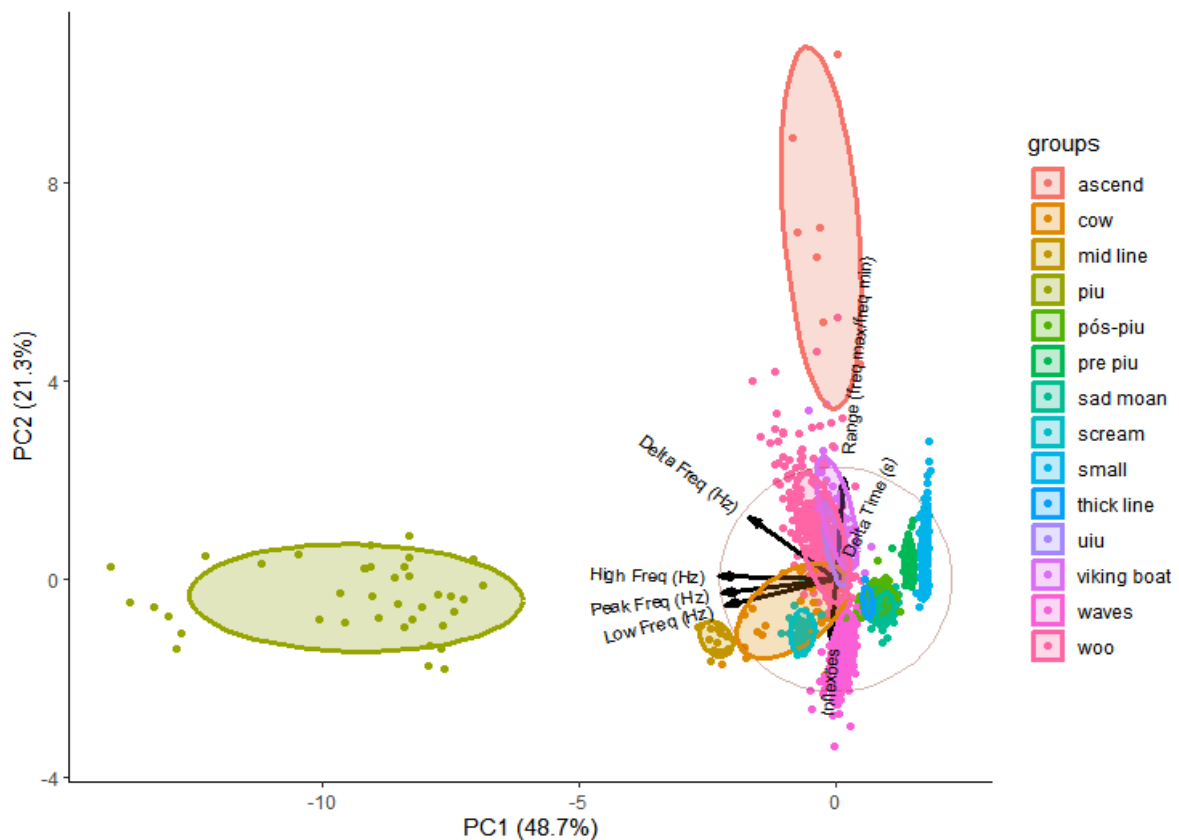
**Figura 4:** Unidade “Purr” como exemplo de “som pulsado”, mostrando as divisões das subunidades em um som que, em tempo real, parece contínuo. Espectrograma gerado usando janela do tipo Hann, tamanho 1024 (FFT), sobreposição de 75% e resolução de 33.6 Hz.

#### 4.3.1. Teste de Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis indicou que todas as variáveis utilizadas na análise apresentaram diferenças significativas entre alguns dos pares de unidades catalogadas. O teste post-hoc de Dunn mostrou que os parâmetros para os quais mais pares de unidades diferiram entre si foram Frequência Máxima (High Freq) e Frequência Mínima, ambos com 67 pares de unidades significativamente diferentes, enquanto o parâmetro com menos pares de unidades diferentes foi a Variação de Tempo (Delta Time), com 36 pares de unidades diferindo significativamente. Para esta análise e as demais que seguem abaixo, foram excluídas as unidades “low line” e “slide”, por contarem com 3 ou menos repetições ao longo de todas as gravações.

### 4.3.2. Análise de Componentes Principais (PCA)

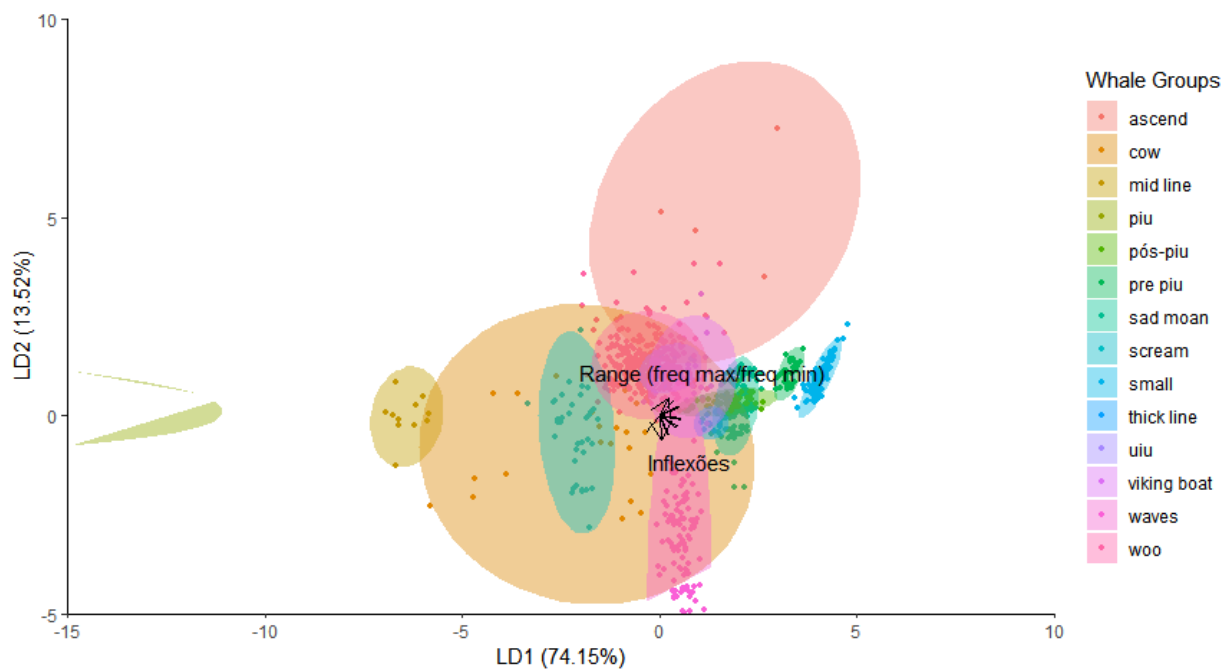
Os tipos de unidades definidas na catalogação tiveram cerca de 70% de suas diferenças explicadas pelas variáveis mensuradas. As variáveis que mais contribuíram para o Componente Principal 1 (PC1) foram a Frequência máxima (High Freq), Pico de frequência (Peak Freq) e Frequência mínima (Low Freq), respectivamente, respondendo a cerca de 49% da variação entre as categorias das unidades. Já o Componente Principal 2 (PC2) foi associado às variáveis Range de frequência, Variação de Frequência (Delta Freq) e Inflexões, respondendo a aproximadamente 21% da variação (Figura 5).



**Figura 5:** Gráfico da representação dos componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2), com a representação das variáveis (setas pretas com as descrições das variáveis). À direita, indicação das unidades catalogadas consideradas na análise com suas respectivas cores, representadas no gráfico (Créditos: Lucas Oliveira)

### 4.3.3. Análise de Função Discriminante (DFA)

A DFA confirmou a consistência das categorias definidas para as unidades. O modelo construído, na abordagem usando correlação cruzada, foi treinado com 1026 do total de unidades e testado com as 258 unidades restantes. A acurácia de classificação apresentada pelo modelo com os dados de teste foi de 82%. A unidade que apresentou maior probabilidade de classificação correta em uma observação randômica foi a unidade “woo”, seguida da “sad moan” e “waves”, respectivamente. O desempenho do modelo se mostrou relacionado principalmente com as variáveis pico de frequência e frequência máxima, na discriminante linear 1, e inflexões, na discriminante linear 2. Para a abordagem da regressão simples, o modelo apresentou uma acurácia de 87,7%, com as variáveis inflexões e pico de frequência mais relacionadas a discriminante linear 1 (LD1), explicando 74% da classificação proposta, e as variáveis frequência mínima e inflexões respondendo melhor à discriminante linear 2 (LD2), que explicou cerca de 14% da classificação das unidades (Figura 6).



**Figura 6:** Gráfico da representação das discriminantes lineares 1 (LD1) e 2 (LD2) da regressão simples, com a representação das variáveis (setas pretas com as descrições das variáveis). À direita, indicação das unidades catalogadas consideradas na análise com suas respectivas cores, representadas no gráfico (Créditos: Lucas Oliveira)

#### **4.4 CATÁLOGO DAS UNIDADES**

O catálogo foi elaborado a partir da seleção das unidades de cada tipo com a melhor representação visual no espectrograma. Para facilitar a compreensão e visualização da modulação de frequência de cada unidade, foi gerado também uma ilustração do sinal acústico (Figura 7).

**Angry Moan**

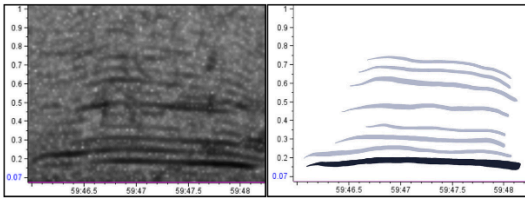


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Angry Pulse**

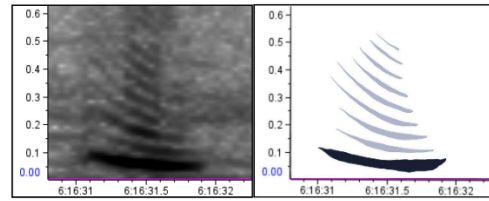


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Ascend**

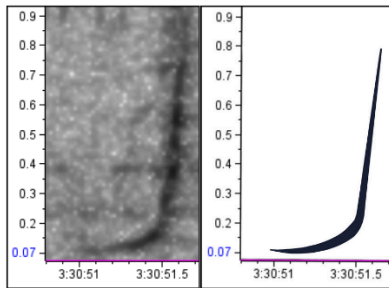


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Thick Line**

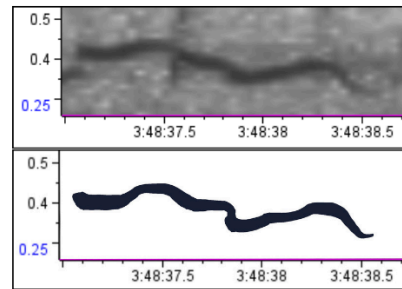


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Scream**

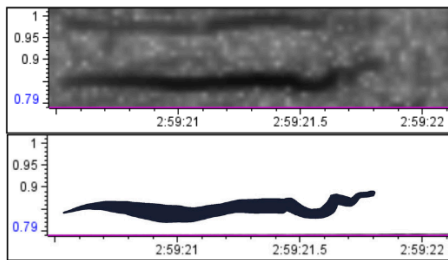


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Low Line**

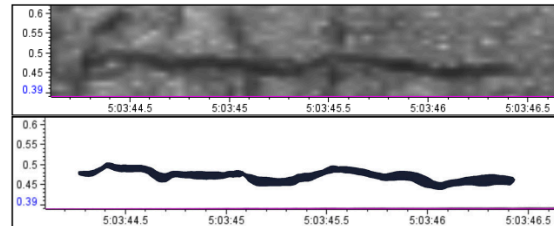


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Mid Line**

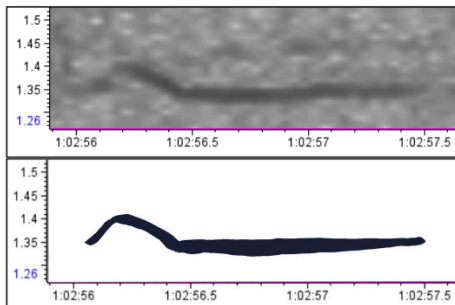


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Piu**

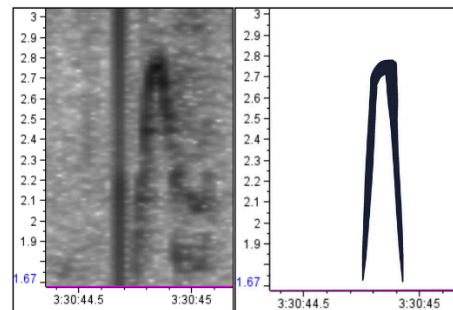


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

### Viking Boat

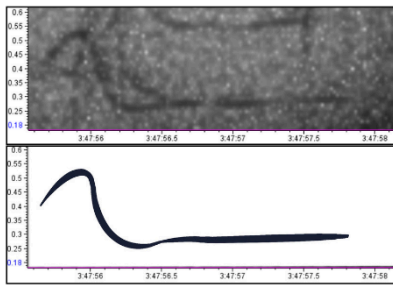


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Wow3

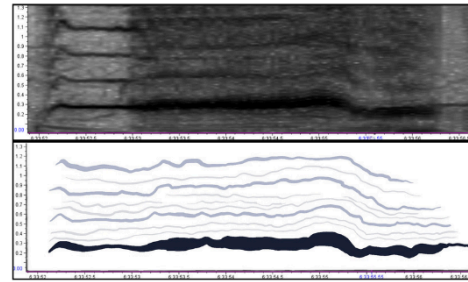


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Waves

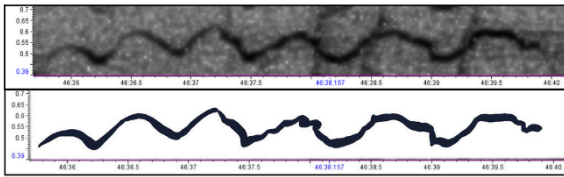


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

### Pulse1

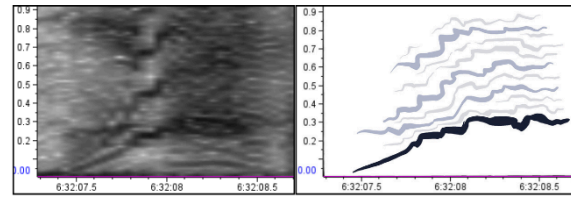


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Wow1

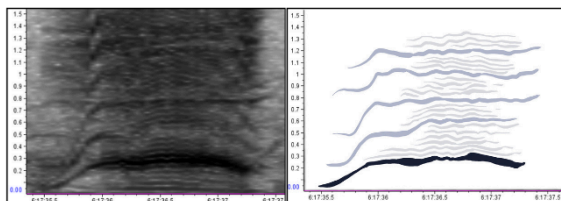


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Pulse2

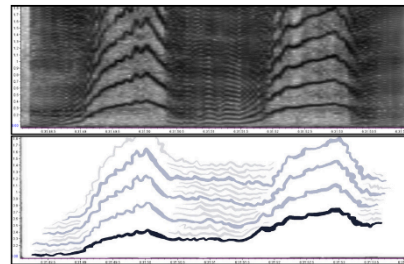


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Wow2

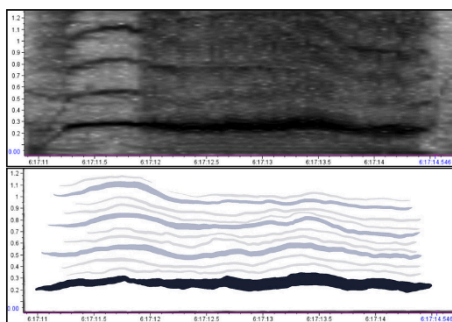


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

### Pulse3

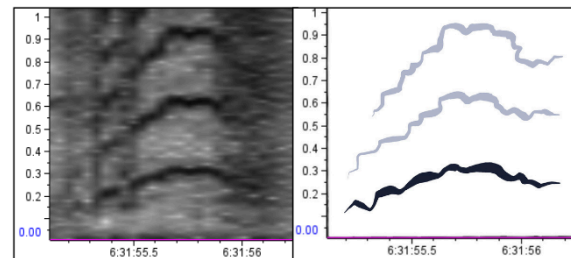


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Pré-Piu**

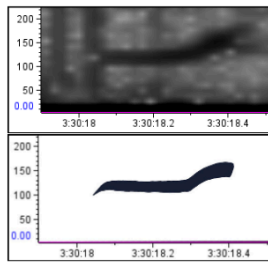


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Pós-Piu**

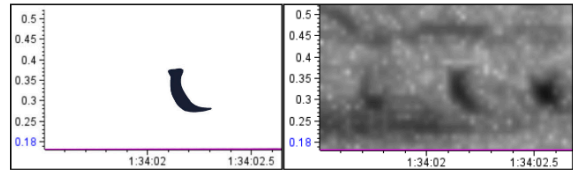


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Woo**

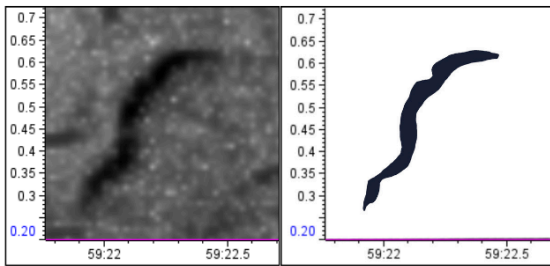


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Small**

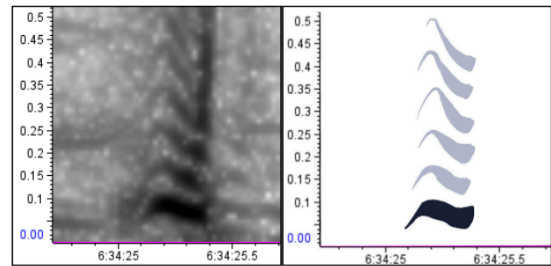


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Purr**

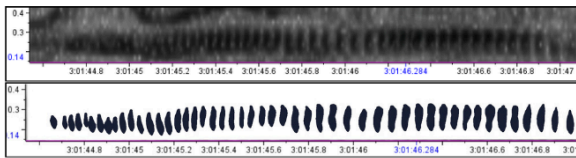


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

**Sad Moan**

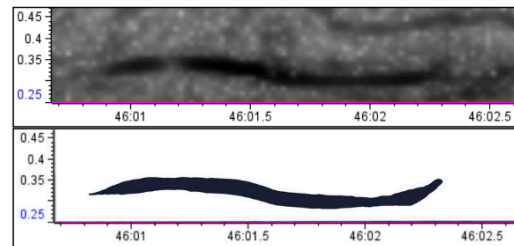


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Uiu**

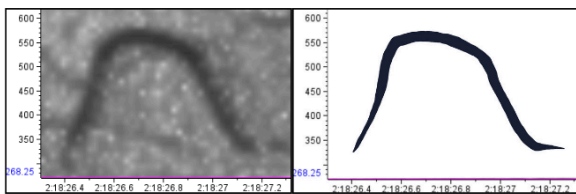


Imagem de espectrograma retirada da terceira gravação (22/08/2024)

**Cow**

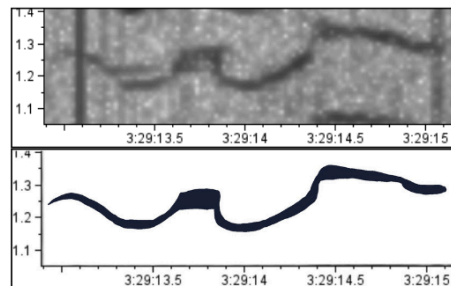


Imagem de espectrograma retirada da segunda gravação (01/09/2024)

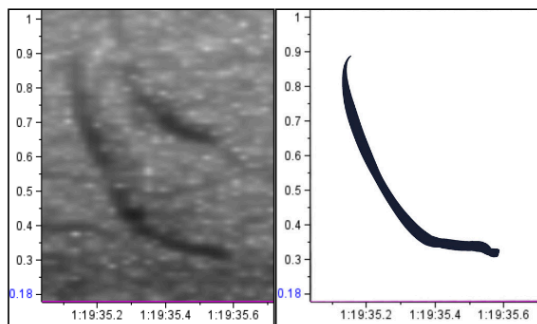
**Slide**

Imagem de espectrograma retirada da primeira gravação (23/08/2024)

**Figura 7:** Catálogo ilustrado das unidades encontradas no canto das baleias jubartes de Arolhos na temporada de 2024. Para visualizar o catálogo com maior detalhamento, conferir PDF disponível dos materiais suplementares. (Ilustrações: Lorenzo Monteran)

## 4.5 TABELA DE PARÂMETROS

Após a seleção de todas as unidades, foi elaborada uma planilha que contém todos os parâmetros acústicos mensurados de todas as unidades encontradas. Esta planilha está disponível no material suplementar deste trabalho e as médias dos valores dos parâmetros para cada tipo de unidade pode ser visto na tabela abaixo (Tabela 4).

	Low Freq (Hz)	High Freq (Hz)	$\Delta$ Time (s)	$\Delta$ Freq (Hz)	Range (Hz)	Peak Freq (Hz)	Inflexões
<b>Ascend</b>	83.646	804.127	5.78	720.481	9,98	514.014	1
<b>Cow</b>	646.958	916.788	4.26	269.830	1,51	778.809	2,6
<b>Low Line</b>	419.293	512.598	1.97	93.305	1,22	459.497	3
<b>Mid Line</b>	1.251.081	1.398.473	3.36	147.392	1,11	1.300.054	0,2
<b>Piu</b>	2.613.302	3.558.463	1.75	945.160	1,37	3.141.263	1
<b>Pré-Piu</b>	92.463	213.698	4.43	121.234	2,35	157.088	0
<b>Pós-Piu</b>	256.456	387.880	1.50	131.424	1,55	314.519	0
<b>Scream</b>	742.160	858.714	3.68	116.554	1,15	791.524	1,1
<b>Sad Moan</b>	253.145	346.532	3.15	93.387	1,37	302.236	0,24
<b>Slide</b>	289.350	739.066	5.74	449.716	2,59	362.146	0,33
<b>Small</b>	44.959	116.518	2.39	75.470	2,89	75.260	0
<b>Thick Line</b>	280.506	439.327	1.34	158.821	1,58	385.510	1,1
<b>Uiu</b>	298.463	670.044	7.84	371.581	2,28	467.285	1
<b>Viking Boat</b>	229.628	689.452	2.22	459.825	3,06	315.925	1
<b>Waves</b>	409.585	593.547	2.98	183.963	1,46	490.894	7,9
<b>Woo</b>	328.915	744.274	3.75	415.359	2,38	502.278	0,23

**Tabela 4:** Média de todos os parâmetros acústicos utilizados para mensurar as unidades. As unidades que possuem sons pulsados não entraram na tabela pois não é possível usar os valores de seus parâmetros de frequência e inflexões.

## 5. DISCUSSÃO

Ao analisarmos os cantos da população brasileira de jubartes em 2024, foi possível identificar e descrever os parâmetros acústicos das unidades do canto presentes nas gravações, possibilitando a criação de um catálogo que represente quais desses sons foram emitidos no Brasil nesta temporada. O canto da população brasileira de jubartes no ano de 2024 foi composto por ao menos 25 tipos de unidades diferentes, identificadas a partir de 1546 unidades de qualidade ideal para as medições registradas. Este número é consistente com o encontrado por Arraut e Vielliard (2004), que encontraram 24 tipos de unidades no canto da população brasileira no ano de 2000. Devido à densidade de canto nos registros, as gravações disponíveis para esse estudo possuíam diversas sobreposições sonoras e ruídos. Por este motivo, não foi possível identificar outros níveis hierárquicos mais complexos, como temas, frases ou subfrases, apesar de que por diversas vezes durante as análises das gravações, alguns padrões de repetição das unidades puderam ser percebidos. A consistência da classificação definida para os tipos de unidades encontradas foi confirmada pelos testes estatísticos realizados.

### VARIAÇÕES INDIVIDUAIS DAS UNIDADES

As unidades são o nível mais basal dentro da hierarquia do canto de jubarte. Por isso, usualmente os estudos para esses sons costumam dar enfoque a níveis hierárquicos superiores, como as frases ou temas, que possuem maiores variações tanto dentro de uma mesma população quanto quando comparado com outras populações e intervalos de tempo. Após 19 anos estudando as alterações do canto, Payne e Payne (1985) concluíram que os cantos em uma população são similares quanto a estrutura dos temas e frases e a sequência em que aparecem, mas que o número de frases emitidas em um tema é imprevisível. Isso demonstrou que provavelmente estudar os temas e frases trará resultados mais sólidos quando medidas as variações em níveis hierárquicos nos cantos de jubartes. Apesar disso, por serem o som mais basal do canto, torna-se necessário que as unidades de um canto estejam muito bem estabelecidas para que os níveis hierárquicos acima possam ser estudados e comparados. Embora não seja o nível hierárquico mais abordado nos estudos comparativos, a identificação, descrição e registro desses curtos sons pode nos trazer informações importantes sobre o funcionamento e dinâmica dos cantos e possivelmente sobre aspectos comportamentais e ecológicos destes animais. Já foi observado anteriormente que as unidades possuem uma característica de mudança progressiva, de modo que alguns tipos de unidade parecem emergir de modificações de

outras (ARRAUT; VIELLIARD, 2004; CATO, 1991; WINN; WINN, 1978). Por isso, o registro de como são as unidades em determinado lugar e tempo, pode tornar-se uma referência ao estudar esse aspecto de transformação e transição das unidades em outras diferentes, ajudando no entendimento dos pesquisadores sobre estes sons complexos.

Outro fator que corrobora para a importância do estudo das unidades do canto está ligado ao seu aspecto comportamental e reprodutivo. Lamoni e Garland (2023) indagaram que, apesar do aspecto “conformista” no qual todos os machos de uma população cantam o mesmo canto, para que ocorra a seleção sexual é necessário que haja uma distinção individual entre eles. A dificuldade deste tipo de estudo está justamente relacionada aos múltiplos níveis hierárquicos em que essa variação pode ocorrer, e talvez as unidades sejam um nível que ajude a compreender essas variações. Hafner e colaboradores (1979) mediram seis parâmetros acústicos de um único tipo de unidade de uma amostra de seis indivíduos registrados no Caribe e sugeriram que as unidades poderiam ser usadas para distinguir indivíduos. Já Frankel e colaboradores (1996) encontraram diferenças interindividuais significativas entre seis tipos de unidades de onze indivíduos no Havaí.

Esse aspecto de encontrar os mesmos tipos de unidade possuindo diferenças entre elas, foi inclusive uma das dificuldades na triagem dos dados. Muitas unidades pareciam semelhantes, tanto acusticamente, quanto em modulação, mas não eram idênticas, tornando difícil a sua classificação. Essa dificuldade pode ser explicada pelas diferenças interindividuais já relatadas, incluindo aspectos anatômicos, porém, já foi observado que essas variações não ocorrem apenas entre indivíduos, como também podem acontecer dentro de um mesmo ciclo de cantos de um mesmo indivíduo. O trabalho de Mercado e Perazio (2021), descreve que os machos são capazes de variar a forma como cantam suas unidades, e que essas variações, não só na intensidade (dB), mas também em frequência (Hz), podem determinar o quão detectáveis são esses sons em longas distâncias (FRAZER; MERCADO, 2000; MERCADO et al., 2007; MERCADO; FRAZER, 1999).

Após o fim do registro de todas as unidades deste trabalho, haviam mais unidades registradas e categorias criadas do que as aqui apresentadas nos resultados, mas após uma revisão do catálogo inicial, diversas categorias que estavam inconsistentes foram excluídas e outras foram agrupadas em uma só. Isso ocorreu justamente pelo fato de que unidades do mesmo tipo por diversas vezes possuíam variações individuais, tornando difícil avaliar quais diferenças tornavam unidades semelhantes, parte da mesma categoria, ou se seriam de categorias distintas. O maior exemplo disso para este trabalho foi a unidade “Woo”, que foi a unidade com a maior quantidade de registros nas gravações e foi

trabalhoso definir se todas as unidades faziam parte da mesma categoria ou se seriam pelo menos duas diferentes. A conclusão disso é que os machos cantores estão constantemente transformando suas unidades, seja pelo fator de distinção para seleção sexual (LAMONI et al., 2023) ou para que seus sons sejam melhor detectáveis a longas distâncias (MERCADO; PERAZIO, 2022). Mas é fato que uma categoria de unidade não representa um padrão fixo e imutável, mas sim vocalizações que estão em contínua transformação e que progridem ao longo do tempo. Por esse motivo, é provável que outros trabalhos que também forem usar as unidades como foco de estudo igualmente podem apresentar essa dificuldade de agrupar unidades que parecem semelhantes, mas que variam, em modulação e/ou acusticamente, tanto entre indivíduos diferentes de uma mesma população, quanto intra-individualmente no mesmo ciclo de canto. Contudo, apesar da mudança constante das unidades e de certa subjetividade na classificação das mesmas, os testes estatísticos indicam que a classificação em tipos de unidades é consistente.

## **CONSISTÊNCIA DO CATÁLOGO**

Inicialmente seria usada para este trabalho uma “análise de variância de um fator” (do inglês, ANOVA) em todos os parâmetros de medição para comparar se havia diferenças significativas entre as categorias registradas. No entanto, não foi possível realizar este teste pois nossos dados não possuíam uma distribuição normal, que é pré-requisito para a ANOVA. Por esse motivo, realizamos o teste de Kruskal-Wallis, seguido de um teste post-hoc de Dunn, que traria resultados satisfatórios semelhantes aos que a ANOVA traria para esse trabalho. Inclusive, nosso resultado de parâmetros que apresentaram diferenças significativas entre um maior número de pares de unidades, que foram a frequência máxima e a frequência mínima, estão de acordo com o resultado encontrado por Dunlop e colaboradores (2007) com a ANOVA, que apontou a frequência máxima como parâmetro mais variável entre as unidades. Foi importante realizarmos esses testes como uma análise exploratória antes da PCA e da DFA, para que houvesse confirmação de que as categorias de unidades registradas ao longo da análise das gravações eram mais diferentes entre si do que as unidades dentro de uma mesma categoria. Para isso, o teste usou a média dos parâmetros acústicos medidos e comparou um a um todos os pares de unidades possíveis dentro destes parâmetros, confirmando que as categorias que foram escolhidas eram suficientemente diferentes umas das outras para serem usadas como modelo em outros testes e garantindo que não houvessem subjetividades que atrapalhasse significativamente as outras análises estatísticas.

Quanto aos resultados da PCA, foi observado que os parâmetros escolhidos para medição das unidades explicaram cerca de 70% das variações entre os grupos, confirmando-os como parâmetros consistentes para este tipo de trabalho. Ao observar os parâmetros que mais se destacaram, uma similaridade interessante ocorreu entre os resultados deste trabalho e os obtidos por Dunlop e colaboradores (2007), que também realizaram esse teste. Os autores perceberam que o Componente Principal 1 (PC1) estava mais relacionado a características da frequência do sinal, enquanto o Componente Principal 2 (PC2) refletia características de modulação da frequência. O mesmo ocorreu no resultado de nossa PCA, no qual o PC1 estava relacionado principalmente à Frequência máxima (High Freq), Frequência mínima (Low Freq) e Pico de frequência (Peak Freq), parâmetros relacionados a características da frequência, enquanto o PC2 estava relacionado principalmente ao Range de frequência, Variação de Frequência (Delta Freq) e Inflexões, parâmetros relacionados à modulação da frequência. O único parâmetro utilizado que não explicou satisfatoriamente a variação dos grupos foi a Variação de Tempo (Delta Time). Visto esses resultados, este trabalho está de acordo com a afirmação de Dunlop e colaboradores (2007) de que “características da frequência fundamental e características da modulação da frequência provavelmente desempenham um papel importante na percepção dos sinais das jubartes”.

Por fim, a realização da DFA procurava confirmar se as categorias criadas para os tipos de unidade eram consistentes. Para isso, a análise com a abordagem de correlação cruzada utilizou 80% das unidades como treino para criar um modelo, classificando-as dentro das categorias definidas e 20% para testar o acerto desse modelo. Esta primeira abordagem demonstrou 82% de eficácia, com a Discriminante Linear 1 (LD1) mais relacionada aos parâmetros Pico de Frequência (Peak Freq) e Frequência Máxima (High Freq) e a Discriminante Linear 2 (LD2) com maior relação com as Inflexões. Foi realizada a abordagem de regressão simples para esta análise, no qual o modelo não passa por nenhum treinamento e usa todos os dados para classificar as unidades. Neste teste, a taxa de acerto foi de 87,7%. Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Dunlop e colaboradores (2007) com a abordagem de correlação cruzada, que obtiveram uma taxa de acerto de 78,6% em suas análises, e com o resultado encontrado por Garland e colaboradores (2011), que obtiveram 80% de classificação correta das categorias de unidades avaliadas a partir da correlação cruzada. Ambas as abordagens da DFA aplicadas aqui resultaram em uma porcentagem de classificação satisfatória, que indicam que as categorias escolhidas para os diferentes tipos de unidade são consistentes para a construção do catálogo.

Diante dos resultados descritivos e estatísticos encontrados, foi possível reafirmar que as baleias jubarte possuem um extenso repertório vocal. A natureza de não-uniformidade e constante evolução do canto, tanto espacialmente quanto sazonalmente, torna a análise desses sons desafiadora e cria a necessidade de constantes estudos e atualizações. Este trabalho fornece o primeiro catálogo detalhado, tanto em relação às modulações, quanto às características de frequência das unidades presentes nos cantos da população brasileira de jubartes. Todas as unidades catalogadas foram encontradas mais de uma vez nos cantos e são distintas o suficiente para serem categorizadas individualmente.

Este catálogo pode fornecer dados básicos para trabalhos subsequentes envolvendo os cantos das jubartes brasileiras, como por exemplo o estudo das mudanças, transformações, adições e exclusões de unidades dos cantos desta população ao longo do tempo (DUNLOP et al., 2007). Além disso, pode servir como base para trabalhos que procurem descrever outros níveis hierárquicos dos cantos das jubartes brasileiras, visto que as unidades são o nível hierárquico mais basais dos cantos e precisam estar bem estabelecidas ao procurar padrões de temas, frases ou subfrases. A importância das unidades para estudos de seleção sexual ou para a compreensão de outros comportamentos, tal qual sua utilização em vocalizações sociais, ainda é incerto, mas visto que são emissões de som que podem possuir diversas variações e estão em constante mudança, talvez estudos futuros as envolvendo possam compreender melhor sua importância na comunicação destes animais.

## **CONCLUSÃO**

A população de baleias jubartes na estação reprodutiva de 2024 no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentou um canto com ao menos 25 tipos de unidades diferentes. Devido à complexidade das emissões sonoras produzidas pelas jubartes, a categorização das unidades de canto apresenta subjetividade, dificultando a sua classificação em alguns casos. Porém, esta subjetividade na classificação não invalida a realização de uma catalogação das unidades que seja consistente, conforme confirmado pelas análises estatísticas. Ter o registro e divulgação das unidades de canto encontradas em uma temporada reprodutiva da população brasileira de jubartes serve como base para outros estudos comparativos futuros, visto que as unidades e o canto, como um todo, são dinâmicos, sofrendo alterações constantes que precisam ser avaliadas para que se chegue a uma melhor compreensão da representatividade deste comportamento acústico para as jubartes.

## 6. REFERÊNCIAS

ARRAUT, E. M.; VIELLIARD, J. M. E. The song of the Brazilian population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the year 2000: individual song variations and possible implications. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 2, p. 373–380, jun. 2004.

AU, W. W. L. et al. Acoustic properties of humpback whale songs. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, n. 2, p. 1103–1110, 1 ago. 2006.

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, jul. 2013.

DARWIN, C. **The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex**. London, England. J. Murray, 1871.

DOUGLAS H. CATO. Songs of Humpback Whales: The Australian Perspective. **SONGS OF HUMPBACK WHALES: THE AUSTRALIAN PERSPECTIVE**, 01 1991.

DUNLOP, R. A. et al. 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, 1 nov. 2007.

ERBE, C. et al. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, n. 1, p. 15–38, 15 fev. 2016.

FRAZER, L. N.; MERCADO, E. A sonar model for humpback whale song. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 25, n. 1, p. 160–182, jan. 2000.

FREITAS, A. C. et al. Abundance of humpback whales on the Abrolhos Bank wintering ground, Brazil. **J. Cetacean Res. Manage.**, v. 6, n. 3, p. 225–230, 15 mar. 2023.

HEBETS, E. A. et al. A systems approach to animal communication. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1826, p. 20152889, 16 mar. 2016.

ISAAC, D.; MARLER, P. Ordering of sequences of singing behaviour of mistle thrushes in relationship to timing. **Animal Behaviour**, v. 11, n. 1, p. 179–188, 1 jan. 1963.

LAMONI, L. et al. Variability in humpback whale songs reveals how individuals can be distinctive when sharing a complex vocal display. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 153, n. 4, p. 2238–2250, 1 abr. 2023.

MERCADO, E., III et al. Acoustic cues available for ranging by humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 121, n. 5, p. 2499–2502, 1 maio 2007.

MERCADO, E., III; FRAZER, L. N. Environmental constraints on sound transmission by humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 106, n. 5, p. 3004–3016, 1 nov. 1999.

MERCADO, E.; PERAZIO, C. E. All units are equal in humpback whale songs, but some are more equal than others. **Animal Cognition**, v. 25, n. 1, p. 149–177, fev. 2022.

MORETE, M. E.; BISI, T. L.; ROSSO, S. Mother and calf humpback whale responses to vessels around the Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil. **J. Cetacean Res. Manage.**, v. 9, n. 3, p. 241–248, 22 fev. 2007.

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, 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, 13 ago. 1971.

RATSIMBAZAFINDRANAHAKA, M. N. et al. Behavioural context of call production in humpback whale calves: identification of potential begging calls in a mysticetes species. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 291, n. 2037, p. 20242048, 18 dez. 2024.

SALOMA, A. et al. Social calls in humpback whale mother-calf groups off Sainte Marie breeding ground (Madagascar, Indian Ocean). **PeerJ**, v. 10, p. e13785, 16 ago. 2022.

TYARKS, S. C. et al. Changes in humpback whale song structure and complexity reveal a rapid evolution on a feeding ground in Northern Norway. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 862794, 9 dez. 2022.

YOST, W.A. - **Fundamentals of Hearing, Fourth Edition - An Introduction-Academic Press**. Massachusetts, United States, 2000.

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.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing.  
**R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.