

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA APLICADA
AO MANEJO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS.**

JULIANA RODRIGUES MORON

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS
DO GOLFINHO-ROTADOR: REGISTRO NA
QUEBRA DA PLATAFORMA CONTINENTAL SUL
BRASILEIRA**

**JUIZ DE FORA
2015**

JULIANA RODRIGUES MORON

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS
DO GOLFINHO-ROTADOR: REGISTRO NA
QUEBRA DA PLATAFORMA CONTINENTAL SUL
BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Orientador: Artur Andriolo

Co-orientador: Marcos Roberto Rossi-Santos

**JUIZ DE FORA
MARÇO DE 2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rodrigues Moron, Juliana.

Caracterização dos parâmetro acústicos do golfinho-rotador : Registro na quebra da plataforma continental sul Brasileira / Juliana Rodrigues Moron. -- 2015.
112 f.

Orientador: Artur Andriolo

Coorientador: Marcos Roberto Rossi-Santos
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2015.

1. Bioacústica. 2. Cetáceos. 3. Stenella. 4. Oceano Atlântico Sul . I. Andriolo, Artur, orient. II. Rossi-Santos, Marcos Roberto, coorient. III. Título.

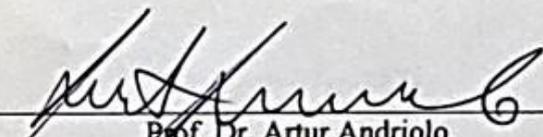
**"CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS DO GOLFINHO-
ROTADOR: REGISTRO NA QUEBRA DA PLATAFORMA CONTINENTAL SUL
BRASILEIRA"**

Juliana Rodrigues Moron

Orientador: Dr. Artur Andriolo

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Aprovado em 30 de março de 2015.



Prof. Dr. Artur Andriolo
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF



Prof.ª Dr.ª Renata Santoro de Sousa Lima Mobley
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN



Dr. Luiz Cláudio Pinto de Sá Alves
Instituto Aqualie

Para aqueles que são meu porto seguro: Lucas, Ieda, Pedro e Guilherme.

AGRADECIMENTOS

Ao meu irmão querido, que me ajudou a manter a sanidade e lembrar que sempre “ainda há tempo”. Agradeço cada conversa (presencial ou não) e prometo não deixar o mundo me engolir (espero que você também não deixe).

À minha mãe e ao meu pai, que são meus exemplos de vida e luta. Que me ajudaram a manter não só a cabeça no lugar, como a fé, alegria e paz de espírito durante esta caminhada. Obrigada por, mesmo sem compreender ao certo minhas escolhas e motivações, permanecerem ao meu lado.

Ao meu grande amor e companheiro, que fez questão de ficar do meu lado e me apoiar, não só neste projeto, mas a partir dele. Sua presença foi fundamental e fez toda a diferença. Obrigada por fazer tanta questão e de acreditar, não só nos meus sonhos, mas na gente.

Ao meu orientador Dr. Artur Andriolo, que me presenteou com a oportunidade de realizar este estudo, que há tanto tempo eu sonhava. Mas não foi só isso... Agradeço por todo aprendizado, paciência e investimento depositados em mim; assim como todas as conversas, dicas e “puxões de orelha”. Foi tudo fundamental nesta primeira fase de contato e amadurecimento com a pesquisa acústica. Espero ter o prazer e privilégio de continuar trabalhando e crescendo com você, obrigada Artur.

Ao meu coorientador Dr. Marcos Rossi-Santos, que também contribuiu para este trabalho. Agradeço por ter me recebido tão bem em Salvador, por toda aquela semana que passamos discutindo os dados e por ter levado nosso trabalho à 16ª RT. Foi um grande prazer e aprendizado poder trabalhar com você, e também espero levar esta parceria adiante.

Aos colegas guerreiros do LABEC, em especial: Federas, Franzinha, Natália, Samara, Thiago, Mari, Lud, Bruna e Franzona. À todos agradeço cada conversa, discussão, troca de experiências, aprendizado, torcida e principalmente convivência. Federas, bah! O que falar pra ti tchê? Vês se não somes nesse mundão por favor! Não quero sentir falta de dividir aflições e um chimarrão contigo. Natália e Samara, minhas companheiras de gordices e confissões, amo vocês! Thi, obrigada pela paciência, amizade e por compartilhar seu conhecimento em acústica, você foi fundamental e sabe disso. Franzinha, foi um prazer sentar do seu lado e também aprender com você. Franzona, obrigada pelo apoio durante meus estudos, você também foi muito importante! Natália! Rá! Não, lógico que não era só uma linha para você sua boba! Obrigada por ter sido minha vizinha, companheira, conselheira e amiga a partir destes dois anos. Especialmente obrigada a cada um de vocês por serem exatamente como são, torço demais por todos!

À Dra. Carmen Bazúa-Durán por todo material bibliográfico gentilmente fornecido, ainda me faltam palavras para agradecê-la devidamente.

Ao David Janiger, curador do *National History Museum* de Los Angeles, EUA, também pelo material bibliográfico fornecido e todo serviço prestado à comunidade científica de mamíferos marinhos.

Ao Bill Rossiter da *Cetacean Society International*, (CSI) por cada conversa, gentileza e preocupação; e novamente ao Bill Rossiter e equipe pelo apoio e financiamento do *168º Meeting of the Acoustical Society of America*.

À *Acoustical Society of America*, por também ter financiado minha ida ao *168º Meeting* em Indianápolis, EUA.

À minha “Pequena Londres” e todos amigos que eu fiz lá, que eu deixei há algum tempo, mas o pé continua vermelho e Londrina continua minha paixão. Especialmente a todos meus grandes amigos da Biologia da UEL, porque sem vocês a vida seria pesada e sem graça demais. À Lígia, que mesmo longe sempre se fez presente, dividindo comigo as aflições, anseios e conquistas do mestrado. À Mari e a Xu, por terem torcido por mim e acreditado desde o começo. Love you babies!!

Às minhas amigas queridas de Sorocaba, em especial às DV: Candas, Correias, Josis, Saraval, Lola, Gê e Rocha. Obrigada por, apesar da distância, estarem sempre lá. Aos amigos do meu irmão, que já considero como meus também, Bida e Fausto *in memoriam*, obrigada por cada momento musical (ou não) compartilhado.

Ao Dr. José Martins da Silva Jr por ter me apresentado esta espécie há seis anos atrás, e toda equipe do Projeto Golfinho Rotador, em especial Ritinha e Priscila. A gratidão e a saudade são imensas e eternas.

Aos amigos portugueses que tão bem me receberam em Portugal: Dr. Manuel Santos, Dr. Tiago Marques e Ms. Ana Mafalda Correia. Agradeço a todos a hospitalidade, as conversas e trocas científicas. Em especial à Mafalda, por ter me propiciado a oportunidade de trabalhar embarcada em águas portuguesas.

À Dra. Laura Kloepper por suas sugestões e disciplina tão importantes e esclarecedoras. À toda turma da disciplina de Bioacústica da Usp, por toda troca científica e convívio.

Ao José Carlos *in memoriam*, secretário do Programa de Pós-graduação por ter me ajudado no início do mestrado.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudo concedida.

À Chevron pelo financiamento do Projeto Talude, e ao Dr. Eduardo Secchi e à Ms. Juliana Di Tulio por terem incorporado a investigação acústica dentro do Talude.

Às minhas priminhas amadas Ana Laura e Isabela, por me ajudarem a renovar minhas esperanças na nova geração, a cada preocupação, sensibilidade e sorriso sincero dispensados às “nossas” próprias causas; de gestão de água ao plantio de árvores, cuidado de plantas e cavalos, desenhos e futebol, e mais recentemente um ‘não’ que elas escolheram dizer aos animais em cativeiro da SeaWorld.

Aos golfinhos-rotadores, por serem uma espécie tão interessante e rica acusticamente. Serei eternamente grata por toda a convivência e por tudo que me permitiram aprender a partir de sua observação e estudo.

À você que irá ler meu trabalho, agradeço o tempo dispensado e espero contribuir não só para sua construção científica, mas para sua paixão e inquietação acústica. Namastê, Jai Gurudev.

“Quando eu morrer voltarei para buscar
Os instantes que não vivi junto do mar”

“Mar,
Metade da minha alma é feita de maresia”

(Sophia de Mello Breyner Andresen)

SUMÁRIO

Índice de figuras.....	viii
Índice de tabelas.....	x
Índice de abreviaturas e siglas.....	xi
Introdução geral.....	1
Objetivos.....	11
Referências bibliográficas.....	12
Capítulo 1: Sons tonais	16
Resumo.....	16
Abstract.....	17
1.1 Introdução.....	18
1.2 Material e Métodos.....	26
A. Área de Estudo e coleta de dados.....	26
B. Análise Acústica.....	28
C. Análise Estatística.....	31
1.3 Resultados.....	33
I. Parâmetros gerais.....	33
II. Variação geográfica dos assobios.....	39
III. Assobios assinatura, mimetismo tonal, coro e crescendo.....	46
IV. Fenômenos de bioacústica não-linear.....	47
1.4 Discussão.....	49
V. Parâmetros gerais.....	49
VI. Variação geográfica dos assobios.....	53
VII. Assobios assinatura, mimetismo tonal, coro e crescendo.....	55
VIII. Fenômenos de bioacústica não-linear.....	62
1.5 Conclusões.....	65
1.6 Referências Bibliográficas.....	68
Capítulo 2: Sons pulsados	73
Resumo.....	73
Abstract.....	74
2.1 Introdução.....	75
2.2 Material e Métodos.....	80
A. Área de Estudo e coleta de dados.....	80
B. Análise Acústica.....	80
C. Análise Estatística.....	87
2.3 Resultados.....	88
I. Cliques ecolocação.....	88
II. Sons explosivos.....	89
2.4 Discussão.....	90
III. Cliques ecolocação.....	90
IV. Sons explosivos.....	91
2.5 Conclusões.....	97
2.6 Referências Bibliográficas.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. O golfinho-rotador <i>Stenella longirostris</i> no Arquipélago de Fernando de Noronha (acervo pessoal)	9
Figura 2. Parte do grupo desconhecido de aproximadamente 400 golfinhos-rotadores para os quais obteve-se o registro acústico.....	24
Figura 3. Localização geográfica do grupo de golfinhos analisados.....	25
Figura 4. Matriz de arrasto de 250m composta por um hidrofone.....	27
Figura 5. Coleta de sinais acústicos a bordo do R/V Atlântico Sul.....	28
Figura 6. Sobreposição de sinais acústicos encontrada no espectrograma.....	29
Figura 7. Exemplo de uma série de chirps.....	33
Figuras 8 a 17. Distribuição normal dos dados analisados para cada parâmetro extraído, segundo histograma, boxplot e q-q plot construídos. Os dados são, respectivamente: frequência inicial (fi), frequência final (ff), frequência mínima (lf), frequência máxima (hf), variação de frequência (df), duração (dt), frequência de pico (pf), número de harmônicos (nh), número de pontos de inflexão (ni) e número de alças (na).....	35 a 37
Figura 18. Única distribuição que apresentou <i>outliers</i> , para o número de quebras (nq), conforme pode-se notar pela linha acima do boxplot.....	37
Figuras 19. Resultado da Análise dos Componentes Principais (PCA) para as medidas quantitativas.....	38
Figura 20. Porcentagem de contornos de assobios encontrados em comparação com literatura disponível.....	39
Figura 21. Cluster formado com distância Euclidiana.....	44
Figura 22. Cluster formado com medida de Correlação.....	45
Figura 23. Cluster formado com medida K-Means.....	45
Figura 24. Repetição de assobios com potencial de assinatura. Na imagem A e B pode-se notar repetição dupla e tripla respectivamente, na imagem C nota-se uma repetição quántupla de sinal tonal de baixa frequência.....	46
Figura 25. Repetição de um mesmo contorno apresentando bandas-laterais no componente fundamental e harmônico (setas vermelhas), caracterizando bifonação na forma de banda não-paralela.....	48
Figura 26. Sequência de assobios de menor frequência apresentando buzz introdutório seguido por caos gerado por reverberação (setas laranjas). Do lado esquerdo dessa sequência, assobios apresentando bifonação não-pararela com bandas laterais (setas vermelhas) nos componentes fundamental e harmônicos. Do lado direito da mesma	

sequência, assobios apresentando bifonação não-paralela com subharmônicos (setas azuis) nos componentes fundamental e harmônicos.....	48
Figura 27. Possibilidade de mimetismo tonal para os dois contornos semelhantes emitidos em sequência (setas azuis). Presença de bandas laterais na segunda sequência (setas vermelhas).....	57
Figura 28. Evidência de crescendo em diversas fases sequenciais do espectrograma. A concentração das emissões acústicas variou de I a IV, em V pode-se notar um período de transição entre crescendo e silêncio tonal.....	60
Fig. 29. Exemplo de cadeia múltipla (espectrograma e <i>waveform</i> respectivamente).....	82
Figura 30. Exemplo de cadeia de cliques simples (espectrograma e <i>waveform</i> respectivamente).....	83
Figura 31. Sequência de sinal explosivo puro I.....	84
Figura 32. Sequência de sinal explosivo puro II seguido de puro I.....	85
Figura 33. Sinal explosivo puro III.....	86
Figura 34. Cadeia mista completa apresentando os três tipos de sinais pulsados encontrados.....	86
Figura 35. Associação entre os sinais pulsados explosivos.....	89
Figura 36. Em destaque (setas vermelhas) os sinais puros III, que sob configuração do espectrograma com DFT 128 amostras, 50% overlap e janela Hamming de 128 pontos, na maioria dos casos perdem sua feição pontilhada.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I. Análise quali-quantitativa dos assobios.....	34
Tabela II. Correlação linear das variáveis analisadas.....	38
Tabela III. Comparação das diferentes metodologias e localização dos estudos prévios em relação a este.....	40
Tabela IV. Comparação entre os valores do presente estudo com literatura disponível.....	41
Tabela V. Teste t de Student.....	43
Tabela VI. Análise quali-quantitativa dos assobios repetidos.....	47

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Hz – Hertz

kHz – KiloHertz

F – Frequência (kHz)

FI – Frequência inicial (kHz)

FF – Frequência final (kHz)

FMi – Frequência mínima (kHz)

FMa – Frequência máxima (kHz)

FVar – Variação de frequência (kHz)

P – Frequência de pico (kHz)

FC – Frequência central (kHz)

Dur – Duração (s)

NH – Número de harmônicos

NI – Número de pontos de inflexão

NA – Número de alças

NQ – Número de quebras

DP – Desvio Padrão

CV – Coeficiente de Variação

NC – Número de cliques

ICI – Intervalo entre cliques

INTRODUÇÃO GERAL

No ambiente marinho, em razão das características físicas da água, as condições de visibilidade são limitadas (Tyack 1999, Harley 2008). Já o som é transmitido rapidamente (cerca de cinco vezes mais rápido que no ar), alcança maiores distâncias, pode ser altamente direcional e não é significativamente afetado pela turbidez (Popper and Edds-Walton 1997). Essas condições levaram ao desenvolvimento de um notável sistema de emissão e recepção acústica pelos cetáceos (baleias, golfinhos e toninhas) (Harley 2008).

Durante cruzeiros destinados a levantamentos de cetáceos, as técnicas tradicionais de monitoramento visual são geralmente limitadas pelo comportamento animal, as condições ambientais e restrições logísticas. Com o intuito de superar algumas destas limitações, muitas pesquisas vêm investindo em acústica passiva, uma vez que o comportamento acústico destaca-se entre todas as características variáveis apresentadas por esses mamíferos aquáticos (Tyack 1999). Cada espécie apresenta um sistema bem definido de comunicação sonora, apresentando diferentes níveis de variação (de indivíduos a populações) que se ajustam funcionalmente de acordo com as necessidades específicas e restrições de troca e propagação de informação impostas por cada ambiente (Tyack and Miller 2003). Portanto, a variabilidade de um repertório acústico de uma espécie reflete não só a heterogeneidade ambiental, mas o estado comportamental, as relações sociais e estrutura populacional dentro de sua área de distribuição (Norris *et al.* 1994). Segundo Norris e Dohl (1988) a produção sonora associa-se ainda com atividades de forrageamento ou àquelas que exijam movimentos sincronizados.

A atual fauna de cetáceos consiste em mais de 80 espécies, divididas em duas subordens: Odontoceti – baleias com dentes e orifício respiratório, denominado de respiradouro, apresentando uma única abertura externa (Pinedo *et al.* 1992) – compondo

10 famílias, 40 gêneros e pelo menos 70 espécies; e Mysticeti – baleias com barbatana córnea e respiradouro com duas aberturas externas (Ridgway *et al.* 1997) – compondo 4 famílias, seis gêneros e pelo menos 13 espécies (Reeves *et al.* 2002). Todos os cetáceos compartilham um conjunto de características morfológicas, tais como: corpo hidrodinâmico, alongado e fusiforme; e membros anteriores sem dedos individualizados e modificados em nadadeiras (Thewissen and Williams 2002). Os cetáceos não apresentam orelhas externas, e suas glândulas mamárias, órgãos excretores e genitais estão confinados no interior do corpo para reduzir o arrasto e evitar perda de calor dentro da água (Reeves *et al.* 2002). Esses animais também apresentam uma capa de gordura embaixo da pele, que isola seus órgãos internos e economiza energia (Reeves *et al.* 2002). Por apresentarem respiração pulmonar, necessitam vir à superfície regularmente para realizar as trocas gasosas (Reeves *et al.* 2002).

O mecanismo básico de produção acústica dos cetáceos assemelha-se, de início, ao dos mamíferos terrestres: em ambos, o ar passa sob pressão através de membranas, produzindo uma vibração sonora (Tyack 1999). Mas as semelhanças param por aí. Nos odontocetos (golfinhos, botos e toninhas), o sistema de produção sonora consiste em tampões musculares associados aos sacos nasais, e o som é produzido pela passagem de ar dentro destes sacos (Popper and Edds-Walton 1997). Em relação aos mysticetos (baleias), acredita-se que, por não possuírem sacos nasais nem um sistema de plugues musculares associados; a laringe e cavidades cranianas possam estar envolvidas no processo de produção de sons, porém seu real mecanismo ainda não foi completamente desvendado (Frankel 2002, Reindenberg and Laitman 2007). Apesar da anatomia auditiva dos cetáceos seguir o padrão básico dos mamíferos, assim como a produção sonora, a audição desses animais também ocorre de forma distinta. O canal auditivo desses mamíferos aquáticos, é muito estreito e obstruído por cera, ao contrário dos mamíferos

terrestres que é preenchido de ar, perdendo portanto sua função condutiva primária (Tyack 1999). O canal central da maxila é preenchido por gordura que, associada à camada óssea, conduz o som para uma fina área do osso timpânico, chamada de “placa timpânica” – presumida como análoga à membrana timpânica dos mamíferos terrestres (Nummela *et al.* 1999, Nummela *et al.* 2007). Diante disso, presume-se que a transmissão do som é canalizada do ambiente para o ouvido médio através da maxila inferior.

O ouvido médio e interno dos cetáceos é bastante complexo, consistindo de duas bulas ósseas conectadas, completamente isoladas do resto do crânio e suspensas por uma série de ligamentos (Nummela *et al.* 1999). Assim como em mamíferos terrestres, em odontocetos os três ossículos articulam-se entre si e o ouvido interno funciona da mesma forma que o dos mamíferos terrestres (Tyack 1999, Nummela *et al.* 2007). As principais diferenças encontram-se em algumas das características deste ouvido, como: o tamanho e suporte da membrana basilar e o número de células nervosas. A espessura e largura da membrana basilar está intimamente relacionada com a capacidade auditiva dos cetáceos – quanto mais espessa, dura e estreita for a membrana, maior a habilidade do animal para ouvir altas frequências, como é o caso dos odontocetos. Os mysticetos, por outro lado, possuem membranas basilares extremamente largas, finas e elásticas, o que contribui para a sua habilidade de audição de baixas frequências (Tyack 1999, Thewissen and Williams 2002).

As emissões sonoras são utilizadas por cetáceos para execução de três tarefas básicas: forrageamento, navegação e comunicação. No processo de comunicação, essa produção sonora ocorre não só para troca informações, mas também para manipular, de diversas formas, o comportamento daquele que recebe o sinal (Krebs and Dawkins 1984). A comunicação a longas distâncias parece estar principalmente associada à manutenção da estrutura e coordenação de grupos, pois a maioria dos mamíferos aquáticos utiliza os sons

para se reunir, quando membros de um mesmo grupo estão separados (Tyack 1999). A comunicação em curtas distâncias, por sua vez, é usada em interações sociais envolvendo agressão, identificação individual e manutenção do contato (Tyack 1999, Lammers *et al.* 2006).

Em relação aos odontocetos, seus sinais acústicos podem ser classificados em três categorias (Thomson and Richardson 1995, Rossi-Santos *et al.* 2008): (I) assobios de frequência variável tonal contínua (Tyack 1998), (II) cliques de ecolocalização, que são sons pulsados de curta duração e (III) uma variedade de sons pulsados explosivos (*burst pulses*) de banda larga e menos distintos (Norris, Würsig *et al.* 1994, Rossi-Santos, Silva-Jr. *et al.* 2008). Assobios são emissões tonais de banda estreita, geralmente caracterizados de acordo com sua frequência instantânea em função do tempo (Bazúa-Durán and Au 2002). Sons pulsados são sinais de banda larga e variam amplamente quanto à duração dos pulsos, intervalo entre pulsos e à composição espectral (Camargo 2008). A distinção entre os dois tipos de sons pulsados pode ser encontrada nos intervalos entre os cliques, sua duração e intensidade (Au and Hastings 2008), sendo que um tipo de som pode fundir-se a outro durante uma emissão acústica (Camargo 2008).

Alguns tipos de sinais sonoros são emitidos com a finalidade de permitir o reconhecimento entre indivíduos (Tyack 1999). Os golfinhos frequentemente produzem sinais sonoros tonais, de frequência modulada (assobios) durante uma variedade de interações comportamentais (Herzing 2000). Uma hipótese, proposta por Caldwell e Caldwell (1965), sugere que assobios repetitivos, denominados “assobios assinatura”, são indivíduo-específicos e podem funcionar como indicadores individuais (Herzing 2000). Ao contrário das sugestões de voz que afetam todas as chamadas de um animal, assobios assinatura são distintos tipos de sinal que transportam informações de identidade em seu padrão de modulação de frequência (Janik and Sayigh 2013).

Uma teoria denominada “repertório de assobios” foi proposta por McCowan e Reiss (1995), buscando a padronização de todos os assobios em relação às suas características comuns, e dessa forma; reconhecendo a utilização de cada sinal de acordo com o contexto social apropriado. Apesar dos assobios assinatura terem sido descritos para várias espécies – como *Delphinus delphis* (Linnaeus, 1758) (Caldwell *et al.* 1968), *Stenella frontalis* (Cuvier, 1829) (Caldwell *et al.* 1973, Herzing 1996), *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) (Duarte de Figueiredo and Simao 2009) e *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) (Janik and Sayigh 2013) – a possibilidade da existência de outros usos sociais para os assobios é esperado. Alguns exemplos conhecidos do uso de assobios para comunicação entre indivíduos específicos são os sinais emitidos frequentemente entre fêmeas e filhotes (Sayigh *et al.* 1993, Smolker *et al.* 1993).

Segundo Lammers *et al.* (2006), em águas costeiras, a emissão tonal parece ocorrer perto ou além da periferia do contato visual, enquanto que os pulsos explosivos normalmente ocorrem dentro dessa periferia, assumindo um alcance visual de 20 m. Dessa forma, os assobios são provavelmente importantes na sinalização entre indivíduos dispersos em um grupo. Isso suportaria a hipótese de que os assobios e as pistas acústicas presentes neles, desempenham um papel importante na mediação de comportamento e coesão do grupo (Lammers *et al.* 2006). Ainda de acordo com Lammers *et al.* (2006), os sinais pulsados explosivos, por outro lado, ocorrem principalmente entre animais próximos em um grupo. Adicionalmente, por supostamente ser mais direcional que os assobios, os pulsos explosivos podem funcionar como formas mais íntimas de sinalização, sendo destinados principalmente para os indivíduos nas imediações (Lammers *et al.* 2006). No entanto, contextos que variam de comportamento de corte às reações de alerta também têm sido associados a essa produção sonora (Herzing 1996). Pulsos explosivos têm sido implicados principalmente em contextos agressivos ou agonistas, como

confrontos comportamentais “cabeça-com-cabeça” entre os indivíduos (*e.g.*, McCowan and Reiss 1995). Sua ocorrência, principalmente entre os indivíduos espaçados, é consistente com a tarefa de comunicação emocional, trocando informações entre potenciais companheiros ou afiliados, ou talvez apoiando exposições visuais (Lammers *et al.* 2006).

Dessa forma, a investigação das diferenças na estrutura e organização social de diferentes espécies podem ajudar a explicar a variação do seu repertório acústico, especialmente o tamanho e fluidez de grupos (Bazúa-Durán and Au 2004). O gênero *Stenella* (Gray, 1866) por exemplo, apresenta indivíduos sem laços sociais estáveis (Norris 1991, Perrin and Gilpatrick Jr 1994), distribuídos ao redor do globo, em áreas oceânicas tropicais, subtropicais e temperadas (Norris 1991, Perrin *et al.* 2009). Conforme descrito por Perrin *et al.* (2009) *Stenella* pertence à família Delphinidae (Gray, 1821), subordem Odontoceti (Flower, 1867), infraordem Cetacea (Scopoli, 1777), ordem Cetartiodactyla (Montgelard *et al.* 1999), infraclasse Eutheria (Gill, 1872), subclasse Theria (Parker e Haswell, 1897) e classe Mammalia (Matthews, 1978). As cinco espécies do gênero são: o golfinho-rotador *Stenella longirostris* (Gray, 1828), golfinho-pintado-do-Atlântico *S. frontalis* (Cuvier, 1829), golfinho-riscado *S. coeruleoalba* (Meyen, 1833), golfinho-pintado-pantropical *S. attenuata* (Gray, 1846) e golfinho-clímene *S. clymene* (Gray, 1850).

O gênero é considerado como um conjunto artificial e não monofilético (LeDuc *et al.* 1999, Perrin 2001) com algumas incertezas taxonômicas quando se trata de reconhecimento visual em levantamentos a bordo (Moreno *et al.* 2005). Morfológica e comportamentalmente, o golfinho-rotador assemelha-se principalmente ao golfinho-clímene, mas do ponto de vista filogenético e cladístico, com base em sequências do citocromo *b* mtDNA, as espécies não estão intimamente ligadas – o golfinho-clímene foi

considerado como a espécie irmã do golfinho-riscado (Perrin 1990, Perrin *et al.* 2009). Dessa forma, a semelhança morfológica entre rotadores e clímenes poderia ser uma ocorrência de simplesiomorfia (similaridade através da retenção de caracteres primitivos). Entretanto, o comportamento correlacionado de rotação do clímene – embora não tão acrobático como o rotador mas já foi observada a rotação para essa espécie – parece ser altamente derivado, como uma provável sinapomorfia (caráter derivado compartilhado) (Perrin *et al.* 2009). Em relação ao golfinho-pintado-do-Atlântico, apesar da semelhança de seu crânio com o do golfinho-pintado-pantropical, as duas espécies não aparecem táxons irmãos após análises filogenéticas e cladísticas baseadas em sequências de citocromo *b* mtDNA (LeDuc *et al.* 1999). Assim, a hipótese de que, ambas as espécies devem ser encaixadas em um clado politômico com *S. coeruleoalba* e *S. clymene* foi fortemente apoiada. De qualquer forma, a taxonomia existente a nível de gênero do grupo precisa urgentemente de revisão; *Stenella* é atualmente polifilético (LeDuc *et al.* 1999, Perrin *et al.* 2009).

Devido à similaridade dos padrões de coloração externa entre algumas espécies, assim como a sobreposição de várias características osteológicas, uma revisão dos registros visuais do gênero *Stenella* foi realizada no sudoeste do oceano Atlântico sul (SOAS) (Moreno *et al.* 2005), onde a distribuição das espécies ainda é pouco conhecida. Os resultados de Moreno *et al.* (2005) sugerem uma distribuição descontínua do golfinho-rotador, o que pode indicar uma população isolada habitando a costa sul do Brasil. O golfinho-rotador é o menor cetáceo mais comumente distribuído na maioria das águas oceânicas tropicais (Perrin *et al.* 2009). Quatro subespécies são reconhecidas atualmente: o golfinho distribuído globalmente *S. l. longirostris*, os endêmicos do Pacífico tropical leste *S. l. orientalis* (Eastern spinner) e *S. l. centroamericana* (Central American spinner),

e o golfinho anão do sudeste central Asiático *S. l. roseiventris* (Perrin 1990, Perrin *et al.* 2009).

Espécies de *Stenella* são comumente organizadas em sociedades fissão-fusão – quando os indivíduos se associam em grupos que variam em tamanho e composição, em uma base diária ou a cada hora – especialmente os golfinhos-rotadores (Norris *et al.* 1994, Östman 1994, Driscoll 1995, Silva-Jr. 1996, Bazúa-Durán 2001, Lammers 2003). Em espécies tão sociais, os animais muitas vezes comunicam-se para manter contato com outros membros do grupo (Lammers *et al.* 2006). Na verdade, para os rotadores, o agrupamento é tão importante que "a sua individualidade é suprimida em favor do grupo" (Norris 1991).

Os rotadores apresentam leve dimorfismo sexual, os machos possuem uma sutil protuberância pós-anal e a fêmea possui duas fendas mamárias, localizadas ao lado da fenda genital (Norris 1991). Perrin e Gilpatrick-Jr. (1994) relatam que indivíduos adultos de *S. longirostris* apresentam o comprimento total entre 177 e 208 cm e peso entre 66 e 75 kg. O padrão de coloração do adulto é tricolor: cinza escuro no dorso, cinza claro nos flancos e branco no ventre (Perrin *et al.* 1991) (Figura 1). O golfinho-rotador ocorre em águas oceânicas tropicais nos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (Martin 1990, Reeves *et al.* 2002). A maioria das ocorrências de *S. longirostris* localiza-se em águas tropicais e quase todos os registros estão associados com águas costeiras, ilhas ou bancos (Norris *et al.* 1985). No Brasil, tem-se registro da ocorrência dessa espécie desde o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, já no hemisfério norte (Silva-Jr. 1996), até o Rio Grande do Sul (Zerbini and Kotas 1998); com ênfase nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraíba, Ceará e Pernambuco, principalmente no Arquipélago de Fernando de Noronha (Palazzo-Jr and Both 1998).



Fig. 1. O golfinho-rotador *Stenella longirostris* no Arquipélago de Fernando de Noronha (acervo pessoal).

De acordo com Silva-Jr (2005) os golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha apresentam hábitos gregários, com agrupamentos sociais muito fluídos quanto ao tamanho e constituição. Estes agrupamentos podem variar de três a mais de 2.000 indivíduos, que se movem livremente entre diferentes círculos de companhia em questão de minutos, horas, dias ou semanas. Os grupos se desfazem e se refazem com diferentes permutações de subgrupos ao longo dos deslocamentos diurnos de ir e vir para a costa e dos deslocamentos para se alimentarem em alto mar. Aparentemente não existe uma liderança definida e permanente entre eles, e o direcionamento dos deslocamentos é um processo coletivo.

A rotação, giro ao redor do próprio corpo, é característica dessa espécie. Norris e Dohl (1980) definem os saltos e as batidas com parte do corpo n'água dos rotadores como atividades aéreas e afirmam que essas atividades têm a função de sinais acústicos de comunicação, pois cada padrão de atividade aérea produz um ruído e uma turbulência

característicos pela reentrada n'água. A turbulência é observada através das manchas de bolhas de ar na coluna d'água, quando o golfinho cai ou bate com o corpo na superfície. As atividades aéreas estão correlacionadas com o grau de atividade, o estado de alerta geral, o deslocamento ou com a coesão do grupo de golfinhos. Essa espécie de golfinho apresenta grande fluidez na composição dos grupos, o que pode refletir numa maior percentagem de assobios comuns entre os golfinhos-rotadores (Bazúa-Durán and Au 2004).

OBJETIVO GERAL

Reconhecer e descrever as características quali e quantitativas dos sinais acústicos emitidos por *Stenella longirostris* em registros espontâneos. Para tanto, os objetivos foram tratados em dois capítulos, de acordo com o tipo de sinal acústico analisado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO CAPÍTULO 1

1. Caracterizar qualitativamente e separar os assobios de acordo com seu contorno;
2. Extrair os parâmetros quantitativos para cada uma das categorias de contorno de assobio;
3. Comparar os parâmetros entre as categorias;
4. Comparar os valores obtidos com outras populações já estudadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO CAPÍTULO 2

1. Analisar quantitativamente os sons pulsados e comparar seus parâmetros;
2. Comparar os valores obtidos com outras populações já estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Au, W. W. L. and M. C. Hastings (2008). Principles of Marine Bioacoustics.
- Bazúa-Durán, C. and W. W. L. Au (2002). "The whistles of Hawaiian spinner dolphins." J. Acoust. Soc. Am. **112**(6): 9.
- Bazúa-Durán, C. and W. W. L. Au (2004). "Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai'ian Islands." J. Acoust. Soc. Am. **116**(6): 13.
- Bazúa-Durán, M. d. C. (2001). The whistles of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): description and geographic variations. Doctor, University of Hawai'i.
- Caldwell, M. C., D. K. Caldwell and J. F. Miller (1973). "Statistical evidence for individual signature whistles in spotted dolphin, *Stenella plagiodon*." Cetology **16**: 20.
- Caldwell, M. C., D. K. Caldwell and B. G. J. Townsend (1968). Social behavior as a husbandry factor. Symposium of disease and husbandry of aquatic mammals. D. K. Caldwell and M. C. Caldwell: 1-9.
- Camargo, F. S. (2008). Estudo das vocalizações de golfinhos-rotadores, *Stenella longirostris* (Cetacea, Delphinidae), no arquipélago de Fernando de Noronha. Doutor, Universidade de São Paulo.
- Driscoll, A. D. (1995). The whistles of Hawai'ian spinner dolphins, *Stenella longirostris*. Master, University of California at Santa Cruz.
- Duarte de Figueiredo, L. and S. M. Simao (2009). "Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil." J Acoust Soc Am **126**(3): 1563.
- Frankel, A. S. (2002). Sound Production. Enciclopedia of Marine Mammals. W. F. Perrin, W. Bernd and J. G. M. Thewissen. San Diego, Academic Press: 1126-1138.
- Harley, H. E. (2008). "Whistle discrimination and categorization by the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): a review of the signature whistle framework and a perceptual test." Behav Processes **77**(2): 243-268.
- Herzing, D. L. (1996). "Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*." Aquatic Mammals **22.2**: 20.
- Herzing, D. L. (2000). Acoustic and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. Hearing by whales and dolphins. W. W. L. Au, A. N. Popper and R. R. Fay. New York, Springer-Verlag: 225-272.
- Janik, V. M. and L. S. Sayigh (2013). "Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research." J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol **199**(6): 479-489.

- Krebs, J. R. and R. Dawkins (1984). Animal signals: mind-reading and manipulation. Behavioural Ecology: an evolutionary approach. J. R. Krebs and N. B. Davies, Sinauer: 380–402.
- Lammers, M. O. (2003). The behavior and broadband acoustic signaling of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). Doctor, University of Hawai'i.
- Lammers, M. O., M. Schotten and W. W. L. Au (2006). "The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals." J. Acoust. Soc. Am. **119**(2): 7.
- LeDuc, R. G., W. F. Perrin and A. E. Dizon (1999). "Phylogenetic relationships among the delphinid cetaceans based on full cytochrome B sequences." Mar Mamm Sci **15**: 29.
- Martin, A. R. (1990). Whales and Dolphins. London, Salamander Books.
- McCowan, B. and D. Reiss (1995). "Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins, *Delphinidae Tursiops truncatus*: a re-evaluation of the signature whistle hypothesis." Ethology **100**: 16.
- Moreno, I. B., A. N. Zerbini, D. Danilewicz, M. C. d. O. Santos, P. C. Simões-Lopes, J. L.-B. Jr. and A. F. Azevedo (2005). "Distribution and habitat characteristics of dolphins of the genus *Stenella* (Cetacea: Delphinidae) in the southwest Atlantic Ocean." Mar Ecol Prog Ser **300**: 12.
- Norris, K. S. (1991). Dolphin Days: the life and times of the spinner dolphin. New York, W.W. Norton Company.
- Norris, K. S., B. Würsig, R. S. Wells and M. Würsig (1994). The Hawai'ian Spinner Dolphin. Univ. of California, Berkeley.
- Norris, K. S., B. Würsig, R. S. Wells, M. Würsig, S. M. Brownlee, C. Johnson and J. Solow (1985). The Behavior of the Hawaiian Spinner Dolphin, *Stenella longirostris*. Southwest Fisheries Center - Administrative Report.
- Nummela, S., T. Reuter, S. Hemila, P. Holmberg and P. Paukku (1999). "The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*)." Hearing Research **133**: 9.
- Nummela, S., J. G. M. Thewissen, S. Bajpai, T. Hussain and K. Kumar (2007). "Sound transmission in archaic and modern whales: anatomical adaptations for underwater hearing." The Anatomical Records **290**: 17.
- Östman, J. S. O. (1994). Social organization and social behavior of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) Phd, University of California at Santa Cruz.
- Palazzo-Jr, J. T. and M. D. C. Both (1998). Guia dos mamíferos marinhos. Porto Alegre.
- Perrin, W. F. (1990). "Subspecies of *Stenella longirostris* (Mammalia Cetacea Delphinidae)." Proc. Biol. Soc. Wash. **103**: 10.
- Perrin, W. F. (2001). "*Stenella frontalis*." Mamm Species **702**: 6.

Perrin, W. F., P. A. Akin and J. V. Kashiwada (1991). "Geografic variation in external morphology of the spinner dolphin *Stenella longirostris* in the Eastern Pacific and implications for conservation." Fishery Bulletin **89**: 17.

Perrin, W. F. and J. W. Gilpatrick Jr (1994). Spinner Dolphin. *Stenella longirostris* (Gray, 1828). Handbook of Marine Mammal: The first Book of Dolphins. S. H. Ridgway and S. Harrison. London, Academic Press: 99-128.

Perrin, W. F., B. Würsig and J. G. M. Thewissen (2009). Encyclopedia of Marine Mammals, Academic Press.

Pinedo, M. C., F. W. Rosas and M. Marmontel (1992). Cetáceos e Pinípedes do Brasil – Uma revisão dos registros e guia para identificação das espécies.

Popper, A. N. and P. L. Edds-Walton (1997). Bioacoustics of marine vertebrates. Encyclopedia of Acoustics. M. J. Crocker. New York, Wiley-Interscience. **IV**: 1831-1836.

Reeves, R. R., B. S. Stewart, P. J. Clapham and J. A. Powell (2002). Guide to Marine Mammals of the World (National Audubon Society Field Guide). New York, Knopf.

Reidenberg, J. S. Laitman, J. T. (2007). "Discovery of a low frequency sound source in Mysticeti (baleen whales): Anatomical establishment of a vocal fold homolog." The Anatomical Record **290**:745-759.

Ridgway, S., D. Carder, R. Smith, T. Kamolnick and W. Elsberry (1997). "First audiogram for marine mammals in the open ocean and at depth: hearing and whistling by two white whales down to 30 atmospheres." Journal of the Acoustical Society of America **101**(3136).

Rossi-Santos, M. R., J. M. d. Silva-Jr., F. L. Silva and E. L. A. Monteiro-Filho (2008). "Descriptive parameters of pulsed calls for the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, in the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **88**(6): 5.

Sayigh, L. S., P. L. Tyack and R. S. Wells (1993). "Recording underwater sounds of free-ranging dolphins while underway in a small boat." Marine Mammal Science **9**(2): 4.

Silva-Jr., J. M. d. (1996). Aspectos do comportamento do golfinho-rotador, *Stenella longirostris* (Gray, 1828), no Arquipélago de Fernando de Noronha. Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

Smolker, R., J. Mann and B. Smuts (1993). "Use of signature whistles during separations and reunions between bottlenose dolphin mothers and infants." Behavioral Ecology and Sociobiology **33**: 8.

Thewissen, J. G. M. and E. M. Williams (2002). "The early radiations of Cetacea (Mammalia): Evolutionary pattern and developmental correlations." Annual Review of Ecology and Systematics(33): 17.

Thomson, D. H. and W. Richardson (1995). Marine mammal sounds. Marine Mammals and Noise. W. J. Richardson, C. R. Greene, C. I. Malme and D. H. Thomson. San Diego: 159-204.

Tyack, P. L. (1998). Acoustic communication under sea. Animal acoustics communication—sound analysis and research methods. S. L. Hopp. New York: 163–219.

Tyack, P. L. (1999). Functional aspects of cetacean communication. Cetacean societies – Field studies of dolphins and whales.. J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whitehead. Chicago, University of Chicago Press.

Tyack, P. L. and E. H. Miller (2003). Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation. Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach. A. R. Hoelzel. Oxford: 142–184.

Zerbini, A. N. and J. N. Kotas (1998). A note on cetacean bycatch in pelagic driftnetting off Southern Brazil. Reports of the International Whaling Commission, International Whaling Commission. **48**: 519-524.

CAPÍTULO 1

SONS TONAIIS

RESUMO

Apesar de investigações bioacústicas de golfinhos-rotadores já terem sido abordadas e descritas na literatura, a região do Oceano Atlântico Sul Ocidental só abrangeu a população do arquipélago de Fernando de Noronha. Portanto, a fim de contribuir para um melhor conhecimento desta espécie cosmopolita, este estudo teve como objetivo descrever os sons através de seus parâmetros acústicos de uma gravação oportunista realizada ao longo da quebra da plataforma continental Brasileira. Um grupo de aproximadamente 400 golfinhos *Stenella longirostris* foi registrado através de uma matriz de arrasto composta por um hidrofone realizando gravação mono contínua a 96kHz / 24bits. Após uma seleção de 12 minutos a partir do registro, 1.100 assobios foram extraídos e classificados em sete tipos de contornos, juntamente com outras dez variáveis extraídas. Os assobios dos golfinhos-rotadores foram constituídos em sua maioria por contorno ascendente (41,2%). O grupo apresentou ainda assobios com maior índice de modulação de frequência do que já havia sido descrito na literatura, apresentando uma frequência máxima de 26,4 kHz. Apesar da curta duração desses assobios, variando de 0,03 s a 2,56 s (média = 0,67 s), esses valores também foram mais altos do que a maioria dos estudos havia relatado. Apesar de diferenças estatisticamente significativas, a comparação a partir da média dos valores dos parâmetros extraídos apontou que dois estudos anteriores realizados no Oceano Pacífico Norte são mais semelhantes em relação a este estudo. Dessa forma, as possibilidades a partir das comparações discutidas no presente trabalho não só auxiliam a identificar a variabilidade nas emissões de forma a melhorar as classificações de detecção acústica em pesquisas e mitigação de impacto; como também contribuem para a compreensão de populações distintas e / ou espécies distribuídas em diferentes regiões oceânicas.

Palavras chave: Bioacústica, *Stenella longirostris*, Oceano Atlântico Sul

ABSTRACT

Spinner dolphins' bioacoustics have already been described in literature, meanwhile the Western South Atlantic Ocean was only approached inside Fernando de Noronha Archipelago. Therefore, in order to contribute to a better knowledge of this cosmopolitan species, this study aimed to describe the sounds through their acoustic parameters detected during an opportunistic recording carried out at the Brazilian continental shelf break. A group of approximate 400 *Stenella longirostris* dolphins was recorded through a one-element hydrophone array performing continuous mono recording at 96 kHz/24 bits. After a 12 minutes selection of the record, 1,100 whistles were extracted and classified into seven contours shapes, along with other ten variables extracted. The spinner dolphins whistles was mostly comprised by upsweep (41.2%) contour. The group produced higher pitch frequency modulated whistles than what has been previously described, presenting a maximum frequency of 26.4 kHz. Despite the short whistle durations, ranging from 0.03 s to 2.56 s (mean = 0.67 s), those values were also higher than most of previous works had reported. Despite statistically significant differences, the comparison from the average of the extracted parameters pointed out that two previous studies in the North Pacific Ocean are more similar in relation to this study. Thereby, the possibilities from the comparisons discussed in this paper not only assist in identifying the variability in the emissions in order to improve acoustic detection classifications in research and impact mitigation; but also contribute to the understanding of distinct populations and/or species distributed in different ocean basins.

Keywords: Bioacoustics, *Stenella longirostris*, South Atlantic Ocean

1.1 INTRODUÇÃO

A distribuição da espécie cosmopolita *Stenella longirostris* (Gray, 1828) é acompanhada por uma série de notáveis variações geográficas em vários caracteres morfológicos e parâmetros ecológicos (Perrin 1975, LeDuc *et al.* 1999, Moreno *et al.* 2005). Já foi discutido que os sinais acústicos do golfinho-rotador podem diferir geograficamente (Bazúa-Durán and Au 2002, Bazúa-Durán and Au 2004, Camargo *et al.* 2006, Rossi-Santos *et al.* 2008) como já foi observado entre outras espécies de delfínídeos (*e.g.*, Rendell *et al.* 1999, Podos *et al.* 2002, Oswald *et al.* 2003, Azevedo and Sluys 2005, Morisaka 2012, Papale *et al.* 2013). Entretanto, os fatores que influenciam essa variação geográfica são ainda incertos.

Em relação às emissões tonais (assobios), a maioria das pesquisas realizadas têm sido conduzidas focando a emissão de assobios como unidades independentes a serem medidas e categorizadas (Driscoll 1995). Enquanto este é um primeiro passo essencial no desenvolvimento e compreensão da diversidade e das características básicas dos assobios, ignora-se um caráter inerente desses sinais: o fato de não serem eventos isolados distribuídos aleatoriamente (Tyack 1976, Driscoll 1995). De acordo com Caldwell e Caldwell (1968) e seu estudo realizado com golfinhos-comuns *Delphinus delphis* (Linnaeus, 1758) em cativeiro, os animais não só apresentam a tendência de emissão em coro (*chorusing*), como existem regras sobre como os assobios serão emitidos uns em relação aos outros. O trabalho ainda destaca que alguns assobios são mais prováveis de diferirem-se, sugerindo o reflexo de uma hierarquia dominante.

Já foi sugerido que golfinhos-rotadores utilizam o coro durante determinados períodos do dia, podendo ser importante no processo de coordenar o comportamento do grupo (Norris *et al.* 1994). O sincronismo dos sinais pode desempenhar um papel neste processo,

através de golfinhos sinalizando próximos um ao outro, comunicando a sua disposição, comportamental geral, socialização ou rumo de navegação. Como um exemplo, os sinais temporizados ou estreitamente sobrepostos podem ser indicativos de proximidade, o que é característico de repouso e / ou comportamento social (Lammers *et al.* 2006). Por outro lado, ainda segundo Lammers *et. al.* (2006), emissores amplamente espaçados em conjunto com sinais amplamente temporizados podem representar um grupo em deslocamento, ou um não muito sincronizado. Para assobios, no entanto, nenhuma correlação foi observada entre essa separação e seu “timing”; ao contrário dos sinais pulsados explosivos, que exibiram uma correlação fraca, mas significativa (Lammers *et al.* 2006).

O estudo de Tyack (1976) com golfinhos-nariz-de-garrafa *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), destacou que, para assobios e diversos tipos de sinais pulsados explosivos, o mesmo sinal tende a seguir a si próprio. Ou seja, é mais provável um assobio ser seguido por outro assobio. Dessa forma, Tyack sugere dois cenários possíveis aplicáveis aos assobios emitidos pelos golfinhos: 1) maior probabilidade de emissão de um tipo sonoro quando outro indivíduo emitiu aquele tipo de sinal; 2) indivíduos tendem a emitir séries do mesmo tipo de sinal. Nota-se ainda espectrogramas com alto grau de emissão em coro e séries de assobios individuais altamente estereotipados na sua forma de contorno e repetidos sequencialmente ao longo da gravação (Tyack 1976). A partir dessas constatações, o autor sugere que talvez uma unidade mais realística e funcional para analisar esses sinais seriam séries de emissão ao invés de uma análise individual. Para gravações oportunistas de indivíduos desconhecidos, onde não é possível determinar exatamente qual é o animal emitindo o sinal, esta parece ser uma abordagem extremamente interessante, aplicável e condizente. Pelo fato de existir um padrão óbvio para o animal emitindo o sinal acústico, parece ser útil tentar quantificar isto, assim como

determinar se é de fato alguma evidência biológica para essas grandes unidades funcionais de repetição e emissão em coro de assobios (Driscoll 1995).

Já no trabalho desenvolvido por Caldwell e Caldwell (1965), cada golfinho pareceu produzir uma preponderância de assobios com um contorno que era exclusivo para esse golfinho, tais sinais passaram ser conhecidos como "assinatura". A premissa mais abrangente é que os golfinhos são membros de grandes comunidades sociais e precisam identificar um ao outro através de extensões de água, nem sempre clara (Harley 2008). Ainda segundo Harley (2008), devido às suas adaptações incomuns para produção sonora na água e / ou perda de fidelidade de sinal através de distâncias, os golfinhos não podem transmitir “sugestões de voz”, ou seja, não há diferença no timbre em relação a cada animal emitindo um sinal. Para compensar, esses animais utilizam seu sofisticado aparelho de emissão sonora para produzir contornos do assobio individualizados, que são produtos do ambiente social e acústico de cada animal. Desta forma, para responder às pressões sociais e mudanças de relacionamento com membros da mesma espécie, a produção do contorno precisa ser flexível. As diferenças entre as emissões identificadas como contorno de assobio de um único golfinho podem transmitir informações de estado úteis que podem levar a respostas diferenciais (*e.g.*, congregação imediata ou manutenção do comportamento em curso) de membros da mesma espécie em escuta (Harley 2008).

De acordo com Janik e Sayigh (2013), o desenvolvimento do assobio assinatura é influenciado pela aprendizagem da produção vocal. Os animais utilizam um assobio de seu ambiente como modelo e o modificam, criando assim um novo sinal. Os golfinhos também copiam assobios assinatura uns dos outros (Richards *et al.* 1984), abordando de forma eficaz o emissor do sinal copiado (Janik and Sayigh 2013), a fim de estabelecer uma comunicação antifonal (responsivo) (Harley 2008). Janik e Sayigh (2013) ainda relatam que a cópia ocorre a taxas baixas e as cópias resultantes são reconhecidas como

tal pelas variações de parâmetros dentro do sinal copiado em relação ao sinal original. Dessa forma, os autores propõem uma definição mais refinada do assobio assinatura, como um sinal aprendido e individualmente distinto dentro do repertório de um golfinho que transmite a identidade do seu emissor.

Quanto a variabilidade tonal apresentada pelos delfínídeos, parece haver uma tendência no número de pontos de inflexão do assobio (medida da modulação do assobio e indicador da complexidade sonora tonal) percorrerem uma linha ancestral crescente na linhagem que leva aos golfinhos (May-Collado 2007, May-Collado *et al.* 2007). Essa tendência é inversamente proporcional em relação à duração do sinal, onde os sons tonais especialmente curtos parecem ser derivados dentro dos delfínídeos. Dessa forma, ainda de acordo com May-Collado *et al.* (2007), a complexidade de um assobio baseia-se no conceito do número médio de pontos de inflexão do contorno de sua frequência fundamental, podendo ser influenciada pelo tamanho de grupo e estrutura (dois componentes de sociabilidade). Mais especificamente, os autores descrevem que assobios simples – que apresentam número de pontos de inflexão igual ou inferior a uma média – são particularmente concentrados em espécies mais solitárias, enquanto a distribuição filogenética de assobios complexos e espécies sociais sobrepõe-se em grande parte.

Ainda em relação a essa complexidade tonal, a compreensão da relação entre estrutura e função da emissão acústica podem auxiliar a reconhecer o contexto comportamental dentro do qual um sinal é emitido, e até mesmo a resposta a esses sinais por parte dos receptores (Slaughter *et al.* 2013). Dessa forma, sistemas de produção sonora podem, rotineiramente ou em situações específicas, produzir um conjunto de características acústicas que são referidos como fenômenos acústicos não-lineares. Conforme descrito por Tyson *et al.* (2007), fenômenos não-lineares podem ser caracterizados como: bifonação na forma de banda não-paralela e subharmônicos, bifonação não-paralela com

bandas laterais e pulos de frequência para frequências mais baixas ou *buzz* introdutório seguido por caos determinístico. Tais eventos normalmente são questões deixadas de fora da análise acústica, sendo ignoradas (*e.g.*, Hauser 1993), excluídas (*e.g.*, Rendall *et al.* 1996) ou agrupadas como “atonal” (*e.g.*, Parks and Tyack 2005). No entanto, a presença de tal fenômeno na vocalização de diferentes espécies (*e.g.*, Wilden, Herzel *et al.* 1998, Fletcher 2000, Riede *et al.* 2000, Fitch *et al.* 2002, Riede *et al.* 2004, Mann *et al.* 2006, Volodina *et al.* 2006) sugere que estas características possam desempenhar um papel importante na comunicação. Fenômenos não-lineares já foram descritos para *Stenella longirostris* (Driscoll 1995), no entanto só foram brevemente e parcialmente abordados, relatando apenas a ocorrência de bandas-laterais relacionadas a variações de assobios assinatura.

Em suma, apesar dos esforços e progressos no campo da bioacústica, ainda existem algumas lacunas importantes a serem complementadas, como a maneira de se relacionar a ecologia acústica ao comportamento individual e assobio assinatura ou imitação apresentado, facilitando possíveis comparações entre tipos de contorno; bem como a importância biológica de cada contorno de assobio e evento não-linear. Dentro dessa problemática, em relação aos estudos com golfinhos-rotadores, até então a maioria dos trabalhos foram desenvolvidos com populações que habitam o Norte e Leste do Oceano Pacífico (*e.g.*, Norris *et al.* 1994, Wang *et al.* 1995, Driscoll 1995, Bazúa-Durán and Au 2002, Lammers *et al.* 2003, Oswald *et al.* 2003), particularmente os rotadores do Havaí (N 18°55', W 154°40') nos E.U.A. Poucos estudos sobre a variabilidade acústica da espécie foram realizados no Oceano Atlântico (Steiner 1981, Camargo *et al.* 2006, Rossi-Santos *et al.* 2008), enfocando principalmente a população que ocorre no arquipélago de Fernando de Noronha (S 3° 51', W 32° 25') no Brasil.

Assim sendo, este estudo apresenta a avaliação dos assobios de um registro oportunístico de um grupo desconhecido de rotadores registrado na quebra da plataforma continental Brasileira (S 27° 24' 29" S, W 46° 50' 05") (Fig. 2 e 3). A partir da análise de 38 minutos de gravação os parâmetros dos assobios utilizados pelos golfinhos-rotadores registrados foram caracterizados a partir de seu componente fundamental. Ao se comparar os resultados deste estudo com os valores referenciados na literatura buscou-se identificar a proximidade perante diferentes populações de golfinhos-rotadores. Esse tipo de informação pode ajudar a compor um quadro mais aperfeiçoado do entendimento da variação acústica que ocorre na espécie, como as populações são acusticamente organizadas e como podemos diferenciar as populações e / ou espécies.

Dessa forma, a descrição aqui apresentada, contribui para esse grande esforço de compreender melhor como diferentes populações se comunicam e organizam dentro de diferentes ambientes geográficos, bem como quais as características dos assobios são mais significativas quando se trata do reconhecimento de diferentes populações e / ou espécies. O próximo e necessário passo para melhor compreender essas emissões tonais, envolve ultrapassar a análise bruta da descrição comportamental utilizada em estudos com golfinhos em vida livre e dar início às descrições de interações comportamentais entre indivíduos específicos.

O aumento dos esforços em estudos de bioacústica abrangendo outras populações ainda não estudadas de golfinhos-rotadores, irá contribuir não só para construção de um conhecimento geográfico mais amplo, como também construção de detectores de reconhecimento automático. Portanto, acredita-se que, ao incrementar a coleta de dados, assim como o estabelecimento de parcerias entre pesquisadores que estudam outras populações, permitiria que estes resultados possam ser mais bem explorado e

reconhecidos, ajudando a reconhecer acusticamente, em uma resolução melhor, cada população e subespécie.



Fig. 2. Grupo de aproximadamente 400 golfinhos-rotadores registrado na quebra da plataforma continental Brasileira.

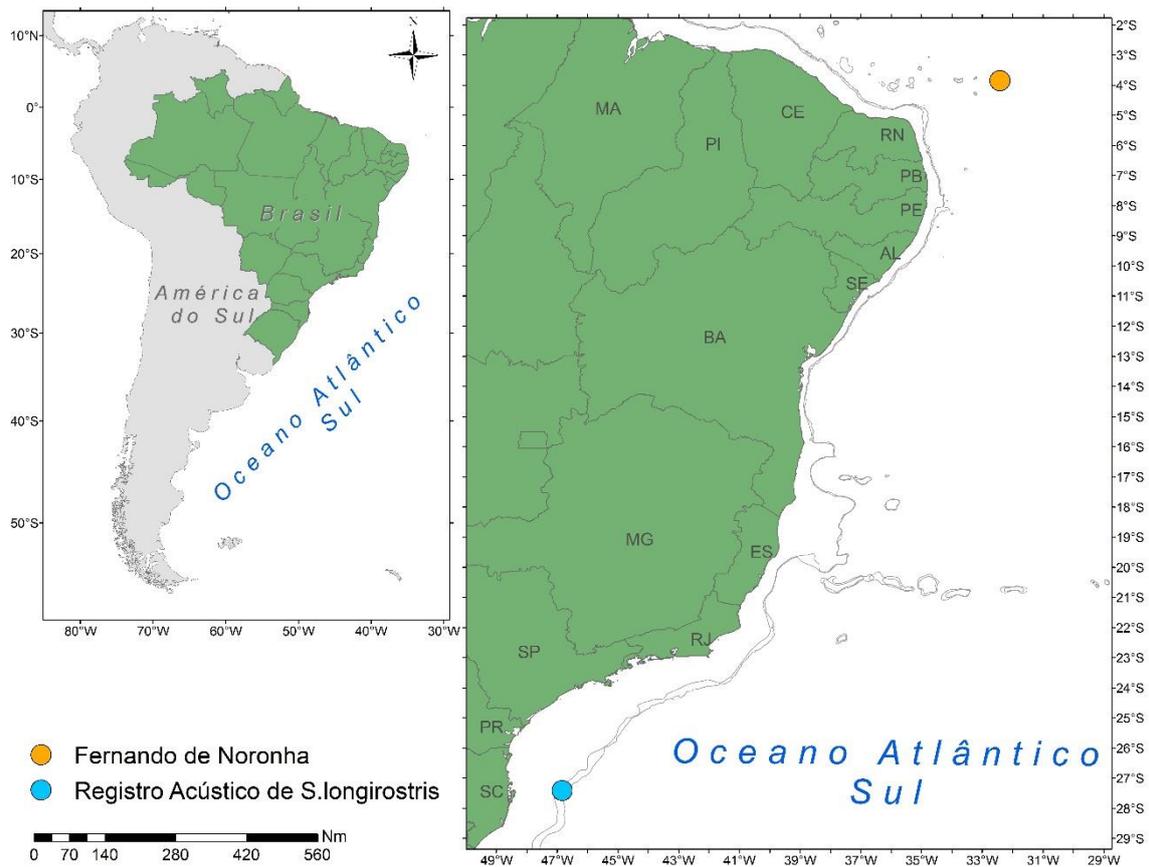


Fig. 3. Localização geográfica do grupo desconhecido a ser analisado (em azul) e sua distância da população de Fernando de Noronha (em laranja).

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

A. Área de estudo e coleta de dados

O cruzeiro foi realizado na região da quebra da plataforma continental brasileira entre o Chuí, RS (S 33° 41', W 53° 27') e Cabo Frio, RJ (S 22° 52', W 42° 01'), entre os dias 08 de maio e 13 de junho de 2013, como um subprojeto de investigação acústica dentro do Projeto Talude. A amostragem visual e acústica dos dados foi realizada através de transecção linear (Buckland *et al.* 2001), a bordo do navio oceanográfico R / V Atlântico Sul. Durante o cruzeiro, dois observadores independentes (um a bombordo, outro a estibordo, acompanhados por um pesquisador para tomar notas e um para apoio) realizaram a busca visual de grupos de cetáceos com binóculos 7X50. Os observadores são pesquisadores treinados e experientes, tanto a bordo quanto referente à identificação das espécies de cetáceos. A cada observação, foi registrado o ângulo da avistagem em relação ao ângulo da embarcação, tamanho de grupo e espécie. Adicionalmente, fotos e vídeos também foram realizados para melhorar a estimativa do tamanho de grupo e identificação das espécies. Dados ambientais (*e.g.*, estado do mar na escala Beaufort, visibilidade, ondulação) também foram coletados. Todos os dados foram armazenados no software WinCruz (versão 7.5).

Dados acústicos foram coletados por meio de uma matriz de 250 metros composta por três hidrofones omnidirecionais distantes 5 m uns dos outros, dispostos a partir de um metro da extremidade do cabo (para manter a estabilidade do sistema). A matriz foi rebocada pelo navio (Fig. 4 e 5). Os sinais acústicos foram coletados continuamente por apenas um hidrofone da matriz, durante a amostragem de distância (entre 5:30 e 18 horas) e até estado 6 do mar na escala Beaufort. A gravação analisada foi obtida durante um registro oportunístico na manhã de 03 de junho de 2013, com um grupo de aproximadamente 400 golfinhos-rotadores a uma distância de 168,9 quilômetros da costa

(S 27° 24' 29", W 46° 50' 05"), que foram gravados e monitorados por 38 minutos. Durante o registo, a atividade mais exibida por mais de 50% dos indivíduos foi de navegação, com atividades aéreas (*e.g.*, rotação, saltos, batidas de cabeça e de cauda) exibidas durante todo o acompanhamento do grupo.

No navio, a partir da captação sonora pelo hidrofone, os sinais acústicos foram armazenados em arquivo digital *.wav* no hard drive através do gravador Fostex® FR 2-LE. A frequência adotada foi 96 KHz/24 bits, com o sistema configurado para fornecer uma resposta de frequência variável entre 1.592 (Filtro passa alta - *High pass filter*) e 48 kHz. Um GPS foi acoplado ao computador para capturar as coordenadas geográficas a cada 10 segundos.



Fig. 4. Matriz de arrasto de 250 m composta por três hidrofone, sendo um funcional.



Fig. 5. Coleta de sinais acústicos a bordo do R/V Atlântico Sul.

B. Processamento e análise dos dados acústicos

O arquivo *.wav* gravado foi transformado em espectrograma – representações gráficas da história espectral a curto tempo de um sinal (Altes 1980) – a partir da Transformação Rápida de Fourier (FFT) gerada pelo software Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, New York/E.U.A.). A análise do espectrograma foi realizada através de configuração DFT 1024 amostras, 70% de *overlap* e janela *Hamming* de 1024 pontos. A fim de reduzir os efeitos de pseudoreplicação gerados pela natureza dependente dos assobios (Oswald *et al.* 2003), uma seleção aleatória foi realizada dentro dos 38 minutos de gravação. Dessa forma, a partir da análise dos primeiros 5 minutos, a cada 5 minutos 1 minuto foi selecionado para análise até o fim da gravação, resultando em uma análise de 12 minutos (31,6% da gravação). Essa amostragem de dados passou ainda por uma comparação estatística em relação às variáveis dos primeiros 5 min em relação a cada 1 minuto selecionado aleatoriamente. A aplicação do teste Kruskal-Wallis

(Kruskal 1952) não apontou diferença significativa entre a análise de 12 minutos (p -valor = 0,0302).

Apenas sinais com boa relação sinal-ruído (pelo menos 7 dB acima do ruído ambiente), que possuíam forma e contorno geral claro e não foram cortados pelo limite superior do sistema de gravação, e para os quais os parâmetros espectrais puderam ser distintamente medidos (Bazúa-Durán and Au 2002, Azevedo and Sluys 2005), foram selecionados manualmente. Assim como no trabalho de Oswald *et al.* (2007), devido à grande quantidade de sinais acústicos (Fig. 6), assobios sobrepostos foram incluídos nesta análise, apenas se cada contorno individual de assobio se enquadrasse nas instruções acima descritas e pudesse ser discernido sem dúvida alguma.

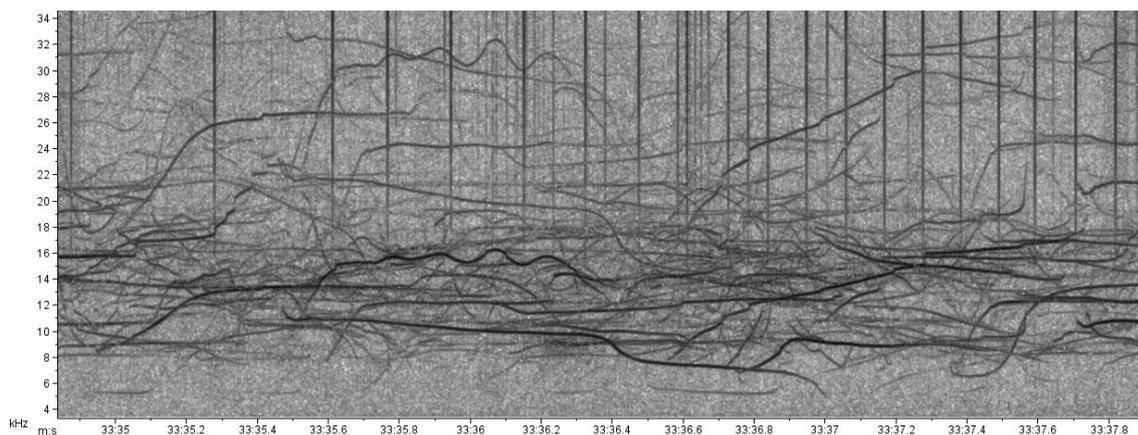


Fig. 6. Sobreposição de sinais acústicos encontrada no espectrograma

Os critérios adotados para considerar assobios sucessivos (separados menos de 1 s) como contornos individuais seguiram o trabalho de Bazúa-Durán e Au (2002), com destaque para a distância entre assobios maior do que 200 ms. Caso permanecesse a incerteza se os assobios sucessivos deveriam ser considerados como entidades diferentes, os mesmos eram desconsiderados (Bazúa-Durán and Au 2002).

A fim de facilitar o processo de comparação com estudos anteriores, os assobios foram categorizados seguindo as sete categorias de contornos descritas em trabalhos prévios

(Driscoll 1995, Bazúa-Durán 2001, Bazúa-Durán and Au 2002). Os contornos são: (1) ascendente, (2) descendente, (3) côncavo, (4) convexo, (5) constante, (6) sinusoidal, e (7) *chirp*. *Chirps* são definidos como todos os contornos, com uma duração ≤ 0.3 segundos (Driscoll 1995, Au and Hastings 2008).

De cada contorno, onze variáveis foram extraídas: 1) frequência inicial (FI), 2) frequência final (FF), 3) frequência mínima (FMi), 4), frequência máxima (FMa), 5) variação de frequência (FVar), 6) frequência de pico (P), 7) duração (Dur), 8) número de harmônicos (NH), 9) número de pontos de inflexão – *number of inflection points* (pontos onde ocorrem mudanças na inclinação do contorno de positiva para zero ou para negativa, ou vice-versa) (NI), 10) número de alças – *number of loops* (uma alça foi definida como uma região do contorno do assobio que assume a forma de uma parábola) (NA) e 11) número de quebras no contorno – *number of breaks* (pontos onde ocorrem variações bruscas e perceptíveis de frequência em um mesmo instante de tempo) (NQ).

A maioria das variáveis foi escolhida por ser consistente com trabalhos anteriores realizados com esta espécie (Steiner 1981, Norris *et al.* 1994, Wang *et al.* 1995, Driscoll 1995, Bazúa-Durán and Au 2002, Lammers 2003, Oswald *et al.* 2003, Bazúa-Durán and Au 2004, Camargo *et al.* 2006), sendo portanto útil para comparações.

Adicionalmente, pelo fato do espectrograma analisado apresentar características compatíveis com as descritas por Tyack (1976) para emissões em coro, foi feita a análise levando em consideração não só cada assobio individual, como essas unidades funcionais maiores. Para tanto, contornos de assobio que se repetiam claramente ao longo do espectrograma foram analisados individualmente e como coro. A fim de buscar alguma evidência da sua funcionalidade do refrão de assobios repetidos, talvez como assobios assinatura, acrescentou-se à análise dos parâmetros o número de assobios sobrepostos.

Dessa forma, na tentativa de refletir as diferenças aparentes no padrão temporal da emissão tonal, seguiu-se a metodologia descrita por Driscoll (1995), cujo trabalho apresentou mais de 50% de contornos repetidos. Quatro categorias foram então utilizadas para enquadrar somente as emissões em coro que se destacavam com algum contorno de sinal repetido: silêncio (ausência de outros assobios no refrão), sem sobreposição de assobios (ausência de sobreposição de assobios no coro), pouco refrão (de um a quatro assobios sobrepostos) e refrão intenso (mais de quatro assobios sobrepostos simultaneamente) (Driscoll 1995). A comparação também foi realizada dentro de cada contorno de assobio, avaliando sua porcentagem de repetição de um mesmo sinal e a distância entre esses sinais repetidos. Dentro dessa problemática, contornos semelhantes foram analisados cogitando a possibilidade de assinatura (dentro desse contexto de coro e repetição) mas também levando em conta a possibilidade de mimetismo tonal por outro indivíduo copiando a emissão, ou até mesmo uma variação idiossincrática.

Outra análise adicional refere-se aos eventos de bioacústica não-linear, fenômenos relacionados à produção sonora. Apesar desses fenômenos ainda não apresentarem uma análise mais específica dentro de sua categoria, tais eventos foram relatados e quantificados dentro da análise.

C. Análise Estatística

Todas as variáveis acústicas extraídas tiveram seu valor mínimo, valor máximo, média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação calculados. Para facilitar a comparação com os resultados anteriores, os métodos de análise estatística também foram semelhantes aos previamente utilizados (Oswald *et al.* 2003, Camargo *et al.* 2006, Oswald *et al.* 2007), com algumas modificações. Para explorar os resultados encontrados neste estudo, através do Programa “R” (R Core Team 2015) foram aplicados os testes multivariados descritos abaixo .

Primeiramente, após confirmar a normalidade dos dados, uma tabela de correlação linear foi montada, a fim de investigar a correlação dentro dos parâmetros. Em seguida, uma análise de componentes principais (PCA) (Pearson 1901, Zar 1998) foi utilizada como um esforço para encontrar as variáveis que eram mais importantes para explicar a variabilidade dos dados. Portanto, para comparar a média de cada variável obtida neste estudo perante médias correspondentes descritas na literatura (FI, FF, FMi, FMa, FVar e Dur), foram realizados mais testes uni e multivariados. Com a intenção de medir o grau de correlação linear (Pearson 1901, Zar 1998) entre variáveis, as variâncias entre os resultados foram avaliadas. A partir do teste F de Levene (Levene 1960), investigou-se a homogeneidade das variâncias entre os resultados, com as variações sendo posteriormente avaliadas pelo teste t (Student 1908) (para resultados apresentando homocedasticidade) e teste t de Welch (Welch 1947) (para resultados apresentando heterocedasticidade).

Para identificar qual dos resultados apresentados em estudos anteriores poderia estar mais perto dos resultados aqui encontrados, a distância de Mahalanobis (Prasanta Chandra 1936, Mitchell and Krzanowski 1985, Camargo *et al.* 2006) foi calculada – buscando a menor distância entre os valores médios para cada variável descrita no presente estudo e a média da variável correspondente descrita nos estudos anteriores. Adicionalmente, várias análises de Cluster (*e.g.*, Euclidiana, Correlação e K-Means) (Oswald *et al.* 2003, Oswald *et al.* 2007) foram realizadas. O critério de classificação para apontar qual população seria mais próxima do grupo analisado, levou em consideração as menores distâncias entre as médias comparadas e os Clusters formados de acordo com dados de similaridade ou menor distância. O objetivo de utilizar vários métodos foi complementar o teste t, aumentando assim a percepção de qual população estaria mais próxima deste grupo, e englobar da melhor maneira as comparações utilizadas até então para avaliar a emissão acústica da espécie.

1.3 RESULTADOS

I. Parâmetros gerais

A partir da seleção de 12 minutos da gravação, foram selecionados 1.100 assobios. O registro acústico de golfinhos-rotadores foi composto principalmente por assobios com contorno: ascendente (41, 2%), descendente (14, 9%) e chirp (13, 4%) (Fig. 7).

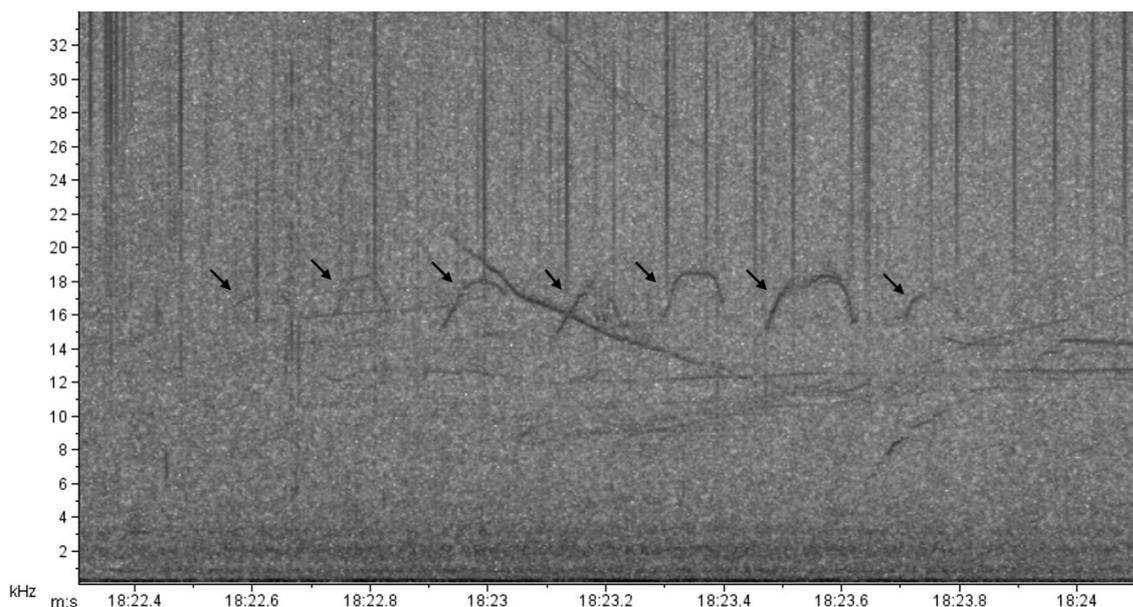


Figura 7. Exemplo de uma série de *chirps* destacados pelas setas pretas.

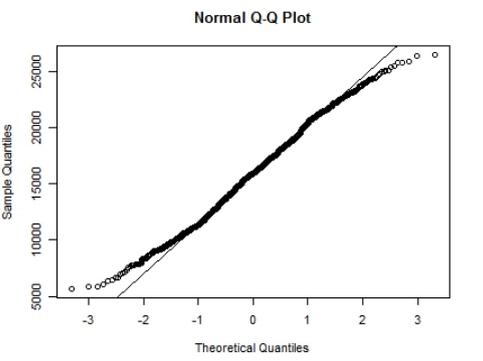
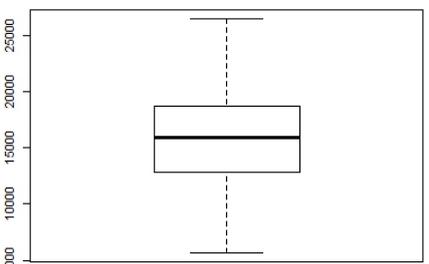
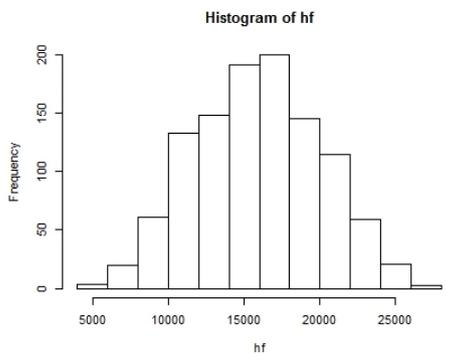
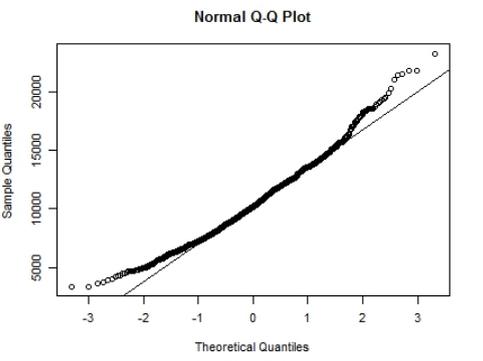
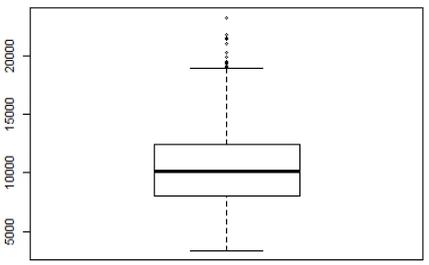
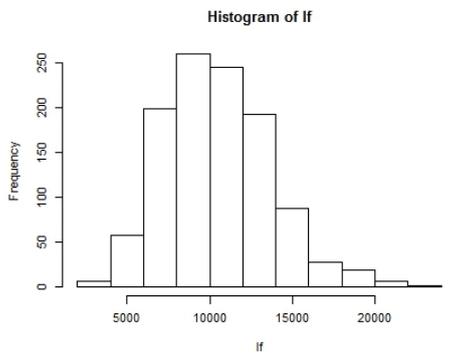
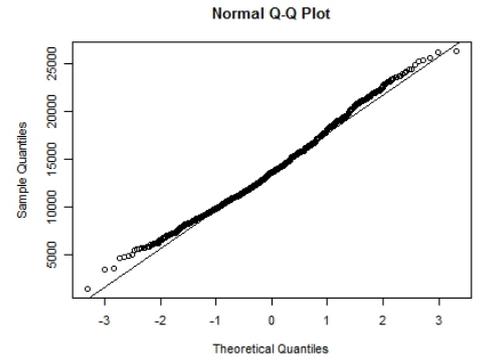
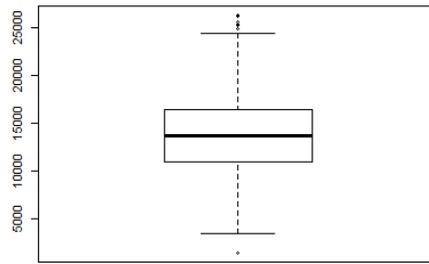
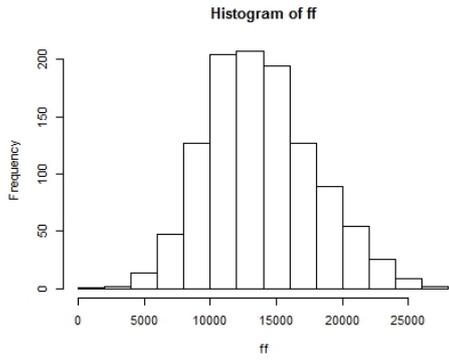
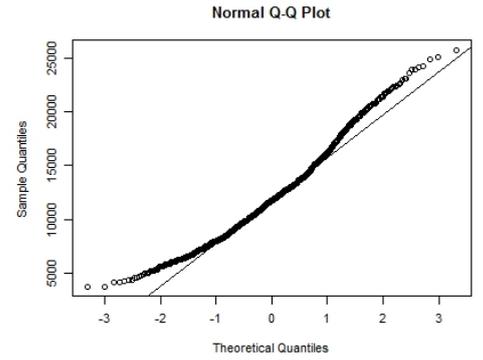
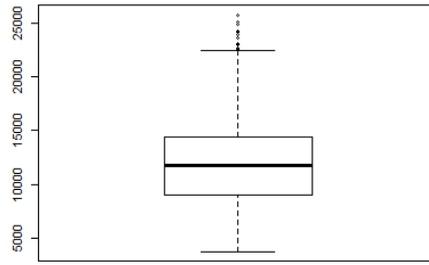
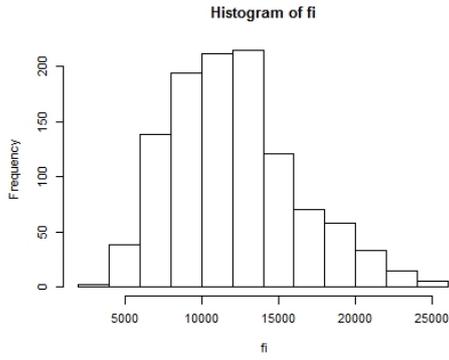
Quanto às outras medidas qualitativas: o número de harmônicos variou de 0 a 4, o número de pontos de inflexão oscilou entre 0 a 16, o número de alças foi de 0 a 9 e o número de quebras apresentou variação entre 0 e 22 (Tabela I). A porcentagem relativa às emissões apresentando essas variáveis foi: 71,45% apresentando ao menos um ponto de inflexão, 55,6% com pelo menos uma quebra no contorno e 54% com ao menos um harmônico. A porcentagem de alças encontradas foi baixa, 33,4%. No entanto, só pelo fato de apresentarem grande representatividade de pontos de inflexão e quebras, o repertório já é considerado complexo (média de NI e NQ ≥ 1 e níveis elevados de sociabilidade como indicadores da complexidade tonal) (e.g., May-Collado *et al.* 2007).

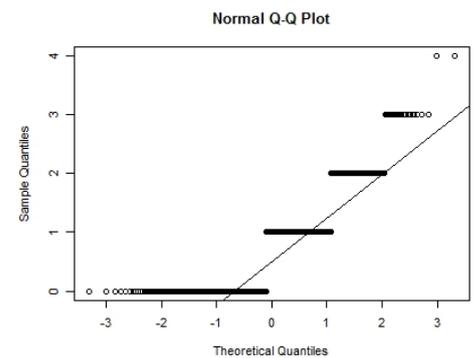
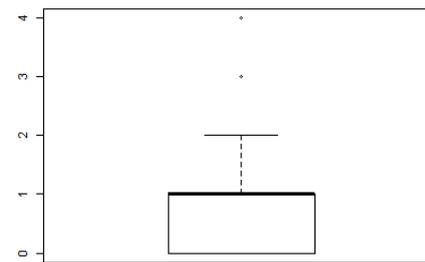
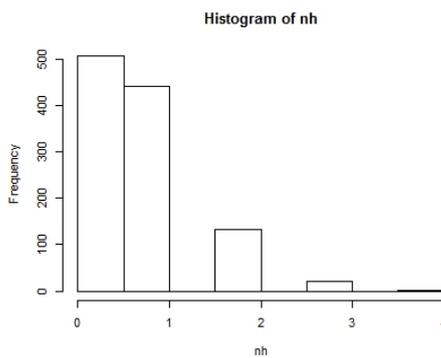
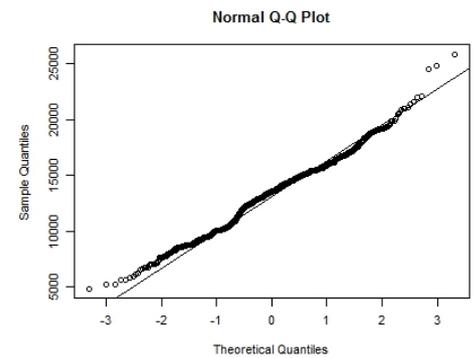
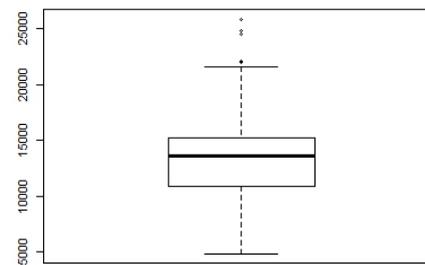
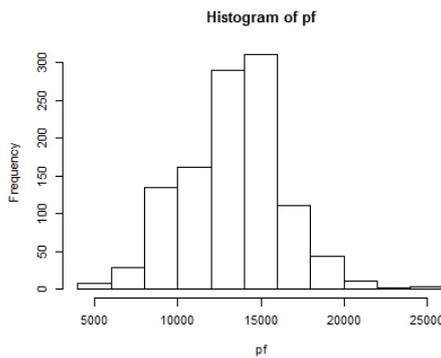
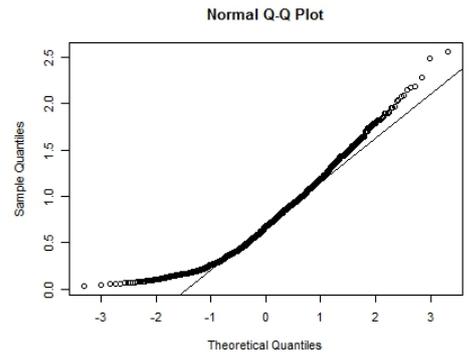
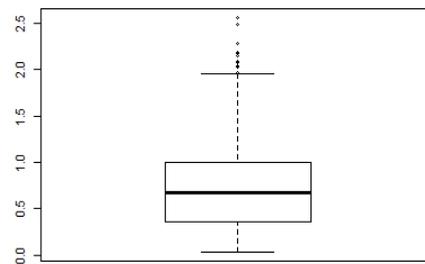
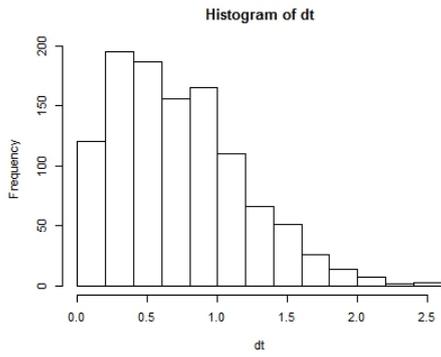
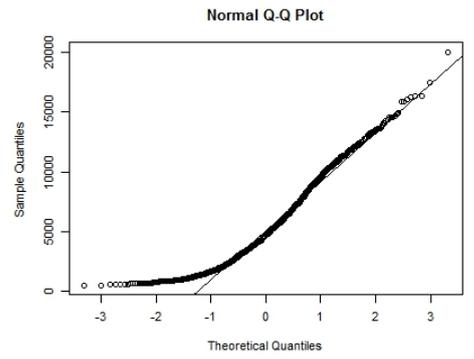
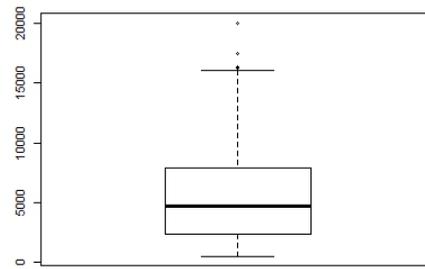
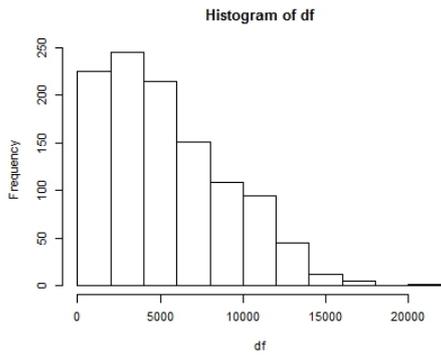
Tabela I. Análise quali-quantitativa dos assobios.

	N	FI	FF	FMi	FMa	FVar	P	Dur	NI	NQ	NA	NH
Méd.	1100	11,749	13,61	10,179	15,964	4,729	13,570	0,672	1	1	0	1
Min	1100	3,71	1,409	3,326	5,698	0,484	4,828	0,036	0	0	0	0
Max	1100	25,71	26,3	23,303	26,485	20,044	25,828	2,56	16	22	9	4
Desv.Pad.	1100	4,09	4,062	3,195	4,103	3,638	2,979	0,454	2	3,543	0,923	0,762
C.V. (%)	1100	34,81	29,85	31,39	25,70	76,93	21,972	67,56	200	354,3	0	76,2

Em relação às variáveis quantitativas: a frequência inicial variou de 3,71 a 25,71 kHz, frequência final foi de 1,41 a 26,3 kHz, com frequência mínima oscilando entre 3,33 e 23,30 kHz e frequência máxima de 5,7 a 26,49 kHz; apresentando uma variação de frequência entre 0,48 e 20 kHz. O grupo registrado produziu assobios modulados por maior frequência tonal do que foi descrito na literatura, apresentando uma frequência máxima de 26,4 kHz. A duração dos assobios variou de 0,04 a 2,56 segundos.

Após constatar a normalidade dos dados (Figuras de 7 a 17), o grau de associação entre as variáveis foi testado utilizando uma tabela de correlação linear (Tabela II). As associações mais significativas foram observadas entre FVar/FI, FMa/P, FF/FMa e FI/FMi. As associações foram menos significativas entre FMi/FVar, FMi/Dur e FI/Dur. A PCA também foi realizada com estes dados, e em relação aos coeficientes de correlação do teste, observa-se uma grande correlação entre a FMa e P, juntamente com um valor menor para Dur (Fig. 18).





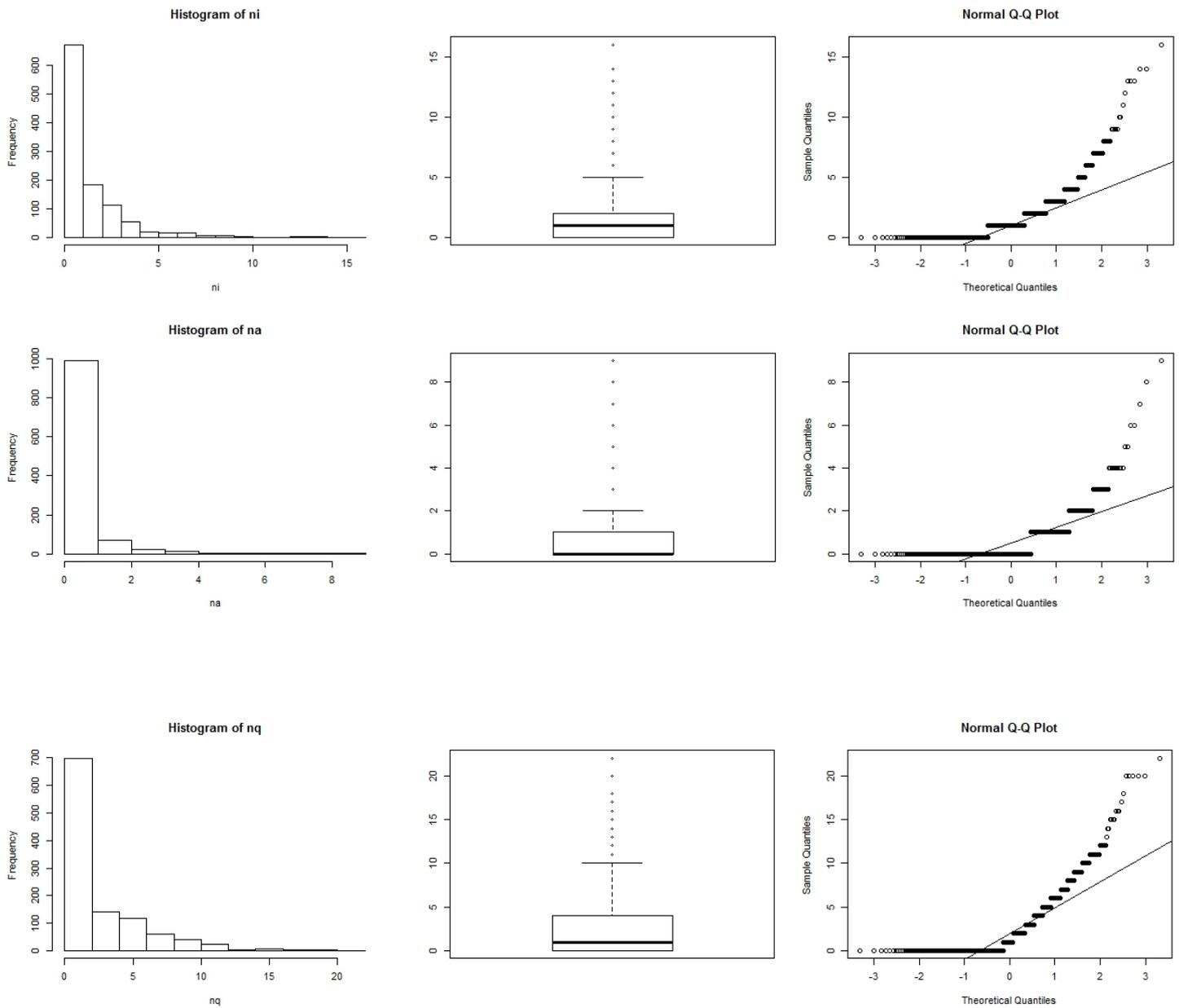


Fig. de 8 a 17. Distribuição normal dos dados analisados para cada parâmetro extraído, segundo histograma, boxplot e q-q plot construídos. Os dados são, respectivamente: frequência inicial (fi), frequência final (ff), frequência mínima (lf), frequência máxima (hf), variação de frequência (df), duração (dt), frequência de pico (pf), número de harmônicos (nh), número de pontos de inflexão (ni) e número de alças (na)

Fig. 18. Única distribuição que apresentou *outliers*, para o número de quebras (nq), conforme pode-se notar pela linha acima do boxplot.

Tabela II. Tabela de correlação linear das variáveis analisadas.

	FI	FF	FMI	FMA	FVAR	DUR	P
FI	0	5,46E-28	1,06E-201	9,76E-106	0,78169	0,11324	7,96E-110
FF	0,3222	0	1,93E-97	4,99E-184	1,53E-27	0,015425	3,20E-121
FMI	0,75289	0,57409	0	1,71E-79	6,66E-22	2,20E-13	4,66E-158
FMA	0,59369	0,73044	0,52657	0	1,53E-141	2,42E-17	9,65E-209
FVAR	0,008365	0,31959	-0,28433	0,66532	0	3,10E-63	3,80E-17
DUR	-0,04778	0,073019	-0,21876	0,25159	0,47584	0	0,006045
P	0,60288	0,627	0,69275	0,76121	0,25008	0,082728	0

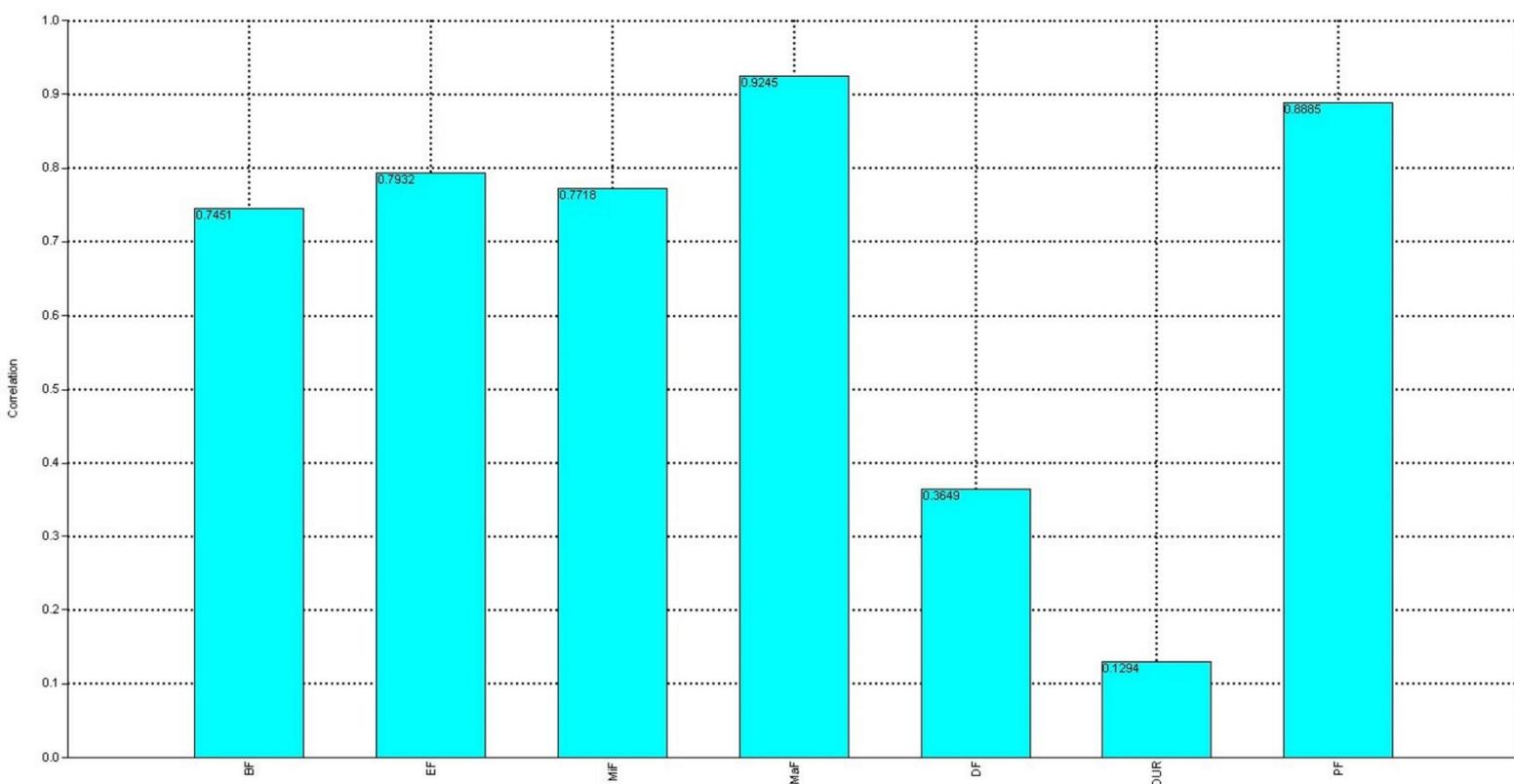


Fig. 19. Resultado da Análise dos Componentes Principais (PCA) para a correlação das medidas quantitativas, sendo respectivamente: frequência inicial (BF), frequência final (EF), frequência mínima (Mif), frequência máxima (Maf), variação de frequência (DF), duração (DUR) e frequência de pico (PF).

II. Variação geográfica assobio

A distribuição das percentagens dos contornos na literatura disponível foi comparada através dos gráficos originados (Fig.20). A relação da localização geográfica, limite

máximo de gravação e comportamento de grupo registrado de cada estudo também foi levada em consideração (Tabela III).

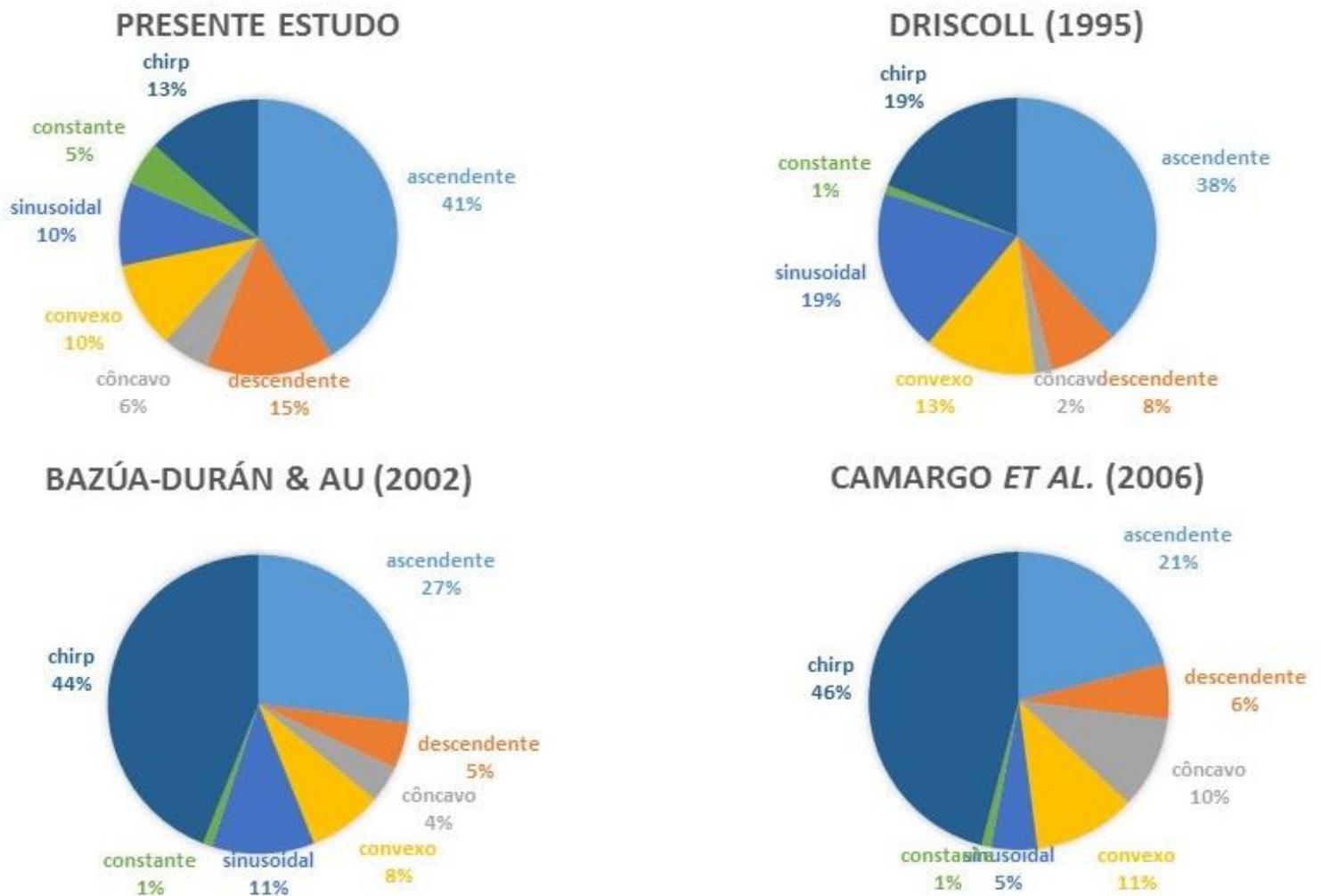


Fig. 20. Porcentagem de contornos de assobios encontrados em comparação com literatura disponível.

Tabela III. Comparação das diferentes metodologias e localização dos estudos prévios em relação a este.

Estudo	Taxa de amostragem	Localização geográfica do registro	Tempo e/ou número de registros	Tamanho de grupo	Comportamento
Presente	96 kHz	Sudoeste do Oc. Atlântico Sul - quebra da plataforma continental Brasileira	38 min (1 registro)	400	navegação com intensa atividade aérea
Camargo <i>et al.</i> (2006)	48 kHz	Oc. Atlântico Sul - Fernando de Noronha	2 meses	<i>nr</i>	corde, cuidado parental e descanso
Lammers <i>et al.</i> (2003)	260 kHz	Oc. Pacífico - Oahu, Havai	18 registros	3 a 100	descanso, navegação e socialização
Oswald <i>et al.</i> (2003)	150 kHz	Oc. Pacífico Oriental Tropical (fronteiras dos E.U.A./México até águas territoriais do Peru e das margens continentais da América até a longitude do Havai)	8 meses (8 registros)	<i>nr</i>	<i>nr</i>
Bazúa-Durán e Au (2002)	48 e 140 kHz	Oc. Pacífico - Atol de Midway, Kauai, Oahu, Lanai, Maui, e costa da ilha principal do Havai	28 registros	<i>nr</i>	<i>nr</i>
Driscoll (1995)	35, 46 e 50 kHz	Oc. Pacífico - Costa de Kona, Havai	30 registros	<i>nr</i>	navegação próximo à costa, descanso e zig-zag longe da costa
Wang <i>et al.</i> (1995)	48 kHz	Oc. Pacífico - Havai	2 registros	<i>nr</i>	<i>nr</i>
Norris <i>et al.</i> (1994)	35, 46 e 50 kHz	Oc. Pacífico - Costa de Kona, Havai	<i>nr</i>	<i>nr</i>	navegação próximo à costa, descanso e zig-zag longe da costa
Steiner (1981)	48 kHz	Leste do Oc. Atlântico - próximo às Ilhas Virgens Britânicas	1 registro	<i>nr</i>	<i>nr</i>

Quanto à comparação das análises quantitativas, um resumo dos parâmetros mais relevantes dos assobios em relação ao seu componente fundamental pode ser visto na Tabela IV. O grupo registrado ao longo da quebra da plataforma continental Brasileira apresentou uma frequência máxima de 26,4 kHz. Os assobios possuíam curtas durações, variando entre 0,03 s (mínimo) – 2,56 s (máximo) (média = 0,67 s).

Tabela IV: Análise quantitativa dos assobios (média, desvio padrão, e valores máximo e mínimo) de 10 parâmetros do componente fundamental. Legenda: FI - frequência inicial; FF - frequência final; FMi - frequência mínima; FMa - frequência máxima; FVar- variação de frequência; DUR- duração; NI- número de pontos de inflexão; NQ- número de quebras; NA- número de alças; NH- número de harmônicos; nr- não reportado.

Estudo	Estadística	N	FI (kHz)	FF (kHz)	FMi (kHz)	FMa (kHz)	FVar (kHz)	DUR (s)	NI	NQ	NA	NH
Presente estudo	Méd.	1100	11,749	13,61	10,179	15,964	4,729	0,672	1	1	0	1
	Mín.		3,71	1,409	3,326	5,698	0,484	0,036	0	0	0	0
	Máx.		25,712	26,302	23,303	26,485	20,04	2,56	16	22	9	4
	Desv. Pad.		4,09	4,062	3,195	4,103	3,638	0,454	2	3,543	0,923	0,762
	C.V. (%)		34,81	29,85	31,39	25,7	76,93	67,56	200	354,3	0	76,2
CAMARGO <i>et al.</i> (2006)	Méd.	702	10,78	12,74	9,03	14,48	5,44	0,495	1,16	0,86	0,66	0,63
	Mín.		2,06	2,03	2,03	3,3	0	0,001	0	0	0	0
	Máx.		23,08	22,52	19,36	23,08	16,6	1,8	6	12	4	3
	Desv. Pad.		4,08	4,02	2,79	3,87	3,44	0,394	1,15	1,72	0,77	0,67
	C.V. (%)		37,88	31,54	30,85	26,73	63,2	79,78	99,17	198,28	116,48	106,97
LAMMERS <i>et al.</i> (2003)	Méd.	167	<i>nr</i>	<i>nr</i>	10,1	17,4	7,3	0,66	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	1,83
	Mín.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Máx.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	2,5	3	3,9	0,36	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	0,87
	C.V. (%)		<i>nr</i>	<i>nr</i>	24,75	17,24	53,42	54,55	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	47,54
OSWALD <i>et al.</i> (2003)	Méd.	112	10,4	12,4	9,1	13,7	4,6	0,6	1,9	0,7	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Mín.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Máx.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		3,4	3,6	2,5	3,5	3,4	0,4	4,1	1,4	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	C.V. (%)		32,69	29,03	27,47	25,55	73,91	66,67	215,79	200	<i>nr</i>	<i>nr</i>
BAZÚA-DURÁN and AU (2002)	Méd.	8611	11,4	13,54	9,99	15,85	5,86	0,493	<i>nr</i>	<i>nr</i>	0,42	<i>nr</i>
	Mín.		1,38	1,07	0,85	1,71	0,22	0,013	<i>nr</i>	<i>nr</i>	0	<i>nr</i>
	Máx.		23,78	23,98	22,35	24	18,3	4,49	<i>nr</i>	<i>nr</i>	12	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		3,68	3,78	2,71	3,58	3,49	0,388	<i>nr</i>	<i>nr</i>	0,75	<i>nr</i>
	C.V. (%)		32,28	27,92	27,13	22,59	59,56	78,7	<i>nr</i>	<i>nr</i>	56	<i>nr</i>
NORRIS <i>et al.</i> (1994)	Méd.	389	10,42	15,85	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	0,68	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Mín.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Máx.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	C.V. (%)		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
DRISCOLL (1995)	Méd.	965	11,8	14,46	10,19	16,8	6,6	0,661	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Mín.		4,64	4	4	5,6	<i>nr</i>	0,04	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Máx.		21,44	23,04	21,22	23,04	<i>nr</i>	1,87	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		3,66	3,91	2,4	3,17	<i>nr</i>	0,334	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	C.V. (%)		31,02	27,04	23,55	18,87	<i>nr</i>	50,53	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
WANG <i>et al.</i> (1995)	Méd.	271	10,61	14,05	9,03	15,2	<i>nr</i>	0,75	1,07	0,68	<i>nr</i>	0,15
	Mín.		3,91	7,19	3,91	8,75	<i>nr</i>	0,1	0	0	<i>nr</i>	0
	Máx.		18,92	22,46	14,38	22,46	<i>nr</i>	1,82	9	1	<i>nr</i>	1
	Desv. Pad.		3,44	2,37	2,24	1,66	<i>nr</i>	0,33	1,19	0,47	<i>nr</i>	0,36
	C.V. (%)		32,42	16,9	24,75	10,89	<i>nr</i>	44,31	111,66	68,31	<i>nr</i>	237,29
STEINER (1981)	Méd.	2088	9,75	13,16	8,76	14,31	<i>nr</i>	0,43	0,55	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Mín.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Máx.		<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	Desv. Pad.		3,5	3,1	2,6	2,76	<i>nr</i>	0,33	0,97	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>
	C.V. (%)		35,93	23,54	29,85	19,30	<i>nr</i>	76,74	176,36	<i>nr</i>	<i>nr</i>	<i>nr</i>

A primeira abordagem para comparação estatística desses resultados no contexto da literatura foi feita através do teste t (Tabela V), no qual o trabalho de Steiner (1981) apresentou diferenças menos significativas. A investigação a respeito de qual população anteriormente descrita seria mais próxima acusticamente deste grupo, foi realizada a partir da Distância de Mahalanobis, utilizando os valores médios disponíveis na literatura. Verificou-se que a menor distância foi associada ao trabalho de Driscoll (1995). Uma

série de análises de Cluster também foi realizada, utilizando-se diferentes medidas de semelhança e distância. Do ponto de vista das medidas de Distância Euclidiana (Fig. 21) e de Correlação (Fig. 22), os rotadores de Bazúa-Durán e Au (2002) foram agrupados como os mais semelhantes a este trabalho. A medida K-means agrupou três trabalhos anteriores (Wang *et al.* 1995, Driscoll 1995, Bazúa-Durán and Au 2002) como sendo mais relacionados com este (Fig. 24).

Depois de ponderar que todos estes testes foram realizados somente com valores médios, impedindo um maior aprofundamento na análise estatística, aceitou-se que esta população se assemelha a ambos estudos correlacionados com mais frequência (Bazúa-Durán and Au 2002, Driscoll 1995), supostamente estando mais próxima da população Havaiana.

Tabela V. Comparação dos valores obtidos neste estudo com os resultados descritos disponíveis na literatura para cada variável do assobio considerada a partir do teste T.

	Camargo et al. (2006)	Lammers et al. (2003)	Oswald et al. (2003)	Bazúa-Durán & Au (2002)	Driscoll (1995)	Wang et al. (1995)	Steiner (1981)
FF							
t Test	4.909	-	3.92	2.694	-0.299	4.694	13.708
Degrees of freedom	1800	-	145.798	1336.238	2062.183	476.607	1957.145
p-value	<0.001	-	<0.001	0.007	0.765	<0.001	<0.001
FI							
t Test	4.453	-	3.035	0.543	-4.829	-2.3283	3.158
Degrees of freedom	1800	-	1210	1353.744	2063	710.3274	1788.898
p-value	<0.001	-	0.002	0.588	<0.001	0.0202	0.002
FMi							
t Test	8.051	0.366	4.229	1.878	-0.089	6.892	12.627
Degrees of freedom	1634.918	256.151	150.567	1308.877	2016.398	573.112	1888.338
p-value	<0.001	0.715	<0.001	0.061	0.929	<0.001	<0.001
FMa							
t Test	7.653	-5.459	6.412	0.880	-5.213	4.787	11.949
Degrees of freedom	1800	270.374	143.952	1321.561	2031.260	1088.560	1642.799
p-value	<0.001	<0.001	<0.001	0.379	<0.001	<0.001	<0.001
FVar							
t Test	-4.132	-14.222	0.360	-10.072	-	-	-
Degrees of freedom	1800	1800	1210	9709	-	-	-
p-value	<0.001	<0.001	0.719	<0.001	-	-	-
DJR							
t Test	8.757	0.387	1.616	12.506	0.632	-3.213	15.636
Degrees of freedom	1640.836	253.606	1210	1312.187	2003.836	551.068	1725.542
p-value	<0.001	0.699	0.106	<0.001	0.527	0.001	<0.001

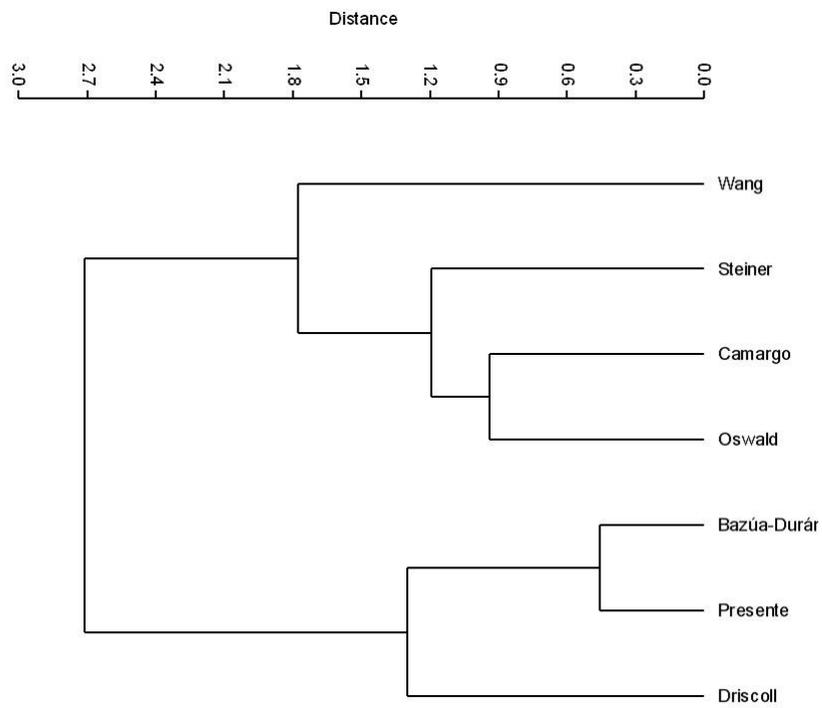


Fig. 21. Cluster formado a partir da distância Euclidiana, coeficiente de correlação. = 0.7905

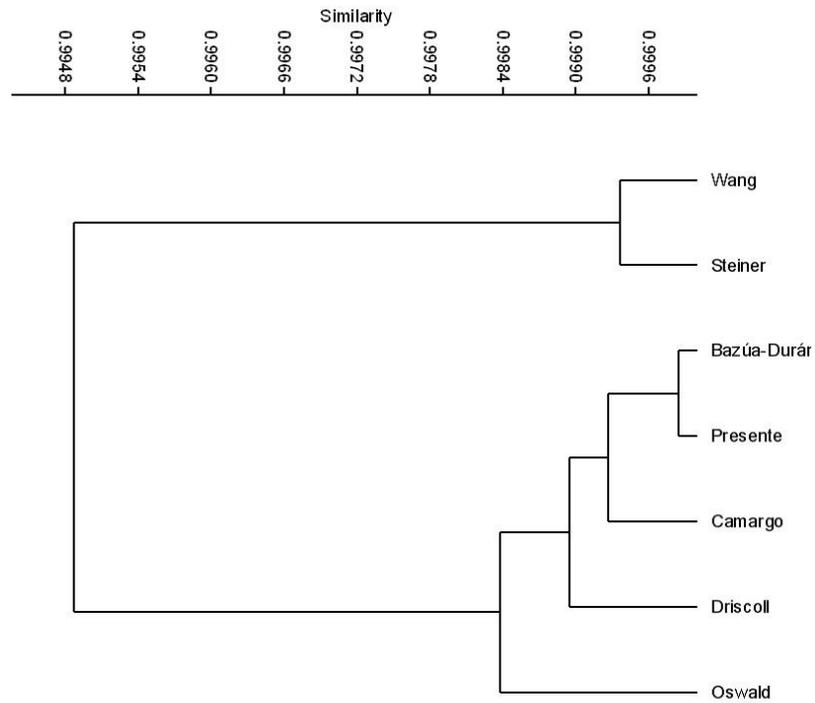


Fig. 22. Cluster formado a partir de medida de Correlação, coeficiente de correlação. = 0.8965

Estudo	Cluster
Presente	2
Camargo	1
Oswald	1
Bazúa-Durán	2
Driscoll	2
Wang	2
Steiner	3

Fig. 23. Cluster formado com medida K-Means.

III. Assobios assinatura, mimetismo tonal, coro e crescendo

Em relação à distância entre emissões com característica de sinal assinatura, encontrou-se variação de 0,066 a 11,56 segundos (média 2,8 s e desvio padrão de 3,4). Para os dados analisados, foram encontrados 77 casos de repetição de algum contorno de assobio (7% do volume de dados analisados). Cada contorno foi repetido ao menos uma vez, e no máximo 8 vezes (Fig. 24). As maiores repetições ocorreram com sinais de baixa frequência. A percentagem de repetição foi maior para contorno ascendente (48%), sinusoidal (26%) ou descendente (15,6%). Não foi encontrado nenhuma repetição para o contorno *chirp*.

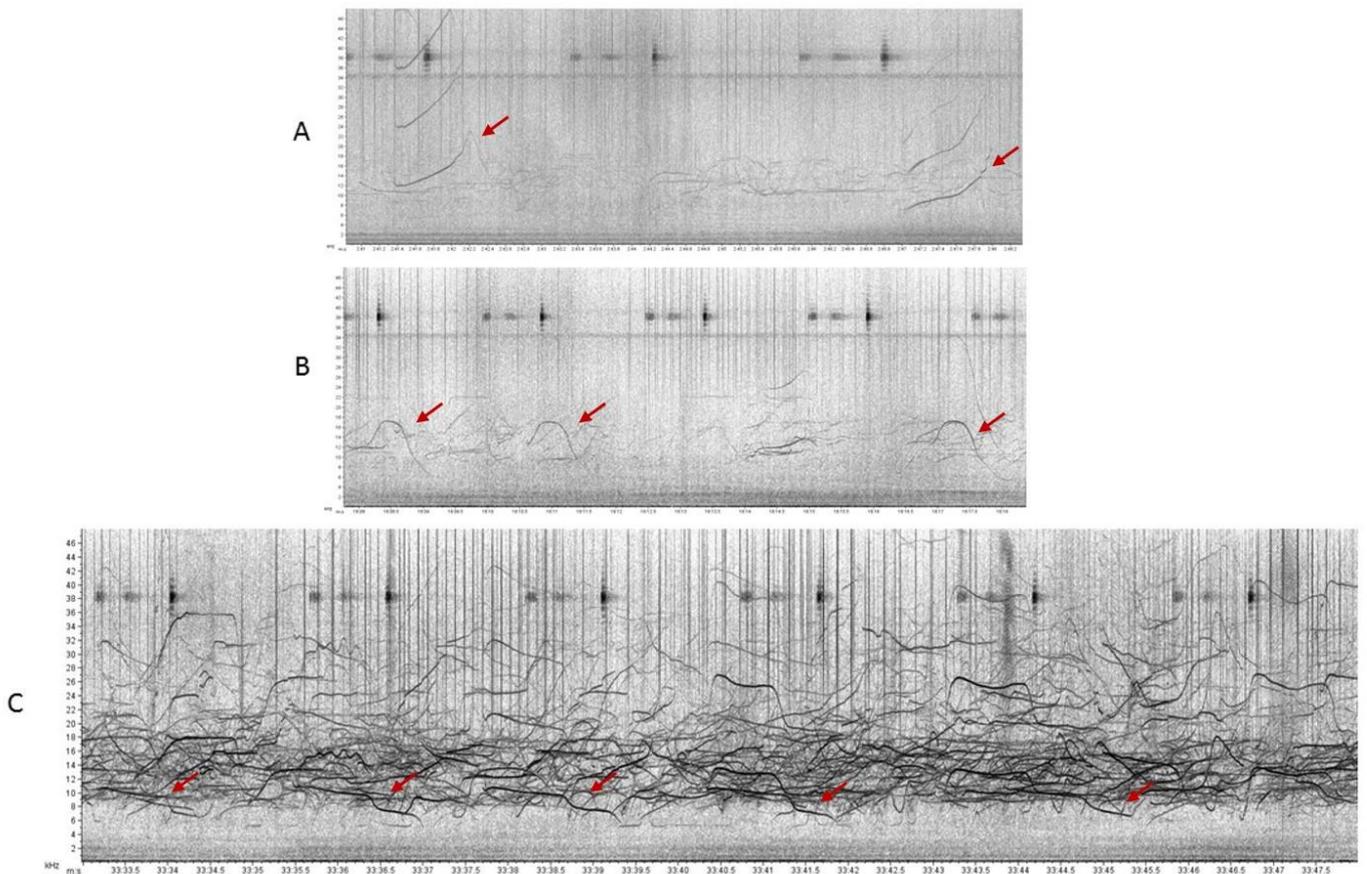


Figura 24. Repetição de assobios com potencial de assinatura (setas vermelhas). Na imagem A e B pode-se notar repetição dupla e tripla respectivamente, na imagem C nota-se uma repetição quántupla de sinal tonal de baixa frequência.

A maioria do espectrograma apresentou padrão de coral intenso (72,7% para os assobios repetidos analisados). Apesar dessa análise só ter sido quantitativamente realizada nos casos de repetição tonal, foi um padrão observado ao longo de todo registro acústico. Dessa forma, confirmam-se as hipóteses: de Driscoll (1995) – a respeito de padrões de assobios que se repetem e poderiam ser analisados como unidades funcionais maiores dentro do repertório – e de Caldwell e Caldwell (1978) – tendência de emissão em coro – para o grupo de rotadores em questão.

Para o registro acústico analisado, as médias relativas ao número de harmônicos, número de pontos de inflexão, número de alças e número de quebras foram maiores do que as médias correspondentes para assobios sem repetição (Tabela VI). De fato, 80,5% dos componentes fundamentais repetidos apresentou harmônicos e/ou pontos de inflexão; enquanto que 54,5% apresentou ao menos uma quebra. A presença de pelo menos uma alça ocorreu em 44,1% dos contornos.

	Fi (kHz)	Ff (kHz)	Fmi (kHz)	Fma (kHz)	Fvar (kHz)	Dur (s)	P (kHz)	NH	NI	NA	NQ
Méd	10553.4	13586	8049	17338.1	7893.1	1.029	14109.4	1	2	0	2
Mín	3713	4687.5	3654.5	6629.5	1606.9	0.312	5625	0	0	0	0
Máx	23853.1	23734.6	15009.3	25008.1	13931.8	2.172	21000	4	11	8	20
Desv Pad	4346.19	4549.17	2963.07	4376.23	3134.27	0.49	2962.81	0.92	2.20	1.39	3.93
C.V. (%)	41.18	33.48	36.81	25.24	39.71	47.32	21.00	92.21	110.10	0	196.40

Tabela VI. Análise quali-quantitativa dos assobios repetidos.

IV. Fenômenos de bioacústica não-linear

Foram encontrados 12 casos de assobios (1% do volume de dados analisados) apresentando algum evento de emissão não-linear. Os eventos não-lineares ocorreram sempre associados ao crescendo – emissões oscilando entre extremos de completo silêncio a ataques vociferantes – principalmente dentro de situações de coro intenso

(66,7%). Foram identificados todos os eventos não-lineares já descritos para outras espécies (Fig. 25 e 26).

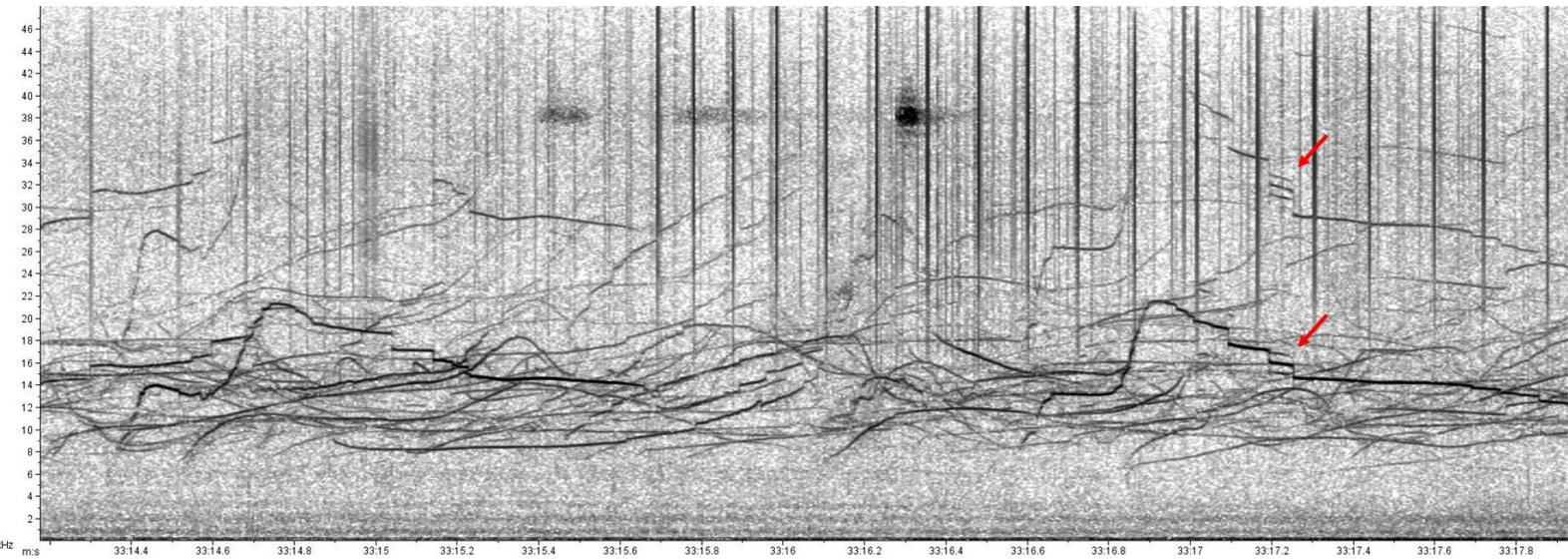


Fig. 25. Repetição de um mesmo contorno apresentando bandas laterais no componente fundamental e harmônico (na ponta das setas vermelhas), caracterizando bifonação na forma de banda não-paralela com “frequency jumps” (pulos na frequência).

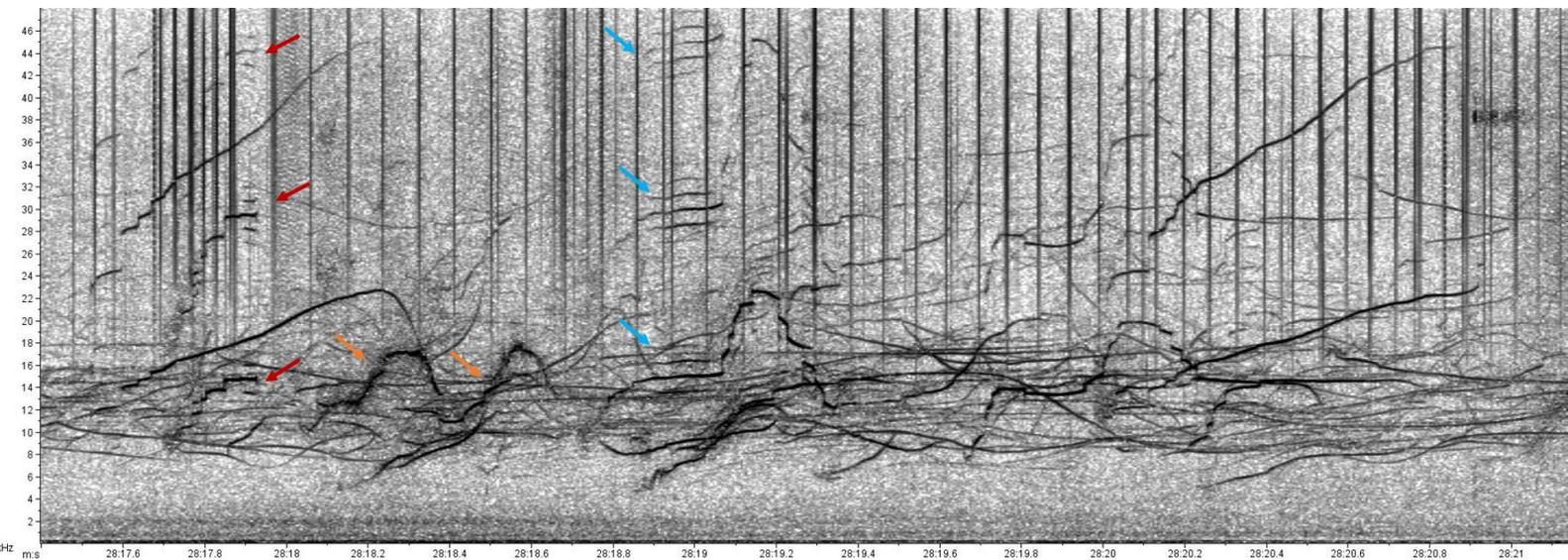


Fig. 26. Sequência de assobios de menor frequência apresentando *buzz* introdutório seguido por caos gerado por reverberação (setas laranjas). Do lado esquerdo dessa sequência, assobios apresentando bifonação não-paralela com bandas laterais (setas vermelhas) nos componentes fundamental e harmônicos. Do lado direito da mesma sequência, assobios apresentando bifonação não-paralela com subharmônicos (setas azuis) nos componentes fundamental e harmônicos.

1.4 DISCUSSÃO

I. Parâmetros gerais

Caldwell e Caldwell (1970) sugeriram que *chirps* seriam uma classe especial de sinais compostos por partes (usualmente a primeira porção) de assobios maiores, especialmente assobios assinatura. Apesar do presente trabalho não ter quantificado nenhuma evidência para suportar a afirmação dos autores, notou-se algumas partes do espectrograma que poderiam suportar essa afirmação (Fig. 7), o que poderia explicar a representatividade (13,4%) do contorno ao longo do espectrograma. Tais sequências de contornos foram encontradas algumas vezes em série ao longo da gravação, e de fato, muitas vezes pareciam segmentos repartidos de outros assobios. Como apontado por Driscoll (1995), pelo fato de *chirps* realmente parecerem componentes fragmentados, não há uma estrutura regular que se repita a ponto de ser analisada como uma sequência repetida; pelo contrário, cada série poderia ser categorizada como uma única unidade. Desta forma, ao não encontrar repetição para os *chirps*, o presente trabalho corrobora com esta possibilidade de os mesmos não serem um contorno propriamente dito.

Uma vez que o foco deste trabalho foi apresentar a descrição dos parâmetros extraídos dos assobios para comparação com a literatura disponível, não será abordada a variedade de formas de sinais dentro de cada contorno. Esses formatos diferenciados encontrados no espectrograma poderiam gerar novas categorias, entretanto, como não se sabe ainda qual a real importância em categorizar os contornos (a menos que para comparação), escolheu-se não subdividir mais ainda as categorias já descritas no âmbito deste trabalho. Não obstante, notou-se um repertório de assobios com formatos mais peculiares do que os utilizados para distinção, principalmente quanto ao número de quebras, pontos de inflexão e eventos não-lineares, o que parece ser referente a emissões ainda mais vastas e diversificadas do que já foi descrito até então.

Ainda neste âmbito de categorias de contorno, conforme sugerido por Caldwell *et al.* (1990), grandes amostras oportunistas de sinais acústicos rapidamente tornam-se "inclassificáveis" se o sistema utilizado para distinção se baseia em pequenas diferenças no contorno do assobio. Por exemplo, Bazúa-Durán (1997) obteve 270 tipos diferentes de assobio (numa amostra de 1.320) para golfinhos-nariz-de-garrafa no Golfo do México. Norris *et al.* (1994) mencionou que o sistema de classificação, deve ser composto de grandes categorias para que as diferenças no contorno do assobio possam ser generalizadas, permitindo que grandes amostras de assobios possam ser alocadas dentro de categorias mais abrangentes. No entanto, a classificação de assobios num determinado número de categorias mutuamente exclusivas, como as 7 utilizadas neste estudo, ou em um número "indefinido" de categorias, com base em ligeiras diferenças nos contornos, como os obtidos por Bazúa-Durán (1997) são igualmente limitadas pela natureza gradual da emissão tonal dos golfinhos (Lammers 2003) e por critérios de classificação arbitrários.

Driscoll (1995) já havia questionado quantas e quais categorias pré-determinadas devem ser escolhidas para dividir os tipos de contorno. A autora abre a discussão acerca de como deve ser considerada essa variação dentro do contorno, a fim de afirmar que dois assobios são dois tipos diferentes de emissão. Dessa forma, acredita-se que o número de categorias utilizadas depende da maneira como esses detalhes serão utilizados na comparação entre os contornos. No mais, devido à natureza gradual dos assobios, julga-se que tal categorização deva ser utilizada com muita cautela. Medições de tempo e frequência extraídas dos contornos são comumente utilizadas para comparar diferentes grupos, populações e espécies (*e.g.*, Steiner 1981, Wang *et al.* 1995, Rendell *et al.* 1999, Bazúa-Durán 2001). No entanto, a categorização das formas tonais é útil na comparação entre estudos, auxiliando na visualização do conjunto do repertório acústico (Driscoll

1995). Portanto, se a categorização é para ser executada, limites muito específicos devem ser utilizados para definir as categorias, de modo a reduzir consideravelmente as diferenças de observação (Driscoll 1995). Além disso, estudos de percepção são ainda necessários para determinar a fronteira real entre categorias e seu significado biológico e comportamental. Dessa forma, ressalta-se novamente que a categorização dos contornos aqui apresentada teve como principal intuito a comparação com resultados prévios, não levando adiante maiores distinções entre os contornos apresentados por falta de evidência (comportamental e acústica) que justificasse uma ação contrária.

Em relação à presença de harmônicos, assobios sem harmônicos eram geralmente mais fracos do que aqueles que os apresentavam. Tal fato pode estar associado tanto à emissão por animais mais afastados do hidrofone quanto à falta da estrutura harmônica. Lammers *et al.* (2003) relaciona a composição harmônica dos rotadores com o controle de modulação exercido pelos animais na hora da emissão. Assim como já destacado por Lammers *et al.* (2003), parece que a presença ou ausência de um componente harmônico relaciona-se à amplitude máxima da frequência do fundamental, sugerindo que os harmônicos poderiam ser subprodutos espectrais oriundos dessa modulação de amplitude. Ou seja, conforme o golfinho aumenta a amplitude dos seus sinais, pode-se perder progressivamente a capacidade de produzir um som puro, resultando em distorções harmônicas (Lammers *et al.* 2003). Dessa forma, a variação na composição harmônica entre os assobios sugere que a direcionalidade e modulação provavelmente influenciam sua ocorrência. Ainda conforme destacado pelos autores, medições empíricas mais detalhadas do padrão de emissões dos assobios, verificando como a amplitude do sinal pode afetar a ocorrência de harmônicos, poderá fornecer uma explicação mais definitiva para a variabilidade observada.

O fato do hidrofone ser omnidirecional também pode ter gerado sinais fora do eixo (*off-axis*), o que poderia distorcer mais ainda os harmônicos encontrados. Conseqüentemente, adotou-se uma medida conservadora, somente medindo os parâmetros do componente fundamental do assobio, buscando manter-se mais dentro do eixo (*on-axis*) possível; relatando apenas o número de harmônicos encontrados para facilitar a comparação— mas levando em conta a ressalva acima.

De acordo com os valores mais elevados de frequência descritos para este grupo, assim como os resultados das análises estatísticas realizadas (correlação linear e PCA), demonstram grande importância das emissões de alta frequência. Parece que, como um grupo em alto mar enfrentando a ausência de qualquer barreira significativa, é dada prioridade ao uso de frequências mais elevadas, juntamente com faixas de frequência mais amplas; como um esforço para beneficiar-se mais de estímulos acentuados para localização. Esta predição já havia sido feita por Wang *et al.* (1995), e os resultados aqui apresentados parecem apoiar esta ideia. No entanto, essa maior frequência observada pode estar relacionada ao fato de que os golfinhos estão mantendo um contato mais direto entre o grupo, mantendo a sua coesão e / ou proteção da prole (Connor, 2000). Uma terceira hipótese é que o grupo analisado pertence a uma população distinta das que foram analisadas previamente, apresentando suas próprias peculiaridades quanto a emissão sonora (Bazúa-Durán 2004). Não obstante, ainda há a possibilidade das maiores frequências encontradas serem um resultado direto do ruído produzido pela embarcação, ou seja; os animais estariam tentando destacar suas emissões diante de uma situação acústica menos favorável.

Em acordo com Driscoll (1995), o golfinho-rotador de fato utiliza todo alcance de frequência descrito para delfinídeos (fundamental entre 2 – 22 kHz), para todos os tipos

de contorno; não aparentando existir nenhuma divisão ou concentração de emissões dentro do espectro de frequência.

II. Variação geográfica dos assobios

Quanto a comparação entre os tipos de contorno encontrados para este trabalho, aqueles que apresentaram maior representatividade dentro do repertório mostraram um resultado particularmente diferente do que foi apresentado em estudos prévios (Fig. 20). O grupo registrado produziu assobios com maior índice de modulação do que foi anteriormente descrito na literatura. Os valores apresentados para duração do assobio também foram maiores do que a maioria dos trabalhos anteriores tinham relatado (Steiner 1981, Driscoll 1995, Lammers *et al.* 2003, Oswald *et al.* 2003, Camargo *et al.* 2006) apresentando uma média semelhante à que Norris (1994) havia descrito (0,68s). Somente Wang *et al.* (1995) relatou valores de duração média (0,75s) e mínima (0,1s) mais altas, e Bazúa-Durán e Au (2002) apresentaram uma maior duração máxima (4,49s).

Bazúa-Durán e Au (2002) e Camargo *et al.* (2006) relataram uma maior taxa de contorno do tipo *chirp*, seguido pela curva ascendente. Apesar de Driscoll (1995) ter detectado principalmente contorno ascendente, a autora também descreveu um percentual maior do que o que foi encontrado para *chirps* neste grupo. A menor taxa de *chirps* encontrada, em comparação com o que foi anteriormente discutido pode ser explicada pela grande quantidade de sinais acústicos sobrepostos encontrados neste espectrograma (Fig. 6), que podem ter dificultado a integração destes sinais mais curtos na amostra.

Apesar de Bazúa-Durán e Au (2002) e Driscoll (1995) também terem encontrado uma maior representação para assobios com contorno sinusoidal, as semelhanças parecem não persistirem mais a partir deste ponto. Assim, as características mais comuns entre os diferentes estudos já realizados com a espécie são a alta representatividade dos contornos

ascendente e *chirp*, juntamente com uma baixa taxa do contorno constante. Apesar do tipo constante ser menos representativo, o contorno apresentou uma porcentagem maior dentro da distribuição de contornos possíveis do que havia sido descrito na literatura até então. Partindo deste ponto de vista, puramente qualitativo, apesar das emissões acústicas aqui encontradas terem apresentado algumas distribuições particularmente diferentes daquelas descritas anteriormente; indicou-se uma relação mais próxima com os achados de Driscoll (1995).

No entanto, como Bazúa-Durán e Au (2002) e Camargo *et al.* (2006) já haviam abordado, destaca-se que a análise dos assobios foi incorporada dentro das categorias utilizadas a partir de Driscoll (1995), a fim de facilitar as comparações. Apesar da inserção dentro dos contornos encontrados dentro das categorias de Driscoll ter sido possível, houveram alguns contornos mais distintos, que talvez precisariam ser incorporados em novas categorias. Porém, devido à falta de significado biológico desta categorização de contornos, permanece difícil uma melhor compreensão do propósito dessas semelhanças ou contrastes encontrados. Assim, futuras pesquisas com golfinhos de vida livre em seu ambiente natural, que abordem a correlação da produção acústica com o comportamento do animal, são importantes para preencher essa lacuna de suma importância para o desenvolvimento e conhecimento futuros. Outro aperfeiçoamento necessário diz respeito à compilação das variáveis utilizadas nos estudos, visando padronizar os parâmetros acústicos mais relevantes na descrição de um repertório, de maneira a nortear o reconhecimento de cada espécie através de detectores automáticos.

Assim como os resultados discutidos na literatura (Bazúa-Durán and Au 2002, Camargo *et al.* 2006), apesar de comparativamente apresentar um valor mais alto para o número de alças, o grupo registrado manteve a baixa proporção de assobios que apresentaram alças (Tabela IV) já registrada para essa espécie. O que chamou a atenção

durante a análise foi a alta proporção de número de quebras encontradas ao longo dos assobios, maior do que os valores descritos para todos os estudos anteriores (Tabela IV).

De acordo com Bazúa-Durán e Au (2002), registros acústicos dentro do ambiente natural dos golfinhos consistem em grandes amostras oportunistas de indivíduos desconhecidos em grupos que variam de comportamento e composição. Assim, muitas dificuldades surgem quando esforços distintos estão sendo comparados. Em primeiro lugar, os métodos e equipamento utilizados para gravar as amostras de som não foram iguais, e o limite de frequência superior do sistema de gravação apresentou variação (conforme tabela III). As diferenças na seleção de assobios analisados por cada pesquisador, juntamente com diferenças na dimensão e tempo de amostra também são fatores que podem conduzir a resultados diferentes. Além disso, animais com tamanhos distintos de grupos e realizando diferentes atividades (Tabela III) durante as gravações já apresentam uma influência significativa na sua emissão de som, que têm de ser considerados. Dito isto, a fim de inserir os resultados atuais contra a literatura disponível, foi feito um esforço para comparar os resultados aqui descritos.

Dessa forma, depois de ponderar que todos os testes estatísticos foram realizados somente com valores médios, impedindo um maior aprofundamento na análise estatística, concluiu-se que este registro do grupo de rotadores se assemelha a ambos estudos correlacionados com mais frequência (Bazúa-Durán and Au 2002, Driscoll 1995), supostamente estando mais próxima da população Havaiana.

III. Assobios assinatura, mimetismo tonal, coro e crescendo

Janik (2013) relatou recentemente que assobios assinatura são geralmente produzidos em série. A análise dessas séries mostrou que se 75% ou mais assobios pertencentes ao mesmo tipo de contorno ocorressem dentro de um intervalo de 1-10 s desse outro assobio, este tipo de sinal era uma assinatura (Janik 2013). Wang *et. al.* (1995) e Driscoll (1995)

já haviam relatado a ocorrência de alguns assobios idênticos aparecendo em série em seus estudos com rotadores, mas não aprofundaram a questão em sua discussão.

Dessa forma, de acordo com as distâncias encontradas entre as emissões com característica de sinal assinatura para o grupo de rotadores aqui descrito (0,066 - 11,56 s, méd. 2,8 s) apontam fortemente que esses sinais sejam assinaturas de assobios de alguns rotadores. Fora o intervalo de emissão entre esse tipo de sinal, o autor não descreve mais nenhuma outra diferença significativa do assobio assinatura em relação a assobios que não são assinatura (Janik 2013). Porém relata-se que alguns assobios assinatura são constituídos de alças repetitivas. A maior porcentagem de alças encontradas no presente trabalho para esta classe de assobios (44,1% para possíveis assinatura e 33,4% para o restante do repertório tonal, conforme tabelas VI e I respectivamente) parece corroborar ainda mais com a possibilidade de os mesmos serem assinatura.

Já em relação à possibilidade de imitação (mimetismo tonal), esta foi descrita pela primeira vez em dois animais em cativeiro que pareciam ter dois assobios estereotipados compartilhados (Tyack 1986). Como cada um dos assobios foi produzido principalmente por um dos golfinhos, Tyack interpretou suas descobertas como evidência para mimetismo tonal, em que um animal tentou abordar o outro, copiando sua assinatura. O trabalho do autor relatou a ocorrência do mimetismo tonal em 0,3 cópias/min, enquanto que outro estudo com animais em cativeiro descreveu a ocorrência a taxas muito mais baixas, de 0,07-0,04 cópias/min /indivíduo (Janik and Slater 1998).

Como os resultados aqui descritos tratam de animais em vida livre, fato esse que impõe limitações para uma comparação mais precisa com o intervalo de cópias/min; já que a maioria dos trabalhos que abordam o mimetismo foram realizados com animais em cativeiro (onde é possível localizar com exatidão o emissor). No entanto, alguns assobios semelhantes encaixam-se dentro dessa descrição, por apresentarem algumas poucas

variações na sua emissão, principalmente quanto à presença de não-linearidade na segunda emissão consecutiva do assobio (o que poderia caracterizar o mimetismo). Dessa forma, apesar da descrição de assobios assinatura se assemelhar a maioria dos sinais repetidos aqui relatados, parece que também ocorreram algumas emissões caracterizadas como mimetismo tonal (Fig. 27). No entanto, pelo fato do registro acústico ter sido oportuno, não permitindo a identificação individual de seus emissores, fica difícil separar com exatidão o que seria assinatura, mimetismo ou até mesmo variação idiossincrática. Esta separação ficou por conta principalmente da inspeção visual e das distâncias encontradas entre as emissões.

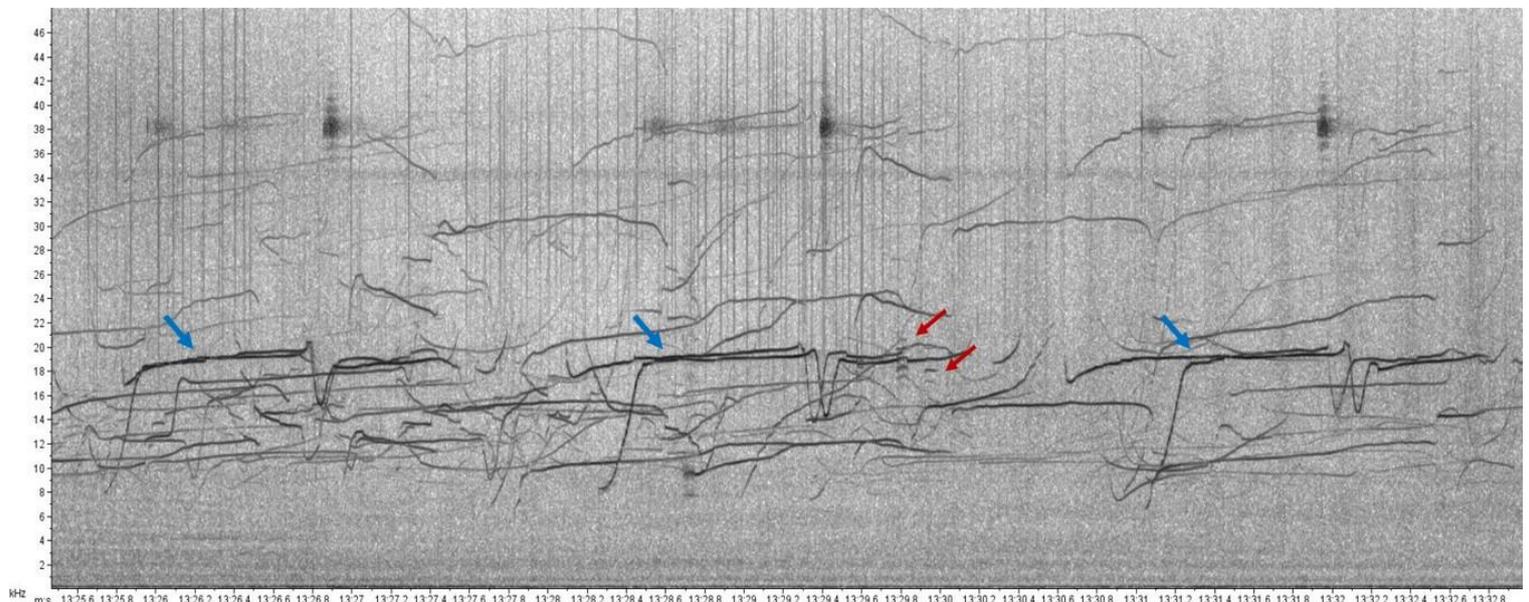


Fig. 27. Possibilidade de mimetismo tonal para os dois contornos semelhantes emitidos em sequência (setas azuis). Presença de bandas laterais na segunda sequência (setas vermelhas).

O fato de que os golfinhos podem copiar assobios assinatura levanta a questão de como um sinal pode indicar a identidade de um indivíduo, quando também é produzido por outros (Janik and Sayigh 2013) – tornando o sinal menos específico para um indivíduo. No entanto, a cópia é rara e cópias são geralmente reconhecidas como exemplares copiados, já que o indivíduo alteraria parâmetros específicos na emissão copiada, para

que esta se destaque como uma cópia (Tyack 1991), como na possibilidade de mimetismo aqui apresentada (Fig. 27).

Quanto ao padrão de contornos específicos apresentando repetição ao longo do espectrograma em relação às emissões em coro, segundo relatado por Driscoll (1995), foi constante em situações de assobios sem sobreposição, pouco coro e coro intenso. A autora ainda destaca que o espaçamento regular normalmente observado dentro de um intenso lapso de sinalização acústica (crescendo), juntamente com o fato de contornos repetidos não terem sido observados sobrepondo-se, sugere-se fortemente que muitos assobios dentro desse lapso de contornos repetidos tenham sido produzidos pelo mesmo indivíduo. Tal sugestão torna a maioria dos contornos repetidos analisados no presente trabalho fortes candidatos para assobios assinatura. Caso não sejam de fato assobios assinatura individuais, seriam ao menos sinais de assinatura para manter o contato com os membros do grupo (Driscoll 1995). No trabalho de Wang *et al.* (1995) já havia sido relatado alguns assobios idênticos que também apareceram em série para o grupo de rotadores analisado.

Driscoll (1995) encontrou repetição de assobios mais frequentemente em contornos sinusoidais, sendo raramente encontrados em *chirps*. Contornos repetidos são normalmente modificados através da variação no número de pontos de inflexão do assobio (Driscoll 1995) – maneira pela qual assobios assinatura variam em golfinhos-nariz-de-garrafa (Caldwell *et al.* 1990, Sayigh *et al.* 1993). Apesar do atual estudo ter apontado um aumento na porcentagem de múltiplos pontos de inflexão no conjunto de contornos repetidos, parece que os rotadores não apresentam tanta variação nas inflexões como foi descrito para a outra espécie.

A vasta maioria dos assobios analisados por Driscoll (1995) (73%) apresentou sobreposição com ao menos um assobio, com coro de assobios claramente amontoados, sugerindo que esses assobios estariam afetando uns aos outros (Driscoll 1995). Esse

padrão se apresentou ainda mais dramático durante o refrão intenso, sendo que a agitada “enxurrada” de assobios (*crescendo*) parece começar quase que instantaneamente. Essa situação distinta de refrão intenso já foi descrita para espécie por Norris (1994), com as emissões tonais dos rotadores do Havai oscilando entre extremos de quase silêncio completo e emissões sonoras vociferantes (*crescendo*). Ao final deste período de oscilação, conforme os rotadores se distanciavam da ilha em direção a alto mar, era possível escutar um “*crescendo*” de sinalização acústica, a qual Norris comparava com uma reportagem iugoslava, na qual aparentemente há intensa sobreposição acústica.

Apesar da gravação aqui analisada ser oriunda de um registro oportuno em alto mar, notou-se uma situação semelhante de *crescendo* (Fig. 28), onde pode-se evidenciar um crescente aumento no número de sinais emitidos conforme analisava-se minuto a minuto. Do início ao final de cada minuto analisado, a intensidade dos sinais e seu repertório pareceu seguir aumentando, até o final do espectrograma, onde encontrou-se uma quantidade tão grande de sinais intensos e sobrepostos até praticamente impossibilitar a continuação da análise. Talvez, este fato deva-se tanto ao comportamento de navegação exibido pelo grupo registrado, com animais em alto estado energético desempenhando diversas atividades aéreas (*e.g.*, rotação, salto, inversão, batidas de cabeça e de cauda), como uma resposta crescente à presença da embarcação (Courbis and Timmel 2009, Tischer *et al.* 2013).

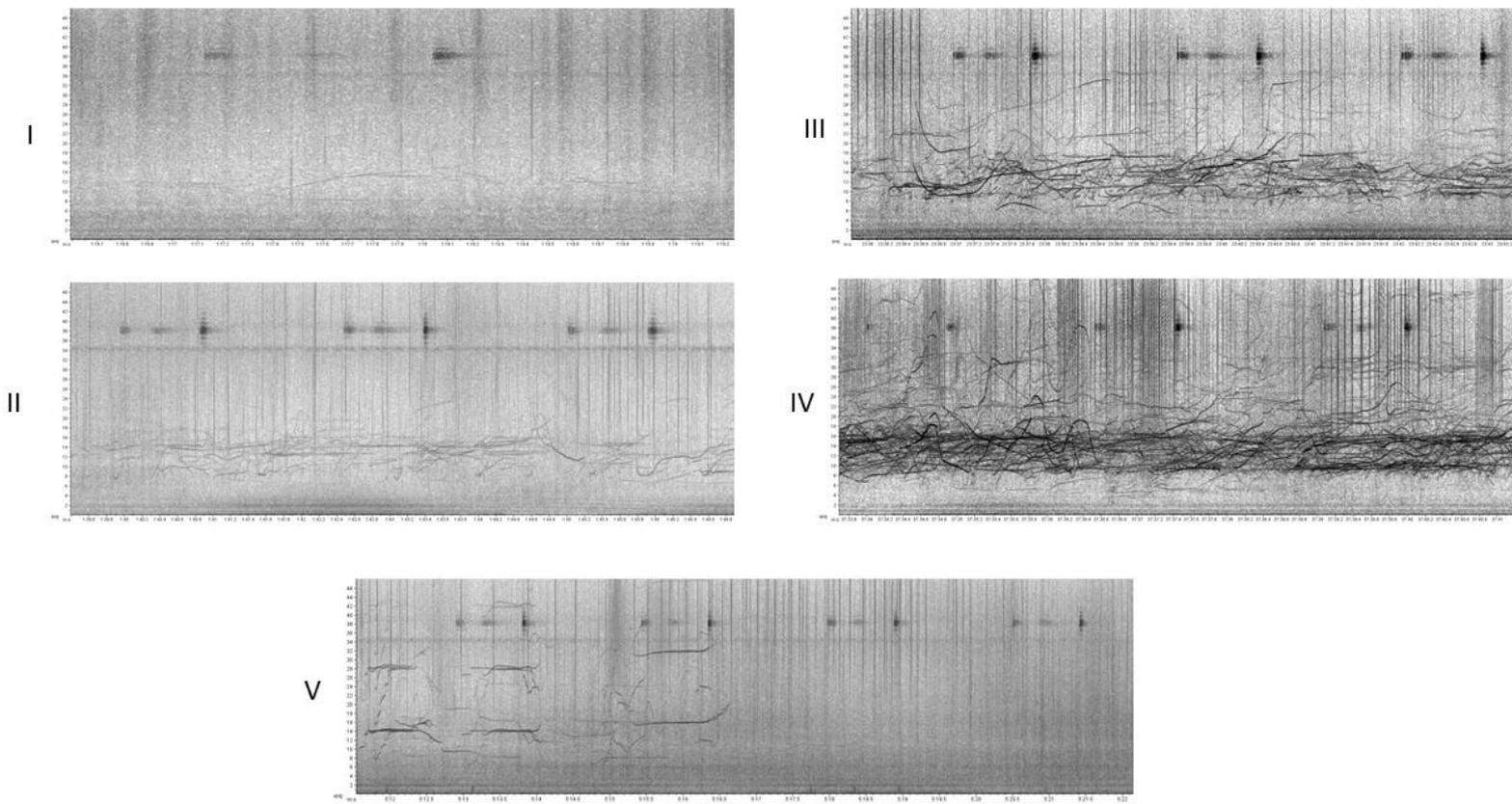


Figura 28. Evidência de crescendo em diversas fases sequenciais do espectrograma. A concentração das emissões acústicas variou de I a IV, em V pode-se notar um período de transição entre crescendo e silêncio tonal.

O resultado da pesquisa de Caldwell e Caldwell (1971) a respeito da cronometragem (*timing*) de assobios sobrepostos em golfinhos em cativeiro indica que alguns assobios têm maior probabilidade de serem interrompidos do que outros – assobios dominantes são mais prováveis de interromper sinais subordinados. De fato, durante o refrão baixo parece existir um padrão claro de interação entre contornos específicos repetidos (Driscoll 1995). Portanto parecem haver padrões repetidos com algum significado social, ou seja, este nível de informação poderia refletir hierarquias dominantes ou afiliações sociais (Driscoll 1995). O coral baixo poderia operar junto a organização de golfinhos dentro de um subgrupo, enquanto que o coral intenso poderia ser uma medida de organização entre os indivíduos de vários subgrupos inseridos num grande grupo a medida que vão

ocorrendo maiores transições entre estados comportamentais (Driscoll 1995). Dessa forma, espera-se encontrar padrões de coral intenso em espécies com hábitos altamente gregários e cooperativos; e de fato, este foi o padrão encontrado.

A partir da confirmação das hipóteses de Driscoll (1995) e de Caldwell e Caldwell (1978), respectivamente a respeito da possibilidade de padrões de assobios repetidos serem analisados como unidades funcionais maiores e tendência de emissão em coro; assim como notas repetidas são analisadas como frases dentro do repertório acústico de uma ave (Marler 2004), a presente análise apontou a necessidade dessas repetições e até mesmo seu entorno também serem consideradas na análise do repertório dos delfinídeos. Ou seja, uma análise mais abrangente dos assobios, buscando evidências biológicas para essas grandes unidades funcionais de repetição e emissão em coro, poderia auxiliar ainda mais no desenvolvimento e compreensão das características exibidas por esses sinais.

Dentro dessa problemática, Driscoll (1995) ainda relatou que quando os animais estão em um estado altamente energético – como o zig-zag descrito para seu curso em direção a alto mar (Norris 1991, Silva-Jr. 1996) – ocorre maior emissão de assobios, que irão apresentar uma maior proporção de 2 ou mais pontos de inflexão. A quantidade de pontos de inflexão e quebras também costuma estar associada com repertórios mais complexos (May-Collado 2007). Dessa forma, a análise aqui apresentada se enquadra dentro de um registro de animais em alto estado energético emitindo sinais complexos com coro intenso. Ainda foram encontrados 8 casos (10,4%) de eventos não-lineares em assobios repetidos, cuja discussão será retomada logo adiante.

Vale destacar que devido a situações de crescendo e sobreposição de sinais, somente os casos mais fortes de assinatura ou possível imitação foram destacados. Acredita-se que o repertório acústico da espécie possa ser composto por uma porcentagem muito maior

desses eventos, que devem ser reanalisados com mais cuidado e atenção a fim de esclarecer sua causa, ocorrência e contexto. Apesar dessa análise ter sido mais exploratória e descritiva a respeito da situação encontrada, pelo fato de serem casos pouco descritos e com potencial ainda a ser explorado, os mesmos foram descritos.

IV. Eventos de bioacústica não-linear

As características mais complexas encontradas nas emissões tonais analisadas são produzidas por não-linearidades no sistema de produção sonora, onde comandos neurais bastante simples no sistema de produção sonora podem resultar em sinais acústicos individualmente variáveis e altamente complexos (Fitch *et al.* 2002). Embora a função exata desses eventos ainda estar sob investigação, o reconhecimento individual, imprevisibilidade e / ou indicação de condição física têm sido sugeridos como possíveis funções (Rendall *et al.* 1996, Wilden *et al.* 1998, Fitch *et al.* 2002, Mann *et al.* 2006, Volodina *et al.* 2006). No entanto, conforme apontado por Tyson *et al.* (2007) antes de começar a testar as funções específicas desses fenômenos, sua ocorrência e estrutura devem ser documentadas. Dessa maneira, ao descrever a presença e prevalência relativas destas características pode-se indicar seu nível de importância, assim como sua estrutura pode ser indicativa da sua função (Tyson *et al.* 2007).

Quanto a variabilidade de eventos observados, um salto de frequência representa uma ruptura na FI em que as taxas de vibração aumentam ou diminuem de maneira abrupta e descontínua; sendo qualitativamente diferente de uma modulação contínua e suave. Dessa forma, saltos de frequência representam a instabilidade do sistema sonoro (Wilden *et al.* 1998). Subharmônicos podem ocorrer quando as frequências vibratórias naturais dos dois osciladores são diferentes, em mamíferos terrestres por exemplo, quando há mais tensão

em uma das pregas vocais do que na outra, resulta em componentes espectrais adicionais que aparecem como valores inteiros fracionárias de um FI identificável (por exemplo, FI/2) visível no espectrograma (Fitch *et al.* 2002, Tyson *et al.* 2007).

Já a bifonação pode ser definida como duas frequências semelhantes mas não relacionadas, produzidas simultaneamente mas independentes (Tyson *et al.* 2007). Ainda de acordo com os autores, num espectrograma a bifonação aparece como duas frequências distintas, não paralelas e autônomas no contorno fundamental (FI e GI) sem alguma razão aparente relacionando-as (por exemplo, 1/2 ou 1/3 do valor de uma em relação a outra). A bifonação pode ocorrer se o acoplamento entre dois osciladores é fraco ou se vários osciladores no aparato sonoro estiverem interagindo (Wilden *et al.* 1998, Tyson *et al.* 2007). A bifonação também pode ser encontrada sob a forma de bandas laterais, que aparecem adjacentes aos harmônicos e estão associadas com as flutuações cíclicas de amplitude nas séries temporais do formato da onda sonora (Riede *et al.* 2000, Tyson *et al.* 2007). Em relação aos cetáceos, bandas laterais foram mais descritas em emissões sonoras de orca, aparecendo fora de seu componente de frequência (Miller *et al.* 2007, Filatova *et al.* 2009). No entanto, Driscoll (1995) já havia relatado sua ocorrência nas emissões dos rotadores do Havaí.

O caos determinístico refere-se a períodos de ruído não aleatórios, que são produzidas por osciladores juntamente dessincronizados (Tyson *et al.* 2007). Esse caos caracteriza-se por ter energia através de uma banda de frequência relativamente ampla, com um pouco de energia periódica residual relacionada aos componentes harmônicos anteriores (Tyson *et al.* 2007). Segundo Neubauer *et al.* (2004), o caos determinístico muitas vezes pode ser interrompido por janelas de emissão sonora com limite estável ou subharmônicos.

Apesar de tais eventos não apresentarem uma taxa significativa dentro do repertório acústico do grupo estudado (1%) nem possuem ainda alguma orientação para uma

análise mais específica ou significado claro; julgou-se interessante abordá-los, principalmente pela amostra ter exibido todos os eventos não-lineares já descritos para outras espécies (*e.g.*, Mann *et al.* 2006, Volodina *et al.* 2006, Tyson *et al.* 2007).

1.5 CONCLUSÕES

- 1) A descrição aqui apresentada, contribui para o grande esforço de compreender melhor como diferentes populações se comunicam e organizam dentro de diferentes ambientes geográficos, bem como quais as variáveis dos assobios (FI, FF, FMi, FMa, FVar, NI e NQ para *S. longirostris*) são mais significativas quando se trata do reconhecimento de diferentes populações e / ou espécies. Essas informações são de suma importância para o desenvolvimento de sistemas de detecção, classificação e reconhecimento automático de delfínidos, contribuindo para mitigação e conservação das espécies.
- 2) Não obstante, o fato mais curioso descrito após comparação das médias disponíveis na literatura, foi a maior proximidade das emissões tonais com os golfinhos havaianos em vez dos golfinhos de Noronha. O aumento dos esforços de estudos em bioacústica abrangendo outras populações de golfinhos-rotadores que ainda não foram estudadas, realçando a coleta de dados e estabelecendo parcerias; contribuiria para construção desse conhecimento geográfico mais amplo, ajudando a atribuir acusticamente, em uma resolução melhor, cada população e subespécie.
- 3) Apesar de não ter sido possível comparar as emissões com o comportamento exibido pelos animais dentro do grupo, pelo fato de tratar-se de uma situação atípica, o registro oportuno parece ter fornecido respostas mais interessantes do que se tivesse ocorrido dentro de um ambiente mais controlado e previamente conhecido. Dessa forma, as vantagens decorrentes da análise superaram as limitações do registro.

- 4) Os valores mais elevados de frequência aqui descritos, juntamente com os resultados das análises estatísticas realizadas (correlação linear e PCA), apontaram a importância das emissões de alta frequência. Essa prioridade às emissões de alta frequência, aliada a faixas de frequência mais amplas poderia ser um esforço para beneficiar-se mais de estímulos acentuados para localização em alto mar. No entanto, essa maior frequência pode estar relacionada às investidas dos golfinhos manterem um contato mais direto entre o grupo. Ou ainda dever-se ao fato do grupo analisado pertencer a uma população distinta das que foram analisadas previamente. Outra hipótese é que o ruído da embarcação tenha agido diretamente nas emissões do grupo, que aumentou sua frequência para destacar-se no meio do ruído ambiente.
- 5) Apesar da possibilidade apresentada de mimetismo tonal, as sequências de sinais semelhantes apontaram uma forte possibilidade para existência de assobios assinatura para a espécie.
- 6) Por não ter sido encontrada nenhuma repetição para os *chirps*, o presente trabalho corrobora com a possibilidade já apontada anteriormente (Driscoll 1995) de os mesmos não serem um contorno propriamente dito, mas componentes fragmentados de assobios maiores.
- 7) Pelo fato dos sinais repetidos estarem associados ao padrão de coral intenso, o estudo apontou a necessidade de assobios repetidos e seu entorno serem considerados como unidades maiores a serem analisadas no repertório dos delfínídeos. A possibilidade de uma análise mais abrangente dos assobios, buscando evidências biológicas para essas unidades funcionais de repetição e emissão em coro, auxiliaria ainda mais o desenvolvimento da pesquisa e compreensão das características exibidas sinais tonais.

8) A ocorrência de eventos não-lineares completa o apontamento de que o grupo registrado apresentou assobios altamente complexos. O fato dos rotadores terem exibido todas as não-linearidades descritas até então para outras espécies, aponta a necessidade de documentação de sua ocorrência e estrutura. Ou seja, antes de começar a testar as funções específicas desses fenômenos, a descrição da presença e prevalência relativas destas características pode indicar seu nível de importância, assim como sua estrutura pode ser indicativa da sua função. Para tanto, mais estudos que abordem tais questões são de suma importância.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altes, R. A. (1980). Models for echolocation. Animal Sonar Systems. R. G. Busnel and J. F. Fish. New York: 625–671.
- Au, W. W. L. and M. C. Hastings (2008). Principles of Marine Bioacoustics.
- Azevedo, A. F. and M. V. Sluys (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations." J. Acoust. Soc. Am. **117**(3): 9.
- Bazúa-Durán, C. and W. W. L. Au (2002). "The whistles of Hawaiian spinner dolphins." J. Acoust. Soc. Am. **112**(6): 9.
- Bazúa-Durán, C. and W. W. L. Au (2004). "Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai'ian Islands." J. Acoust. Soc. Am. **116**(6): 13.
- Bazúa-Durán, M. d. C. (2001). The whistles of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): description and geographic variations. Doctor, University of Hawai'i.
- Buckland, S. T. Anderson, D. R. K. Burnham, P. Laake, J. L. Borchers, D. L. and Len, T. (2001). Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations. (Oxford, UK, Oxford University Press), p. 448.
- Caldwell, M. C., D. K. Caldwell and P. L. Tyack (1990). Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. The Bottlenose Dolphin. S. Leatherwood and R. R. Reeves. San Diego, Academic Press: 199–233.
- Camargo, F. S., J. Mario M. Rollo, V. Giampaoli and C. Bellini (2006). "Whistle variability in South Atlantic spinner dolphins from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil." J. Acoust. Soc. Am. **120**(6): 9.
- Courbis, S. and Timmel, G. (2009). Effects of vessels and swimmers on behavior of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) in Kealake'akua, Honaunau, and Kauhako bays, Hawaii. Marine Mammal Science (25) 430-440.
- Driscoll, A. D. (1995). The whistles of Hawai'ian spinner dolphins, *Stenella longirostris*. Master, University of California at Santa Cruz.
- Filatova, O. A., I. D. Fedutin, M. M. Nagaylik, A. M. Burdin and E. Hoyt (2009). "Usage of monophonic and biphonic calls by free-ranging resident killer whales (*Orcinus orca*) in Kamchatka, Russian Far East." acta ethologica **12**(1): 37-44.
- Fitch, W. T., J. Neubauer and H. Herzog (2002). "Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production." Anim. Behav. (63): 11.
- Fletcher, N. H. (2000). "A class of chaotic bird calls?" J. Acoust. Soc. Am. **108**: 5.

Harley, H. E. (2008). "Whistle discrimination and categorization by the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): a review of the signature whistle framework and a perceptual test." Behav Processes **77**(2): 243-268.

Hauser, M. D. (1993). "The evolution of nonhuman primate vocalizations: Effects of phylogeny, body weight, and social context." Am. Nat. **142**: 4.

Janik, J. M. and P. J. B. Slater (1998). "Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls." Anim Behav **56**: 10.

Janik, V. M. (2013). "Cognitive skills in bottlenose dolphin communication." Trends Cogn. Sci. **17**: 3.

Janik, V. M. and L. S. Sayigh (2013). "Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research." J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol **199**(6): 479-489.

Kruskal, W. (1952). "Use of ranks in one-criterion variance analysis." Journal of the American Statistical Association **47**(260), 583-621.

Lammers, M. O. (2003). The behavior and broadband acoustic signaling of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). Doctor, University of Hawai'i.

Lammers, M. O., W. W. L. Au and D. L. Herzing (2003). "The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins." J. Acoust. Soc. Am. **114**(3): 11.

Lammers, M. O., M. Schotten and W. W. L. Au (2006). "The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals." J. Acoust. Soc. Am. **119**(2): 7.

LeDuc, R. G., W. F. Perrin and A. E. Dizon (1999). "Phylogenetic relationships among the delphinid cetaceans based on full cytochrome B sequences." Mar Mamm Sci **15**: 29.

Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. I. Olkin. Stanford, Stanford University Press: 278-292.

Mann, D. A., T. J. O'Shea and D. P. Nowacek (2006). "Nonlinear dynamics in manatee vocalizations." Marine Mammal Sci. **22**: 7.

Marler, P. Birds call: a cornucopia for communication (2004). In.: Marler, P. & Slabbekoorn, H. (eds.). Nature's music: The science of birdsong. Elsevier Academic Press, San Diego, California. pp. 513.

May-Collado, L. J. (2007). Phylogenetic and ecological significance in the evolution of cetacean tonal sounds. Biology PhD, Florida International University.

May-Collado, L. J., I. Agnarsson and D. Wartzok (2007). "Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. BMC Evolutionary Biology." BMC Evolutionary Biology(7).

- Miller, P. J. O., F. I. P. Samarra and A. Perthuison (2007). "Caller sex and orientation influence spectra of two-voice' stereotyped calls produced by free-ranging killer whales (*Orcinus orca*)." J. Acoust. Soc. Am. **121**(6): 6.
- Mitchell, A. F. and W. J. Krzanowski (1985). "The mahalanobis distance and elliptic distributions." Biometrika **72**: 4.
- Moreno, I. B., A. N. Zerbini, D. Danilewicz, M. C. d. O. Santos, P. C. Simões-Lopes, J. L.-B. Jr. and A. F. Azevedo (2005). "Distribution and habitat characteristics of dolphins of the genus *Stenella* (Cetacea: Delphinidae) in the southwest Atlantic Ocean." Mar Ecol Prog Ser **300**: 12.
- Morisaka, T. (2012). "Evolution of Communication Sounds in Odontocetes: A Review." International Journal of Comparative Psychology **25**: 20.
- Norris, K. S. (1991). Dolphin Days: the life and times of the spinner dolphin. New York, W.W. Norton Company.
- Norris, K. S., B. Würsig, R. S. Wells and M. Würsig (1994). The Hawai'ian Spinner Dolphin. Univ. of California, Berkeley.
- Oswald, J. N., J. Barlow and T. F. Norris (2003). "Acoustic identification of nine delphinid species in the Eastern Tropical Pacific Ocean." Marine Mammal Science **19**(1): 18.
- Oswald, J. N., S. Rankin, J. Barlow and M. O. Lammers (2007). "A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles." J. Acoust. Soc. Am. **122**(1): 9.
- Papale, E., M. Azzolin, I. Cascao, A. Gannier, M. O. Lammers, V. M. Martin, J. Oswald, M. Perez-Gil, R. Prieto, M. A. Silva and C. Giacoma (2013). "Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles." J Acoust Soc Am **133**(2): 1126-1134.
- Parks, S. E. and P. L. Tyack (2005). "Sound production by North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) in surface active groups." J. Acoust. Soc. Am. **117**: 10.
- Pearson, K. (1901). "On lines and planes of closest fit to systems of points in space." Philosophical Magazine **2**(6): 13.
- Perrin, W. F. (1975). "Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus *Stenella* in eastern tropical Pacific." J Fish Res Board Can **32**: 8.
- Podos, J., V. M. F. da Silva and M. R. Rossi-Santos (2002). "Vocalizations of Amazon river dolphins, *Inia geoffrensis*: Insights into the evolutionary origins of delphinid whistles." Ethology **108**: 11.
- Prasanta Chandra, M. (1936). "On the generalised distance in statistics." Proceedings of the National Institute of Sciences of India **2**(1): 6.

R Development Core Team (2015) . "R: A language and environment for statistical computing," Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>. Acessado em 16/03/15.

Rendall, D., P. S. Rodman and R. E. Emond (1996). "Vocal recognition of individuals and kin in free-ranging rhesus monkeys." Anim. Behav. **51**: 8.

Rendell, L. E., J. N. Matthews, A. Gill, J. C. D. Gordon and D. W. MacDonald (1999). "Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation." J. Zool. **249**: 8.

Richards, D. G., J. P. Wolz and L. M. Herman (1984). "Vocal mimicry of computergenerated sounds and vocal labeling of objects by a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*." J. Comp. Psychol. **98**: 18.

Riede, T., H. Herzel, D. Mehwald, W. Seidner, E. Trumler, G. Böhme and G. Tembrock (2000). "Nonlinear phenomena in the natural howling of a dog-wolf mix." J. Acoust. Soc. Am. **108**: 7.

Riede, T., M. J. Owren and A. C. Arcadi (2004). "Nonlinear acoustics in pant hoots of common chimpanzees (*Pan troglodytes*): Frequency jumps, subharmonics, biphonation, and deterministic chaos." Am. J. Primatol **64**: 14.

Rossi-Santos, M. R., Silva-Jr, J. M. d. Silva., F. L. and Monteiro-Filho E. L. A. (2008). "Descriptive parameters of pulsed calls for the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, in the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **88**(6): 5.

Sayigh, L. S., P. L. Tyack and R. S. Wells (1993). "Recording underwater sounds of free-ranging dolphins while underway in a small boat." Marine Mammal Science **9**(2): 4.

Silva-Jr., J. M. d. (1996). Aspectos do comportamento do golfinho-rotador, *Stenella longirostris* (Gray, 1828), no Arquipélago de Fernando de Noronha. Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

Slaughter, E. I. Berlin, E. R. Bower, J. T. Blumstein, D. T. "A Test of the Nonlinearity Hypothesis in Great-tailed Grackles (*Quiscalus mexicanus*)". Ethology **119**, 309-315.

Steiner, W. W. (1981). "Species-Specific Differences in Pure Tonal Whistle Vocalizations of Five Western North Atlantic Dolphin Species." Behav Ecol Sociobiol **9**: 6.

Student (1908). "The probable error of a mean." Biometrika **6**: 25.

Team, R. D. C. (2008). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

Tischer, M. C. Silva-Jr, J. M. d. Silva, F. J. L. (2013). Interaction of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) (Cetacea, Delphinidae) with boats at the Archipelago of Fernando de Noronha, Brazil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences **8**(4):339-346.

- Tyack, P. L. (1976). Patterns of vocalization in wild Tursiops truncatus Senior, Harvard
- Tyack, P. L. (1986). "Whistle repertoires of two bottlenosed dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? ." Behav Ecol Sociobiol **18**: 7.
- Tyack, P. L. (1991). Use of a telemetry device to identify which dolphin produces a sound. Dolphin Societies: discoveries and puzzles. K. Pryor and N. S. Norris. University of California Press, Berkeley: 319–344.
- Tyson, R. B., D. P. Nowacek and P. J. O. Miller (2007). "Nonlinear phenomena in the vocalizations of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) and killer whales (*Orcinus orca*)." J. Acoust. Soc. Am. **122**(3): 9.
- Volodina, E. V., I. A. Volodin, I. V. Isaeva and C. Unck (2006). "Biphonation may function to enhance individual recognition in the dhole, *Cuon alpinus*." Ethology **112**: 10.
- Wang, D., B. Würsig and W. Evans (1995). "Comparison of whistles among seven odontocete species." Sensory Systems of Aquatic Mammals: 25.
- Welch, B. L. (1947). "The generalization of "student's" problem when several different population variances are involved." Biometrika **34**: 7.
- Wilden, I., H. Herzel, G. Peters and G. Tembrock (1998). "Subharmonics, biphonation, and deterministic chaos in mammal vocalization." Bioacoustics **9**: 25.
- Zar, J. H. (1998). Biostatistical Analysis. Upper Saddle River, NJ, PrenticeHall Inc.

CAPÍTULO 2

SONS PULSADOS

RESUMO

Golfinhos produzem sinais pulsados em uma variedade de formas. No entanto, algumas questões permanecem ambíguas, quanto à análise de sinais pulsados explosivos e classificação precisa de cadeias de cliques e sua variabilidade. Dessa forma, foi feita uma tentativa de descrever os sinais pulsados de golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*) a partir de outra perspectiva. Através de uma pesquisa oportunista, uma matriz de arrasto composta por um elemento foi rebocada 250 metros atrás do navio R / V Atlântico Sul, ao longo da quebra da plataforma continental Brasileira. Gravações contínuas foram realizadas com o hidrofone passando os sinais digitais para o Fostex® FR 2-LE, gravando a 96 kHz / 24 bits. Um grupo de cerca de 400 golfinhos-rotadores foi gravado em 03 de junho de 2013 a 168,9 km do Estado de Santa Catarina (27° 24' 29" S, 46° 50' 05" W). Os sinais pulsados mais relevantes foram selecionados para análise, com base em sua relação sinal-ruído (SNR) através de potência média relativa. A análise de 18 minutos de gravação localizou 118 cadeias de clique de ecolocalização. Por conta do grande volume de cadeias de clique sobrepostas, foi tomada a decisão de não diferenciar essas cadeias. Além disso, a impossibilidade de distinção de cadeias na maioria dos casos levou à separação destas emissões, que foram classificadas da seguinte forma: a) Cadeias múltiplas - compostas de vários cliques não separados, que podem ter sido produzidos por mais de um golfinho; b) Cadeias simples - compostas de cliques visivelmente distintos, que podem ser atribuídos a um único animal. Esse procedimento garantiu que os animais que estavam realizando emissões acústicas separadamente não fossem analisados como um único indivíduo. Em relação aos sinais explosivos, devido às distintas formas exibidas, foram separados de acordo com o formato apresentado. Tal medida levou a classificação de três tipos de sinais (puro I, puro II e puro III), que se apresentaram isolados, em sequência ou misturados.

Palavras-chave: *Stenella longirostris*, bioacústica, Brasil

ABSTRACT

It is clear that dolphins produce pulsed signals in a variety of ways. Nevertheless, some issues remain ambiguous concerning the accurate labeling of click trains variability and analysis of burst pulsed signs. Herein, an attempt has been made to describe the pulsed signals of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) through another perspective. Through an opportunistic survey an one-element hydrophone array was towed 250 meters behind the vessel R/V Atlântico Sul, over the Brazilian continental shelf break. Continuous mono recording was performed with the hydrophone passing signals to a digital Fostex® FR-2 LE, recording at 96 kHz / 24 bits. A group of about 400 spinner dolphins was recorded on June 3rd 2013 at 168.9 km offshore of Santa Catarina State (27° 24' 29" S, 46° 50' 05" W). The most relevant pulsed signals were chosen for this study, based upon their signal-to-noise ratio (SNR) through relative average power. The analysis of 18 minutes recording located 118 echolocation click trains. On account of the large volume of overlapping click trains, the decision of not to differentiate these trains was taken. In addition, the impossibility of train distinction in most of clicks cases led us to sort out these emissions, that were classified as follows: a) Multiple trains – composed of multiple unsorted clicks, that may have been produced by more than one dolphin; b) Simple trains – composed of visible distinct clicks, that can be attributed to a single animal. This procedure ensured that separate signaling animals were not analyzed as a single individual. Regarding the burst pulses, due to the distinct forms displayed, they were separated in accordance with the displayed form. This measure has led to the classification of three kinds of burst pulses (pure I, pure II and pure III) which appeared isolated, in sequence or mixed.

Keywords: *Stenella longirostris*, bioacoustics, Brazil

2.1 INTRODUÇÃO

No geral, são reconhecidas duas categorias funcionais de sinais pulsados: (1) sinais de ecolocação utilizados em funções sensoriais (Au 1993) e (2) sinais pulsados explosivos associados com comunicação social (Herzing 1996). Os cliques de ecolocação têm sido o principal foco de estudo em relação a variedade de sons pulsados, mas essa investigação quase nunca leva em conta seu aspecto comunicativo (Driscoll 1995, Lammers *et al.* 2003). Em relação aos sinais pulsados explosivos, estes são muito difíceis de serem categorizados, por não apresentarem limites claros em seus domínios de frequência ou duração (Driscoll 1995). Enquanto que, experimentalmente muito já foi discutido em relação aos cliques de ecolocação, pouco se sabe a respeito das características e funções dos sons pulsados explosivos. Estudos anteriores distinguem sinais pulsados como explosivos quando o intervalo entre os cliques cai para menos de 5 ms, no ponto em que humanos não mais percebem pulsos individuais e o sinal é percebido como um único som contínuo (Lammers *et al.* 2004).

Segundo Lammers *et al.* (2004), a principal diferença entre os cliques de ecolocalização e os pulsos explosivos é o número de cliques produzidos por unidade de tempo e a diferença na sua amplitude. Os cliques de ecolocação são utilizados para detectar o ambiente circundante, sendo geralmente emitidos apenas após o eco do clique anterior ter sido recebido pelo golfinho, mais um período adicional de 15-45 ms (Au 1993) utilizado para processar o eco. Durante experimentos de detecção de alvo realizados por Au (1993), o *T. truncatus* esperava entre 19-45 ms após o retorno do eco antes de emitir um novo clique. Este tempo de atraso adicional (após uma rodada de tempo de viagem do sinal) tem sido interpretado como um atraso para recepção e processamento do eco, assim como ativação de sistemas motores do animal (Au 1993). O experimento de Au (1993) ainda mostrou que uma vez que o processamento do eco sofre uma

defasagem entre 15-45 ms, está sempre associado a sucessivos cliques produzidos por animais usando ecolocação em alvos mais distantes do que 0.4 m de distância. Mas se os animais estão processando mais do que um eco de cada vez, selecionando ecos específicos ou mesmo utilizando todos os ecos de retorno, ainda é desconhecido (Au 1993).

Para Lammers *et al.* (2003), mais explicativo é o fato de que, mesmo de perto, há sempre uma progressão gradual em direção a intervalos mais curtos de cliques conforme o golfinho se aproxima de um alvo (Au 1993). Dessa forma, cadeias de clique ou sinais pulsados caracterizadas por ICIs consideravelmente maiores mas ainda menores que 10-15 ms provavelmente representariam um tipo de ecolocalização ainda não bem compreendida, em vez de uma classe de sinais separada funcionalmente de sinais (Lammers *et al.* 2003). No entanto, ainda não foi constatado nada que indique que as cadeias de cliques que começam, persistem, e terminam com ICIs menores que 10 ms seriam sempre utilizadas em contextos identificados como ecolocalização (Lammers *et al.* 2003). Isto não exclui a possibilidade de que a ecolocalização pode estar associada, mas implica que os pulsos explosivos, tais como foram definidos no trabalho, formariam uma classe de cadeia de cliques distinta na ocorrência a partir daqueles tipicamente ligados à ecolocalização (Lammers *et al.* 2003). O autor ainda associa a frequente incidência desses sinais em contextos altamente sociais (como durante encontros agonísticos), levando em conta sua ausência em contextos de ecolocalização controlados (*e.g.*, *target* com presa fixa), sugerindo que a sua principal função seria provavelmente comunicativa.

Ainda de acordo com Lammers *et al.* (2004), sinais explosivos são pulsos de banda larga com cadeias semelhantes às utilizadas na ecolocalização, mas com intervalos de apenas 0.5-10 ms. Pelo fato desses intervalos serem consideravelmente mais curtos do que o período de processamento – geralmente associado com ecolocalização – juntamente

com o fato de muitas vezes terem sido registradas emissões durante períodos de elevada atividade social, cadeias de sons pulsados explosivos parecem realmente desempenhar um papel importante na comunicação (Popper 1980, Lammers *et al.* 2006).

De acordo com o trabalho de Dawson (1991) com golfinhos-de-Hector *Cephalorhynchus hectori* (Van Beneden, 1881), a emissão de cliques mais complexos ocorre mais provavelmente a partir de grandes grupos de golfinhos. Dawson (1991) ainda sugere que a cronometragem dessas emissões pode estar relacionada à transmissão de informação social. Para cachalotes *Physeter macrocephalus* (Linnaeus, 1758) já sabe-se da produção de cadeias individualmente distintas de cliques, conhecidos como codas (Watkins and Schevill 1977).

Uma das questões que permanece irresoluta refere-se às características específicas que definiriam esta classe de sinais pulsados, ou seja, seu entendimento exato como sinais de ecolocação funcionais ou como pulsos explosivos socialmente significativos (Lammers *et al.* 2004, Camargo *et al.* 2006). Ou seja, apesar da distinção entre sons pulsados explosivos e cliques de ecolocação já terem sido descritas na literatura, ainda faltam características que realmente definam e unifiquem esta classe de sinais tão pouco quantificados para delfinídeos. No trabalho de Lammers *et al.* (2004) sugere-se que enquanto algumas características das cadeias e cliques de fato definem duas categorias aparentes de sinais, outras características também são compartilhadas. Para tanto é necessária uma abordagem mais quantitativa e ampla, no sentido de buscar evidências de classes definíveis.

Poucos estudos em bioacústica de cetáceos abordaram sons pulsados, sendo que a maioria discutiu somente aqueles associados à ecolocalização. Sons pulsados explosivos ainda necessitam de estudos que detalhem sua função, bem como distinções mais precisas

das sequências de cliques utilizados na ecolocalização, são lacunas ainda extremamente necessárias de serem preenchidas. Dada a similaridade que existe entre esses sons pulsados e os cliques de ecolocalização, Lammers *et al.* (2003) e Lammers *et al.* (2004) relataram um hiato nas emissões pulsadas de golfinhos-rotadores entre 10 e 20 ms, sugerindo que este possa ser o ponto de transição funcional e cognitiva entre estas duas categorias de sinais. Entretanto, pouco se sabe a respeito das propriedades dos sons pulsados explosivos (Lammers *et al.* 2003). As características espectral, temporal e de amplitude dos pulsos explosivos foram apenas marginalmente explorados. Frente à aguda sensibilidade auditiva de frequências ultrassônicas exibida por todas as espécies de golfinhos até então (Nachtigall *et al.* 2000) a atual falta de conhecimento sobre as propriedades de banda larga de sinais pulsados torna difícil a plena apreciação da concepção desses sinais comunicativos.

Ainda de acordo com Lammers *et al.* (2003), o fato de 30% a 40% dos sinais explosivos não serem audíveis abaixo de 20 kHz, provavelmente implica que estes são uma forma mais comum de sinalização social entre delfinídeos do que se suspeitava anteriormente. Essa suspeita foi ainda mais fortificada pelo fato de, nas gravações obtidas, terem sido observados poucos períodos de assobio que não coincidiam também com, pelo menos, alguns pulsos explosivos (sônico ou ultrassônico) (Lammers *et al.* 2003). Por conseguinte, os autores concluíram que pelo menos nas espécies *S. longirostris* e *S. frontalis* os pulsos explosivos provavelmente desempenham um papel igualmente importante relativo à sinalização social, possivelmente de maneira diferente do papel desempenhado pelos assobios. Outro ponto destacado pelos autores refere-se à distribuição bimodal da média de intervalo interclique separado por volta de 10 ms. Esta distribuição bimodal foi interpretada como sendo indicativa de dois padrões distintos de produção de cadeia de cliques: um padrão de impulsos explosivos com intervalos

interclique consistentemente inferior a 10 ms e cadeias de clique com padrão sonar, com intervalos superiores a 15 ms (Lammers *et al.* 2003). Invariavelmente volta-se a questão desconcertante, relativa a distinção entre cadeias pulsadas presumivelmente utilizadas para a comunicação e aquelas utilizadas para a ecolocalização.

Dessa forma, embora os resultados aqui apresentados não esclareçam todas as dúvidas existentes a respeito da análise e interpretação dos sinais pulsados analisados, colaborou-se para estudos posteriores. Estes resultados são importantes porque sugerem que uma abordagem mais ampla e quantitativa é necessária para fornecer informações sobre o sistema de comunicação acústica de golfinhos-rotadores e outros delfínídeos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A. Área de estudo e coleta de dados

As amostras de sons foram coletadas durante cruzeiros do Projeto Talude ao longo da quebra da plataforma continental Brasileira, segundo a descrição do item A da seção 1.2.

B. Processamento e análise dos dados acústicos

O arquivo *.wav* gravado foi transformado em espectrograma a partir da Transformação Rápida de Fourier (FFT) gerada pelo software Raven Pro 1.4 (*Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, New York*). A seleção dos cliques de ecolocação foi realizada através de espectrogramas configurados como DFT 512 amostras, 50% de *overlap* e janela *Hamming* de 512 pontos. Essa configuração foi escolhida devido a gravação apresentar pequenos intervalos entre os cliques dentro de múltiplas cadeias de clique, apresentando uma grande quantidade de cliques e cadeias sobrepostas. Para auxiliar a visualização e extração de mais detalhes dos cliques, utilizou-se o software Audacity (2.0.6), com formato de onda (*waveform*) e espectro de frequência configurados com DFT 128 amostras e janela *Hamming* de 128 pontos. Quanto à seleção dos sinais pulsados explosivos, a melhor configuração encontrada para selecionar os sinais dentro do espectrograma foi DFT de 512 amostras, 50% de *overlap* e *Hamming window* de 1024 pontos.

Os sinais pulsados mais relevantes foram escolhidos, com base principalmente em sua relação sinal-ruído (SNR) através de potência média relativa. Apenas sinais com boa relação sinal-ruído (pelo menos 7 dB acima do ruído ambiente) e para os quais os parâmetros espectrais podiam ser distintamente medidos (Bazúa-Durán and Au 2002, Azevedo and Sluys 2005) foram selecionados para análise. Assim como foi feito para os assobios, buscando a redução dos efeitos de pseudoreplicação gerados pela natureza

dependente dos sinais (Oswald *et al.* 2003), uma seleção aleatória foi realizada dentro dos 38 minutos de gravação. Dessa forma, a partir da análise dos primeiros doze minutos, a cada cinco minutos um minuto foi selecionado para análise até o fim da gravação, resultando em uma análise de dezoito minutos (47,4% da gravação).

Para auxiliar a seleção manual dos cliques de ecolocação, um detector de banda de energia limitada foi utilizado, por meio de detecção interativa e completa através do software Raven Pro 1.4 (*Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, New York*). Os parâmetros adotados para rodar o detector, quanto a relação sinal-ruído (SNR), foram: 70% de ocupação mínima, uso da capacidade de retorno e limiar SNR de 8 dB. Quanto aos parâmetros adotados para estimativa de potência do ruído: *block size* 1,997 s e *hop size* 0,498 s, com um percentual de 20%. Os parâmetros do sinal alvo foram: frequência mínima de 20 kHz, frequência máxima de 48 kHz, duração mínima de 0,0016 s, duração máxima de 0,0048 s e separação mínima de 0,0032 s. A seleção dos sinais pulsados explosivos foi realizada manualmente.

Por conta do grande volume de sobreposição de cadeias de clique, a maioria das cadeias não pode ser analisada separadamente. Além disso, a impossibilidade de distinção das cadeias de cliques na maioria dos casos, levou a dividir estas emissões, que foram classificadas da seguinte forma: a) Cadeia de cliques múltipla - composta de vários cliques não separados, que podem ter sido produzidos por mais de um golfinho (Fig. 29); b) Cadeia de clique simples - composta de cliques visivelmente distintos, que podem ser atribuídos a um único animal (Fig. 30). Esse procedimento garantiu não só que a maioria das cadeias pudesse passar por algum tipo de análise, mas que outros animais emitindo cliques separadamente não fossem analisados como um único indivíduo.

Para diminuir o efeito fora do eixo que pode ter distorcido os feixes sonoros (*sound beam*), o sinal com maior amplitude de cada cadeia simples foi selecionado para análises adicionais. Essas análises mediram frequência de pico (P) e frequência central (FC) dos sinais selecionados, buscando ter uma amostra de cliques dentro do eixo e diminuindo assim a margem de erro possível por emissões que pudessem ter sido produzidas por animais mais afastados do hidrofone (Madsen and Wahlberg 2007).

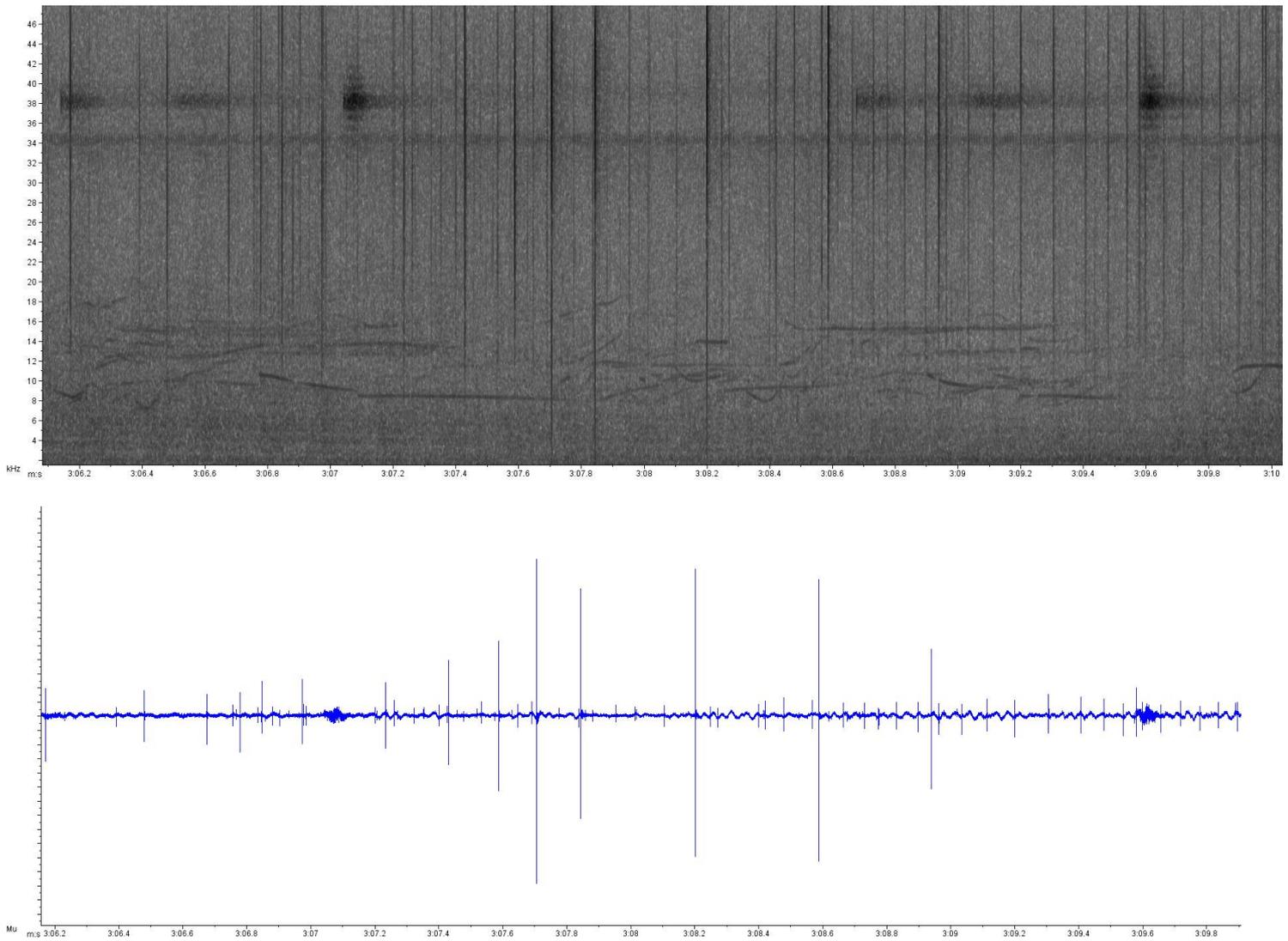


Fig. 29. Exemplo de cadeia múltipla (espectrograma e *waveform* respectivamente).

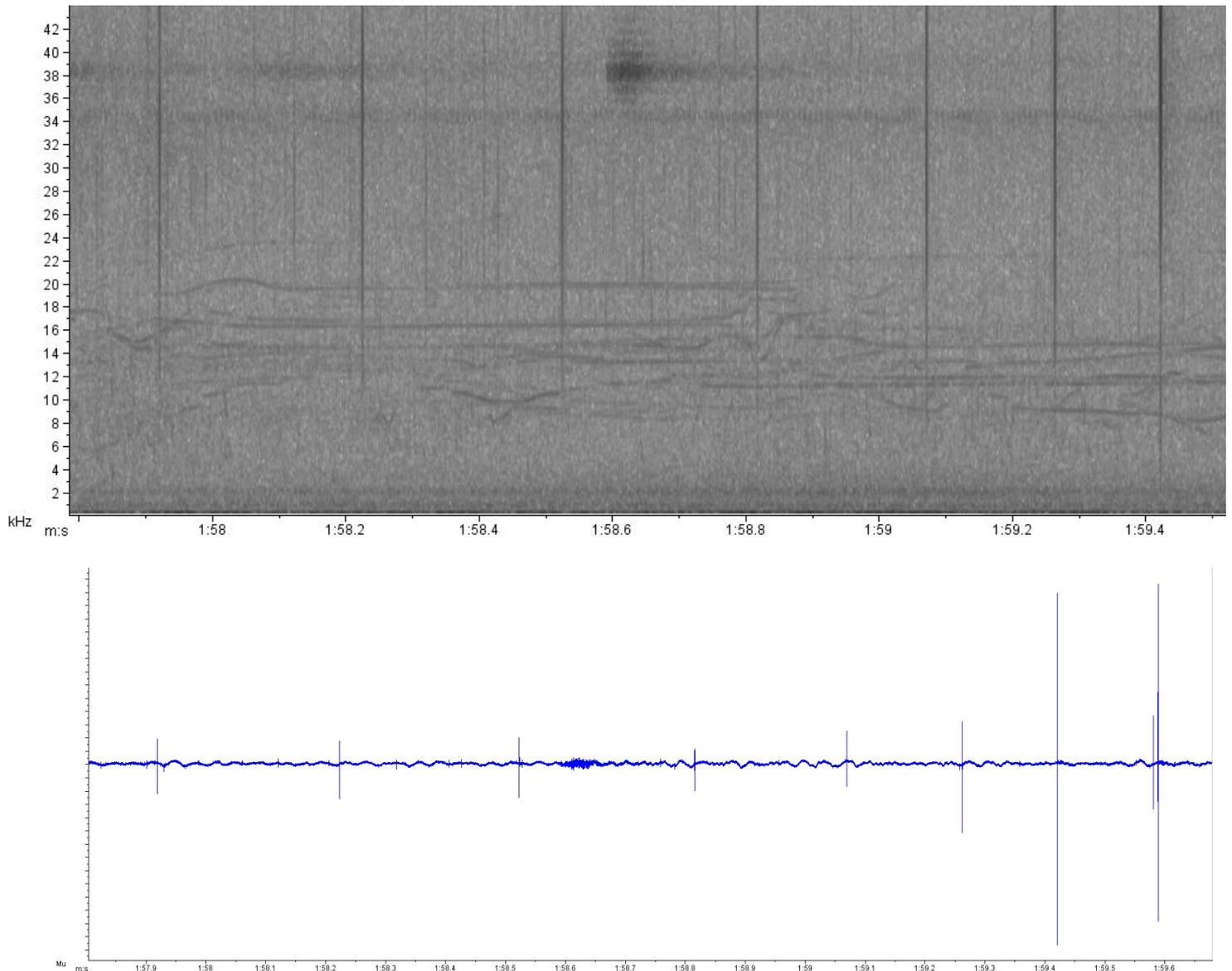


Fig. 30. Exemplo de cadeia simples (espectrograma e *waveform* respectivamente).

Quanto aos sinais pulsados explosivos, devido à variedade encontrada de formas e associações, a análise levou em conta cada unidade (sinal verdadeiramente puro, sendo a pureza relacionada a descontinuidade temporal dos sinais, não apresentando associação aparente com nenhum outro pulso na imediação de 1 ms) ou composição (sinais intimamente associados, inicialmente impossibilitando sua separação) de sinal explosivo. De acordo com suas características, cada unidade foi nomeada: a) sinal explosivo puro I – “*bray calls*” (e.g., Janik 2000, Santos *et al.* 1995) (Fig. 31), b) sinal explosivo puro II –

“buzz click” (e.g., Küsel *et al.* 2011, Madsen *et al.* 2005) (Fig. 32) e c) sinal explosivo puro III – “pontilhado” (Fig. 33). Em relação aos sinais compostos, de acordo com sua composição, adotou-se: a) cadeia sequencial – qualquer sequência do mesmo tipo de sinal puro (Fig. 31 e início da fig. 33), e b) cadeia mista – qualquer combinação de mais de um tipo de sinal puro (Fig. 35).

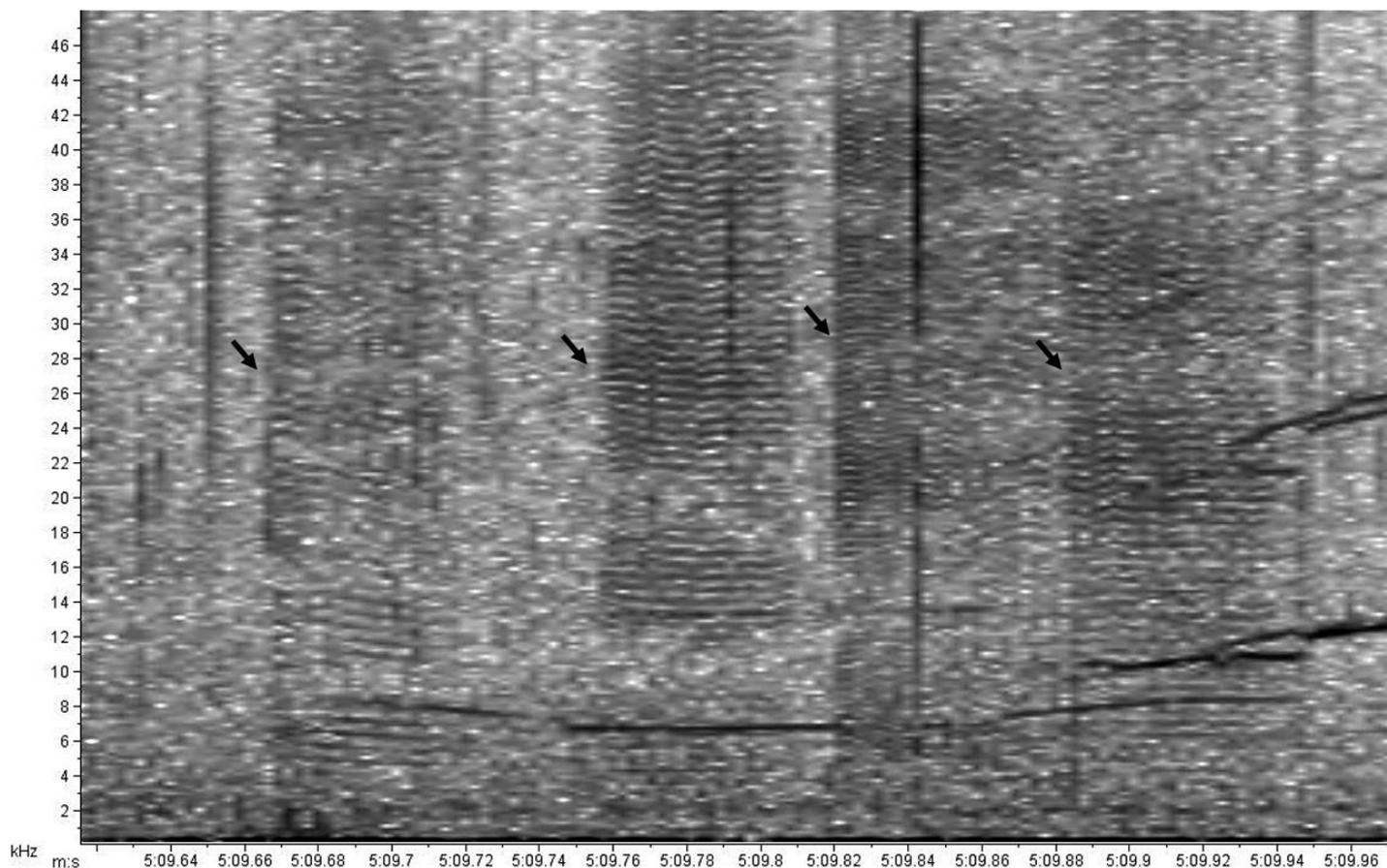


Fig. 31. Sequência de sinal explosivo puro I (setas pretas).

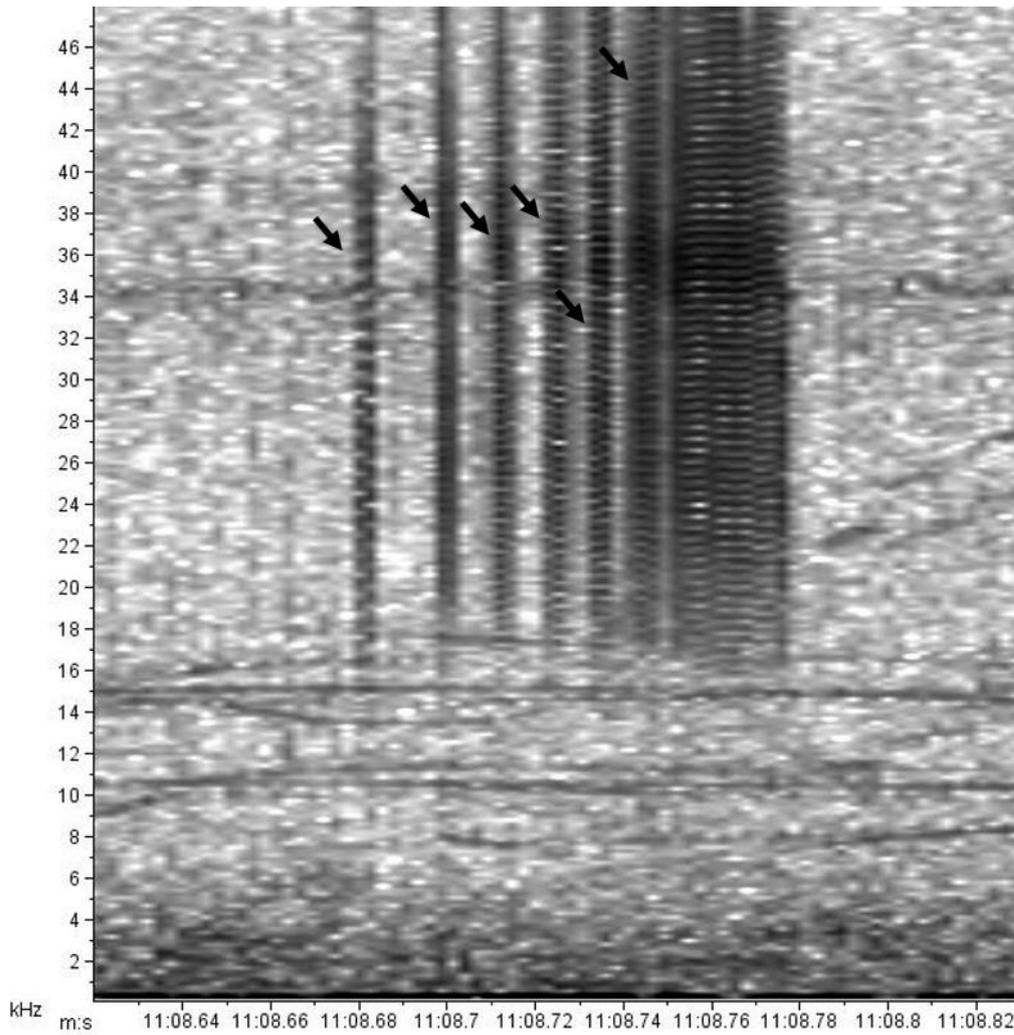


Fig. 32. Sequência de sinal explosivo puro II (setas pretas) seguido de puro I (último da sequência, sem setas).

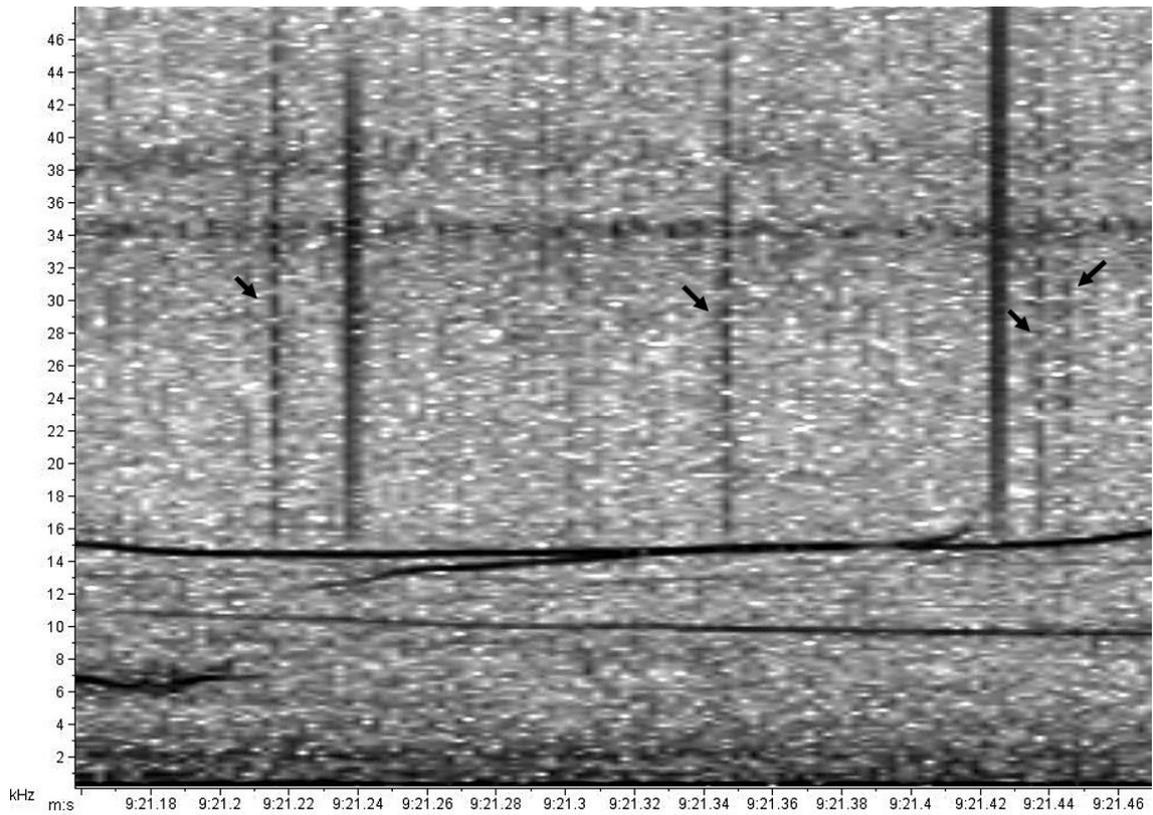


Fig. 33. Sinal explosivo puro III, pontilhado (setas pretas).

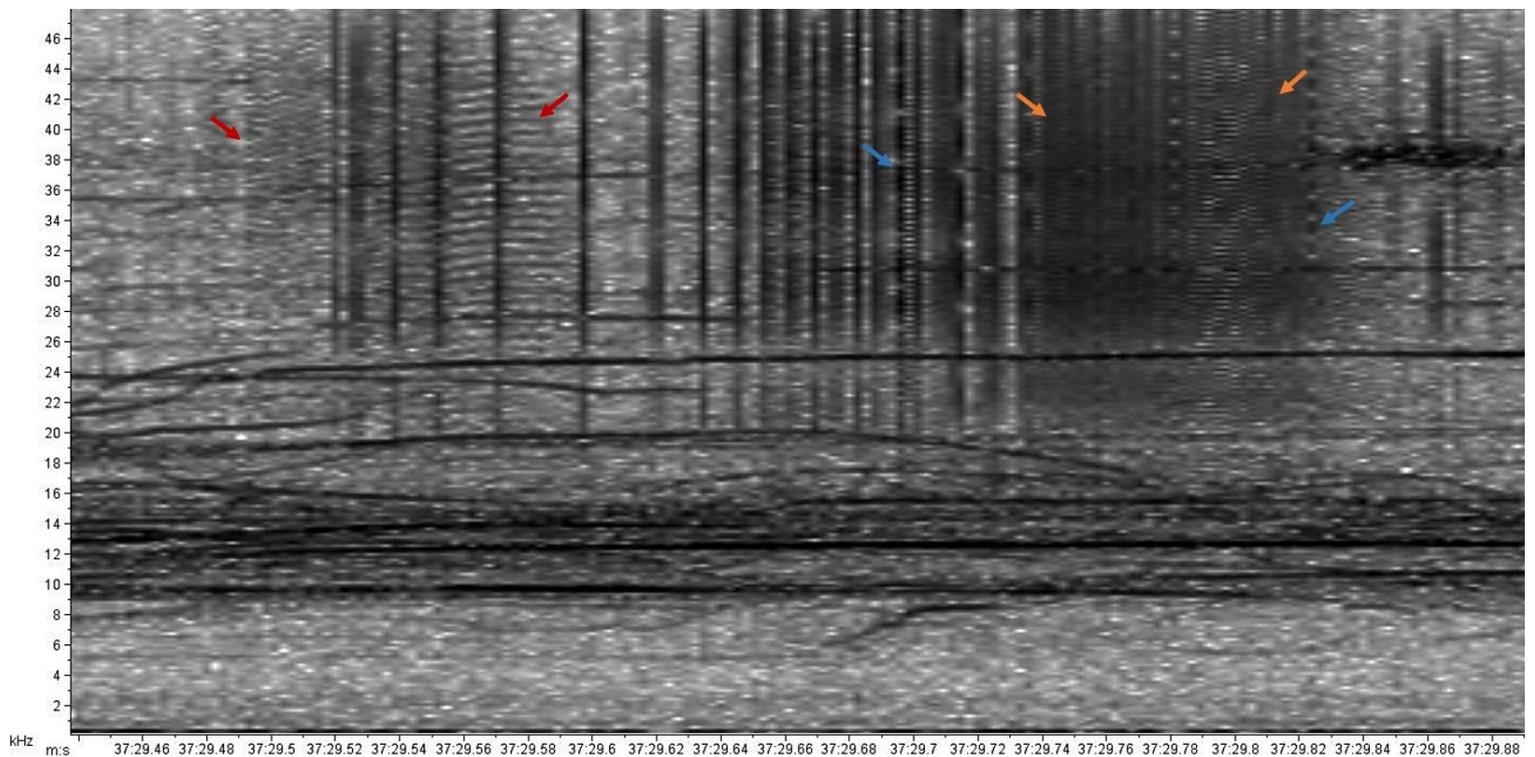


Fig. 34. Cadeia mista completa apresentando os três tipos de sinais pulsados encontrados: puro I (seta vermelha), puro II (seta azul) e puro III (seta laranja).

Ambos os tipos de cadeias de clique tiveram a sua duração (Dur) e número de cliques (NC) verificado. Por outro lado, apenas as cadeias simples, por terem sido estipuladas como emitidas por um único animal, tiveram seus intervalos inter-clique (ICI) estimados. Os sons pulsados explosivos foram analisados quanto a sua duração, frequência mínima (FMi) e frequência máxima (FMa), somente quando não cortada pelo limite superior de gravação. Assim como já foi relatado para os assobios, pelo fato da grande sobreposição de cadeias de cliques ou de outro tipo de sinal explosivo encontrados ao longo do espectrograma, os mesmos foram incluídos na análise.

A gravação oportunista e o tamanho de grupo não permitiram medir a distância dos animais do grupo em relação ao hidrofone, não sendo possível medir o nível da fonte (*source level - SL*), nem mesmo o nível aparente da fonte (*apparent source level - ASL*). Dessa forma, o foco principal da análise foi a descrição das características temporais das emissões pulsadas.

C. Análise Estatística

Para cada variável acústica medida, aplicou-se estatística descritiva básica, incluindo valor mínimo, valor máximo, média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação.

2.3 RESULTADOS

I. Cliques ecolocação

A partir da análise de 18 minutos selecionados, foram identificadas 118 cadeias de cliques de ecolocalização; sendo 94 cadeias múltiplas (79,7%) e 24 cadeias simples (20,3%). Em relação aos valores adquiridos para as cadeias múltiplas: variação da duração da cadeia entre 0,160-35,5 s (média 7,37, desvio padrão (DP) 7,86E-5 e coeficiente de variação (CV 92,18%)), com o número de cliques variando entre 13-586 (média 118, DP 114 e CV 96,32%). Para as cadeias simples encontrou-se: duração da cadeia entre 0,140-8,21 s (média 2,51, DP 2,57E-5 e CV 88,41%), com o número de cliques entre 6-99 (média 32, DP 26,21 e CV 81,40%) e ICI 0,001-0,371 segundos (média 0,713, DP 0,0523 e CV 73,38%).

Em relação aos cliques com maior amplitude dentro de cada cadeia simples, P variou de 12,3-41,2 kHz (média 35,8, DP 6,8 e CV 18,9%) com FC entre 6,3-32,2 kHz (média 22,2, DP 6,4 e CV 28,9%).

Nos últimos minutos, assim como ocorreu com o sinal tonal, as cadeias foram ficando cada vez mais densas. No último minuto analisado, foi ficando cada vez mais difícil distinguir cadeias de cliques com cadeias de outros sons pulsados, levando à impossibilidade de análise das mesmas, que não foram selecionadas para este trabalho. Entretanto, durante o registro do grupo, o comportamento exibido na maior parte do tempo pela maioria dos animais foi a navegação, com intensa atividade aérea durante todo o acompanhamento; aparentemente não apresentando um crescendo em relação ao comportamento.

II. Sons explosivos

Em 18 minutos de análise foram selecionados 383 sinais pulsados explosivos, sendo: 327 puros (85,4%), 37 cadeias mistas (9,4%) e 19 cadeias sequenciais (5,2%). Dentre os puros, 142 eram puros I (43,4%), 122 puros II (37,3%) e 63 puros III (19,3%). Quanto às cadeias mistas, foram encontradas principalmente: 13 cadeias mistas completas (35,1%) – ou seja, com os três tipos de sinais puros – 12 cadeias mistas do sinal puro I com o puro II (32,4%), e 10 cadeias mistas do sinal puro II com o puro III (27%). Os outros 5,5% tipos de cadeias mistas referem-se a associações íntimas do sinal puro I ou puro II com cliques de ecolocação. Em relação às cadeias sequenciais, todas apresentavam sequências do sinal puro II. Assim sendo, parece que os sinais pulsados explosivos, seja clique ou pulso explosivo, possuem íntima relação uns com os outros (Fig. 35).

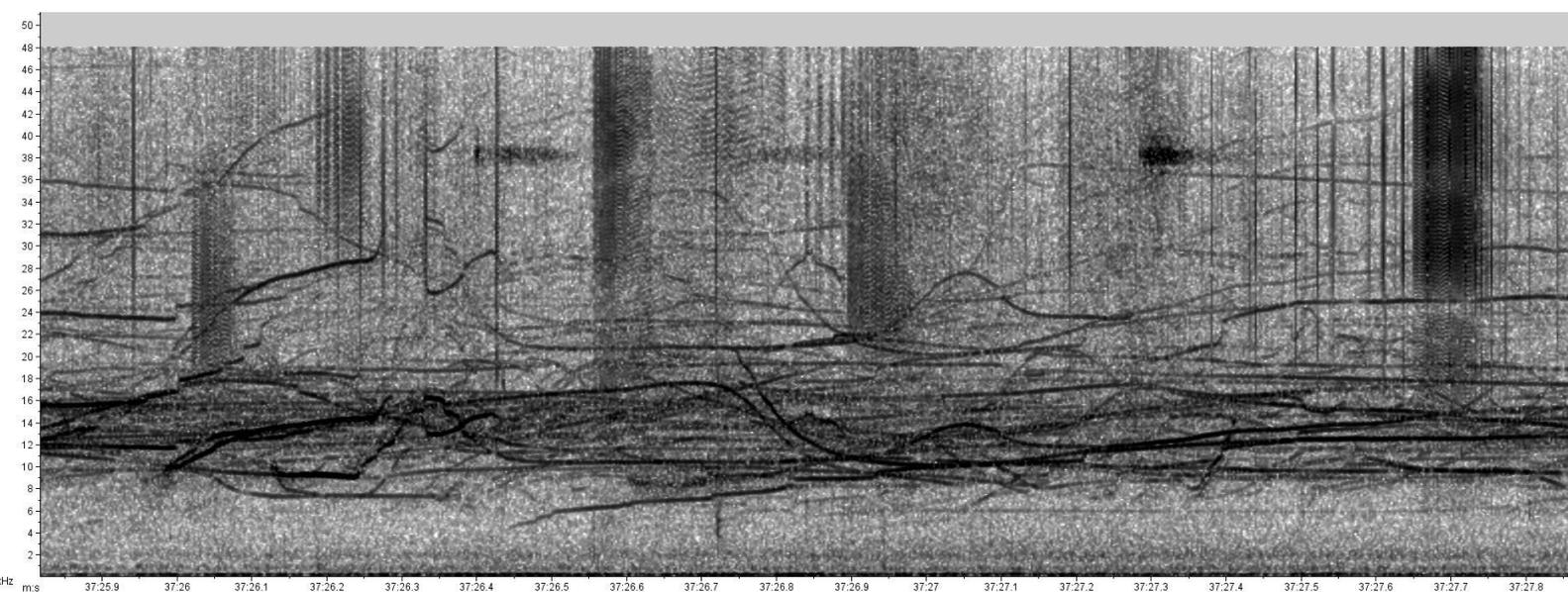


Fig. 35. Associação entre os sinais pulsados explosivos.

2.4 DISCUSSÃO

I. Cliques ecolocação

Pelo fato das cadeias terem sido separadas em simples ou múltiplas, torna difícil sua comparação com estudos anteriores. Dessa forma, só foi possível comparar brevemente os valores apresentados pelas cadeias simples. De acordo com Madsen *et. al.* (2005) cliques regulares apresentam ICI's entre 200 e 500 ms com uma ênfase em torno de 400 ms. Para rotadores, Lammers *et. al.* (2004) relatou ICIs variando entre 1-200 ms, com uma concentração bimodal centrada em 3,5 e 80 ms. Em relação às cadeias simples aqui relatadas, os ICIs variaram um pouco mais (1-371 ms) do que descrito por Lammers *et. al.* (2004), mas ainda permanecem dentro da faixa de cliques descritas por Madsen *et. al.* (2005). A distribuição dos valores de ICI para o grupo aqui analisado não foi bimodal.

Como os autores não relataram número de cliques nas cadeias nem sua duração, não foram possíveis maiores comparações, focando esta parte do trabalho principalmente no relato dos cliques observados.

Pelo fato do limite da gravação ter sido 96 kHz, uma amostragem insuficiente para cliques de ecolocação (Madsen 2004, Madsen *et al.* 2005, Madsen and Wahlberg 2007), impossibilitou a extração da frequência máxima e amplitude desses sinais. Além disso, o fato da gravação ter sido oportunista e omnidirecional, gerou dados fora do eixo que podem ter distorcido os feixes sonoros. Tais fatos impossibilitaram uma análise mais completa e detalhada dos cliques de ecolocação, o que foi ainda mais agravado pelo grande tamanho do grupo – o que pode ter sido responsável pela grande quantidade de sinais distribuídos, gerando cadeias múltiplas que dificultaram ainda mais a análise.

II. Sons explosivos

Os trabalhos anteriores que trataram da emissão de sinais explosivos em rotadores (Lammers 2003, Lammers *et al.* 2003, Lammers *et al.* 2004, Lammers *et al.* 2006, Camargo 2008, Rossi-Santos *et al.* 2008) parecem ter encontrado ou só analisado um tipo de sinal (puro I ou puro II). Entretanto, o registro acústico realizado na quebra da plataforma continental Brasileira, apontou três tipos distintos de sinais explosivos emitidos pela espécie.

Apesar de discordar da utilização da nomenclatura até então mais utilizada para referir-se a diferentes formas de sinais explosivos, a princípio será necessário lançar mão de sua utilização para que seja possível enquadrar os sinais aqui encontrados perante àqueles previamente descritos na literatura.

O primeiro sinal – puro I (Fig. 31) – é popularmente conhecido como “*bray call*”, já foi descrito para outras espécies (*e.g.*, Santos *et al.* 1995, Janik 2000), inclusive para golfinhos-rotadores (Rossi-Santos *et al.* 2008) no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. No trabalho de Janik (2000), a emissão sonora foi associada a 93% de todos os eventos de forrageamento para *Tursiops truncatus*. O autor ainda aponta que, pelo fato deste sinal ser mais raro de ser emitido, comparado aos outros sinais acústicos produzidos pelos golfinhos, poderia significar que o sinal estaria associado exclusivamente aos eventos de forrageamento. A distinta relação de aproximação de animais coespecíficos 15 s após a emissão do puro I poderia sugerir que o sinal indica o início do forrageio para outros golfinhos (Janik 2000). Entretanto, a manipulação do comportamento da presa ainda parece ser a principal função do sinal segundo Janik (2000). A emissão do puro I dentro de outros contextos específicos ainda é necessária.

Rossi-Santos *et al.* (2008) ainda classifica os sinais puros I de acordo com seu contorno. Entretanto, por esta ser uma forma de categorização qualitativa normalmente utilizada para sons tonais, e por se tratar da abordagem de sinais pulsados, a metodologia proposta não foi utilizada. Ao contrário, buscou-se categorizar de maneira mais simples possível os sinais explosivos encontrados, juntamente com a utilização de termos mais fiéis à qualidade espectrográfica (tempo/frequência) dos pulsos explosivos, visando fortalecer e separar ainda mais a categoria dos sinais de ecolocação. Isto posto, a nomenclatura aqui utilizada levou em conta cada unidade (sinal verdadeiramente puro, sem associação aparente com nenhum outro pulso na imediação de 1ms) ou composição (sinais intimamente associados, inicialmente impossibilitando sua separação) de sinal explosivo.

O segundo tipo – puro II (Fig. 32) – também já foi descrito para outras espécies (*e.g.*, Madsen 2004, Madsen *et al.* 2005, Stafford *et al.* 2012) e discutido sob diferentes aspectos para os rotadores do Havaí (Lammers *et al.* 2004, Lammers *et al.* 2006), sendo comumente conhecido como “*buzz click*”. Madsen *et al.* (2005) relatou que esses sinais tipo puro II são produzidos a 15-20 dB abaixo dos cliques de ecolocação, apresentando ICIS entre 5 e 20 ms. A utilização desse sinal pulsado tem sido discutida sob dois diferentes aspectos: quando emitido no final de uma cadeia de cliques (*e.g.*, Madsen *et al.* 2005), estando associado ao forrageamento; e quando emitido próximo de assobios (*e.g.*, Herzing 1996, Lammers *et al.* 2006), sugerindo um papel na comunicação emotiva. Pela vasta variedade e diferentes situações encontradas para esse e os outros tipos de sinais pulsados aqui descritos, o foco principal foi a descrição inicial dos mesmos. Dessa forma, seus ICIs não foram medidos.

O terceiro sinal encontrado – puro III (Fig. 33) – aparentemente ainda não teve sua ocorrência explorada em nenhuma espécie de cetáceo. Este terceiro som pulsado

assemelha-se à um clique, porém é todo recortado assumindo uma forma pontilhada. Entretanto, conforme alterou-se as configurações do espectrograma – mais especificamente com DFT 128 amostras, 50% *overlap* e janela *Hamming* de 128 pontos – a maioria dos sinais puros III perderam sua feição pontilhada e assumiram uma forma contínua como um forte clique de ecolocação (Fig. 36). Portanto, assume-se que essa forma pontilhada apresentada pelo sinal na maioria das configurações do espectrograma, não passe de um artefato da gravação ou seja até mesmo um ou mais animais emitindo cliques ao mesmo tempo.

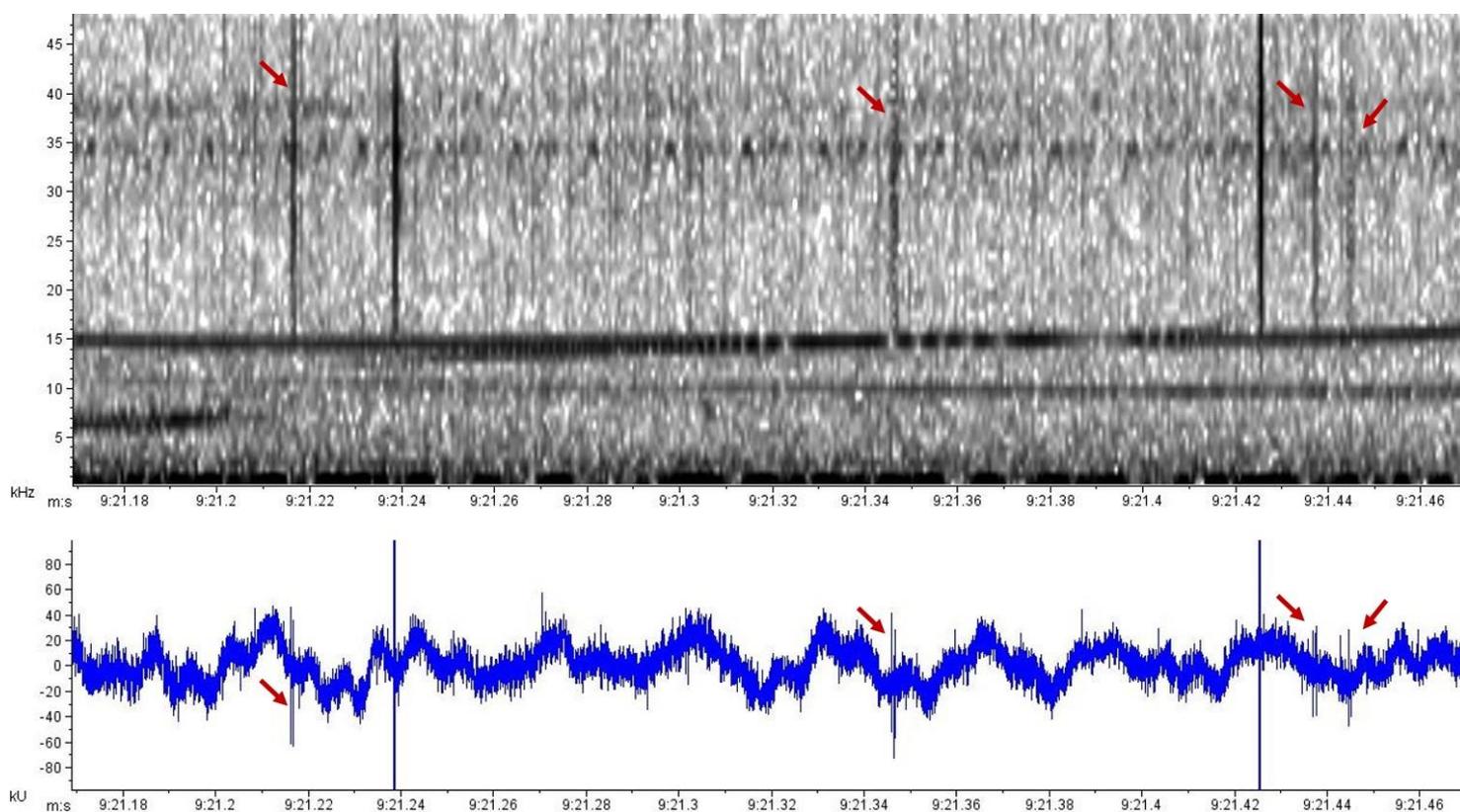


Fig. 36. Em destaque (setas vermelhas) os sinais puros III, que sob configuração do espectrograma com DFT 128 amostras, 50% *overlap* e janela *Hamming* de 128 pontos, na maioria dos casos perdem sua feição pontilhada. Tanto no espectrograma quanto na *waveform* percebe-se a proximidade de dois cliques ao que seria o sinal puro III em outras configurações. A seleção do trecho do registro é a mesma utilizada na figura 33, visando facilitar a comparação dos sinais sob diferentes configurações.

Em relação aos sinais compostos, encontrou-se cadeia sequencial (Fig. 31) e cadeia mista (Fig. 34). Destaca-se ainda que a nomenclatura aqui utilizada para caracterizar essas

emissões compostas em série de pulsos explosivos (cadeia sequencial e cadeia mista) aborda simplesmente uma repetição seriada dos sinais. Pelo fato do registro analisado ter sido oportunista, não foi possível atribuir as emissões a indivíduos específicos. Dessa forma, apesar da aparência dessas emissões em conjunto parecerem produções sonoras de um único animal na maioria das vezes, não se descarta a possibilidade de algumas terem sido produzidas por mais de um golfinho.

Ao contrário do que já foi relatado por Lammers (2003) – que descreve a ocorrência desses sinais isoladamente, em série ou, associada aos assobios – observou-se que a produção desses sons ocorreu principalmente em série, associada às cadeias de cliques de ecolocação, formando cadeias de pulsos explosivos. Essa situação foi a predominante durante o espectrograma analisado, ocorrendo inclusive uma íntima associação intercalada aos cliques de ecolocação, configurando cadeias mistas; com sons pulsados explosivos entre cliques de ecolocação (Fig. 35), e até mesmo som explosivo dentro de som explosivo (Fig. 34). Apesar de não haverem maiores evidências, essa configuração dos sinais pulsados associados aos cliques de ecolocação ao invés dos assobios, encaixa-se mais adequadamente na descrição de “*buzz click*” associado a eventos de forrageamento. Entretanto, como também houve associação dos pulsos explosivos com assobios, e pelo fato do grupo registrado apresentar grande número de indivíduos (o que dificultou o acompanhamento comportamental); não se descarta sua utilização para comunicação emocional (*e.g.*, comportamento agonístico, corte e reações de alarme) (Lammers *et al.* 2003, Lammers *et al.* 2004). Muitas dessas produções ainda não foram completamente analisadas, por precisarem de uma investigação mais profunda e por muitas dessas emissões terem apresentado um SNR baixo (menor que 7 dB).

Visto que os pulsos explosivos são sinais predominantemente ultrassônicos, destaca-se que a prática de sua discussão em termos de suas qualidades sonoras deve ser

reconsiderada em favor de uma abordagem mais quantitativa. Conforme previamente criticado (Lammers *et al.* 2003, Rossi-Santos *et al.* 2008), termos como “squawks”, “squeaks”, “creaks” e “yelps”, comumente utilizados para descrever e distinguir pulsos explosivos, podem resultar em conclusões equivocadas; por descreverem principalmente impressões subjetivas da separação temporal do timbre percebidas por ouvintes humanos (Small and McClellan 1963, Rossi-Santos *et al.* 2008). Como os golfinhos possuem uma melhor capacidade de resolução temporal auditiva do que os humanos (Vel'min and Dubrovskiy 1976, Ketten 1992, Rossi-Santos *et al.* 2008) a tentativa de classificar pulsos explosivos na base de qualidades sonoras percebidas pelo pesquisador provavelmente deturpa a intenção de compreender como golfinhos percebem estes sons.

Como as características acústicas que distinguem os diferentes tipos de pulsos, explosivos e de ecolocalização, ainda não são bem compreendidas, outros autores já sugeriram que o intervalo entre os pulsos explosivos poderia ser a chave desta questão; com os pulsos explosivos representando sequências com altas taxas de repetição e os cliques de ecolocalização apresentando sequências com intervalos entre pulsos relativamente maiores (Camargo 2008). Entretanto, mesmo utilizando tal indício para separar as categorias, como esses sinais compartilham mais uma série de outras características, mais estudos experimentais são necessários para distingui-las (Lammers *et al.* 2004).

No trabalho de Lammers (2003) já foi utilizada a classificação de acordo com ICI e NC, entretanto, tal análise só foi possível porque o autor analisou apenas os sinais puros II, pois para sinais puros I e sinais puros III não são medidas aplicáveis. Mesmo dentro de tal contexto, destaca-se ainda a necessidade de utilização de nomenclatura apropriada referente a pulsos explosivos, já que ICI e NC são termos associados aos cliques de ecolocalização e podem gerar confusão. Portanto, como ponto de partida sugere-se começar

a formar classes baseadas nas características temporais sonoras desses sinais, com os intervalos sendo descritos como “entre pulsos” (IEP), e análise do número total de pulsos (em vez de cliques, que já remetem ao sinal de ecolocação). A sugestão de mudança e padronização da nomenclatura visa o uso de termos mais específicos aos sinais explosivos, o que possibilitaria levar a discussões comparativas mais significantes entre os autores.

2.5 CONCLUSÕES

- 1) Apesar de se tratar de uma amostra oportunista, ficou claro a necessidade de um maior limite de gravação, o que permitiria uma análise mais completa dos sinais pulsados. Adicionalmente, a gravação omnidirecional originou dados fora do eixo que podem ter distorcido os feixes sonoros, dificultando ainda mais uma análise completa e detalhada desses sinais. Perante essa problemática, as análises concentraram-se nas características temporais dos cliques e pulsos analisados.
- 2) Devido à dificuldade durante o registro oportuno de se definir os diversos comportamentos exibidos pelo grande grupo registrado, possíveis definições e funções biológicas que poderiam ser atribuídas a cada sinal pulsado emitido dentro de um contexto mais específico foram limitadas. Os resultados sugerem principalmente que um exame mais detalhado da ocorrência tempestiva de pulsos explosivos de indivíduos identificados individualmente inseridos dentro de vários contextos comportamentais seria ainda mais esclarecedora.
- 3) Identificou-se a diferença audível e visível entre os cliques de ecolocação e os outros tipos de sons pulsados (inclusive entre estes). Desta forma, assim como ocorreu com os sons tonais, os sinais pulsados descritos para este grupo de rotadores, parecem ainda mais complexos do que já foi previamente descrito.
- 4) A partir da discussão da nomenclatura existente e sugestão de padronização e categorização de maneira mais simples e fiel à análise espectrográfica, espera-se contribuir para futuras análises, descrições e comparações de pulsos explosivos.

- 5) Embora todas as dificuldades citadas para essa análise, amostrar espécies oceânicas é um grande desafio e, assim, o trabalho apresenta uma relevante importância para contribuição de um melhor entendimento a respeito da estrutura populacional da espécie *S. longirostris* no Atlântico Sul Ocidental.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Au, W. L. (1993). The sonar of dolphins. New York, Springer-Verlag.
- Azevedo, A. F. and M. V. Sluys (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations." J. Acoust. Soc. Am. **117**(3): 9.
- Bazúa-Durán, C. and W. W. L. Au (2002). "The whistles of Hawaiian spinner dolphins." J. Acoust. Soc. Am. **112**(6): 9.
- Camargo, F. S. (2008). Estudo das vocalizações de golfinhos-rotadores, *Stenella longirostris* (Cetacea, Delphinidae), no arquipélago de Fernando de Noronha. Doutor, Universidade de São Paulo.
- Camargo, F. S., J. Mario M. Rollo, V. Giampaoli and C. Bellini (2006). "Whistle variability in South Atlantic spinner dolphins from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil." J. Acoust. Soc. Am. **120**(6): 9.
- Driscoll, A. D. (1995). The whistles of Hawai'ian spinner dolphins, *Stenella longirostris*. Master, University of California at Santa Cruz.
- Herzing, D. L. (1996). "Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*." Aquatic Mammals **22.2**: 20.
- Janik, V. M. (2000). "Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*)." Proc. R. Soc. Lond. B **267**: 5.
- Ketten, D. R. (1992). The Marine Mammal Ear: Specializations for Aquatic Audition and Echolocation. The Evolutionary Biology of Hearing. D. B. Webster, R. R. Fay and A. N. Popper, Springer-Verlag: 717-750.
- Küsel, E. T. Mellinger, D. K. Thomas, L. Marques, T. A. Moretti, D. Ward, J. (2011) "Cetacean population density estimation from single fixed sensors using passive acoustics." J. Acoust. Soc. Am. **129**(6) 3610-3622.
- Lammers, M. O. (2003). The behavior and broadband acoustic signaling of Hawai'ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). Doctor, University of Hawai'i.
- Lammers, M. O., W. W. L. Au, R. Aubauer and P. E. Nachtigall (2004). A comparative analysis of the pulsed emissions of free ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). Echolocation in Bats and Dolphins. J. A. Thomas, C. F. Moss and M. M. Vater. Chicago, University of Chicago Press: 414–419.
- Lammers, M. O., W. W. L. Au and D. L. Herzing (2003). "The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins." J. Acoust. Soc. Am. **114**(3): 11.
- Lammers, M. O., M. Schotten and W. W. L. Au (2006). "The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals." J. Acoust. Soc. Am. **119**(2): 7.

- Madsen, P. T. (2004). "Echolocation clicks of two free-ranging, oceanic delphinids with different food preferences: false killer whales *Pseudorca crassidens* and Risso's dolphins *Grampus griseus*." Journal of Experimental Biology **207**(11): 1811-1823.
- Madsen, P. T., M. Johnson, N. A. de Soto, W. M. Zimmer and P. Tyack (2005). "Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*)." J Exp Biol **208**(Pt 2): 181-194.
- Madsen, P. T. and M. Wahlberg (2007). "Recording and quantification of ultrasonic echolocation clicks from free-ranging toothed whales." Deep-Sea Research **I**(54): 24.
- Nachtigall, P. E., D. W. Lemonds and H. L. Roitblat (2000). Psychoacoustic studies of dolphin and whale hearing. Hearing by Whales and Dolphins. W. W. L. Au, A. N. Popper and R. J. Fay. New York, Springer-Verlag: 330-363.
- Oswald, J. N., J. Barlow and T. F. Norris (2003). "Acoustic identification of nine delphinid species in the Eastern Tropical Pacific Ocean." Marine Mammal Science **19**(1): 18.
- Popper, A. N. (1980). Sound emission and detection by delphinids Cetacean Behavior: Mechanisms and Function. L. M. Herman. New York, Wiley-Interscience: 1-52.
- Rossi-Santos, M. R., J. M. d. Silva-Jr., F. L. Silva and E. L. A. Monteiro-Filho (2008). "Descriptive parameters of pulsed calls for the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, in the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **88**(6): 5.
- Santos, M. E. d., A. J. Ferreira and S. Harzen (1995). Rhythmic sound sequences by aroused bottlenose dolphins in the Sado estuary, Portugal. Sensory Systems of Aquatic Mammals. R. A. Kastelein, J. A. Thomas and P. E. Nachtigall. Woerden, The Netherlands, De Spil Publishers: 325-334.
- Small, A. M. and M. E. McClellan (1963). "Pitch associated with time delays between two pulse trains." J. Acoust. Soc. Am. **48**: 10.
- Stafford, K. M., K. L. Laidre and M. P. Heide-Jørgensen (2012). "First acoustic recordings of narwhals (*Monodon monoceros*) in winter." Marine Mammal Science **28**(2): E197-E207.
- Vel'min, V. A. and N. A. Dubrovskiy (1976). "The critical interval of active hearing in dolphins." Soviet Physics of Acoustics **2**: 2.
- Watkins, W. A. and W. E. Schevill (1977). "Sperm whale codas." J. Acoust. Soc. Am. **62**: 6.