



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro Biomédico  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Mariana Barbosa Ferreira Alves

**Sons pulsantes de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) na costa do Rio de Janeiro: caracterização e variação intraespecífica**

Rio de Janeiro

2019

Mariana Barbosa Ferreira Alves

**Sons pulsantes de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) na costa do Rio de Janeiro: caracterização e variação intraespecífica**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Freitas Azevedo

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A474

Alves, Mariana Barbosa Ferreira.

Sons pulsantes de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) na Costa do Rio de Janeiro: caracterização e variação intraespecífica/ Mariana Barbosa Ferreira Alves. – 2019.

71 f. : il.

Orientador: Alexandre de Freitas Azevedo.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1. Boto – Bioacústica – Guanabara, Baía de (RJ) - Teses. 2. Boto – Bioacústica – Ilha Grande, Baía da (RJ) – Teses. 3. Boto – Bioacústica - Sepetiba, Baía de (RJ) – Teses. I. Azevedo, Alexandre de Freitas. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. III. Título

CDU 599.533(815.3)

Patricia Bello Meijinhos CRB-7/ 5217- Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Mariana Barbosa Ferreira Alves

**Sons pulsantes de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) na costa do Rio de Janeiro: caracterização e variação intraespecífica**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 20 de maio de 2019.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Tatiana Lemos Bisi

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Isabela Maria Seabra de Lima

Faculdade de Ciências Biológicas – Pitágoras (Linhares)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Patrícia Abrunhosa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Azevedo

Faculdade de Oceanografia - UERJ

---

Prof. Dr. Cristiano Valentim da Silva Lazoski

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2019

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós, Franklin e Maria Otilia, e a toda a minha família por todo o apoio e amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, por todo o apoio e amor que sempre dedicaram a mim. Em especial a minha mãe Fátima, por sempre apoiar as minhas decisões, me incentivar e ser um exemplo de mulher, mãe e filha. Ao meu pai Edesio e ao meu irmão Matheus por estarem sempre presentes e me apoiarem durante esses anos de mestrado. Aos meus avós Franklin, Maria Otília, Waldyr e Nelitha por serem os melhores avós que eu poderia ter. A minha tia Eliane, que sempre esteve presente na minha vida e sempre me apoiou.

Ao meu orientador Alexandre e a todos os professores do MAQUA, José Lailson, Tatiana Bisi e Haydée Cunha, pela oportunidade de fazer mestrado em um laboratório com uma estrutura como a do MAQUA e que é uma referência na área de mamíferos aquáticos no Brasil.

A toda a equipe do MAQUA. Ao grupo da ecologia do laboratório por todos os momentos de discussão e conselhos durante inúmeros cafés no quiosque. Ao Kadu por ter sido meu companheiro em diversas saídas de campos pelas baías do Rio de Janeiro. À Luciana e Isabela que me ensinarem tanto sobre ciência e acústica e que continuam me ajudando mesmo não estando mais no laboratório.

À Lis por ter me ensinado, aconselhado e incentivado durante meu tempo de estágio e durante o mestrado, principalmente nos muitos momentos de desespero. A sua ajuda e amizade foram essenciais para o término dessa dissertação.

À Lorena, André, Emi e Juliana, companheiros de bar depois do MAQUA e saídas no final de semana.

À Gabriela, Ana Claudia, Marina, Amanda e Luísa. Minhas amigas da escola que continuam tão importantes na minha vida até hoje e sempre me apoiaram.

À Raisa, Yanã, Raíssa, Pedro Uchoa, Pedro Henrique e Clarice do grupo “Armadeiras + Hipster + Yanã” por estarem sempre presentes, desde os tempos de Fundão.

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Este trabalho também contou com o apoio das instituições de fomento à pesquisa: CAPES, FAPERJ e CNPq.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, às secretárias Verusca e Sônia e à todo o corpo docente pelo aprendizado e pelo apoio durante o curso de mestrado.

Agradeço também às unidades de conservação APA de Guapi-Mirim e ESEC Tamoios pelo apoio logístico às saídas de campo que ocorreram dentro de suas áreas.

Parte das saídas de campo realizadas ao longo do trabalho foram financiadas pela Transpetro através do projeto: “Programa de Conservação dos botos-cinza (*Sotalia guianensis*) e outros cetáceos das baías da Ilha Grande e de Sepetiba” (MAQUA/UERJ, Associação Cultural e de Pesquisa Noel Rosa, INEA, Transpetro) (TAC-4600012708).

## RESUMO

ALVES, Mariana Barbosa Ferreira. *Sons pulsantes de botos-cinza (Sotalia guianensis) na costa do Rio de Janeiro: caracterização e variação intraespecífica*. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

A maioria das espécies da família Delphinidae produzem dois tipos de sons: sons pulsados, divididos em cliques de ecolocalização e sons pulsantes, e assobios. Acredita-se que os sons pulsantes são utilizados na comunicação social dos indivíduos, mas as suas funções específicas e a sua estrutura espectral foram pouco estudadas. O boto-cinza (*Sotalia guianensis*) é uma espécie da família Delphinidae que ocorre na costa do Rio de Janeiro o ano inteiro. Esse trabalho teve como objetivo caracterizar os parâmetros acústicos dos sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis*, assim como as suas variações intraespecíficas, nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, na costa do Rio de Janeiro. O sistema de gravação utilizado consistiu em um gravador digital Fostex (taxa de amostragem de 192 kHz) e um hidrofone C54XRS (-165 dBV, 0.006 a 203 kHz). Todos os sons pulsantes presentes nas gravações foram contados no *Software Raven Pro 1.5* para que a taxa de emissão (número de sons pulsantes/indivíduos/minuto) desse som fosse calculada. Um filtro *Butterworth Highpass* de 1 kHz foi feito no *Software Adobe Audition 1.5* e utilizado em todas as gravações para a posterior análise dos parâmetros acústicos. Cinco parâmetros acústicos foram extraídos de todos os sons pulsantes considerados de boa qualidade: número de pulsos, intervalo entre pulsos (ms), duração (ms), frequência de pico (kHz) e frequência mínima (kHz). Os quatro primeiros foram extraídos automaticamente através do *Software SoundRuler* enquanto o último foi medido manualmente no programa *Raven Pro 1.5*. Além disso, cada som pulsante analisado foi classificado visualmente em quatro categorias distintas baseado em sua estrutura espectral aparente. A análise estatística incluiu testes de Kruskal-Wallis para investigar as diferenças dos cinco parâmetros acústicos dos sons pulsantes entre as três baías. Além disso, duas funções discriminantes foram realizadas para analisar a separação dos sons pulsantes em diferentes baías e categorias baseado em seus parâmetros. Ao todo 255 sons pulsantes foram analisados, 74 na baía de Guanabara, 79 em Sepetiba e 102 em Ilha Grande. Foi observado que 67% dos sons analisados foram corretamente classificados nas quatro categorias e que os parâmetros: intervalo entre pulsos, duração e frequência mínima mais se diferenciaram entre as categorias. A comparação entre as baías mostrou que os parâmetros frequência de pico e frequência mínima dos sons pulsantes produzidos na baía de Guanabara foram significativamente menores do que nas outras baías. Esses resultados sugerem que as quatro categorias de sons pulsantes descritas podem estar relacionadas a diferentes funções que esse tipo de som desempenha na comunicação da espécie. Os parâmetros mais importantes na separação das categorias são distintos dos que geram a variação intraespecífica desse som. Enquanto os parâmetros de tempo são

fundamentais na separação das categorias estruturais dos sons pulsantes, os parâmetros de frequência descrevem as variações intraespecíficas desses sons.

Palavras-chave: *Sotalia guianensis*. Som pulsante. Variação intraespecífica

## ABSTRACT

ALVES, Mariana Barbosa Ferreira. *Burst pulses produced by Guiana dolphins (Sotalia guianensis) in Rio de Janeiro's coast: characterization and intraspecific variation*. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

Most species of the Delphinidae family produce two types of sounds: pulsed sounds, divided into echolocation clicks and burst pulsed sounds, and whistles. Burst pulsed sounds are used in the social communication between individuals, but their specific functions and their spectral structure have been little studied. The Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) is a species of the Delphinidae family and occurs on the coast of Rio de Janeiro year-round. This work aimed to characterize the acoustic parameters of the burst pulsed sounds emitted by *Sotalia guianensis*, as well as their intraspecific variations, in Guanabara, Sepetiba and Ilha Grande bays, in Rio de Janeiro's coast. The recording system used consisted of a Fostex digital recorder (sampling rate of 192 kHz) and a hydrophone C54XRS (-165 dBV, 0.006 to 203 kHz). All the burst pulsed sounds present in the recordings were counted in Raven Pro 1.5 Software so that the emission rate (number of burst pulsed sounds / individuals / minute) of that sound could be calculated. Each recording was filtered with a Butterworth Highpass filter of 1 kHz in Adobe Audition 1.5 Software. Five acoustic parameters were extracted from all the burst pulsed sounds considered of good quality: number of pulses, interpulse interval (ms), duration (ms), peak frequency (kHz) and minimum frequency (kHz). The first four were extracted automatically through the SoundRuler Software while the latter was manually measured in Raven Pro 1.5. In addition, each pulsed sound analyzed was visually classified into four distinct categories based on their apparent spectral structure. Statistical analysis included Kruskal-Wallis tests to investigate the differences in the five acoustic parameters of the burst pulsed sounds between the three bays. In addition, two discriminant functions were performed to analyze the separation of the burst pulsed sounds in different bays and categories based on their parameters. In total, 255 burst pulsed sounds were analyzed, 74 in Guanabara Bay, 79 in Sepetiba and 102 in Ilha Grande. It was observed that 67% of the analyzed sounds were correctly classified into the four categories and the parameters: interval between pulses, duration and minimum frequency were more different between the categories. The comparison between bays showed that the parameters peak frequency and minimum frequency of the burst pulsed sounds produced in Guanabara bay were significantly lower than in the other bays. These results suggest the four categories of burst pulsed sounds described may be related to different functions that this type of sound plays in the communication of this species. The most important parameters for the separation of the categories are different from those that generate the intraspecific variation of this sound. While time parameters are fundamental in separating the structural categories of the burst pulsed sounds, the frequency parameters describe the intraspecific variations of these sounds.

Keywords: *Sotalia guianensis*. Burst pulse. Intraspecific variation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oscilograma (tempo por amplitude) de um pulso com os nove pontos utilizados para delinear-lo.....	29
Figura 2 – Exemplo de detecção dos pulsos dentro de um som pulsante no software SounRuler, onde são extraídos os seus parâmetros de frequência e tempo automaticamente.....	30
Figura 3 – Espectrogramas representando as categorias 1, 2, 3 e 4.....	32
Figura 4 – Mapa representando os pontos de gravação de grupos de botoscinza nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....	36
Figura 5 – Histogramas com a distribuição do total de sons pulsantes (N=255) em todas as baías.....	39
Figura 6 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=74) na Baía de Guanabara.....	40
Figura 7 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=79) na Baía de Sepetiba.....	41
Figura 8 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=102) na Baía de Ilha Grande.....	42
Figura 9 – Distribuição das amostras das quatro categorias de sons pulsantes com relação as funções discriminantes 1 e 2.....	46
Figura 10 – Distribuição dos centroides das quatro categorias de sons pulsantes em relação as funções discriminantes 1 e 2.....	47
Figura 11 – Box-plots com a distribuição das amostras de cada categoria de sons pulsantes.....	48
Figura 12 – Box-plots com a distribuição dos sons pulsantes nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....	50
Figura 13 – Distribuição dos sons pulsantes das baías de Guanabara Sepetiba e Ilha Grande com relação as funções discriminantes 1 e 2.....	52

Figura 14 – Distribuição dos centroides dos sons pulsantes da baía de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande em relação as funções discriminantes 1 e 2.....	53
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Amostragem total realizada em cada em cada baía, incluindo a variação dos tamanhos de grupo, composição de grupo, estados comportamentais, geometria espacial, número de sessões de gravação e tempo de gravação amostrado em cada baía.....	37
Tabela 2 –	Valores de média, desvio padrão, mediana e mínimo e máximo das cinco variáveis extraídas dos sons pulsantes analisados.....	38
Tabela 3 –	Valores de média, desvio padrão, mediana e mínimo e máximo das categorias de sons pulsantes analisados em todas as baías.....	43
Tabela 4 –	Valores dos <i>factor loadings</i> de cada variável para cada um dos três fatores gerados pela análise de componentes principais.....	44
Tabela 5 –	Valores dos coeficientes estandardizados e da estrutura de fatores dos três fatores com relação a cada uma das duas funções discriminantes.....	45
Tabela 6 –	Valores dos coeficientes estandardizados e da estrutura de fatores dos três fatores com relação à função discriminante.....	51
Tabela 7 –	Valores de média e desvio padrão dos parâmetros de sons pulsantes emitidos por outras espécies de odontocetos.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ICI	Intervalo entre Pulsos
BG	Baía de Guanabara
APA	Área de Proteção Ambiental
SEP	Baía de Sepetiba
BIG	Baía de Ilha Grande
PCA	Análise de Componentes Principais

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1</b>	<b>EMISSÕES SONORAS DE DELFINÍDEOS.....</b>	<b>15</b>
1.1	<b>Variações intraespecíficas dos sinais acústicos de delphinídeos.....</b>	<b>19</b>
1.2	<b>Espécie estudada.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1	<b>Área de estudo.....</b>	<b>24</b>
3.2	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>26</b>
3.3	<b>Análise de dados.....</b>	<b>27</b>
3.4	<b>Análise estatística.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
4.1	<b>Separação dos sons pulsantes em categorias.....</b>	<b>44</b>
4.2	<b>Varição intraespecífica dos sons pulsantes.....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## INTRODUÇÃO

A ordem Cetartiodactyla reúne os cetáceos atuais em dois grupos: Odontoceti e Mysticeti. Os misticetos são conhecidos como as “baleias verdadeiras” que possuem barbatanas e os odontocetos como baleias dentadas (RICE, 2002). O ambiente aquático habitado por eles favorece o uso do som como método mais eficaz de comunicação e percepção do ambiente. Como o som viaja mais rapidamente na água (entre 1450 e 1550m/s) do que no ar (aproximadamente 340m/s) e a propagação da luz é limitada às baixas profundidades nesses ambientes, a audição evoluiu nesses grupos como o sentido mais adaptado em detrimento da visão (AU; HASTINGS, 2009). A família Delphinidae, dentro de Odontoceti, é a maior família de cetáceos da atualidade e utiliza o som como principal forma de comunicação, forrageio e navegação (BERTA; SUMICH; KOVACS, 2015). As espécies dessa família produzem duas categorias de sinais acústicos: os assobios e os sons pulsados, que são divididos em cliques de ecolocalização e sons pulsantes (AU; HASTINGS, 2009).

Dentro da família Delphinidae se encontra a espécie *Sotalia guianensis*, conhecida como boto-cinza. O boto-cinza habita zonas marinhas costeiras do oceano Atlântico, principalmente baías e estuários, e possui uma distribuição contínua que se estende desde Santa Catarina até Honduras (DA SILVA et al., 2010). Ao contrário dos assobios que são amplamente caracterizados ao longo da área de distribuição da espécie (ANDRADE et al., 2014, 2015; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; LEÃO; MONTEIRO-FILHO; SILVA, 2016; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006), os cliques de ecolocalização e os sons pulsantes foram pouco estudados dentro do repertório do boto-cinza (ANDRADE et al., 2017; KAMMINGA et al., 1993). O único estudo que caracterizou objetivamente os parâmetros de frequência e tempo dos sons pulsantes do boto-cinza foi o de Andrade et al. (2017), realizado na baía de Guanabara, mostrando que existe uma grande variação nos parâmetros desses sinais. Visto que esses sons são amplamente encontrados no repertório acústico do boto-cinza, o estudo da variação intraespecífica e da caracterização de seus parâmetros é de extrema importância para expandir o conhecimento sobre diferentes populações e compreender suas funções na comunicação da espécie.

## 1 EMISSÕES SONORAS DE DELFINÍDEOS

Os dois tipos de emissões sonoras produzidas por delfinídeos, assobios e sons pulsados, possuem funções e estruturas espectrais distintas. Os assobios são produzidos por todas as espécies de delfinídeos exceto as do gênero *Cephalorhynchus* (MORISAKA; CONNOR, 2007). Eles são sons tonais de banda estreita e frequência modulada e podem possuir harmônicos, geralmente com o dobro de sua frequência fundamental. Esses sinais geralmente são emitidos em frequências fundamentais menores que 40 kHz, mas que variam de acordo com a espécie (MAY-COLLADO; AGNARSSON; WARTZOK, 2007; OSWALD; RANKIN; BARLOW, 2004).

Esses sinais acústicos são utilizados na comunicação social de grupos de delfinídeos e suas funções incluem coordenação e coesão do grupo, comunicação entre mãe e filhote e identificação individual (ACEVEDO-GUTIÉRREZ; STIENESSEN, 2004; JANIK, 2000; JANIK; SLATER, 1998; KING; JANIK, 2015). Sabe-se que esses sinais podem variar de acordo com o tamanho corporal, comportamento, composição do grupo, distribuição geográfica e ruído subaquático (DÍAZ LÓPEZ, 2011; HAWKINS; GARTSIDE, 2010; LA MANNA et al., 2017; MAY-COLLADO, 2013; MAY-COLLADO; AGNARSSON; WARTZOK, 2007; MORISAKA et al., 2005; PAPALE et al., 2013; VAN GINKEL et al., 2017).

Na maioria das espécies, os sons pulsados são formados por pulsos de curta duração e banda larga, podendo chegar a mais de 130 kHz de frequência de pico (AU, 1993). Eles podem ser divididos em duas categorias: os cliques de ecolocalização e os sons pulsantes. Apesar desses dois tipos de sinal possuírem semelhanças estruturais, suas funções são distintas. Os cliques de ecolocalização são utilizados na ecolocalização dos odontocetos que é fundamental para a navegação, localização e captura de presas (AU, 1993). Já os sons pulsantes são normalmente utilizados em contextos sociais, mas podem ter uma função na ecolocalização (ARRANZ et al., 2016; DAWSON, 1991; MADSEN, 2005; SØRENSEN et al., 2018; WEIR et al., 2007).

A ecolocalização é uma adaptação utilizada por todas as famílias de odontocetos (BERTA; SUMICH; KOVACS, 2015). O processo ocorre a partir da emissão de pulsos, os cliques de ecolocalização, e da interpretação de seus ecos,

permitindo que o animal obtenha informações do alvo como distância do emissor, forma e tamanho (AU, 1993). Os intervalos entre os cliques emitidos na ecolocalização seguem o tempo de ida e volta do clique (*two way travel time* em inglês) que varia de acordo com a distância do alvo. Normalmente, a emissão do próximo pulso só acontece quando o eco do anterior volta para o emissor (AU, 1993). Além disso, seria necessário um tempo mínimo para a interpretação do eco recebido pelo indivíduo, denominada tempo de atraso (*lag time* em inglês). Estima-se que o tempo de atraso seja em torno de 30 a 45 ms para a espécie *Tursiops truncatus* (AU, 1993).

Já foi observado que os cliques de ecolocalização podem variar de acordo com a espécie (YAMAMOTO et al., 2015), tamanho da presa do animal (BARRETT-LENNARD; FORD; HEISE, 1996), morfologia e tamanho cranial (SOLDEVILLA et al., 2008).

Os sons pulsantes também são formados por pulsos de banda larga e chegam a altas frequências, porém os mesmos são produzidos com uma alta taxa de repetição, gerando intervalos entre pulsos muito menores do que as sequências de cliques de ecolocalização (AU, 1993). Lammers et al. (2003) definiu a separação desses dois tipos de sinais a partir da duração média do intervalo entre os pulsos. Intervalos menores ou iguais a 10 ms caracterizam um som pulsante e intervalos maiores caracterizam uma sequência de cliques de ecolocalização. Essa definição foi formulada com base em duas espécies, o golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) e o golfinho-rotador (*Stenella longirostris*), mas é amplamente utilizada para outras espécies de delfínidos.

Ao contrário dos cliques de ecolocalização e, principalmente dos assobios, sons pulsantes não foram tão amplamente estudados. Por muito tempo, as descrições desses sons foram puramente qualitativas, baseando-se na distinção visual e auditiva desses sinais. Este método de análise gerou uma série de classificações e nomenclaturas subjetivas como “squeaks”, “squawks”, “barks”, “screams” (CORKERON; VAN PARIJS, 2001; HERZING, 2015; HERZING, 1996; VAN PARIJS; CORKERON, 2001). O principal problema desse tipo de classificação é que ela está sujeita às diferentes percepções de cada observador e as características estruturais dos sons pulsantes aumentam a probabilidade de descrições equivocadas. O pequeno intervalo entre pulsos (ICI) dentro desses sinais pode fazer com que esses sons tenham o aspecto de um sinal tonal composto por

harmônicos, onde quanto menor o ICI maior a separação entre as “bandas harmônicas” (WATKINS, 1968; WEIR et al., 2007). Além disso, muitos desses sinais têm pouca ou nenhuma energia abaixo de 20 kHz (LAMMERS; AU; HERZING, 2003), se tornando não audíveis para o ser humano (AU; HASTINGS, 2009). Essas duas características podem mascarar a real estrutura espectral desses sinais, dificultando a sua classificação subjetiva baseada em aspectos visuais e audíveis. Dessa forma, caracterizações quantitativas desses sons são extremamente importantes para entender a sua estrutura e suas funções na comunicação desses animais. Alguns estudos já realizaram esse tipo de caracterização (ANDRADE et al., 2017; LUÍS; COUCHINHO; DOS SANTOS, 2016; MARTIN et al., 2018; RANKIN et al., 2007, 2015), mas uma análise mais ampla incluindo diferentes espécies, populações e comportamentos ainda é necessária para entender a estrutura e função desses sinais.

Luís et al. (2016) analisou quantitativamente os sons pulsados emitidos por golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) e os separou em categorias estruturalmente diferentes, baseado nos parâmetros acústicos dos sons. Esse tipo de análise é importante para determinar e caracterizar de forma mais objetiva diferentes categorias de sons pulsantes que podem ter funções distintas na comunicação dos animais.

As funções dos sons pulsantes ainda não foram completamente elucidadas, mas observou-se que a sua emissão está relacionada a diversos contextos sociais. Dawson (1991) foi a primeira a descrever os sons pulsantes como única forma de comunicação social da espécie golfinho-de-hector (*Cephalorhynchus hectori*), já que a mesma não produz assobios para manter seus grupos sociais. E assim como essa, muitas outras espécies de odontocetos que não produzem assobios tiveram seus sons pulsantes relacionados a contextos sociais como a cachalote (*Physeter macrocephalus*), toninha-comum (*Phocoena phocoena*) e golfinho-de-heaviside (*Cephalorhynchus heavisidii*) (MARTIN et al., 2018; SØRENSEN et al., 2018; WEIR et al., 2007).

Funções mais específicas desse sinal já foram descritas para algumas espécies. A produção de sons pulsantes foi relacionada a comportamentos agonísticos entre indivíduos nas espécies golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) e golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) (BLOMQUIST; AMUNDIN, 2004; HERZING, 2015; OVERSTROM, 1983). PERRTREE et al., 2016

também observou que sons pulsantes foram emitidos durante comportamentos agressivos a um neonato em uma possível tentativa de infanticídio em um grupo de *Tursiops truncatus*. Além de sua função em situações agressivas, Herzing (1996) encontrou uma relação entre um tipo de som pulsante e comportamentos de acasalamento e corte em grupos de *Stenella frontalis*.

Esses sinais podem ser emitidos em sequência, possivelmente junto a outros tipos de sons, durante comportamentos de alimentação, conhecido como *bray calls* (JANIK, 2000; KING; JANIK, 2015). Além disso, estudos em cativeiro relacionaram a emissão de um tipo de som pulsante, chamado pelos autores de *victory squeal*, à uma expressão emocional do indivíduo quando uma tarefa era realizada com sucesso (DIBBLE et al., 2016; RIDGWAY et al., 2015; RIDGWAY et al., 2014).

Sequências com padrões de repetição de sons pulsantes estereotipados foram encontrados nas espécies golfinho-liso-do-norte (*Lissodelphis borealis*) e golfinho-cabeça-de-melão (*Peponocephala electra*) (KAPLAN et al., 2014; RANKIN et al., 2007). A função desses padrões ainda precisa ser analisada, mas especula-se que eles podem ser indivíduo ou grupo específicos ou estarem relacionados a um contexto social distinto (KAPLAN et al., 2014; RANKIN et al., 2007). Já nas espécies baleia-bicuda-de-blainville (*Mesoplodon densirostris*) e golfinho-de-risso (*Grampus griséus*) foi observado que os sons pulsantes podem ser utilizados na coordenação dos movimentos do grupo e para manter a coesão do mesmo (JENSEN et al., 2011; NEVES, 2012).

Os sons pulsantes também têm uma função na ecolocalização, conhecidos mais especificamente como *foraging buzzes* que são produzidos por odontocetos no momento da captura da presa (ARRANZ et al., 2016; DERUITER et al., 2009; MADSEN, 2005; MADSEN; SURLYKKE, 2013; WISNIEWSKA et al., 2014). Sua produção acontece quando o animal está a aproximadamente um corpo de distância do alvo e acredita-se que isso aumentaria a resolução das informações de localização da presa na hora da captura (MADSEN, 2005; MADSEN; SURLYKKE, 2013). Esses sinais possuem um ICI em torno de 10 ms como os sons pulsantes emitidos em contextos sociais e são produzidos após uma sequência de cliques (ARRANZ et al., 2016; MADSEN, 2005).

## 1.1 Variações intraespecíficas dos sinais acústicos de delfínídeos

Variações intraespecíficas do repertório acústico de delfínídeos podem refletir adaptações dos animais as condições ecológicas locais e ao grau de isolamento das populações (FOOTE; OSBORNE; HOELZEL, 2004; FORD, 2002; LESAGE et al., 1999). Hábitats com características ambientais distintas como salinidade, temperatura, profundidade e turbidez que influenciam na propagação dos sinais acústicos, podem causar variações nos parâmetros de frequência e tempo dos sinais (AMORIM et al., 2016). Outro fator importante atualmente devido ao alto tráfego de embarcações são os níveis de ruído antropogênico no ambiente (ANDREW; HOWE; MERCER, 2011; BITTENCOURT et al., 2014; MCDONALD; HILDEBRAND; WIGGINS, 2006). O ruído antropogênico pode ser um fator importante para influenciar a variação dos sinais, já que ele pode gerar o mascaramento dos mesmos. Dessa forma, para garantir a eficiência da comunicação, os animais podem alterar a emissão de seus sinais acústicos como aumentar a sua taxa de emissão, aumentar a amplitude, ou até mesmo modificar os valores de seus parâmetros de frequência (BITTENCOURT et al., 2016; FOOTE; OSBORNE; HOELZEL, 2004; LESAGE et al., 1999; MORISAKA et al., 2005; TYACK, 2008).

O isolamento das populações tende a gerar divergências genéticas e sociais entre elas (FORD, 2002). Esse isolamento pode causar mudanças no tamanho corporal e morfologia do crânio, por exemplo, que podem influenciar os valores de frequência ou outros parâmetros dos sinais emitidos (SOLDEVILLA et al., 2008). Além disso, diferentes estruturas sociais que podem surgir nas populações também podem influenciar na variação dos sons (FORD, 1991, 2002; WEILGART; WHITEHEAD, 1997).

No estado do Rio de Janeiro existem três baías adjacentes que abrigam populações de botos-cinza: as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande. Estudos anteriores evidenciaram divergências entre essas populações com relação a vários aspectos, indicando que existe um grau de isolamento entre esses animais. Esses aspectos incluem variações nos padrões de acumulação de contaminantes (LAILSON-BRITO et al., 2010), relações tróficas (BISI et al., 2012), parâmetros acústicos dos assobios (ANDRADE et al., 2014; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005) e

diferenças genéticas (SANTOS, 2015). A comparação do repertório de sons pulsantes produzidos por essas diferentes populações ainda não foi realizada e uma possível variação desses sons pode reforçar a ideia de isolamento entre as populações das três baías.

## 1.2 Espécie estudada

Atualmente o gênero *Sotalia* reuni duas espécies distintas: *Sotalia guianensis*, que ocorre em áreas costeiras e *Sotalia fluviatilis*, que habita áreas fluviais na Amazônia (DA SILVA et al., 2010). No entanto, as duas já foram consideradas a mesma espécie (*Sotalia fluviatilis*) com dois ecotipos, um marinho e um fluvial (DA SILVA; BEST, 1996). Diferenças na forma dos crânios e análises genéticas de indivíduos que habitavam a costa brasileira e que habitavam a bacia amazônica foram consideradas evidências suficientes para que houvesse a separação dos mesmos em duas espécies distintas (CABALLERO et al., 2007; CUNHA et al., 2005; MONTEIRO-FILHO et al., 2002).

A espécie *Sotalia guianensis* pode ser diagnosticada pela presença de uma nadadeira dorsal triangular e centralizada em relação ao comprimento do animal, coloração da região dorsal cinza escuro e região ventral entre rosa e cinza claro (DA SILVA; BEST, 1996). A idade máxima já estimada para um indivíduo da espécie foi 33 anos de idade (LIMA et al., 2017), apesar de outros estudos terem encontrado valores menores, entre 29 e 30 anos (DI BENEDITTO; RAMOS, 2004; RAMOS; DI BENEDITTO; WILLE LIMA, 2000; ROSAS; BARRETO; MONTEIRO-FILHO, 2003; SANTOS et al., 2003). Esses animais também podem chegar a um comprimento total máximo de aproximadamente 200 cm e um peso de 121 Kg (DI BENEDITTO; RAMOS, 2004; ROSAS; MONTEIRO-FILHO, 2002).

O boto-cinza habita zonas marinhas costeiras do oceano Atlântico, principalmente baías e estuários, e possui uma distribuição contínua que se estende desde Santa Catarina (27°35'S; 48°34'W) até Honduras (14°00'N; 83°20'W) (DA SILVA et al., 2010). Preferencialmente, esses animais habitam áreas entre 5 e 15 metros de profundidade e até 5km da costa, apesar de já ter sido reportada a

utilização de áreas até 70km da costa, em Abrolhos (AZEVEDO et al., 2007; ROSSI-SANTOS; WEDEKIN; MONTEIRO-FILHO, 2007).

Diversos estudos mostram que essa espécie costuma ter um alto grau de fidelidade de sítio em diferentes regiões (AZEVEDO et al., 2004; ESPÉCIE; TARDIN; SIMÃO, 2010; NERY; ESPÉCIE; SIMÃO, 2008; ROSSI-SANTOS; WEDEKIN; MONTEIRO-FILHO, 2007). Isso pode ser um dos fatores responsáveis pelas diferenças genéticas, morfológicas, comportamentais, nas emissões sonoras e nas concentrações de contaminantes existentes entre diferentes populações da espécie e que podem auxiliar na separação das mesmas (ANDRADE et al., 2014; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; CUNHA et al., 2005; LAILSON-BRITO et al., 2010; RAMOS et al., 2010; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006).

Geralmente os grupos de *Sotalia guianensis* possuem um tamanho médio de até 29 indivíduos, dependendo da população em questão (AZEVEDO et al., 2005; DAURA-JORGE et al., 2005). Apesar da preferência por grupos pequenos, agregações com mais de 400 indivíduos podem ser encontradas para essa espécie, como as encontradas na Baía de Ilha Grande (FLACH; FLACH; CHIARELLO, 2008; LODI; HELTZEL, 1998). A composição dos grupos é normalmente formada por adultos, juvenis e filhotes (AZEVEDO et al., 2005; SANTOS; ROSSO, 2007; SANTOS et al., 2010). Além disso, a estrutura social da espécie é caracterizada pelo seu alto grau de dinamismo e pela baixa ocorrência de associações estáveis entre os indivíduos das populações (BEIRÃO-CAMPOS et al., 2016; SANTOS; ROSSO, 2008).

Já o comportamento acústico do boto-cinza engloba a emissão de três tipos de sinais sonoros comuns à maioria dos delfinídeos: os assobios, sons pulsantes e cliques de ecolocalização. Dentre os sinais sonoros produzidos pelo boto-cinza, os assobios são os mais bem estudados e foram caracterizados em diversas regiões (AZEVEDO; SIMÃO, 2002; MAY-COLLADO, 2013; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009). A maioria dos assobios produzidos por *S. guianensis* possui um contorno do tipo ascendente, caracterizado por um aumento da frequência ao longo do tempo sem pontos de inflexão (ANDRADE et al., 2014; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009). A frequência máxima alcançada por esse sinal foi de 66,7 kHz na Baía de Guanabara (RJ) (ANDRADE et al., 2014), um valor maior

que o normalmente encontrado na maioria dos delfinídeos. Além disso, alguns estudos encontraram variações intraespecíficas nos parâmetros acústicos de assobios emitidos por populações diferentes e em comportamentos distintos (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO, 2013; ANDRADE et al., 2014). Já os sons pulsantes e cliques de ecolocalização foram pouco estudados na espécie e poucos trabalhos os caracterizaram (ANDRADE et al., 2017; KAMMINGA et al., 1993).

A espécie *Sotalia guianensis* é classificada na *IUCN Red List* como “quase ameaçada”. Porém, desde 2014, é considerada uma espécie vulnerável no Brasil segundo o Ministério do Meio Ambiente. Isso se deve em grande parte a ocorrência costeira do boto-cinza ao longo da sua distribuição geográfica, o que deixa essa espécie vulnerável a diversas ameaças antrópicas que tendem a se concentrar nessas regiões, se sobrepondo a área de ocorrência dos botos-cinza. As principais ameaças a essa espécie incluem a poluição química, gerando contaminantes que podem bioacumular nos tecidos dos indivíduos (DORNELES et al., 2008, 2013), o intenso tráfego de embarcações, que podem mascarar os sinais desses animais (BITTENCOURT et al., 2016) e a atividade pesqueira, que pode causar capturas acidentais e competição por recursos alimentares (AZEVEDO et al., 2009).

## 2 OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Determinar os parâmetros acústicos dos sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis* em três baías da costa do Rio de Janeiro, a Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande.

### Objetivos específicos

- Classificar os sons pulsantes produzidos por *Sotalia guianensis* nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande em diferentes categorias baseado em seus parâmetros acústicos de tempo e de frequência.
- Comparar e descrever as variações nos parâmetros acústicos dos sons pulsantes emitidos pelos botos-cinza presentes nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.
- Quantificar a razão de emissão dos sons pulsantes nas três áreas de estudo.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A Baía de Guanabara (22°50'S, 43°10'W) está localizada na costa do Rio de Janeiro a 105 km da Baía de Sepetiba (23°00'S, 43°54'W) e a 138 km da Baía de Ilha Grande (23°05'S, 44°34'W). Sua área total é de 384 km<sup>2</sup> com profundidade média de 5,7 m e máxima de 58 m na entrada da baía (KJERFVE et al., 1997). Existem três grandes áreas na baía com processos distintos de sedimentação que refletem a influência marinha e das marés na região. A entrada da baía é caracterizada por um sedimento de fundo arenoso, o canal central seria uma zona de transição com o sedimento de fundo composto por areia e lama e o fundo da baía possui lama como sedimento de fundo (CATANZARO et al., 2004).

Localizada na região metropolitana do Rio de Janeiro, a Baía de Guanabara (BG) é uma das baías mais poluídas da costa do Brasil e recebe esgoto químico, proveniente de indústrias da região além de esgoto doméstico não tratado (KJERFVE et al., 1997). O tráfego de embarcações é muito intenso nessa área que possui um dos maiores portos do Brasil, gerando altos níveis de ruído subaquático (BITTENCOURT et al., 2014). A baía possui uma área de proteção ambiental, a APA de Guapimirim, que está localizada na região nordeste da mesma.

A população de botos-cinza da Baía de Guanabara é considerada residente e vem sofrendo diversas pressões antrópicas como altos níveis de ruído subaquático, intenso tráfego de embarcações, conflitos com a pesca e contaminação (AZEVEDO et al., 2004; AZEVEDO et al., 2009; BITTENCOURT et al., 2014; LAILSON-BRITO et al., 2010). Na década de 80 estimou-se que essa população tinha aproximadamente 400 indivíduos (GEISE, 1991). Porém, ela sofreu uma redução no seu tamanho populacional, chegando a menos de 40 indivíduos como foi reportado por AZEVEDO et al., 2017.

A Baía de Sepetiba (SEP) é uma baía semi-fechada, limitada ao sul pela Restinga da Marambaia e a oeste pela Ilha Grande e com uma área de aproximadamente 305 km<sup>2</sup> (PEREIRA et al., 2016). A maior parte da baía tem menos de 10 metros de profundidade, mas pode chegar a mais de 20 metros em

seu canal de navegação (COPELAND et al., 2003). Essa área pode ser dividida em duas regiões, a interna e externa, que são delimitadas pela Ilha de Jaguanum e estão sob diferentes condições ambientais. A parte externa é caracterizada por uma maior influência do Oceano Atlântico e a interna pela entrada de água de diversos rios que deságuam na baía (PESSANHA; ARAÚJO, 2003). O sedimento de fundo nessa região também é resultado dessas diferentes condições ambientais, onde na entrada da baía o sedimento é predominantemente arenoso, enquanto na parte interna é lamoso (PEREIRA et al., 2016).

Essa baía também é considerada altamente impactada, principalmente pela atividade de mais 400 indústrias estabelecidas na região, acumulando poluentes inorgânicos na baía (MOLISANI et al., 2004). Além disso, o tráfego de embarcações nessa área é intenso devido aos portos existentes na região e que estão principalmente relacionados a indústria do petróleo.

A população de botos-cinza na baía de Sepetiba pode ser encontrada o ano inteiro e é considerada uma das maiores dentro da área de distribuição da espécie, estimada em aproximadamente 1.200 indivíduos (FLACH; FLACH; CHIARELLO, 2008). Agregações de indivíduos com mais de 400 animais são comuns na Baía de Sepetiba (DIAS; HERZING; FLACH, 2009), ao contrário do que ocorre na maioria das outras populações de botos-cinza onde os grupos geralmente chegam a 15 indivíduos (DA SILVA et al., 2010). Os golfinhos ocupam as partes interna e externa da baía, mas se concentram na sua parte externa (DIAS; HERZING; FLACH, 2009). Devido a seu tamanho, a população da baía de Sepetiba pode ser considerada um importante foco para a conservação da espécie, principalmente devido aos grandes impactos ambientais que a baía vem sofrendo.

A Baía de Ilha Grande (BIG) se encontra a aproximadamente 30 Km da Baía de Sepetiba e possui uma extensão de 350 km (CREED; PIRES; FIGUEIREDO, 2007). A sua profundidade média na parte oeste, em direção a Paraty, é superior a 20 metros e chega a menos de 10 metros em regiões próximas à costa, em baías e enseadas. Porém a profundidade pode alcançar um máximo de 55 metros no seu canal central, entre a Ilha Grande e o continente (BELO; DIAS; DIAS, 2002). A maior parte do sedimento da parte oeste até o final do canal central da baía é composto por areia muito fina e lama dentro das enseadas (BELO; DIAS; DIAS, 2002).

Apesar da existência de diversas unidades de conservação na região, a baía está sujeita a pressões antrópicas (CREED; PIRES; FIGUEIREDO, 2007). Um

estudo realizado por CREED; PIRES; FIGUEIREDO, 2007 analisou os impactos ambientais na Baía de Ilha Grande. A maioria dos valores calculados no índice de impacto ambiental ainda podem ser caracterizados como baixos ou intermediários, mas essa baía ainda está sujeita a diversas pressões antrópicas. Essas pressões causadoras de impactos ambientais puderam ser divididas em três grupos principais: urbanização e desmatamento, atividades industriais e turismo.

Os botos-cinza utilizam a área da Baía de Ilha Grande regularmente e foi estimado que o tamanho populacional na região seria de aproximadamente 1.300 indivíduos (ESPÉCIE, 2011). Foi observado um baixo grau de residência dos indivíduos na região apesar dos animais utilizarem a área da baía regularmente (ESPÉCIE; TARDIN; 2010). Agregações com mais de 400 indivíduos foram reportadas para a região assim como na baía de Sepetiba (LODI; HELTZEL, 1998). Essas informações indicam a existência de uma população na BIG tão grande quanto em SEP. O número de indivíduos dessa população somada a grande quantidade de unidades de conservação e o grau intermediário de impacto antropogênico na baía pode fazer da Baía de Ilha Grande uma importante área de conservação do boto-cinza tanto local quanto globalmente.

### **3.2 Coleta de dados**

A coleta de dados acústicos ocorreu entre os meses de janeiro de 2017 e agosto de 2018 na baía de Ilha Grande, entre julho de 2017 e agosto de 2018 na baía de Sepetiba e entre fevereiro de 2016 e maio de 2018 na Baía de Guanabara. O monitoramento das áreas de estudo foi realizado em embarcações de 5,5 e 7m de comprimento com motor de popa e transectos aleatórios foram percorridos em zigue zague até que um grupo de botos-cinza fosse encontrado. Essa metodologia permitiu que o monitoramento fosse uniforme dentro de cada baía, aumentando o número de diferentes grupos de golfinhos gravados e evitando a sobreamostragem de alguns grupos (AZEVEDO, 2009). A definição de grupo utilizada foi a mesma estabelecida por (AZEVEDO et al., 2005), na qual um grupo é caracterizado por um ou mais indivíduos em associação e separados por no máximo 30 metros.

Para garantir que a presença da embarcação não tivesse influência no comportamento acústico e no comportamento observado dos indivíduos, as sessões de gravação de cada grupo tinham início somente após um tempo de habituação de aproximadamente 30 minutos. Além disso, o motor do barco era desligado antes do início das gravações e a coleta só era realizada em condições de tempo favoráveis (*Beaufort*  $\leq 2$ ).

A quantidade de indivíduos, a composição (quantidade de adultos e filhotes), a geometria espacial (coeso, disperso e misto) e o estado comportamental do grupo foram registrados durante todas as sessões da coleta acústica. Caso houvesse qualquer mudança nas características do grupo, iniciava-se uma nova sessão de gravação. A observação do estado comportamental do grupo foi realizada de forma contínua durante cada sessão de gravação (ALTMAN, 1974). Os estados comportamentais observados são considerados comuns para a espécie (AZEVEDO, 2009) e a definição dos mesmos foi descrita por Azevedo (2005):

**Alimentação:** Os indivíduos do grupo se movimentam em direções diferentes de forma não sincronizada e muitas vezes perseguem peixes na superfície.

**Deslocamento:** Movimentação do grupo em uma direção definida. Geralmente os indivíduos deslocam de forma sincronizada.

**Socialização:** Comportamento caracterizado por uma alta atividade dos indivíduos do grupo e um frequente contato físico entre eles.

O sistema de gravação consistiu em um gravador digital modelo Fostex com uma taxa de amostragem de 192 kHz e 24 bits e um hidrofone modelo C54XRS (sensibilidade média de - 165dB re 1V/ $\mu$ Pa e resposta de frequência de 0.006 a 203 kHz), que era posicionado a quatro metros abaixo da coluna d'água. Cada gravação tinha uma duração de aproximadamente três minutos.

### 3.3 Análise de dados

O número total de sons pulsantes em cada gravação foi contado manualmente em um espectrograma gerado pelo *Software Raven 1.5* (*Hanning window*, 50% de *overlap* e tamanho da janela de 1024). Para o cálculo da taxa de emissão de sons pulsantes o total de sons foi dividido pelo tempo da gravação e

pelo número de indivíduos presentes no grupo gravado. Em seguida, cada gravação foi filtrada utilizando um filtro *Butterworth high pass* de 1kHz disponível no *Software Adobe 1.5*. A filtragem dos arquivos foi realizada para diminuir a influência do ruído de baixa frequência encontrados nas gravações e melhorar a extração de parâmetros dos sons pulsantes.

Foram utilizados três critérios na escolha dos sons pulsantes adequados para a extração de parâmetros:

**Primeiro critério:** Alta taxa sinal ruído e pulsos bem definidos.

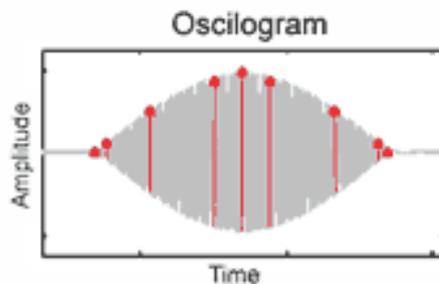
**Segundo critério:** Ausência de pulsos duplos, já que a metodologia de gravação utilizada não permite detectar somente os sinais emitidos *on axis* (LI et al., 2005) e a presença desses pulsos poderia ser um artefato da gravação gerado pela posição do animal emissor.

**Terceiro critério:** Sons pulsantes em que a frequência máxima ultrapassa ou está próxima ao limite de frequência do sistema de gravação (96 kHz). Devido à alta direcionalidade dos sons pulsantes, a distância e o ângulo do emissor podem gerar a perda dos componentes de alta frequência desses sinais (BRANSTETTER et al., 2012). Assim, para evitar a análise de sinais incompletos, já que não foi possível determinar a posição do emissor, o terceiro critério foi utilizado.

A análise dos sinais que atenderam aos três critérios de análise foi realizada no *Software SoundRuler* (GRIDD-PAPP, 2003), um programa gratuito que tem como objetivo principal a análise de sons pulsados. Assim, cada som pulsante previamente visualizado no espectograma gerado pelo programa Raven foi manualmente selecionado a partir da ferramenta de seleção manual existente no *SoundRuler*. Após a seleção manual do sinal o programa *SoundRuler* detecta cada pulso que forma o som pulsante baseado em valores de amplitude utilizando um oscilograma gerado no *software*. O delineamento de cada pulso é realizado a partir da localização de seu pico de amplitude. Em seguida, o algoritmo do programa mede a amplitude em nove pontos a partir de seu pico (100% da amplitude do pulso) em direção aos dois extremos do mesmo. Cada ponto marcado a partir do pico acompanha o decaimento da amplitude ao longo do pulso nos pontos referentes a 90%, 50% e 10% da amplitude total (Figura 1). O delineamento do pulso continua até que seja encontrada uma amplitude de 1% em relação ao pico ou um aumento na amplitude, marcando o término do mesmo. Assim, esse delineamento é o que

permite a extração dos parâmetros de frequência e tempo de todos os pulsos que formam um som pulsante.

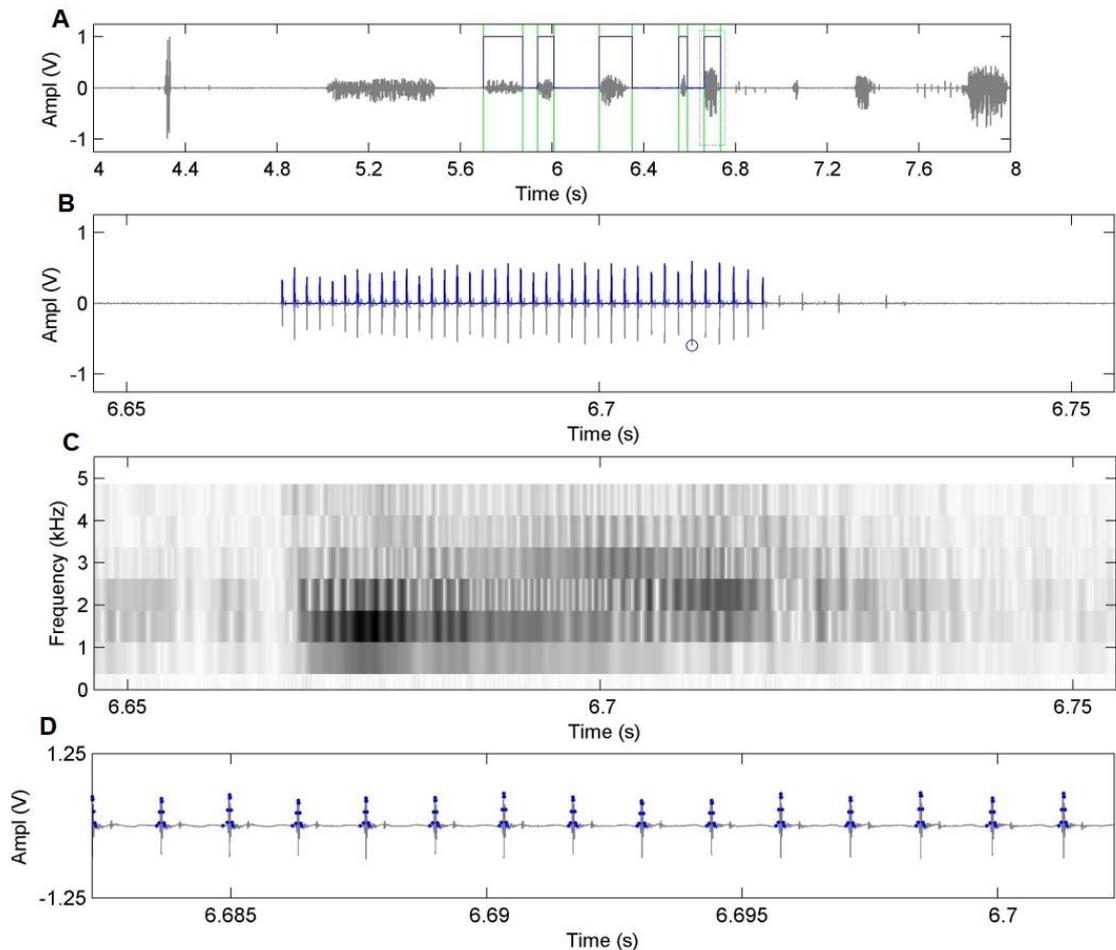
Figura 1 – Oscilograma (tempo por amplitude) de um pulso com os nove pontos utilizados para delineá-lo.



Fonte: GRIDD-PAPP, M. 2003. Disponível em: <http://soundruler.sourceforge.net>.

Além de gerar um oscilograma para a detecção e visualização dos pulsos, o *Software* SoundRuler também gera um espectrograma para o cálculo dos parâmetros de frequência. A configuração do espectrograma utilizado para a análise foi um tamanho de janela de 512, 50% de *overlap* e uma janela tipo *Hanning window*. Apesar do espectrograma somente permitir a visualização até 5 kHz, o cálculo dos parâmetros de frequência inclui todas as bandas até a *Nyquist frequency*, que no caso desse estudo é 96 kHz. Um exemplo dos gráficos gerados pelo SoundRuler e da detecção dos pulsos dentro de um som pulsante são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Exemplo de detecção dos pulsos dentro de um som pulsante no software SounRuler, onde são extraídos os seus parâmetros de frequência e tempo automaticamente.



Nota: A imagem A representa um oscilograma da gravação e mostra a seleção manual de cada som pulsante. A imagem B mostra a detecção de cada pulso do som pulsante baseado na sua amplitude. Já a imagem C mostra um espectrograma até 5 kHz do sinal que está sendo analisado. Enquanto a imagem D é uma visão ampliada de cada pulso analisado e dos nove pontos que delineiam cada um deles.

Fonte: A Autora, 2019

Ao todo, cinco parâmetros acústicos foram extraídos: número de pulsos, intervalo entre pulsos (ms), duração do som pulsante (ms), frequência de pico (kHz) e frequência mínima (kHz). O valor do parâmetro intervalo entre pulsos (ICI) é referente ao intervalo de tempo entre o primeiro ponto delineado do pulso em questão, que marca seu início, e o último ponto do pulso anterior. Já a frequência de pico é definida como valor de frequência que representa a maior amplitude dentro de

cada pulso. Enquanto a frequência mínima representa o valor da menor frequência onde o som pulsante tem energia visível no espectrograma. As quatro primeiras medidas citadas foram calculadas automaticamente através do delimitamento dos pulsos realizado pelo programa SoundRuler. Já a frequência mínima foi medida manualmente a partir da visualização do espectrograma de cada som pulsante no programa Raven 1.5. Como tanto o ICI quanto a frequência de pico foram calculados para cada pulso dentro de um som pulsante, o valor utilizado para representar um som pulsante foi obtido a partir da média dos valores de todos os seus pulsos.

Além da extração de parâmetros, cada som pulsante foi classificado em quatro categorias de acordo com as características da sua imagem espectrográfica. A definição de cada categoria foi obtida através da inspeção visual de diversas gravações de botos-cinza. Assim, as características usadas na definição refletiriam alguns parâmetros de tempo e frequência dos sons pulsantes. O objetivo dessa análise foi avaliar a possibilidade de classificar visualmente os sons pulsantes em categorias como é feito com assobios que podem ser classificados em ascendentes, descendentes, entre outras, de acordo com as características visuais de seu contorno, ou seja, de acordo com a modulação de sua frequência ao longo do tempo (AZEVEDO e VAN SLUYS, 2005). Uma classificação similar foi utilizada por Luís et al. (2016) com sons pulsados da espécie *Tursiops truncatus*, baseando-se em diferentes características visuais dos sons pulsantes.

Cada uma das quatro categorias (Figura 3) foi definida de acordo com características visuais relacionadas principalmente ao intervalo entre pulsos, mas também a frequência mínima e duração. Primeiramente, os sons pulsantes foram divididos em dois grandes grupos, um que continha os sons com alto ICI (pulsos visíveis no espectrograma), representado pelas categorias 1 e 2, e outro com os de baixo ICI (pulsos não eram distinguíveis no espectrograma), representado pelas categorias 3 e 4. Após essa divisão, cada grupo foi subdividido, gerando as quatro categorias descritas a seguir:

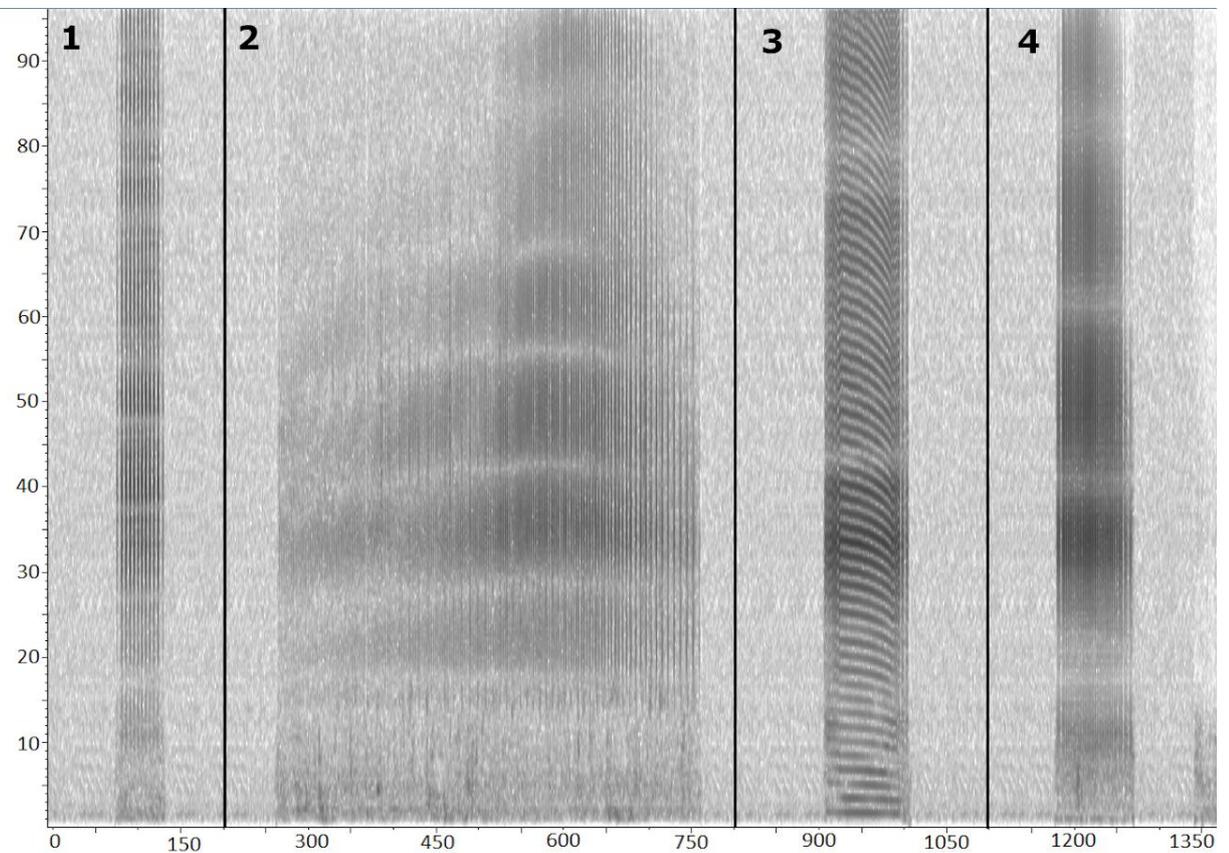
**Categoria 1:** Sons pulsantes com aparente alto valor médio de ICI, entre 2,2 e 5,0 ms (percentil 10 e 90), e curta duração, entre 15 e 135 ms (percentil 10 e 90). Geralmente possuem a frequência mínima abaixo de 20 kHz.

**Categoria 2:** Sons pulsantes com aparente alto valor médio de ICI, entre 2,0 e 6,7 ms (percentil 10 e 90), e longas durações, entre 91 e 518 ms (percentil 10 e 90). Geralmente possuem frequência mínima acima de 20 kHz.

**Categoria 3:** Sons pulsantes com aparente baixo valor médio de ICI, entre 0,4 e 1,1 ms (percentil 10 e 90), e “bandas harmônicas bem separadas”.

**Categoria 4:** Sons pulsantes com aparente baixo valor médio de ICI, entre 0,9 e 2,0 ms (percentil 10 e 90), com “bandas harmônicas” pouco separadas ou indistinguíveis.

Figura 3 – Espectrogramas representando as categorias 1, 2, 3 e 4.



Fonte: A Autora, 2019.

### 3.4 Análise estatística

A estatística descritiva foi feita para todos os cinco parâmetros extraídos dos sons pulsantes, incluindo média, mediana, desvio padrão e valores mínimos e máximos. Além disso, para verificar a normalidade e homocedasticidade dos dados, a distribuição de cada uma das cinco variáveis dependentes foi analisada a partir de gráficos exploratórios, como histogramas e *Box plots*, e do teste de normalidade de Shapiro-Wilk executado no *Software Statistica 7*.

Para investigar a classificação dos sons pulsantes em cada categoria e em cada baía foi realizada uma análise discriminante. De acordo com as análises exploratórias, as variáveis não foram consideradas normais. Para que os pressupostos da análise discriminante, que incluem uma distribuição normal dos dados e homocedasticidade das variâncias, pudessem ser atendidos a análise discriminante utilizou os *factor scores* calculados a partir de uma análise de componentes principais (PCA) como variáveis no lugar dos dados brutos. Assim, uma PCA utilizando uma matriz de correlação foi realizada antes da análise discriminante para que os fatores gerados pudessem ser extraídos. Os *factor scores* de cada fator calculado em uma PCA podem ser utilizados no lugar das variáveis dependentes originais em análises subsequentes para que os pressupostos da análise possam ser cumpridos (QUINN et al., 2002).

Uma das funções da PCA é a redução do número de variáveis a partir do cálculo dos componentes principais (fatores). Cada fator tem uma contribuição diferente para explicar a variação dos dados e essa contribuição decresce sucessivamente com a adição de novos fatores (QUINN et al., 2002). Dessa forma, o número de fatores escolhidos se deu quando a soma de suas contribuições alcançou mais de 80% da explicação da variação dos dados. Em seguida, a correlação entre os fatores calculados e as variáveis originais (*factor loadings*) foram investigados para determinar as variáveis mais correlacionadas com cada fator.

Duas análises discriminantes foram executadas no *Software Statistica 7*, utilizando os fatores selecionados da PCA. A primeira foi realizada para testar a efetividade da classificação dos sons pulsantes nas categorias visuais descritas, analisando se as mesmas refletem os valores dos parâmetros acústicos medidos. Já

a segunda, foi utilizada para investigar se os sons pulsantes analisados podem ser atribuídos a uma baía específica de acordo com seus parâmetros acústicos.

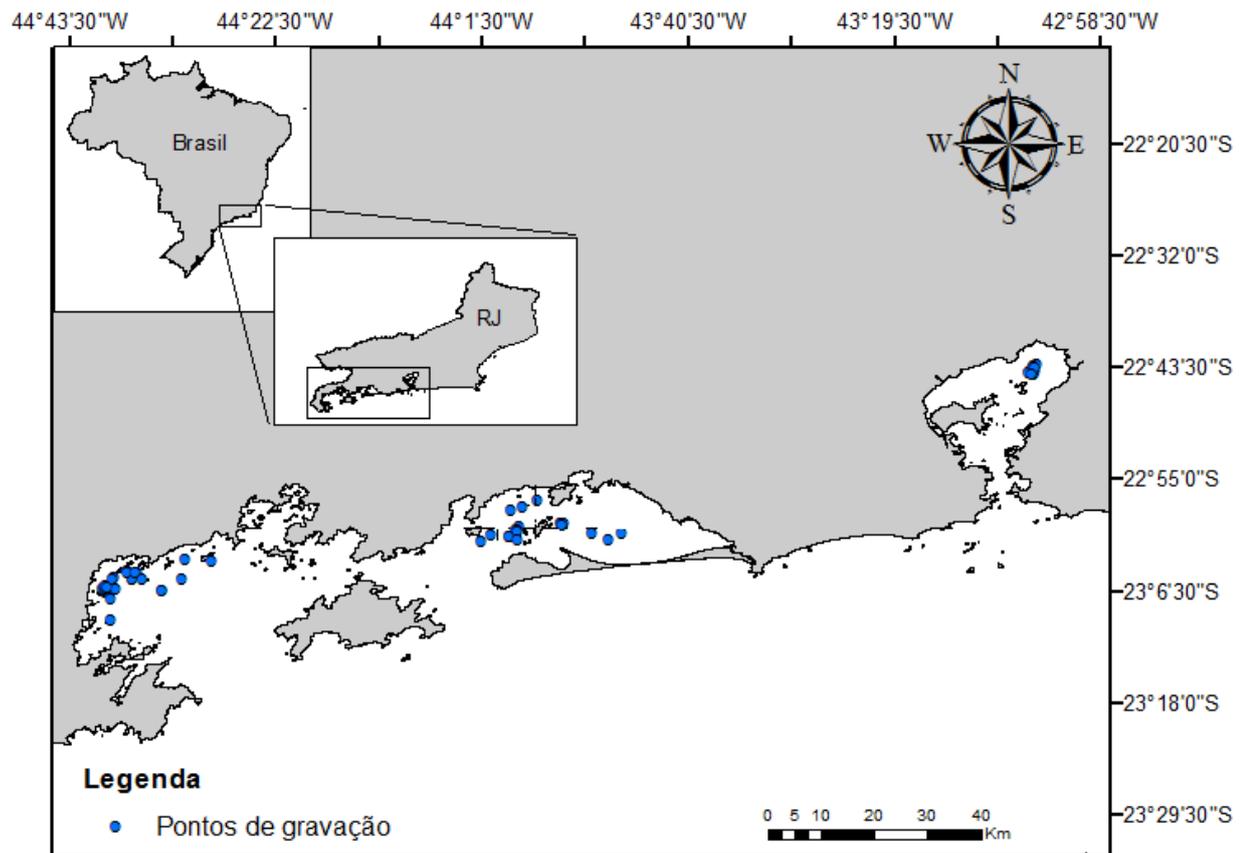
A significância de cada variável e de cada função discriminante gerada nas duas análises discriminantes foi examinada. Somente variáveis e funções discriminantes significativas foram consideradas na interpretação dos resultados. Em seguida, a importância de cada variável para maximizar a variância entre os grupos foi investigada através dos valores dos coeficientes estandardizados (*standardized coefficients*). Além disso, a estrutura de fatores (*factor structure*) também foi observada para avaliar a correlação entre cada variável e cada função discriminante. Nos dois casos quanto maior o valor maior é a contribuição da variável. A classificação das amostras em cada grupo também foi examinada com o objetivo de indicar quais grupos possuem a maior quantidade de amostras classificadas corretamente em cada categoria ou baía.

Como a distribuição das variáveis dependentes não foi considerada normal, para testar a hipótese de que os parâmetros dos sons pulsantes emitidos em cada baía são significativamente distintos, além da análise discriminante, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para cada variável e o teste *a posteriori* de comparações múltiplas ranqueadas no *Software* Statistica 7.

## 4 RESULTADOS

Os pontos de coleta, onde eram encontrados grupos de boto-cinza, se concentraram na região de Tarituba na Baía de Ilha Grande, na área da APA de Guapimirim na Baía de Guanabara e na região da Ilha de Jaguanum na Baía de Sepetiba (Figura 4). A amostragem foi muito similar em todas as baías e todas as categorias de geometria e composição de grupos definidas na metodologia conseguiram ser amostradas (Tabela 1). A porcentagem de sessões de gravação referentes ao comportamento foi diferente em cada baía. Na Baía de Ilha Grande só foram amostrados os comportamentos de alimentação (80% das gravações) e deslocamento (20% das gravações). Já em Sepetiba e na Guanabara os três comportamentos foram amostrados com frequências distintas. Alimentação representou 82,1% das sessões de gravação em Sepetiba e 90,4% na Guanabara, deslocamento caracterizou 13,2% em SEP e 7,7% na BG, enquanto socialização representou 4,7% em SEP e 1,9% na BG. A variação do tamanho dos grupos gravados foi semelhante nas baías de Sepetiba e Ilha Grande. Porém, na BIG 38,5% das sessões de gravação foram referentes a grupos contendo de 7 a 50 indivíduos e 61,5% de grupos entre 70 e 200 indivíduos. Enquanto em SEP 62,2% das sessões de gravação foram realizadas com grupos entre 2 a 50 indivíduos e 37,8% entre 70 a 150. Já na BG os grupos amostrados foram menores, entre 3 e 31 indivíduos, devido ao tamanho populacional reduzido naquela área.

Figura 4 – Mapa representando os pontos de gravação de grupos de botos-cinza nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.



Fonte: A Autora, 2019.

Tabela 1 – Amostragem total realizada em cada em cada baía, incluindo a variação dos tamanhos de grupo, composição de grupo, estados comportamentais, geometria espacial, número de sessões de gravação e tempo de gravação amostrado em cada baía.

Local	Tamanho do grupo	Composição do grupo	Estados comportamentais	Geometria espacial do grupo	Nº de sessões de gravação	Tempo de gravação
BG	3 – 31 16,4 ± 6,1	Adultos e filhotes	Alimentação, deslocamento e socialização	Coeso, disperso, misto	22	7h20min
SEP	2 – 150 55,6 ± 44,6	Adultos e filhotes	Alimentação, deslocamento e socialização	Coeso, disperso, misto	24	5h30min
BIG	7 – 200 86,8 ± 62,6	Adultos e filhotes	Alimentação e deslocamento	Coeso, disperso, misto	24	6h

Fonte: A Autora, 2019.

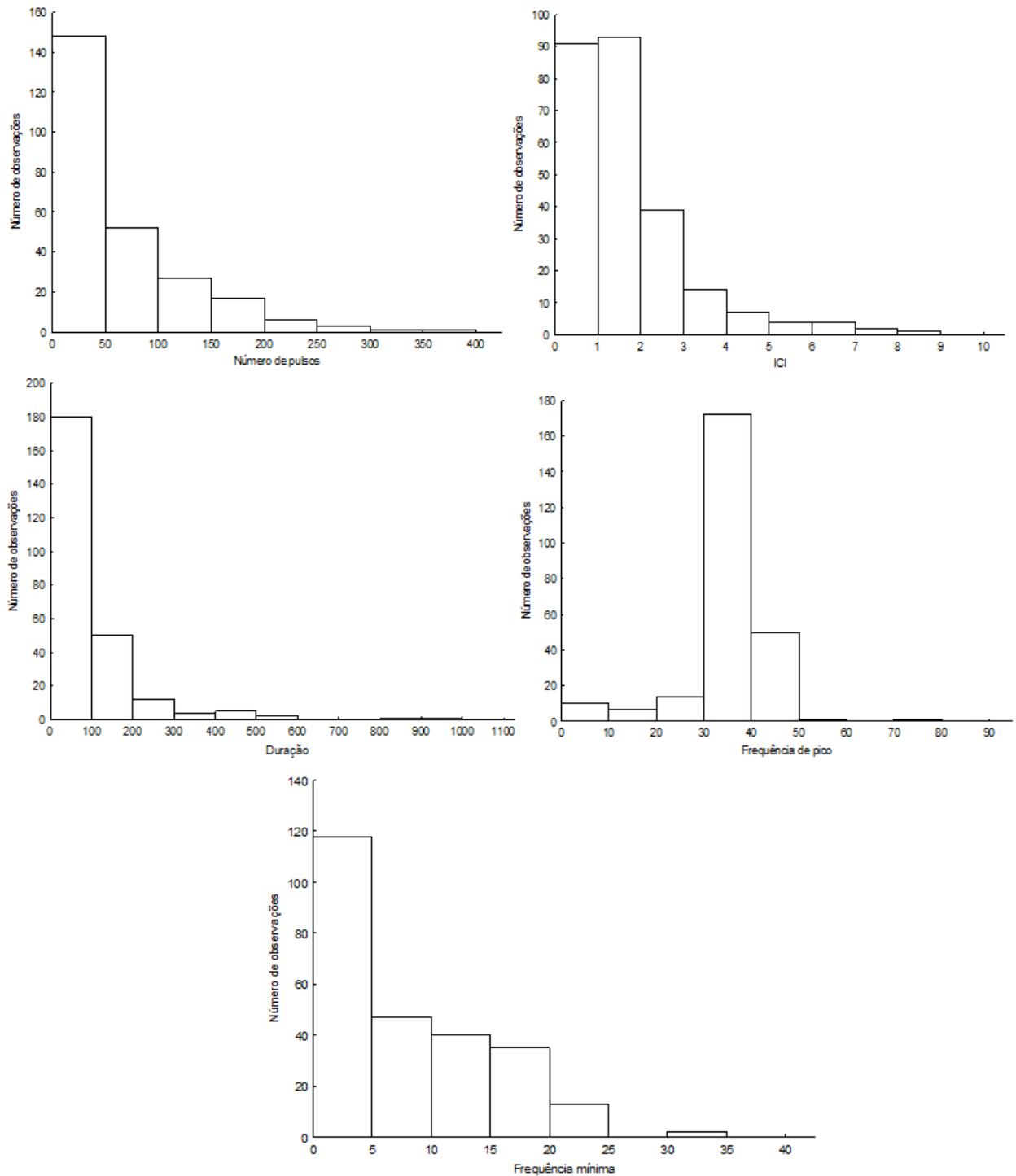
Foi contabilizado um total de 1.239 sons pulsantes na Baía de Guanabara, 4.477 na Baía de Sepetiba e 4.268 na Baía de Ilha Grande, enquanto as médias das taxas de emissão individual (número de sons pulsantes/indivíduos/minuto) desses sons em cada local foram 0,16 ( $\pm$  0,41), 0,56 ( $\pm$  1,00), 0,26 ( $\pm$  0,66), respectivamente. Os cinco parâmetros espectrais foram extraídos de 255 sons pulsantes, 74 da Baía de Guanabara, 102 da Baía de Ilha Grande e 79 da Baía de Sepetiba (Tabela 2). As distribuições do total de sons pulsantes nas baías em relação a cada parâmetro acústico (Figura 5), assim como nas baías de Guanabara (Figura 6), Sepetiba (Figura 7) e Ilha Grande (Figura 8) estão representados em histogramas.

Tabela 2 – Valores de média, desvio padrão, mediana e mínimo e máximo das cinco variáveis extraídas dos sons pulsantes analisados.

Parâmetros acústicos	Total de sons pulsantes (N = 255)	Baía de Guanabara (N = 74)	Baía de Sepetiba (N = 79)	Baía de Ilha Grande (N = 102)
Duração (ms)	98,87 ± 119,52 63 6 - 925	82,57 ± 75,96 59 11 - 438	99,85 ± 11,17 63 6 - 518	109,94 ± 147,96 69 10 - 925
Número de pulsos	63,62 ± 63,49 43 5 - 351	64,34 ± 59,29 46 5 - 295	61,11 ± 62,31 36 5 - 250	65,04 ± 67,76 44 6 - 351
Intervalo entre pulsos (ms)	1,71 ± 1,42 1,24 0,20 – 8,35	1,25 ± 0,61 1,17 0,20 – 3,23	2,07 ± 1,86 1,31 0,23 – 7,57	1,77 ± 1,36 1,37 0,36 – 8,35
Frequência de pico (kHz)	35,50 ± 8,66 36,60 1,79 – 78,32	29,51 ± 13,44 33,49 1,79 – 78,32	37,70 ± 2,78 37,40 30,61 – 45,68	38,13 ± 3,86 37,38 30,83 – 51,61
Frequência mínima (kHz)	8,13 ± 7,03 6,84 0,79 – 32,04	2,28 ± 3,07 1,67 0,79 – 23,40	11,17 ± 6,43 10,92 1,22 – 24,24	10,02 ± 7,06 8,99 0,92 – 32,04

Fonte: A Autora, 2019.

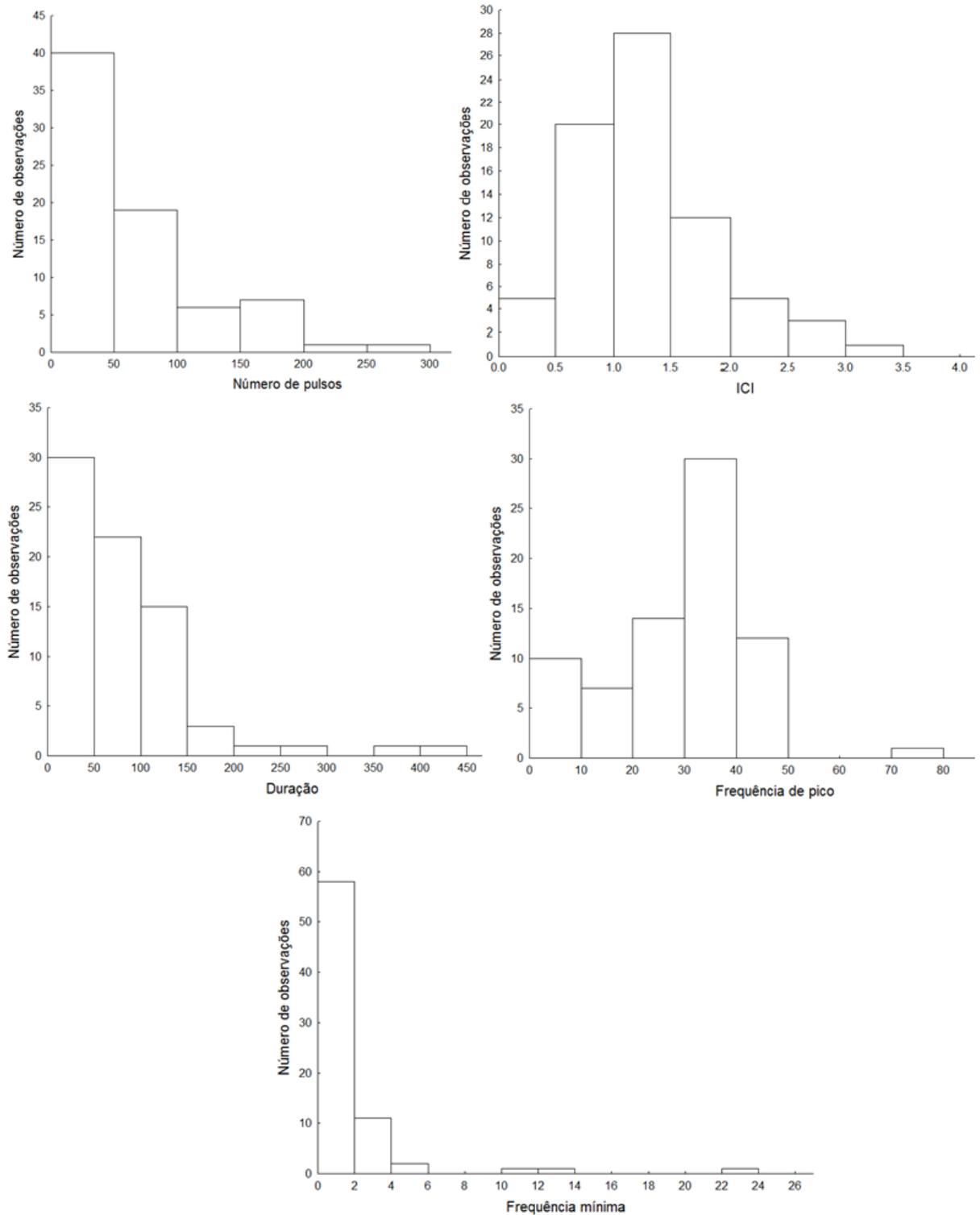
Figura 5 – Histogramas com a distribuição do total de sons pulsantes (N=255) em todas as baías.



Nota: Os valores dos parâmetros temporais estão apresentados em milissegundos (ms) e os de frequência em quilohertz (kHz).

Fonte: A Autora, 2019.

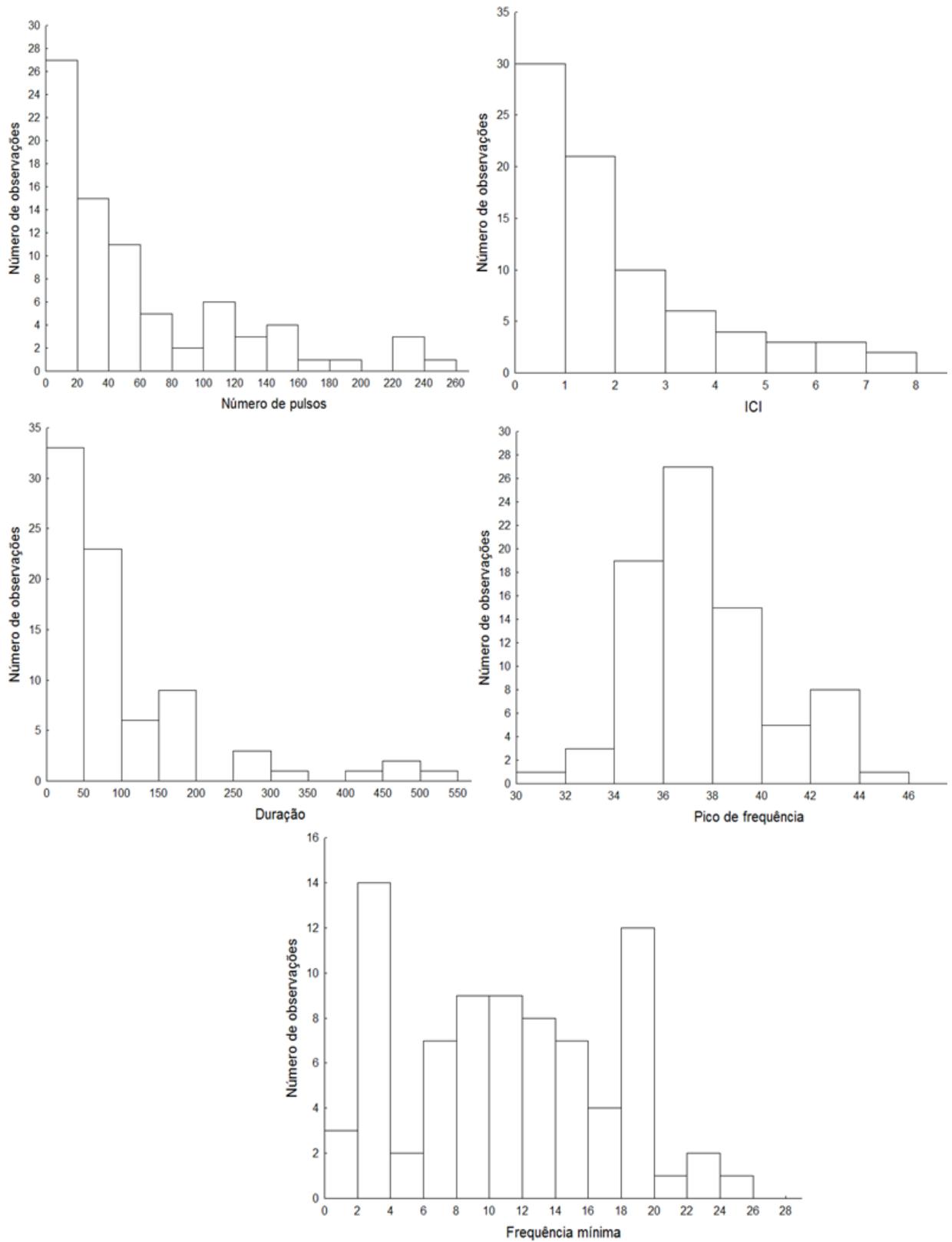
Figura 6 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=74) na Baía de Guanabara.



Nota: Os valores dos parâmetros temporais estão apresentados em milissegundos (ms) e os de frequência em quilohertz (kHz).

Fonte: A Autora, 2019.

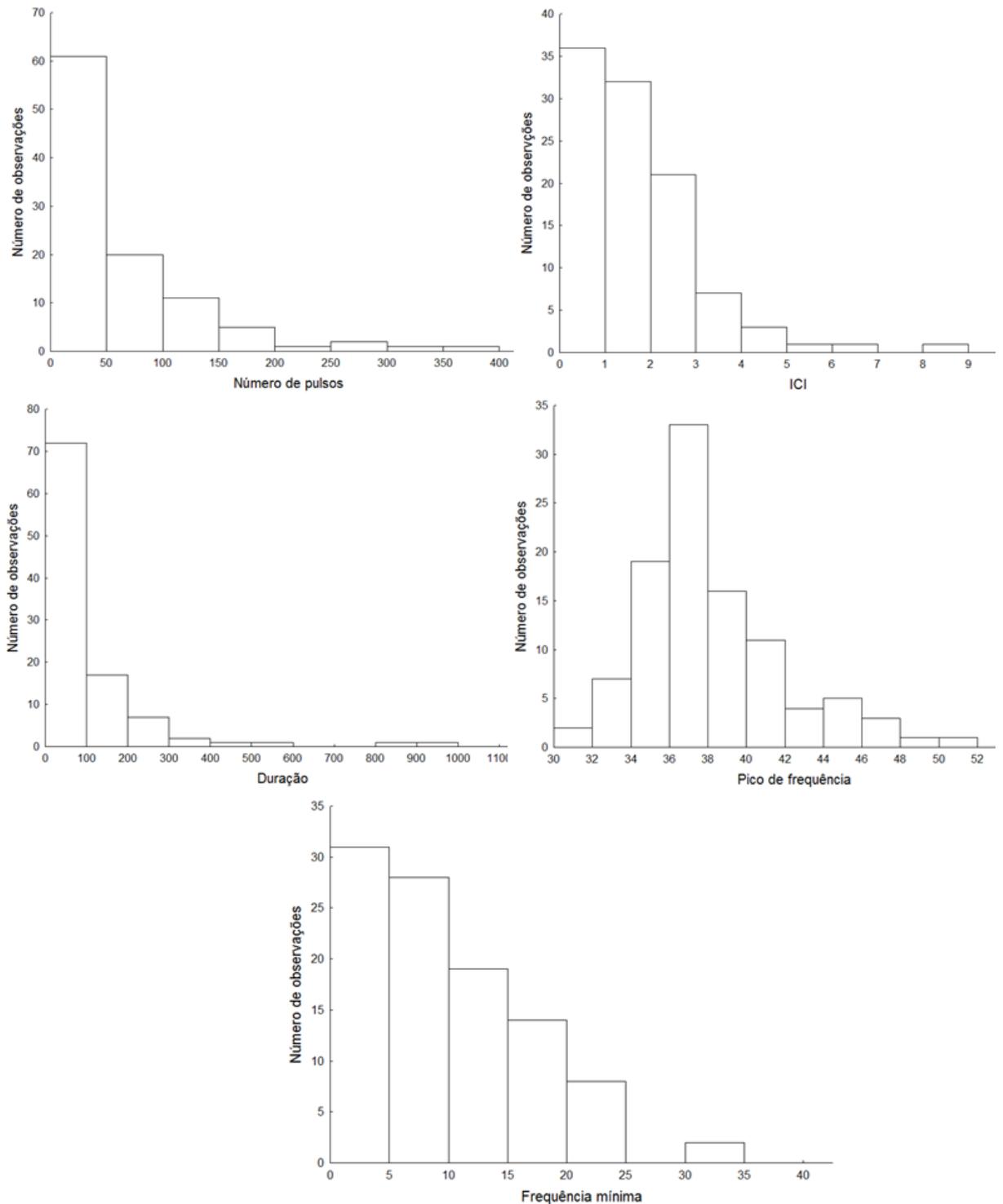
Figura 7 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=79) na Baía de Sepetiba.



Nota: Os valores dos parâmetros temporais estão apresentados em milissegundos (ms) e os de frequência em quilohertz (kHz).

Fonte: A Autora, 2019.

Figura 8 – Histogramas com a distribuição de sons pulsantes (N=102) na Baía de Ilha Grande.



Nota: Os valores dos parâmetros temporais estão apresentados em milissegundos (ms) e os de frequência em quilohertz (kHz).

Fonte: A Autora, 2019.

Pode-se observar nos histogramas que enquanto os sons pulsantes emitidos nas baías de Sepetiba e Ilha Grande só apresentaram frequências de pico acima de 30 kHz, os da Baía de Guanabara apresentaram três tipos de variação em sua frequência de pico. Foi observado que alguns sinais tiveram a frequência de pico de seus pulsos somente em frequências baixas (aproximadamente 3 kHz), outros somente em frequências ultrassônicas (principalmente entre 30 e 40 kHz) e alguns possuíam parte dos pulsos em frequências ultrassônicas e nas baixas, resultando em uma média da frequência de pico de aproximadamente 20 kHz para esses sons.

As quatro categorias descritas foram encontradas em todas as baías. Na baía de Guanabara foram analisados seis sons pulsantes da categoria 1, dois da categoria 2, 28 da categoria 3 e 38 da categoria 4. Na baía de Sepetiba foram analisados 13 sons pulsantes da categoria 1, 16 da categoria 2, 28 da categoria 3 e 22 da categoria 4. Já na baía de Ilha Grande foram analisados nove sons pulsantes da categoria 1, 19 da categoria 2, 40 da categoria 3 e 34 da categoria 4. Devido à diferença do tamanho amostral das baías, a caracterização das categorias utilizou o total de sons analisados nas baías (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de média, desvio padrão, mediana e mínimo e máximo das categorias de sons pulsantes analisados em todas as baías

Parâmetros acústicos	Categoria 1 (N = 28)	Categoria 2 (N = 37)	Categoria 3 (N = 96)	Categoria 4 (N = 94)
Duração	59,50 ± 49,15 50,50 11 - 232	285,11 ± 201,19 247 63 - 925	78,70 ± 51,49 70 12 - 292	57,89 ± 59,61 42 6 - 438
Número de pulsos	18,18 ± 15,32 14 5 - 68	82,62 ± 57,13 67 21 - 236	94,32 ± 73,21 67 10 - 351	38,32 ± 42,64 29 5 - 295
Intervalo entre pulsos	3,43 ± 1,36 3,06 1,85 - 7,39	3,68 ± 1,77 2,98 0,84 - 8,35	0,73 ± 0,27 0,67 0,20 - 1,63	1,43 ± 0,41 1,41 0,55 - 2,43
Frequência de pico	36,82 ± 6,67 38,19 8,97 - 46,59	37,26 ± 4,40 36,82 19,66 - 51,61	36,02 ± 7,64 36,72 2,44 - 45,72	33,87 ± 10,95 35,46 1,79 - 78,32

Frequência mínima	9,22 ± 4,93 9,26 1,38 – 19,92	17,56 ± 6,06 19,20 5,84 – 32,04	5,53 ± 5,20 2,54 0,79 – 19,25	6,74 ± 6,45 2,96 0,85 – 23,88
-------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Fonte: A Autora, 2019.

#### 4.1 Separação dos sons pulsantes em categorias

A PCA gerou cinco fatores distintos que contribuíram para explicar a variação dos dados em 37% (fator 1), 28% (fator 2), 19% (fator 3), 11% (fator 4) e 3% (fator 5). Como a contribuição total dos três primeiros fatores foi de 84%, somente os *factor scores* dos mesmos foram utilizados nas análises discriminantes. Os valores dos *factor loadings* de cada variável, gerados na PCA, demonstraram que o fator 1 está mais correlacionado às variáveis de duração, frequência mínima e ICI. Já o fator 2 ao número de pulsos e em menor proporção ao ICI, enquanto o fator 3 está correlacionado a frequência de pico (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores dos *factor loadings* de cada variável para cada um dos três fatores gerados pela análise de componentes principais.

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Número de pulsos	-0,402	-0,876	0,113
ICI	-0,615	0,570	-0,367
Duração	-0,833	-0,392	-0,263
Frequência de pico	-0,362	0,183	0,871
Frequência mínima	-0,699	0,375	0,121

Fonte: A Autora 2019.

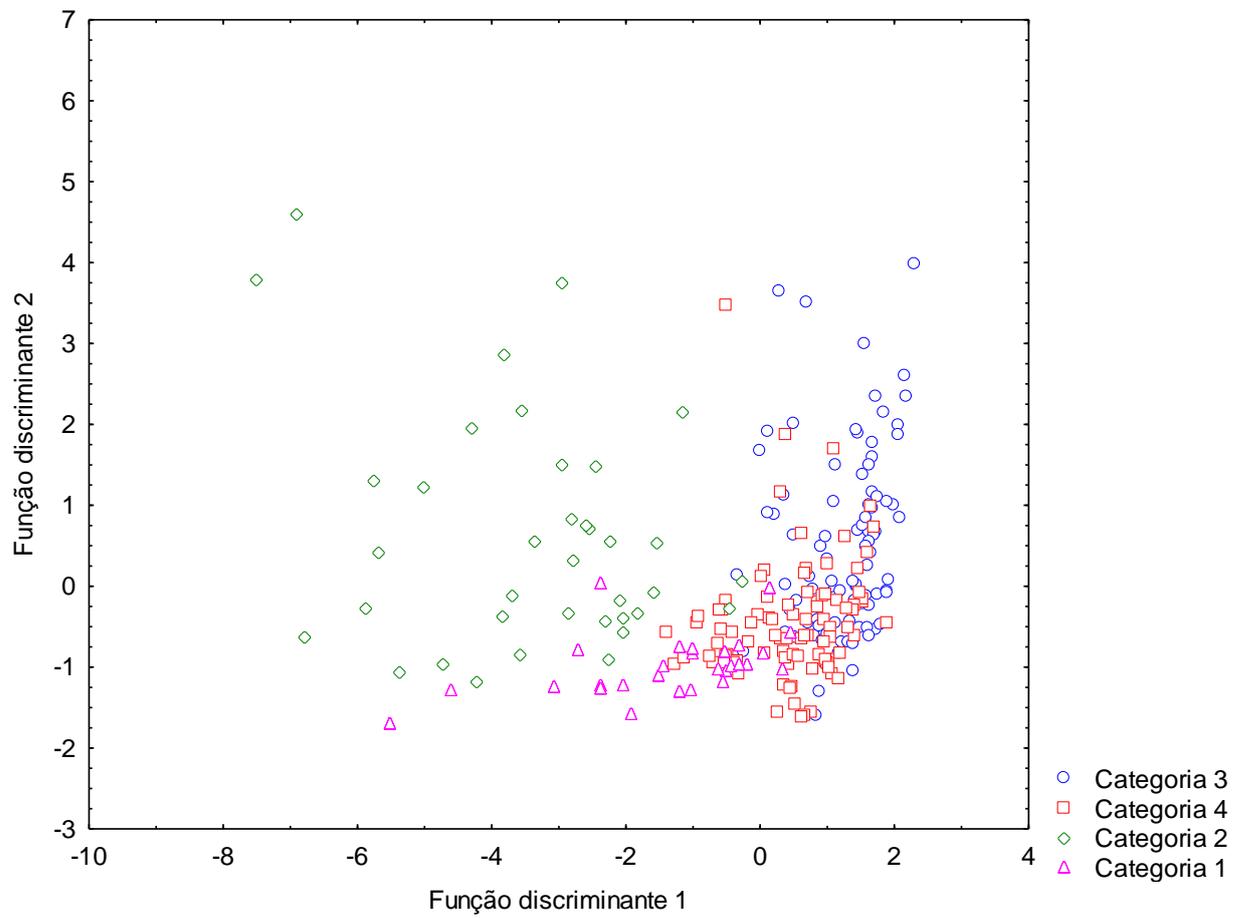
A análise discriminante e todas as variáveis utilizadas foram significativas ( $p < 0,05$ ), porém somente as duas primeiras funções discriminantes foram significativas ( $p < 0,05$ ) e puderam ser utilizadas para a interpretação dos resultados. Os valores dos coeficientes estandardizados e da estrutura de fatores mostraram que o fator 1 define a primeira função discriminante, explicando aproximadamente 88% do poder discriminante da análise. Já o fator 2 define a segunda função discriminante, explicando aproximadamente 11% do poder discriminante da análise (Tabela 5). A matriz de classificação mostrou que a categoria com maior porcentagem de classificações corretas foram as categorias 2 e 3 com 73% de classificações corretas em cada uma. As duas foram seguidas pela categoria 1 com 64% e a categoria 4 com 62%. No total, 67% sons pulsantes foram classificados corretamente nas quatro categorias. A figura 9 mostra a separação das amostras em categorias de acordo as funções discriminantes 1 e 2 e a figura 10 mostra a distribuição dos centroides de cada categoria. Esses resultados mostram que a classificação visual dos sons pulsantes em categorias reflete as diferenças dos parâmetros acústicos e que o ICI é a única variável que tem valores diferentes na maioria das categorias (Figura 11).

Tabela 5 – Valores dos coeficientes estandardizados e da estrutura de fatores dos três fatores com relação a cada uma das duas funções discriminantes.

Variável	<i>Coeficientes estandardizados</i>		<i>Estrutura de fatores</i>	
	Função discriminante 1	Função discriminante 2	Função discriminante 1	Função discriminante 2
Fator 1	1,039	-0,392	0,667	-0,682
Fator 2	-0,679	-0,796	-0,271	-0,861
Fator 3	0,628	0,234	0,196	0,198

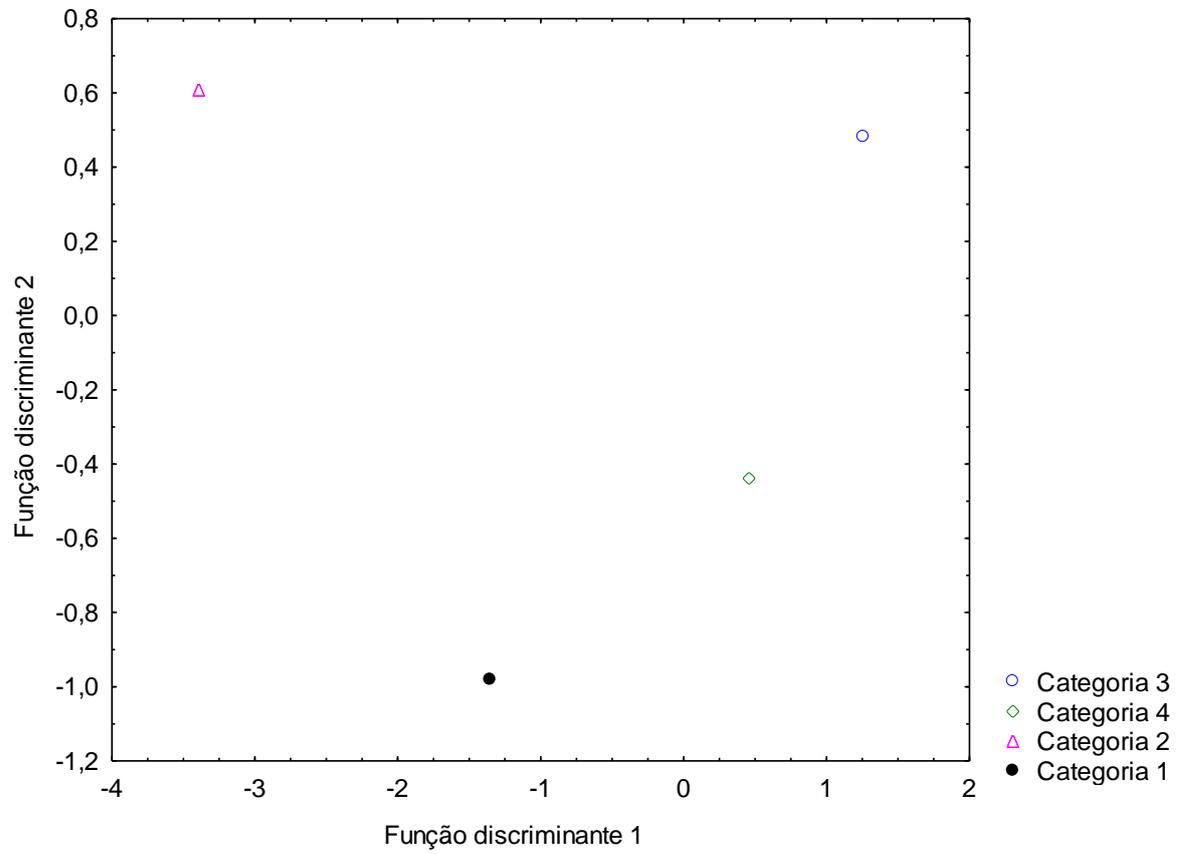
Fonte: A Autora, 2019.

Figura 9 – Distribuição das amostras das quatro categorias de sons pulsantes com relação as funções discriminantes 1 e 2.



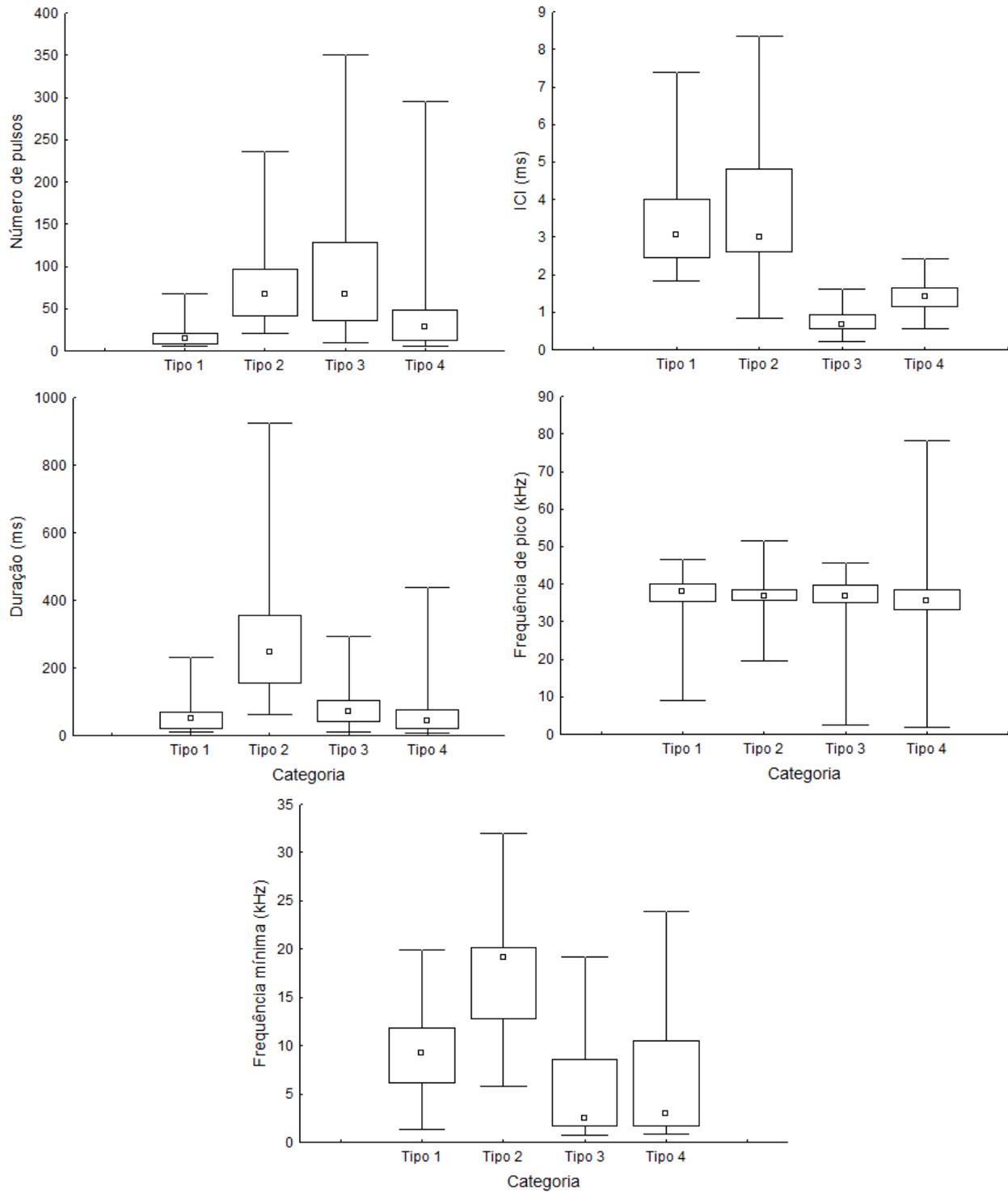
Fonte: A Autora, 2019.

Figura 10 – Distribuição dos centroides das quatro categorias de sons pulsantes em relação as funções discriminantes 1 e 2.



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 11 – Box-plots com a distribuição das amostras de cada categoria de sons pulsantes.

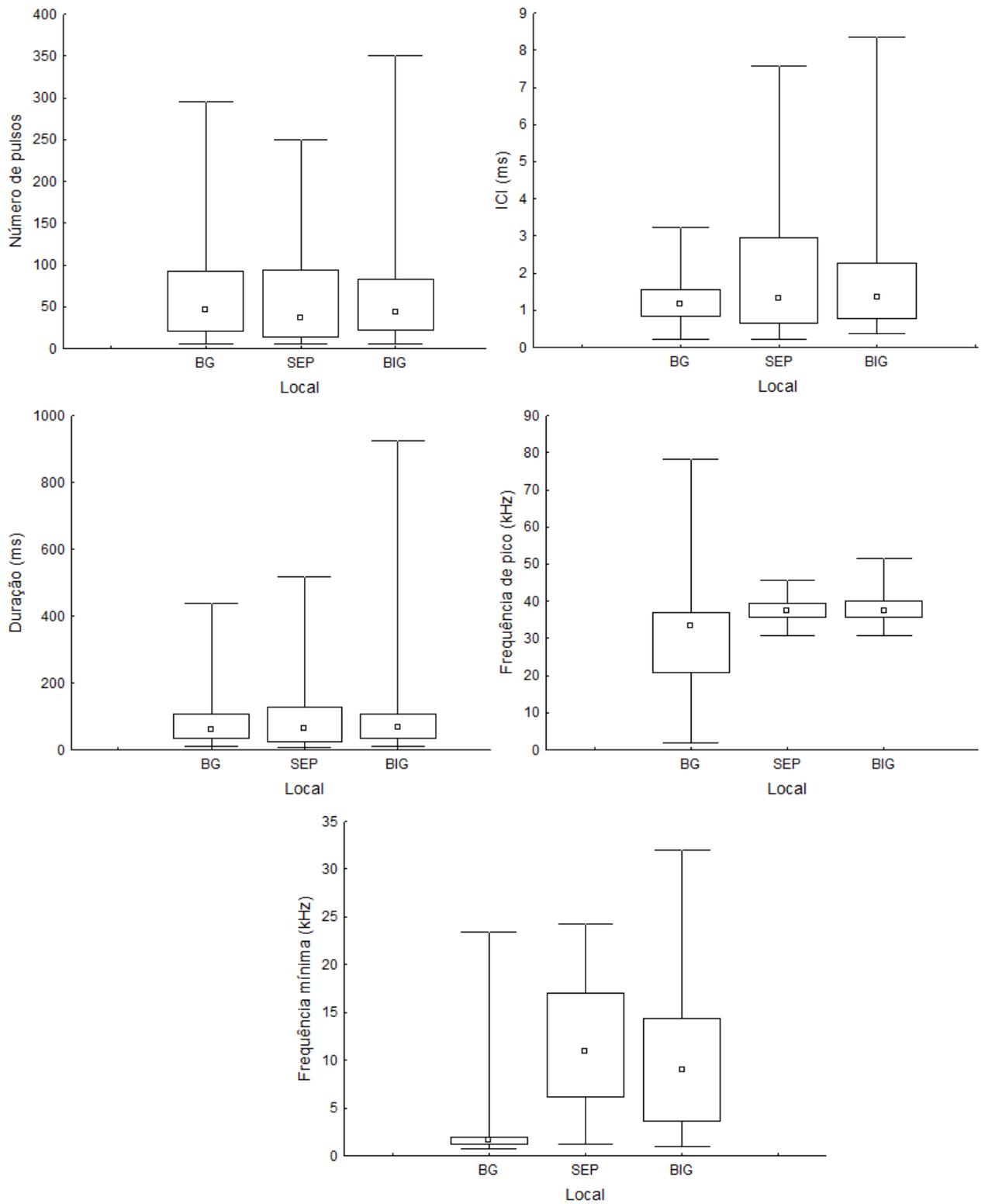


Fonte: A Autora, 2019.

## 4.2 Variação intraespecífica dos sons pulsantes

De acordo com os testes de Kruskal-Wallis, as únicas variáveis significativamente diferentes entre as três baías foram o pico de frequência ( $p < 0,05$ ) e a frequência mínima ( $p < 0,05$ ). O teste *a posteriori* de comparações múltiplas ranqueadas revelou que essas variáveis só foram significativamente diferentes entre a Baía de Guanabara e a Baía de Ilha Grande ( $p < 0,05$ ) e entre a Baía de Guanabara e a Baía de Sepetiba ( $p < 0,05$ ). A figura 12 mostra a diferença na distribuição de cada variável entre as baías, evidenciando que tanto os valores de frequência mínima quanto os de pico de frequência foram menores na Baía de Guanabara.

Figura 12 – Box-plots com a distribuição dos sons pulsantes nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.



Fonte: A Autora, 2019.

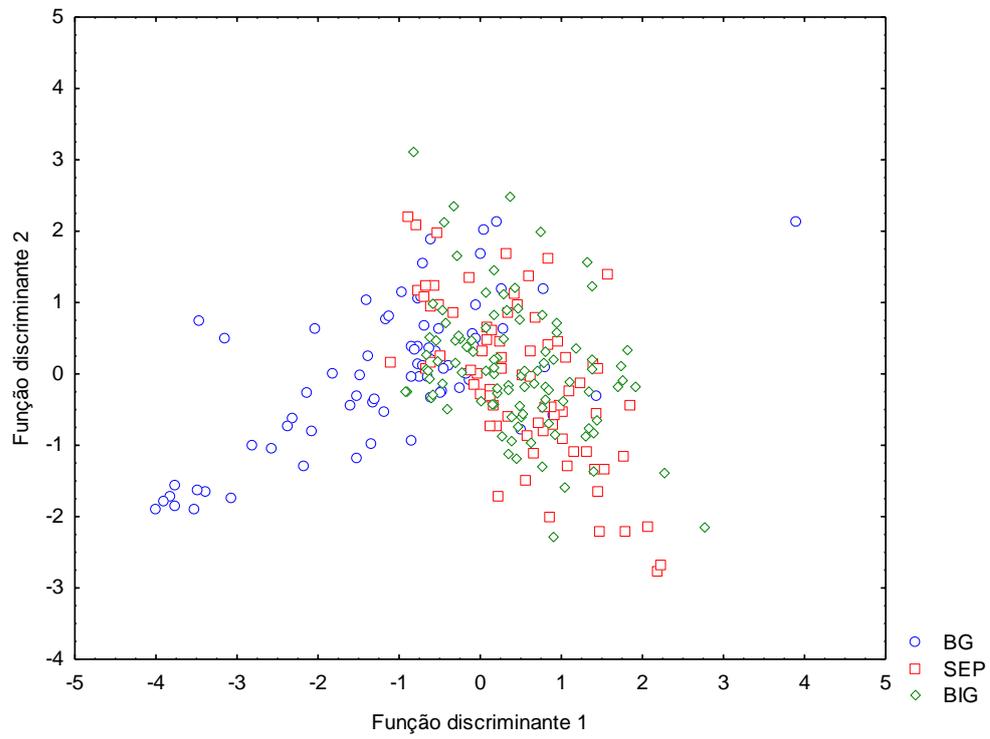
A análise discriminante entre os três fatores gerados pela PCA e as três baías foi significativa ( $p < 0,05$ ). Porém, somente a primeira função discriminante gerada na análise canônica foi significativa ( $p < 0,05$ ) e somente ela será descrita e interpretada neste estudo. Tanto os valores dos coeficientes estandardizados quanto da estrutura de fatores mostraram que os fatores 1 e 2 são as variáveis que definem a função discriminante 1 que explica aproximadamente 98% da variação dos dados (Tabela 6). A matriz de classificação gerada pela análise discriminante mostra que a Baía de Guanabara é o local com maior número de sons pulsantes classificados corretamente, resultando em 76% de classificações corretas. A segunda maior porcentagem de classificação foi a Baía de Sepetiba com 54% seguida pela Ilha Grande com 37%. A porcentagem total de classificações corretas nas três baías foi de 53%. A figura 13 mostra a posição de cada amostra com relação às funções discriminantes 1 e 2, evidenciando a separação dos sons produzidos pela população da Baía de Guanabara dos produzidos nas outras baías. Além disso, a figura 14 representa as posições dos centroides de cada baía.

Tabela 6 – Valores dos coeficientes estandardizados e da estrutura de fatores dos três fatores com relação à função discriminante.

Variável	<i>Coeficientes estandardizados</i>		<i>Estrutura de fatores</i>	
	Função discriminante 1	Função discriminante 2	Função discriminante 1	Função discriminante 2
Fator 1	-0,762	0,537	-0,587	0,377
Fator 2	0,537	-0,762	0,377	-0,587
Fator 3	0,687	0,510	0,510	0,687

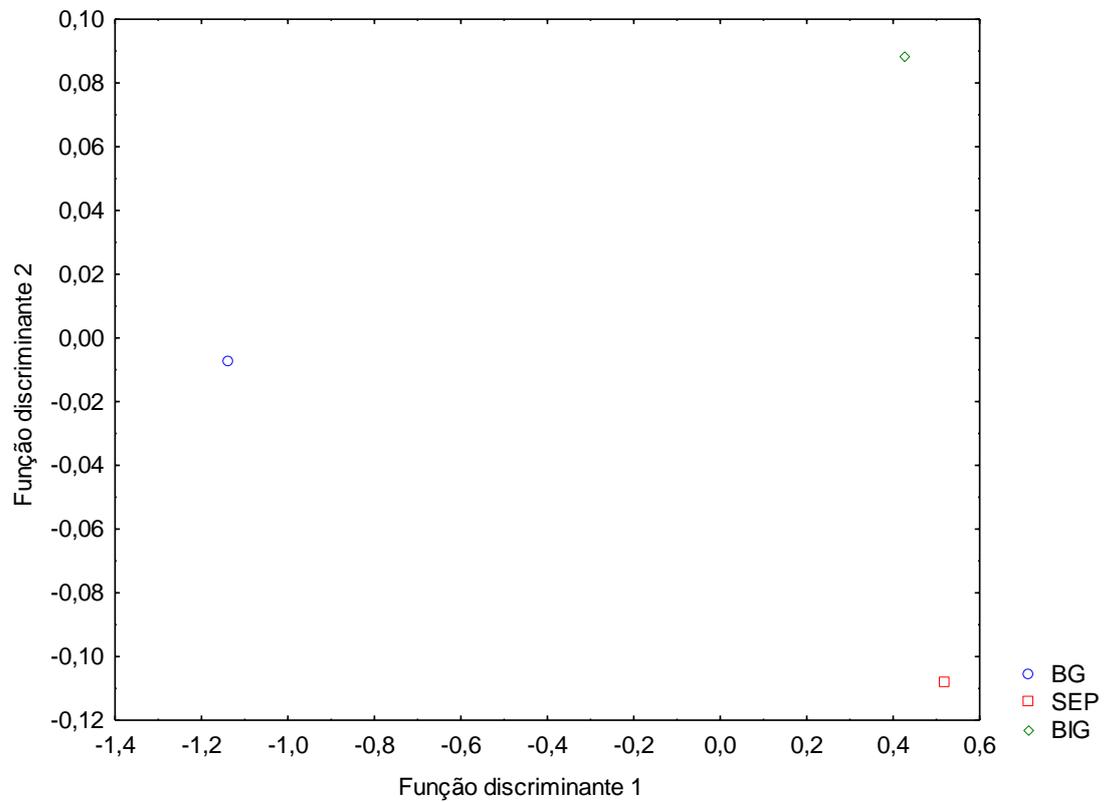
Fonte: A Autora, 2019.

Figura 13 – Distribuição dos sons pulsantes das baías de Guanabara Sepetiba e Ilha Grande com relação às funções discriminantes 1 e 2.



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 14 – Distribuição dos centroides dos sons pulsantes da baía de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande em relação às funções discriminantes 1 e 2.



Fonte: A Autora, 2019.

## 5 DISCUSSÃO

Neste estudo foi possível demonstrar objetivamente a variedade dos sons pulsantes produzidos pela espécie *Sotalia guianensis*. Todas as categorias de sons pulsantes foram encontradas nas três baías amostradas, porém a quantidade de sons analisados por categoria foi diferente. As categorias 3 e 4 tiveram a maior quantidade de sons analisados em todas as baías, seguidas pelas categorias 2 e 1. A categoria 2 teve uma amostragem menor na BG e pode ter sido causada por dificuldades na análise desses sinais, devido à sua alta duração que aumenta a probabilidade de sobreposição com outros sons. Ou esse N amostral pequeno pode estar relacionado a uma menor taxa de emissão dessa categoria de som na BG. Já a categoria 1 teve um baixo N amostral em todas as baías, o que pode ser indício de uma menor produção desse sinal pela espécie, nos contextos gravados.

A taxa de emissão dos sons pulsantes foi diferente em cada baía. A baía de Sepetiba teve a maior taxa, seguida por Ilha Grande e Guanabara. Em outros estudos foi observado que a taxa de emissão de sinais sonoros em grupos de golfinhos pode ser influenciada pelo tamanho, composição e comportamento do grupo gravado (COOK et al., 2004; DÍAZ LÓPEZ, 2011; MAY-COLLADO, 2013; VAN PARIJS; SMITH; CORKERON, 2002). O tamanho dos grupos gravados na BG foi consideravelmente menor do que nas outras baías devido ao baixo tamanho da população de botos-cinza nessa região (AZEVEDO et al., 2017). Isso pode ter influenciado a taxa de emissão dos animais como já foi evidenciado em outros estudos em que a taxa de emissão foi positivamente correlacionada ao tamanho de grupo (COOK et al., 2004; VAN PARIJS; SMITH; CORKERON, 2002). Já nas baías de Sepetiba e Ilha Grande a variação do tamanho dos grupos gravados foi similar. Porém a proporção de dados coletados em grupos pequenos (menos de 50 indivíduos) e grandes (mais de 50 indivíduos) foi distinta, na BIG grupos maiores foram amostrados com mais frequência e em SEP grupos menores. Além disso, a proporção dos comportamentos amostrados foi diferente em cada local. O comportamento de alimentação foi similar nas duas regiões, mas o deslocamento foi mais frequentemente gravado na BIG, enquanto o de socialização só foi gravado em SEP. Já foi observado que a taxa de emissão de sons pulsantes na BG é significativamente menor em comportamentos de deslocamento quando comparado

a socialização (BARBOSA et al., 2017). Assim, o comportamento pode ter uma influência importante na diferença entre as taxas dessas baías.

As categorias variaram com relação aos seus parâmetros acústicos. O único parâmetro que variou de forma contínua entre categorias foi o intervalo entre pulsos. O ICI variou de forma crescente entre as categorias 3, 4, 1 e 2, demonstrando a sua importância na classificação dos sons pulsantes. Esse foi o principal parâmetro utilizado na classificação visual dos sinais e a análise espectral confirmou que é possível agrupar os sons pulsantes visualmente utilizando seus valores de ICI como critério de separação. Luís et al. (2016), que separou sons pulsantes produzidos por golfinhos-nariz-de-garrafa em quatro categorias, também encontrou que a taxa de repetição de pulsos, parâmetro diretamente inverso ao ICI, foi o parâmetro mais importante para determinar a variação entre as categorias de sons pulsantes. Além disso, essa estrutura de variação do ICI sugere que o repertório acústico do boto-cinza é produzido ao longo de uma escala onde os sons pulsantes estariam entre dois extremos: os cliques de ecolocalização e os assobios. Assim, algumas categorias de sons pulsantes seriam estruturalmente mais próximas dos cliques e outras dos assobios. Essa caracterização do repertório acústico de uma espécie é chamada de estrutura gradativa (*graded structure*) e foi descrita para o repertório da espécie falsa-orca (*Pseudorca crassidens*) (MURRAY; MERCADO; ROITBLAT, 1998).

A categoria 2 foi uma das que mais se diferenciou das outras e seus sinais apresentaram altos valores das variáveis: ICI, duração e frequência mínima. Esses sons têm semelhanças com os “foraging buzzes” devido aos seus altos valores de ICI e duração (ARRANZ et al., 2016; DERUITER et al., 2009; MADSEN, 2005; MADSEN; SURLYKKE, 2013; WISNIEWSKA et al., 2014). Foi observado que sinais da categoria 2 podem começar após a produção de cliques de ecolocalização e seus valores de ICI variaram entre 0,84 e 8,35 ms com uma média de 3,68 ms. Isso mostra que existem sinais dentro da categoria 2 que podem ter a função de um “foraging buzz”, mas devido à alta variabilidade de seus parâmetros e da existência de sons dessa categoria que não foram precedidos por cliques de ecolocalização, outras funções podem estar relacionadas aos sinais dessa categoria.

Já a categoria 1 tem um ICI médio semelhante a categoria 2, mas se diferencia em outros parâmetros como a baixa duração e poucos pulsos por sinal. Essas características são semelhantes a sinais descritos como pacotes de cliques

(“click packet”) para outras espécies de odontocetos (FINNERAN, 2013; IVANOV, 2004; LADEGAARD et al., 2019). Esse tipo de sinal é emitido em sequência e utilizado na ecolocalização para detecções de longa distância, acima de 75 ou 100 m (FINNERAN, 2013). Eles são produzidos em sequência e possuem uma baixa quantidade de pulsos dentro de cada pacote de cliques, o máximo reportado foi de 30 cliques para a espécie *Tursiops truncatus*, além de um ICI menor que o normalmente encontrado em sequências de cliques de ecolocalização (IVANOV, 2004). Os valores de ICI dentro do pacote de cliques são menores do que o tempo de ida e volta do clique (*two way travel time*) enquanto o intervalo entre pacotes é maior que o tempo de ida e volta do clique (FINNERAN, 2013; IVANOV, 2004; LADEGAARD et al., 2019). Ivanov (2004) encontrou pacotes com ICI's menores que 3 ms. Essas características se assemelham a muitos sinais pertencentes a categoria 1 e pode indicar que esses sons pulsantes podem ter uma função na ecolocalização como os da categoria 2.

A categoria 3 possui os menores valores de ICI entre todas as categorias. Esses resultados confirmam a relação entre o baixo valor de ICI e a formação de bandas harmônicas nos sons pulsantes da espécie *S. guianensis* como foi descrito para outras espécies (WATKINS, 1968; WEIR et al., 2007). Os valores de ICI encontrados na categoria 3 são extremamente baixos e pouco encontrados em trabalhos que descrevem os sons pulsantes de odontocetos, como pode ser observado na Tabela 7. Andrade et al. (2017) descreveu os sons pulsantes de *S. guianensis* na BG e observou um valor médio de ICI de 0,7 ms, muito semelhante ao encontrado nos sons da categoria 3. Isso sugere que Andrade et al. (2017) provavelmente amostrou um número maior de sons pulsantes da categoria 3, reforçando a necessidade de se amostrar todas as categorias de sons para a caracterização do repertório acústico de uma espécie. Devido a seu baixo valor de ICI é mais provável que esses sinais sejam utilizados em contextos sociais, já que a interpretação de seus pulsos no processo de ecolocalização seria dificultado.

A categoria 4 teve a pior porcentagem de classificação da análise discriminante e pode ser considerada uma categoria transicional, entre a categoria 3 e as categorias 1 e 2, dentro da estrutura gradativa do repertório de *Sotalia guianensis*. Esses sinais possuem ICI's médios (1,43 ms) semelhantes a valores reportados para outras espécies que utilizam os sons pulsantes na comunicação social (Tabela 7).

Uma futura confirmação das funções sociais das categorias 3 e 4 e de ecolocalização das categorias 1 e 2, a partir de estudos que associem as mesmas ao comportamento dos indivíduos, pode demonstrar que a posição de um tipo de som pulsante dentro da estrutura gradativa do repertório acústico pode estar relacionada a sua função. Assim, a proximidade da categoria de som pulsante em relação aos cliques de ecolocalização ou aos assobios pode ser um fator indicativo da função desse som.

A descrição de categorias de sons pulsantes é uma forma mais objetiva de se caracterizar a diversidade desses sons sem utilizar somente as suas características aurais e visuais para tal classificação. Dessa forma, a classificação subjetiva utilizada em diversos trabalhos anteriores, como “squawks”, “squeaks” e “barks” (CORKERON; VAN PARIJS, 2001; HERZING, 2015; HERZING, 1996; VAN PARIJS; CORKERON, 2001) e que dificultam a comparação entre estudos deveria ser substituída por classificações mais objetivas e padronizadas, tendo como base os parâmetros espectrais dos sons.

Tabela 7 – Valores de média e desvio padrão dos parâmetros de sons pulsantes emitidos por diferentes espécies de odontocetos.

Espécie	N	Número de pulsos	ICI (ms)	Duração (ms)	Frequência de pico (kHz)	Frequência mínima (kHz)
Presente estudo <b><i>Sotalia guianensis</i></b>	255	63,62±63,49	1,71±1,42	98,87±119,52	35,50±8,66	8,13±7,03
Andrade et al. 2017 <b><i>Sotalia guianensis</i></b>	197	168±137	0,7±0,3	108,6±91,3	28,0±11,6	-
Lammers et al. 2003 <b><i>Stenella longirostris</i></b>	79	29±29	3,8±1,7	-	32,3±12,5	-

Lammers et al. 2003	73	103±145	3,2±1,4	-	40,3±17,8	-
<b><i>Stenella frontalis</i></b>						
Rankin et al. 2007	129	24,6±24,6	1,15±0,4	26,98±25,68	18,2±5,5	-
<b><i>Lissodelphis borealis</i></b>						
Luís et al. 2016	65	-	4±1	60±40	25,97±8,57	4,12±3,77
<b><i>Tursiops truncatus</i></b>						
Luís et al. 2016	252	-	2±1	440±400	21,26±12,18	3,94±3,90
<b><i>Tursiops truncatus</i></b>						

\* Tipos diferentes de sons pulsantes produzidos por *Tursiops truncatus*

Fonte: A Autora, 2019

Os sons pulsantes produzidos na BG tiveram valores de pico de frequência e frequência mínima significativamente menores do que nas outras baías. Essas variações intraespecíficas podem ter sido geradas por diversos fatores como diferenças nas condições ecológicas locais, principalmente relacionado aos níveis de ruído subaquático, e no isolamento das populações.

Diversos estudos mostram que altos níveis de ruído subaquático podem influenciar tanto o comportamento acústico dos indivíduos como os parâmetros acústicos dos sinais emitidos (BITTENCOURT et al., 2016; MORISAKA et al., 2005; VAN GINKEL et al., 2017). Mudanças na frequência, duração, amplitude e taxa de emissão de assobios já foram descritas como estratégias para evitar o mascaramento acústico gerado por altos níveis de ruído em diversas espécies de cetáceos, inclusive em botos-cinza (BITTENCOURT et al., 2016; FOOTE; OSBORNE; HOELZEL, 2004; LESAGE et al., 1999; MORISAKA et al., 2005; TYACK, 2008). A possível influência do ruído nos sons pulsantes ainda não foi descrita, mas pode ser um fator importante para as variações geográficas desses sinais. Os valores mais baixos do parâmetro frequência de pico na BG podem estar relacionados aos altos níveis de ruído subaquático na região (BITTENCOURT et al.,

2014). O aumento da amplitude em frequências mais baixas pode aumentar a distância de propagação do sinal e evitar o mascaramento do som pelo intenso ruído de baixa frequência, aumentando a eficiência na comunicação entre os indivíduos.

O isolamento geográfico tende a gerar divergências genéticas entre as populações (FORD, 2002). Isso pode influenciar o tamanho corporal e cranial dos indivíduos de populações com baixo fluxo gênico entre elas. Mudanças na anatomia do crânio como morfologia e tamanho, podem gerar modificações nos parâmetros acústicos dos cliques de ecolocalização produzidos, como por exemplo, em seus valores de frequência (SOLDEVILLA et al., 2008). Diferenças no tamanho corporal e cranial foram identificadas em populações de boto-cinza que habitam a região Sudeste do Brasil (RAMOS et al., 2010). Dessa forma, a diferença na frequência de pico e na frequência mínima observada entre os sons pulsantes da BG e das outras baías pode estar relacionado ao isolamento genético das populações.

A distância geográfica entre as baías onde as populações ocorrem também pode influenciar no surgimento das diferenças intraespecíficas no repertório acústico. Assim, populações mais distantes teriam sinais estruturalmente mais diferentes, pois estariam mais isoladas (ANDRADE et al., 2014; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006). As baías de Sepetiba e Ilha Grande são os locais mais próximos dentro da área de estudo e os sons pulsantes produzidos nessas áreas não apresentaram diferenças em seus parâmetros. A mesma situação foi reportada por Andrade et al. (2014), que mostrou que os assobios produzidos por botos-cinza nessas duas baías eram mais semelhantes do que os da baía de Guanabara.

Andrade et al. (2014), mostrou que os assobios produzidos por botos-cinza nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande são significativamente diferentes em diversos parâmetros acústicos. Nesse estudo nove parâmetros de frequência e tempo foram analisados e todos foram diferentes entre a BG e SEP, oito entre BG e BIG e quatro entre SEP e BIG. No presente estudo, a comparação dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* entre as mesmas baías só demonstrou diferença entre os sons produzidos na BG com relação à SEP e BIG e em dois dos cinco parâmetros analisados. A maior variação entre os assobios em relação aos sons pulsantes produzidos nas baías é uma questão a ser estudada e pode estar relacionada a diferenças na estrutura acústica ou função dos dois tipos de sinais na comunicação dos animais.

O valor médio de pico de frequência na BG encontrado no presente estudo (29,51 kHz) foi muito similar ao encontrado por Andrade et al. (2017) (Tabela 7) que analisou os sons pulsantes de boto-cinza na mesma baía. Isso demonstra a consistência desses resultados para essa população ao longo do tempo, já que Andrade et al. (2017) analisou os sons pulsantes dessa população em anos anteriores (2013 e 2014).

Também pode ser observado que os valores médios do parâmetro frequência de pico foram semelhantes nas quatro categorias descritas e giraram em torno de 36 kHz com um pequeno desvio padrão. Contudo, esse mesmo parâmetro foi essencial na descrição da variação intraespecífica dos sons pulsantes onde os sinais produzidos na BG tiveram uma frequência de pico menor do que nas outras baías. Isso sugere que a variação geográfica dos sons pulsantes não está relacionada a uma categoria específica e sim a uma característica geral do repertório acústico desses animais na Baía de Guanabara.

Poucos estudos que caracterizaram os sons pulsantes de forma quantitativa analisaram a frequência mínima dos sinais (Tabela 7). Somente Luís et al. (2016) extraiu esse parâmetro dos sinais emitidos por *Tursiops truncatus* e obteve valores menores do que encontrado para a média dos sinais de *Sotalia guianensis*. Esses resultados vão contra o que foi encontrado por Lammers et al. (2003) que descreveu os sons pulsantes de golfinhos rotadores e pintados do Atlântico e observou que a maioria dos sons analisados possuía pouca ou nenhuma energia abaixo de 20 kHz. Além disso, os resultados do presente estudo mostram que a caracterização desse parâmetro é importante para a descrição das variações intraespecíficas e para a separação de algumas categorias de sons pulsantes, como a categoria 2. Isso reforça a importância desse parâmetro nas caracterizações de sons pulsantes.

Além de utilizar a frequência mínima como um parâmetro de caracterização de sons pulsantes, trabalhos futuros deveriam aumentar a taxa de amostragem do sistema de gravação para poder caracterizar melhor esses sinais de alta frequência, principalmente no que diz respeito à frequência de pico. As funções de cada categoria de sons pulsantes nos grupos de botos-cinza também devem ser investigadas para uma melhor compreensão desses sinais.

O presente estudo mostra a importância de se amostrar populações diferentes para caracterizar de forma ampla o repertório acústico de uma espécie, levando em conta todas as possíveis variações desses sinais. Além disso, ele

mostra quais são os parâmetros mais importantes para a separação desses sons entre populações e entre diferentes categorias para a espécie *Sotalia guianensis*. Os parâmetros frequência de pico e frequência mínima variam intraespecificamente, já os parâmetros de tempo, principalmente os valores de ICI, separam as diferentes categorias de sons pulsantes.

Em conclusão, *Sotalia guianensis* emite uma variedade de sons pulsantes que podem ser separados em quatro diferentes categorias baseado em seus parâmetros acústicos. Esses sons podem variar intraespecificamente e são significativamente diferentes entre a baía de Guanabara e as baías de Sepetiba e Ilha Grande. Os parâmetros frequência mínima e pico de frequência têm valores menores na baía de Guanabara quando comparado às outras baías. Além disso, as taxas de emissão desse som são maiores na baía de Sepetiba, seguido pela baía de Ilha Grande e por último pela Guanabara. Os principais parâmetros que influenciam a separação das categorias de sons pulsantes e as populações da espécie são diferentes. Enquanto os parâmetros de frequência são importantes para descrever a variação intraespecífica dos sons pulsantes, os parâmetros de tempo descrevem as suas diferentes categorias estruturais.

## REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A; STIENESSEN, S. C. Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) Increase Number of Whistles When Feeding. *Aquatic Mammals*, v. 30, n. 3, p. 357–362, 2004.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: Sampling Methods. *Behaviour*, v. 49, p. 227–265, 1974.
- AMORIM, T. O. S. et al. Vocalizations of Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*): Characterization, effect of physical environment and differences between populations . *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 139, n. 3, p. 1285–1293, 2016.
- ANDRADE, L. G. et al. Burst pulses of Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) in southeastern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 141, n. 4, p. 2947–2956, 2017.
- ANDRADE, L. G. et al. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 137, n. 1, p. EL15-EL19, 2015.
- ANDRADE, L. G. et al. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles : using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta Ethologica*, n. December, 2014.
- ANDREW, R. K.; HOWE, B. M.; MERCER, J. A. Long-time trends in ship traffic noise for four sites off the North American West Coast. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 129, n. 2, p. 642–651, 2011.
- ARRANZ, P. et al. Discrimination of fast click-series produced by tagged Risso's dolphins (*Grampus griseus*) for echolocation or communication. *The Journal of Experimental Biology*, 2016.
- AU, W. *The sonar of dolphins*. [S.l: s.n.], 1993.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. *Principles of Marine Bioacoustics*. [S.l: s.n.], 2009. v. 25.
- AZEVEDO, A. F. et al. The first confirmed decline of a delphinid population from Brazilian waters: 2000-2015 abundance of *Sotalia guianensis* in Guanabara Bay, South-eastern Brazil. *Ecological Indicators*, v. 79, p. 1–10, 2017.
- AZEVEDO, A. F. et al. A note on site fidelity of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay , southeastern Brazil. *Journal of Cetacean Research and Management*, v. 6, n. 3, p. 265–268, 2004.
- AZEVEDO, A. F. Comportamento e uso do espaço por *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ) e variação geográfica dos assobios da espécie ao longo da costa do Brasil. 2005.

- AZEVEDO, A. F. Comportamento do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae): amostragem, termos e definições. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 01, p. 192–200, 2009.
- AZEVEDO, A. F. et al. Group characteristics of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, v. 85, n. 1, p. 209–212, 2005.
- AZEVEDO, A. F. et al. Habitat use by marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, v. 87, n. 01, p. 201, 2007.
- AZEVEDO, A. F. et al. Human-induced injuries to marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Brazil. *Marine Biodiversity Records*, v. 2, n. March 2009, p. e22, 2009.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 117, n. 3, p. 1456–1464, 2005.
- AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *Aquatic Mammals*, v. 28, n. 3, p. 261–266, 2002.
- BARBOSA, M. et al. Sons pulsantes emitidos por botos-cinza em diferentes estados comportamentais. 2017, [S.l: s.n.], 2017.
- BARRETT-LENNARD, L. G.; FORD, J. K.B.; HEISE, K. A. The mixed blessing of echolocation: Differences in sonar use by fish-eating and mammal-eating killer whales. *Animal Behaviour*, v. 51, n. 3, p. 553–565, 1996.
- BEIRÃO-CAMPOS, L. et al. Guiana dolphins form social modules in a large population with high ranging overlap and small demographic changes. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2016.
- BELO, W. C.; DIAS, G. T. M.; DIAS, M. S. O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: O relevo submarino e a sedimentação no canal central. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 20, n. 1, p. 5–15, 2002.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, Kit M. *Marine Mammals Evolutionary Biology*. [S.l: s.n.], 2015.
- BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 83, n. 1, p. 331–336, 2014.
- BISI, T. L., LEPOINT, G., AZEVEDO, A. D. F., DORNELES, P. R., FLACH, L., DAS, K., MALM, O., et al. Trophic relationships and mercury biomagnification in Brazilian tropical coastal food webs. *Ecological Indicators*, 18, 291–302, 2012.
- BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise in an impacted environment can affect

Guiana dolphin communication. *Marine Pollution Bulletin*, v. 114, n. 2, p. 1130–1134, 2016.

BLOMQUIST, C; AMUNDIN, M. High-frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Echolocation in bats and dolphins*, n. Karlsson, p. 425–431, 2004.

BRANSTETTER, B. K. et al. Directional properties of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) clicks, burst-pulse, and whistle sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 131, n. 2, p. 1613–1621, 2012.

CABALLERO, S. et al. Taxonomic status of the genus *Sotalia*: Species level ranking for “tucuxi” (*Sotalia fluviatilis*) and “costero” (*Sotalia guianensis*) dolphins. *Marine Mammal Science*, v. 23, n. 2, p. 358–386, 2007.

CATANZARO, L. F. et al. Distinctive sedimentary processes in guanabara bay – se/brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 khz). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n. 1, p. 69–83, 2004.

SANTOS, M. C. O.; Rosso, S. Social Organization of Marine Tucuxi Dolphins, *Sotalia guianensis*, in the Cananéia Estuary of Southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy*, v. 89, n. 2, p. 347–355, 2008.

COOK, M. L. H. et al. Signature – whistle production in undisturbed free – ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, n. May, 2004.

COPELAND, G. et al. Water quality in Sepetiba Bay, Brazil. *Marine Environmental Research*, v. 55, n. 5, p. 385–408, 2003.

CORKERON, P. J.; VAN PARIJS, S. M. Vocalizations of eastern Australian Risso’s dolphins, *Grampus griseus*. *Canadian Journal of Zoology*, v. 79, n. 1, p. 160–164, 2001.

CREED, J. C.; PIRES; FIGUEIREDO, M. A. *Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande*. [S.l: s.n.], 2007.

CUNHA, H. A. et al. Riverine and marine ecotypes of *Sotalia* dolphins are different species. *Marine Biology*, v. 148, n. 2, p. 449–457, 2005.

DA SILVA, V. M. F. et al. Report of the working group on distribution, habitat characteristics and preferences, and group size. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, v. 8, n. December, p. 31–38, 2010.

DA SILVA, V. M. F.; BEST, R. C. *Mammalian Species - Sotalia fluviatilis*. *The American Society of Mammalogist*. [S.l: s.n.], , 1996.

DAURA-JORGE, F. G. et al. Seasonal and daily patterns of group size, cohesion and activity of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae), in southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 22, n. 4, p. 1014–

1021, 2005.

DAWSON, S. M. Clicks and Communication: The Behavioural and Social Contexts of Hector's Dolphin Vocalizations. *Ethology*, v. 88, p. 265–276, 1991.

DERUITER, S. L. et al. Acoustic behaviour of echolocating porpoises during prey capture. *Journal of Experimental Biology*, v. 212, n. 19, p. 3100–3107, 2009.

DI BENEDITTO, A. P. M.; RAMOS, R. M. A. Biology of the marine tucuxi dolphin (*Sotalia fluviatilis*) in south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, v. 84, n. 6, p. 1245–1250, 2004.

DIAS, L. A.; HERZING, D.; FLACH, L. Aggregations of guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Sepetiba bay, Rio de Janeiro, south-eastern Brazil: Distribution patterns and ecological characteristics. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 89, n. 5, p. 967–973, 2009.

DÍAZ LÓPEZ, B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour. *Mammalian Biology*, v. 76, n. 2, p. 180–189, 2011.

DIBBLE, D. S. et al. Dolphins Signal Success by Producing a Victory Squeal. *International Journal of Comparative Psychology*, p. 0–10, 2016.

DORNELES, Paulo R. et al. High accumulation of PCDD, PCDF, and PCB congeners in marine mammals from Brazil: A serious PCB problem. *Science of the Total Environment*, v. 463–464, p. 309–318, 2013.

DORNELES, Paulo R. et al. High accumulation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in marine tucuxi dolphins (*Sotalia guianensis*) from the Brazilian coast. *Environmental Science and Technology*, v. 42, n. 14, p. 5368–5373, 2008.

ESPÉCIE, M. D. A.; TARDIN, R. H.O.; SIMÃO, S. M. Degrees of residence of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilha Grande Bay, south-eastern Brazil: a preliminary assessment. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 08, p. 1633–1639, 2010.

ESPÉCIE, M. de A. *Tamanho populacional e estimativa da sobrevivência relativa de Sotalia guianensis (Cetacea, Delphinidae) na parte oeste da Baía da Ilha Grande, RJ.* 2011. 2011.

FINNERAN, J. J. Dolphin “packet” use during long-range echolocation tasks. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 133, n. 3, p. 1796–1810, 2013.

FLACH, L.; FLACH, P. A.; CHIARELLO, A. G. Density, abundance and distribution of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis* Van Benédén, 1864), in Sepetiba Bay, Southeast Brazil. *Journal of Cetacean Research and Management*, v. 10, n. 1, p. 31–36, 2008.

FOOTE, A. D.; OSBORNE, R. W.; HOELZEL, A. R. Whale-call response to masking

- boat noise. *Nature*, v. 428, n. April, p. 32816, 2004.
- FORD, J. K. B. “Dialects” in *Encyclopedia of Marine Mammals*. [S.l.: s.n.], 2002.
- FORD, J. K. B. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Canadian Journal of Zoology*, v. 69, n. May, p. 1454–1483, 1991.
- GEISE, L. *Sotalia guianensis* (cetacea, delphinidae) population in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Mammalia*, v. 55, n. 3, p. 371–380, 1991.
- GRIDD-PAPP, M. *SoundRuler: Acoustic Analysis for Research and Teaching*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://soundruler.sourceforge.net>>. , 2003.
- HAWKINS, E. R; GARTSIDE, D. F. Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors. 2010.
- HERZING, D. Synchronous and Rhythmic Vocalizations and Correlated Underwater Behavior of Free-ranging Atlantic Spotted Dolphins (*Stenella frontalis*) and Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Bahamas. *Animal Behavior and Cognition*, v. 2, n. 1, p. 14–29, 2015.
- HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*, v. 22.2, p. 61–79, 1996.
- IVANOV, M. P. Dolphin’s echolocation signals in a complicated acoustic environment. *Acoustical Physics*, v. 50, n. 4, p. 469–479, 2004.
- JANIK, V. M. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, v. 267, n. 1446, p. 923–927, 2000.
- JANIK, V. M.; SLATER, P. J. B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal behaviour*, v. 56, n. 4, p. 829–838, 1998.
- JENSEN, F. H. et al. Calling under pressure: Short-finned pilot whales make social calls during deep foraging dives. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 278, n. 1721, p. 3017–3025, 2011.
- KAMMINGA, C. et al. Investigations on Cetacean Sonar X: A comparative analysis of underwater echolocation clicks of *Inia* spp. and *Sotalia* spp. *Aquatic Mammals*, 1993.
- KAPLAN, M. B. et al. Repeated call types in Hawaiian melon-headed whales (*Peponocephala electra*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 136, n. 3, p. 1394–1401, 2014.
- KING, S. L.; JANIK, V. M. Come dine with me: food-associated social signalling in

wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Animal Cognition*, p. 969–974, 2015.

KJERFVE, B. et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, v. 17, n. 13, p. 1609–1643, 1997.

LA MANNA, G. et al. Assessing geographical variation on whistle acoustic structure of three Mediterranean populations of common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Behaviour*, v. 154, n. 5, p. 583–607, 2017.

LADEGAARD, Michael et al. Dolphin echolocation behaviour during active long-range target approaches. *The Journal of Experimental Biology*, v. 10, p. jeb.189217, 2019.

LAILSON-BRITO, J. et al. High organochlorine accumulation in blubber of Guiana dolphin, *Sotalia guianensis*, from Brazilian coast and its use to establish geographical differences among populations. *Environmental Pollution*, v. 158, n. 5, p. 1800–1808, 2010.

LAMMERS, M. O.; AU, Whitlow W. L.; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 114, n. 3, p. 1629–1639, 2003.

LEÃO, Dalila T.; MONTEIRO-FILHO, Emygdio L.A.; SILVA, Flávio J.L. Acoustic parameters of sounds emitted by *Sotalia guianensis*: Dialects or acoustic plasticity. *Journal of Mammalogy*, v. 97, n. 2, p. 611–618, 2016.

LESAGE, V. et al. The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Marine Mammal Science*, v. 15, n. 1, p. 65–84, 1999.

LI, S. et al. Origin of the double- and multi-pulse structure of echolocation signals in Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 118, n. 6, p. 3934–3940, 2005.

LIMA, J. Y. et al. Variation of age and total length in *Sotalia guianensis* (Van Béneden, 1864) (Cetacea, Delphinidae), on the coast of Espírito Santo state, Brazil. *Braz. J. Biol.*, v. 1, p. 1–7, 2017.

LODI; HELTZEL. Grandes agregações do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía da Ilha Grande, Rio de Janeiro. *Revista Bioikos*, v. 12, n. 2, p. 26–30, 1998.

LUÍS, A. R.; COUCHINHO, M. N.; DOS SANTOS, M. I. E. A quantitative analysis of pulsed signals emitted by wild bottlenose dolphins. *PLoS ONE*, v. 11, n. 7, p. 1–11, 2016.

MADSEN, P. T. Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*). *Journal of Experimental Biology*, v. 208, n. 2, p. 181–194, 2005.

MADSEN, P. T.; SURLYKKE, A. Functional Convergence in Bat and Toothed Whale

Biosonars. *Physiology*, v. 28, n. 5, p. 276–283, 2013.

MARTIN, M. J. et al. Heaviside's dolphins (*Cephalorhynchus heavisidii*) relax acoustic crypsis to increase communication range. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 2018.

MAY-COLLADO, L. J. Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 134, n. 4, p. EL359-EL365, 2013.

MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. Reexamining the Relationship Between Body Size and Tonal Signals Frequency in Whales: a Comparative Approach Using a Novel Phylogeny. *Marine Mammal Science*, v. 23, n. 3, p. 524–552, 2007.

MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 125, n. 2, p. 1202–1213, 2009.

MCDONALD, M. A.; HILDEBRAND, J. A.; WIGGINS, S. M. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 120, n. 2, p. 711–718, 2006.

MOLISANI, M. M. et al. Environmental changes in Sepetiba Bay, SE Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 4, n. 1, p. 17–27, 2004.

MONTEIRO-FILHO, E. L. et al. Skull Shape and Size Divergence in Dolphins of the Genus *Sotalia*: a Tridimensional Morphometric Analysis. *Journal of Mammalogy*, v. 83, n. 1, p. 125–134, 2002.

MORISAKA, T. et al. Effects of Ambient Noise on the Whistles of Indo-Pacific Bottlenose Dolphin Populations. *Journal of Mammalogy*, v. 86, n. 3, p. 541–546, 2005.

MORISAKA, T.; CONNOR, R. C. Predation by killer whales (*Orcinus orca*) and the evolution of whistle loss and narrow-band high frequency clicks in odontocetes. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 20, n. 4, p. 1439–1458, 2007.

MURRAY, S. O.; MERCADO, E.; ROITBLAT, H. L. Characterizing the graded structure of false killer whale (*Pseudorca crassidens*) vocalizations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 104, n. 3, p. 1679–1688, 1998.

NERY, M. F.; ESPÉCIE, M.; SIMÃO, S. M. Site fidelity of *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) fidelity in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil Bay Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 25, n. 2, p. 182–187, 2008.

NEVES, S. *Acoustic Behaviour of Risso's dolphins, Grampus griseus, in the Canary Islands, Spain* Silvana Neves. 2012.

OSWALD, J. N.; RANKIN, S.; BARLOW, J. The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid species. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 116, n. 5, p. 3178–3185, 2004.

OVERSTROM, N. A. Association between burst-pulse sounds and aggressive behavior in captive Atlantic bottlenosed dolphins (*Tursiops truncatus*). *Zoo Biology*, v. 2, n. 2, p. 93–103, 1983.

PAPALE, E. et al. Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 133, n. 2, p. 1126–34, 2013.

PEREIRA, S. D. et al. Baía de Sepetiba: Caracterização sedimentar. 2016, [S.l: s.n.], 2016.

PERRTREE, R. M. et al. First observed wild birth and acoustic record of a possible infanticide attempt on a common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, v. 32, n. 1, p. 376–385, 2016.

PESSANHA, A. L. M.; ARAÚJO, F. G. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 57, n. 5–6, p. 817–828, 2003.

QUINN, G. P. et al. *Experimental design and data analysis for biologists*. [S.l: s.n.], 2002. v. 277.

RAMOS, M. R.; DI BENEDITTO, A. P.; WILLE LIMA, R. N. Growth parameters of *Pontoporia blainvillei* and *Sotalia fluviatilis* (Cetacea) in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Aquatic Mammals*, v. 261, n. 1, p. 65–75, 2000.

RAMOS, R. M. A. et al. Morphology of the guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) off Southeastern Brazil: Growth and geographic variation. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, v. 8, n. 1–2, p. 137–149, 2010.

RANKIN, S. et al. Patterned burst-pulse vocalizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis borealis*. p. 1213–1218, 2007.

RANKIN, S. et al. Vocalizations of the rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis*, in the Pacific Ocean. *Marine Mammal Science*, v. 31, n. 4, p. 1538–1548, 2015.

RICE, D. W. “Classification (Overall)” in *Encyclopedia of Marine Mammals*. [S.l: s.n.], 2002.

RIDGWAY, S. et al. On doing two things at once: dolphin brain and nose coordinate sonar clicks, buzzes and emotional squeals with social sounds during fish capture. *Journal of Experimental Biology*, v. 218, n. 24, p. 3987–3995, 2015.

RIDGWAY, S. H. et al. Forward shift of feeding buzz components of dolphins and belugas during associative learning reveals a likely connection to reward expectation, pleasure and brain dopamine activation. *Journal of Experimental Biology*, v. 217, n.

16, p. 2910–2919, 2014.

ROSAS, F. C.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Reproduction of the Estuarine Dolphin (*Sotalia Guianensis*) on the Coast of Paran , Southern Brazil. *Journal of Mammalogy*, v. 83, n. 2, p. 507–515, 2002.

ROSAS, F. C. W.; BARRETO, A. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Age and growth of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) (Cetacea, Delphinidae) on the Parana coast, southern Brazil. *Fishery Bulletin*, v. 101, n. 2, p. 377–383, 2003.

ROSSI-SANTOS, M.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, v. 143, n. 3, p. 347–364, 2006.

ROSSI-SANTOS, M. R.; WEDEKIN, L. L.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Residence and site fidelity of *Sotalia guianensis* in the Caravelas River Estuary, eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, v. 87, n. 01, p. 207, 2007.

ROSSI-SANTOS, M. R.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, v. 143, n. 3, p. 347–364, 2006.

SANTOS, M. C. O.; ROSSO, S. Ecological aspects of marine tucuxi dolphins (*Sotalia guianensis*) based on group size and composition in the Cananéia Estuary, southeastern Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, v. 6, n. June, p. 71–82, 2007.

SANTOS, F.C. *Estrutura populacional e diversidade genética de Sotalia guianensis (VAN BÉNÉDEN, 1864) (CETACEA, DELPHINIDAE) no litoral centro-sul do Estado do Rio de Janeiro*. 2015.

SANTOS, M. C. O. et al. Age estimation of marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 83, n. 1, p. 233–236, 2003.

SANTOS, M. C. O. et al. Group size and composition of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) (Van Bénèden, 1864) in the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, n. 1, p. 111–120, 2010.

SOLDEVILLA, M. S. et al. Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 124, n. 1, p. 609–624, 2008.

SØRENSEN, P. M. et al. Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific Reports*, 2018.

TYACK, P. L. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy*, v. 89, n. 3, p. 549–558, 2008.

VAN GINKEL, C. et al. Whistling in a noisy ocean: bottlenose dolphins adjust whistle frequencies in response to real-time ambient noise levels. *Bioacoustics*, v. 4622, n. August, p. 1–15, 2017.

VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Vocalizations and behaviour of Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Ethology*, v. 107, n. 8, p. 701–716, 2001.

VAN PARIJS, S. M.; SMITH, J.; CORKERON, P. J. Using calls to estimate the abundance of inshore dolphins: A case study with Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Journal of Applied Ecology*, v. 39, n. 5, p. 853–864, 2002.

WATKINS, W. A. The harmonic interval : fact or artifact in spectral analysis of pulse trains. *Proceedings of the Second Symposium on Marine Bio-Acoustics*, v. 2, n. 68, p. 15–43, 1968.

WEILGART, L.; WHITEHEAD, H. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire in South Pacific sperm whales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 40, n. 5, p. 277–285, 1997.

WEIR, C. R. et al. The burst-pulse nature of “squeal” sounds emitted by sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 87, n. 1, p. 39–46, 2007.

WISNIEWSKA, D. M. et al. Buzzing during biosonar-based interception of prey in the delphinids *Tursiops truncatus* and *Pseudorca crassidens*. *Journal of Experimental Biology*, v. 217, n. 24, p. 4279–4282, 2014.

YAMAMOTO, Y. et al. Acoustic characteristics of biosonar sounds of free-ranging boto ( *Inia geoffrensis* ) and tucuxi ( *Sotalia fluviatilis* ) in the Negro River, Amazon, Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 138, n. 2, p. 687, 2015.