

UFRRJ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

DISSERTAÇÃO

**VOCALIZAÇÕES SUBAQUÁTICAS E FENÔMENOS NÃO LINEARES
EM FOCAS ANTÁRTICAS**

ISRAEL DE SÁ MACIEL

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

**VOCALIZAÇÕES SUBAQUÁTICAS E FENÔMENOS NÃO LINEARES
EM FOCAS ANTÁRTICAS**

ISRAEL DE SÁ MACIEL

Sob orientação da Professora Dra.

Sheila Marino Simão

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Área de Concentração em Biologia Animal.

Seropédica, RJ

Fevereiro, 2016

599.790998

Maciel, Israel de Sá, 1991-

M152v

T

Vocalizações subaquáticas e fenômenos não lineares em focas antárticas / Israel de Sá Maciel. - 2016.

31 f.: il.

Orientador: Sheila Marino Simão.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal, 2016.

Bibliografia: f. 27-31.

1. Foca - Vocalização - Antártica - Teses. 2. Animais - Sons - Antártica - Teses. 3. Pinípede - Teses. I. Simão, Sheila Marino, 1958- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

ISRAEL DE SÁ MACIEL

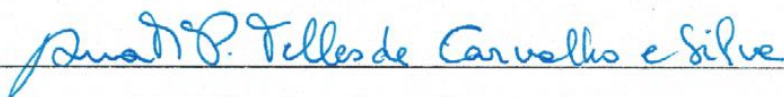
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal área de Concentração em Biologia, Sistemática e Ecologia de Vertebrados.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/02/2016

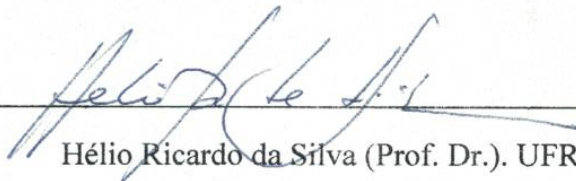


Sheila Marino Simão (Prof. Dra). UFRRJ

(Orientadora)



Ana Telles Carvalho e Silva (Prof. Dra.). UNIRIO



Hélio Ricardo da Silva (Prof. Dr.). UFRRJ



Rodrigo Hipólito Tardin Oliveira (Prof. Dr.). UNIGRANRIO



Carlos Eduardo Esberard (Prof. Dr.). UFRRJ

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre me dá suporte.

À Coordenação Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa durante o mestrado, sem qual seria muito mais difícil.

À Marinha do Brasil, que por intermédio do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), do PROANTAR e do Capitão de Fragata Leonardo Martins Barreira os dados cedidos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (IB/UFRRJ), por todas as aulas que contribuíram para minha formação.

À Prof^a. Dra. Sheila Marino Simão, pela oportunidade de orientação, pelos ensinamentos e discussões sobre bioacústica, por me incentivar e mostrar quão apaixonante é estudar comunicação animal, e principalmente pela amizade construída ao longo dos anos.

À Prof^a Dra. Luciana Duarte de Figueiredo, pela ajuda com software Raven no início dos meus estudos com bioacústica, pelas inúmeras discussões sobre diversos assuntos e pela ajuda com as análises não lineares.

À equipe do Laboratório de Bioacústica e Ecologia de Cetáceos, por todo apoio e pelas conversas que enriqueceram este trabalho.

Ao Sergio Carvalho Moreira pelo companheirismo durante o mestrado, por toda ajuda enquanto ainda estava na graduação, por compartilhar experiências comigo, e por todas as conversas divertidas no laboratório.

Ao Dr. Rodrigo Hipólito Tardin de Oliveira, que está sempre disposto a me ajudar. Pela ajuda com as análises estatísticas e por discutir aspectos complexos sobre comportamento e evolução, mesmo em uma mesa de bar.

Ao Felipe D’Azevedo Torres, que mesmo sendo amigos há pouco tempo, já parecem anos. Obrigado também por me mostrar outro olhar sobre o estudo dos animais marinhos e por compartilhar suas experiências comigo.

Ao Marco Aurélio Crespo, pela amizade e por compartilhar sua longa experiência de campo com cetáceos.

Ao meu irmão Isac Maciel, que sempre compartilhou minhas vitórias e fracassos em minha trajetória desde que nasci. Obrigado também por todas as brigas que foram cruciais para o aprimoramento da minha capacidade argumentativa.

Ao João Lisboa, pela amizade de anos. Obrigado por ser meu irmão.

À Juliana Oliveira, por todo amor e companheirismos de anos. Obrigado pelo apoio de sempre e por entender minha frequente falta de tempo.

Aos meus pais que sempre me ajudaram e apoiaram minhas escolhas. Obrigado por todo amor e cuidado. Obrigado por investirem todo tempo e dinheiro que puderam em mim. Obrigado por todo suporte e ensinamentos que levo para toda vida.

A todos os meus familiares e amigos que não citei, mas que foram e são importantes na minha história de vida.

“A ciência não tem medo de assumir sua ignorância, de assumir seus limites e com isso avançar”

Albert Einstein

RESUMO

Pinípedes produzem uma variedade de sons subaquáticos que frequentemente são relacionados com atividades reprodutivas e interações sociais. Diversas espécies de focas apresentam evidências de vocalizações com variações geográficas e individuais. A maioria dos trabalhos com focas estudou o repertório em ambiente terrestre e com olhares para as análises lineares. Entretanto, algumas características das vocalizações não podem ser explicadas apenas com análises lineares ou levando em conta apenas uma parte da vida do animal. Os fenômenos não lineares (FNLs) presentes em vocalizações (banda lateral, harmônico, sub-harmônico, bifonação, pulos de frequência e caos determinístico) ainda são pouco estudados. Dada a importância deste fenômeno nas vocalizações para o reconhecimento individual, principalmente em mamíferos sociais, este trabalho buscou estudar as vocalizações subaquáticas de focas antárticas, visando conhecer seu repertório vocal e seus FNLs, bem como discutir a possível função dos mesmos. Em 2013, a Marinha do Brasil realizou gravações acústicas na Ilha Meia Lua na Antártica. Nesta coleta foram registrados 128GB de arquivos de som nos dias entre 12 e 30 de novembro, totalizando 7.448 arquivos de 3 minutos cada. Nestas gravações foi constatada a presença de focas pertencentes à Tribo Lobodontini. Contatou-se também a presença de 15 tipos de vocalizações no período entre os dias 12 a 16/novembro. Em todos os dias que houve gravações de focas foi observado um padrão nos tipos L, K e E, organizados na sequência K, L e E, respectivamente. Após a inspeção visual de todos os arquivos, foram encontrados pulos de frequência, bifonações, harmônicos, bandas laterais e caos determinístico em nove tipos de vocalizações (A, C, E, F, K, L, M, N e O). As não linearidades foram abundantes em todos os arquivos, estando presentes em 75,56% (N=1829) das vocalizações. O caos determinístico foi o mais comumente observado, estando presente em 53,86% das feições não lineares e 43,08% das vocalizações em geral. Levando em conta apenas as vocalizações tonais, 88,85% das vocalizações foram não lineares. A repetição do padrão KLE parece apresentar uma função de reconhecimento. Os FNLs, principalmente os do tipo caos determinístico, estiveram muito presentes nas vocalizações estudadas, indicando que este tipo de emissão possui uma função importante na comunicação. Além disso, estes parecem pertencer ao repertório acústico padrão de Lobodontines antárticos.

Palavras-chaves: Bioacústica, pinípedes, Lobodontines, repertório acústico, Antártica.

ABSTRACT

Pinnipeds produce a variety of underwater sounds that are often related to reproductive activities and social interactions. In addition, several species of seals provide evidence of vocalizations with geographical and individual variations. Most of bioacoustics researches with seals studied the terrestrial environment repertoire using linear analysis. However, some characteristics of vocalizations can not be explained with linear analysis only or taking into account only one part of the animal's life. The nonlinear phenomena (NLP) present in vocalizations (sideband, harmonic, sub-harmonic, biphonation, jump of frequency and deterministic chaos) are still poorly studied. Given the importance of this phenomena in vocalizations to individual recognition, especially in social mammals, was studied the underwater vocalizations of Antarctic seals in order to know their vocal repertoire and their NLP as well as discuss their possible function. In 2013, Brazilian Navy conducted acoustic recordings on Half Moon Island. In this collection were recorded 128GB of sound files between 12th and 30th of November. A total of 18 days of uninterrupted collections, producing 7,448 files of 3 minutes each. These recordings were taken at the presence of seals to Lobodontini Tribe. A total of 15 types of vocalizations were found in the period between days 12-16/November. A pattern in the vocalizations types L, K and E, arranged in sequence K, L and E, respectively, was observed in all seal recordings. All files presented biphonations, jumps of frequency, harmonics, sidebands and chaos in nine types of vocalizations (A, C, E, F, K, L, M, N and O). The nonlinearities were abundant on all files, being present in 75.56% (N = 1829) of vocalizations. Deterministic chaos was most common, present in 53.86% of non-linear features and 43.08% of vocalizations in general. Taking into account only the tonal vocalizations, 88.85% of vocalizations were nonlinear. The repetition of the KLE pattern also displays a recognition function. The NLP, mainly deterministic chaos, had high incidence in the studied vocalizations indicating that this type has an important role in communication. Furthermore, it seems to belong to the acoustic pattern of Antarctic's Lobodontines.

Key-words: Bioacoustics, pinnipeds, Lobodontines, acoustic repertoire, Antarctic.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Cladograma representando a filogenia de Phocidae baseada em dados moleculares (adaptado de Davis *et al.*, 2004). A linha vermelha delimita os representantes do táxon Lobodontini.....1
- Figura 2:** Modelo esquemático do ouvido médio dos mamíferos (adaptado de Berta *et al.*, 2005).....2
- Figura 3:** Espécies de focas antárticas representantes da tribo Lobodontini. A) foca-ross (*Ommatophoca rossii*); B) foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*); C) foca-de-weddell (*Leptonychotes weddellii*); D) foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*).....3
- Figura 4:** Arquipélago Shetland do Sul e a indicação, em vermelho, da posição da Base “Camara”, na ilha Meia Lua (Half Moon Island).....6
- Figura 5:** Extrato da carta náutica da Ilha Meia Lua com a posição de fundeio do hidrofone e da fonte acústica, utilizados nos experimentos de acústica submarina, durante a “Operação Integração Antártica I” no verão 2012-2013 (OPERANTAR XXXI).....7
- Figura 6:** Instalação do cabo guia para o cabo do hidrofone, durante a “Operação Integração Antártica I”. À esquerda, o local de fixação do cabo guia, na janela do sótão da Casa Principal; ao centro, uma visão da altura final do cabo em relação ao solo. À direita, o poste estiado na praia.....8
- Figura 7:** Representação esquemática dos fenômenos não lineares em vocalizações: I – pulso de frequência; II – harmônico; III – sub-harmônico; IV – bifonação independente; V – bifonação banda lateral; VI – caos determinístico (modificado de RIDE *et al.*, 2004).....10
- Figura 8:** Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo A (N=142), apresentando pulso de frequência (4), caos (1 e 3) e banda lateral (2).....11
- Figura 9:** Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo B (N=139).....12
- Figura 10:** Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo C (N=108), apresentando harmônico (1).....12
- Figura 11:** Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo D (N=88).....13
- Figura 12:** Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo E (N=251), apresentando caos determinístico (1).....13
- Figura 13:** Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo F (N=179), apresentando banda lateral (2) e caos determinístico (1).....14
- Figura 14:** Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo G (N=135).....14
- Figura 15:** Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo H (N=35).....15
- Figura 16:** Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo I (N=11).....15
- Figura 17:** Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo J (N=80).....16

Figura 18: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo K (N=249), apresentando bifonação (1).....	16
Figura 19: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo L (N=216), apresentando harmônico (1) e caos determinístico(2 e 3).....	17
Figura 20: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo M (N=47), apresentando bifonação independente (1 e 2).....	17
Figura 21: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo N (N=139), apresentando banda lateral (1) e harmônico (2).....	18
Figura 22: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo O (N=10), apresentando harmônico (1) e sub-harmônicos (2 e 3).....	18
Figura 23: Ordenação MDS dos tipos tonais usando parâmetros quantitativos (frequência mínima, frequência máxima, variação de frequência, duração da unidade e pico de frequência). Estresse = 0,06064, proporção de variância (RSQ) = 0,98566.....	20
Figura 24: Ordenação MDS dos tipos pulsantes usando parâmetros quantitativos (frequência mínima, frequência máxima, variação de frequência, duração da unidade, pico de frequência e número de repetições). Estresse = 0,01578, Proporção de variância (RSQ) = 0,99947.....	21
Figura 25: Padrão de ocorrência dos tipos E, K e L.....	22
Figura 26: Variação do número de vocalizações com FNLs por dia.....	23
Figura 27: Espectrogramas das vocalizações encontradas em focas no arquipélago Shetland do Sul na Antártica. Vocalizações a, b, c e d - Foca leopardo (<i>Hydrurga leptonyx</i>). Vocalização e - foca caranguejeira (<i>Lobodon carcinophagus</i>) (adaptado de STIRLING and SNIFF, 1979).....	24
Figura 28: Comparação entre os espectrogramas das vocalizações MT3 (THOMAS e STIRLING, 1983) e N. Média das FMx (frência máxima) e FMn (frequência mínima). MT3: FMx = 1,1 kHz; FMn = 0,2 kHz. N: FMx = 0,76 kHz; FMn = 0,16 kHz.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média, desvio padrão (\pm) e covariância (CV) dos parâmetros quantitativos e moda ^(*) dos valores qualitativos nas vocalizações. N: número de observações; FMn: frequência mínima; FMx: frequência máxima; VF: variação de frequência; DU: duração da unidade; PF: pico de frequência; Stp: número de <i>steps</i> ; Rep: número de repetições; InRep: intervalo entre repetições; FNL: fenômeno não linear.....	19
Tabela 2: Resultados dos testes post-hoc pareados para os tipos tonais e pulsantes.....	21

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

OPERANTAR	Operação Integração Antártica I
FNL	Fenômenos não lineares
FMx	Frequência máxima
FMn	Frequência mínima
DU	Duração da unidade
VF	Variação de frequência
PF	Pico de frequência
Stp	Número de <i>steps</i>
Rep	Número de repetições
InRep	Tipo de intervalo entre repetições
Hz	Hertz
kHz	Quilohertz
Db	Decibéis
V	Volts
AH	Amperes hora
S	Segundos
Ms	Milissegundos
M	Metros
Km	Quilômetros
N	Tamanho da amostra
MDS	Ordenação em Escala Multidimensional
PerMANOVA	Análise Multivariada de Variância com Permutações

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	1
2- MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
2.1- Área de estudo.....	6
2.2- Protocolo de amostragem.....	8
2.3- Protocolo de análise.....	9
2.4- Análises estatísticas.....	10
3- RESULTADOS.....	11
4- DISCUSSÃO.....	23
5- CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

A calota de gelo da Antártica contém aproximadamente 70% da água doce e 90% de gelo do mundo (NICHOLS e WILLIAMS, 2009). Além disso, o Oceano Antártico responde por cerca de 10% dos oceanos, mas provavelmente suporta cerca de 50% da biomassa de mamíferos marinhos, incluindo seis espécies de pinípedes, oito espécies de baleias e pelo menos sete espécies de odontocetos (PERRIN e WURSIG, 2009).

Pinípedes (Pinnipedia) pertencem à Ordem Carnívora e atualmente são reconhecidas cerca de 37 espécies espalhadas em regiões polares temperadas e subtropicais por todo o mundo em 3 grupos monofiléticos: 18 espécies de focas (Phocidae), 14-18 de otarídeos (Otariidae) e uma espécie de morsa (Odobeniidae). Tradicionalmente, a família Phocidae (Figura 1) é dividida em duas subfamílias, Monachinae tais como: focas-monge (ex.: *Monachus tropicalis*), elefantes-marinhos (ex.: *Mirounga leonine*) e as focas antárticas: foca-de-ross (*Ommatophoca rossii*), foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophaga*), foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*) e foca-de-weddell (*Leptonychotes weddellii*). Já a subfamília Phocinae é composta pelas focas do Hemisfério Norte tais como a foca-barbuda (*Erignathus barbatus*) (PERRIN e WURSIG, 2009).

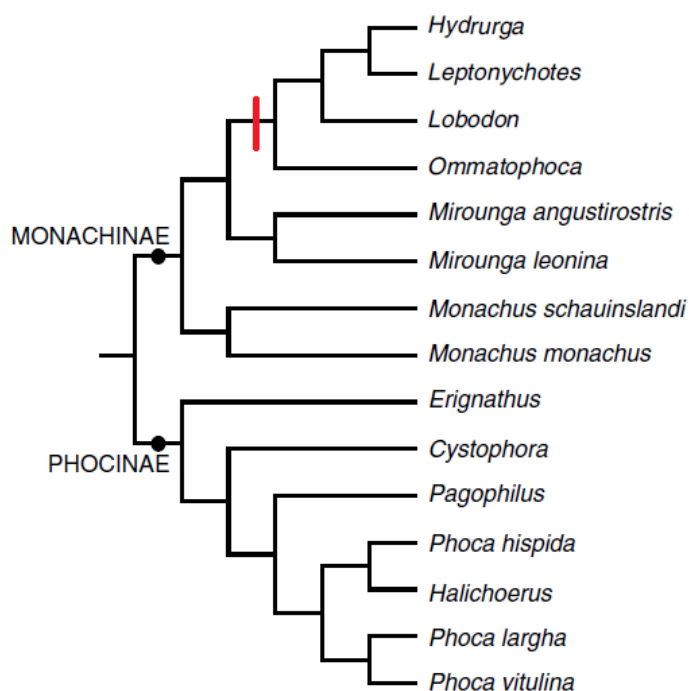


Figura 1: Cladograma representando a filogenia de Phocidae baseada em dados moleculares (adaptado de Davis *et al.*, 2004). A linha vermelha delimita os representantes do táxon Lobodontini.

No ambiente terrestre, pinípedes ouvem como mamíferos terrestres, entretanto o ouvido dos pinípedes mostra várias modificações para ouvir debaixo d'água (Figura 2). Os ouvidos externos e médios contém tecido cavernoso capaz de encher-se de sangue quando o

animal está submerso. Além de ajudar na equalização de pressão durante o mergulho, estes tecidos cavernosos podem aumentar a transmissão do som para o ouvido interno, em particular, tornando o ouvido mais sensível a altas frequências (REPENNING, 1972; KASTELEIN *et al.*, 1996). O ouvido médio possui ossos com especializações que aprimoram a audição em baixo d'água (MOHL, 1968; NUMMELA, 1995). Ossos do ouvido médio dos Phocidae apresentam extrema expansão da bigorna formando uma cabeça, também observada em Odobeniidae, e articulações extras no martelo, não encontradas em Otariidae, Odobeniidae ou outros carnívoros (WYSS, 1987). O aumento da massa ossicular, encontrada em focas e morsas muda a faixa de frequências de audição no ar para frequências mais baixas, já os otarídeos possuem uma audição mais sensível a frequências ligeiramente mais altas (NUMMELA, 1995; HEMILA *et al.*, 1995).

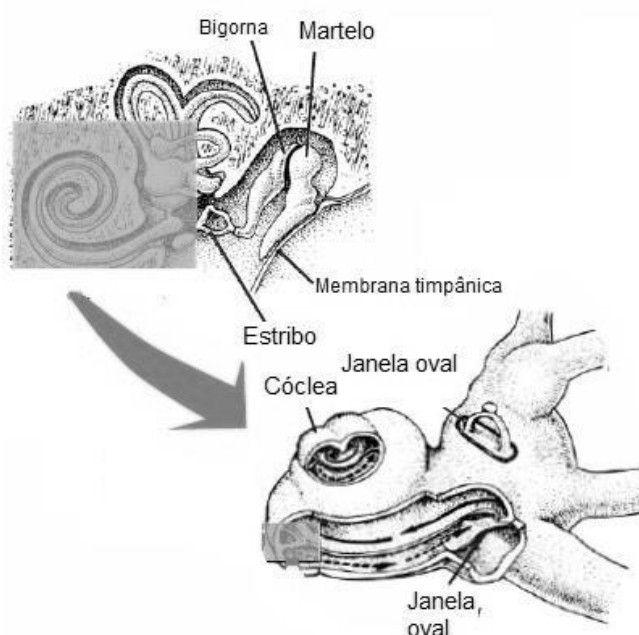


Figura 2: Modelo esquemático do ouvido médio dos mamíferos (adaptado de Berta *et al.*, 2005).

Sons aéreos produzidos por pinípedes geralmente estão dentro do alcance de audição do ouvido humano e são frequentemente descritos como grunhidos, roncões (*snorts*) e latidos (KETTEN, 1992a). A maioria das vocalizações de pinípedes é produzida na laringe, apesar de morsas machos também imitarem sons tipo estalo (*clacking*) com seus dentes e sons tipo sino distintos no ar e debaixo d'água com suas bolsas faríngeas infladas, sendo produzidos quase exclusivamente por machos adultos durante a época de reprodução, como parte de um display de corte (KETTEN, 1992a).

Alguns sons são identificados conforme sua função social, sendo chamados de: "chamadas de ameaça" de machos reprodutores ou "chamadas de atração de filhotes" produzida por mães (LE BOEUF e PETRINOVICH, 1975). As chamadas de ameaça diferem suficientemente em dialetos regionais distintos de uma colônia para outra (LE BOEUF e PETRINOVICH, 1975).

A crista e o septo nasal da foca-de-crista (*Cystophora cristata* Erxleben, 1777) são usados para produzir sons tanto debaixo d'água quanto no ar. Estes sons são emitidos por machos adultos em eventos de corte ou combate (TERHUNE e RONALD, 1973; BALLARD e KOVACS, 1995).

Mães e filhotes da maioria das espécies de pinípedes têm vocalizações específicas que permitem ao par mãe-filhote reconhecer e localizar uns aos outros (SAUVÉ *et al.*, 2015). Para pinípedes, como elefantes marinhos, cujas mães e filhotes permanecem juntos durante todo o período de amamentação, essas chamadas ajudam um par de manter contato em uma colônia de reprodução (SAUVÉ *et al.*, 2015). Embora vários filhotes de leão-marinho possam responder ao apelo de uma única fêmea, o filhote é capaz de reconhecer vocalizações de sua mãe, e os filhotes individuais são identificados por suas mães por uma combinação de suas vocalizações, o contato visual, olfativo e pistas espaciais (ROUX e JOUVENTIN, 1987; HANGGI, 1992; REIMAN e TERHUNE, 1993; KOVACS, 1995).

Já machos de foca-barbada exibem variação individual significativa em suas chamadas trinadas, que consistem em trinados oscilantes que alteram as frequências e são pontuadas por breves gemidos de baixa frequência não modulados (RAY *et al.*, 1969).

Existem 4 espécies de focas na Antártica (Figura 3), sendo todas representantes da Tribo Lobodontini: foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx* Blainville, 1820), foca-de-weddell (*Leptonychotes weddellii* Lesson, 1826), foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophagus* Hombron e Jacquinot, 1842), foca-ross (*Ommatophoca rossii* Gray, 1844).



Figura 3: Espécies de focas antárticas representantes da tribo Lobodontini. A) foca-ross (*Ommatophoca rossii*); B) foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*); C) foca-de-weddell (*Leptonychotes weddellii*); D) foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*).

As focas produzem uma variedade de sons subaquáticos que frequentemente são relacionados com atividades reprodutivas e interações sociais (STIRLING e THOMAS, 2003). Assobios, chilros (*chirps*), trinados e zumbidos de baixa frequência (*low pitched buzzes*) são característicos de focas-de-weddell e são usados como delimitações territoriais (THOMAS e KUECHLE, 1982) e as repetições rítmicas destas chamadas podem aumentar a probabilidade de que elas venham a ser detectadas por membros da mesma espécie (MOORS e TERHUNE, 2004).

Estudo do contexto comportamental de vocalizações de foca-leopardo revelou que as vocalizações são usadas por machos maduros para anunciar sua disponibilidade sexual (ROGERS *et al.*, 1996). Além disso, existem evidências de que focas machos são vocalmente ativas debaixo d'água durante a época de reprodução, para fins de competição entre machos e/ou display para atração de fêmeas (HANGII e SCHUSTERMAN, 1994).

As vocalizações da foca-leopardo são descritas como chamadas suaves e líricas, em vez de os grunhidos, latidos e gemidos encontrados na maioria das outras focas e podem estar relacionadas com o seu sistema social solitário, que não necessita de chamadas para defesa territorial (ROGERS *et al.*, 1995; THOMAS e GOLLADAY, 1995). As vocalizações desta espécie são de longa duração (aproximadamente de 2 a 8 s) e seu repertório conta com ampla variação de frequência (150 Hz a 5800 kHz) (STIRLING, 1979).

A variação nos repertórios de chamadas de foca-leopardo em lados opostos da Antártica sugere que há uma variação individual (ROGERS e CATO, 2002) e geográfica entre repertórios (THOMAS e GOLLADAY, 1995). Pesquisa semelhante sugeriu que isso também é verdadeiro para as populações de focas-de-weddell em torno da Antártica (PAHL *et al.*, 1997).

A foca-de-weddell é caracterizada por possuir um repertório com vocalizações descendentes com uma ampla faixa de frequência modulada (12,8 a 0,2 kHz) de longa duração (95 a 0,6 s) (THOMAS, 1982).

O repertório acústico da foca-caranguejeira foi pouco descrito na literatura. Esta espécie caracteriza-se por vocalizações longas (cerca de 2 s) e descendentes, com frequências entre 8 e 1,5 kHz (STIRLING, 1979).

Segundo WATKINS (1985), os sons subaquáticos de foca-ross são semelhantes aos produzidos no ar. Estes são caracterizados como longos (1-1,5 s), apresentando uma grande variação de frequência e geralmente possuindo de três a cinco harmônicos fortes além de banda lateral. As vocalizações ascendentes normalmente variam em torno de 1,7 a 3 kHz, já as descendentes em torno de 4 a 1 kHz. A banda lateral é mais frequente nas vocalizações em torno de 2 e 3 kHz com um intervalo de 650 Hz em relação a frequência fundamental.

Apenas algumas sequências de pulsos subaquáticos foram registradas para esta espécie, sendo estes caracterizados como pulsos curtos 650-700 pulsos/s (WATKINS, 1967).

Apesar das muitas funções sociais desempenhadas pelo repertório acústico de focas em geral, a maioria das pesquisas até então estudou o repertório em ambiente terrestre e com olhares para as análises lineares. Entretanto, algumas características das vocalizações não podem ser explicadas apenas com análises lineares (TYACK e MILLER, 2002) ou levando em conta apenas uma parte da vida do animal.

Os fenômenos não lineares (FNLs) presentes em vocalizações (banda lateral, harmônico, sub-harmônico, bifonação, pulos de frequência e caos determinístico) ainda são pouco estudados de uma maneira geral, possivelmente pela dificuldade na identificação do fenômeno e de suas causas, além de seu sentido biológico. FNLs em vocalizações podem ser gerados por diferenças anatômicas no aparelho fonador, sejam elas patológicas ou não, podendo ser inerentes do funcionamento do aparelho fonador ou ainda pode ser produzidos intencionalmente pelo animal (FITCH *et al.*, 2002).

A presença de FNL em vocalizações animais é relativamente comum e têm sido descrita para insetos (BENKO *et al.*, 2007; EDOH *et al.*, 2013), peixes (RICE *et al.*, 2011), anuros (FENG *et al.*, 2009; PETTITT *et al.*, 2012) e aves (WILDEN *et al.*, 1998; FEE *et al.*, 1998; ZOLLINGER, 2008; FLETCHER, 2000, 2010; DIGBY *et al.*, 2014). Em mamíferos, os FNLs são reportados em primatas não humanos (OWREN e RENDALL, 2001; RIEDE *et al.*, 2004, 2007), humanos (TRUBY e LIND, 1965; SIRVIÖ e MICHELSSON, 1976; ROBB e SAXMAN, 1988), cães (WILDEN *et al.*, 1998; VOLODIN e VOLODINA, 2002; VOLODINA *et al.*, 2006), veados (FACCHINI *et al.*, 2003), peixes-boi (MANN *et al.*, 2006) e cetáceos (TYSON *et al.*, 2007; FILATOVA *et al.*, 2009; NEMIROFF e WHITEHEAD, 2009; MERCADO *et al.*, 2010; PAPAIE *et al.*, 2015).

FNLs são observados na voz humana, particularmente em gritos infantis (TRUBY e LIND, 1965; SIRVIÖ e MICHELSSON, 1976; ROBB e SAXMAN, 1988). Transições abruptas entre regimes acústicos qualitativamente diferentes resultam em FNLs intrínsecos ao próprio aparelho fonador (MENDE *et al.*, 1990). Normalmente, humanos adultos tendem a evitar esses regimes irregulares e FNLs são comuns apenas em crianças ou pacientes adultos com distúrbios na voz (ex.: paralisia de prega vocal, assimetrias ou crescimentos) (FITCH *et al.*, 2002). Já em macaco rhesus (*Macaca mulatta*) não linearidades ocorrem por aumento da excitação ao chegar perto da comida (FITCH *et al.*, 2002).

Em espécies sociais, como orcas (*Orcinus orca*), que apresentam complexos sistemas de comunicação vocal, foi proposto que os sinais bifônicos aumentam o potencial de reconhecimento de indivíduos ou grupos familiares (*pods*) (VOLODINA *et al.* 2006; FILATOVA *et al.*, 2009, 2012).

Na população de golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops sp.*) da Itália, as chamadas bifônicas foram identificadas como assóvio-assinatura (PAPAIE *et al.*, 2015). Portanto, os FNLs também podem desempenhar um papel no reconhecimento de indivíduos da mesma espécie como sinais de identidade individuais.

Dada a importância dos FNLs nas vocalizações para o reconhecimento individual, principalmente em mamíferos sociais, este trabalho busca estudar as vocalizações subaquáticas de focas antárticas, visando conhecer seu repertório vocal e seus FNLs, bem como discutir a possível função dos mesmos. É válido ressaltar que até o momento não existe na literatura nenhum trabalho que se propôs estudar os aspectos não lineares nas vocalizações de pinípedes.

Adicionalmente, conhecer o repertório acústico das focas antárticas permite o monitoramento acústico passivo de forma constante e ininterrupta. Este método passivo possibilita responder mais facilmente diversas questões, tais como: distribuição, uso do habitat, variações geográficas, variações temporais, migrações e movimentações. Métodos acústicos passivos podem auxiliar os órgãos ambientais e empresas a monitorar as atividades dos mamíferos aquáticos e assim reduzir os impactos durante suas atividades. Além disso,

diferente dos métodos de monitoramento visual, esta metodologia não apresenta limitação quanto de uso quanto ao período do dia e/ou condições climáticas. Assim, as possíveis questões resolvidas pelo método, contribuem para o conhecimento da biologia das espécies e consequentemente auxiliam na criação de planos para a conservação das espécies estudadas.

O objetivo do presente trabalho foi identificar os sons biológicos obtidos por métodos passivos, bem como caracterizar o repertório encontrado a fim de contribuir com futuros métodos de identificação acústica autônoma. Adicionalmente, buscou-se reportar e descrever os fenômenos não lineares encontrados nas emissões biológicas a fim de entender sua relevância para o repertório da espécie.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Base Antártica “Camara” da Armada Argentina está localizada na Ilha Meia Lua (62°35.50' S; 59°55.50' W), a qual é pequena (cerca de 1,8 km de extensão), situada na Baía Lua, na extremidade oeste da Ilha Livingston, a qual faz parte do Arquipélago Shetland do Sul (Figura 4). A Baía Lua une-se ao Estreito McFarlane, que separa as Ilhas Livingston (a oeste) e Greenwich (a leste). O estreito é limitado ao norte pela Passagem de Drake e ao sul pelo Estreito de Bransfield, o qual separa as Shetland do Sul da Península Trinity.

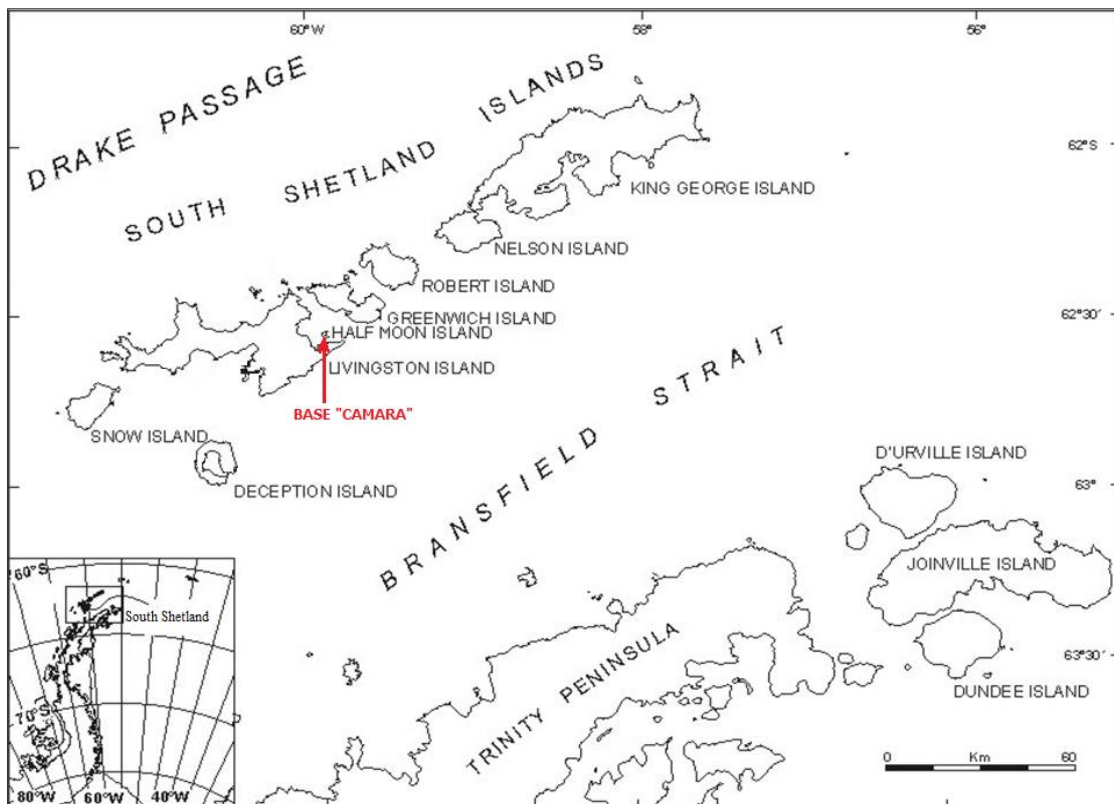


Figura 4: Arquipélago Shetland do Sul e a indicação, em vermelho, da posição da Base “Camara”, na ilha Meia Lua (Half Moon Island) (mapa de autoria do Capitão de Fragata Leonardo Martins Barreira).

A Ilha Meia Lua é composta por praia de cascalhos, costões rochosos e duas elevações principais, com cerca de 100 m de altitude, o Monte Saddleback, ao norte, e o Monte Capa Negra, ao sul. Possui ainda dois lagos: um no topo do Monte Saddleback e outro nas proximidades da Base Câmara, sendo este último o provedor de água doce para a base. Por sua forma arqueada, esta ilha oferece um fundeadouro seguro, com águas calmas, especialmente protegido dos ventos de oeste a sul. A porção nordeste da ilha está voltada para um canal com profundidades superiores a 300 m (Figura 5).

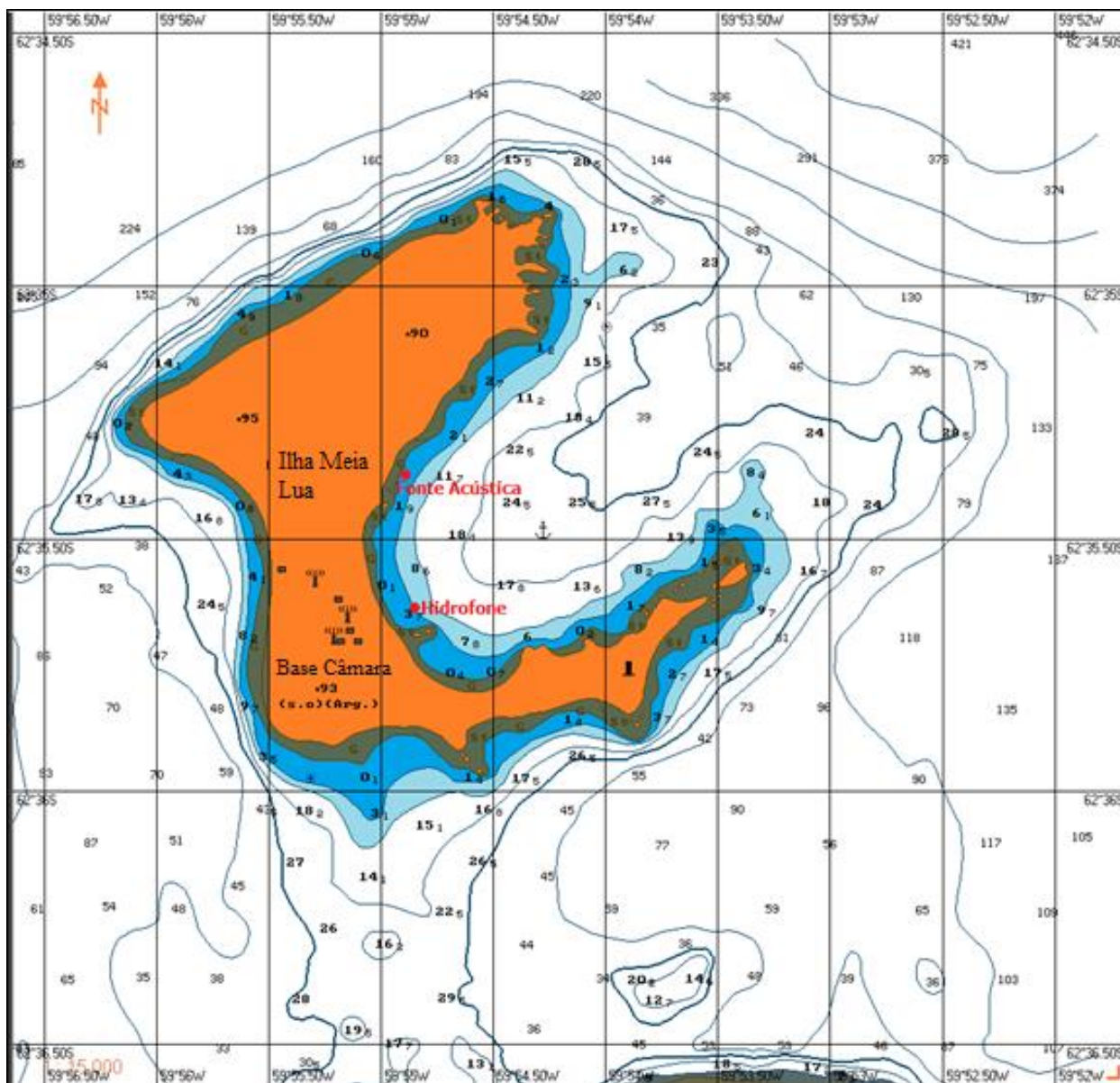


Figura 5: Extrato da carta náutica da Ilha Meia Lua com a posição de fundeio do hidrofone e da fonte acústica, utilizados nos experimentos de acústica submarina, durante a “Operação Integração Antártica I” no verão 2012-2013 (OPERANTAR XXXI) (mapa de autoria do Capitão de Fragata Leonardo Martins Barreira).

2.2 Protocolo de Amostragem

Todas as gravações usadas neste trabalho foram feitas pelo Capitão de Fragata Leonardo Martins Barreira da Marinha do Brasil, por intermédio do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), do projeto PROANTAR.

Inicialmente as gravações foram feitas pelo para fins de experimentos militares com sonares submarinos. Durante as análises dos dados experimentais conduzidos pelo Capitão de Fragatas Leonardo Barreira, o mesmo observou emissões aparentemente biológicas. Após esta observação, o mesmo cedeu esses dados ao Laboratório de Bioacústica e Ecologia de Cetáceos (LBEC), visando uma análise mais detalhada. Em vista disto, durante as gravações não houve nenhuma forma de identificação visual das espécies emissoras.

O monitoramento acústico submarino foi conduzido a partir de um hidrofone ITC, modelo 8073 (sensibilidade eletrônica de -154 dB V/ μ Pa e frequência de resposta de 15 a 55.000 Hz), pré-amplificado (20dB), o qual foi instalado a 3m de profundidade no interior da enseada da Ilha Meia Lua, denominada Enseada “Caleta Minguante”.

O hidrofone foi instalado com cabo eletroacústico, com comprimento estimado em 1000m, a partir da Casa Principal da Base “CAMARA”, onde foi instalada a Estação de Monitoramento Acústico.

A fim de evitar o enterramento do cabo no gelo, em função do seu calor inerente, foi instalado um cabo guia aéreo, da Casa Principal até a Casa de Botes e, de lá, outro cabo guia, da Casa de Botes até um “poste” estiado, instalado na praia (Figura 6).



Figura 6: Instalação do cabo guia para o cabo do hidrofone, durante a “Operação Integração Antártica I”. À esquerda, o local de fixação do cabo guia, na janela do sótão da Casa Principal; ao centro, uma visão da altura final do cabo em relação ao solo. À direita, o poste estiado na praia (fotos cedidas pelo Capitão de Fragata Leonardo Martins Barreira).

A partir do “poste”, o cabo seguiu sobre a praia de cascalhos, sendo estaqueado até onde a linha de maré permitiu. O cabo do hidrofone foi unido a um cabo de aço, cuja finalidade foi prover maior resistência mecânica ao sistema, especialmente durante o lançamento e a recuperação dos hidrofone, o qual fez a função de “cabo guia”.

Os hidrofone e o computador utilizado para aquisição dos sinais acústicos foram alimentados por bateria 12V, a fim de se evitar interferência no sinal, induzida por fontes alternadas de energia. Foram utilizadas oito baterias com 200AH, sendo duas para o computador, uma para cada hidrofone e quatro de reserva, disponíveis para rodízio e carga.

Foram utilizados, ainda, dois carregadores de baterias (um mantido como reserva) e dois inversores DC/AC para alimentação dos computadores.

Os sinais acústicos foram recebidos 24h por dia diretamente no computador de aquisição de dados, sendo digitalizados em formato “.dat” com resolução de 16bits e taxa de amostragem de 22kHz. Durante o armazenamento no computador, a gravação era cortada formando arquivos de 3 minutos de duração. Posteriormente os arquivos foram armazenados em HD externo para não sobrecarregar o computador de aquisição de dados.

2.3 Protocolo de Análise

Todos os arquivos de som em formato “.dat” que foram armazenados no HD externo, foram convertidos em arquivos “.WAV” para tornar possível a leitura pelo software de análise utilizado.

O primeiro passo após a obtenção e transformação dos dados foi a separação dos arquivos que possuam sons biológicos ou ruído. Em seguida, dos arquivos com sons biológicos, separou-se o que era produzido por baleias, visto que foi utilizado em outro trabalho. Dos sons biológicos restantes, buscou-se na literatura e em bancos de som a origem biológica dos sons separados. Após esta busca, os sons restantes foram caracterizados como sendo oriundos de focas da tribo Lobodontini, visto que todas as espécies de focas antárticas pertencem a esta tribo. Foram consideradas como vocalizações de Lobodontines aquelas que possuíssem características típicas como longa duração, majoritariamente descendente e ampla faixa de frequência (THOMAS, 1982; STIRLING, 1979; WATKINS, 1985; WATKINS, 1967).

Para a caracterização do repertório, foram selecionados aleatoriamente 25% dos arquivos que possuam vocalizações de focas, compostos por 25% dos arquivos de cada dia. Entretanto, para as análises das não linearidades foram considerados todos os arquivos com vocalização de focas.

As análises quantitativas e qualitativas das emissões sonoras foram feitas através do software Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology) com FFT (transformada rápida de Fourier) de tamanho igual a 4372 pontos, um overlap de 50% e janela do tipo Hann. Esta análise quantitativa das vocalizações levou em conta os seguintes parâmetros: frequência máxima (FMx), frequência mínima (FMn), duração da unidade (DU), variação de frequência (VF), pico de frequência (PF).

Qualitativamente foram considerados os seguintes parâmetros: número de *steps* (Stp), número de repetições (Rep), tipo de intervalo entre repetições (InRep – 1 para intervalos crescentes, 2 para intervalos decrescentes, 0 para intervalos constantes ou 3 para ausência de repetições), presença de fenômenos não lineares (FNL: 0 para ausência de não linearidades ou 1 para presença de fenômenos não lineares).

As não linearidades foram identificadas por meio do método de identificação visual (FACCHINI *et al.*, 2003).

Neste trabalho foram considerados seis tipos de fenômenos não lineares (pulo de frequência, harmônico, sub-harmônico, bifonação independente, bifonação banda lateral e caos determinístico). Pulsos de frequência (Figura 7 - I) referem-se a mudanças súbitas na frequência fundamental, onde esta move-se descontinuamente para cima ou para baixo

(RIEDE *et al.*, 2004). Harmônicos (Figura 7 - II) são componentes espectrais adicionais que aparecem com um contorno igual à emissão fundamental e com intervalos de regulares acima da frequência fundamental. Sub-harmônicos (Figura 7 - III) são componentes espectrais adicionais que aparecem com frequências em valores fracionários da frequência fundamental e de seus harmônicos (RIEDE *et al.*, 2004). Bifonação independente (Figura 7 - IV) refere-se a duas frequências simultâneas e independentes, que podem ser visíveis no espectrograma como dois contornos distintos e autônomos (WILDEN *et al.*, 1998). Outro tipo de bifonação é a banda lateral (Figura 7 - V), esta pode ser definida como adjacentes aos harmônicos (RIEDE *et al.*, 2004) sem as relações fracionárias da frequência fundamental presentes nos sub-harmônicos. Esta pode ser encontrada no espectrograma como linhas paralelas a frequência fundamental. Caos determinístico (Figura 7 - VI) refere-se aos períodos em que a energia se dispersa por uma ampla faixa de frequências, porém mantendo resquícios do comportamento de bandas (FITCH *et al.*, 2002).

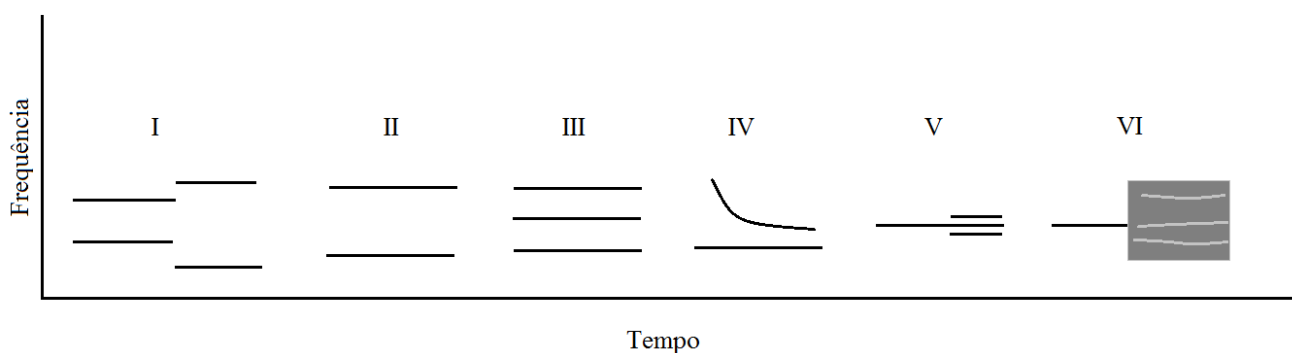


Figura 7: Representação esquemática dos fenômenos não lineares em vocalizações: I – pulso de frequência; II – harmônico; III – sub-harmônico; IV – bifonação independente; V – bifonação banda lateral; VI – caos determinístico (modificado de RIDE *et al.*, 2004).

Durante as análises no Raven Pro 1.4, os parâmetros quantitativos e qualitativos medidos para cada emissão eram registrados em planilhas do Excel e suas feições eram salvas em arquivos de imagem em formato “.JPG”.

2.4 Análise estatística

Após o agrupamento visual dos tipos de emissões encontradas, foi feito o cálculo do Coeficiente de Variação de Pearson para as variáveis contínuas (FMn, FMx, VF, DU e PF) a fim de medir o grau de variação dentro dos tipos agrupados visualmente. Em seguida, buscou-se testar a veracidade os tipos agrupados visualmente.

Exclusivamente para as análises de ordenação e agrupamento, foram testados os tipos com características pulsantes (a variação de frequência ocorre em um curto período de tempo) e tonais (possui modulação de frequência ao longo do tempo) separadamente.

Para testar os agrupamentos dos tipos, primeiramente foram construídas Matrizes de Correlação Simples para as variáveis quantitativas dos tipos encontrados. Em seguida, foi realizada uma ordenação em Escala Multidimensional (MDS) utilizando o índice de dissimilaridade Bray-Curtis para investigar o poder da ordenação em explicar os dados, além de medir o grau de distorções no agrupamento dos tipos.

Para testar os agrupamentos sugeridos pelo MDS, foi utilizado o software R (Pacote Vegan: 2013, OKSANEN *et al.*, 2007), para verificar, por meio do teste não-paramétrico Análise Multivariada de Variância com Permutações (PerMANOVA com 5.000 permutações, ANDERSON, 2001), se a média multivariada dos parâmetros quantitativos variaram entre os tipos encontrados. Este teste foi escolhido porque os dados não cumpriram os pressupostos paramétricos. Por fim, foi feito o teste post-hoc para validação dos agrupamentos. Para tal foi utilizado testes de permutação pareada entre os grupos comparados (ANDERSON, 2001).

3. RESULTADOS

Em 2013, a Marinha do Brasil realizou gravações acústicas na Ilha Meia Lua. Nesta coleta foram registrados 128GB de arquivos de “.dat” entre os dias 12 e 30 de novembro, num total de 18 dias de coletas ininterruptas, totalizando 7.448 arquivos “.WAV” de 3 minutos cada.

Devido à grande similaridade e baixo número de publicações com que mostrem os espectrogramas das vocalizações subaquáticas de focas antárticas, não foi possível chegar a uma identificação ao nível de espécie. Desta forma, o menor nível taxonômico alcançado foi o da tribo Lobodontini. Após a análise das gravações, constatou-se a presença de vocalização no período entre os dias 12 e 16 de novembro. Sendo encontrados 15 tipos de vocalização e classificados em ordem alfabética de A até O (Figura 8-22) e com a respectiva caracterização quantitativa e qualitativa (Tabela 1).

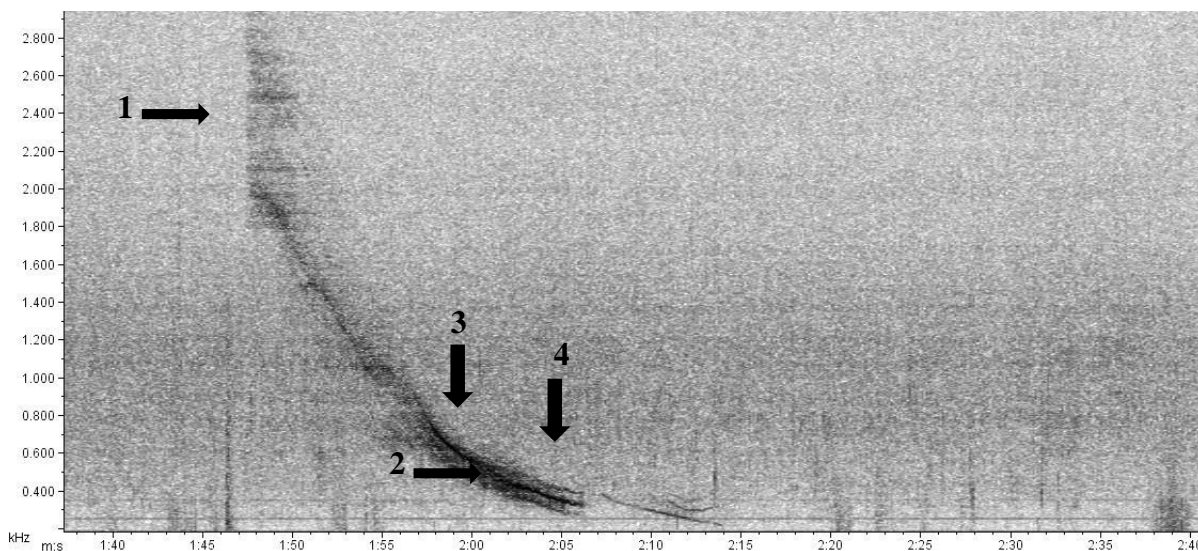


Figura 8: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo A (N=142), apresentando caos (1 e 3), banda lateral (2) e pulso de frequência (4)

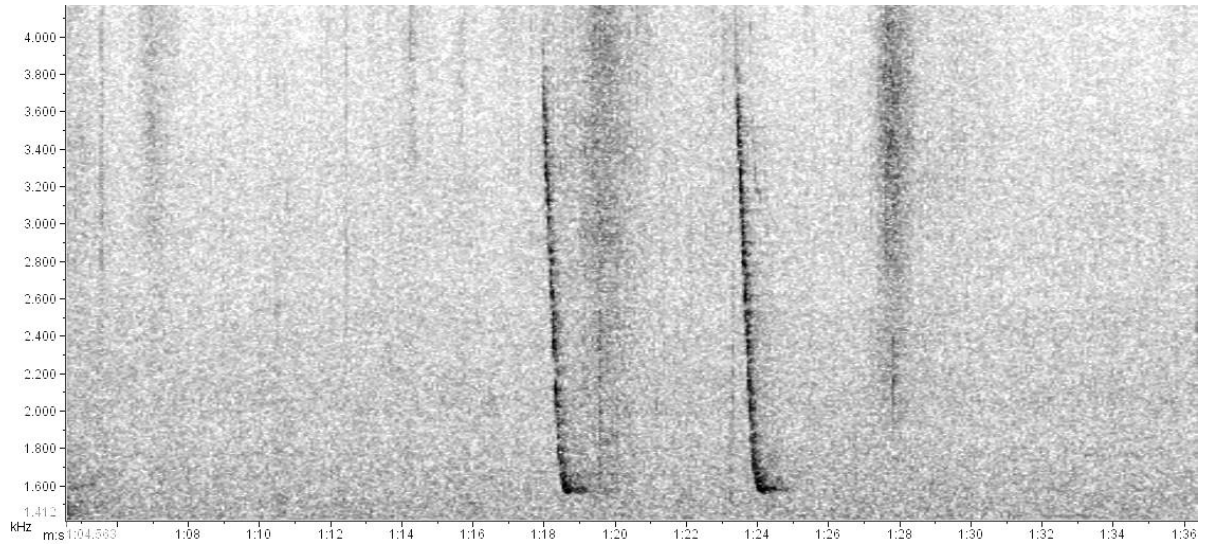


Figura 9: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo B (N=139).

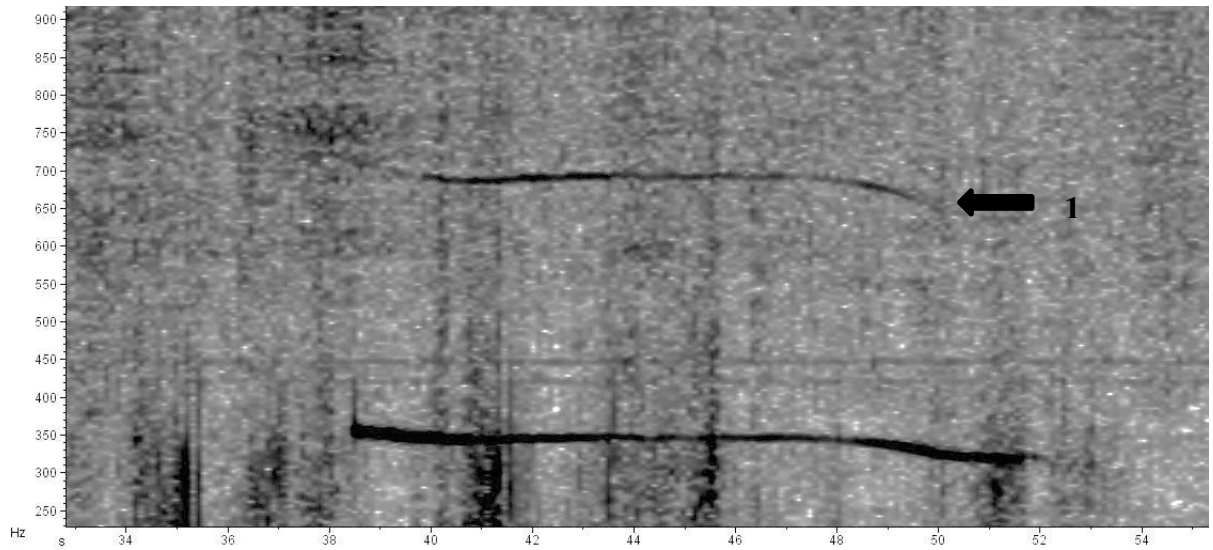


Figura 10: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo C (N=108), apresentando harmônico (1).

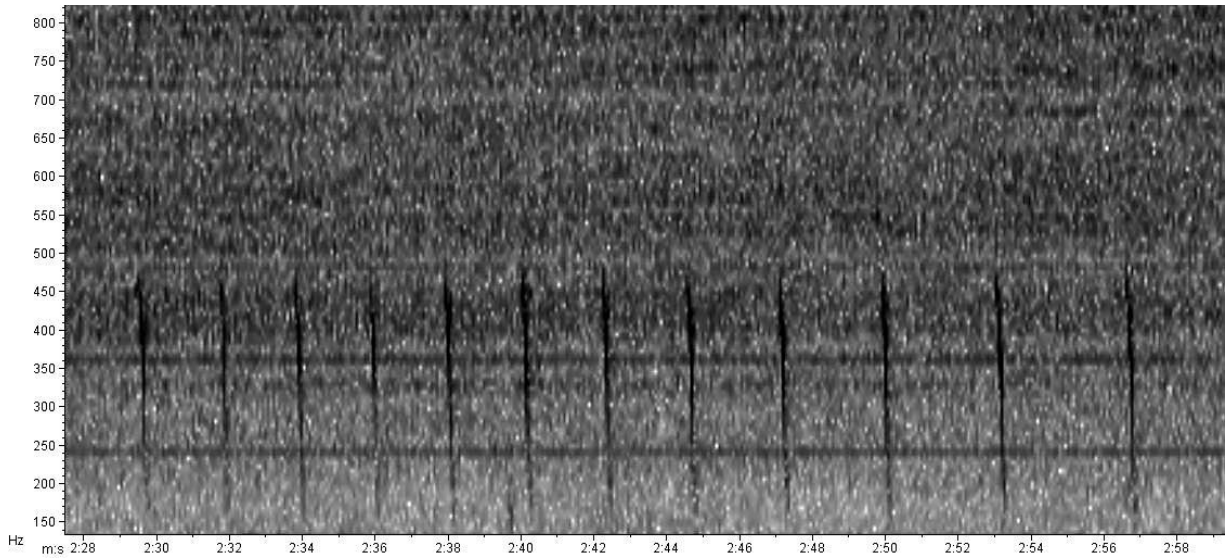


Figura 11: Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo D (N=88).

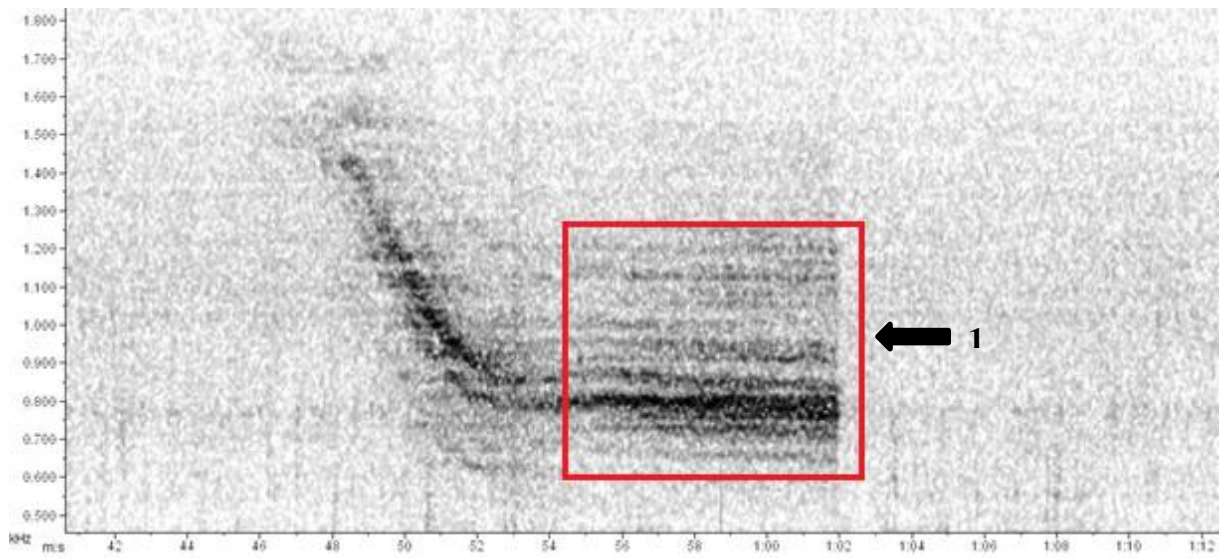


Figura 12: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo E (N=251), apresentando caos determinístico (1). O retângulo em vermelho demarca a porção onde primordialmente encontra-se a emissão caótica de maior energia.

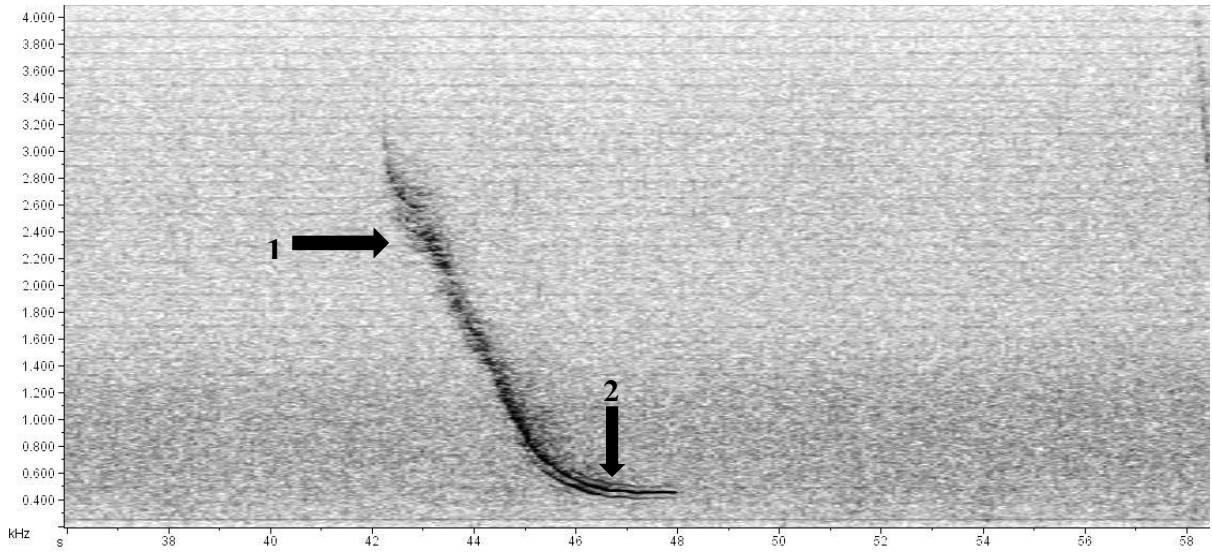


Figura 13: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo F (N=179), apresentando banda lateral (2) e caos determinístico (1).

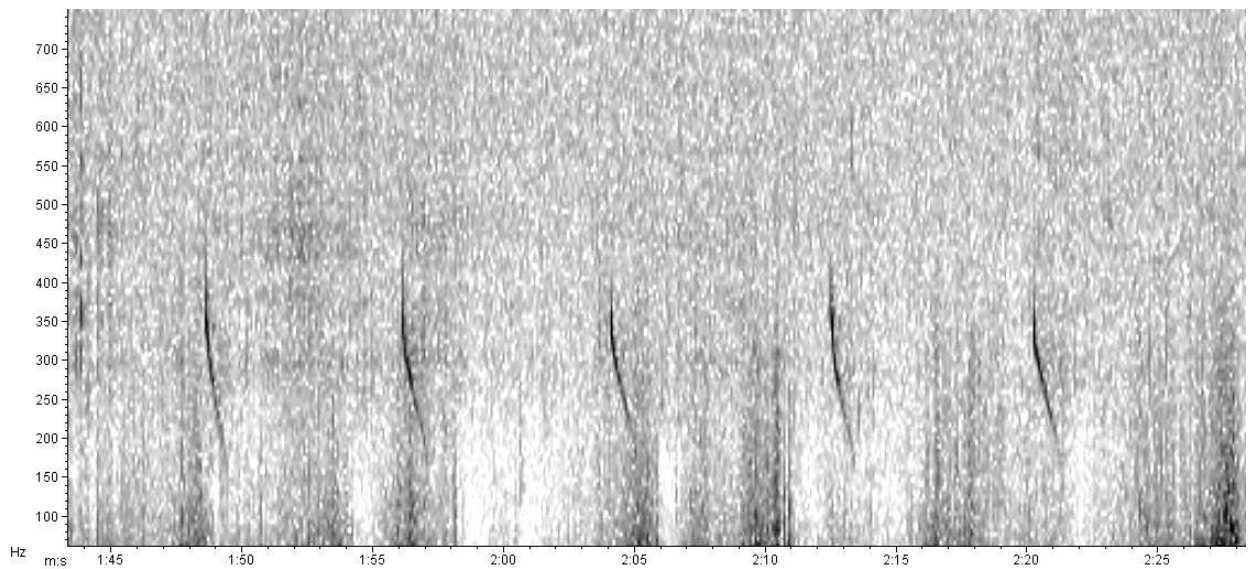


Figura 14: Espectrograma típico das vocalizações tonal do tipo G (N=135).

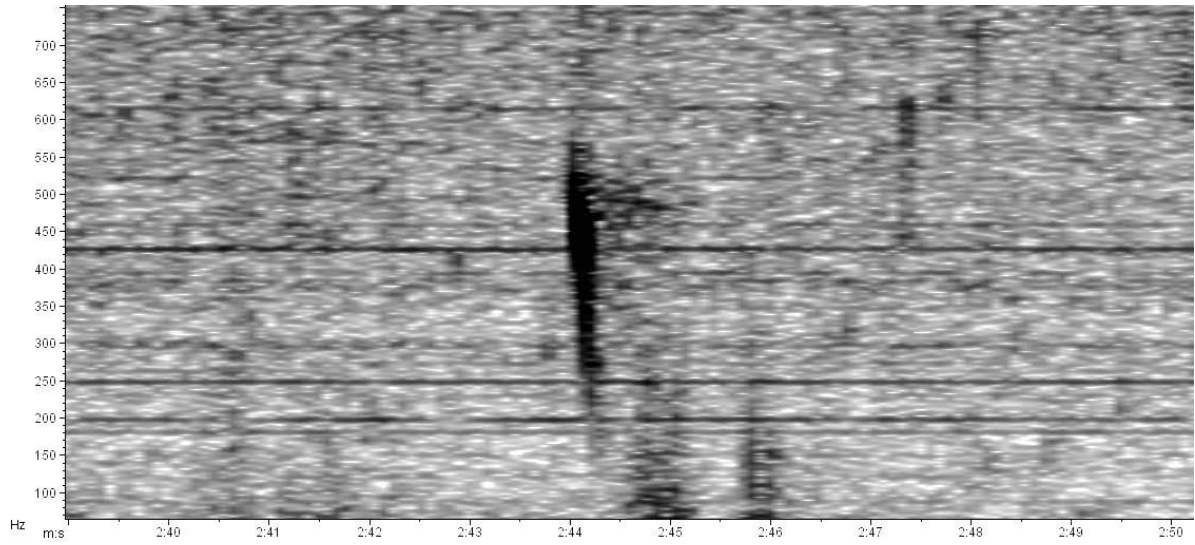


Figura 15: Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo H (N=35).

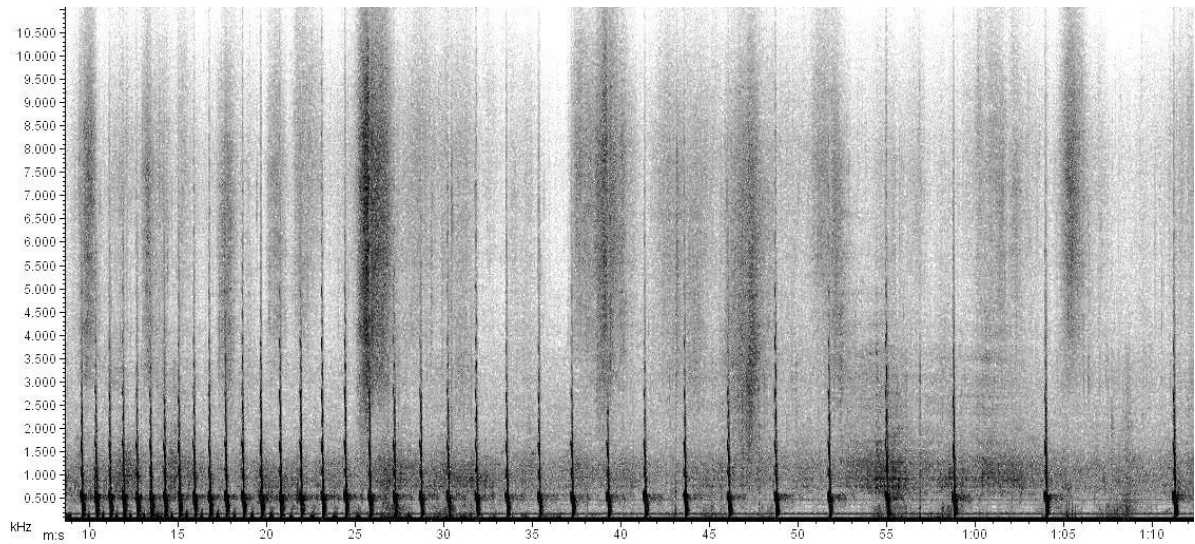


Figura 16: Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo I (N=11).

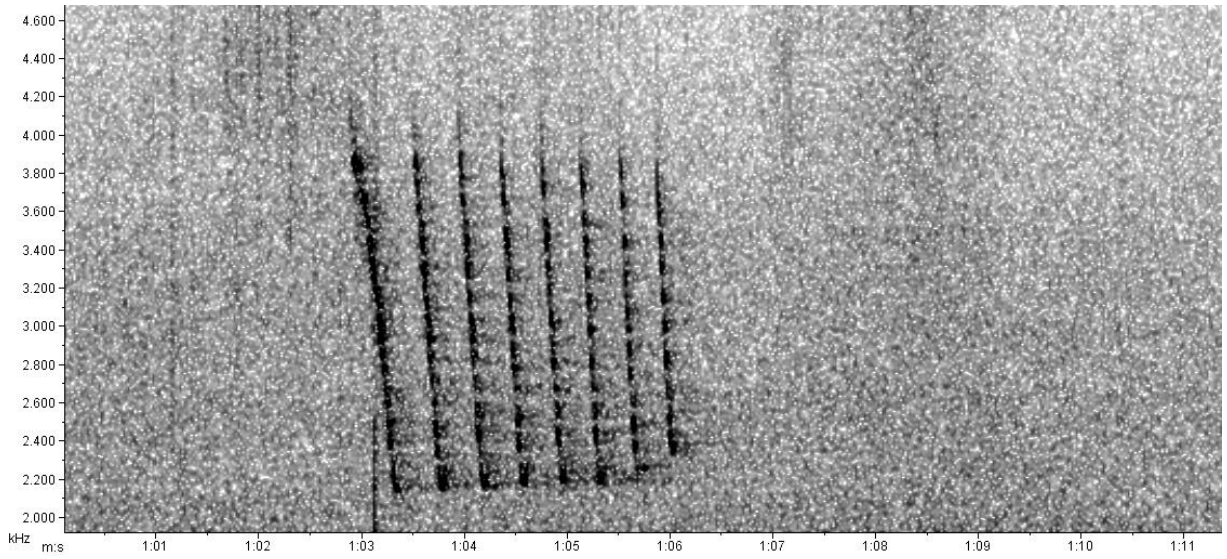


Figura 17: Espectrograma típico das vocalizações pulsantes do tipo J (N=80).

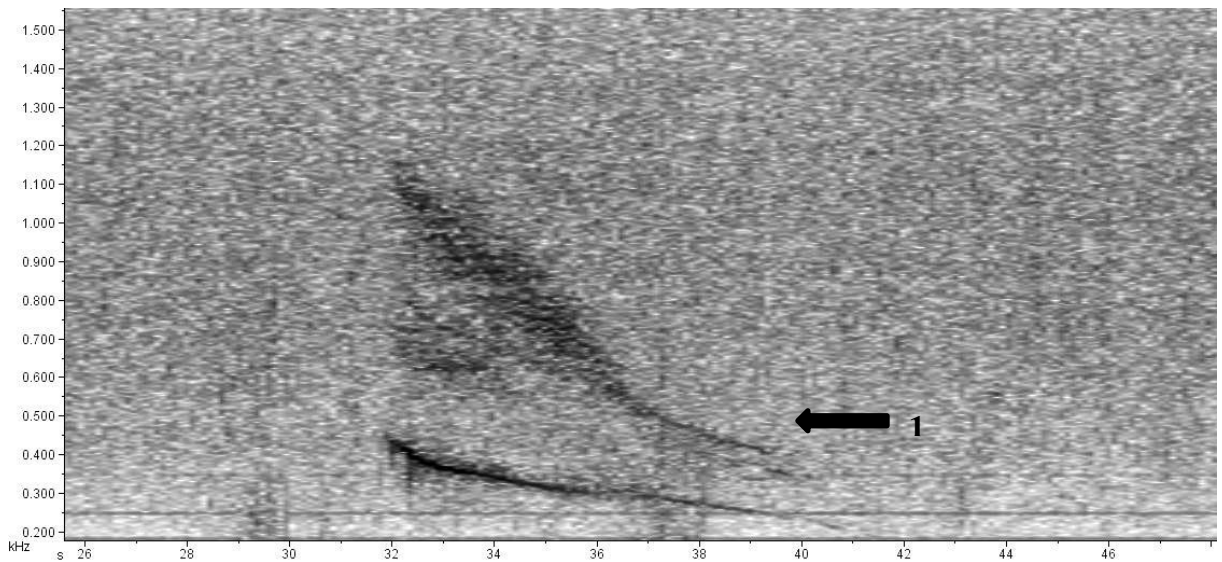


Figura 18: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo K (N=249), apresentando bifonação (1).

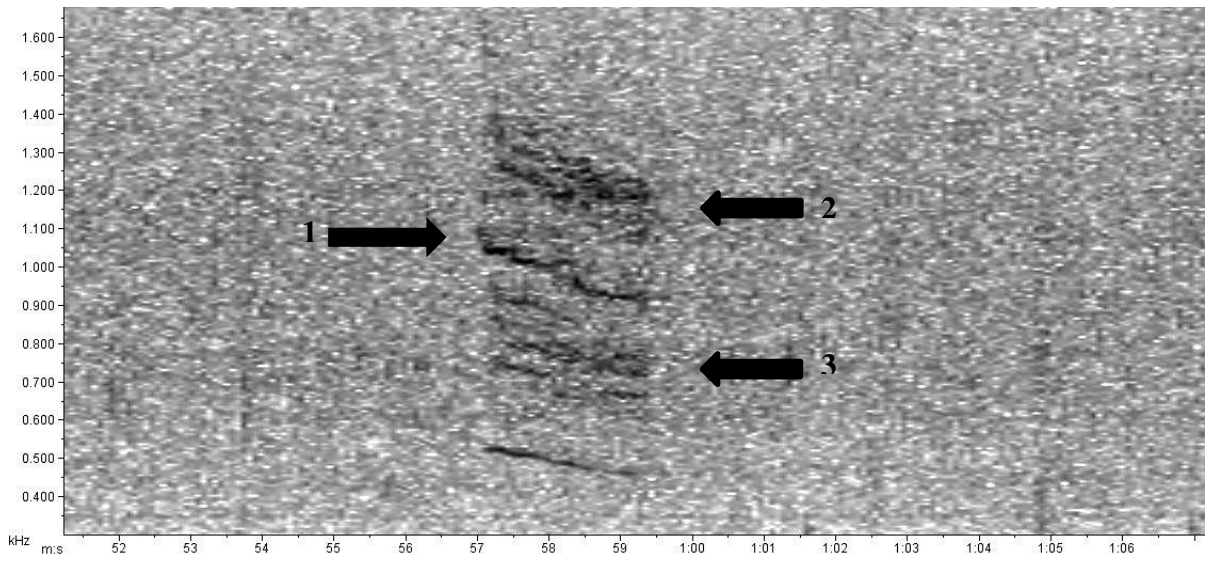


Figura 19: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo L (N=216), apresentando harmônico (1) e caos determinístico (2 e 3).

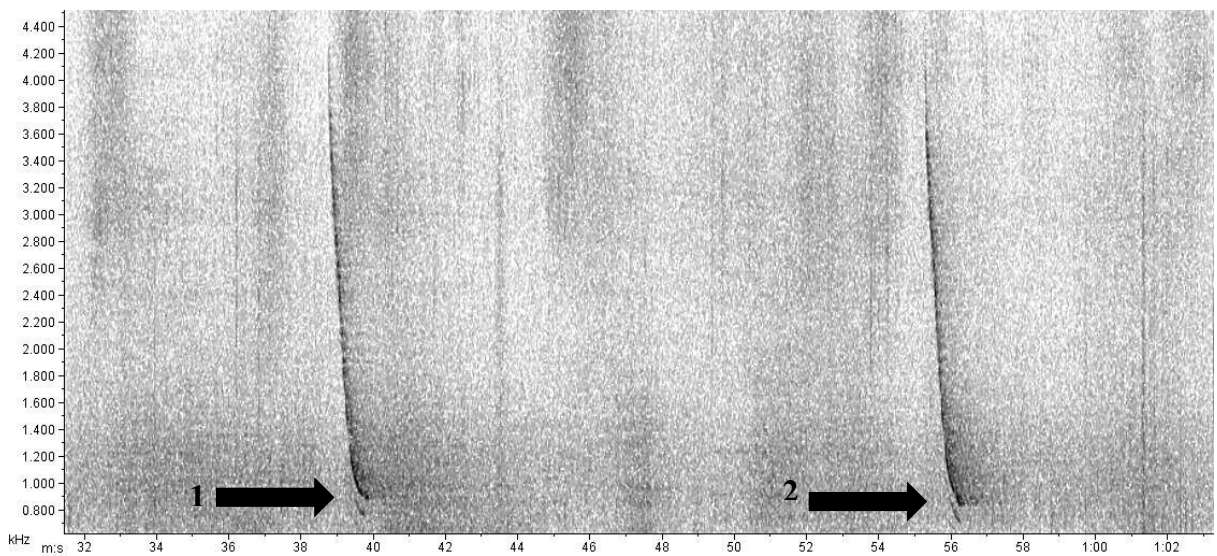


Figura 20: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo M (N=47), apresentando bifonação independente (1 e 2).

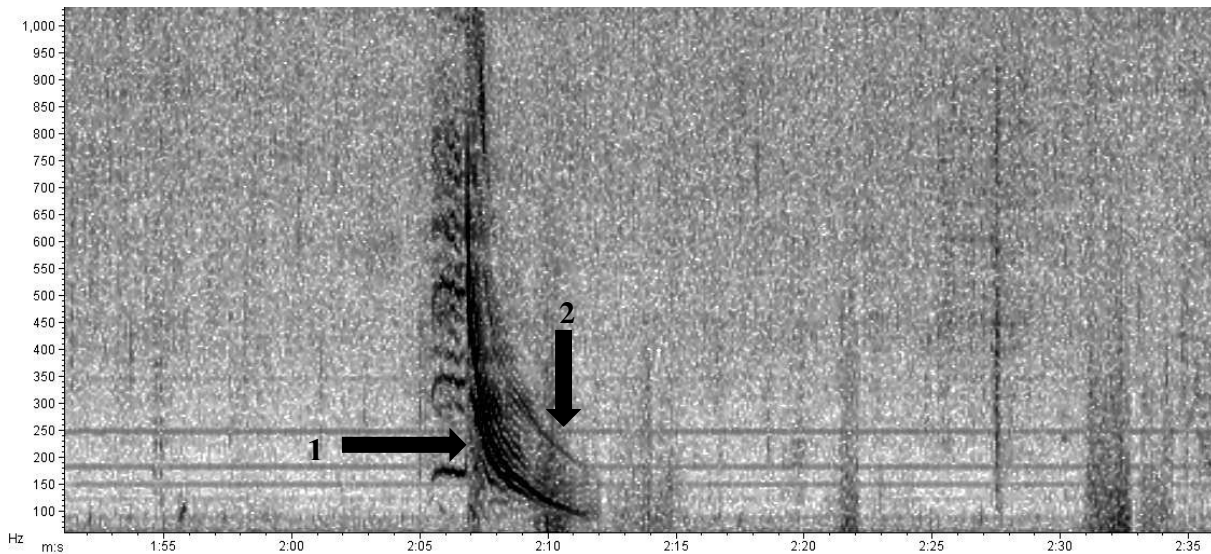


Figura 21: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo N (N=139), apresentando banda lateral (1) e harmônico (2).

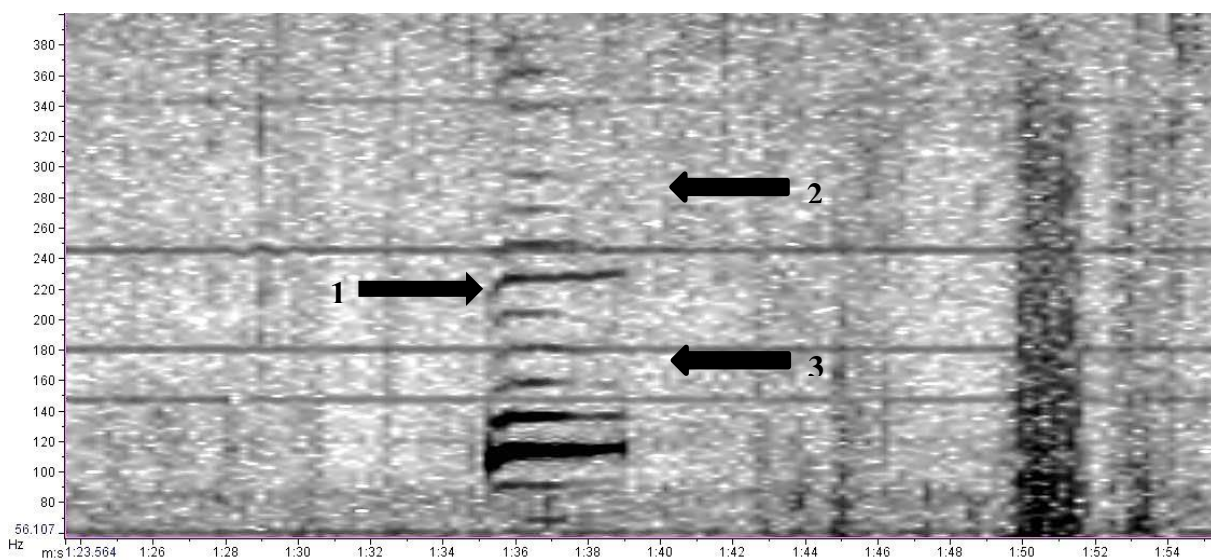


Figura 22: Espectrograma típico das vocalizações tonais do tipo O (N=10), apresentando harmônico (1) e sub-harmônicos (2 e 3).

Tabela 1: Média, desvio padrão (\pm) e covariância (CV) dos parâmetros quantitativos e moda^(*) dos valores qualitativos nas vocalizações. N: número de observações; FMn: frequência mínima; FMx: frequência máxima; VF: variação de frequência; DU: duração da unidade; PF: pico de frequência; Stp: número de *steps*; Rep: número de repetições; InRep: intervalo entre repetições; FNL: fenômeno não linear.

Tipo	N	FMn(Hz)	FMx (Hz)	VF (Hz)	DU (ms)	PF (Hz)	Stp*	Rep*	InRep*	FNL*
A	53	318,0 \pm 85,7 (CV = 0,3)	2094,1 \pm 340,5 (CV = 0,2)	1751,9 \pm 379,3 (CV = 0,2)	19346,0 \pm 3001,2 (CV = 0,2)	430,7 \pm 117,6 (CV = 0,3)	0	0	3	1
B	52	1615,4 \pm 225,6 (CV = 0,1)	4032,6 \pm 259,0 (CV = 0,1)	2371,3 \pm 245,2 (CV = 0,1)	0,9 \pm 0,3 (CV = 0,3)	1714,6 \pm 436,3 (CV = 0,3)	0	0	3	0
C	51	318,8 \pm 21,8 (CV = 0,1)	366,6 \pm 26,4 (CV = 0,1)	47,8 \pm 16,2 (CV = 0,3)	13021,9 \pm 1948,5 (CV = 0,2)	344,2 \pm 28,5 (CV = 0,1)	1	0	3	1
D	16	216,2 \pm 96,2 (CV = 0,44)	532,9 \pm 42,9 (CV = 0,1)	316,8 \pm 97,8 (CV = 0,3)	0,3 \pm 0,2 (CV = 0,6)	449,5 \pm 50,1 (CV = 0,1)	0	11	1	0
E	51	793,0 \pm 67,6 (CV = 0,1)	1461,0 \pm 139,3 (CV = 0,1)	668,0 \pm 171,3 (CV = 0,3)	13887,3 \pm 1521,0 (CV = 0,1)	904,1 \pm 97,9 (CV = 0,1)	1	0	3	1
F	34	396,56 \pm 35,63 (CV = 0,1)	2916,0 \pm 303,0 (CV = 0,1)	2519,5 \pm 300,6 (CV = 0,1)	6363,2 \pm 922,9 (CV = 0,1)	745,9 \pm 194,2 (CV = 0,3)	0	0	3	1
G	34	186,6 \pm 55,1 (CV = 0,3)	450,0 \pm 47,6 (CV = 0,1)	263,4 \pm 67,1 (CV = 0,3)	862,9 \pm 2372,0 (CV = 2,8)	332,4 \pm 49,0 (CV = 0,2)	0	1	0	0
H	7	234,4 \pm 68,1 (CV = 0,3)	562,6 \pm 51,5 (CV = 0,1)	328,2 \pm 75,3 (CV = 0,2)	0,4 \pm 0,2 (CV = 0,5)	473,3 \pm 31,0 (CV = 0,1)	0	0	3	0
I	6	0,0	11000,0 \pm 0,0	11000,0 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1 (CV = 0,2)	465,0 \pm 55,8 (CV = 0,1)	0	13	1	0
J	25	2101,1 \pm 34,9 (CV = 0,02)	4192,7 \pm 154,8 (CV = 0,04)	2091,6 \pm 154,7 (CV = 0,1)	0,6 \pm 0,1 (CV = 0,2)	2605,1 \pm 535,7 (CV = 0,2)	0	7	0	0
K	35	206,7 \pm 47,1 (CV = 0,2)	440,5 \pm 16,9 (CV = 0,04)	233,9 \pm 52,7 (CV = 0,2)	7890,6 \pm 2403,3 (CV = 0,3)	364,2 \pm 53,0 (CV = 0,2)	0	0	3	1
L	10	487,6 \pm 179,5 (CV = 0,4)	571,4 \pm 181,2 (CV = 0,3)	83,8 \pm 43,8 (CV = 0,5)	4332,6 \pm 3766,0 (CV = 0,9)	532,8 \pm 0,9 (CV = 0,3)	0	0	3	1
M	21	844,7 \pm 22,8 (CV = 0,03)	3894,4 \pm 257,5 (CV = 0,1)	3049,7 \pm 254,2 (CV = 0,1)	1454,6 \pm 259,5 (CV = 0,2)	897,3 \pm 60,8 (CV = 0,1)	0	1	0	1
N	40	161,6 \pm 68,7 (CV = 0,4)	761,8 \pm 60,8 (CV = 0,1)	600,1 \pm 78,3 (CV = 0,1)	2390,0 \pm 1290,0 (CV = 0,5)	411,0 \pm 99 (CV = 0,2)	0	0	3	1
O	6	96,6 \pm 4,2 (CV = 0,04)	133,3 \pm 6,2 (CV = 0,05)	36,7 \pm 7,9 (CV = 0,2)	4767,0 \pm 442,1 (CV = 0,1)	125,2 \pm 6,3 (CV = 0,1)	1	0	3	1

Todos os tipos agrupados apresentaram um Coeficiente de Variação menor que um (01), indicando a homogeneidade dentro de cada grupo (Tabela 1). A ordenação MDS para tipos tonais foi capaz de explicar 98,85% da variância, apresentando um estresse final de 0.00963 (Figura 23). Já a ordenação MDS para os tipos pulsantes foi capaz de explicar 97,47% da variância, apresentando um estresse final de 0.02253 (Figura 24).

O resultado da PerMANOVA confirmou os agrupamentos dos tipos tonais ($F=362.53$, $R^2=0.90603$, $p<0,01$) e pulsantes ($F=936.69$, $R^2=0.98252$, $p<0,01$). Já os resultados do post-hoc pareado indicou diferença significativa entre quase todos os tipos testados, exceto entre os tipos D e H (Tabela 2).

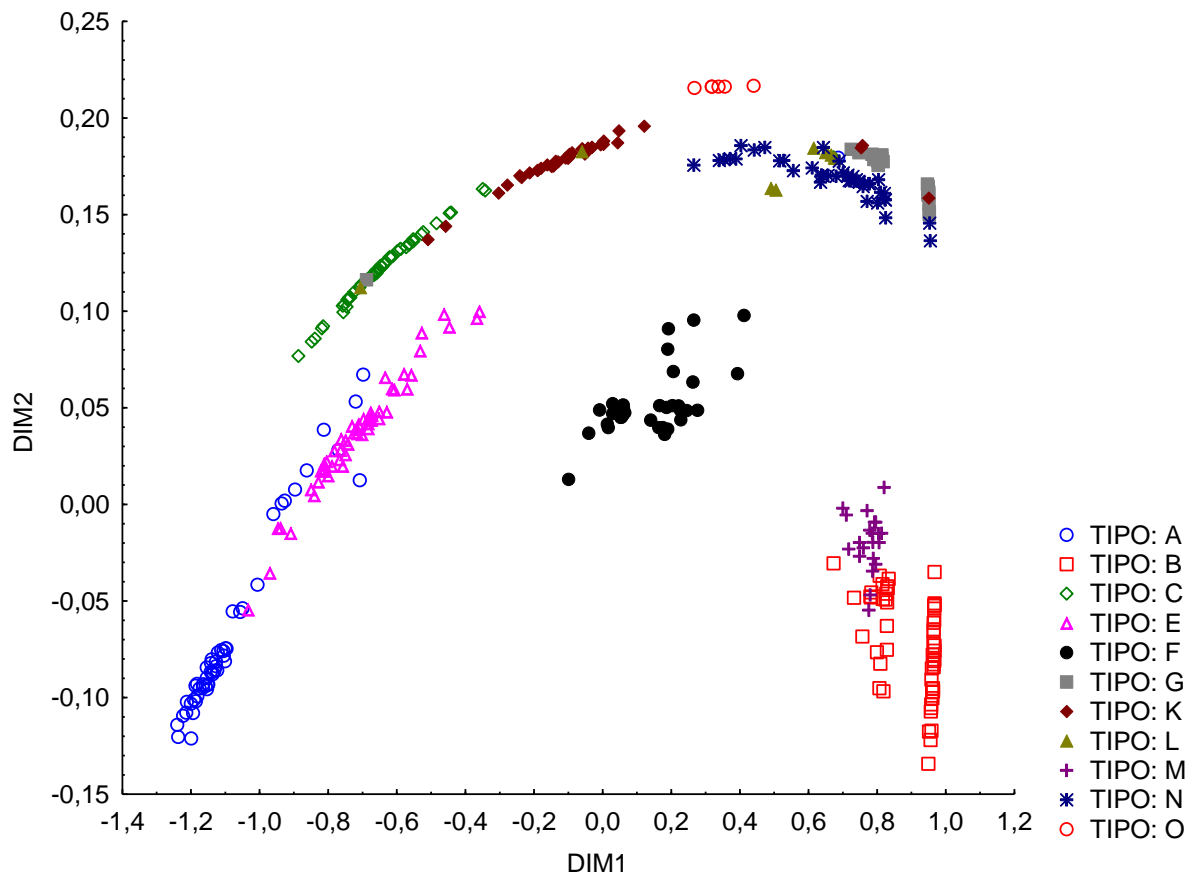


Figura 23: Ordenação MDS dos tipos tonais usando parâmetros quantitativos (frequência mínima, frequência máxima, variação de frequência, duração da unidade e pico de frequência). Estresse = 0.00963, proporção de variância (RSQ) = 0.98849.

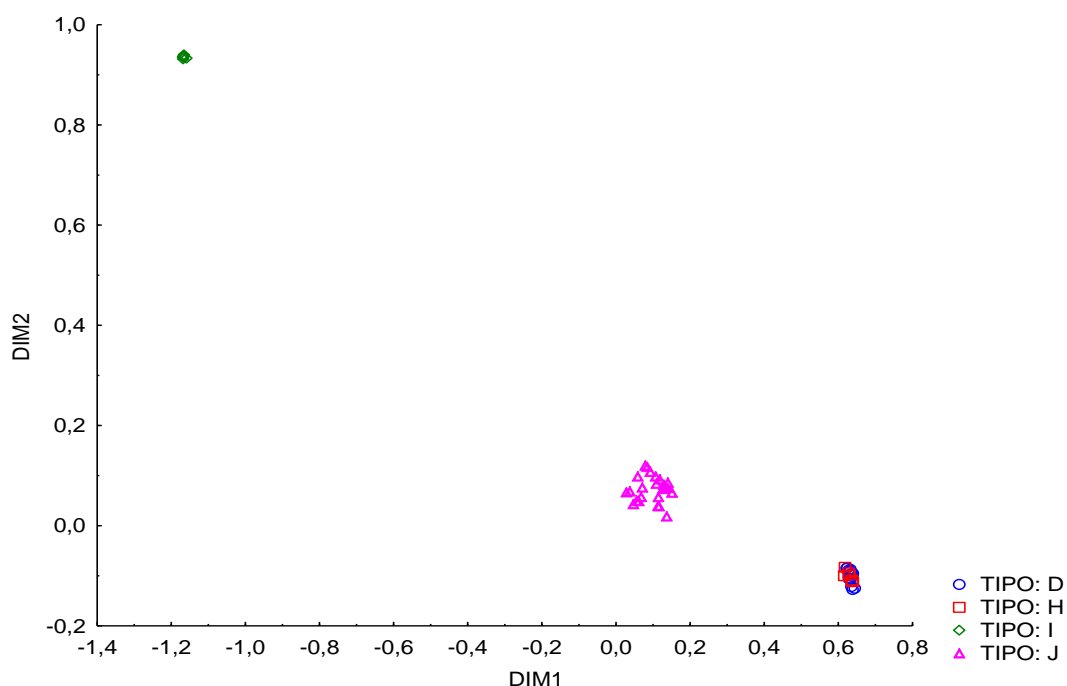


Figura 24: Ordenação MDS dos tipos pulsantes usando parâmetros quantitativos (frequência mínima, frequência máxima, variação de frequência, duração da unidade, pico de frequência e número de repetições). Estresse = 0.02253, Proporção de variância (RSQ) = 0.97467.

Tabela 2: Resultados dos testes post-hoc pareados para os tipos tonais e pulsantes.

Teste	TONAL							PULSANTE							
	F	R ²	P	Teste	F	R ²	p	Teste	F	R ²	p	Teste	F	R ²	P
AxB	1394,50	0,93	<0,01	CxE	62905,00	0,39	<0,01	FxN	272,23	0,79	<0,01	DxH	0,79	0,04	0,47
AxC	114,04	0,53	<0,01	CxF	547,04	0,87	<0,01	FxO	254,39	0,87	<0,01	DxI	378,62	0,95	<0,01
AxE	83553,00	0,46	<0,01	CxG	662,48	0,89	<0,01	GxK	173,87	0,72	<0,01	DxJ	939,34	0,96	<0,01
AxF	309,54	0,78	<0,01	CxK	50857,00	0,38	<0,01	GxL	35,431	0,46	<0,01	HxI	522,09	0,98	<0,01
AxG	672,47	0,89	<0,01	CxL	111,16	0,65	<0,01	GxM	301,75	0,85	<0,01	HxJ	922,05	0,97	<0,01
AxK	141,18	0,62	<0,01	CxM	1243,80	0,95	<0,01	GxN	55,046	0,43	<0,01	IxJ	1274,60	0,98	<0,01
AxL	140,75	0,70	<0,01	CxN	511,21	0,85	<0,01	GxO	80,996	0,68	<0,01				
AxM	580,47	0,89	<0,01	CxO	124,44	0,69	<0,01	KxL	17774,00	0,29	<0,01				
AxN	512,03	0,85	<0,01	ExF	843,35	0,91	<0,01	KxM	249,96	0,82	<0,01				
AxO	160,30	0,74	<0,01	ExG	924,46	0,92	<0,01	KxN	109,61	0,60	<0,01				
BxC	2798,70	0,97	<0,01	ExK	106,89	0,56	<0,01	KxO	12785,00	0,25	<0,01				
BxE	3768,90	0,97	<0,01	ExL	181,25	0,75	<0,01	LxM	110,99	0,79	<0,01				
BxF	923,86	0,92	<0,01	ExM	2370,80	0,97	<0,01	LxN	13,64	0,22	<0,01				
BxG	755,85	0,9	<0,01	ExN	606,23	0,87	<0,01	LxO	82843,00	0,37	<0,05				
BxK	673,43	0,89	<0,01	ExO	568,39	0,91	<0,01	MxN	208,47	0,78	<0,01				
BxL	304,38	0,84	<0,01	FxG	468,81	0,88	<0,01	MxO	1786,00	0,99	<0,01				
BxM	151,19	0,68	<0,01	FxK	82922	0,55	<0,01	NxO	42292,00	0,49	<0,01				
BxN	616,64	0,87	<0,01	FxL	91,67	0,69	<0,01								
BxO	1301,40	0,96	<0,01	FxM	398,75	0,88	<0,01								

Em todos os dias em que houve gravações de focídeos foi observado um padrão de emissão para os tipos L, K e E, organizados na sequência K, L e E, respectivamente (Figura 25). A organização KLE foi observada em 100% das ocorrências. Este padrão também pode ser evidenciado pelo similar número de emissões destes tipos (E=251, L=216 e K=249).

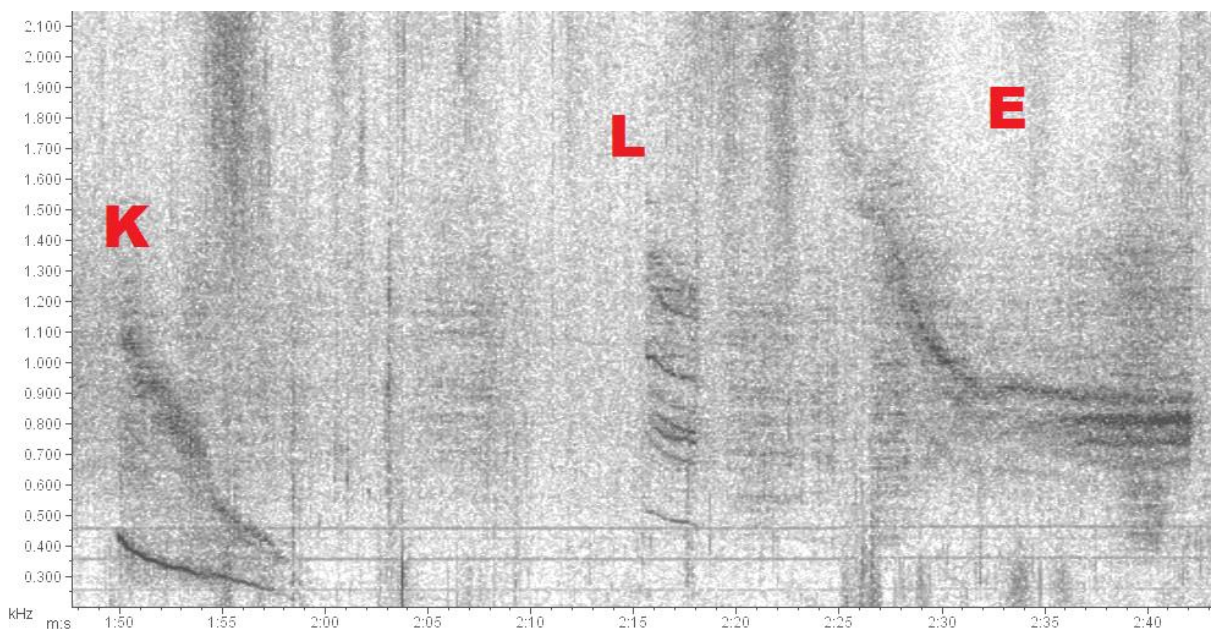


Figura 25: Padrão de ocorrência dos tipos E, K e L.

Após a inspeção visual de todos os arquivos, foram encontrados pulos de frequência bifonações, harmônicos, banda lateral e caos em nove tipos de vocalizações (A, C, E, F, G, K, L, M, N e O) (Figuras 8-22). Os FNLs foram abundantes em todos os arquivos, estando presentes em 75,56% (N=1829) das vocalizações. O mais comum foi o caos determinístico, estando presente em 53,86% das feições não lineares e 43,08% das vocalizações em geral. Levando em conta apenas as vocalizações tonais (emissões com possibilidade de apresentar FNLs), 83,91% das vocalizações foram não lineares. Adicionalmente, alguns tipos apresentaram mais de um tipo de FNL.

Com exceção do tipo O, que não foi observado no dia 16/11, todos os tipos que apresentaram FNLs foram encontrados em todos os dias, porém mais frequentemente no dia 13/11 (N = 612) e menos frequentemente no dia 12/11 (N = 83) (Figura 26). Já os demais tipos foram mais abundantes no dia 15/11 (N = 534) e não foram encontrados no dia 16/11.

A maior parte das vocalizações que possuem FNLs apresentaram a mesma feição não linear em todas as ocorrências. Entretanto, os tipos C, K e O algumas vezes não apresentaram feições não lineares, contudo foram não lineares em mais de 85% das vezes (85,65%, 99,19% e 87,50%, respectivamente).

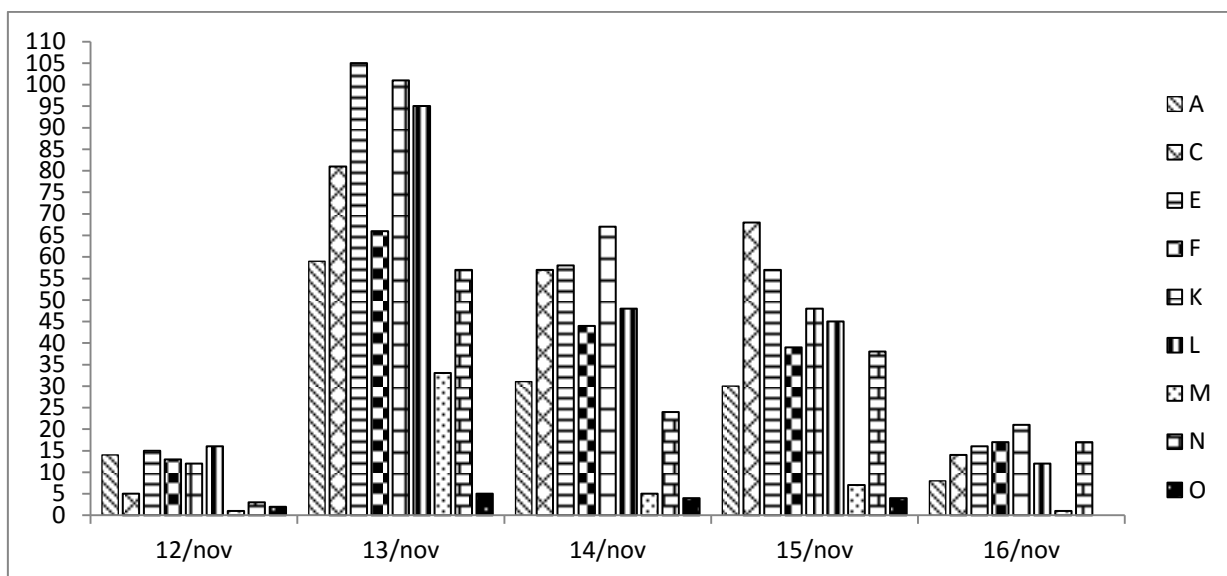


Figura 26: Variação do número de vocalizações com FNLs por dia.

4. DISCUSSÃO

O menor nível taxonômico alcançado foi a tribo Lobodontini. Isto se deve à similaridade das vocalizações entre os Lobodontini e ao baixo número de publicações com espectrogramas de vocalizações subaquáticas de focas antárticas, para que se pudessem comparar as emissões encontradas com repertórios já conhecidos. Mesmo para espécies cujos repertórios foram anteriormente gravados em outras regiões, uma identificação exclusivamente acústica não é possível, visto que este grupo taxonômico possui evidências de regionalismo (STIRLING e THOMAS, 2003). Adicionalmente, os trabalhos de base que descrevem o repertório dessas espécies foram feitos entre o final da década de 60 até os anos 80, podendo ter sofrido mudanças ao longo dos anos.

Além do presente trabalho, STIRLING e SNIFF (1979) também fizeram gravações subaquáticas de focas no arquipélago Shetland do Sul. Neste trabalho, foram gravadas emissões subaquáticas de foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) e foca caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*). As espécies foram identificadas visualmente e não houve concomitância das espécies na água durante o período de gravação. Entretanto, nenhuma vocalização reportada por STIRLING e SNIFF (1979) foi encontrada no presente trabalho (Figura 27).

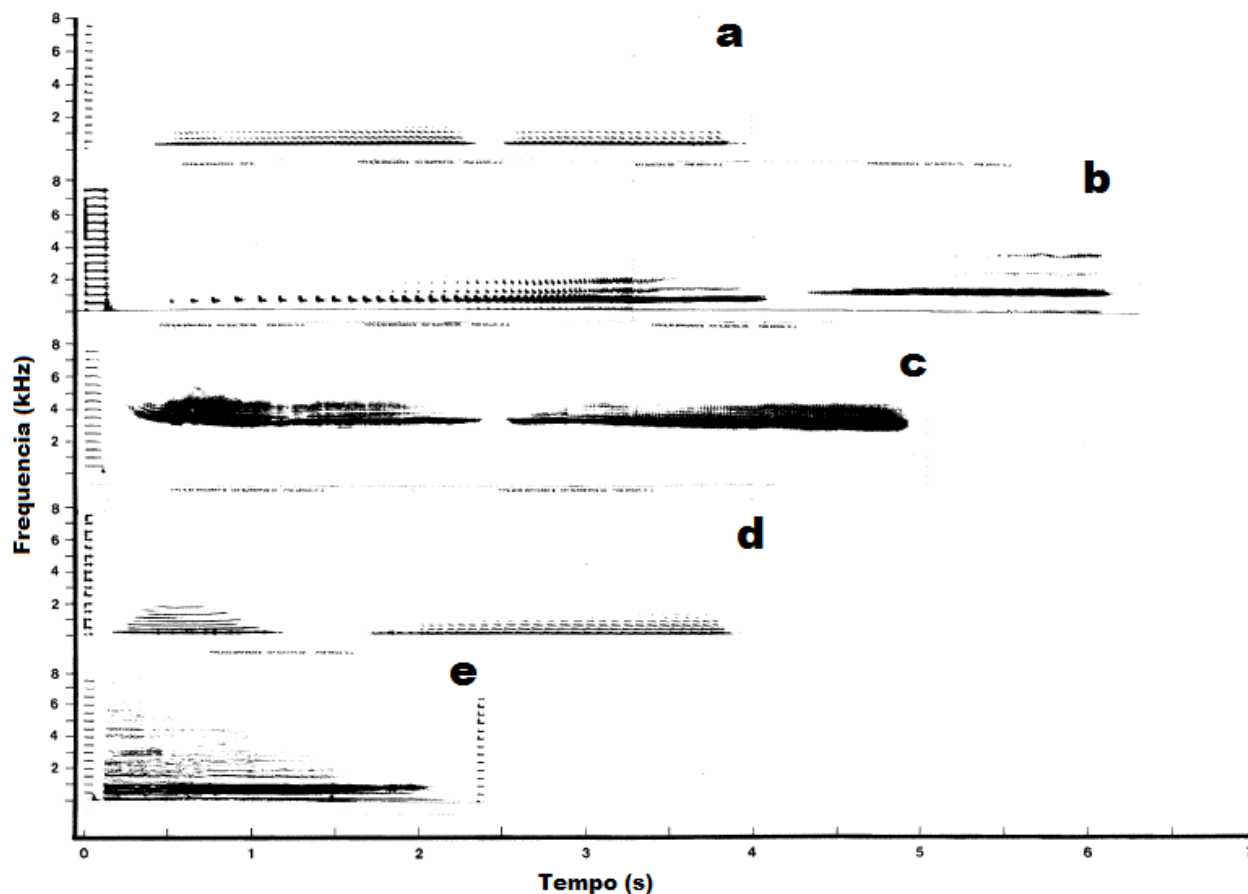


Figura 27: Espectrogramas das vocalizações encontradas em focas no arquipélago Shetland do Sul na Antártica. Vocalizações a, b, c e d - Foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*). Vocalização e - foca caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*) (adaptado de STIRLING e SNIFF, 1979).

THOMAS e STIRLING (1983) analisaram variações geográficas em vocalizações subaquáticas de foca-de-weddell em três regiões do continente antártico. Dentre as emissões analisadas neste trabalho, apenas a vocalização MT3 assemelha-se com o tipo N (Figura 28). A vocalização MT3 foi gravada em Mc Murdo Sound na Costa Scott do continente antártico. Entretanto, as MT3 e N apresentam diferenças entre si em relação às frequências máximas e mínimas. Como estas vocalizações são de regiões geograficamente próximas, possivelmente a variação observada seja produto de mudanças temporais no repertório ou fruto de um processo de adaptação acústica.

Mesmo que não tenham sido encontrados os tipos reportados no presente trabalho em meio às literaturas pesquisadas, o padrão vocal básico encontrado corresponde às características típicas dos Lobodontines, tais como: longa duração, emissões majoritariamente descendentes e ampla faixa de frequência (THOMAS, 1982; STIRLING, 1979; WATKINS, 1985; WATKINS, 1967).

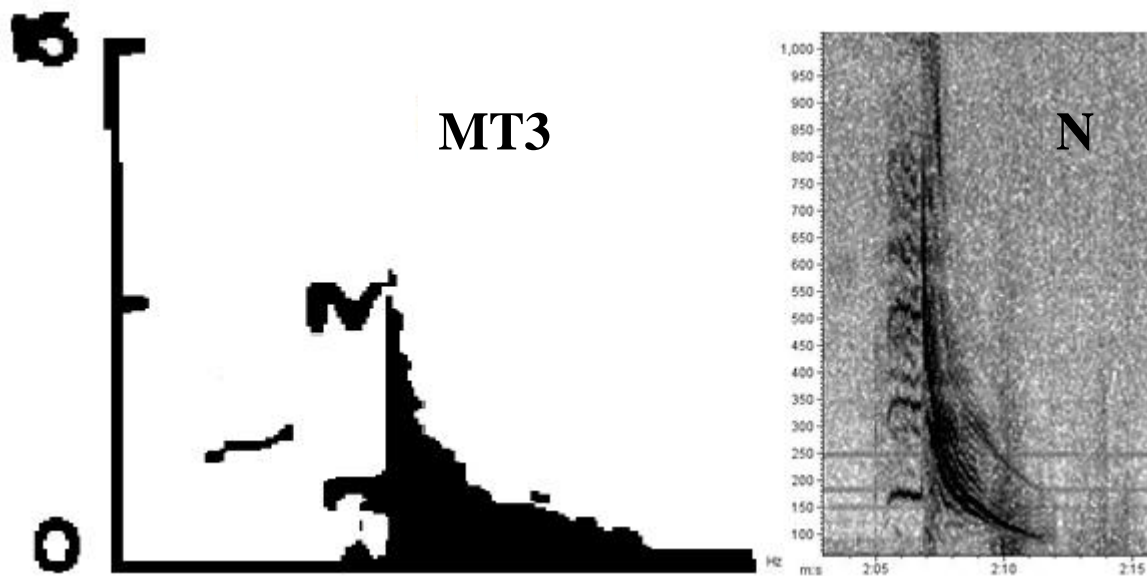


Figura 28: Comparação entre os espectrogramas das vocalizações MT3 (THOMAS e STIRLING, 1983) e N. Média das FMx (frequência máxima) e FMn (frequência mínima). MT3: FMx = 1,1 kHz; FMn = 0,2 kHz. N: FMx = 0,76 kHz; FMn = 0,16 kHz.

Os resultados da PerMANOVA indicaram que os tipos separados visualmente são verdadeiros ($p < 0,05$). Além disso, dos 15 tipos visualmente agrupados, todos os tipos tonais apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparados entre si. Já nos tipos pulsantes, apenas dois tipos não apresentaram um agrupamento confirmado pelos métodos estatísticos usados. Mesmo que apenas os D e H não tenham apresentado diferenças significativas entre si ($p > 0,05$), outros tipos apresentaram um baixo valor de R^2 quando comparados entre si, indicando na comparação de alguns tipos, as variáveis utilizadas na separação não foram suficientes para diferenciar todos os tipos.

Adicionalmente, dentre os tipos tonais, as vocalizações B, F e M possivelmente poderão ser utilizadas por sistemas autônomos de identificação automática, visto que não se sobrepõem a outros tipos, são significativamente diferentes de todos os outros tipos e possuem valores de R^2 superiores a 0,6. Já dentre os tipos pulsantes, as vocalizações I e J são as melhores opções para sistemas autônomos de identificação automática, visto que não se sobrepõem a outros tipos, são significativamente diferentes de todos os outros tipos e possuem valores de R^2 superiores a 0,8.

O padrão KLE apresentou uma repetição rítmica das chamadas. Este tipo de padrão já foi reportado para focas-de-weddell. Segundo MOORS e TERHUNE (2004), esta repetição pode aumentar a probabilidade de reconhecimento por indivíduos da mesma espécie. Desta forma, provavelmente a repetição do padrão KLE também apresenta uma função de reconhecimento. Além disso, como este padrão KLE possui repetições constantes e estereotipadas, pode ser usado por métodos autônomos de identificação acústica passiva.

De forma geral, todas as vocalizações não lineares apresentaram consistentemente o mesmo tipo de FNL e o mesmo contorno. As bifonações encontradas nos tipos K e M poderiam ter sido confundidas com duetos, já reportados em pinípedes (LE BOEUF, 1973). Contudo, as bifonações no caso deste estudo apresentaram regularmente o mesmo contorno em todas as ocorrências em diferentes dias, o que torna pouco provável a existência de duetos.

Mesmo que os tipos C, K e O não tenham apresentado FLN em algumas ocorrências, o apresentaram na maior parte das vezes. Desta forma, a eventual ausência de FNL nestas vocalizações pode ter se dado pelo afastamento da fonte emissora ao hidrofone. Esta hipótese torna-se mais evidente, visto que essas ausências ocorreram em vocalizações de menor energia.

Como as vocalizações não lineares correspondem à maior parte das vocalizações, o padrão de ocorrência dos FNL ao longo dos dias foi similar ao encontrado nas vocalizações em geral. Desta forma, o padrão diário de ocorrência de FNL corresponde à variação de ocorrência das vocalizações nos dias amostrados.

Os FNLs, principalmente o caos determinístico, apresentaram alta incidência nas vocalizações estudadas indicando que este tipo de emissão possui uma função importante na comunicação, tais como: reconhecimento individual e a informação de status como sexo, idade e condições físicas (WILDEN *et al.*, 1998). Além disso, esta alta incidência sugere que os FNLs pertencem ao repertório acústico padrão de Lobodontines antárticos, não sendo fruto de fenômenos estocásticos.

5. CONCLUSÕES

- As vocalizações analisadas pertencem a Lobodontines
- Foram encontrados 15 tipos de vocalizações estereotipadas.
- O agrupamento visual das vocalizações mostrou-se eficaz para a maioria das vocalizações tonais, mas não foi muito eficaz para todas as vocalizações pulsantes devido aos parâmetros escolhidos.
- O padrão KLE representa repetições rítmicas das chamadas que podem aumentar chance de reconhecimento por indivíduos da mesma espécie.
- Os tipos B, F, M, I e J e o padrão KLE podem ser usados por sistemas autônomos de identificação.
- As vocalizações estudadas possuem alta incidência de FNLs, principalmente fenômenos caóticos, que podem ser usados como sinal de reconhecimento individual e transmissão de informação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, v. 26, n. 1, p. 32-46. 2001.
- BALLARD, K.A.; KOVACS, K.M. The acoustic repertoire of hooded seals (*Cystophora cristata*). *Canadian Journal of Zoology*, v. 73, p. 1362–1374. 1995.
- BENKO, T. P.; PERC, M. Singing of *Neoconocephalus robustus* as an example of deterministic chaos in insects. *Journal of Biosciences*, v. 32, n. 4, p. 797–804. 2007.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. *Marine mammals: evolutionary biology*. Academic Press, p. 270-311, 2005.
- DIGBY, A.; BELL, B.D.; TEAL, P.D. Non-linear phenomena in little spotted kiwi calls. *Bioacoustics*, v. 23, n. 2, p.113–128. 2014.
- EDOH, K.; HUGHES, D.; KATZ, R. Nonlinearity in cicada sound signals. *Journal of Biological Systems*, v. 21, n. 1, p.1350004. 2013.
- FACCHINI, A.; BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N.; RUSTICI, M. Characterization of chaotic dynamics in the vocalization of *Cervus elaphus corsicanus*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 114, n. 6, p. 3040–3043. 2003.
- FEE, M. S.; SHRAIMAN, B.; PESARAN, B.; MITRA, P.P. The role of nonlinear dynamics of the syrinx in the vocalizations of a songbird. *Nature*, v. 395, p. 67–71. 1998.
- FENG, A.S.; RIEDE, T.; ARCH, V.S.; YU, Z.; XU, Z.M.; YU, X.J.; SHEN, X.J. Diversity of the vocal signals of concave-eared torrent frogs (*Odorrana tormota*): evidence for individual signatures. *Ethology*, v. 115, n. 11, p. 1015–1028. 2009.
- FILATOVA, O.A.; DEECKE, V.B.; FORD, J.K.B.; MATKIN, C.O.; BARRETT-LENNARD, L.G.; GUZEEV, M.A.; BURDIN, A.M.; HOYT, E. Call diversity in the North Pacific killer whale populations: implications for dialect evolution and population history. *Animal Behavior*, v. 83, n. 3, p. 595–603. 2012.
- FILATOVA, O.A.; FEDUTIN, I.D.; NAGAYLIK, M.M.; BURDIN, A.M.; HOYT, E. Usage of monophonic and biphonic calls by free-ranging resident killer whales (*Orcinus orca*) in Kamchatka, Russian Far East. *Acta Ethologica*, v. 12, p. 37- 44. 2009.
- FITCH, W.T.; NEUBAUER, J.; HERZEL, H. Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production. *Animal Behaviour*. v. 63, p. 407-418. 2002.
- FLETCHER, N.H. Acoustical background to the many varieties of birdsong. *Acoustics Australia*, v. 38, p. 59–62. 2010.
- FLETCHER, N.H. A class of chaotic bird calls? *Journal of Acoustic Society of America*, v. 108, n. 2, p. 821–826. 2000.
- HANGGI, E. Importance of vocal cues in other-pup recognition in a California sea lion. *Marine Mammals Science*, v. 8, p. 430–432. 1992.

- HANGGI, E.; SCHUSTERMAN, R.J. Underwater acoustic displays and individual variation in male harbor seals, *Phoca vitulina*. *Animal Behavior*, v. 48, p. 1275–1283. 1994.
- HEMILÄ, S.; NUMMELA, S.; REUTER, T. What middle ear parameters tell about impedance matching and high frequency hearing. *Hearing Research*. v. 85, p. 31–44. 1995.
- KASTELEIN, R.A.; THOMAS, J.A.; NACHTIGALL, P.E. *Sensory systems of aquatic mammals*. DeSpil, Netherlands. 1995.
- KETTEN, D.R. The marine mammal ear: specializations for aquatic audition and echolocation. In: *The evolutionary biology of hearing*. Springer New York, p. 717-750. 1992.
- KOVACS, K.M. Mother-pup reunions in harp seals, *Phoca groenlandica*: cues for the relocation of pups. *Canadian Journal of Zoology*, v. 73, p. 843–849. 1995.
- LE BOEUF, B.J.; WHITING, R.J.; GANTT, R.F. Perinatal behavior of northern elephant seal females and their young. *Behaviour*, v. 43, n. 3, p. 121-156. 1973.
- LE BOEUF, B.J.; PETRINOVICH, L.F. Elephant seal dialects: are they reliable? *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions (Denmark)*, v. 169, p. 213-218 1975.
- MANN, D.A.; O'SHEA, T J.; NOWACEK, D.P. Nonlinear dynamics in manatee vocalizations. *Marine Mammals Science*, v. 22, n. 3, p. 548–555. 2006.
- MENDE, W.; HERZEL, H.; WERMKE, K. Bifurcations and chaos in newborn infant cries. *Physics Letters A*, v. 145, p. 418–424. 1990.
- MERCADO III, E.; SCHNEIDER, J.N.; PACK, A.A.; HERMAN, L.M. Sound production by singing humpback whales. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 127, n. 4, p. 2678–2691. 2010.
- MØHL, B. Hearing in seals. In: *The behavior and physiology of pinnipeds*. Editado por R. Harrison, R. Hubbard, R. Peterson, C. Rice, and R. Schusterman, Appleton-Cenrury, New York, NY, p. 172-195, 1968.
- MOORS, H.B.; TERHUNE, J.M. Repetition patterns in Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) underwater multiple element calls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 116, n. 2, p. 1261-1270. 2004.
- NEMIROFF, L.; WHITEHEAD, H. Structural characteristics of pulsed calls of long-finned pilot whales *Globicephala melas*. *Bioacoustics*, v. 19, n. 1-2, p. 67-92. 2009.
- NICHOLS, C.R., WILLIAMS, R.G. *Encyclopedia of marine science*. Infobase Publishing, p. 30-32. 2009.
- NUMMELA, S. Scaling of the mammalian middle ear. *Hearing Research*, v. 85, n. 1, p. 18-30. 1995.
- OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B.; STEVENS, M.H.H.; OKSANEN, M.J.; SUGGESTS, M.A.S.S. The vegan package. *Community ecology package*, p. 631-637. 2007.

- OWREN, M. J.; RENDALL, D. Sound on the rebound: bringing form and function back to the forefront in understanding non-human primate vocal signalling. *Evolutionary Anthropology*, v. 10, n. 2, p. 58–71 2001.
- PAHL, B.C.; TERHUNE, J.M.; BURTON, H.R. Repertoire and geographic variation in underwater vocalisations of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*, Pinnipedia: Phocidae) at the Vestfold Hills, Antarctica. *Australian Journal of Zoology*, v. 45, n. 2, p. 171-187. 1997.
- PAPALE, E.; BUFFA, G.; FILICIOTTO, F.; MACCARRONE, V.; MAZZOLA, S.; CERAULO, M.; GIACOMA, C.; BUSCAINO, G. Biphonic calls as signature whistles in a free-ranging bottlenose dolphin. *Bioacoustics*, n. ahead-of-print, p. 1-9. 2015.
- PERRIN, W.F.; WURSIG, B. Eds. Encyclopedia of marine mammals. In Boyd, I.L. *Antarctic Marine Mammals*. Academic Press, p. 30-36. 2009.
- PETTITT, B.; BOURNE, G.; BEE, M. Quantitative acoustic analysis of the vocal repertoire of the golden rocket frog (*Anomaloglossus beebei*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 131, n. 6, p. 4811-4820. 2012.
- RAY, C.; WATKINS, W.A.; BURNS, J.J. Underwater song of *Erignathus* (bearded seal). *Zoologica (New York)*, v. 54, n. 2, p. 79-83. 1969.
- REIMAN, A.J.; TERHUNE, J. M. The maximum range of vocal communication in air between a harbor seal (*Phoca vitulina*) pup and its mother. *Marine Mammals Science*, v. 9, p. 182–189. 1993.
- REPENNING, C.A. Adaptive evolution of sea lions and walruses. *Systematic Zoology*, v. 25, p. 375–390. 1972.
- RICE, A.N.; LAND, B.R.; BASS, A.H. Nonlinear acoustic complexity in a fish ‘two-voice’ system. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, p. rspb20110656. 2011.
- RIEDE, R.; ARCADI, A.C.; OWREN, M.J. Nonlinear acoustics in the pant hoots of common chimpanzees (*Pan troglodytes*): vocalizing at the edge. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 121, n. 3, p. 1758–1767. 2007.
- RIEDE, T.; OWREN, M.J.; ARCADI, A.C. Nonlinear acoustics in pant hoots of common chimpanzees (*Pan troglodytes*): frequency jumps, subharmonics, biphonation, and deterministic chaos. *American Journal of Primatology*, v. 64, n. 3, p. 277–291. 2004.
- ROBB, M.P.; SAXMAN, J.H. Acoustic observations in young children’s non-cry vocalizations. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 83, p. 1876–1882. 1988.
- ROGERS, T.L.; CATO, D.H.; BRYDEN, M.M. Underwater vocal repertoire of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) in Prydz Bay, Antarctica. *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. De Spil, The Netherlands. Editado por R. A. Kastelein, J. A. Thomas e and P. E. Nachtigall. p. 223-236. 1995.
- ROGERS, T.L.; CATO, D. H. Individual variation in the acoustic behaviour of the adult male leopard seal, *Hydrurga leptonyx*. *Behaviour*, v. 139, n. 10, p. 1267-1286. 2002.
- ROUX, J. P.; JOUVENTIN, P. Behavioral cues to individual recognition in the subantarctic fur seal, *Arctocephalus tropicalis*. *NOAA Technical Report NMFS*, v. 51, p. 95-102. 1987.

- SIRVIO, P.; MICHELSSON, K. Sound spectrographic cry analysis of normal and abnormal newborn infants. *Folia Phoniatica*, v. 28, p. 161–173. 1976.
- STIRLING, I.; CALVERT, W.; SPENCER, C. Evidence of stereotyped underwater vocalizations of male Atlantic walruses (*Odobenus rosmarus rosmarus*). *Canadian Journal of Zoology*, v. 65, n. 9, p. 2311-2321. 1987.
- STIRLING, I.; THOMAS, J.A. Relationships between underwater vocalizations and mating systems in phocid seals. *Aquatic Mammals*, v. 29, n. 2, p. 227-246. 2003.
- SAUVÉ, C.C.; BEAUPLÉ, G.; HAMMILL, M.O.; CHARRIER, I. Acoustic analysis of airborne, underwater, and amphibious mother attraction calls by wild harbor seal pups (*Phoca vitulina*). *Journal of Mammalogy*, v. 96, n. 3, p. 591-602. 2015.
- TERHUNE, J. M.; RONALD, K. Some hooded seal (*Cystophora cristata*) sounds in March. *Canadian Journal of Zoology*, v. 51, p. 319–321. 1973.
- THOMAS, J.; KASTELEIN, R.A.; SUPIN, A.Y. *Marine Mammal Sensory Systems*, Plenum Press, New York. 1992.
- THOMAS, J.A.; KUECHLE, V.B. Quantitative analysis of the Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) underwater vocalizations at McMurdo Sound, Antarctica. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 72, p. 1730–1738. 1982.
- THOMAS, J. A.; STIRLING, I. Geographic variation in the underwater vocalisations of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*) from Palmer Peninsula and McMurdo Sound, Antarctica. *Canadian Journal of Zoology*, v. 61, p. 2203-2212. 1983.
- THOMAS, J.A.; GOLLADAY, C.L. Geographic variation in leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) underwater vocalizations. In: *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. Editado por Kastelein RA, Thomas JA, Nachtigall PE, v. 61 p. 201-221. 1995.
- TYACK, P.L.; MILLER, E.H. Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation. In: *Marine mammal biology: An evolutionary approach*. Editado por R. Hoetzel, Oxford, UK: Blackwell Science. p. 142-184. 2002.
- TYSON, R.B.; NOWACEK, D.P.; MILLER, P.J.O. Nonlinear phenomena in the vocalizations of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) and killer whales (*Orcinus orca*). *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 122, n. 3, p. 1365–1373. 2007.
- TRUBY, H.M.; LIND, J. Cry sounds of the newborn infant. In: *Newborn Infant Cry*. Editado por J. Lind). *Uppsala: Almqvist e Wiksells Boktryckeri*, p. 7–59. 1965.
- VAN PARIJS, S.M.; KOVACS, K.M.; LYDERSEN, C. Spatial and temporal distribution of vocalising male bearded seals - implications for male mating strategies. *Behaviour*, v. 138, n. 7, p. 905-922. 2001.
- VOLODIN, I.A.; VOLODINA, E.V. Biphonation as a prominent feature of dhole *Cuon alpinus* sounds. *Bioacoustics*, v. 13, n. 2, p. 105–120. 2002.
- VOLODINA, E.V.; VOLODIN, I.A.; ISAEVA, I.V.; UNCK, C. Biphonation may function to enhance individual recognition in the dhole, *Cuon alpinus*. *Ethology*, v. 112, p. 815–825. 2006.

- WATKINS, W. A.; RAY, G. C. In-air and underwater sounds of the Ross seal, *Ommatophocarossi*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 77, n. 4, p. 1598-1600. 1985.
- WATKINS, W. A. The harmonic interval: fact or artifact in spectral analysis of pulse trains. In: *Marine Bio-Acoustics*. Editado por W. N. Tavolga, (Pergamon, Oxford), v. 2 p. 15-43. 1968.
- WILDEN, I.; HERZEL, H.; PETERS, G.; TEMBROCK, G. Subharmonics, biphonation, and deterministic chaos in mammal vocalization. *Bioacoustics*, v. 9, n. 3, p. 171–196. 1998.
- WYSS, A.R. The walrus auditory region and the monophyly of Pinnipeds. *American Museum Novitates*, v. 2871, p. 1–31. 1987.
- ZOLLINGER, S.A.; RIEDE, T.; SUTHERS, R.A. Two-voice complexity from a single side of the northern mockingbird *Mimus polyglottos* vocalizations. *The Journal of Experimental Biology*, v. 211, p. 1978–1991. 2008.