

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

TESE

**ECOLOGIA ACÚSTICA DO BOTO-CINZA (*SOTALIA GUIANENSIS*)
NAS BAÍAS DE SEPETIBA E ILHA GRANDE**

ISRAEL DE SÁ MACIEL

2020



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

**ECOLOGIA ACÚSTICA DO BOTO-CINZA (*SOTALIA*
GUIANENSIS) NAS BAÍAS DE SEPETIBA E ILHA GRANDE**

ISRAEL DE SÁ MACIEL

Sob orientação do Professor

Rodrigo Hipólito Tardin

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

Seropédica, RJ

Fevereiro, 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sá Maciel, Israel, 1991-
SM152e Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia
guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande /
Israel Sá Maciel. - Seropédica, 2020.
112 f.: il.

Orientador: Rodrigo Hipólito Tardin.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Biologia Animal, 2020.

1. bioacústica. 2. paisagem acústica. 3.
estabilidade vocal. 4. impactos antrópicos. 5. variação
geográfica. I. Hipólito Tardin, Rodrigo, 1985-
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Biologia Animal III. Título.

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

ISRAEL DE SÁ MACIEL

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal, área de Concentração em Biodiversidade Animal.

TESE APROVADA EM 10/02/2020

Rodrigo Hipólito Tardin Oliveira (Dr.) PPGBA
(Orientador)

Renata Santoro de Souza Lima (Dra.) UFRN

Camila Domit (Dra.) UFPR

Liliane Ferreira Lodi (Dra.) Instituto Mar Adentro

Ildemar Ferreira (Dr.) UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Esta tese não é o produto intelectual de apenas uma pessoa nem foi construída em apenas quatro anos. Este documento é o produto de uma longa trajetória de aprendizado, amadurecimento e muitas conversas com amigos e colegas de profissão. De antemão gostaria de agradecer a muitos professores e colegas que contribuíram para minha formação intelectual, mas que não seguem na minha trajetória. Agradeço imensamente ao Prof. Alexandre Pimenta e ao Dr. André Breves que me deram a primeira oportunidade de estágio no MNRJ quando eu ainda estava no primeiro período da graduação. Esta experiência foi fundamental a ajudar a me encontrar como pesquisador.

Preciso agradecer ao Prof. Marcelo Azevedo Neves, pelo auxílio com o osciloscópio que foi muito útil para o terceiro capítulo.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos que permitiu minha dedicação a esta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço também ao Bill Rossiter e a Cetacean Society International por todos os apoios concedidos para participar de conferências por todo o mundo. Estas foram fundamentais para minha carreira e para fazer novas amizades.

Agradeço ao VIVA Baleias, Golfinhos e cia pelo apoio que permitiu as coletas de dados na Baía da Ilha Grande.

Tenho um enorme agradecimento a Prof. Dra. Sheila Simão por ter me aceitado no LBEC em 2011 e por ter compartilhado seu conhecimento sobre a bioacústica de cetáceos. Foi extremamente gratificante aprender com a pioneira da bioacústica de cetáceos no Brasil. Ao longo dos anos nossa relação profissional desenvolveu-se em uma amizade que ainda cultivamos em meio a cinemas e muitas risadas.

Agradeço a Dra. Luciana Figueiredo pela ajuda com Raven no início dos meus estudos com bioacústica, pelas inúmeras discussões sobre diversos assuntos e pela ajuda com as análises não lineares durante meu mestrado. Nossos campos em Cabo Frio eram sempre divertidos.

Agradeço aos melhores pilotos que conheço Marco Aurélio e Dr. Paulo Flores. Obrigado por ter compartilhado comigo seus conhecimentos de campo e suas brincadeiras. Isto é fundamental na minha jornada até hoje.

Tenho um profundo agradecimento aos meus colegas do Laboratório de Bioacústica e Ecologia de Cetáceos, desde os mais antigos aos mais novos. Muitos de vocês me deram suporte e inspiração a continuar minha jornada. Obrigado a todos que contribuíram com as coletas de dados em campo: Ana Luiza, Cezar, Danilo, Distinto, Eduardo, Guilherme, Isabela, Julia, Luciene, Samara e Tereza. Agradeço também aqueles que contribuíram com sua experiência: Sergio, Luciana, Mariana, Rodrigo e Felipe. Sem vocês esse trabalho não seria possível.

Agradeço a Prof. Maria Alice Santos Alves e a todos do Laboratório de Ecologia de Aves e Comportamento Animal por ter me acolhido neste último ano. Este apoio foi

fundamental para o andamento da minha pesquisa. Ainda temos uma longa trajetória de parcerias juntos.

Especialmente agradeço ao meu amigo, padrinho e orientador Rodrigo Tardin pelos anos de amizade e trabalho em conjunto que agora culminou em sua orientação nesta tese. É incrível trabalhar ao seu lado e foi muito bom crescermos academicamente juntos. Eu realmente não vejo ninguém melhor para substituir a Sheila nesta parte da minha caminhada. Obrigado por todo apoio acadêmico e pessoal ao longo dos últimos 8 anos e por ser o melhor parceiro de campo!

Agradeço muitíssimo ao Gabriel (Boto) por toda ajuda com as análises do ARTwarp que foram fundamentais para esta tese. Obrigado pela sua amizade e parceria profissional. Espero termos ainda muitos anos de parcerias e muitas outras histórias de RT pra contar!

Tenho um enorme agradecimento a Julia Dombroski pela ajuda com o PAMGuide que foram importantes para o terceiro capítulo dessa tese. Muito obrigado por todas as conversas sobre ciência, sobre a vida e tudo mais. Obrigado pela nossa amizade que só cresce.

Agradeço especialmente ao meu amigo, padrinho e irmão João Guilherme pelos 20 anos de amizade e companheirismo e por todas nossas conversas sobre o nosso futuro incerto. É ótimo sempre poder contar com você em todas as situações.

Tenho um gigante agradecimento a minha esposa Juliana Oliveira por todos os anos de carinho e apoio. Obrigado por todo o suporte nos momentos difíceis. Quero que você continue sempre apoiando a pesquisa no Brasil (risos).

Mais do que a todos os outros quero fazer um agradecimento especial a minha família, minha avó, meu irmão e principalmente aos meus pais que desde a minha infância se sacrificaram para investir na minha educação. Eu nunca terei como retribuir a altura todo o apoio que vocês me deram. Eu tenho plena consciência dos sacrifícios que dois professores do subúrbio do RJ tiveram que fazer para garantir que eu pudesse chegar até aqui. Esta tese nunca seria possível sem o apoio de vocês.

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

Albert Einstein

RESUMO

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Os repertórios acústicos podem variar em escala temporal e espacial, que podem ser influenciadas por alianças sociais, por mudanças na paisagem acústica ou geográficas. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças espaciais e temporais no repertório acústico do boto-cinza (*Sotalia guianensis*). Este estudo usa como base um banco de gravações na baía de Sepetiba entre os anos 1998 a 2002 e de 2015 a 2018 e em 2017 e 2018 na Baía da Ilha Grande. Foram comparadas as mudanças temporais nos parâmetros acústicos de assovios, nos contornos de frequência e nos assovios assinatura. Foram comparados os contornos de frequência entre as populações das baías de Sepetiba e Ilha Grande. Ainda em escala espacial, foi modelado a influência do ruído antropogênico e de variáveis ambientais nos parâmetros acústicos e na ocorrência. O repertório do boto-cinza pode ser estável por cerca de 20 anos. Entretanto, ao longo do tempo, houve redução da diversidade de assovios, redução da duração das emissões e redução de mais de 90% da taxa e emissão, e um aumento nas frequências máximas e mínimas. Na comparação entre baías identificamos 180 contornos de frequência na população da Baía da Ilha Grande e 53 na população da Baía de Sepetiba. As variações geográficas observadas não se dão apenas nos tipos de assovios emitidos, mas na diversidade dos sons também há um baixo compartilhamento. A modelagem indicou que os boto-cinza vocalizam mais, com assovios mais longos e mais complexos em habitats menos ruidosos. Entretanto, não há mudança no padrão de ocorrência em relação aos níveis de ruído, mas sim devido as variáveis ambientais. Entre as baías ainda não está claro os motivos que promovem as diferenças de diversidade acústica. Contudo, tanto a variação temporal quanto a predita pelos modelos em escala espacial indicam que o boto-cinza apresenta uma resposta do comportamento acústico similar ao nível de ruído antropogênico. Contudo, as variáveis ambientais foram mais importantes que os níveis de ruído para a ocorrência do boto-cinza.

Palavras-chave: bioacústica, paisagem acústica, estabilidade vocal, impactos antrópicos, variação geográfica.

ABSTRACT

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande**. 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Acoustic repertoires may change in temporal and spatial scales, which are influenced by social alliances, changes in soundscape or in geography. Thus, the goal of this study is to evaluate the spatial and temporal changes in the acoustic repertoire of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). This study is based on a dataset of acoustic recordings in Sepetiba Bay from 1998 to 2002, new recordings from 2015 to 2018 in Sepetiba Bay and 2017 and 2018 in Ilha Grande Bay. Temporal changes in the acoustic parameters of whistles, frequency contours and signature whistles were compared. Frequency contours were compared between populations of Sepetiba and Ilha Grande bays. Still in spatial scale, the influence of anthropogenic noise and environmental variables on the acoustic parameters and occurrence was modeled. Guiana dolphin's acoustic repertoire was stable for about 20 years. However, over time, there was a reduction in the diversity of whistles, a reduction in the duration of emissions, a reduction of over 90% in whistle rate, and an increase in the maximum and minimum frequencies. In the comparison between bays we identified 180 frequency contours in the population of Ilha Grande Bay and 53 in the population of Sepetiba Bay. The geographical variation observed is not only in the types of whistles emitted, but also in the diversity of sounds we found low sharing. Modeling indicated that Guiana dolphins vocalize more, with longer and more complex whistles in less noisy habitats. However, there is no change in the pattern of occurrence regarding noise levels, but due to environmental variables. It is still unclear the factors that promote differences in acoustic diversity between bays. However, both the temporal variation and the predicted by the spatial scale models indicate that the Guiana dolphin presents an acoustic response similar to the anthropogenic noise level. However, environmental variables were more important than noise levels for occurrence of Guiana dolphins.

Keywords: bioacoustics, soundscape, vocal stability, anthropic impacts, geographic variation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da estrutura básica de produção de som em odontocetos proposta por CRANFORD et al. (1996) contendo o complexo MLDB (lábios fônicos) (adaptado de <i>Marine mammals: evolutionary biology</i>).....	1
Figura 2. Grupo de boto-cinza (<i>Sotalia guianensis</i>) na Baía de Sepetiba.....	2
Figura 3. Mapa do complexo estuarino das baías de Sepetiba e Ilha Grande.....	3
Figura 4. Mapa da região da Baía de Sepetiba, mostrando as delimitações de espaço da APA Marinha do Boto Cinza.....	4
Figura 5. Mapa da região da Baía de Sepetiba, mostrando as áreas de uso portuária e industrial.....	5
Figura 6. Variação do número de publicações sobre assovios assinatura desde 1969 até 2017.....	16
Figura 7. Mapa da Baía de Sepetiba representando as rotas criadas para amostragem. Em azul, verde e vermelho estão representadas respectivamente as rotas 1, 2 e 3.....	20
Figura 8. Curva do coletor referente ao número acumulado de tipos de assovios emitidos pelo boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , para a série temporal passado (1998-2002) na Baía de Sepetiba, indicando uma tendência de estabilização no número de novas categorias (N = 460 assovios).....	22
Figura 9. Categorias identificadas nos contornos de frequência do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , da série temporal passado (1998-2002) na Baía de Sepetiba.....	23
Figura 10. Curva do coletor referente aos tipos de sons emitidos pelo boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , para a série temporal presente (2015-2018) na Baía de Sepetiba, indicando uma estabilização no número de novas categorias (N = 201 assovios).....	23
Figura 11. Categorias identificadas nos contornos de frequência do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , da série temporal presente (2015-2018) na Baía de Sepetiba.....	24
Figura 12. Categorias de contornos de frequência identificados em ambas as séries temporais (desde 1998 até 2018) para a população de boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> na Baía de Sepetiba.	25
Figura 13. Assovios assinaturas identificados para o boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , de 1998 a 2018 para a população de boto-cinza da Baía de Sepetiba.....	26
Figura 14. Porcentagem de assovios assinatura exclusivos em cada série temporal e assovios assinatura que se mantiveram estáveis na população de boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía de Sepetiba.....	26
Figura 15. Boxplot comparando a frequência máxima (Fmax) do boto-cinza, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.....	28

Figura 16. Boxplot comparando a frequência mínima (Fmin) do boto-cinza, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.....	29
Figura 17. Boxplot comparando a variação de frequência do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.....	29
Figura 18. Boxplot comparando a duração dos assovios (duração) do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.....	30
Figura 19. Redução da taxa de emissão do boto-cinza, na Baía de Sepetiba entre a série temporal passado (1998-2002) (0,27 assovios/min/animal) e o presente (2015-2018) (0,004 assovios/min/animal). Indica uma redução de 98,5%.....	30
Figura 20. Mapa da área de estudo na Baía da Ilha Grande. Em verde está delimitando a área amostrada na parte oeste da Baía da Ilha Grande.....	46
Figura 21. Curva do coletor referente aos 180 tipos de contornos de frequência emitidos pelo boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía da Ilha Grande, indicando uma tendência de estabilização no número de novas categorias (N = 439 assovios). Cada ponto do gráfico corresponde ao número cumulativo de categorias a cada dia de gravação.....	47
Figura 22. Contornos de frequência classificados pelo método ARTwarp para a população de boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía da Ilha Grande.....	48
Figura 23. Contornos de frequência compartilhados classificados pelo método ARTwarp para as populações de boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.....	49
Figura 24. Representação esquemática dos componentes da paisagem acústica.....	58
Figura 25. Mapa de ocorrência do boto-cinza na Baía de Sepetiba entre os anos de 2015 e 2018. A coloração dos grids representa o esforço de amostragem em quilômetros percorridos. A coloração verde representa os menores valores de esforço e a coloração vermelha representa os maiores valores de esforço.....	63
Figura 26. Mapa dos locais de gravação do boto-cinza indicando os pontos de coleta em que foram gravados os assovios. A coloração dos grids representa o esforço de amostragem em minutos de gravação. A coloração verde representa os menores valores de esforço e a coloração vermelha representa os maiores valores de esforço.....	64
Figura 27. Espectrograma representando o ruído produzido por um navio no canal de navegação da Baía de Sepetiba.....	64
Figura 28. Variações da densidade espectral de potência (PSD) nas faixas de frequência dos ruídos produzido por um navio no canal de navegação da Baía de Sepetiba Os valores expressos em porcentagem indicam a densidade de ruído ao longo das faixas de frequência.....	65
Figura 29. Espectrograma representando o ruído produzido por lanchas taxi boat próximo à Ilha de Itacuruçá na Baía de Sepetiba.....	65

Figura 30. Variações da densidade espectral de potência (PSD) nas faixas de frequência dos ruídos produzido por lanchas taxi boat próximo à Ilha de Itacuruçá na Baía de Sepetiba Os valores expressos em porcentagem indicam a densidade de ruído ao longo das faixas de frequência.....	66
Figura 31. Mapa das rotas de turismo, canal de navegação e fundeadouros na Baía de Sepetiba.....	67
Figura 32. Mapeamento de áreas mais ruidosas com base nos valores de SEL (db). A coloração dos grids representa o nível de SEL. A coloração verde representa os menores níveis SEL e a coloração vermelha representa os maiores níveis de SEL.....	67
Figura 33. Representação gráfica da relação da variável explanatória SEL retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	69
Figura 34. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam a variação dos dados em relação correlação.....	69
Figura 35. Representação gráfica da relação da variável explanatória substrato retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	70
Figura 36. Predições da taxa de emissão dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	71
Figura 37. Predições da duração dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	72
Figura 38. Predições da frequência máxima dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	73
Figura 39. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	74
Figura 40. Representação gráfica da relação da variável explanatória SST retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	75
Figura 41. Representação gráfica da relação da variável explanatória heterogeneidade de substratos retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	75

Figura 42. Predições da frequência mínima dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	76
Figura 43. Predições da variação de frequência dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	77
Figura 44. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	78
Figura 45. Representação gráfica da relação da variável explanatória SST retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.....	78
Figura 46. Representação gráfica da relação da variável explanatória heterogeneidade de substrato retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada. Os números representados no eixo X indicam a quantidade de tipos de substrato em um mesmo grid.....	79
Figura 47. Predições da ocorrência usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição de assovios assinatura por ano na população de boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> , na Baía de Sepetiba.....	27
Tabela 2. Comparação dos parâmetros acústicos entre as séries temporais passado e presente, representando os valores de média, desvio padrão, mediana (MED), valor do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (U) e sua significância. Os valores de p representados com * indicam que a diferença é estatisticamente significativa. Os valores do teste de Vargha e Delaney's A (A) representados com ** indicam grande dominação estocástica de um grupo em relação a outro.....	28
Tabela 3. Comparações de resultados com MELO-SANTOS (2018) para as baías de Sepetiba (SEP) e Ilha Grande (BIG).....	50
Tabela 4. Teste de Moran para autocorrelação espacial das variáveis resposta.....	68
Tabela 5. Modelos usados para testar a influência do ruído na taxa de emissão do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	68
Tabela 6. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.....	68
Tabela 7. Contribuição de cada variável significativa para o Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso para explicar a variação da taxa de emissão dos assovios.....	70
Tabela 8. Modelos usados para testar a influência do ruído na duração dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	71
Tabela 9. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.....	71
Tabela 10. Modelos usados para testar a influência do ruído na frequência máxima dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	72
Tabela 11. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.....	73
Tabela 12. Modelos usados para testar a influência do ruído na frequência mínima dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	74
Tabela 13. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.....	74
Tabela 14. Modelos usados para testar a influência do ruído na variação de frequência dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	76
Tabela 15. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.....	76
Tabela 16. Modelos usados para testar a influência do ruído na ocorrência do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.....	77
Tabela 17. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado...	78

LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

± - Desvio padrão
AIC - Akaike
AIS – Sistema de identificação automática
APA - Área de Proteção Ambiental
ART - Teoria de Ressonância Adaptativa
DD - Deficiente de dados
dB - Decibéis
Fmax - Frequência máxima
Fmin - Frequência mínima
GAM - Modelo generalizado aditivo
GLM - Modelo generalizado linear
Hz - Hertz
kHz – Quilohertz
MED - Mediana
MLDB - “*monkey lips*”/dorsal Bursa
MMA - Ministério do Meio Ambiente
N - Tamanho da amostra
PSD - Densidade do espectro de potência
RL – Nível de ruído recebido
RMS - Root mean square
SEL - Nível de exposição a fonte sonora
SST - Temperatura superficial do mar
SIGID - SIGnature IDentification
TEBIG - Terminal da Baía da Ilha Grande
V - Volts

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Características dos cetáceos.....	1
1.2 O boto-cinza.....	2
1.3 Áreas de Estudo.....	3
1.4 Objetivos e Organização da Tese.....	7
1.5 Referências Bibliográficas.....	8
2- CAPÍTULO I – QUÃO ESTÁVEL PODE SER O REPERTÓRIO ACÚSTICO DO BOTO-CINZA?	12
2.1- Introdução.....	15
2.2- Metodologia.....	19
2.3- Resultados.....	22
2.4- Discussão.....	31
2.5 Referências Bibliográficas.....	35
3- CAPÍTULO II – VARIAÇÕES GEOGRÁFICAS NO REPERTÓRIO ACÚSTICO DO BOTO-CINZA ENTRE AS BAÍAS DE SEPETIBA E ILHA GRANDE	41
3.1- Introdução.....	44
3.2- Metodologia.....	45
3.3- Resultados.....	46
3.4- Discussão.....	49
3.5 Referências Bibliográficas.....	52
4- CAPÍTULO III – MODELANDO A INFLUÊNCIA DO RUÍDO ANTROPOGÊNICO NO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DO BOTO-CINZA NA BAÍA DE SEPETIBA	55
4.1- Introdução.....	58
4.2- Metodologia.....	60
4.3- Resultados.....	63
4.4- Discussão.....	80
4.5 Referências Bibliográficas.....	83

5- CONCLUSÕES GERAIS.....	87
6- RECOMENDAÇÕES.....	88
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
8- ANEXO I.....	103
9- ANEXO II.....	104
10- ANEXO III.....	109
11- ANEXO IV.....	110
12- ANEXO V.....	111
13- ANEXO VI.....	112
14- ANEXO VII.....	113
15- ANEXO VIII.....	114
16- ANEXO IX.....	115
17- ANEXO X.....	116

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Características acústicas dos odontoceto

Dentre as adaptações morfofisiológicas que permitiram os Cetáceos conquistarem o ambiente aquático, foram necessárias adaptações em sua comunicação. O ambiente marinho impõe limitações a visão, uma vez que a água funciona como um filtro solar, associada à alta presença de material particulado em suspensão, a luz só penetra nas camadas mais superficiais deste ambiente, limitando a ação da visão a pequenas distâncias (NACHTIGALL, 2012). Uma vez que a água é mais densa que o ar e as ondas sonoras se propagam à distância com menor perda por dispersão e com velocidade até cinco vezes maior do que no ar, ampliando assim a capacidade do animal em se comunicar acusticamente neste ambiente (BERTA *et al.*, 2015). Desta forma, o processo de comunicação passou pelo abandono de uma comunicação preferencialmente visual e olfativa para uma comunicação acústica que é mais adequada ao ambiente aquático.

De acordo com CRANFORD *et al.* (1996), a produção de som em odontocetos consiste em um complexo estrutural associado com as passagens nasais superiores denominados "lábios de macaco" / bursa dorsal (complexos MLDB - "monkey lips"/*dorsal bursa*) (recentemente também chamado de lábios fônicos). Os odontocetos (exceto cachalotes) possuem dois pares de lábios fônicos. Cada complexo MLDB está localizada logo abaixo dos sacos aéreos. O MBL é composto por: um par de bolsas de gordura anterior e bursas dorsal posterior, onde um par de lábios fônicos musculares são incorporados (Figura 1). CRANFORD *et al.* (1996), hipotetizou que apesar das diferenças anatômicas entre cachalotes e outros odontocetos o mecanismo de produção de sons pulsados deve ser homóloga em todos os odontocetos. Já de acordo com MADSEN *et al.* (2013), os odontocetos usam apenas um par de lábios fônicos por vez, sendo o par direito usado, principalmente para a produção de sons pulsantes e o par esquerdo para sons tonais. Além dos lábios fônicos, o melão também apresenta uma importante função na emissão de som dos odontocetos, funcionando como uma lente acústica, composta por lipídios de baixa densidade e tecido conjuntivo, capaz de direcionar os sons emitidos por refração (BERTA *et al.*, 2015).

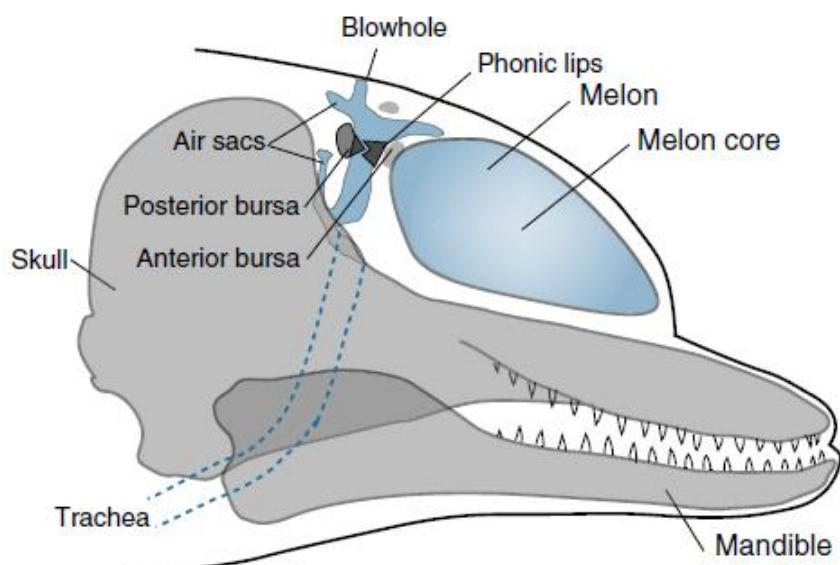


Figura 1. Representação da estrutura básica de produção de som em odontocetos proposta por CRANFORD *et al.* (1996) contendo o complexo MLDB (lábios fônicos) (adaptado de *Marine mammals: evolutionary biology*).

Em geral, a orelhas dos mamíferos, assim como os odontocetos, inclui um ouvido externo ou pavilhão auricular que coleta as ondas sonoras na membrana timpânica (calcificado nos cetáceos) afinando em um canal auditivo que separa a orelhas externo e média. A orelha média é uma câmara cheia de ar dentro do osso timpânico ou bula, que contém uma cadeia de três ossículos (martelo, bigorna e estribo). Estes ossículos formam uma ponte óssea contínua para conduzir as vibrações do som a partir do interior da membrana timpânica à janela oval no ouvido interno, amplificando-consideravelmente ao longo da cadeia. Especificamente nos odontocetos, a principal modificação anatômica se dá na calcificação da membrana timpânica, presumivelmente para tornar-se mais sensível a frequências mais altas e mais resistentes a grandes pressões (HEMILÄ et al., 2001).

O mecanismo de recepção de som nos cetáceos se dá inicialmente na maxila inferior, onde cada metade possui um corpo gorduroso que se conecta diretamente com a parede lateral da bula auditiva do ouvido médio (BERTA et al., 2006). Desta forma, a vibração recebida na mandíbula se distribui desde o osso timpânico, passando pela bula auditiva, até chegar à cóclea na orelha interna (HEMILÄ et al., 1999).

1.2 O boto-cinza

O boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864), é um golfinho da família Delphinidae que pode atingir até 2,2 m (RAMOS *et al.*, 2010) (Figura 2). Esta espécie ocorre desde Honduras (América Central) até a porção norte da costa de Santa Catarina (SIMÕES-LOPES, 1988). Em média o tamanho dos grupos varia ao longo da sua distribuição (FLORES *et al.*, 2018; EMIN-LIMA *et al.*, 2010). Entretanto as maiores agregações da espécie são encontradas na costa do estado do Rio de Janeiro, na baía da Ilha Grande, onde são encontrados grupos de até 450 animais (LODI & HETZEL, 1998). Apesar IUCN classificar o boto-cinza como NT (quase ameaçado), encontra-se também na lista das 10 espécies mais ameaçadas do estado do Rio de Janeiro (INEA, 2010) e Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção, categorizada como “Vulnerável” (BRASIL, 2018).



Figura 2. Grupo de boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na Baía de Sepetiba.

Apesar da ampla distribuição da espécie, a maior parte dos estudos sobre a bioacústica do boto-cinza foram realizados na costa brasileira (e.g. AZEVEDO & SIMÃO, 2002; ERBER & SIMÃO, 2004; AZEVEDO & VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS & PODOS, 2006; FIGUEIREDO & SIMÃO, 2009; BITTENCOURT *et al.*, 2017; MORON *et al.*, 2019). O repertório do boto-cinza é composto por clicks de ecolocalização, sons pulsados e assovios. O repertório de assovios é o mais bem estudado, sendo caracterizados como emissões tonais curtos e moduladas emitidas com frequência de 1,3 a 48,4 kHz (AZEVEDO & VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO & WARTZOK, 2009; ANDRADE *et al.*, 2015; MORON *et al.*, 2019). Além disso, há evidências de que parte desses assovios podem desempenhar um papel no reconhecimento individual (FIGUEIREDO & SIMÃO, 2009).

1.3 Áreas de estudo

As baías de Sepetiba e Ilha Grande compõem um complexo estuarino formado por estas duas baías contíguas (Figura 3). Apesar de possuírem características oceanográficas similares, estas baías diferenciam-se pela intensidade do uso humano.



Figura 3. Mapa do complexo estuarino das baías de Sepetiba e Ilha Grande.

A Baía de Sepetiba é circundada pelos municípios do Rio de Janeiro, Mangaratiba e Itaguaí. Esta baía é uma laguna semifechada, polihalina (psu maior que 30) com profundidades médias de 8,6m, mas que podem alcançar até 30m de profundidade (FONSECA, 1978). A composição do substrato varia entre lama, areia e cascalho acordo com a localização dentro da baía (ARAÚJO *et al.*, 2002).

Esta baía é influenciada por rios e manguezais, o que proporciona um criadouro natural para muitas espécies aquáticas. A biodiversidade local é elevada, composta de

espécies de fauna e flora ameaçadas de extinção. A ictiofauna é variada e usa a região como berçário e para alimentação (ARAUJO et al., 1998; ARAUJO et al., 2002). É comum a presença de peixes formadores de cardume da família *Engraulidae*, *Mugilidae* e *Clupeidae* (ARAUJO et al., 2002). A comunidade de invertebrados, apesar de pouco conhecida, varia espacialmente dentro da baía, sendo observado maior riqueza de crustáceos na parte externa da baía e moluscos na parte interna (CARDOSO et al., 2012). As aves marinhas, também presentes na baía de Sepetiba, são compostas majoritariamente por atobás-marrons, *Sula leucogaster*, fragatas, *Fregata magnificens* e o trinta-réis, *Sterna* sp. (FLACH et al., 2008). Na restinga da Marambaia formação arenosa com relevo e formações vegetacionais bem distintas que encerra a baía de Sepetiba (CONDE et al., 2005).

De acordo com a portaria MMA N°09, de 23 de janeiro de 2007, a Baía de Sepetiba é considerada Área Prioritária para Conservação, Uso sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira. Especificamente, a portaria indica que a área é considerada de relevância extremamente alta, sendo considerada ação prioritária a criação de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável.

Dada a recomendação do MMA, foi criada no dia 8 de outubro de 2014 (Lei Municipal n° 940) a A Área de Proteção Ambiental Marinha (APA) do Boto Cinza, situada no litoral do Município de Mangaratiba (Figura 4). Esta APA foi criada. Dentre suas considerações, está lei ressalta a Baía de Sepetiba como uma das maiores baías do Brasil (526 km²), com uma área de grande importância para a biodiversidade marinha, bem como para o boto-cinza (*Sotalia guianensis*, van Bénédén, 1864), pois abriga a maior população registrada da espécie. O boto-cinza utiliza a baía para se alimentar, reproduzir, socializar, descansar e deslocar, sendo que grande parte dessa população são residentes (e.g. FLACH et al., 2008; NERY et al., 2010).



Figura 4. Mapa da região da Baía de Sepetiba, mostrando as delimitações de espaço da APA Marinha do Boto Cinza.

De acordo com a lei N.º 940, a APA do Boto Cinza tem como finalidade proteger, ordenar, garantir e disciplinar o uso racional dos recursos ambientais da região, inclusive suas águas, assim como ordenar o turismo recreativo, as atividades de pesquisa, a pesca e promover o desenvolvimento sustentável da região.

Apesar da Baía de Sepetiba ser uma área prioritária para a conservação e abrigar unidades de conservação (UC), esta área conta com crescentes impactos antrópicos ligados ao crescimento urbano. Diversos empreendimentos com atividades portuárias e industriais apresentam impactos diretos ou indiretos a este estuário, dentre estes podemos citar: Cosigua/GERDAU, Ternium Brasil/CSA, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Distrito Industrial de Santa Cruz, estaleiro Itaguaí Construções Navais (ICN), Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (Ingá/Usiminas), Petrobrás, Porto Sudeste, porto da Marinha do Brasil, Porto de Itaguaí/Estaleiro Odebrecht, UTE FURNAS e Companhia Portuária Baía de Sepetiba (CPBS)/Vale (Figura 5).

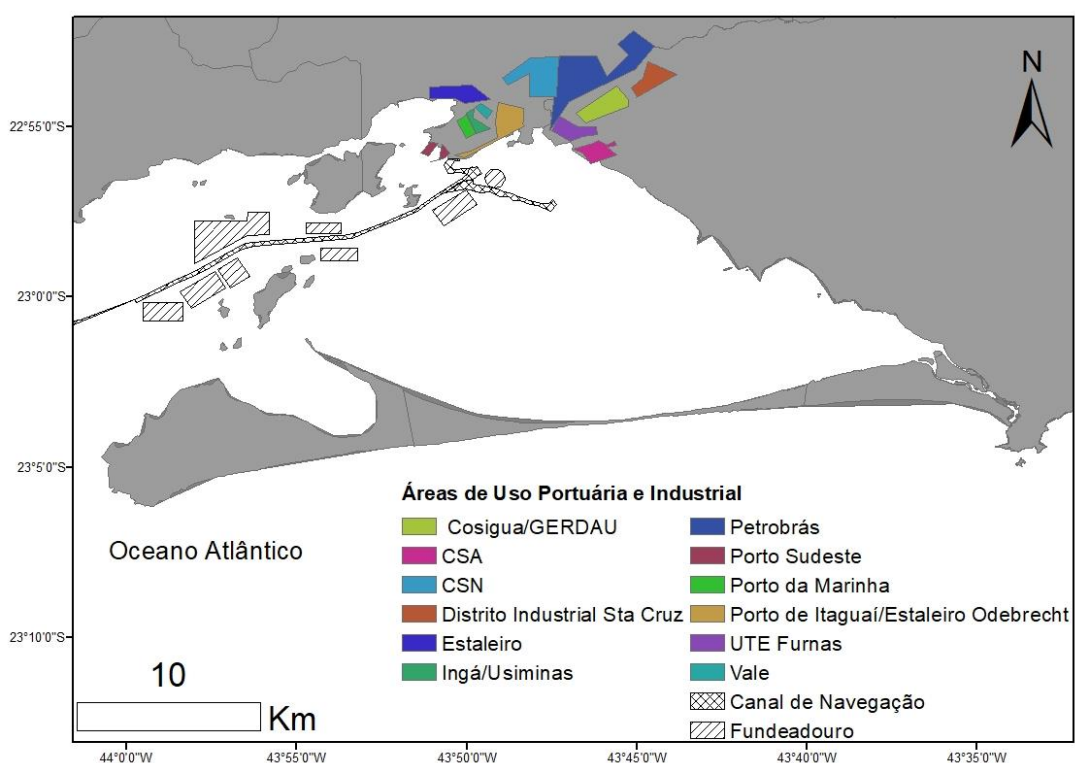


Figura 5. Mapa da região da Baía de Sepetiba, mostrando as áreas de uso portuária e industrial.

Além das atividades industriais e portuárias, há um crescente turismo náutico na Baía de Sepetiba. As atividades turísticas são realizadas, principalmente, por lanchas do tipo taxi boat. A atividade de taxi boat é permitida somente em locais previamente autorizados por embarcações com até sete metros de comprimento e motor não superior a 40 HP (Lei Municipal nº 837/2012, regulamentada pelo Decreto Municipal nº 3.452 de 30/10/2015). Para esta atividade já existem mais de 100 barqueiros cadastrados, sendo as atividades mais intensas no verão e nos finais de semana.

Ao longo da última década a Baía de Sepetiba vem sofrendo com o aumento dos níveis de contaminação da água por metais pesados e efluentes orgânicos (FERREIRA et al,

2017), aumento da turbidez (PESSANHA & ARAÚJO, 2003), elevado tráfego de embarcações (NETO, 2017), além da concentração de grandes empreendimentos industriais (ARAÚJO et al, 2017).

Devido ao uso industrial no entorno da baía e o despejo de esgoto doméstico in natura, há um alto nível de contaminação sedimentar com Cádmio, Ferro, Níquel e Manganês (LEMOS 2015). Ao redor da Ilha da Madeira e do Rio Guandu, já foram identificados os maiores níveis de contaminação por mercúrio em toda a baía (FERREIRA et al, 2017). Estes contaminantes podem ser provenientes das atividades industriais e tornam-se biodisponíveis na coluna d'água através da ressuspensão devido as atividades de dragagem (FREITAS et al, 2017).

Esses contaminantes podem se acumular na biota local (PFEIFFER et al, 1985). Altos níveis de contaminação por metais pesados (arsênio, chumbo e cádmio) já foram observados em pescado. A alta concentração destes metais pesados, especialmente Zinco e Cádmio, podem ser a principal causa para a redução da abundância da ictiofauna na baía (ARAÚJO et al, 2017). Além disso, também já foi reportado que o boto-cinza está exposto a altas concentrações de organoclorados, especialmente DDT e PCB, na Baía de Sepetiba (LAILSON-BRITO *et al.*, 2010).

Apesar do aumento da antropização nesta baía, dados preliminares indicam que os botos-cinza ainda usam preferencialmente as mesmas áreas desde 1998, mesmo que correspondam as áreas de maior tráfego de embarcações (TARDIN, comunicação pessoal). Além disso, não apresentam alteração de estado comportamental ou comportamento de evitação em relação a presença de embarcações (NETO, 2017).

Entretanto, entre novembro de 2017 e março de 2018, ocorreu uma alta mortalidade de botos-cinza nas baías de Sepetiba e Ilha Grande ocasionada por um surto de morbilivirus (CeMV; família Paramyxoviridae) (GROCH *et al.*, 2018). Este surto, teve início na Baía da Ilha Grande, onde levou a morte de mais de 50 botos-cinza (GROCH *et al.*, 2018). Entretanto, posteriormente chegou à Baía de Sepetiba, onde matou mais de 200 botos-cinza.

Diferente da Baía de Sepetiba, a Baía da Ilha Grande representa uma área comparativamente mais conservada. Esta baía localiza-se no litoral sul do estado do Rio de Janeiro e compõe, juntamente com a Baía de Sepetiba, um grande sistema estuarino com ampla comunicação com o Oceano Atlântico (SIGNORINI, 1980). É dividida em três unidades fisiográficas: parte leste (localizada a leste da Ilha Grande até a entrada da Baía de Sepetiba), canal central (caracterizado por uma depressão estreita, alongada e profunda; localizado entre a Ilha Grande e o continente) e parte oeste (correspondente ao estuário a oeste da Ilha Grande) (MAHIQUES, 1987).

O elevado índice pluviométrico anual, somado à fisiografia e à oceanografia da região, faz da Baía da Ilha Grande um dos ambientes aquáticos mais ricos em micronutrientes do Brasil (NOGARA, 2000). Desta forma, é propício a servir de criadouro a dezenas de espécies marinhas, o que tornou essa baía em uma importante zona pesqueira do Estado do Rio de Janeiro (MUEHE & VALENTINI, 1998).

De modo geral, a Baía da Ilha Grande está inserida numa área relativamente conservada, sendo considerada uma região importante onde ocorrem remanescentes da floresta atlântica. Esta área é composta por ecossistemas marinhos, sendo rodeada por costões rochosos, ilhas, praias arenosas e manguezais (BELO, 2002). Neste contexto, a

Baía da Ilha Grande é uma área de grande interesse ambiental e comercial, na qual se encontram alguns empreendimentos de grande relevância socioeconômica (um terminal petrolífero (TEBIG) e duas usinas nucleares) e algumas unidades de conservação. Dentre as UCs podemos elencar: Estação Ecológica de Tamoios, Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Aventureiro e Área de Proteção Ambiental da Baía De Paraty.

Atualmente, o Ministério do Meio Ambiente considera a região em questão como área prioritária para conservação de espécies marinhas devido ao elevado nível de biodiversidade registrado para a área (MMA, 2007).

1.4 Objetivos e Organização da Tese

O presente estudo teve como objetivo geral analisar a ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro.

Foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Analisar as variações nos parâmetros acústicos dos assovios do boto-cinza na Baía de Sepetiba nos últimos 20 anos;
- ii. Classificar os contornos de frequência do repertório de assovios do boto-cinza na Baía de Sepetiba em categorias biologicamente representativas.
- iii. Identificar e testar a ocorrência de assovios assinatura do boto-cinza na Baía de Sepetiba.
- iv. Identificar variações geográficas no repertório de assovios do boto-cinza nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.
- v. Determinar a influência do ruído antropogênico nos parâmetros acústicos do boto-cinza na Baía de Sepetiba.

O Capítulo I, intitulado “*Quão estável pode ser o repertório acústico do boto-cinza?*”, aborda os objetivos específicos (i-iii) listado anteriormente. No Capítulo II, cujo título é “*Variações geográficas no repertório acústico do boto-cinza entre as baías de sepetiba e ilha grande*”, constam os resultados e discussões referentes ao objetivo (iv). Por fim, o objetivo específico (v) é contemplado no Capítulo III, intitulado “*Modelando a influência do ruído antropogênico no comportamento acústico do boto-cinza na Baía de Sepetiba.*”

1.5 Referências Bibliográficas

- ANDRADE, L. G.; LIMA, I. M. S.; DA SILVA MACEDO, H.; DE CARVALHO, R. R.; LAILSON-BRITO, J.; FLACH, L.; DE FREITAS AZEVEDO, A. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *acta ethologica*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015.
- ARAÚJO, F. G., A. G. CRUZ-FILHO, M. C. C. AZEVEDO, AND A. C. A. SANTOS. Structure of demersal fish community in the Sepetiba Bay, RJ. **Revista Brasileira de Biologia**. 58:417–430, 1998.
- ARAÚJO, F. G., DE AZEVEDO, M. C. C., DE ARAÚJO SILVA, M., PESSANHA, A. L. M., GOMES, I. D., & DA CRUZ-FILHO, A. G. Environmental influences on the demersal fish assemblages in the Sepetiba Bay, Brazil. **Estuaries**, 25(3), 441-450, 2002.
- ARAÚJO, F. G.; PINTO, S. M., NEVES, L. M., & DE AZEVEDO, M. C. C. Inter-annual changes in fish communities of a tropical bay in southeastern Brazil: What can be inferred from anthropogenic activities? **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 1, p. 102-113, 2017.
- AZEVEDO, Alexandre F.; SIMÃO, Sheila M. Whistles produced by marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **Aquatic Mammals**, v. 28, n. 3, p. 261-266, 2002.
- AZEVEDO, ALEXANDRE F.; VAN SLUYS, MONIQUE. 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.
- BELO, W. C. O fundo marinho da Baía da Ilha Grande, RJ: Evidências da ação de correntes e de ondas no canal central com base em formas de fundo observadas em registros de sonar (100 kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, n. 1, p. 17-30, 2002.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. Sound production for communication, echolocation, and prey capture. **Marine Mammals. Evolutionary Biology. Second edition**. Elsevier, San Diego, p. 270-311, 2006.
- BERTA, Annalisa; SUMICH, James L.; KOVACS, Kit M. **Marine mammals: evolutionary biology**. Elsevier, 2015.
- BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M., ANDRADE, L. G., CARVALHO, R. R., BISI, T. L., LAILSON-BRITO JR, J., & AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2017.
- CARDOSO, R. S.; MATTOS, G.; CAETANO, C. H.; CABRINI, T. M.; GALHARDO, L. B.; MEIREIS, F. Effects of environmental gradients on sandy beach macrofauna of a semi-enclosed bay. **Marine ecology**, v. 33, n. 1, p. 106-116, 2012.
- CRANFORD, TED W.; AMUNDIN, MATS; NORRIS, KENNETH S. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation. **Journal of morphology**, v. 228, n. 3, p. 223-285, 1996.

- CONDE, M. M. S.; LIMA, H. R. P.; PEIXOTO, A. L. Aspectos florísticos e vegetacionais da Marambaia, Rio de Janeiro, Brasil. **História natural da Marambaia**, p. 133 citation_lastpage= 168, 2005.
- EMIN-LIMA, R., MOURA, L. N., RODRIGUES, A. F., & SILVA, M. L. Note on the group size and behavior of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Marapanim Bay, Pará, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, 8(1-2), 167-170, 2010.
- ERBER, Claudia; SIMÃO, Sheila M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi Dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 2, p. 381-385, 2004.
- FERREIRA, P.H.G. et al. Estudo da Contaminação dos Sedimentos Superficiais da baía de Sepetiba por Mercúrio. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*. Itapetininga. v. 4, n. 7. 2017.
- FIGUEIREDO, L. D & SIMÃO, S. M. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, p. 1563-1569, 2009.
- FLACH, L., FLACH, P. A., & CHIARELLO, A. G. Aspects of behavioral ecology of *Sotalia guianensis* in Sepetiba Bay, southeast Brazil. **Marine Mammal Science**, 24(3), 503-515, 2008.
- FLORES, Paulo AC; DA SILVA, Vera MF; FETTUCCIA, Daniela de C. Tucuxi and Guiana Dolphins: *Sotalia fluviatilis* and *S. guianensis*. In: **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2018. p. 1024-1027.
- FONSECA, M. R. M. R. Water quality in the Sepetiba Bay. **Feema—Environmental Studies**, v. 2, p. 316-334, 1978.
- GROCH, Kátia R. et al. Guiana dolphin unusual mortality event and link to cetacean morbillivirus, Brazil. *Emerging infectious diseases*, v. 24, n. 7, p. 1349, 2018.
- HEMILÄ, SIMO; NUMMELA, SIRPA; REUTER, TOM. A model of the odontocete middle ear. **Hearing Research**, v. 133, n. 1-2, p. 82-97, 1999.
- HEMILÄ, SIMO; NUMMELA, SIRPA; REUTER, TOM. Modeling whale audiograms: effects of bone mass on high-frequency hearing. **Hearing Research**, v. 151, n. 1-2, p. 221-226, 2001.
- 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.
- LEMOS, A. **Biodisponibilidade de metais em perfis sedimentares da baía de Sepetiba, RJ: Variabilidade espacial e ensaios de ressuspensão**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2015.
- LODI, L., & B., HETZEL. Grandes agregações do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía da Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Bioikos**, 12 (2), 26-30, 1998.

- LODI, L.; BOROBIA, M.. Baleias, Botos e Golfinhos do Brasil: guia de identificação. Technical Books Editora, Rio de Janeiro. 2013.
- MADSEN, P.T.; LAMMERS, M.; WISNIEWSKA, D.; AND BEEDHOLM, K. Nasal sound production in echolocating delphinids (*Tursiops truncatus* and *Pseudorca crassidens*) is dynamic, but unilateral: clicking on the right side and whistling on the left side. **Journal of experimental biology**, v. 216, n. 21, p. 4091-4102, 2013.
- MAHIQUES, M.M. **Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro**. 1987. 158 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MANGARATIBA, 2014. Decreto Lei Municipal nº 940 de 08 de outubro de 2014: cria a Área de Proteção Ambiental Marinha Boto-Cinza (APA Marinha Boto Cinza) –, com a finalidade de proteger, ordenar, garantir e disciplinar o uso racional dos recursos ambientais da região, inclusive suas águas, bem como ordenar o turismo recreativo, as atividades de pesquisa, a pesca e promover o desenvolvimento sustentável da região.
- MAY-COLLADO, Laura; AGNARSSON, Ingi. Cytochrome b and Bayesian inference of whale phylogeny. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 38, n. 2, p. 344-354, 2006.
- 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**, 125(2), 1202-1213, 2009.
- MMA, 2014. Portaria MMA nº 445 de 17 de dezembro de 2014: lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção. MMA, Brasília. Publicada no DOU em 18 de dezembro de 2014.
- MMA. **Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 417p.
- MORON, Juliana Rodrigues et al. Whistle variability of Guiana dolphins in South America: Latitudinal variation or acoustic adaptation? **Marine Mammal Science**, v. 35, n. 3, p. 843-874, 2019.
- MUEHE, D.; VALENTINI, E. **O litoral do Rio de Janeiro: Uma caracterização físico-ambiental**. Rio de Janeiro: FEMAR, 1998. 123p.
- NACHTIGALL, Paul E.; MOORE, Patrick WB (Ed.). **Animal sonar: Processes and performance**. Springer Science & Business Media, 2012.
- NERY, Mariana Freitas; SIMÃO, Sheila Marino; PEREIRA, Tereza. Ecology and behavior of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae), in Sepetiba Bay, southeastern Brazil. **J. Ecol. Nat. Environ**, v. 2, n. 8, 2010.
- NETO, T. **Impacto do fluxo de embarcações sobre o comportamento do boto-cinza (*Sotalia guianensis*): Um estudo de caso para a Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2017.
- NOGARA, P. J. **Caracterização dos ambientes marinhos da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu – Município de Paraty – RJ**. Relatório técnico: Fundação SOS Mata Atlântica, 2000. 83 p.

- PESSANHA, A.L.M. & F.G. ARAÚJO. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brasil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 57, n. 5-6, p. 817-828. 2003.
- PFEIFFER, W.C et al. Metais pesados no pescado da baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura*. Rio de Janeiro. v. 37, n.2, p.297-301. 1985.
- RAMOS, R. M. A.; DI BENEDITTO, A. P. M.; SICILIANO, S.; SANTOS, M. C. O.; ZERBINI, A. N.; VICENTE, A. F. C.; ZAMPIROLI, E.; ALVARENGA, F. S.; FRAGOSO, A. B. LAILSON-BRITO JR., J.; AZEVEDO, A. F.; BARBOSA, L. & LIMA, N. R. W. 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.
- ROSSI-SANTOS, M. R., & PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, 143(3), 347-364, 2006.
- SIGNORINI, S .R. A study of the circulation in bay of Ilha Grande and bay of Sepetiba: Part I, an assessment to the tidally and wind-driven circulation using a finite element numerical model. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 29, n. 1, p. 41-55, 1980.
- SIMÕES-LOPES, P.C. Ocorrência de uma população de *Sotalia fluviatilis* (Gervais 1853) (Cetacea, Delphinidae), no limite sul de sua distribuição, Santa Catarina, Brasil. *Biotemas*, 1(1): 57-62, 1988.

2 - CAPÍTULO I – QUÃO ESTÁVEL PODE SER O REPERTÓRIO ACÚSTICO DO BOTO-CINZA?

RESUMO

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Os repertórios acústicos podem variar em escala temporal, podendo apresentar mudanças influenciadas por criação de novas alianças sociais e por mudanças na paisagem acústica. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*), identificando as mudanças temporais no repertório. Este estudo usa como base um banco de gravações acústicas na baía de Sepetiba entre os anos 1998 á 2002 e novas gravações feitas de 2015 a 2018. Para entender a variação temporal, foram comparadas as mudanças nos contornos de frequência de emissões tonais e de assovios assinatura ao longo do tempo. Foram comparados os valores médios de frequência, duração dos assovios e taxa de emissão. Neste trabalho foi identificado que o padrão de modulação das vocalizações, incluindo os assovios assinatura, do boto-cinza podem ser estáveis por cerca de 20 anos. Entretanto, as emissões desta população apresentam mudanças ao longo do tempo. Estas mudanças incluem redução da diversidade de assovios, redução da duração das emissões e redução de mais de 90% na taxa de emissão. Além disso, houve um aumento nas frequências máximas e mínimas. Estas alterações parecem ocorrer em resposta às mudanças da paisagem acústica por aumento de ruído antropogênico, gerando um processo de adaptação acústica.

Palavras-chave: Estabilidade vocal, assovios assinatura, adaptação acústica, Baía de Sepetiba

ABSTRACT

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Acoustic repertoires can change in temporal scale and may present changes influenced by the creation of new social alliances and changes in the acoustic soundscape. Thus, the main goal of this study was to evaluate the acoustic stability of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*), identifying the temporal changes in acoustic repertoire. This study is based on a dataset of acoustic recordings in Sepetiba Bay from 1998 to 2002 and new recordings made from 2015 to 2018. To understand the temporal variation, were compared changes in the frequency contours of the tonal emissions and signature whistles over time. Also, in temporal scale, the average values of frequency, duration of whistles and emission rate were compared. In this study it was identified that vocalizations, including signature whistles, of the Guiana dolphin may be stable for about 20 years. However, the emissions of this population change over time. These changes include reducing the diversity of whistles, reducing the duration of emissions and reducing over 90% emission rate. In addition, there was an increase in the maximum and minimum frequencies. These changes seem to occur in response to changes in the acoustic soundscape by increasing anthropogenic noise, generating a process of acoustic adaptation.

Keywords: Vocal stability, signature whistles, acoustic adaptation, Sepetiba Bay

2.1 Introdução

As emissões bioacústicas podem ser usadas como ferramentas tanto em estudos evolutivos, quanto em estudos de ecologia aplicada ou de conservação de espécies (LAIOLO, 2010). A quantificação e caracterização do repertório vocal de uma espécie são as etapas iniciais e essenciais para análises subseqüentes de funcionalidade da emissão, de variação geográfica, de relevância social e de eficiência da transmissão (BOISSEAU, 2005).

Os sons desempenham um importante papel na vida de todos os cetáceos, visto que a visibilidade no ambiente subaquático é limitada, em média, a poucos metros (AU, 2000). De maneira geral, os repertórios acústicos podem variar em escala temporal (SAYIGH *et al.*, 1990; SAYIGH *et al.*, 2007) e espacial (MAY-COLLADO & WARTZOK, 2008), podendo apresentar mudanças influenciadas por criação de novas alianças sociais (FRIPP *et al.*, 2005; QUICK & JANIK, 2012), por mudanças na paisagem acústica (MORISAKA *et al.*, 2005) ou diferenças geográficas entre populações (MAY-COLLADO & WARTZOK, 2008, 2010; HAWKINS *et al.*, 2010).

Uma das formas de medir as variações no repertório acústico ao longo do tempo é comparando as mudanças nos assovios assinatura. O primeiro trabalho a propor a teoria do assovio assinatura deu-se no final da década de 1960, quando CALDWELL & CALDWELL (1968) estudaram as vocalizações de golfinho-comum (*Delphinus delphis*) em cativeiro. Ao gravar os animais recentemente capturados, descobriram que cada indivíduo tinha seu próprio tipo distinto de assovio que usava em quase todos os contextos que estudavam (CALDWELL & CALDWELL, 1968). A esses assovios individuais, os autores deram o nome de "assovios assinatura" e formularam a hipótese de que eles eram usados para identificar o vocalizador (CALDWELL e CALDWELL, 1968). A definição conceitual proposta por CALDWELL *et al.* (1990) descreve um assovio assinatura como o assovio dominante emitido por golfinhos cativos, que é individualmente distintivo e estereotipado em certas características acústicas, que funcionam para transmitir a identidade do assoviador.

Posteriormente, estudos mostraram que os golfinhos usam assovios assinatura principalmente quando separados de seu grupo e que, na maioria dos animais, o assovio assinatura representa mais de 90% de todos os assovios emitidos quando o animal está isolado (CALDWELL *et al.*, 1990; JANIK & SLATER 1998; SAYIGH *et al.*, 2007).

Após a proposição da teoria do assovio assinatura em 1968, não houve nenhuma publicação que refutasse ou apoiasse a teoria do assovio assinatura por quase duas décadas (Figura 6). A primeira publicação após a teoria proposta por Caldwell surgiu quando TYACK (1986) apresentou evidências de que dois golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) vivendo em cativeiro eram capazes de copiar assovios assinaturas. Entretanto, somente no início dos anos de 1990, quando começaram a popularizar o uso de hidrofones capazes de isolar o som de indivíduos na natureza, que se ampliaram o número de estudos, principalmente em ambiente natural.

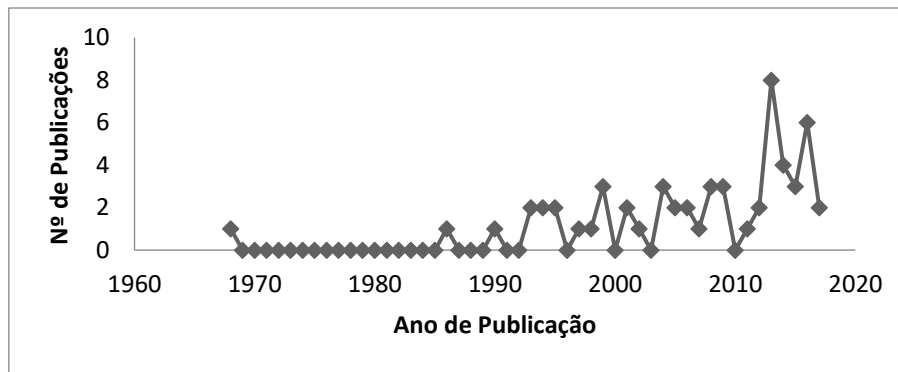


Figura 6. Variação do número de publicações sobre assovios assinatura desde 1969 até 2017.

MCCOWAN & REIS (1995), foram os primeiros pesquisadores a fazer críticas sobre a teoria do assovio assinatura. Em seu trabalho, fizeram críticas a classificação visual dos assovios e propuseram um método computadorizado. Este método identificava os parâmetros de frequência em 60 pontos da emissão sonora, e em seguida comparava as medições feitas em cada emissão para determinar suas diferenças. Com base neste método, a autora isolou indivíduos em cativeiro e verificou que os sons produzidos durante o isolamento eram emissões compartilhadas por vários indivíduos daquele aquário, logo, não poderiam ser sinais de identidade.

JANIK & SLATER (1998), compararam os métodos computadorizado e visual para classificação de assovios. Com base nos dados apresentados neste trabalho, os autores afirmam que o método computadorizado (MCCOWAN & REIS, 1995) não classifica os assovios com precisão, visto que leva em conta as variações de frequência, mas não de tempo, ignorando a duração das emissões. Esta deficiência no método computadorizado leva a separação de assovios que são muito similares, visto que em emissões curtas e muito moduladas, os 60 pontos de amostragem ficam frequentemente sobrepostos.

Posteriormente, MCCOWAN & REIS (2001) compararam os assovios gravados em seu aquário com outras emissões consideradas assovios assinatura por outros autores. Nesta comparação, utilizando o método computadorizado, a autora encontrou muitas semelhanças compartilhadas entre as emissões, o que a levou a sugerir que não existem assovios assinatura. Além disso, a autora criticou a hipótese de que golfinhos copiam o assovio assinatura de outro membro do grupo (JANIK, 1999), afirmando que essas emissões não são individuais, mais sim compartilhadas pelos membros do grupo.

Em resposta as críticas de MCCOWAN & REIS (2001), muitos autores questionaram os métodos utilizados. SAYIGH (2007) reafirmou a imprecisão do método computacional de MCCOWAN & REIS (1995). Além disto, para isolar os indivíduos que estavam vocalizando, a autora utilizou dois métodos. Primeiro, observou indivíduos nadando juntos e associou a emissão sonora ao golfinho que estava liberando bolhas de ar pelo espiráculo (MCCOWAN & REIS, 2001). Entretanto, indivíduos aclimatados ao cativeiro, muitas vezes não produzem assovio assinatura (JANIK & SLATER, 1998), além de nem todos os tipos de chamadas produzirem fluxo de bolhas de ar (FRIPP *et al.*, 2005), o que torna a avaliação tendenciosa. Posteriormente a amostragem foi repetida com alguns indivíduos fisicamente separados no aquário (MCCOWAN & REIS, 2001). Contudo, como em cativeiro as estruturas de grupo são estáveis e há contato visual permanente, diminui a necessidade de emitirem assovios assinaturas (WELLS *et al.*,

1987), mas quando emitem esses sons são observados após longo período de isolamento (JANIK & SLATER, 1998).

Ao longo dos anos, a teoria do assovio assinatura vem sendo amplamente aceita. Já foram descritos assovios assinaturas para várias espécies de golfinhos: golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) (TYACK, 1986; SAYIGH *et al.*, 1990; SAYIGH *et al.*, 1995; BUCK & TYACK, 1997; JANIK *et al.*, 1994; MIKISIS *et al.*, 2002; WATWOOD *et al.*, 2005; AGAFONOV & PANOVA, 2012; KING *et al.*, 2016;), golfinhos-nariz-de-garrafa-do-indo-pacífico (*Tursiops aduncus*) (GRIDLEY *et al.* 2014), golfinho-comum (*Delphinus delphis*) (CALDWELL & CALDWELL 1968), golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) (KAPLAN *et al.*, 2017), golfinho-de-laterais-brancas-do-pacífico (*Lagenorhynchus obliquidens*) (CALDWELL & CALDWELL, 1971), golfinhos-corcunda-do-indopacífico (*Sousa chinensis*) (VANPARIJS & CORKERON 2001; CHENG *et al.*, 2017), boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (FIGUEIREDO & SIMÃO, 2009; LIMA *et al.*, 2014), golfinho-de-riso (*Grampus griseus*), narval (*Monodon monoceros*) (SHAPIRO, 2006), beluga (*Delphinapterus leucas*) (MORISAKA *et al.*, 2013) e baleia-piloto (*Globicephala macrorhynchus*) (SAYIGH *et al.*, 2013). No entanto, nem todos Delphinideos têm assovios assinatura, como, por exemplo, as orcas (*Orcinus orca*) (JANIK & SAYIGH, 2013).

Os assovios assinatura são desenvolvidos através de aprendizagem, onde o filhote inicialmente copia a assinatura do indivíduo mais associado, modificando-a de acordo com suas experiências e relações com outros indivíduos (JANIK & SLATER, 1998). Este processo de desenvolvimento dos assovios assinatura é iniciado e concluído ainda nos três primeiros meses de vida (CALDWELL e CALDWELL, 1979).

Na maioria dos casos, o assovio que foi inicialmente copiado para servir como base para o assovio assinatura pertencente à mãe do filhote. Entretanto, como o golfinho usa como base o assovio do indivíduo mais associado, em cativeiro, já foi reportado o uso de assovio de uma mãe adotiva (TYACK & SAYIGH, 1997), de macho que viviam na mesma piscina (SAYIGH *et al.*, 1995), de um indivíduo de outra espécie (CALDWELL & CALDWELL, 1979) e até incorporações de características dos assovios dos treinadores humanos (MIKISIS *et al.*, 2002).

Após desenvolver sua assinatura, este assovio pode corresponder à quase 100% dos assovios emitidos por golfinhos isolados em cativeiro (CALDWELL & CALDWELL, 1979) e de 38% até 70% em golfinhos de vida livre (BUCKSTAFF, 2004; Cook *et al.*, 2004; WATWOOD *et al.*, 2005). Estes assovios podem variar de 1 a 30 kHz (SAYIGH & JANIK 2010) e têm uma duração total de 0.1-4 s (BUCKSTAFF 2004). Entretanto, variações em parâmetros específicos, como a frequência inicial ou a largura de banda, são semelhantes às encontradas em assovios que não são assinaturas (JANIK *et al.*, 1994). Além disso, maioria das assinaturas consistem em chamadas moduladas e repetidas em loops, que geralmente são separados por intervalos curtos de até 250 ms (ESCH *et al.*, 2009b). Em alguns casos, as assinaturas podem ser compostas por sinais bifônicos, onde o segundo elemento da vocalização funciona como um marcador de individualidade do assovio assinatura (PAPALE *et al.*, 2015; KAPLAN *et al.*, 2017).

A principal hipótese é que os assovios assinatura funcionam como um sinal de reconhecimento individual (JANIK & SLATER, 1998). A principal evidência disto vem de estudos utilizando *playback* de assovios assinatura para animais de cativeiro. Nestes estudos, os golfinhos do aquário eram capazes de reconhecer a assinatura dos indivíduos conhecidos, respondendo positivamente ao som reproduzido (SAYIGH *et al.*, 1999;

JANIK *et al.*, 2006). Além disso, JANIK *et al.* (2006) mostraram que este reconhecimento se dá principalmente pelo padrão de modulação do assovio e não por parâmetros de frequência.

Outros trabalhos encontram diferentes funções para assovios assinaturas, tal como o desenvolvimento de assovios para referir-se a um treinador (TOMONAGA *et al.*, 2015) e assovios usados apenas em contexto alimentares (KING & JANIK, 2015).

Uma vez que um assovio assinatura é consolidado ainda nos primeiros meses de vida, poucos fatores podem mudar seu padrão de modulação geral, permanecendo constante ao longo da vida (SAYIGH *et al.*, 1990). Em fêmea, já se constatou que estas assinaturas permanecem estáveis por décadas (SAYIGH *et al.*, 1990; SAYIGH *et al.*, 2007) e, até agora, não há evidências relatadas de uma mudança nos indivíduos estáveis. Entretanto, nos machos, os assovios assinatura podem mudar para assemelhar-se ao assovio de um parceiro do mesmo grupo social, sendo esta mudança já observada em tempo real (QUICK & JANIK, 2012). As trocas de assovios assinaturas observadas em machos, são uma resposta à estruturação dos grupos sociais, visto que estes tendem a mudar de grupo com maior frequência buscando uma melhor posição social (QUICK & JANIK, 2012). Contudo, de maneira geral os assovios assinatura tendem a ser sinais estáveis (SAYIGH *et al.*, 1990).

Em golfinhos machos, já foi observado cópias de assovios assinatura por indivíduos do mesmo grupo, sendo estas já observadas em golfinhos cativos e selvagens (SAYIGH *et al.*, 1990; TYACK & SAYIGH, 1997; JANIK & SLATER 1998; JANIK, 1999; KING *et al.*, 2013). Estes assovios são emitidos pelo copiado somente na presença do indivíduo copiado, assumindo um padrão de chamada e resposta que pode indicar uma forma de reconhecimento e localização de indivíduos (TYACK, 1991).

Outra forma de medir a variação do repertório é fazendo uma comparação dos parâmetros de frequência e duração dos assovios. Este método permite comparar os assovios ao longo do tempo ou entre populações, sendo amplamente usado em todo o mundo (*eg.* JANIK, 1999; SANTOS *et al.*, 2005; MAY-COLLADO & WARTZOK, 2009; MELO-SANTOS *et al.*, 2019).

Os parâmetros de frequência e duração dos assovios podem variar devido a fatores sociais, morfológicos, zoogeográficos e filogenéticos (*e.g.* MATTHEWS *et al.* 1999; RENDELL *et al.*, 1999; STEINER 1981). Evolutivamente, em sons tonais, a frequência mínima da emissão é influenciada pelo tamanho corporal e pelo tamanho de grupo, já a complexidade de modulação dos assovios é influenciada pela estrutura social (MAY-COLLADO *et al.*, 2007).

As variações intraespecíficas ocorrem principalmente na modulação da frequência e na duração dos assovios (*e.g.* MORISAKA *et al.*, 2005). Uma alta variabilidade intraespecífica nestes parâmetros pode indicar transmissão de informações comportamentais, mas também pode refletir alta variação interindividual (STEINER, 1981). Além disso, comparações intraespecíficas de parâmetros de assovios entre grupos que enfrentam diferentes condições ambientais podem fornecer informações sobre a influência do habitat nas características deste tipo de emissão acústica (MORISAKA *et al.*, 2005).

Os trabalhos publicados com o repertório acústico do boto-cinza não avaliaram mudanças acústicas em escala temporal. Dado as mudanças na Baía de Sepetiba ao longo

da última década, o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças nos assovios produzidos pelo boto-cinza na Baía de Sepetiba ao longo dos últimos 20 anos.

Para esta comparação temporal, consideramos três premissas: 1) a Baía de Sepetiba vem sofrendo aumento das atividades humanas, sobretudo com um crescimento expressivo do trânsito de embarcações. Em todo o mundo, o trânsito de embarcações ocasiona aumento de ruído subaquático modificando a paisagem acústica (SLABBEKOORN *et al.*, 2010); 2) os parâmetros das emissões acústicas mudam ao longo do tempo devido a mudanças no ambiente (MORTON, 1975; ROTHSTEIN & FLEISCHER, 1989; EY & FISCHER, 2009), mas tendem a ser estáveis em seu padrão de modulação (JANIK, 2006); 3) os assovios assinatura são estáveis por pouco mais de uma década (SAYIGH *et al.* 1990).

Desta forma, hipotetizamos que: 1) no presente os assovios são emitidos em frequência mais altas, com menor duração e menor taxa de emissão quando comparadas com o passado; 2) poucos contornos de frequência vão mudar ao longo do tempo; 3) quando comparados na escala temporal proposta, espera-se uma grande estabilidade nos assovios assinatura.

2.2 Metodologia

Protocolo de Coleta

Este estudo usa como base um banco de gravações acústicas na baía de Sepetiba entre os anos 1994 a 2002 e novas gravações feitas de 2015 a 2018. Para a comparação do repertório acústico ao longo do tempo, foi considerado como “passado” os dados coletados desde 1998 até 2002 e “presente” as gravações feitas entre 2015 e 2018. Devido ao longo período de amostragem, os métodos de coleta e os equipamentos utilizados para gravação foram diferentes.

No banco de dados com amostras do passado, as gravações foram feitas com um hidrofone Celesco (modelo LC10) acoplado a um gravador de fita k7 de óxido de cromo Sony (modelo WD-D3) digitalizados com taxa de amostragem de 48 kHz (16bit). As gravações do presente utilizaram primordialmente um hidrofone Cetacean Research (modelo C54) acoplado a um gravador M-Audio (modelo Microtack II) com taxa de amostragem de 96 kHz (24bit), mas, em um único dia, foi utilizado uma SoundTrap (modelo HF 300) com taxa de amostragem de 576 kHz (16bit).

A fim de padronizar o esforço nas coletas de dados, foram criadas arbitrariamente três rotas, com duas variações de início cada, que cobrem toda a área navegável da baía (Figura 7). Estas rotas eram aleatorizadas sem reposição antes de cada saída ao campo. Após o encontro de um grupo de boto-cinza, os mesmos eram acompanhados seguindo o método grupo focal (ALTMANN, 1974). O tempo de gravação em cada arquivo foi limitado a 5 minutos ou até o afastamento do grupo e com espera mínima de 10 minutos para o início da gravação seguinte. Além disso, foi estabelecido que nenhum grupo seria acompanhado por mais de 50 minutos.

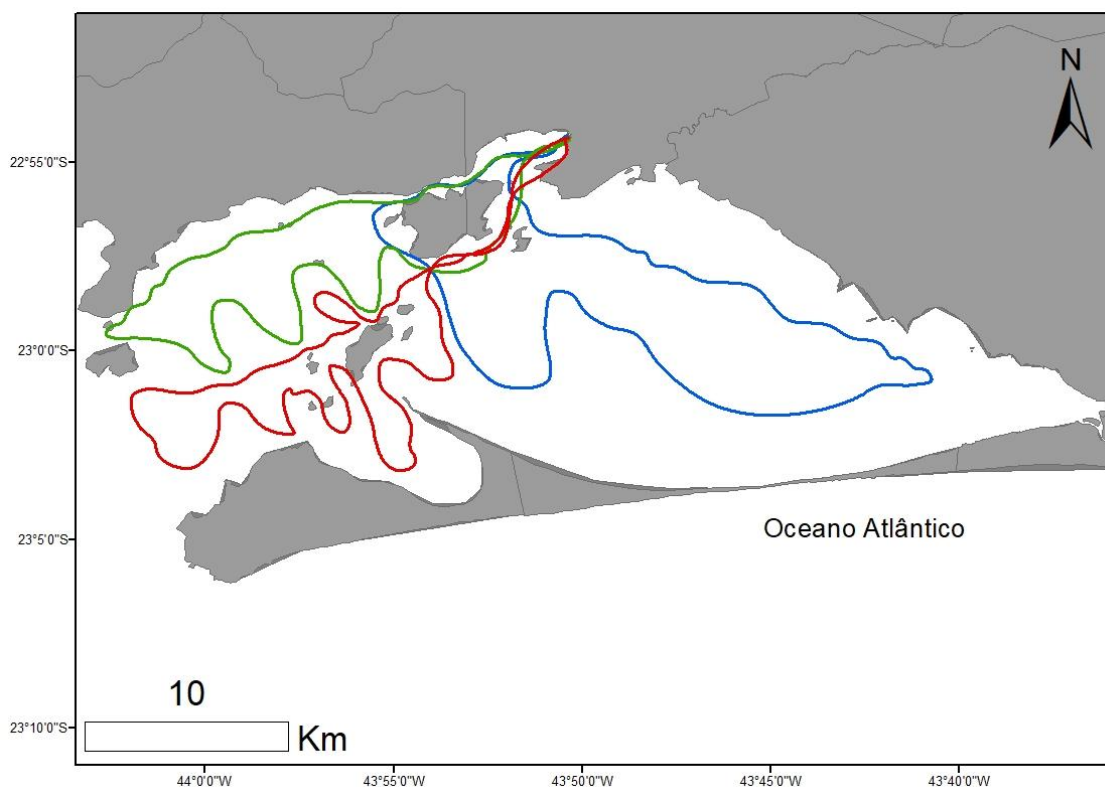


Figura 7. Mapa da Baía de Sepetiba representando as rotas criadas para amostragem. Em azul, verde e vermelho estão representadas respectivamente as rotas 1, 2 e 3.

As gravações de 2015 a 2016 foram feitas sem periodicidade definida, já em 2017 e 2018 foram feitas quatro saídas de campo por mês. Em todos os anos as gravações foram feitas em todas as estações do ano. Durante as gravações a embarcação permaneceu com o motor desligado e o hidrofone foi instalado á 3m de profundidade. Após o início das gravações foram anotados em planilhas as informações do grupo e da gravação: data, hora, nome do arquivo, localização georreferenciada, tamanho do grupo e estado comportamental.

Protocolo de Análise

Para comparar temporalmente o repertório da população da Baía de Sepetiba, foram consideradas variações em: tipos de contornos de frequência dos assovios, assovios assinaturas e parâmetros de frequência e duração dos assovios.

Para a comparação entre os contornos de frequência foi utilizado o método de rede neural denominado ARTwarp proposto por DEECKE & JANIK (2006). Este método incorpora análise dinâmica da teoria da ressonância de tempo e da teoria de ressonância adaptativa (ART) e tem se mostrado eficiente na divisão de sons em categorias biologicamente significativas (DEECKE & JANIK, 2006; FILATOVA *et al.*, 2012; KING *et al.*, 2013). Este método compara os contornos da frequência dos assovios e os coloca em categorias, pré-determinando um valor de similaridade crítica (vigilância), ou seja, se a similaridade entre dois assovios for maior do que a vigilância, o assovio analisado é colocado na mesma categoria que o assovio de referência. Se o valor de semelhança entre o assovio de entrada e o assovio de referência for menor do que a vigilância, eles são colocados em categorias diferentes. Além disso, este método permite que o assovio de entrada seja distorcido na dimensão do tempo por um fator de três, para

melhor ajustar o contorno de referência (para mais detalhes veja DEECKE & JANIK, 2006).

Nesta análise, as gravações são inicialmente visualizadas em um espectrograma usando o software Raven Pro 1.5 (Cornell Lab of Ornithology). Após o encontro dos assovios com boa relação sinal/ruído e com pontos de início e fim nítidos, o arquivo original foi cortado em arquivos em formato “.wav” para cada assovio. Posteriormente, foi usado a rotina Beluga do software MatLab 2015 para extrair os contornos de frequência em cada arquivo anteriormente editado. Por fim, todos os contornos extraídos foram comparados entre si buscando caracterizar quais contornos eram compartilhados ou únicos em cada série temporal (passado e presente). O tamanho amostral de cada série temporal foi definido por meio da curva do coletor. Desta forma, o tamanho amostral pode ser diferente em cada série temporal sem comprometer as análises comparativas.

Neste trabalho, foi considerado uma vigilância de 96% nas análises ARTwarp para levar em conta possíveis variações individuais entre os assovios (veja DEECKE & JANIK, 2006). A resolução do tempo para o contorno da frequência extraídos foi de 10ms. Adicionalmente foram considerados uma taxa de aprendizagem de 0.1 e um número máximo de 1000 iterações.

Apesar de FIGUEIREDO & SIMÃO (2009) já terem apresentado evidências de assovios assinaturas em *Sotalia guianensis*, o estudo utilizou o método computadorizado (McCowan & Reis, 1995), sendo este não adequado para identificação de assovios assinaturas quando não há confirmação do emissor. Desta forma, neste estudo foi utilizado o método SIGID (SIGNature IDENTification) (JANIK *et al.*, 2013). Este método caracteriza assovio assinatura sem a necessidade de identificar visualmente os indivíduos gravados. No SIGID são classificados como assinaturas os assovios estereotipados que são emitidos repetidamente com um intervalo máximo de 1-10s (JANIK *et al.*, 2013). Desta forma, os potenciais assovios assinatura foram comparados e categorizados pelo método ARTwarp, a fim de ter certeza da similaridade dos assovios.

Como o método SIGID foi desenvolvido para golfinho-nariz-de-garrafa, mesmo que já tenha sido aplicado para outras espécies, realizamos um teste de validação para os assovios classificados como assinatura. Para testar os assovios classificados como assinatura, os contornos de frequência destes assovios foram comparados com assovios de uma população da costa do Pará. Como a Baía de Sepetiba e costa do Pará estão separadas por mais de três mil quilômetros de distância, assumimos que não há conectividade entre estas populações. Desta forma, caso alguma possível assinatura ocorra em ambas as populações, a presença assovios assinatura não poderá ser confirmada para esta espécie.

A fim de identificar mudanças nos parâmetros quantitativos do repertório acústico ao longo do tempo, foi testado se há diferença significativa entre os seguintes parâmetros: frequência máxima (kHz), frequência mínima (kHz), variação de frequência (kHz), duração (s) e taxa emissão (assovios/min/animal). Para testar se as variações médias são significativas entre as séries temporais testadas, foi usado o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney. Para testar o efeito estatístico do tamanho da amostra, foi realizada uma validação cruzada de Vargha e Delaney's A (VARGHA & DELANEY, 2000). Todas as análises estatísticas foram feitas no software R (R Development Core Team, 2019).

2.3 Resultados

O banco de dados da série temporal de 1994 até 2002 foi composto por 8h e 15min de gravação. Já as novas gravações de 2015 á 2018 comporam 14h e 40min na Baía de Sepetiba.

Entre os anos de 1998 e 2002 (passado) foram extraídos 460 contornos de frequência. A classificação apresentou uma tendência de estabilização (Figura 8), sendo classificadas 82 categorias (Figura 9). Já entre os anos de 2015 e 2018 foram extraídos 201 contornos de frequência que foram classificados em 53 categorias (Figura 11) com tendência de estabilização no número de novas categorias (Figura 10).

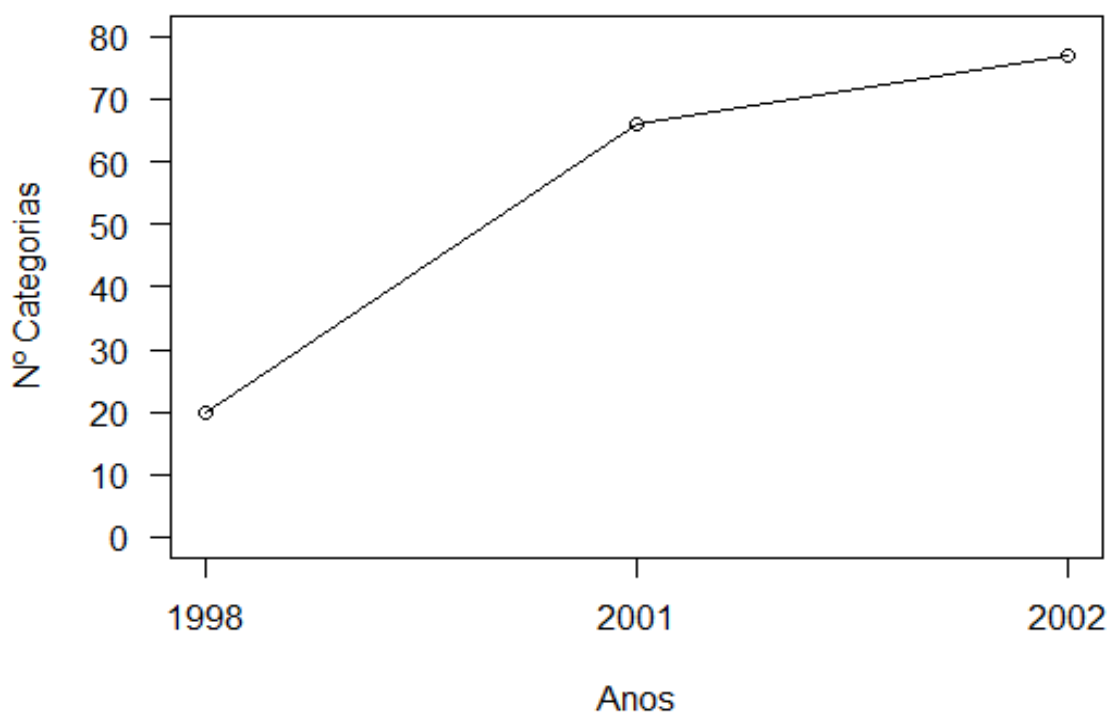


Figura 8. Curva do coletor referente ao número acumulado de tipos de assovios emitidos pelo boto-cinza, *Sotalia guianensis*, para a série temporal passado (1998-2002) na Baía de Sepetiba, indicando uma tendência de estabilização no número de novas categorias (N = 460 assovios).

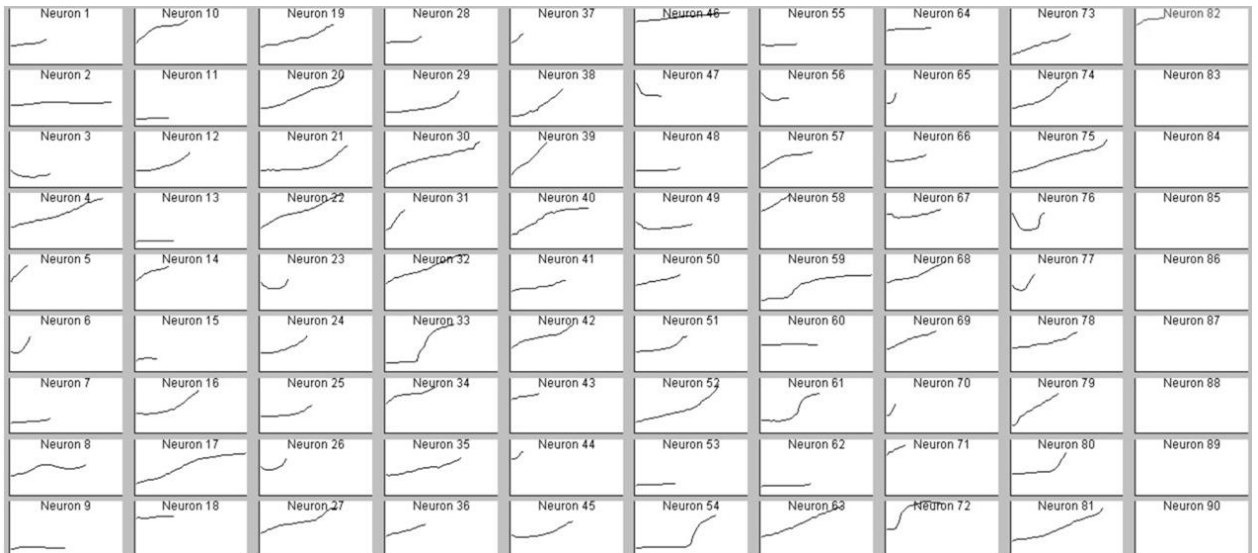


Figura 9. Categorias identificadas nos contornos de frequência do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, da série temporal passado (1998-2002) na Baía de Sepetiba.

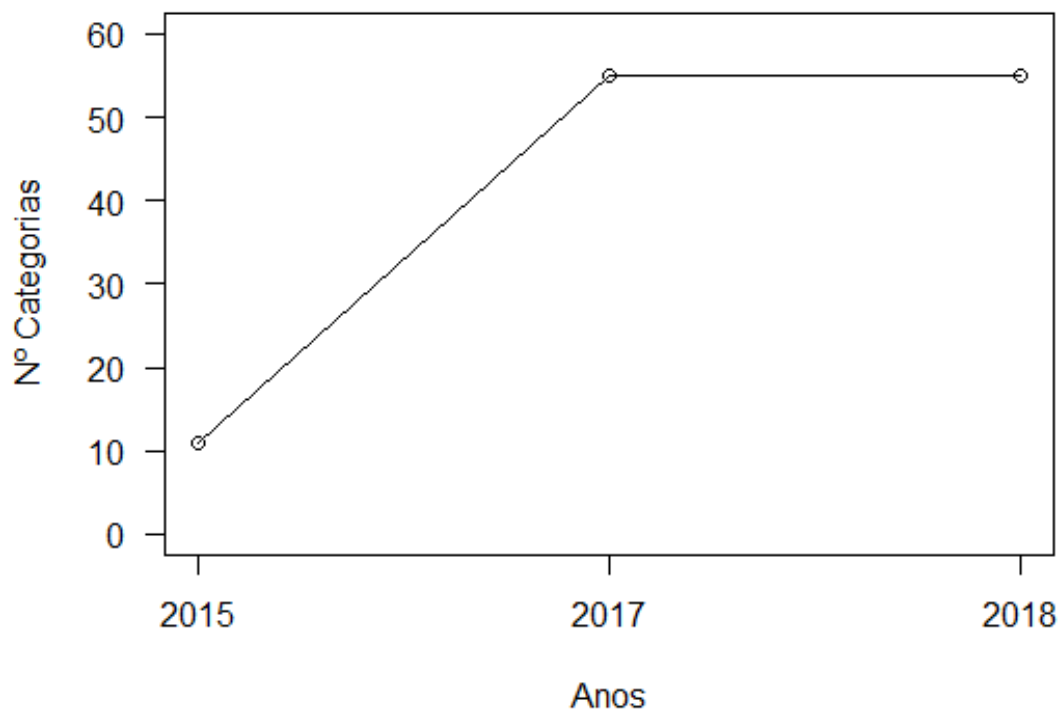


Figura 10. Curva do coletor referente ao número acumulado de tipos de assovios emitidos pelo boto-cinza, *Sotalia guianensis*, para a série temporal presente (2015-2018) na Baía de Sepetiba, indicando uma estabilização no número de novas categorias (N = 201 assovios).

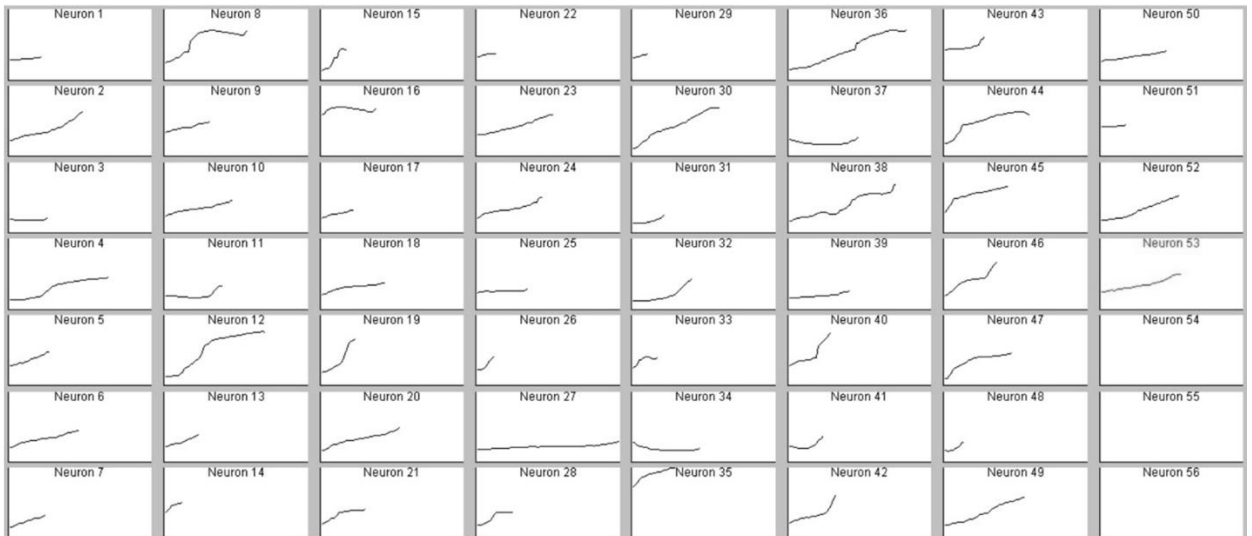


Figura 11. Categorias identificadas nos contornos de frequência do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, da série temporal presente (2015-2018) na Baía de Sepetiba.

Ao todo, os contornos de frequência analisados para as duas séries temporais foram categorizados em 133 categorias (Figura 12). Nesta categorização, dados as características de aprendizagem da rede neural, os contornos de frequência foram novamente categorizados, podendo haver criação ou supressão de uma categoria. Nesta análise foram identificadas 54 categorias exclusiva para o passado (40,6%), 23 categorias exclusivas para o presente (17,3%) e 56 categorias foram estáveis ao longo das séries temporais (42,1%).

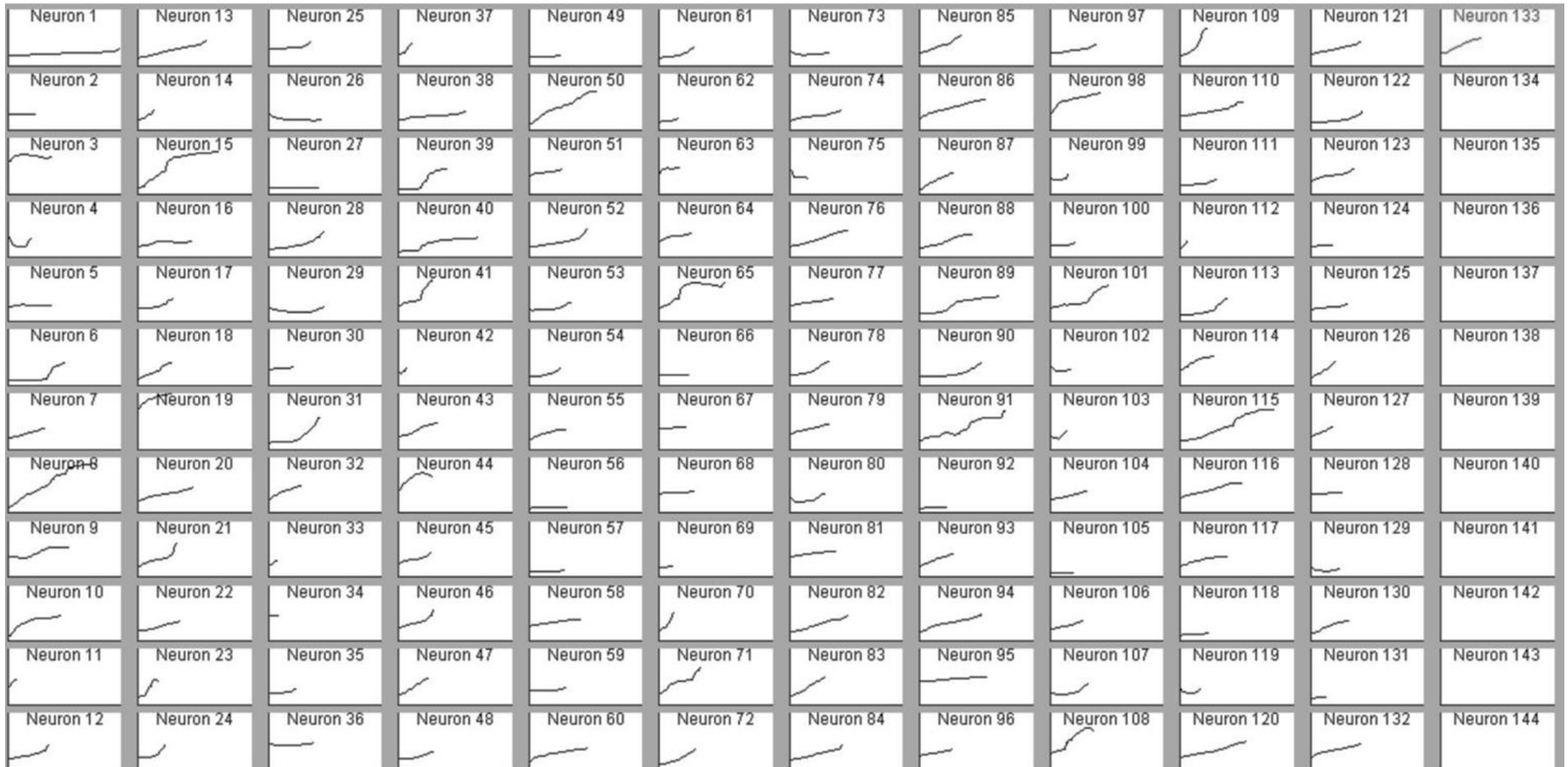


Figura 12. Categorias de contornos de frequência identificados em ambas as séries temporais (desde 1998 até 2018) para a população de boto-cinza, *Sotalia guianensis* na Baía de Sepetiba.

Utilizando o método SIGID foram identificados 29 assovios assinaturas (Figura 13). Dentre as assinaturas identificadas 18 foram identificadas somente no passado, oito identificadas exclusivamente no presente e três assinaturas, compostos pelas categorias 3, 5 e 22, mantiveram-se estáveis (Figura 14) (Tabela 1).

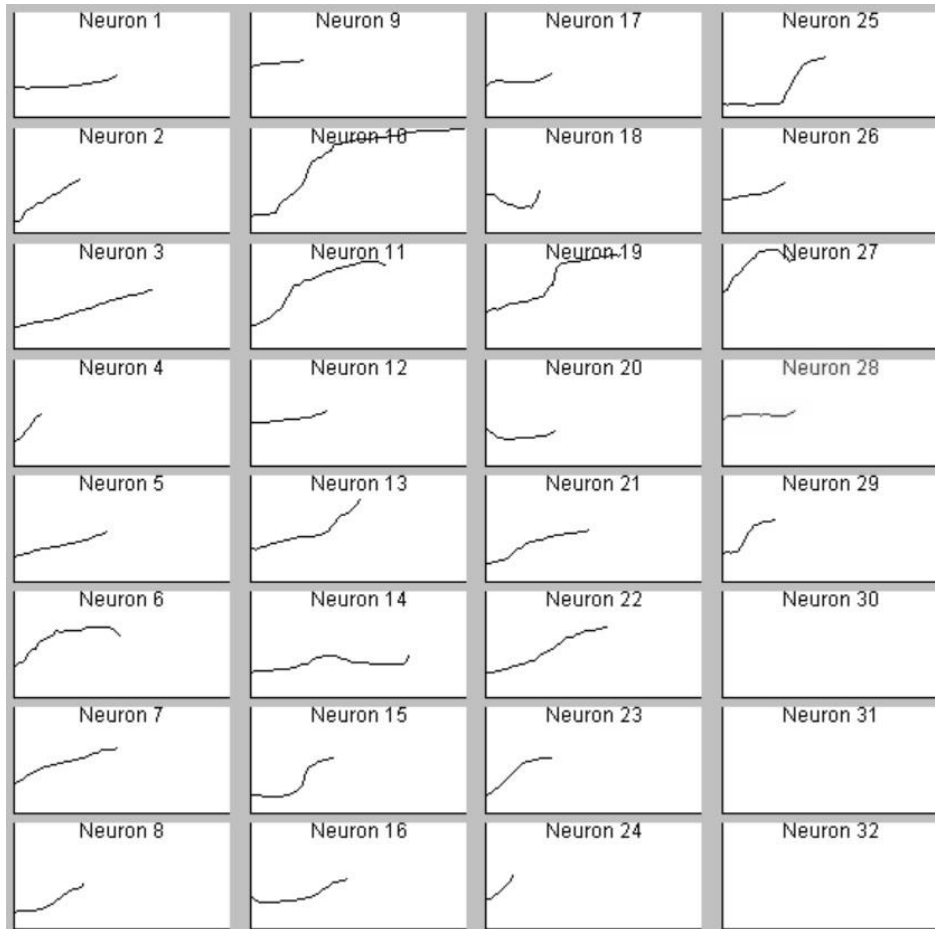


Figura 13. Assovios assinaturas identificados para o boto-cinza, *Sotalia guianensis*, de 1998 a 2018 para a população de boto-cinza da Baía de Sepetiba.

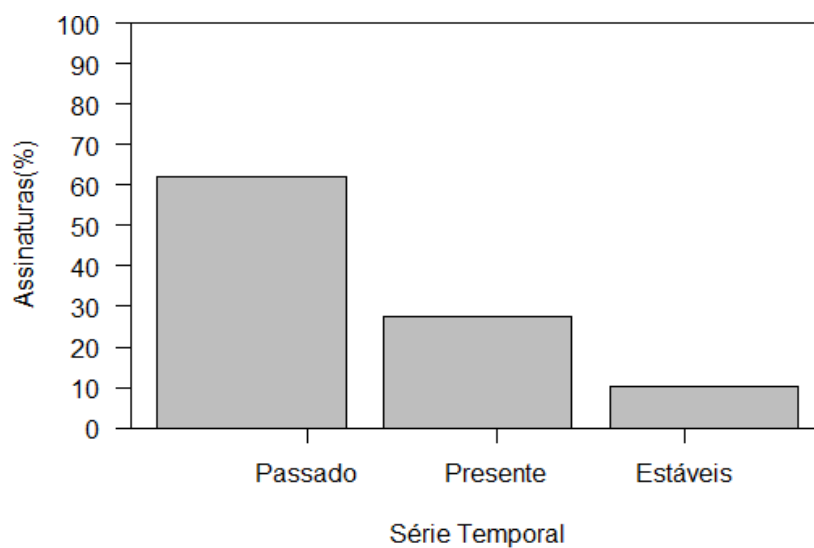


Figura 14. Porcentagem de assovios assinatura exclusivos em cada série temporal e assovios assinatura que se mantiveram estáveis na população de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía de Sepetiba.

Tabela 1. Distribuição de assovios assinatura por ano na população de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía de Sepetiba.

<i>Assovios Assinatura</i>	<i>Ano</i>		
1	1998		
2	1998		
3	2001	2002	2017
4	1998		
5	1998	2015	
6	2015		
7	2001	2002	
8	1998		
9	2001		
10	2017		
11	2017		
12	1998	2015	
13	2017		
14	2001		
15	1998		
16	1998	2001	
17	1998		
18	2001		
19	2017		
20	2001		
21	1998	2001	
22	2002	2017	
23	1998		
24	1998		
25	2002		
26	1998		
27	2017		
28	2001		
29	2017		

Para testar, as 29 categorias identificadas como possíveis assinaturas foram comparadas com 40 contornos de frequência extraídos de uma população da costa do Pará. Dentre os contornos de frequência comparados foram identificadas 13 categorias exclusivas para a costa do Pará, 17 exclusivas para a Baía de Sepetiba e 7 compartilhados entre as populações.

Na comparação entre os parâmetros quantitativos dos assovios ao longo dos anos, foram analisados 1.539 assovios. Nesta comparação foi observado um aumento significativo na frequência máxima e mínima, além de uma redução na duração dos assovios (Tabela 2). Entretanto, o teste de Vargha e Delaney's A (A), indicou que o grande tamanho da amostra pode ter tendenciado a significância observada.

Tabela 2. Comparação dos parâmetros acústicos entre as séries temporais passado e presente, representando os valores de média, desvio padrão, mediana (MED), máximo (MAX), mínimo (MIN) valor do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (U) e sua significância. Os valores de p representados com * indicam que a diferença é estatisticamente significativa. Os valores do teste de Vargha e Delaney's A (A) representados com ** indicam grande dominação estocástica de um grupo em relação a outro.

Parâmetro	Passado	MED	MAX	MIN	Presente	MED	MAX	MIN	U	p	A
Fmax (kHz)	17,62±4,09	17,80	24,00	3,36	19,17±4,02	18,63	24,00	5,85	208207	4,8.10 ⁻¹¹ *	0**
Fmin (kHz)	9,23±3,43	8,60	20,39	1,85	10,78±3,43	9,93	23,96	2,80	206548	1,3.10 ⁻¹¹ *	0.0003**
Varição de Frequência (kHz)	8,40±3,95	8,54	20,03	0,00	9,56±3,95	8,12	23,85	0,08	250464	0.3	0.0246**
Duração (s)	0,21±0,09	0,20	0,53	0,03	0,21±0,09	0,18	0,86	0,01	276070	0.04*	1**
N		1042				497					

As médias dos parâmetros acústicos dos assovios apresentaram uma baixa variação em entre os anos (Figuras 15-18). Contudo, foi identificado uma redução de mais de 90% da taxa de emissão dos assovios emitidos entre as séries temporais (Figura 19).

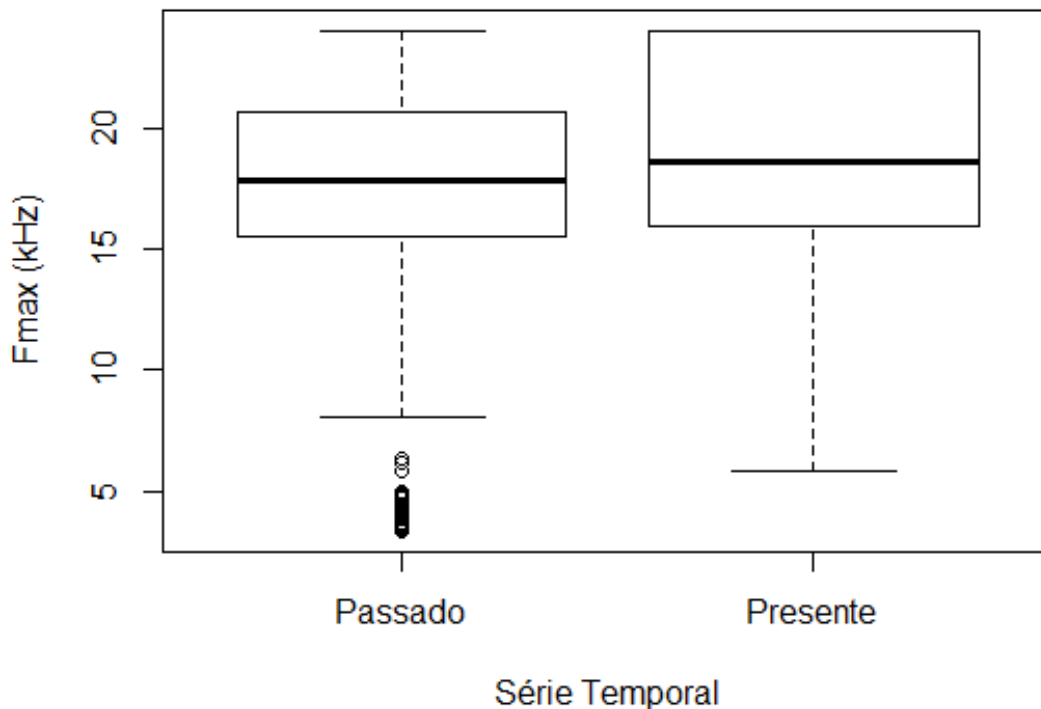
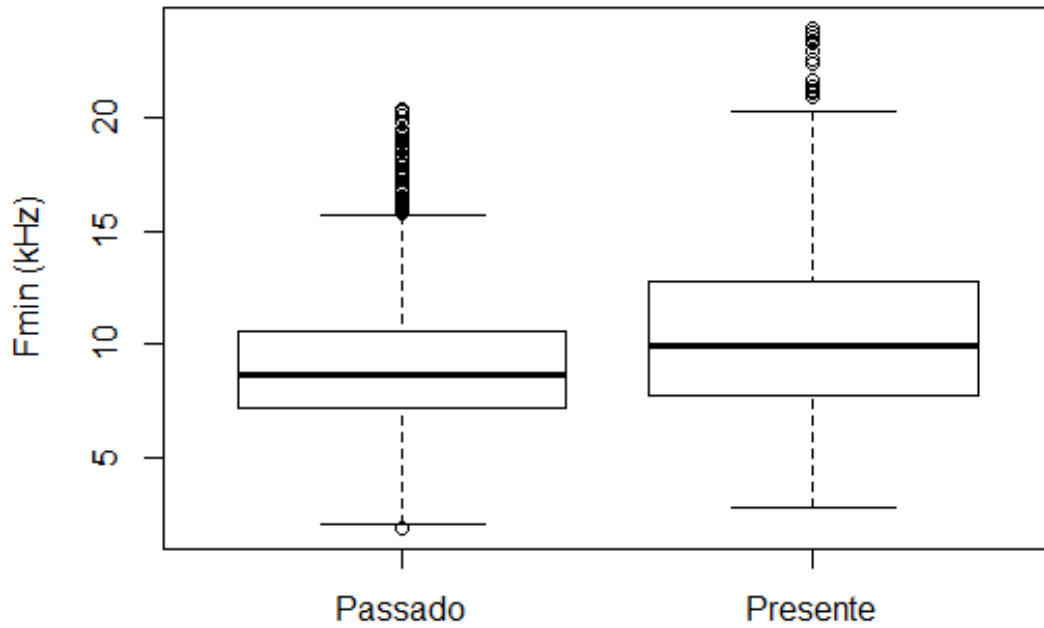
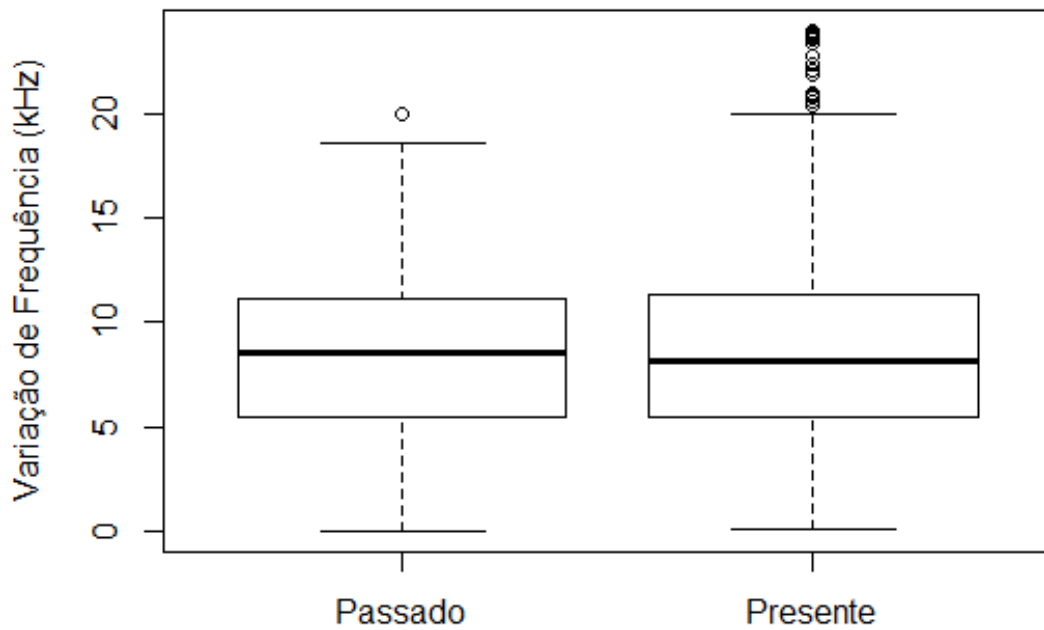


Figura 15. Boxplot comparando a frequência máxima (Fmax) do boto-cinza, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.



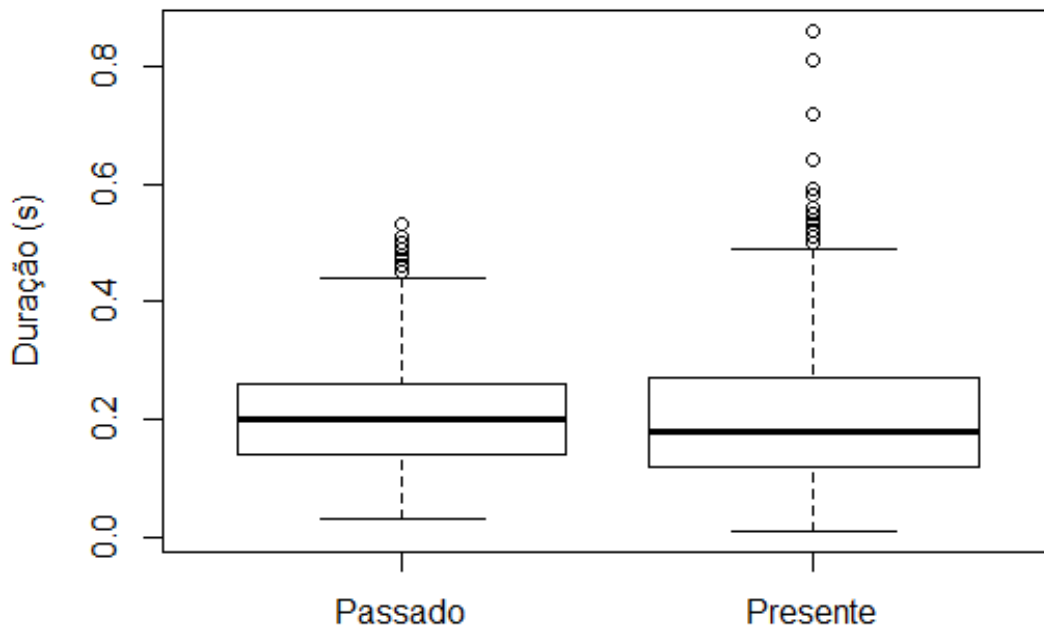
Série Temporal

Figura 16. Boxplot comparando a frequência mínima (Fmin) do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.



Série Temporal

Figura 17. Boxplot comparando a variação de frequência do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.



Série Temporal

Figura 18. Boxplot comparando a duração dos assovios (duração) do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía de Sepetiba entre as séries temporais passado e presente.

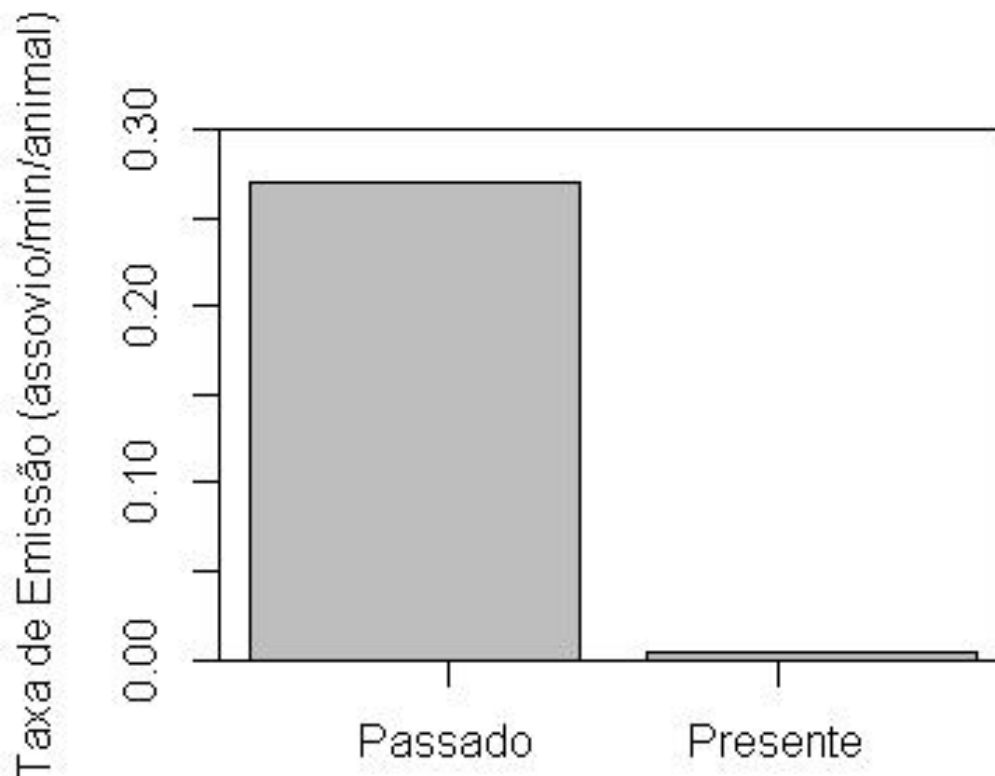


Figura 19. Redução da taxa de emissão do boto-cinza, na Baía de Sepetiba entre a série temporal passado (1998-2002) (0,27 assovios/min/animal) e o presente (2015-2018) (0,004 assovios/min/animal). Indica uma redução de 98,5%.

2.4 Discussão

O presente trabalho reporta uma das maiores diversidades acústicas já reportada para uma população do gênero. Contudo, nosso trabalho utiliza dados de uma das maiores populações de boto-cinza em toda distribuição, além de considerar uma longa escala temporal e um tamanho amostral mais de duas vezes maior que as outras populações descritas (MELO-SANTOS, 2018). Entretanto, se considerarmos apenas o repertório descrito para o presente a diversidade acústica do boto-cinza na Baía de Sepetiba é uma das menores em toda a distribuição da espécie.

A comparação entre as séries temporais passado e presente indica uma menor diversidade de assovios no presente, ou seja, há mais assovios exclusivos no passado. Além disso, menos da metade do repertório manteve-se estável entre as séries temporais.

Como os assovios produzidos por cetáceos são sinais acústico que transmitem importantes informações sobre o ambiente, coordenação de comportamentos e sinais de identidade (eg. HERZING, 1996; JANIK & SLATER, 1998; JANIK *et al.*, 2006; QUICK & JANIK, 2008; MAY-COLLADO & WARTZOK, 2008), a estabilidade destes sinais acústicos ao longo do tempo é fundamental para a transmissão confiável de informações para os coespecíficos. Desta forma, seria esperado que os contornos de frequência se mantivessem estáveis.

A perda de diversidade acústica observada entre passado e presente na baía de Sepetiba não pode ser explicada pelo diferente tamanho amostra entre as séries temporais, visto que a curva do coletor não indica uma completa estabilização para o passado, mas sim para o presente. Desta forma, é possível que esta perda de diversidade esteja ainda subestimada. Além disso, pode estar relacionada com as mudanças que ocorreram no hábitat ao longo destes 20 anos. A Baía de Sepetiba vem sofrendo com um aumento progressivo de impactos causados por aumento das atividades industriais e portuárias (ARAÚJO *et al.*, 2017; NETO, 2017), gerando o aumento dos níveis de contaminação da água por metais pesados e efluentes orgânicos (FERREIRA *et al.*, 2017), aumento da turbidez (PESSANHA & ARAÚJO, 2003), aumento do ruído de origem antropogênica, perda de diversidade e abundância de várias espécies de peixes (ARAÚJO *et al.*, 2017), perda de estruturais e funcionais em assembleias de macroalgas (CALDEIRA *et al.*, 2017) e contaminação do boto-cinza por compostos organoclorados (LAILSON-BRITO *et al.*, 2010).

Comportamentos de compensação acústicas em decorrência de ruído antropogênico já foram reportados em boto-cinza e outras espécies de cetáceos (MORISAKA *et al.*, 2005; BITTENCOURT *et al.*, 2016). Contudo, esta adaptação se dá nos valores médios dos parâmetros acústicos, sem ainda evidências para modificações nos padrões de modulação do sinal. Todavia, a grande redução da taxa de emissão também identificada neste capítulo, e que ocorre pelo menos desde 2015, pode ter gerado uma perda gradual na diversidade do repertório acústico do boto-cinza. Entretanto esta hipótese ainda não foi testada.

Dentre os assovios assinatura analisados, constatou-se uma estabilidade de até 17 anos. Como a informação de identidade está contida na modulação de frequência (JANIK *et al.* 2006), é esperado uma grande estabilidade dos assovios assinatura. Alterações em curto período de tempo poderiam afetar o reconhecimento individual se essas alterações não forem detectadas pelo receptor ou se os receptores não aprenderem a reconhecer a nova variante da chamada individual.

Na população golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) do estuário de Sado (Portugal), foi constatado a presença assovios estereotipados que se mantiveram estáveis por até 12 anos sem alterar sua modulação de frequência (SANTOS *et al.*, 2005). Já em cachalotes (*Physeter macrocephalus*) os dialetos de coda demonstraram permanecer estáveis por pelo menos 6 anos (RENDELL & WHITEHEAD, 2005). Contudo, os autores não deixam claro qual proporção do repertório manteve-se estável.

Apesar deste trabalho ser o primeiro a apresentar a estabilidade de assovios assinatura para o boto-cinza, em golfinho-nariz-de-garrafa, já constatou-se assovios assinaturas, com pelo menos 90% de similaridade, estáveis por até três décadas, sendo ao grau de mudança inversamente proporcional a idade e a estabilidade maior em fêmeas (LEON-LOPEZ, 2017).

Mesmo com a alta estabilidade observada, apenas três assovios assinatura foram estáveis entre as séries temporais. Entretanto, esta observação provavelmente diz mais a respeito da baixa detecção de assinaturas no presente e mudanças na demografia da população do que sobre a estabilidade desses sinais. É provável que a baixa detecção de assovios assinatura no presente esteja relacionada à redução da taxa de emissão de assovios em geral. Em toda a série temporal presente, foi detectado algum assovio em apenas 13 dias de gravação. Desta forma, outras assinaturas podem ainda estar presentes na população, mas não terem sido detectadas. Além disso, uma vez que assovios assinatura são marcadores acústicos de identidade, caso tenha ocorrido emigração ou morte do indivíduo portador daquela assinatura esse sinal não será captado novamente. Adicionalmente, é importante ressaltar que em golfinho-nariz-de-garrafa são capazes de modificar os assovios assinatura, além de copiar e usar outros sinais (SMOLKER *et al.*, 1993; MIKSIS *et al.*, 2002; QUICK & JANIK, 2012; KING *et al.*, 2013; KING & JANIK, 2013). Portanto, é possível que mudanças sociais nesta população estimularam mudanças na modulação dos assovios assinatura.

Além do presente trabalho que identificou assovios assinatura pelo método SIGID (JANIK *et al.*, 2013), FIGUEIREDO & SIMÃO (2009) analisaram 202 assovios gravados no ano de 1998 e identificaram 27 diferentes assinaturas utilizado o método de similaridade de contornos (McCOWAN & REISS, 1995). Ambos os trabalhos estudaram a população de boto-cinza na Baía de Sepetiba e compartilharam o mesmo conjunto de dados para o ano de 1998.

A comparação entre os assovios assinaturas do boto-cinza identificados na população da Baía de Sepetiba e contornos de frequência da mesma espécie na consta do Pará indicou sete categorias compartilhadas entre os dois conjuntos de dados. Dado as características dos assovios assinatura e a distância de isolamento entre as populações, é possível concluir que há problemas para a classificação de assovios assinatura para o boto-cinza.

Este problema de identificação de assovios assinatura pode indicar que esta espécie não apresenta sinais identidade acústica, assim como outras espécies de Delphinidade (JANIK, 2013). Entretanto, quando comparados com o golfinho-nariz-de-garrafa, os assovios do boto-cinza são curtos e pouco modulados. Desta forma, é possível que sejam necessários ajustes ao método SIGID quando aplicado para o boto-cinza.

A ausência de assovios assinatura já foi constatada em outras espécies de delphinidade. Em geral espécies que vivem em grupos estáveis não apresentam assovios individualmente distintos, mas têm repertórios geograficamente distintos (TYACK, 1986). Entretanto, o boto-cinza constitui sociedade fissão-fusão com baixa estruturação social (CANTOR *et al.*, 2012). Desta forma, reforça-se a hipótese de provavelmente o

boto-cinza produz assovios assinaturas, assim como já indicado por FIGUEIREDO & SIMÃO (2009), mas há problemas no método SIGID quando aplicado esta espécie.

Entre as séries temporais foi observado um aumento significativo na frequência máxima e mínima, além de uma redução na duração dos assovios. Estas modificações nas emissões do boto-cinza podem ser uma resposta ao aumento de ruídos na baía de Sepetiba nos últimos anos. Resultados similares no comportamento vocal da mesma espécie foram observados na Baía de Guanabara. Ao comparar áreas ruidosas e silenciosas, constatou-se que o boto-cinza emite assovios mais curtos e com frequências mínimas mais altas e nenhuma alteração na variação de frequência em áreas mais ruidosas (BITTENCOURT *et al.*, 2017). Contudo, diferente do presente trabalho, o boto-cinza da Baía de Guanabara apresentou uma redução da frequência máxima e um aumento da taxa de emissão.

De acordo com a hipótese da adaptação acústica, é esperado que os animais ajustem o uso, bem como a estrutura acústica de seus sinais vocais para otimizar a propagação (ROTHSTEIN & FLEISCHER, 1987; EY & FISCHER, 2009). Desta forma, é esperado que as emissões do boto-cinza mudem tanto em escala espacial quanto temporal para adaptar-se as diferentes condições de paisagem acústica. Entretanto, de acordo com o Efeito Lombard (LOMBARD, 1911), seria esperado que em cenários com mais ruído fosse observado um maior esforço vocal para aumentar a audibilidade (LOMBARD, 1911; ZOLLINGER & BRUMM, 2011). Esta alteração não inclui apenas a intensidade das emissões, mas também mudanças de frequência, aumento da taxa de emissão e aumento da duração das emissões (LOMBARD, 1911; ZOLLINGER & BRUMM, 2011).

O aumento da taxa de emissão em cenários mais ruidosos que foi proposta por LOMBARD (1911) e já observado por BITTENCOURT *et al.* (2017) em boto-cinza, não foi confirmada neste trabalho. Redução na taxa de emissão em razão da presença de ruído já foi constatado para baleias-jubarte (*Megaptera novaeanglie*) (SOUSA-LIMA & CLARK, 2008; HANSER, 2009). A atual redução da taxa de emissão e duração dos assovios pode estar ligada a diminuição na qualidade do hábitat devido ao crescente aumento de ruído antrópico e redução da disponibilidade de presas (ARAÚJO *et al.*, 2017). Assim, como há menos recursos alimentares disponíveis no hábitat, o boto-cinza pode estar vocalizando menos e com assovios mais curtos como uma estratégia para economizar energia (HOLT *et al.*, 2015). Apesar do presente estudo ter considerado apenas os sons tonais para o cálculo da taxa de emissão, são estes os sons metabolicamente mais custosos (HOLT *et al.*, 2016). Entretanto, deve-se considerar que os botos-cinza da Baía de Guanabara vivem a muito tempo em um hábitat mais deteriorado que a Baía de Sepetiba. Desta forma, as diferentes respostas vocais do boto-cinza nas baías de Guanabara e Sepetiba podem não ser bem explicada apenas por motivos energéticos, mas sim produto de plasticidade comportamental.

De acordo com EBER & SIMÃO (2004), as maiores taxas de emissão ocorrem durante os comportamentos de pesca e socialização, contudo, estes comportamentos reduziram de aproximadamente 60% do tempo para 20% do tempo quando comparados períodos 1998 e 2017 (TARDIN, comunicação pessoal). Adicionalmente, o tamanho médio dos grupos reduziu 40% na mesma escala temporal. Contudo, a taxa de emissão também foi calculada levando em conta o tamanho dos grupos. Mudanças na taxa de emissão de assovios em razão de mudanças comportamentais e tamanho de grupo já foram reportadas para golfinhos-nariz-de-garrafa (QUICK & JANIK, 2008). Desta forma, é possível que a redução nos comportamentos de alimentação e socialização reflitam não só a redução da taxa de emissão como a redução da diversidade acústica.

Apesar das diferenças significativas observadas nas emissões do boto-cinza, é necessária uma interpretação cautelosa destes dados. O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney não utilizar a média como medida de comparação entre amostras e normalmente mostra-se eficiente quando utilizado com grandes amostras e diferentes tamanhos amostrais. Contudo, de acordo com os valores do teste de Vargha e Delaney's A (A), o grande tamanho da amostra pode estar tendenciado a significância observada.

Em conclusão, há indícios que as vocalizações, incluindo os assovios assinatura, do boto-cinza na baía de Sepetiba podem ser estáveis por cerca de 20 anos. Entretanto, as emissões desta população apresentam mudanças ao longo do tempo. Estas mudanças incluem redução da diversidade de assovios, taxa e emissão e duração das emissões, além de aumento nas frequências máximas e mínimas. Estas alterações parecem ocorrer em resposta às mudanças da paisagem acústica por aumento de ruído antropogênico, gerando um processo de adaptação acústica.

2.5 Referências Bibliográficas

- AGAFONOV, A. V.; PANOVA, E. M. Individual patterns of tonal (whistling) signals of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) kept in relative isolation. **Biology Bulletin**, v. 39, n. 5, p. 430-440, 2012.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3, p. 227-267. 1974.
- ARAÚJO, F. G.; PINTO, S. M., NEVES, L. M., & DE AZEVEDO, M. C. C. Inter-annual changes in fish communities of a tropical bay in southeastern Brazil: What can be inferred from anthropogenic activities? **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 1, p. 102-113, 2017.
- AU, W. W. L. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: AU, W. L. A.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000, p. 1-42.
- BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M., ANDRADE, L. G., CARVALHO, R. R., BISI, T. L., LAILSON-BRITO JR, J., & AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2017.
- BOISSEAU, O. Quantifying the acoustic repertoire of a population: The vocalizations of free-ranging bottlenose dolphins in Fiordland, New Zealand. **The Journal of Acoustical Society of America**, v. 117, n. 4, p. 2318–2329. 2005.
- BUCK, J. R.; TYACK, P. L. A quantitative measure of similarity for *Tursiops truncatus* signature whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 94, n. 5, p. 2497-2506, 1993.
- BUCKSTAFF, K C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. **Marine Mammal Science**, v. 20, n. 4, p. 709-725, 2004.
- CALDEIRA, A. Q., DE PAULA, J. C., REIS, R. P., & GIORDANO, R. G. Structural and functional losses in macroalgal assemblages in a southeastern Brazilian bay over more than a decade. **Ecological indicators**, v. 75, p. 242-248, 2017.
- CALDWELL, M. C. & CALDWELL, D. K. Vocalization of naive captive dolphins in small groups. **Science** 159:1121–1123, 1968.
- CALDWELL, Melba C.; CALDWELL, David K. The whistle of the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*)—ontogeny. In: **Behavior of marine animals**. Springer, Boston, MA, 1979. p. 369-401.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; TYACK, P. L. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. **The bottlenose dolphin**, p. 199-234, 1990.
- CANTOR, M.; WEDEKIN, L. L.; GUIMARAES, P. R.; DAURA-JORGE, F. G.; ROSSI-SANTOS, M. R.; SIMOES-LOPES, P. C. Disentangling social networks from spatiotemporal dynamics: the temporal structure of a dolphin society. **Animal Behaviour**, v. 84, n. 3, p. 641-651, 2012.

- CHENG, Z.; WANG, D.; WU, H.; HUANG, S. L.; PINE, M. K.; PENG, C. & WANG, K. Stereotyped Whistles May Be First Evidence to Suggest the Possibility of Signature Whistles in an Injured Indo-Pacific Humpback Dolphin (*Sousa chinensis*). **Aquatic Mammals**, v. 43, n. 2, p. 185, 2017.
- COOK, M. L.; SAYIGH, L. S.; BLUM, J. E. & WELLS, R. S. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Proceedings of the Royal Society of London-B**, v. 271, n. 1543, p. 1043-1050, 2004.
- DEECKE, Volker B.; JANIK, Vincent M. Automated categorization of bioacoustic signals: avoiding perceptual pitfalls. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 119, n. 1, p. 645-653, 2006.
- ERBE, Christine. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. **Marine mammal science**, v. 18, n. 2, p. 394-418, 2002.
- EBER, Cláudia; SIMÃO, Sheila M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi Dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 2, p. 381-385, 2004.
- ESCH, H. C., SAYIGH, L. S., BLUM, J. E., & WELLS, R. S. Whistles as potential indicators of stress in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Journal of Mammalogy**, v. 90, n. 3, p. 638-650, 2009.
- ESCH, H. C.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Quantifying parameters of bottlenose dolphin signature whistles. **Marine Mammal Science**, v. 25 p. 976-986, 2009.
- EY, E.; FISCHER, J. The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics**, v. 19, n. 1-2, p. 21-48, 2009.
- FIGUEIREDO, L. D & SIMÃO, S. M. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, p. 1563-1569, 2009.
- FILATOVA, OLGA A., DEECKE, VOLKER B., FORD, JOHN K.B., MATKIN, CRAIG O., BARRETTLENNARD, LANCE G., GUZEEV, MIKHAIL A., BURDIN, ALEXANDR M. AND HOYT, ERICH. Call diversity in the North Pacific killer whale populations: implications for dialect evolution and population history. **Animal Behaviour**, v. 83, n. 3, p. 595-603, 2012.
- FRIPP, D.; OWEN, C.; QUINTANA-RIZZO, E.; SHAPIRO, A.; BUCKSTAFF, K., JANKOWSKI, K., WELLS, RANDALL S. & TYACK, P. Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) calves appear to model their signature whistles on the signature whistles of community members. **Animal cognition**, v. 8, n. 1, p. 17-26, 2005.
- GRIDLEY, T.; COCKCROFT, V. G.; HAWKINS, E. R.; BLEWITT, M. L.; MORISAKA, T. & JANIK, V. M. Signature whistles in free-ranging populations of Indo-Pacific bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus*. **Marine Mammal Science**, v. 30, n. 2, p. 512-527, 2014.

- HANSER, SEAN FREDERICK THURMAN. **Toward the social and acoustic ecology of social foraging humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in southeast Alaska.** University of California, Davis, 2009.
- HAWKINS, ELIZABETH R. Geographic variations in the whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) along the east and west coasts of Australia. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 128, n. 2, p. 924-935, 2010.
- HERZING, Denise L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Aquatic Mammals**, v. 22, p. 61-80, 1996.
- HOLT, M. M., NOREN, D. P., DUNKIN, R. C., & WILLIAMS, T. M. Vocal performance affects metabolic rate in dolphins: implications for animals communicating in noisy environments. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 11, p. 1647-1654, 2015.
- HOLT, M. M., NOREN, D. P., DUNKIN, R. C., & WILLIAMS, T. M. Comparing the metabolic costs of different sound types in bottlenose dolphins. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics 4ENAL**. ASA, 2016. p. 010019.
- JANIK, V. M.; TODT, D. & DEHNHARDT, G. Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 35, n. 4, p. 243-248, 1994.
- 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.
- JANIK, V. M. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. **Animal Behaviour**, v. 57, n. 1, p. 133-143, 1999.
- JANIK, V. M.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 21, p. 8293-8297, 2006.
- JANIK, V. M.; KING, S. L.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 1, p. 109-122, 2013.
- JANIK, VINCENT M.; SAYIGH, LAELA S. Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 199, n. 6, p. 479-489, 2013.
- KAPLAN, J. D.; MELILLO-SWEETING, K. & REISS, D.. Biphonal calls in Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*): bitonal and burst-pulse whistles. **Bioacoustics**, p. 1-20, 2017.
- KING, STEPHANIE L.; JANIK, VINCENT M. Bottlenose dolphins can use learned vocal labels to address each other. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 32, p. 13216-13221, 2013.
- KING, S. L.; SAYIGH, L. S.; WELLS, R. S.; FELLNER, W. & JANIK, V. M. Vocal copying of individually distinctive signature whistles in bottlenose dolphins. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 280, p. 20130053, 2013.

- KING, S. L. & JANIK, V. M. Come dine with me: food-associated social signalling in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Animal cognition**, v. 18, n. 4, p. 969-974, 2015.
- KING, S. L.; GUARINO, E.; KEATON, L.; ERB, L. & JAAKKOLA, K. Maternal signature whistle use aids mother-calf reunions in a bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioural Processes**, v. 126, p. 64-70, 2016.
- LAIOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635-1645. 2010.
- LEON-LOPEZ, Braulio. **Bottlenose dolphin signature whistle variation: a perspective on physical characteristics, long-term stability, relatedness, and disturbance effects**. 2017. Tese de Doutorado. University of St Andrews.
- LIMA, A. & LE PENDU, Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 136, n. 6, p. 3178-3185, 2014.
- LOMBARD, Etienne. Le signe de l'elevation de la voix. **Ann. Mal. de L'Oreille et du Larynx**, p. 101-119, 1911.
- MAY-COLLADO, Laura J.; AGNARSSON, Ingi; WARTZOK, Douglas. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evolutionary Biology**, v. 7, n. 1, p. 136, 2007.
- MAY-COLLADO, Laura J.; WARTZOK, Douglas. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistle variation. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 5, p. 1229-1240, 2008.
- 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**, 125(2), 1202-1213, 2009.
- MAY-COLLADO, L. J., & WARTZOK, D. Sounds produced by the tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico rivers of Ecuador. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, 8(1-2), 131-136, 2010.
- MCCOWAN, B. & REISS, D. Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins (*Delphinidae*, *Tursiops truncatus*): A re-evaluation of the signature whistle hypothesis. **Ethology**, v. 100, n. 3, p. 194-209, 1995.
- MCCOWAN, B. & REISS, D. The fallacy of 'signature whistles' in bottlenose dolphins: a comparative perspective of 'signature information' in animal vocalizations. **Animal behaviour**, v. 62, n. 6, p. 1151-1162, 2001.
- MIKSIS, J. L.; TYACK, P. L. & BUCK, J. R. Captive dolphins, *Tursiops truncatus*, develop signature whistles that match acoustic features of human-made model sounds. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 112, n. 2, p. 728-739, 2002.
- MORISAKA, Tadamichi 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.; YOSHIDA, Y.; AKUNE, Y.; MISHIMA, H. & NISHIMOTO, S. Exchange of “signature” calls in captive belugas (*Delphinapterus leucas*). **Journal of ethology**, v. 31, n. 2, p. 141-149, 2013.
- MORTON, Eugene S. Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist*, v. 109, n. 965, p. 17-34, 1975.
- PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Evidence for signature whistle production by a Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis*. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 4, p. 944-949, 2001.
- QUICK, Nicola J.; JANIK, Vincent M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. **Journal of Comparative Psychology**, v. 122, n. 3, p. 305, 2008.
- QUICK, Nicola J.; JANIK, Vincent M. Bottlenose dolphins exchange signature whistles when meeting at sea. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1738, p. 2539-2545, 2012.
- RENDELL, Luke; WHITEHEAD, Hal. Spatial and temporal variation in sperm whale coda vocalizations: stable usage and local dialects. **Animal Behaviour**, v. 70, n. 1, p. 191-198, 2005.
- ROTHSTEIN, Stephen I.; FLEISCHER, Robert C. Vocal dialects and their possible relation to honest status signalling in the brown-headed cowbird. **The Condor**, v. 89, n. 1, p. 1-23, 1987.
- SANTOS, M. E. D., LOURO, S., COUCHINHO, M. N., & BRITO, C. M. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: characteristics, production rates, and long-term contour stability. **Aquatic Mammals**, v. 31, n. 4, p. 453, 2005.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S., & SCOTT, M. D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 26, n. 4, p. 247-260, 1990.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SCOTT, M. D. & IRVINE, A. B. Sex difference in signature whistle production of free-ranging bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 36, n. 3, p. 171-177, 1995.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SOLOW, A. R.; SCOTT, M. D. & IRVINE, A. B. Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. **Animal Behaviour**, v. 57, n. 1, p. 41-50, 1999.
- SAYIGH, L. S.; ESCH, H. C.; WELLS, R. S. & JANIK, V. M. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 6, p. 1631-1642, 2007.
- SAYIGH, L. S.; QUICK, N. J.; HASTIE, G.; TYACK, P. Repeated call types in short-finned pilot whales, *Globicephala macrorhynchus*. **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 2, p. 312-324, 2013.

- SHAPIRO, A. D. Preliminary evidence for signature vocalizations among free-ranging narwhals (*Monodon monoceros*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, p.1695–1705, 2006.
- SLABBEKOORN, Hans et al. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in ecology & evolution*, v. 25, n. 7, p. 419-427, 2010.
- SMOLKER, R. A.; MANN, J. & SMUTS, B. B. Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 33, n. 6, p. 393-402, 1993.
- SOUSA-LIMA, Renata S.; CLARK, Christopher W. Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Canadian Acoustics*, v. 36, n. 1, p. 174-181, 2008.
- STEINER, WILLIAM W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 4, p. 241-246, 1981.
- TEAM, R. Core. A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2012. URL <https://www.R-project.org>, 2019.
- TOMONAGA, M.; UWANO, Y.; OGURA, S.; CHIN, H.; DOZAKI, M. & SAITO, T. Which person is my trainer? Spontaneous visual discrimination of human individuals by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **SpringerPlus**, v. 4, n. 1, p. 352, 2015.
- TYACK, P. L. Whistle repertoires of two bottlenosed dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles?. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 18, n. 4, p. 251-257, 1986.
- TYACK, P. Use of a telemetry device to identify which dolphin produces a sound. In: Pryor K, Norris KS (eds) **Dolphin Societies: discoveries and puzzles**. University of California Press, Berkeley, pp 319–344, 1991.
- TYACK, P. L. Development and social functions of signature whistles in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. **Bioacoustics**, v. 8, n. 1-2, p. 21-46, 1997.
- VARGHA, András; DELANEY, Harold D. A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong. **Journal of Educational and Behavioral Statistics**, v. 25, n. 2, p. 101-132, 2000.
- WATWOOD, S. L.; OWEN, E. C.; TYACK, P. L. & WELLS, R. S. Signature whistle use by temporarily restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Animal Behaviour**, v. 69, n. 6, p. 1373-1386, 2005.
- ZOLLINGER, Sue Anne; BRUMM, Henrik. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. **Behaviour**, v. 148, n. 11-13, p. 1173-1198, 2011.

**3 - CAPÍTULO II – VARIAÇÕES GEOGRÁFICAS NO REPERTÓRIO
ACÚSTICO DO BOTO-CINZA ENTRE AS BAÍAS DE SEPETIBA E ILHA
GRANDE.**

RESUMO

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Os cetáceos apresentam pouca variação intraespecífica nos repertórios acústicos, mas populações diferem suficientemente para permitir discriminações acústicas em escala micro e macrogeográfica. A maioria dos estudos publicados com o repertório acústico do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) focou em apenas uma população. Entretanto, alguns já indicaram que os parâmetros acústicos dos assovios podem variar entre populações adjacentes e não adjacentes. A comparação entre os padrões de modulação do assovio em detrimento da comparação entre parâmetros acústicos específicos pode ser um método mais robusto para classificar assovios em categorias e identificar variações geográficas. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar as diferenças geográficas nos assovios produzidos pelo boto-cinza entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande. Nesta comparação identificamos 180 contornos de frequência na população da Baía da Ilha Grande e 53 na população da Baía de Sepetiba. Dentre os assovios classificados, foram identificados 164 contornos de frequência exclusivos para a população da Baía da Ilha Grande, 38 contornos de frequência exclusivos para a Baía de Sepetiba e 8 contornos de frequência compartilhados entre as populações. As variações geográficas observadas não se dão apenas nos tipos de assovios emitidos, mas também na diversidade dos repertórios. Esta diferença parece não ser explicada pelo tamanho populacional, contextos comportamentais em que foram gravados ou proximidade e conexão entre as baías, mas sim pela influência de outras espécies no comportamento vocal do boto-cinza na Baía da Ilha Grande.

Palavras-chave: Repertório de assovios, comportamento acústico, diferenças geográficas, *Sotalia guianensis*.

ABSTRACT

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Cetaceans show little intraspecific variation in acoustic repertoires, but populations differ sufficiently to allow for micro and macrogeographic acoustic discrimination. Most of the studies published with the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) focused on only one population. However, some studies indicated that the acoustic parameters of whistles may vary between adjacent and nonadjacent populations. Comparing whistle modulation patterns over specific acoustic parameters can be a more robust method for classifying whistles into categories and identifying geographic variations. Thus, the goal of this study was to evaluate the geographical differences in whistles produced by Guiana dolphin between Sepetiba and Ilha Grande bays. In this comparison we identified 180 frequency contours in the population of Ilha Grande Bay and 53 in the population of Sepetiba Bay. Among the classified whistles, 164 unique frequency contours were identified for the population of Ilha Grande Bay, 38 unique frequency contours for Sepetiba Bay and 8 shared frequency contours between populations. The geographical variations observed not only occur in the types of whistles emitted, but also in the diversity of the repertoires. This difference does not seem to be explained by population size, behavioral contexts in which they were recorded or proximity and connection between bays, but rather by the influence of other species on the behavior of Guiana dolphins in Ilha Grande Bay.

Keywords: Whistle repertoire, acoustic behavior, geographical differences, *Sotalia guianensis*.

3.1 Introdução

Para diversas espécies de vertebrados, variações acústicas em escala espacial podem fornecer informações sobre a dispersão da espécie (ELLERS & SLABBEKOORN, 2003), isolamento geográfico e cultural (JANIK & SLATER, 2000), diferenças genéticas entre grupos ou populações (FORD, 2018; LEMON, 1966) e adaptações acústicas ao ambiente (EY & FISCHER, 2009; MORISAKA *et al.* 2005).

Para algumas espécies de aves, estas variações geográficas frequentemente são interpretadas como dialetos (NELSON & POESEL, 2007; WRIGHT, 1996). Dialetos são entendidos como sinais compartilhados por um grupo de organismos ligeiramente diferentes dos grupos vizinhos. De acordo com STRE *et al.* (1997), a variação geográfica na estrutura da canção de aves filogeneticamente próximas foi selecionada evolutivamente para reduzir a hibridização.

Esta hipótese proposta por STRE *et al.* (1997) parece congruente com as variações observadas em cetáceos. Em Delphinidae, a estrutura dos assovios possui diferenças maiores entre as espécies simpátricas do que entre as espécies alopátricas (STEINER, 1981). Em geral, golfinhos que vivem em sociedades fluidas em que os grupos mudam frequentemente tendem a apresentar grande variação no repertório de assovios dos indivíduos, como, por exemplo, os assovios assinatura (TYACK, 1986). Entretanto, de maneira não excludente, espécies que vivem em grupos estáveis geralmente não têm assovios individualmente distintos, mas têm repertórios geograficamente distintos que frequentemente são chamados de dialetos (TYACK, 1986). Estes dialetos já foram reportados para duas espécies de cetáceos, sendo identificados nos chamados de orcas (*Orcinus orca*) (FORD, 2018; DEECKEL & FROD, 1999) e nas codas de cachalotes (*Physeter macrocephalus*) (RENDELL & WHITEHEAD, 2005; WEILGART & WHITEHEAD, 1997).

Apesar dos cetáceos apresentarem pouca variação intraespecífica nos repertórios acústicos, as populações diferem suficientemente para permitir discriminações acústicas em escala microgeográfica (entre populações vizinhas) (*e.g.* ANSMANN *et al.* 2007; AZEVEDO & VAN SLUYS 2005; BARZU' A-DURAN & AU 2004; MORISAKA *et al.* 2005; ROSSI-SANTOS & PODOS 2006) e macrogeográficas (entre populações distantes) (*e.g.* AZEVEDO & VAN-SLUYS 2005; PAPAIE *et al.*, 2013; MELO-SANTOS, 2018, MORON *et al.*, 2019).

A variação geográfica nas características acústicas de cetáceos já foi estudada para vários Delphinidae: golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops sp.*) (JONES & SAYIGH, 2002; MORISAKA *et al.*, 2005; BARON *et al.*, 2008; MAY-COLLADO & WARTZOK, 2008; HAWKINS & GARTSIDE, 2010), golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) (BARON *et al.*, 2008), golfinho-rotador (*Stenella longirostris*) (BAZUADURAN & AU, 2004), golfinho-comum-de-bico-curto (*Delphinus delphis*) (ANSMANN *et al.*, 2007; PETRELLA, 2009), orca (*Orcinus orca*) (FORD, 2018), falsa-orca (*Pseudorca crassidens*), golfinho-de-risso (*Grampus griseus*), baleia-piloto-de-peitorais-longas (*Globicephala melas*) e baleia-piloto-de-peitorais-longas (*Globicephala macrorhynchus*) (RENDELL *et al.*, 1999).

Muitos dos estudos publicados com o repertório acústico do boto-cinza focaram em apenas uma população (EBER & SIMÃO, 2004; FIGUEIREDO & SIMÃO, 2009; MAY-COLLADO & WARTZOK 2009; MAY-COLLADO 2010a, 2010b), mas alguns outros já avaliaram mais de uma população (*e.g.* AZEVEDO & VAN SLUYS 2005;

ROSSI-SANTOS & PODOS, 2006; MELO-SANTOS, 2018, MORON *et al.*, 2019). Alguns desses estudos já indicaram que os parâmetros acústicos dos assovios do boto-cinza podem variar entre populações adjacentes (BARBOSA, 2009; ANDRADE *et al.*, 2015) e não adjacentes (AZEVEDO & VAN-SLUYS 2005; ROSSI-SANTOS & PODOS 2006). Além disso, já foi demonstrado uma maior variação entre populações geograficamente mais afastadas do que entre populações adjacentes (AZEVEDO & VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS & PODOS 2006).

No estado do Rio de Janeiro, o boto-cinza está presente em três baías costeiras, sendo elas: Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Baía da Ilha Grande. As baías de Sepetiba e Ilha Grande apresentam um fluxo de indivíduos que corresponde a cerca de 10% da população, já para a Baía de Guanabara, não foi reportado trânsito de indivíduos com outras baías próximas (Galvão, 2013).

Em uma comparação entre parâmetros acústicos dos assovios do boto-cinza, os parâmetros de frequência apresentam diferenças entre estas áreas (ANDRADE *et al.*, 2015). De acordo com ANDRADE *et al.* (2015), essa variação geográfica poderia ser explicada pelo baixo fluxo de indivíduos entre estas baías ou por diferenças acústicas e ecológicas entre as áreas.

Com exceção de MELO-SANTOS (2018), todos os trabalhos utilizaram os parâmetros acústicos dos assovios para comparar população. A comparação de parâmetros acústicos específicos, apesar de amplamente usada, não é capaz de decompor toda a variação de modulação do sinal acústico. Por outro lado, a utilização de métodos de comparação do padrão de modulação dos sinais, que comparem todos os pontos de amostragem do sinal, pode ser mais robustos para classificar assovios em categorias biologicamente representativas (DEECKE & JANIK, 2006). Ou seja, ao comparar padrões de modulação, ao invés de parâmetros específicos, a comparação se dá entre sinais que, provavelmente, carregam informações diferentes e não em variações do mesmo sinal. Neste sentido, o objetivo deste capítulo foi avaliar as diferenças geográficas nos tipos de assovios produzidos pelo boto-cinza entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande.

Para esta comparação entre populações, consideramos como premissa que: 1) as baías de Sepetiba e Ilha Grande apresentam trânsito de cerca de 10% dos seus indivíduos entre elas (Galvão, 2013), permitindo a troca de informações acústicas e comportamentais; 2) os botos-cinza apresentam diferenças acústicas entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande (ANDRADE *et al.*, 2015)

Desta forma, hipotetizamos que: 1) há um baixo compartilhamento de assovios entre estas populações; 2) diversidade de assovios é diferente entre as populações.

3.2 Metodologia

Protocolo de Coleta

Para este estudo foram realizadas gravações feitas no período entre 2015 e 2018 na Baía de Sepetiba e 2017 e 2018 na Baía da Ilha Grande (Figura 20).

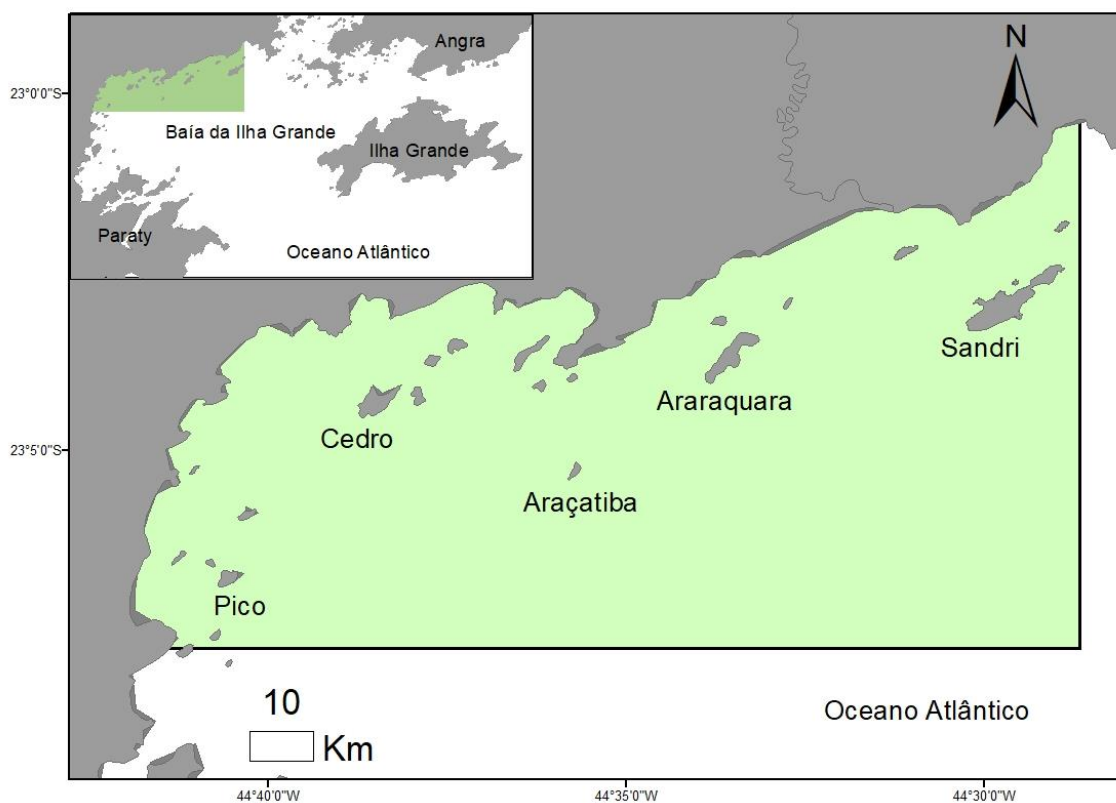


Figura 20. Mapa da área de estudo na Baía da Ilha Grande. Em verde está delimitando a área amostrada na parte oeste da Baía da Ilha Grande.

As gravações acústicas na Baía da Sepetiba seguiram os protocolos já explicados no primeiro capítulo desta tese. As gravações na Baía da Ilha Grande foram realizadas por meio de um gravador SoundTrap (modelo HF 300) com taxa de amostragem de 576 kHz (16bit). Durante a amostragem, foram seguidas rotas não sistemáticas. Após o encontro de um grupo de boto-cinza foram seguidos os mesmos métodos de coleta já explicados no capítulo anterior.

Protocolo de Análises

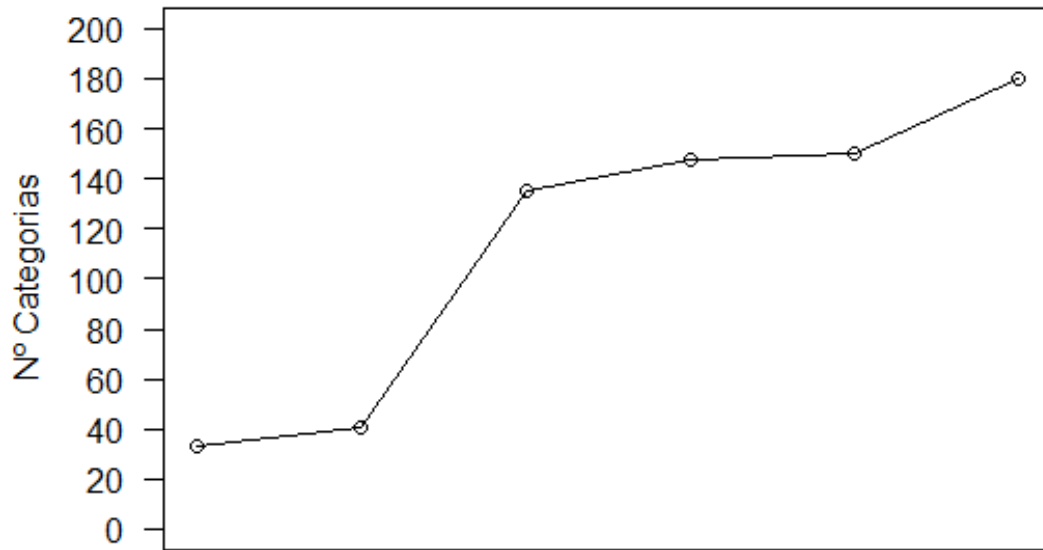
Para comparar os assovios do boto-cinza nas baías de Sepetiba e Ilha Grande, foram comparados repertórios acústicos destas populações. A comparação entre os assovios foi realizada pelo método ARTwarp (DEECKE & JANIK, 2006) (ver detalhes no Capítulo I).

3.3 Resultados

Foram realizadas 14h e 40min de gravações na Baía de Sepetiba durante o período de 2015 a 2018 e 6h e 43min na Baía da Ilha Grande durante o período de 2017 a 2018. As gravações na Baía da Ilha Grande foram realizadas durante o outono de 2017 e verão de 2018.

Para identificar variações geográficas entre as populações das baías de Sepetiba e Ilha Grande, foram comparados 640 contornos de frequência, sendo 201 da Baía de Sepetiba e 439 na Baía da Ilha Grande. A curva do coletor indica uma tendência de estabilização de novas categorias (Figura 21). Na população da Baía da Ilha Grande foram classificados 180 tipos diferentes de contornos de frequência (Figura 22), enquanto

em Sepetiba foram classificados 53 tipos de contornos de frequência (Capítulo I - Figura 12).



Amostras

Figura 21. Curva do coletor referente aos 180 tipos de contornos de frequência emitidos pelo boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía da Ilha Grande, indicando uma tendência de estabilização no número de novas categorias (N = 439 assovios). Cada ponto do gráfico corresponde ao número cumulativo de categorias a cada dia de gravação.

Na comparação entre populações, foram classificados 210 assovios (Anexo I). Dentre os assovios classificados, foram identificados 164 contornos de frequência exclusivos para a população da Baía da Ilha Grande, 38 contornos de frequência exclusivos para a Baía de Sepetiba e 8 contornos de frequência compartilhados entre as populações, ou seja, compartilham apenas 3,8% do seu repertório (Anexo II) (Figura 23).



Figura 22. Contornos de frequência classificados pelo método ARTwarp para a população de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, na Baía da Ilha Grande.

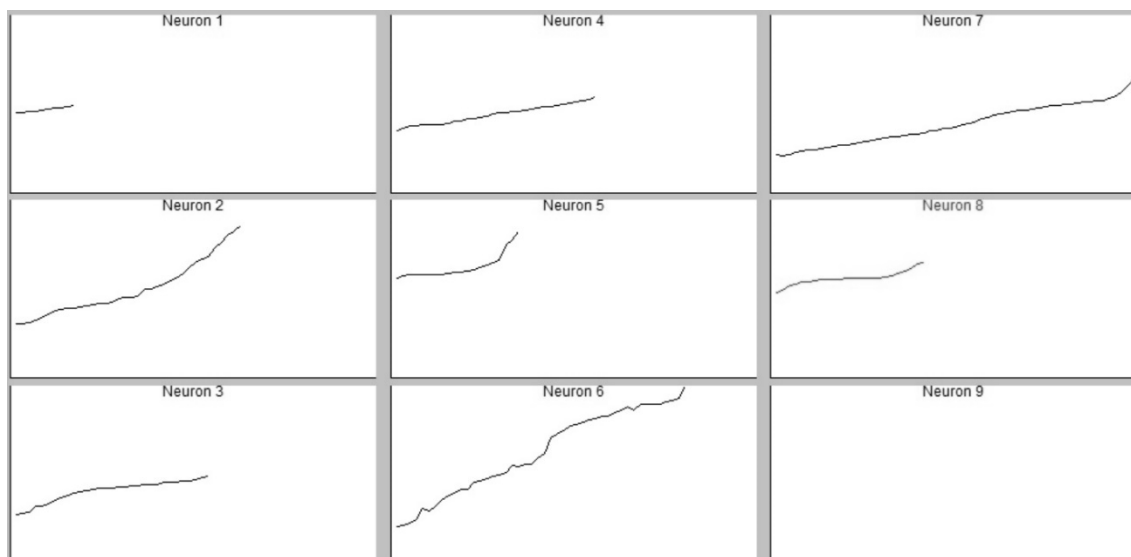


Figura 23. Contornos de frequência compartilhados classificados pelo método ARTwarp para as populações de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.

3.4 Discussão

A comparação entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande indicaram uma variação geográfica no repertório de assovios destas populações. Esta variação evidencia que apesar dos assovios desempenharem um papel importante no reconhecimento de espécies, a modulação pode variar entre populações (JANIK, 2009). Além disso, a comparação geográfica entre os repertórios do boto-cinza nas baías de Sepetiba e Ilha Grande revelou um baixo compartilhamento do repertório.

De acordo com ANDRADE *et al.* (2015), as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande apresentam diferenças significativas entre os parâmetros acústicos dos assovios. Entre as baías de Guanabara e Sepetiba oito parâmetros acústicos são significativamente diferentes, enquanto nove diferiram significativamente entre as baías de Guanabara e Ilha Grande e apenas quatro foram significativamente diferentes entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande (ANDRADE *et al.*, 2015). Desta forma, os autores associam a maior semelhança entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande ao trânsito de indivíduos entre as baías (GALVÃO, 2013; ANDRADE *et al.*, 2015). Além disso, é possível que o maior trânsito de embarcações na Baía de Guanabara tenha modificado o ambiente acústico e consequentemente os parâmetros acústicos desta população (ANDRADE *et al.*, 2015; BITTENCOURT *et al.*, 2017). Entretanto, é válido ressaltar que as gravações de ANDRADE *et al.* (2015) foram realizadas entre 2008 e 2009. Desta forma, é possível que as mudanças observadas não representem mais o cenário atual. Além disso, uma vez que a comparação entre os parâmetros acústicos incorpora as variações que ocorrem no ambiente (MORISAKA *et al.*, 2005), esta pode ser menos robusta para entender as variações geográficas em termos da diversidade e tipos de assovios.

O compartilhamento de assovios observado neste estudo está de acordo com o observado por MELO-SANTOS (2018) (Anexo III). MELO-SANTOS (2018) comparou geograficamente cerca de 200 assovios para cada população de *Sotalia* sp., considerando gravações de 1998 e 2015 na Baía de Sepetiba e 2017 a 2018 na Baía da Ilha Grande. Diferente do referido trabalho, nosso estudo considerou apenas assovios obtidos a partir de 2015 a 2018 na Baía de Sepetiba e 2017 a 2018 na Baía da Ilha Grande. Esta medida foi tomada para evitar influências de variações temporais nesta comparação. Além disso,

apesar de usarmos as mesmas gravações que MELO-SANTOS (2018) para a Baía da Ilha Grande, comparamos mais que o dobro do número de assovios, identificando assim mais categorias (Tabela 3).

Tabela 3. Comparações de resultados com MELO-SANTOS (2018) para as baías de Sepetiba (SEP) e Ilha Grande (BIG).

Autor	MELO-SANTOS		MACIEL	
	BIG	SEP	BIG	SEP
População				
Assovios comparados	200	199	640	201
Nº de categorias	114	56	180	53
Assovios compartilhados	10 (5,9%)		8 (3,4%)	

Apesar de GALVÃO (2013) ter evidência do trânsito entre baías, ainda não está claro a frequência de trânsito ou a duração de permanência dos indivíduos. Tendo em vista que essas populações vivem em baías contíguas e apresentam trânsito de apenas 10% dos indivíduos (GALVÃO, 2013), não era esperado um alto compartilhamento de assovios entre as baías. Assim compartilhamento de cerca de 10% do repertório condiz com o compartilhamento de indivíduos. Entretanto, o número assovios compartilhados entre baías de Sepetiba e Ilha Grande é menor ou igual aos do Paraná, Tocantins, Santa Catarina e São Paulo (Anexo II) (MELO-SANTOS, 2018). Apesar disso, quando comparados por meio de análises de grupamento, os tipos compartilhados entre populações, as baías de Sepetiba e Ilha Grande são mais próximas entre si do que com qualquer outra ao longo de toda a distribuição (MELO-SANTOS, 2018).

Mesmo com o maior tamanho amostral, o número de assovios compartilhados entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande foi proporcionalmente menor que o observado por MELO-SANTOS (2018), reforçando que apesar de contíguas, há um baixo compartilhamento acústico entre estas baías. Contudo, esta comparação deve ser olhada com cuidado, visto que MELO-SANTOS (2018) usou diferentes séries de dados para a Baía de Sepetiba.

O baixo compartilhamento do repertório acústico entre populações tão próximas pode ser um indício de que as populações desenvolveram dialetos para evitar hibridização (STRE *et al.*, 1997). Contudo, ainda são necessários mais estudos para determinar se de fato há construção de dialetos nessas populações.

É importante ressaltar que, diferente da população de boto-cinza da Baía de Sepetiba, a população da Baía da Ilha Grande ocorre em áreas adjacentes a áreas de ocorrência de outros Delphinidae: golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) (e.g. LODI *et al.*, 2008; LODI, 2016), golfinho-de-dentes-rugosos (*Steno bredanensis*) (e.g. LODI & HETZEL, 1999) e golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) (e.g. AZEVEDO *et al.*, 2010). Apesar de ainda não ter sido reportado a co-ocorrência do boto-cinza com outras espécies na área de estudo, é possível que eventualmente ocorram interações. Interações com outras espécies podem ter ocasionado compartilhamento de informações acústicas por meio de aprendizagem vocal. Desta forma, o repertório acústico dos botos-cinza da Baía da Ilha Grande pode ser o mais diverso de toda a espécie (MELO-SANTOS, 2018) por incorporar elementos do padrão de modulação de outras espécies. Apesar desta hipótese ser ainda especulativa, há evidências de que na Costa Rica os botos-cinza mudam a estrutura de seus assovios durante associações com golfinhos-nariz-de-garrafa, incorporando elementos do padrão de modulação,

apresentando assim o segundo repertório acústico mais diverso de toda a distribuição (MAY-COLLADO, 2010; MELO-SANTOS, 2018). Em contradição a esta hipótese, outras áreas, como na Amazônia e na Baía de Babitonga (Santa Catarina), o boto-cinza co-ocorre com outros Delphinidae, mas o repertório não tem uma diversidade tão expressiva quanto da Baía de Ilha Grande e Costa Rica.

A variação geográfica encontrada no repertório de assovios do boto-cinza, em termos de diversidade acústica, parece não ter relação com os contextos comportamentais em que foram gravados. Apesar de, atualmente a população da Baía da Ilha Grande apresentar maior complexidade comportamental, quando comparada com a população da Baía de Sepetiba (Tardin, comunicação pessoal), ambas foram gravadas em diferentes estados comportamentais. Além disso, MELO-SANTOS (2018) também encontrou resultados similares usando dados do passado e presente da Baía de Sepetiba. Entretanto, são necessários estudos que se proponham a identificar 1) se há sinais acústicos específicos em cada estado e/ou evento comportamental e 2) se esses sinais acústicos são compartilhados entre as populações.

Podemos concluir que existem variações geográficas entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande. Essas variações não se dão apenas nos tipos de assovios emitidos, mas também na diversidade dos repertórios. A maior diversidade de assovios identificadas para a Baía da Ilha Grande parece não ser explicada pelo tamanho populacional, estados comportamentais em que foram gravados ou proximidade entre as baías. Dessa forma, esta variação geográfica no repertório de assovios pode estar relacionada com o baixo trânsito de indivíduos entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande.

3.5 Referências Bibliográficas

- ANDRADE, L. G.; LIMA, I. M. S.; DA SILVA MACEDO, H.; DE CARVALHO, R. R.; LAILSON-BRITO, J.; FLACH, L.; DE FREITAS AZEVEDO, A. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *acta ethologica*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015.
- ANSMANN, I. C.; GOOLD, J. C.; EVANS, P. G.; SIMMONDS, M.; KEITH, S. G. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, n. 1, p. 19-26, 2007.
- AZEVEDO, ALEXANDRE F.; VAN SLUYS, MONIQUE. 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, Alexandre F. et al. Whistles emitted by Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) in southeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2646-2651, 2010.
- BARBOSA, MÔNICA MACHADO COLLARES. **Comparação entre os repertórios sonoros das populações de botos-cinza, *Sotalia guianensis*, presentes na Baía de Paraty e na Baía de Sepetiba, RJ**. Dissertação, 2009.
- BARON, S. C.; Martinez, A.; Garrison, L. P.; Keith, E. O. Differences in acoustic signals from Delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. **Marine Mammal Science**, v. 24, n. 1, p. 42-56, 2008.
- BAZÚA-DURÁN, CARMEN; AU, WHITLOW WL. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawaiian Islands. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 6, p. 3757-3769, 2004.
- BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M., ANDRADE, L. G.; CARVALHO, R. R.; BISI, T. L.; LAILSON-BRITO JR., J.; & AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2017.
- DEECKE, Volker B.; FORD, John KB; SPONG, Paul. Quantifying complex patterns of bioacoustic variation: Use of a neural network to compare killer whale (*Orcinus orca*) dialects. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 105, n. 4, p. 2499-2507, 1999.
- ELLERS, JACINTHA; SLABBEKOORN, HANS. Song divergence and male dispersal among bird populations: a spatially explicit model testing the role of vocal learning. **Animal Behaviour**, v. 65, n. 4, p. 671-681, 2003.
- ESPÉCIE, Mariana de Assis et al. Tamanho populacional e estimativa da sobrevivência relativa de *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) na parte oeste da Baía da Ilha Grande, RJ. 2011.
- EY, E.; FISCHER, J. The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics**, v. 19, n. 1-2, p. 21-48, 2009.

- FLACH, LEONARDO; FLACH, P. A.; CHIARELLO, ADRIANO G. Density, abundance and distribution of the Guiana dolphin, (*Sotalia guianensis* van Benéden, 1864) in Sepetiba Bay, Southeast Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 10, n. 1, p. 31-36, 2008.
- FORD, John KB. Dialects. In: **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2018. p. 253-254.
- GALVÃO, CARINE CRISTINA GONÇALVES. **Comparação dos catálogos de foto-identificação das populações de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla, Delphinidae) da Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação, 2013.
- HAWKINS, Elizabeth R.; GARTSIDE, Donald F. Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2652-2663, 2010.
- JANIK, Vincent M. Acoustic communication in delphinids. **Advances in the Study of Behavior**, v. 40, p. 123-157, 2009.
- JONES, Guenevere J.; SAYIGH, Laela S. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. **Marine Mammal Science**, v. 18, n. 2, p. 374-393, 2002.
- LEMON, R. E. Geographic variation in the song of cardinals. **Canadian Journal of Zoology**, v. 44, n. 3, p. 413-428, 1966.
- LODI, Liliane; HETZEL, Bia. ROUGH-TOOTHED DOLPHIN, *Steno bredanensis*, FEEDING BEHAVIORS IN ILHA GRANDE BAY. **Biociências**, v. 7, n. 1, p. 29-42, 1999.
- LODI, L.; WEDEKIN, L. L.; ROSSI-SANTOS, M. R.; MARCONDES, M. C. Movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Rio de Janeiro state, southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 4, p. 0-0, 2008.
- LODI, Liliane. Update on the current occurrence of *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) in Rio de Janeiro State. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 11, n. 1-2, p. 220-226, 2016.
- MAY-COLLADO, Laura J.; WARTZOK, Douglas. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistle variation. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 5, p. 1229-1240, 2008.
- MAY-COLLADO, Laura J. Changes in whistle structure of two dolphin species during interspecific associations. **Ethology**, v. 116, n. 11, p. 1065-1074, 2010.
- MELO-SANTOS, GABRIEL ALVES. **Acoustic ecology of dolphins of the genus *Sotalia* (Cetartiodactyla, Delphinidae) and of the newly described Araguaian boto *Inia araguaiaensis* (Cetartiodactyla, Iniidae)**. 2018.
- MORISAKA, TADAMICHI; SHINOHARA, M., NAKAHARA, F., & AKAMATSU, T. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. **Journal of Mammalogy**, v. 86, n. 3, p. 541-546, 2005.

- MORON, Juliana Rodrigues et al. Whistle variability of Guiana dolphins in South America: Latitudinal variation or acoustic adaptation? **Marine Mammal Science**, v. 35, n. 3, p. 843-874, 2019.
- NELSON, DOUGLAS A.; POESEL, ANGELIKA. Segregation of information in a complex acoustic signal: individual and dialect identity in white-crowned sparrow song. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 4, p. 1073-1084, 2007.
- NERY, M. F. Fidelidade de Habitat e Estimativa Populacional de *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) da Baía de Sepetiba–RJ, por meio da técnica de marcação-recaptura. 2008.
- PAPALE, E.; AZZOLIN, M.; CASCAO, I.; GANNIER, A.; LAMMERS, M. O.; MARTIN, V. M.; OSWALD, J.; PEREZ-GIL, M.; PIETRO, R.; SILVA, M.; GIACOMA, C. Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 2, p. 1126-1134, 2013.
- RENDELL, L. E.; Matthews, J. N.; Gill, A.; Gordon, J. C. D.; Macdonald, D. W. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. **Journal of Zoology**, v. 249, n. 4, p. 403-410, 1999.
- RENDELL, Luke; WHITEHEAD, Hal. Spatial and temporal variation in sperm whale coda vocalizations: stable usage and local dialects. **Animal Behaviour**, v. 70, n. 1, p. 191-198, 2005.
- ROSSI-SANTOS, MARCOS R.; PODOS, JEFFREY. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. **Behaviour**, p. 347-364, 2006.
- STEINER, WILLIAM W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 4, p. 241-246, 1981.
- STRE, G. P., MOUM, T., BUREŠ, S., KRÁL, M., ADAMJAN, M., & MORENO, J. A sexually selected character displacement in flycatchers reinforces premating isolation. **Nature**, v. 387, n. 6633, p. 589, 1997.
- TYACK, Peter. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. **Trends in ecology & evolution**, v. 1, n. 6, p. 144-150, 1986.
- WEILGART, Linda; WHITEHEAD, Hal. 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.
- WRIGHT, TIMOTHY F. Regional dialects in the contact call of a parrot. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 263, n. 1372, p. 867-872, 1996.

**3 - CAPÍTULO III – MODELANDO A INFLUÊNCIA DO RUÍDO
ANTROPOGÊNICO NO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DO BOTO-CINZA
NA BAÍA DE SEPETIBA.**

RESUMO

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

O ruído antropogênico é o componente mais recente e não natural da paisagem acústica. A maior contribuição do ruído antropogênico para paisagem acústica é trânsito de embarcações. Para os mamíferos marinhos, o ruído pode gerar consequências permanentes ou temporárias em sua fisiologia, comportamento e ecologia. A Baía de Sepetiba sofre com um aumento desordenado das ocupações humanas, o que incorre em um aumento dos níveis de ruído subaquático produzidos. Com isso, o objetivo deste trabalho foi modelar o efeito do ruído antropogênico nos parâmetros acústicos e distribuição do boto-cinza na Baía de Sepetiba. Para esta modelagem foram considerados os parâmetros acústicos do boto-cinza e sua ocorrência como variáveis respostas e os níveis de exposição a fonte sonora (SEL) e variáveis ambientais como variáveis explanatórias. Os boto-cinza vocalizam mais, com assovios mais longos e mais complexos em habitats menos ruidosos. Entretanto, não há mudança no padrão de ocorrência em relação aos níveis de ruído, mas sim devido as variáveis ambientais. O nível de ruído antropogênico é o componente mais importante para explicar a variação da maior parte dos parâmetros acústicos testados. Contudo, as variáveis ambientais foram mais importantes que os níveis de ruído para a distribuição do boto-cinza na Baía de Sepetiba. Além disso, a resposta comportamental do boto-cinza frente aos níveis de ruído em escala espacial, foram semelhantes ao padrão observado em escala temporal no primeiro capítulo dessa tese. Com isso, apesar dos botos-cinza aparentemente não evitarem as áreas mais ruidosas, sua comunicação é prejudicada, podendo haver áreas onde a comunicação do boto-cinza é inviável.

Palavras-chave: Impactos acústicos, ruídos antropogênicos, adaptação acústica.

ABSTRACT

MACIEL, I. S. **Ecologia acústica do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.** 2020. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

Anthropogenic noise is the most recent and unnatural component of the soundscape. The major contribution of anthropogenic noise to soundscape is vessel traffic. For marine mammals, noise can cause permanent or temporary consequences on their physiology, behavior and ecology. Sepetiba Bay suffers from a disorderly increase in human occupation, which results in an increase in the underwater noise levels. Thus, the objective of this study was to model the effect of anthropogenic noise on the acoustic parameters and distribution of Guiana dolphins in Sepetiba Bay. In this modeling, we considered the acoustic parameters of the Guiana dolphin and its occurrence as response variables and the levels of SEL and environmental variables as explanatory variables. Guiana dolphins vocalize more, with longer and more complex whistles in less noisy habitats. However, there is no change in the pattern of occurrence regarding noise levels, but due to environmental variables. The anthropogenic noise level is the most important component to explain the variation of most of the acoustic parameters tested. However, the environmental variables were more important than the noise levels for the distribution of Guiana dolphins in Sepetiba Bay. In addition, the behavioral response of the Guiana dolphin to spatial scale noise levels was similar to the pattern observed in the temporal scale in the first chapter of this thesis. Thus, although Guiana dolphins apparently do not avoid the noisiest areas, their communication is spoiled, and there may be areas where Guiana dolphin communication is impracticable.

Keywords: Acoustic impacts, anthropogenic noises, acoustic adaptation.

4.1 Introdução

A paisagem acústica pode ser definida como a coleção de sons produzidos por sistemas biológicos (biofonia), geofísicos (geofonia) e antropogênicos (antropofonia) que derivam da paisagem (PIJANOWSKI *et al.* 2011) (Figura 24). Estes sons podem variar em escala espacial e temporal, refletindo importantes processos ecossistêmicos e as atividades humanas (PIJANOWSKI *et al.* 2011).

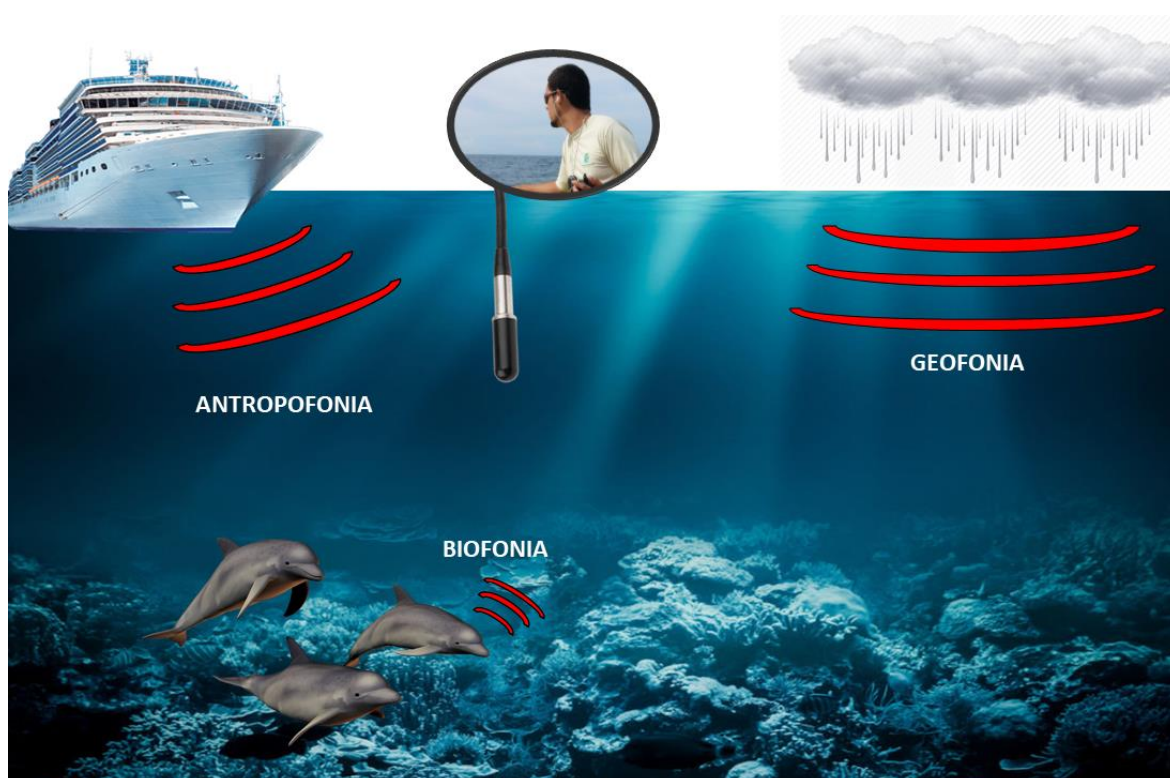


Figura 24. Representação esquemática dos componentes da paisagem acústica.

A mudança nas paisagens acústicas é uma atual preocupação em áreas antropizadas de todo o mundo. As alterações observadas na paisagem acústica podem se dar no ambiente acústico, ou seja, nos sons que derivam de determinada paisagem ou no habitat acústico, ou seja, nos sons que derivam da paisagem inerente a determinada espécie (WILLIAMS *et al.*, 2015). O ambiente acústico marinho vem se tornando cada vez mais ruidoso devido a intensificação das atividades humanas (SLABBEKOORN *et al.*, 2010; PURSER *et al.*, 2016), o aumento da urbanização, aumento do transporte aquaviário (CAORSI *et al.*, 2017; NEDELEC *et al.*, 2017), construções e explorações de recursos naturais (SLABBEKOORN *et al.*, 2010).

O ruído pode ser definido como sons que interferem na recepção do sinal de interesse (RICHARDSON *et al.*, 2013). Todos os componentes da paisagem acústica são potenciais fontes de ruído nos oceanos. Entretanto, a biofonia e a geofonia, são componentes naturais da paisagem acústica, já a antropofonia é o componente mais recente e não natural desta equação. Contudo, a sobreposição espacial, temporal ou

espectral do ruído não implica necessariamente no impacto acústico ao emissor, mas é uma condição *sine qua non* para que impacto ocorra (WILLIAMS *et al.*, 2015).

O ruído antropogênico pode gerar mudanças comportamentais e fisiológicas tanto em animais terrestres como aquáticos, como aumento da frequência respiratória (BUCKSTAFF, 2004; PURSER *et al.*, 2016), diminuição de resposta predatória (PURSER *et al.*, 2016), dificuldade para encontrar um parceiro (NEDELEC *et al.*, 2017) modificação no comportamento parental (NEDELEC *et al.*, 2017), entre outras consequências. O estudo de PURSER *et al.* (2016), conseguiu verificar o efeito do ruído em animais debilitados, relatando que quando expostos a determinados sons há indução do aumento no estresse. No entanto, o aumento de estresse não foi relevante quando os animais estudados estavam em melhores condições de saúde (PULSER *et al.*, 2016).

Outros estudos indicam que os animais tendem a mudar as características de seus sinais acústicos a fim de evitar o mascaramento (*e.g.* LESAGE *et al.*, 1999; EGNOR *et al.*, 2007; FOUUDA *et al.*, 2018), porém essa estratégia nem sempre é efetiva (CAORSI *et al.*, 2017). VAN PARIJS & CORKERON (2001), identificaram que o golfinho-corcundado-indopacífico (*Sousa chinensis*) aumentavam a taxa de emissão de assovios após a exposição ao som de embarcações que produziam som na mesma faixa de frequência de comunicação, estando esta observação de acordo com as previsões do efeito Lombard (LOMBARD, 1911).

No ambiente marinho, a maior contribuição do ruído antropogênico para paisagem acústica é o trânsito de embarcações comerciais que produz ruído de baixa frequência (10-200Hz), sobretudo no hemisfério Norte (HILDEBRAND, 2009). Os ruídos antropogênicos contribuem para o aumento do ruído subaquático, mudando a paisagem acústica e tornando mais difícil a recepção e compreensão dos sons pelos animais (DAVID, 2006; GASKIN, 1997; VANPARIS & CORKERON, 2001). A influência dos ruídos antropogênicos em mamíferos marinhos é amplamente descrita na literatura (*e.g.* ERBE, 2002; WEILGART, 2007; WRIGHT *et al.*, 2007; DI IORIO & CLARK, 2012) e seus efeitos sobre os cetáceos podem ser permanentes ou temporários.

De maneira permanente, podem ocorrer lesões auditivas ocasionadas por ruído de alta intensidade (NACHTIGALL *et al.*, 2003; KASTAK *et al.*, 2005; LUCKE *et al.*, 2009; MOONEY *et al.*, 2009). Temporariamente, podem alterar a frequência, duração e o nível sonoro das vocalizações, sendo estas influenciadas mesmo a longas distâncias e gerando um maior gasto energético para o animal (NRC, 2005). As atividades antrópicas também podem levar à evasão do habitat ou, alternativamente, a mudança na distribuição das presas, fazendo com que os cetáceos ocupem diferentes áreas (RICHARDSON *et al.*, 1987; BRYANT *et al.*, 1984; ANDERWALD *et al.*, 2013). Além disso, para algumas espécies de mamíferos marinhos, já foi reportado o aumento das chances de colisões com embarcações durante as atividades de dragagem (GERSTEIN *et al.*, 2006).

De maneira geral, os impactos de ruído têm o potencial de induzir estresse (WRIGHT *et al.*, 2007; ROLLAND *et al.*, 2012). Este por sua vez pode reduzir a eficiência de forrageamento de mamíferos marinhos ou aumentar sua suscetibilidade à doença e os efeitos das toxinas (GERACI & LOUNSBURY, 2001; REYNOLDS *et al.*, 2005; PERRIN *et al.*, 2009).

Reações comportamentais pontuais de cetáceos também ocorrem quando há presença de ruído antrópico, como: alterar a velocidade de deslocamento, alterar a composição do grupo, alterar o padrão respiratório (ALVES-PEREIRA *et al.*, 2007),

diminuir os intervalos de permanência na superfície, aumentar a sincronização de mergulho e alterar as atividades aéreas, podendo também haver abandono temporário ou permanente do ambiente (BRYANT *et al.*, 1984; ALVES-PEREIRA *et al.*, 2007; SOUZA-LIMA & CLARK, 2009; ANDERWALD *et al.*, 2013).

Os efeitos do ruído antropogênico sobre o boto-cinza ainda são pouco conhecidos. Entretanto, já foi observado sobreposição de parte do repertório acústico com o ruído de dragagem e barcos (SOUSA-PAIS *et al.*, 2018), além de aumento na taxa de emissão de assovios (BITTENCOURT *et al.*, 2018), aumento significativo na frequência inicial e final dos assovios (MARTINS *et al.*, 2018) e redução da duração dos assovios (BITTENCOURT *et al.*, 2018).

Uma vez que a presença de ruído antropogênico pode impactar ecologicamente e comportamentalmente os mamíferos marinhos, entender como o ruído impacta as espécies de cetáceos é um importante passo para o manejo e conservação das espécies. Desta forma, o objetivo deste capítulo foi modelar o efeito do ruído antropogênico nos parâmetros acústicos e distribuição do boto-cinza na Baía de Sepetiba.

Para testar o efeito do ruído antropogênico nos parâmetros acústicos e distribuição do boto-cinza na Baía de Sepetiba, consideramos como premissas: 1) cetáceos podem alterar as faixas de frequência e duração de suas emissões em presença de ruído antropogênico para se adaptar ao ambiente e evitar o mascaramento acústico (*e.g.* NRC, 2005, LESAGE *et al.*, 1999; EGNOR *et al.*, 2007; BITTENCOURT *et al.*, 2017; FOUDA *et al.*, 2018); 2) o boto-cinza reduz a duração dos assovios em presença de ruído (BITTENCOURT *et al.*, 2017); 3) nossos dados observacionais indicam uma redução da taxa e emissão nas áreas mais antropizadas; 4) a presença de ruído antropogênico pode gerar evasão do habitat ou, alternativamente, a mudança na distribuição das presas, fazendo com que os cetáceos ocupem diferentes áreas (RICHARDSON *et al.*, 1987; BRYANT *et al.*, 1984; SOUZA-LIMA & CLARK, 2009; ANDERWALD *et al.*, 2013).

Desta forma, hipotetizamos que: 1) Os parâmetros de frequência são maiores nas áreas mais ruidosas para evitar o efeito de mascaramento acústico; 2) a duração dos assovios é menor nas áreas mais ruidosas; 3) a taxa de emissão dos assovios é menor nas áreas mais ruidosas; 4) há uma maior ocorrência de cetáceos em áreas menos ruidosas.

4.2 Metodologia

Protocolo de Coleta

Para este estudo foram realizadas gravações feitas no período entre 2015 e 2018 na Baía de Sepetiba. As coletas de dados acústicos dos botos-cinza seguiram o mesmo protocolo já explicado no primeiro capítulo desta tese.

Para verificar a influência do ruído antropogênico na distribuição do boto-cinza, os pontos de avistagem foram georreferenciados utilizando um GPS (Garmim Etrex 30X). Após a primeira avistagem os grupos foram acompanhados e foram marcados novos pontos georreferenciados a cada 500m.

A fim de caracterizar o perfil acústico das fontes produtoras de ruído, foram feitas gravações um hidrofone calibrado Cetacean Research (modelo C54) acoplado a um gravador M-Audio (modelo Microtack II) com taxa de amostragem de 96 kHz (24bit). Todas as gravações foram realizadas a 500m da fonte, com o mesmo ganho (20 db) e nas rotas mais comuns de trânsito destas fontes. As gravações de navios foram realizadas junto ao canal de navegação, já as gravações das lanchas taxi boat nas proximidades da Ilha de Itacuruçá.

Para caracterizar a Baía de Sepetiba quanto as variáveis ambientais e antropogênicas, foi criado um mapa da área de estudo dividida em grids de 4x4 Km no software ArcGis 10.6®. O tamanho do grid foi pensado para evitar autocorrelação espacial. Assim, os dados espacializados no ArcGIS foram plotados no sistema geodésico SIRGAS 2000.

Para identificar as áreas mais ruidosas foram coletados dados secundários georreferenciados. O número de navios/ano e sua velocidade média de trânsito dentro da Baía de Sepetiba foi obtida através do banco AIS disponível no Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com>). Já as rotas de turismo, bem como a média de uso para cada rota, foram obtidas do plano de manejo da APA Marinha do Boto-Cinza. Todas as informações sobre o turismo contida no plano de manejo da APA foram obtidas por meio de entrevistas realizadas pela empresa Igara Consultoria em Aquicultura e Gestão Ambiental em 2018. A velocidade média de navegação das lanchas foi medida em campo por meio dos dados de GSP.

Todos os dados ambientais utilizados para a construção dos modelos foram obtidos por fontes secundárias. A informação da profundidade foi obtida a partir das cartas náuticas N°1607 e N°1622 através do Diretório de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (<https://www1.mar.mil.br/dhn/>). Os dados de temperatura superficial (SST) foram obtidos através do banco de dados online do National Oceanic and Atmospheric Administration (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/>). O dado georreferenciado do tipo de substrato mais abundante de cada grid foi obtido por um relatório interno da UFRRJ, já a heterogeneidade do substrato (número de tipos de substrato em um grid) foi obtida manualmente a partir dos dados supracitados.

Protocolo de Análises

A análise dos parâmetros acústicos dos assovios foi realizada seguindo os protocolos já estabelecidos no primeiro capítulo desta tese.

Para evitar pseudorréplicas, foi considerado com uma observação todos os pontos marcados dentro do mesmo grid ao longo de um dia.

A caracterização do perfil de ruído das fontes antropogênicas foi mensurada com base nas variações temporais calibradas na densidade espectral de potência (PSD) para cada fonte (navio e lancha) utilizando a rotina PAMGuide (MERCHANT et al., 2015) em ambiente MATLAB. Para a calibragem do PAMGuide foram considerados a sensibilidade do hidrofone (-200 db re 1 V/uPa), ganho (20 db) e voltagem ADC (1.2 V 0-pico). Os valores de sensibilidade e ganho foram obtidos nas especificações técnicas do equipamento de gravação, já o valor da conversão de voltagem analógica-digital foi obtido experimentalmente por meio de um osciloscópio digital Tektronix (modelo TBS1052B). As fontes antropogênicas foram caracterizadas (entre 10Hz e 2kHz) com base nas representações dos espectrogramas e os valores de PSD. Para a modelagem dos impactos acústicos, foram considerados os maiores níveis de RMS para cada fonte.

Para cada grid foram atribuídos valores do nível de exposição a fonte sonora (SEL). O SEL é um valor cumulativos do ruído recebido (RL) ao longo de um período de tempo, podendo ser calculado por (ERBE et al., 2012):

$$SEL = RL + 10 \text{ LOG } T$$

Onde T é o tempo (em segundos) que uma fonte permanece em cada grid ao longo de um ano e RL é o nível máximo de RMS para fonte presente naquele grid.

Para calcular o tempo de exposição das fontes (navios e lanchas) em cada grid, foi considerado a velocidade média de deslocamento e o número de vezes que a fonte passou por determinado grid ao longo de um ano.

Para verificar a presença de autocorrelação espacial foi utilizado o teste de Moran usando o pacote *spdep* v. 1.1-3 do software R (BIVAND *et al.*, 2018).

Para testar a influência do ruído antropogênico nos parâmetros acústicos e na distribuição do boto-cinza, foram criados Modelos Generalizados Aditivos (GAM). O GAM é uma extensão não-paramétrica do Modelo Generalizado Linear (GLM). Diferente do GLM, o GAM não força correlações lineares e monotônicas entre a variável resposta e o conjunto de variáveis explanatórias (GUISAN *et al.*, 2002). Outra vantagem do GAM é não assumir uma forma de relação paramétrica, permitindo que a relação entre as variáveis resposta e explanatórias sejam obtidas diretamente dos dados e não do modelo em si (YEE & MITCHELL, 1991).

Os modelos criados utilizaram os parâmetros acústicos (taxa de emissão, duração, frequência máxima, frequência mínima e variação de frequência) ou a ocorrência do boto-cinza como variável resposta e os valores de SEL e parâmetros ambientais (SST, tipo de substrato, heterogeneidade do substrato e profundidade) como variáveis explanatórias, conforme protocolo já estabelecido pela literatura (SOLDEVILA *et al.*, 2011; TARDIN *et al.*, 2013). A escolha das variáveis resposta visa identificar se o ruído antropogênico influencia a distribuição do boto-cinza na Baía de Sepetiba e/ou seu comportamento acústico. Já os parâmetros ambientais foram adicionados para evitar um enviesamento dos modelos. Desta forma, as variáveis explanatórias foram escolhidas por representar fatores que influenciam principalmente a propagação acústica e potencialmente a distribuição do boto-cinza e/ou suas presas.

Para os modelos que consideraram os parâmetros acústicos como variáveis resposta, foi utilizado uma distribuição Gamma na construção dos modelos, pois foram modelados valores positivos, contínuos, assimétricos e diferente de zero. Nestes modelos o tempo de gravação foi utilizado como medida de esforço para evitar o tendenciamento dos modelos dado a heterogeneidade do esforço amostral em cada grid. Já nos modelos que consideram a ocorrência do boto-cinza, foi utilizado uma distribuição Poisson, pois permite valores de ausência e considera a independência entre as observações. Para este modelo foi utilizada a distância em quilômetros percorrida dentro de cada grid como medida de esforço.

Para cada variável resposta foi construído um conjunto de modelos. Seguiu-se o protocolo de *backward stepwise selection*, começando com o modelo completo e removendo os termos do modelo que não foram significativos a cada rodada. Dessa forma, o primeiro modelo construído considerava todas as variáveis ambientais e o ruído antropogênico (ex.: Frequência Máxima ~ SEL+ SST + Profundidade + Heterogeneidade de Substrato + Substrato). A partir do resultado do primeiro modelo, uma ou mais variáveis não significativas eram retiradas e checava-se os valores de *Deviance* e menores valores de GCV (para distribuição Gamma) ou UBRE (para distribuição Poisson). Após a construção dos modelos, o modelo final foi escolhido com base no critério de informação de Akaike (AIC) (Burnham & Anderson, 2004). Assim, foi selecionado o modelo mais parcimonioso pelo menor valor de AIC. Para modelos com diferença de AIC inferior a dois, foram considerados também o maior *Deviance* e em seguida o menor GCV. A função “logLik.gam” foi utilizada para corrigir os graus de liberdade dos GAMs, permitindo o uso correto do AIC para a seleção de modelos.

Quando o modelo selecionado apresentou mais de uma variável resposta significativa, foi realizado o teste de partição hierárquica para identificar a contribuição de cada variável para o modelo.

Após a seleção de modelos, as predições espaciais do melhor modelo para cada variável resposta foram exportadas usando a função *predict.gam* e importadas para o

software ArcGis 10.6®, permitindo a visualização geoespacial das predições de cada modelo.

4.3 Resultados

Ao todo foram percorridos cerca de 1.375 km ao longo de dois anos de amostragem. Durante o período de amostragem foram observados 66 grupos de boto-cinza na Baía de Sepetiba.

A maior ocorrência de botos-cinza se deu próximo ao canal de navegação, sobretudo na porção central e externa da Baía de Sepetiba (Figura 25). Entretanto, houve alguns registros nas regiões mais internas da baía.

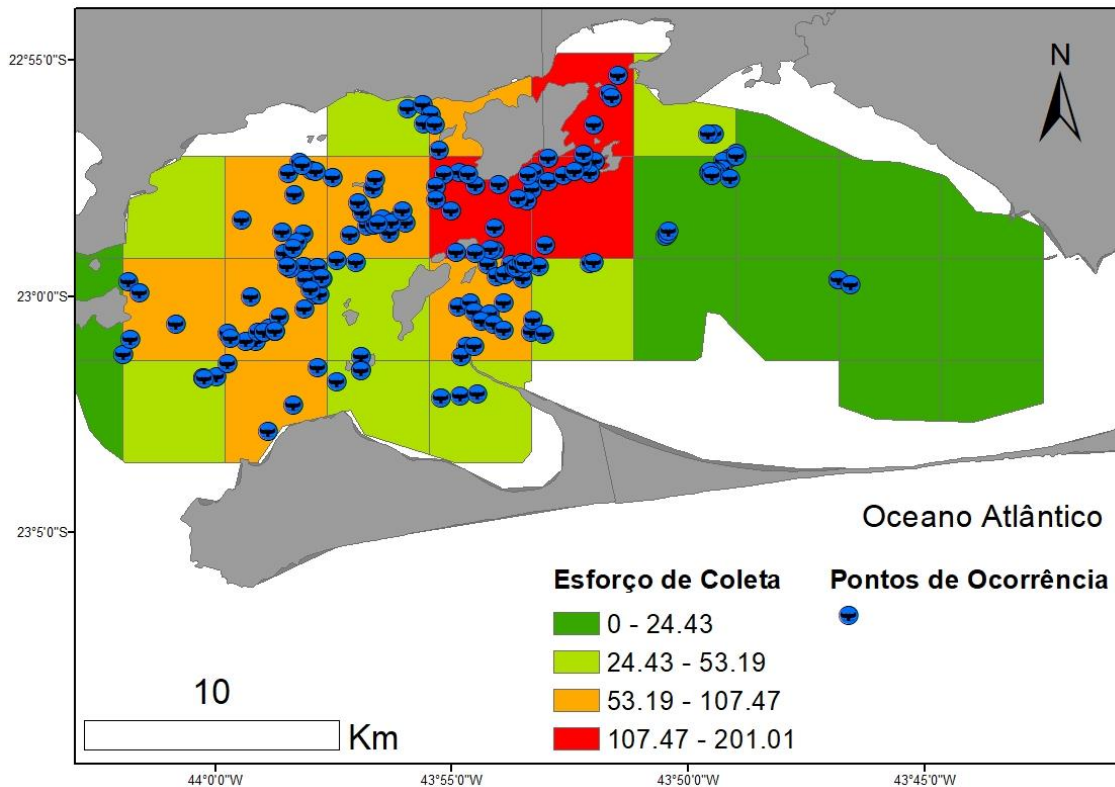


Figura 25. Mapa de ocorrência do boto-cinza na Baía de Sepetiba entre os anos de 2015 e 2018. A coloração dos grids representa o esforço de amostragem em quilômetros percorridos. A coloração verde representa os menores valores de esforço e a coloração vermelha representa os maiores valores de esforço.

As gravações não puderam ser realizadas em todos os pontos de avistagem, pois algumas observações foram muito breves. Além disso, na maior parte das gravações os botos-cinza não emitiram assovios (Figura 26). Assim, como exceção da taxa de emissão, os modelos que consideram os parâmetros acústicos como variável resposta foram aplicados somente aos grids onde houve emissão de assovios. A caracterização dos parâmetros acústicos do repertório de assovios do boto-cinza já foi descrita no primeiro capítulo dessa tese.

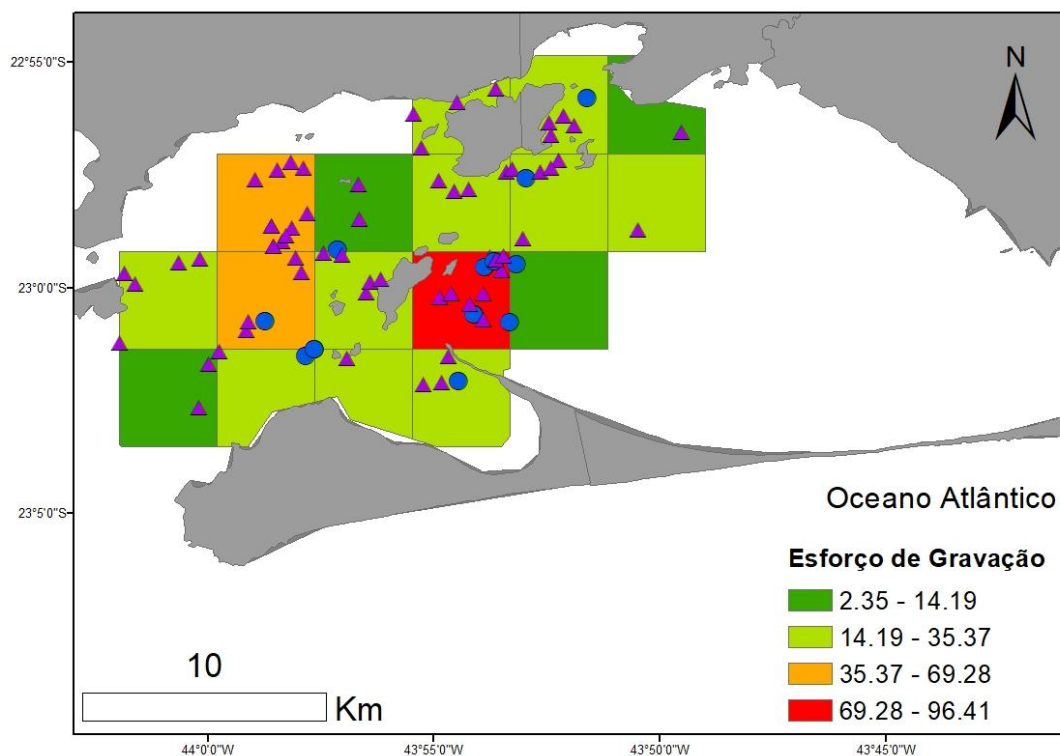


Figura 26. Mapa dos locais de gravação do boto-cinza indicando os pontos de coleta em que foram gravados os assovios. A coloração dos grids representa o esforço de amostragem em minutos de gravação. A coloração verde representa os menores valores de esforço e a coloração vermelha representa os maiores valores de esforço.

Os navios emitiram dois tipos de sinais banda larga característicos, sendo representado pelo ruído do motor a 10Hz e o ruído de cavitação a 100Hz (Figura 27). O sinal de maior intensidade corresponde ao ruído do motor com um nível RMS de 150 db re 1 μ Pa, já o ruído da cavitação apresentou um nível RMS de 140 db re 1 μ Pa (Figura 28). As lanchas emitiram um sinal de banda larga entre 10 e 500Hz (Figura 29). O maior nível RMS emitido pelas lanchas foi de 150 db re 1 μ Pa (Figura 30).

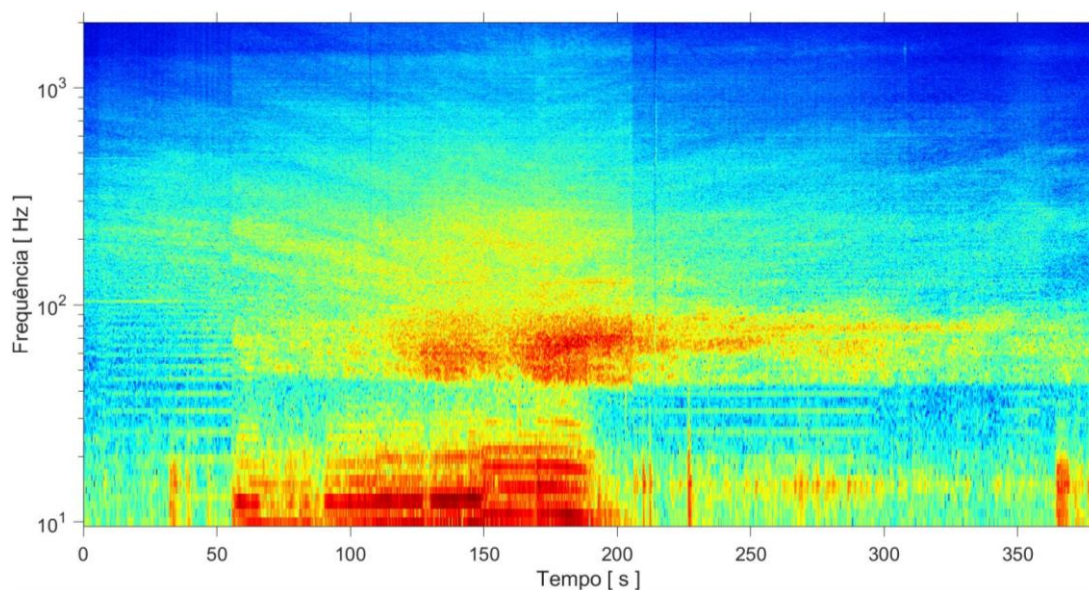


Figura 27. Espectrograma representando o ruído produzido por um navio no canal de navegação da Baía de Sepetiba.

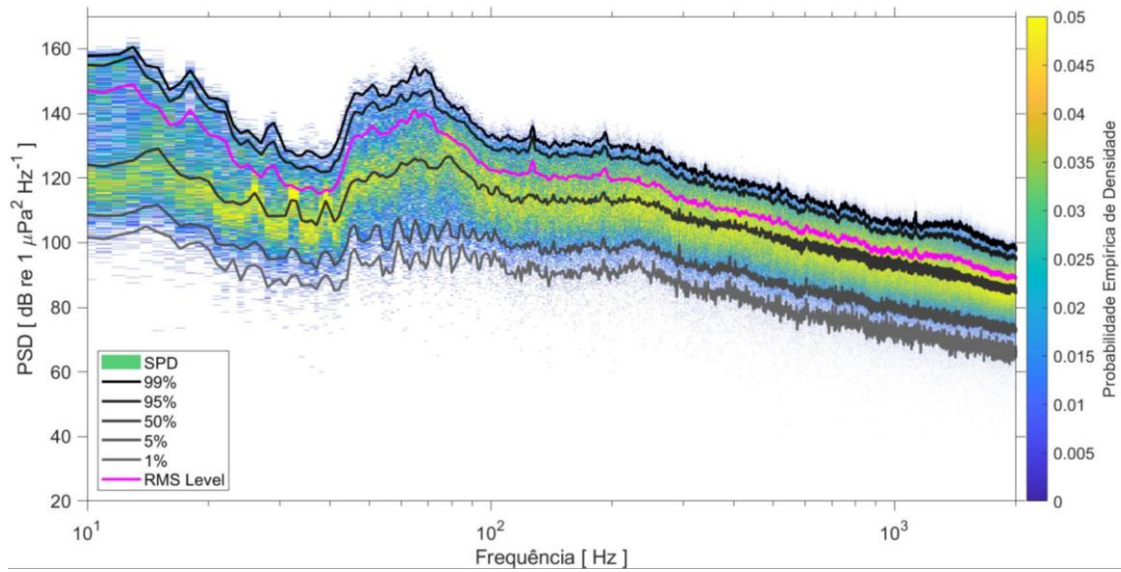


Figura 28. Variações da densidade espectral de potência (PSD) nas faixas de frequência dos ruídos produzido por um navio no canal de navegação da Baía de Sepetiba. Os valores expressos em porcentagem indicam a densidade de ruído ao longo das faixas de frequência.

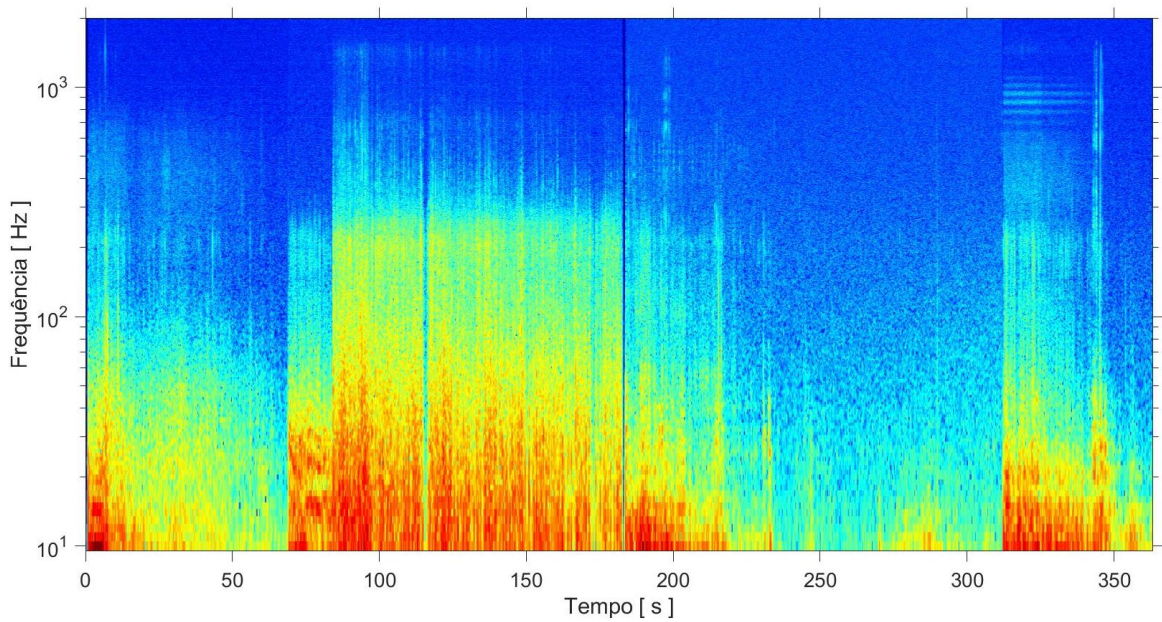


Figura 29. Espectrograma representando o ruído produzido por lanchas taxi boat próximo à Ilha de Itacuruçá na Baía de Sepetiba.

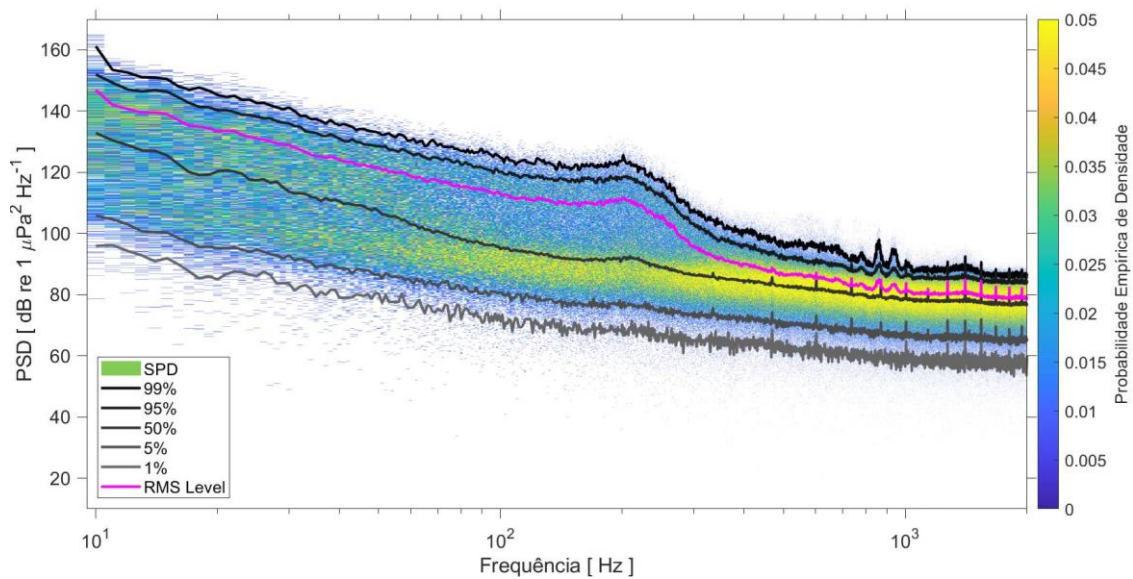


Figura 30. Variações da densidade espectral de potência (PSD) nas faixas de frequência dos ruídos produzido por lanchas taxi boat próximo à Ilha de Itacuruçá na Baía de Sepetiba. Os valores expressos em porcentagem indicam a densidade de ruído ao longo das faixas de frequência.

Através de dados secundários, identificamos o trânsito de 22 mil navios por ano no canal de navegação (Figura 31). Os navios trafegaram a uma velocidade média de 4,4 m/s (8,6 nós) e cada navio passou aproximadamente 912 s em cada grid, totalizando 20.064.000 s por ano (mais de 5.500 horas/ano ou 15 horas/dia). No município de Mangaratiba há 160 licenças de operação para lanchas de turismo (taxi boats) que percorrem 15 rotas diferentes (Figura 31). Cada lancha realiza em média sete viagens por semana a uma velocidade média de 7,7 m/s (15 nós). Dada a velocidade de navegação das lanchas, cada lancha passa cerca de 504 s para atravessar o grid, totalizando 4.953.312 s por ano (mais de 1.300 horas/ano ou 3,56 horas/dia).

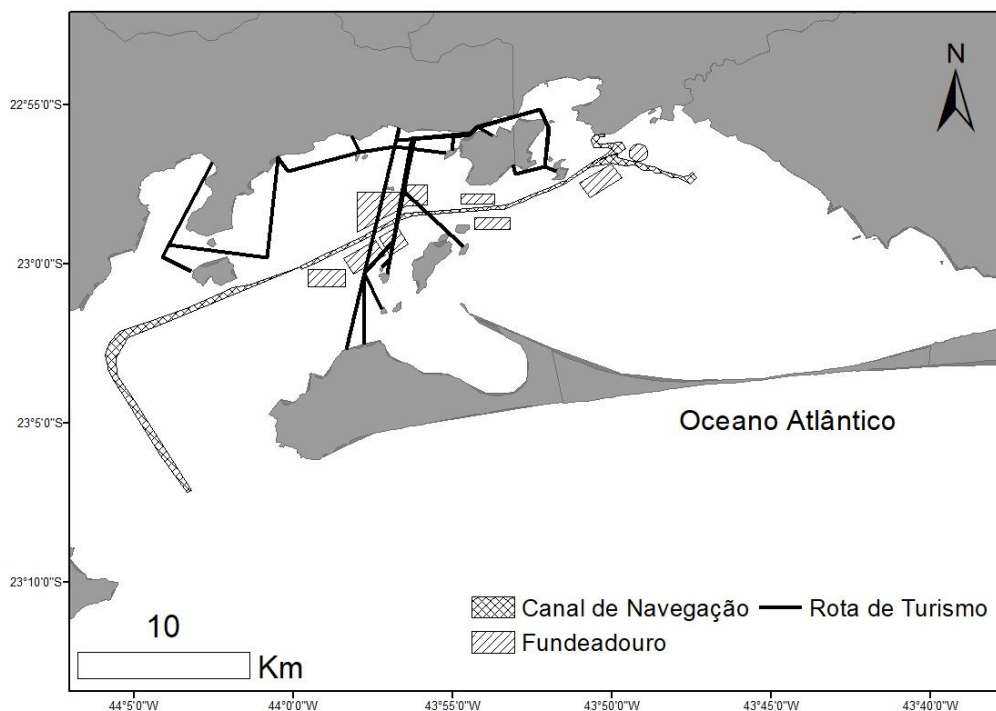


Figura 31. Mapa das rotas de turismo, canal de navegação e fundeadouros na Baía de Sepetiba.

Com base nos níveis de ruído e o tempo exposição às fontes em cada grid, foi possível calcular o valor cumulativo do ruído em cada grid. Desta forma, os valores de SEL foram utilizados para identificar as áreas mais ruidosas (Figura 32).

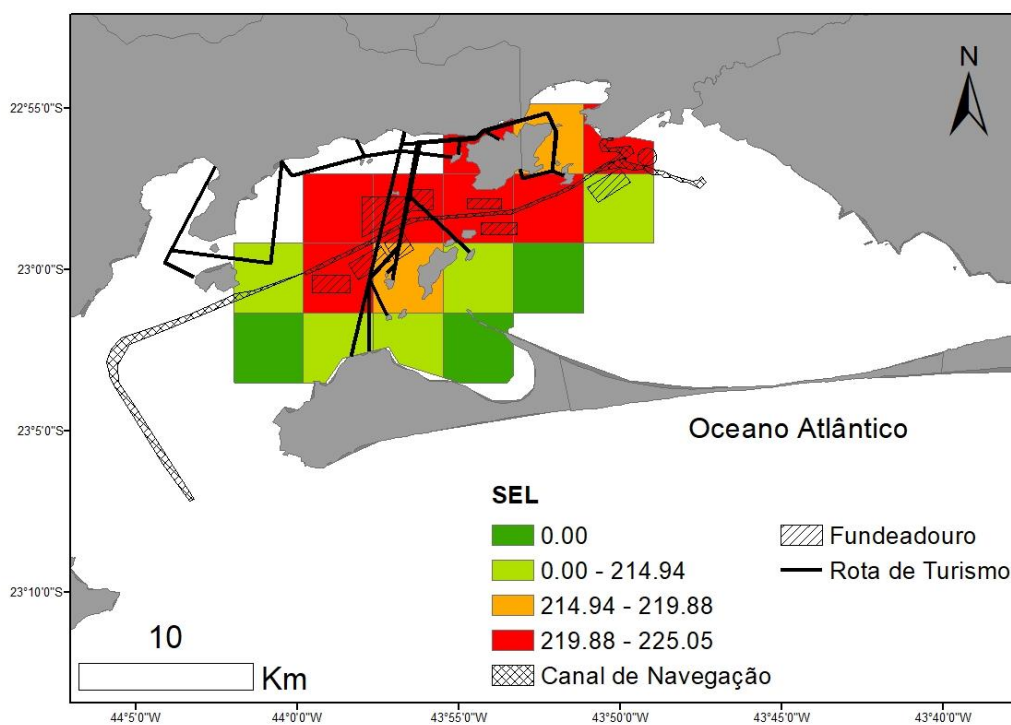


Figura 32. Mapeamento de áreas mais ruidosas com base nos valores do nível de exposição a fonte sonora (SEL) (db). A coloração dos grids representa o nível de SEL. A coloração verde representa os menores níveis SEL e a coloração vermelha representa os maiores níveis de SEL.

Nenhuma das variáveis resposta testadas através do teste de Moran apresentou autocorrelação espacial (Tabela 4).

Tabela 4. Teste de Moran para autocorrelação espacial das variáveis resposta.

Variável	Moran I	p
Taxa de Emissão	1,31	0,09
Duração	-0,72	0,76
Frequência Máxima	-0,49	0,69
Frequência Mínima	-0,97	0,84
Variação de Frequência	0,19	0,42
Ocorrência	0,37	0,36

O nível de SEL, a profundidade e o substrato compõem o GAM mais parcimonioso, com menor AIC, para explicar a taxa de emissão dos assovios (Tabelas 5 e 6). De acordo com este modelo, o nível de SEL e a profundidade são inversamente proporcionais as taxas de emissão (Figuras 33 e 34). Além disso, a taxa de emissão é mais alta no silte e mais baixa no substrato de areia grossa (Figura 35). O teste de partição hierárquica identificou que o nível de SEL é a variável mais importante para explicar a redução na taxa de emissão, sendo responsável por 63,6% da explicação do modelo (Tabela 7). A espacialização das predições do modelo permite identificar que as maiores taxas de emissão se concentram nas áreas menos ruidosas da Baía de Sepetiba (Figura 36).

Tabela 5. Modelos usados para testar a influência do ruído na taxa de emissão do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	GCV	AIC	Variáveis Significativas
Taxa de Emissão ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	74,5%	16,98	44,82	Profundidade e Substrato
Taxa de Emissão ~ SEL + Profundidade + Substrato	74%	9,86	41,29	Todas
Taxa de Emissão ~ Profundidade + Substrato	69,5%	9,18	43,28	Todas
Taxa de Emissão ~ SEL	68,9%	8,08	42,37	Nenhuma
		Erro		
	Estimativa	padrão	t	Pr(> t)
Intercept	-0.85	0.76	-1.11	0.29

Tabela 6. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Taxa de Emissão ~ SEL + Profundidade + Substrato	g.l.	F	p
SEL	1	4,44	0,05
Profundidade	1	5,93	0,03
Substrato	1	7,77	0,02

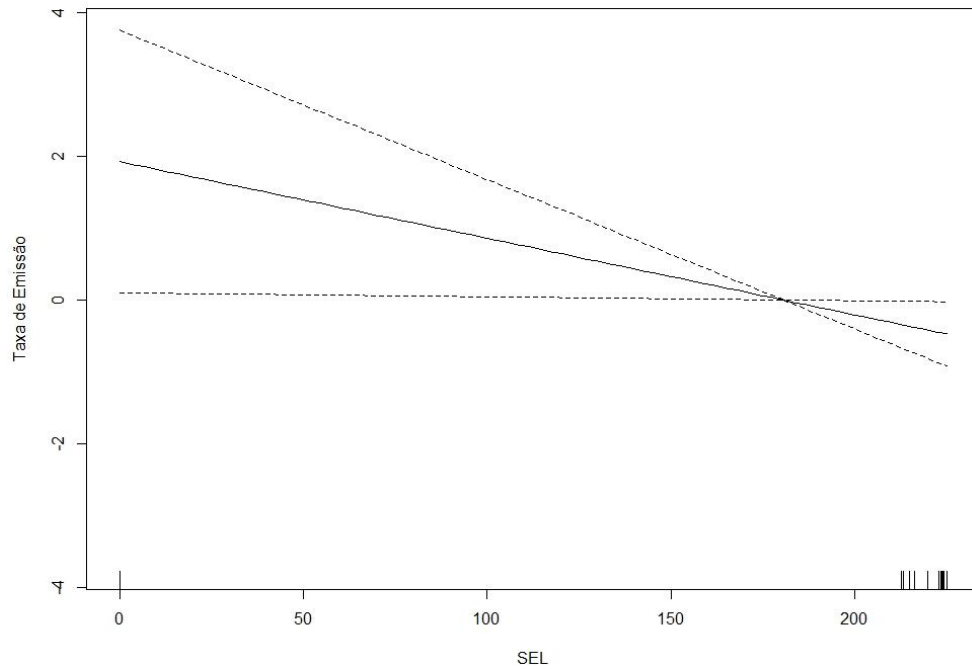


Figura 33. Representação gráfica da relação da variável explanatória SEL retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

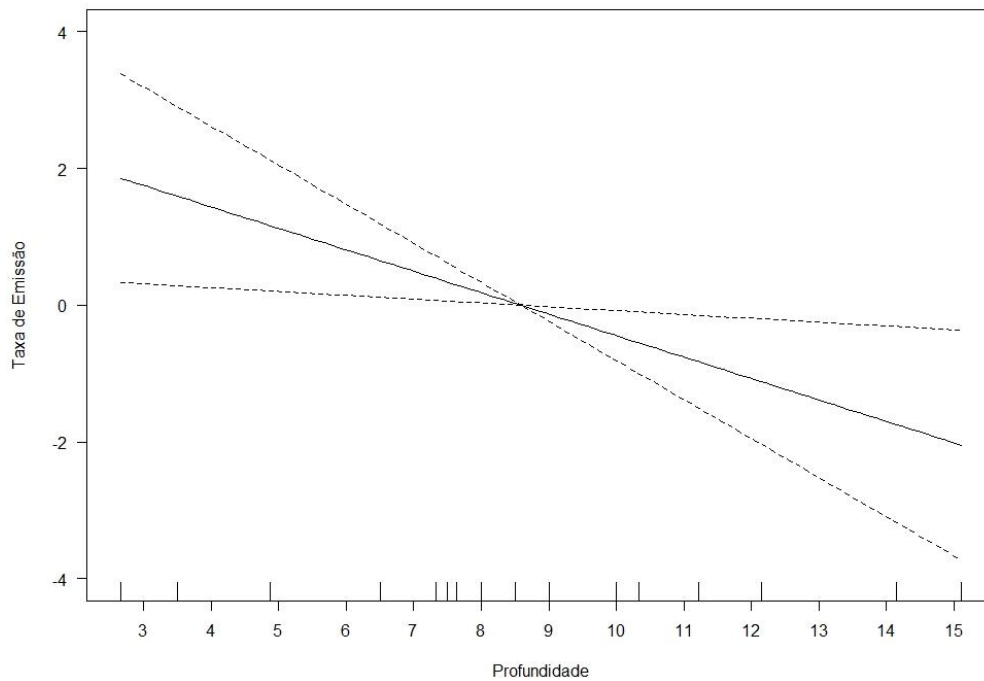


Figura 34. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

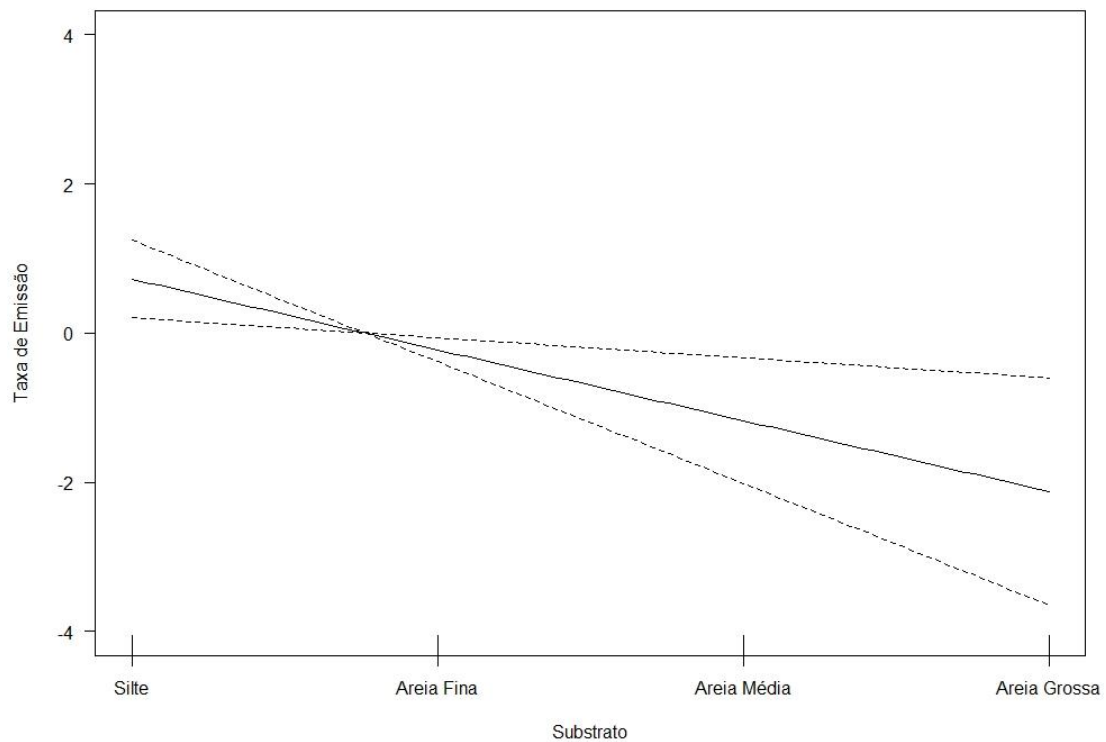


Figura 35. Representação gráfica da relação da variável explanatória substrato retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a taxa de emissão de assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

Tabela 7. Contribuição de cada variável significativa para o Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso para explicar a variação da taxa de emissão dos assovios.

Variável Resposta	Contribuição (%)
Substrato	33,27
SST	3,09
SEL	63,64

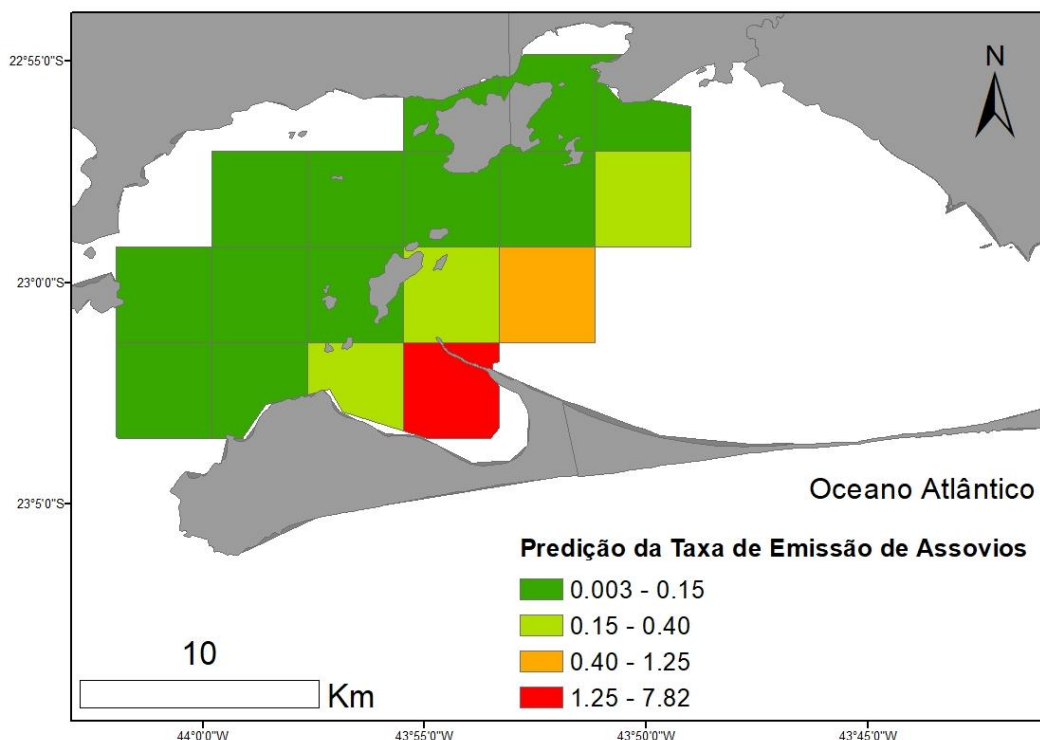


Figura 36. Predições da taxa de emissão dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

Para a variável explanatória duração, o GAM com o menor AIC indicou o nível de SEL e profundidade como modelo mais parcimonioso (Tabelas 8 e 9). De acordo com este modelo, o nível de SEL é inversamente proporcional a duração dos assovios (Anexo IV), enquanto a profundidade foi diretamente proporcional (Anexo V). Entretanto, estas relações não foram estatisticamente significativas. Desta forma, nenhuma variável foi capaz de explicar as variações na duração dos assovios. Apesar da relação não ser estatisticamente significativa, há uma tendência de redução da duração dos assovios nas áreas mais ruidosas (Figura 37).

Tabela 8. Modelos usados para testar a influência do ruído na duração dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	GCV	AIC	Variáveis Significativas
Duração ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	33,3%	5,32	-4,00	Nenhuma
Duração ~ SEL + Profundidade	24,7%	1,04	-6,86	Nenhuma
Duração ~ SEL	12,6%	0,73	-7,46	Nenhuma
	Estimativa	Erro padrão	t	Pr(> t)
Intercept	-4.86	0.21	-23.2	4.2e-07

Tabela 9. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Duração ~ SEL + Profundidade	g.l.	F	p
SEL	1,41	0,28	1,41
Profundidade	1,39	0,28	1,39

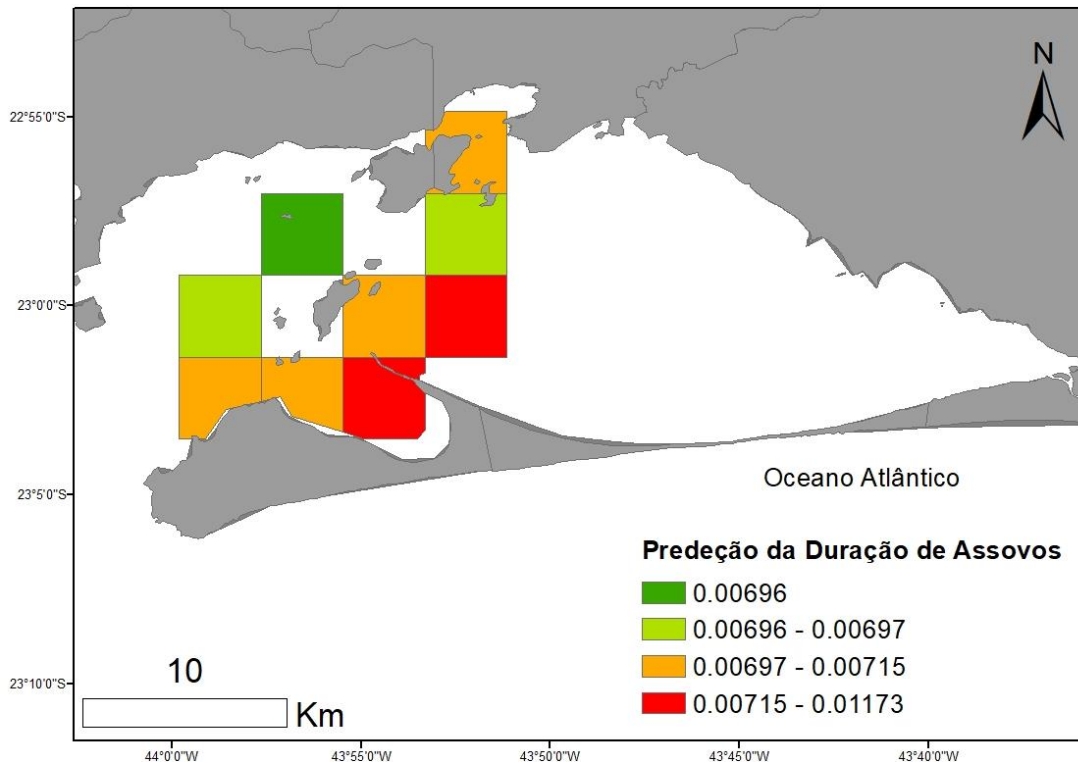


Figura 37. Previsões da duração dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

O GAM mais parcimonioso para explicar a frequência máxima dos assovios considera a heterogeneidade do substrato, a profundidade e a SST (Tabelas 10 e 11). Neste modelo, a profundidade e SST são inversamente proporcionais a frequência máxima dos assovios (Anexos VI e VII). Além disso, apesar de não ser uma relação linear, as maiores frequências ocorrem em ambientes com substrato menos heterogêneo (Anexo VIII). Entretanto, nenhuma dessas relações foram estatisticamente significativas. Desta forma, nenhuma variável foi capaz de explicar as variações na frequência máxima dos assovios, não apresentando nenhuma forte relação com os níveis de SEL (Figura 38).

Tabela 10. Modelos usados para testar a influência do ruído na frequência máxima dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	GCV	AIC	Variáveis Significativas
Frequência Máxima ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	41,8%	3,87	76,58	Nenhuma
Frequência Máxima ~ SEL + Profundidade + Heterogeneidade de substrato	37,7%	1,43	75,21	Nenhuma
Frequência Máxima ~ SEL	18,9%	0,56	73,68	Nenhuma
Frequência Máxima ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato	65,6%	1,50	71,06	Nenhuma
	Estimativa	Erro padrão	t	Pr(> t)
Intercept	-0.31	0.14	-2.19	0.09

Tabela 11. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Frequência Máxima ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato	g.l.	F	p
Heterogeneidade de Substrato	1.89	5.02	0.11
Profundidade	1	0.15	0.72
SST	1	1.33	0.31

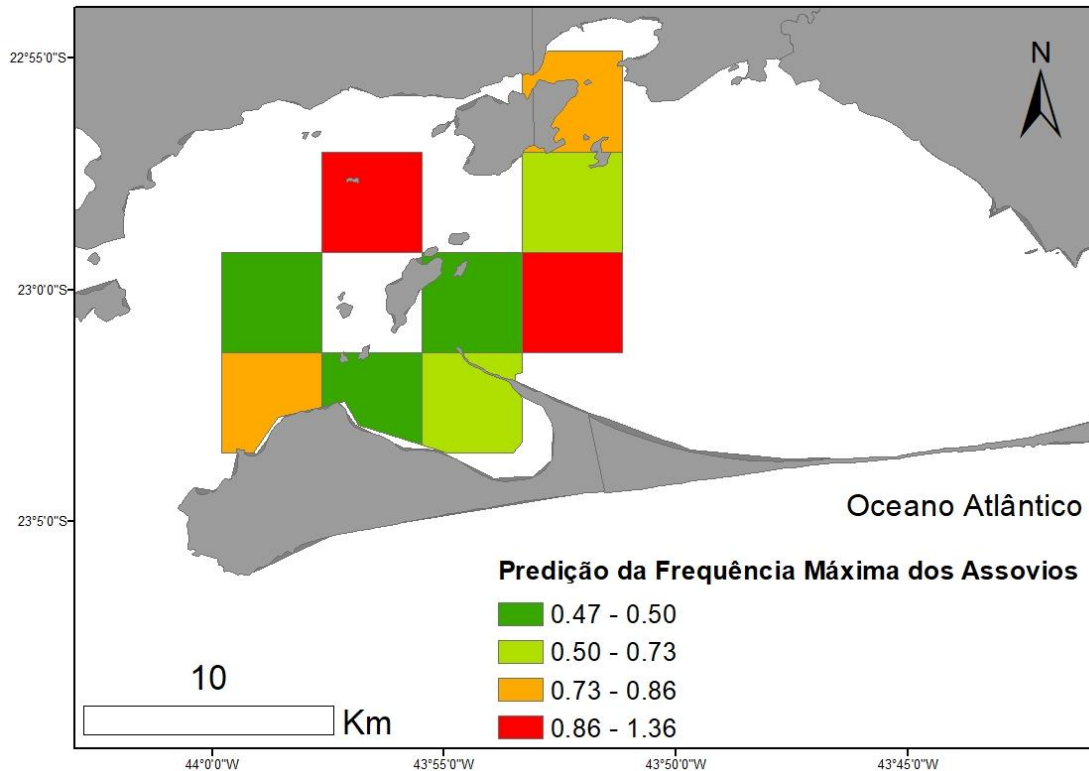


Figura 38. Predições da frequência máxima dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

Usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta, o GAM mais parcimonioso considera a heterogeneidade do substrato, a profundidade e a SST (Tabelas 12 e 13). A profundidade e SST são inversamente proporcionais a frequência mínima dos assovios (Figuras 39 e 40). Adicionalmente, apesar de não ser uma relação linear, as maiores frequências ocorrem em ambientes com substrato menos heterogêneo (Figura 41). Contudo, apenas a heterogeneidade de substrato foi estatisticamente significativa. Assim, os maiores valores de frequência mínima dos assovios são preditos para grids com menor heterogeneidade de substrato, menor temperatura e profundidade (Figura 42).

Tabela 12. Modelos usados para testar a influência do ruído na frequência mínima dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	GCV	AIC	Variáveis Significativas
Frequência Mínima ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	48,5%	4,29	68,29	Nenhuma
Frequência Mínima ~ SEL + Heterogeneidade de substrato	38%	0,89	66,03	Nenhuma
Frequência Mínima ~ SEL	11,9%	0,39	67,35	Nenhuma
Frequência Mínima ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato	81,3%	1,22	58,62	Heterogeneidade de substrato
Frequência Mínima ~ Heterogeneidade de substrato	49,2%	0,57	63,24	Nenhuma
	Estimativa	Erro padrão	t	Pr(> t)
Intercept	-0.85	0.12	-7.18	0.002

Tabela 13. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Frequência Mínima ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato	g.l.	F	p
Heterogeneidade de Substrato	1.96	11.96	0.02
Profundidade	1	1.18	0.34
SST	1	5.07	0.08

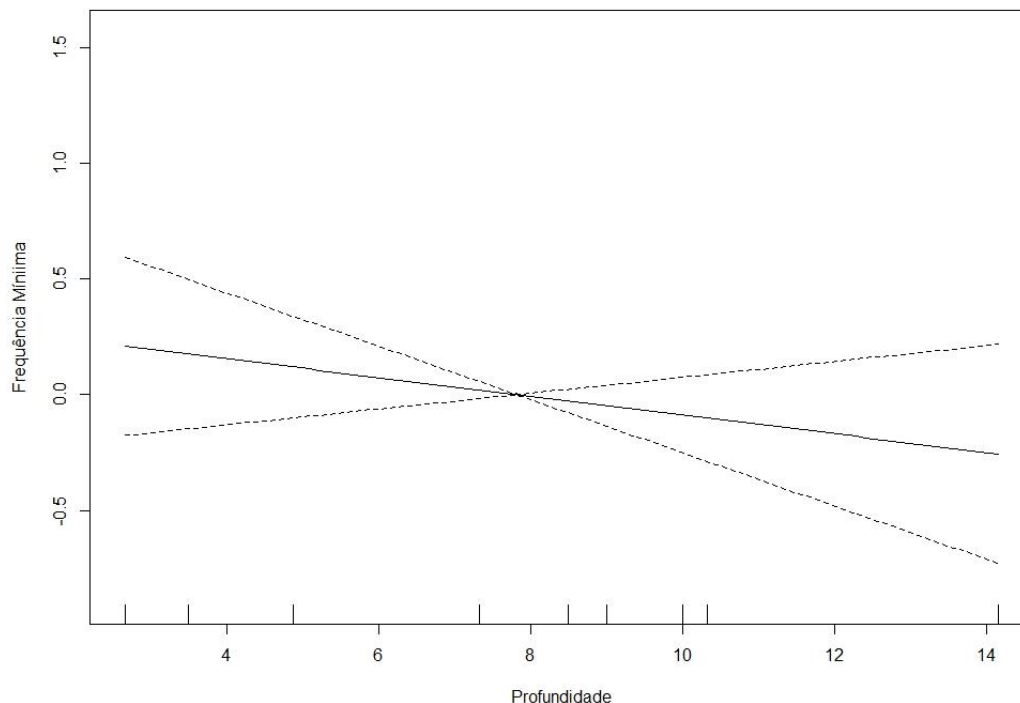


Figura 39. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

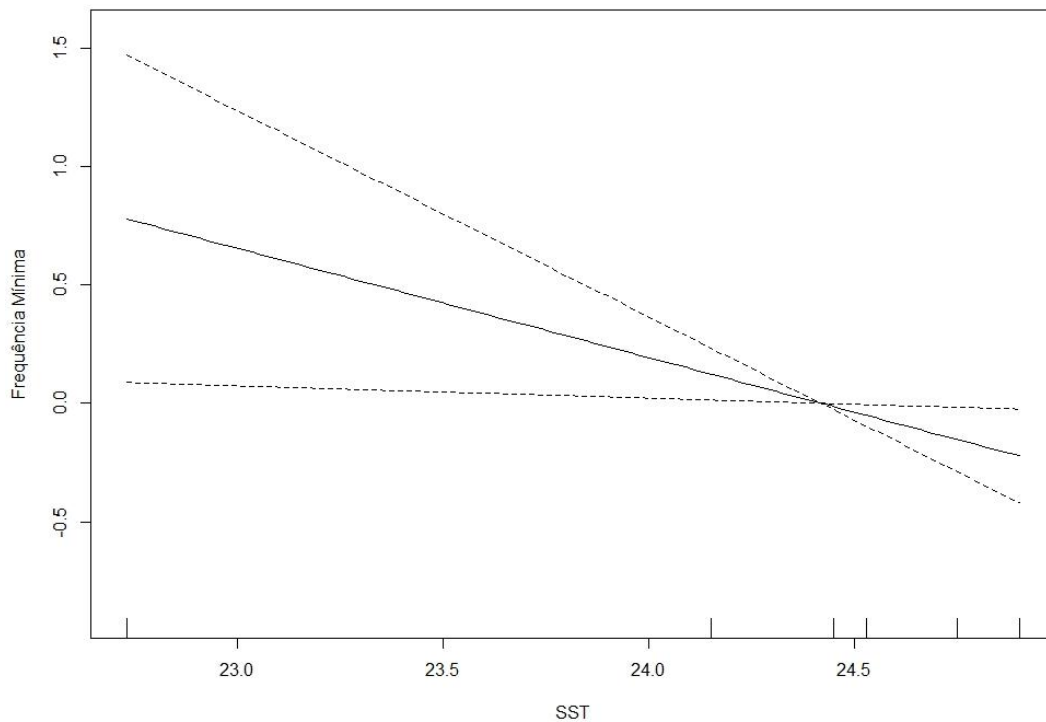


Figura 40. Representação gráfica da relação da variável explanatória SST retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

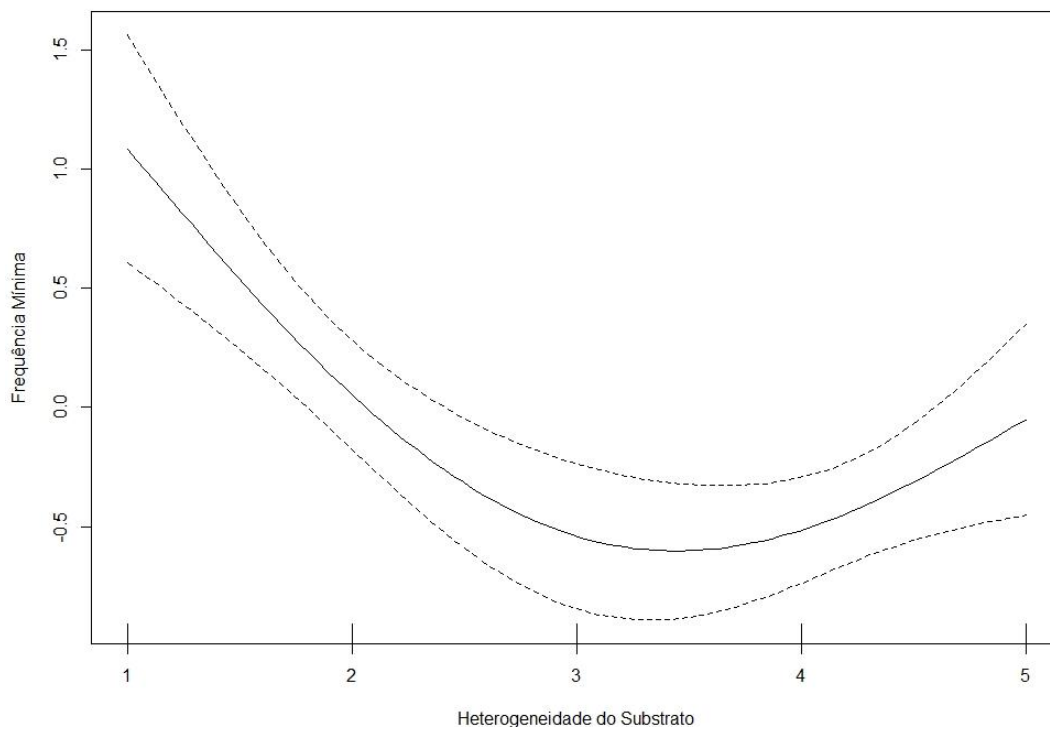


Figura 41. Representação gráfica da relação da variável explanatória heterogeneidade de substratos retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência mínima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam a variação dos dados em relação correlação. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

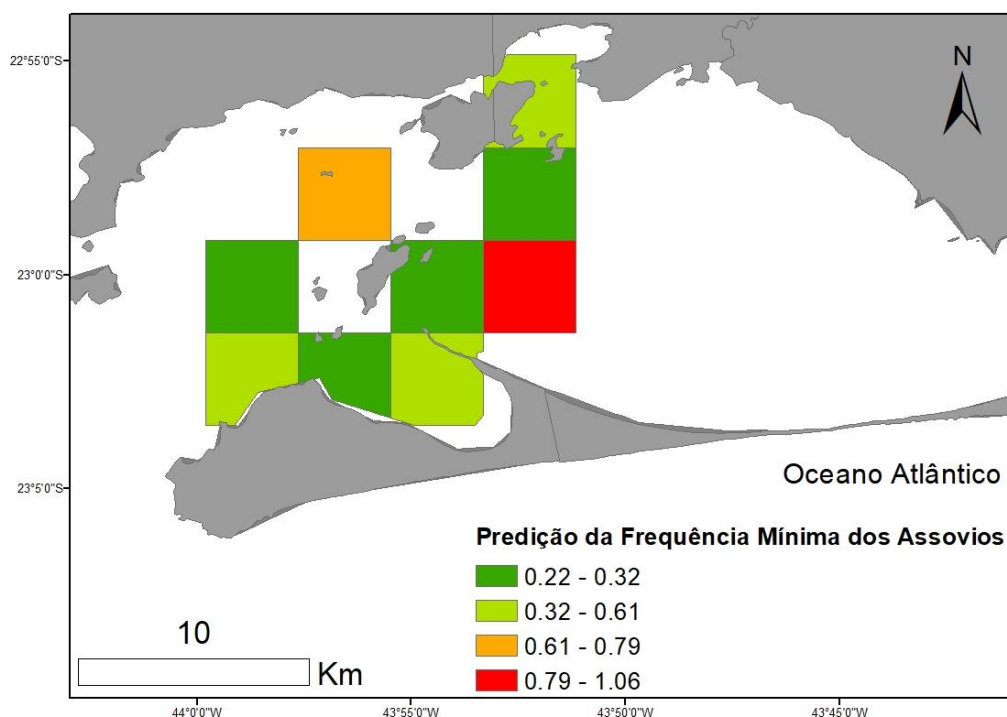


Figura 42. Predições da frequência mínima dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

Para a variação de frequência dos assovios como variável resposta, o GAM mais parcimonioso considera os níveis de SEL e a profundidade (Tabelas 14 e 15). A profundidade é diretamente proporcional a variação de frequência dos assovios (Anexo IX). Contudo, o nível de SEL é inversamente proporcional a variação de frequência (Anexo X). Entretanto, nenhuma dessas relações foi estatisticamente significativa. Desta forma, nenhuma variável foi capaz de explicar a variação de frequência dos assovios, não apresentando nenhuma forte relação com os níveis de SEL (Figura 43).

Tabela 14. Modelos usados para testar a influência do ruído na variação de frequência dos assovios do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	GCV	AIC	Variáveis Significativas
Varição de Frequência ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	35,9%	4,54	60,32	Nenhuma
Varição de Frequência ~ SEL + Profundidade	33,7%	0,82	56,63	Nenhuma
Varição de Frequência ~ SEL	24,6%	0,56	55,85	Nenhuma
Varição de Frequência ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	4,11%	2,35	62,11	Nenhuma
	Estimativa	Erro padrão	t	Pr(> t)
Intercept	-1.24	0.19	-6.52	0.0006

Tabela 15. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Varição de Frequência ~ SEL + Profundidade	g.l.	F	p
SEL	1	2.48	0.17
Profundidade	1	1.01	0.35

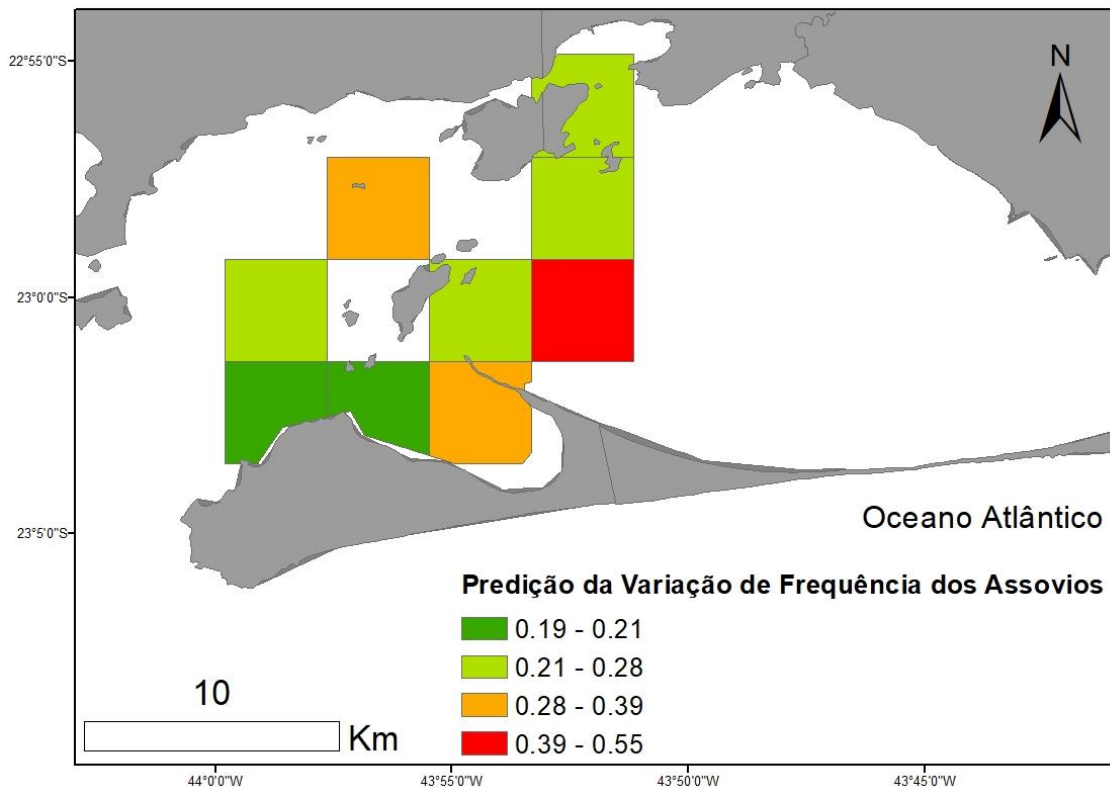


Figura 43. Predições da variação de frequência dos assovios usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

O GAM mais parcimonioso para a variável resposta ocorrência considerou a profundidade, a SST, o substrato e a heterogeneidade de substrato como variáveis explanatórias (Tabelas 16 e 17). A profundidade e a SST são diretamente proporcionais a ocorrência dos botos-cinza (Figuras 44 e 45). Contudo, a heterogeneidade do substrato é inversamente proporcional a ocorrência (Figura 46). Entretanto, apenas a SST apresentou uma relação estatisticamente significativa. Desta forma, o conjunto das variáveis ambientais foram capazes de explicar a ocorrência do boto-cinza, mas não os níveis de SEL (Figura 47).

Tabela 16. Modelos usados para testar a influência do ruído na ocorrência do boto-cinza. Em negrito está destacado o modelo mais parcimonioso selecionado.

Modelo	Deviance	UBRE	AIC	Variáveis Significativas
Ocorrência ~ SEL + SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	76,2%	0,26	72,49	SST
Ocorrência ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	76,1%	0,15	70,50	SST
Ocorrência ~ SST	39,5%	0,05	68,89	SST
Ocorrência ~ SEL	42,5%	0,23	68,69	SEL
Ocorrência ~ SEL + SST	39,6%	0,49	70,88	SST
	Estimativa	Erro padrão	z	Pr(> t)
Intercept	-3.07	0.36	-8.49	<2e-16

Tabela 17. Significância dos parâmetros do modelo mais parcimonioso selecionado.

Ocorrência ~ SST + Profundidade + Heterogeneidade de substrato + Substrato	g.l.	F	p
SST	1	5.12	0.02
Profundidade	1	0.16	0.69
Heterogeneidade de Substrato	1	2.53	0.11

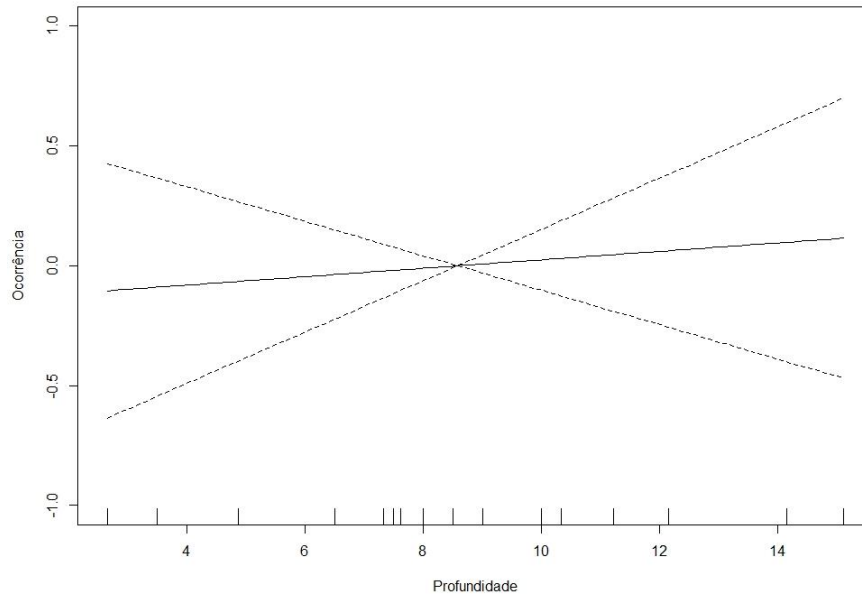


Figura 44. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

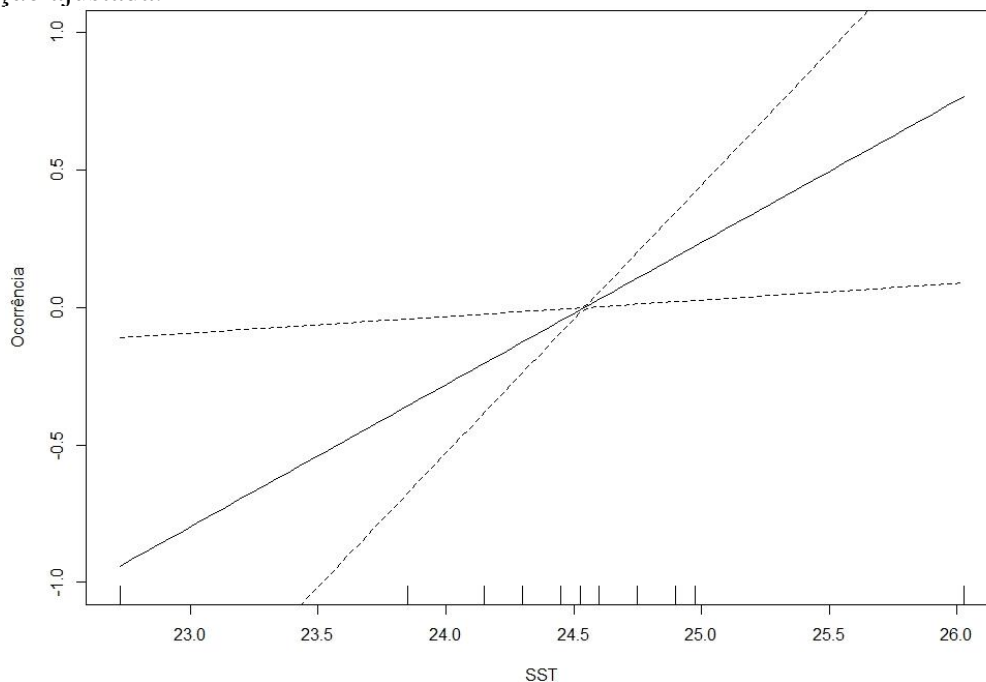


Figura 45. Representação gráfica da relação da variável explanatória SST retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

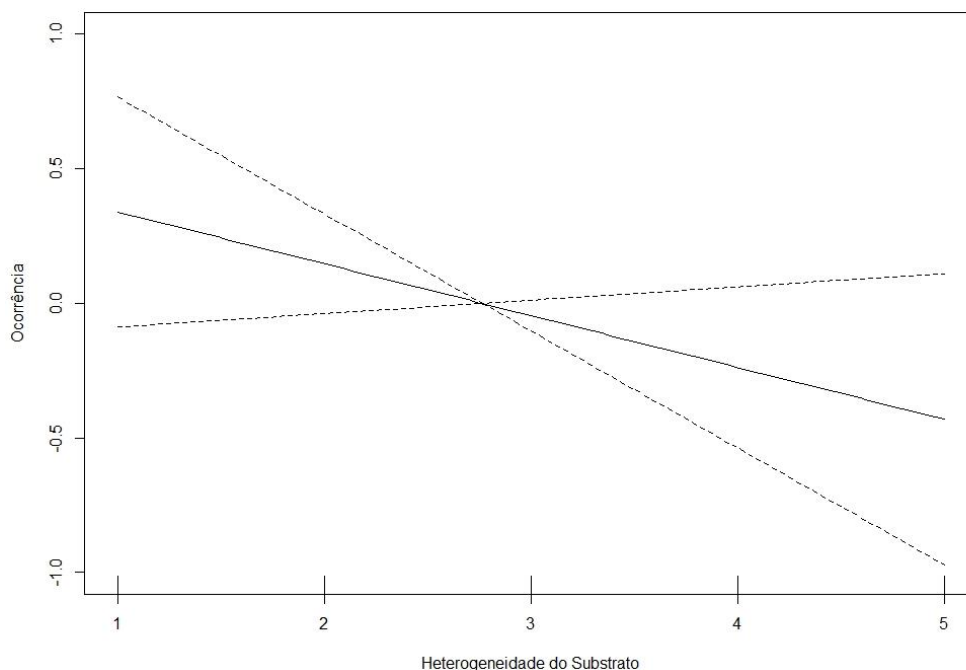


Figura 46. Representação gráfica da relação da variável explanatória heterogeneidade de substrato retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a ocorrência como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada. Os números representados no eixo X indicam a quantidade de tipos de substrato em um mesmo grid.

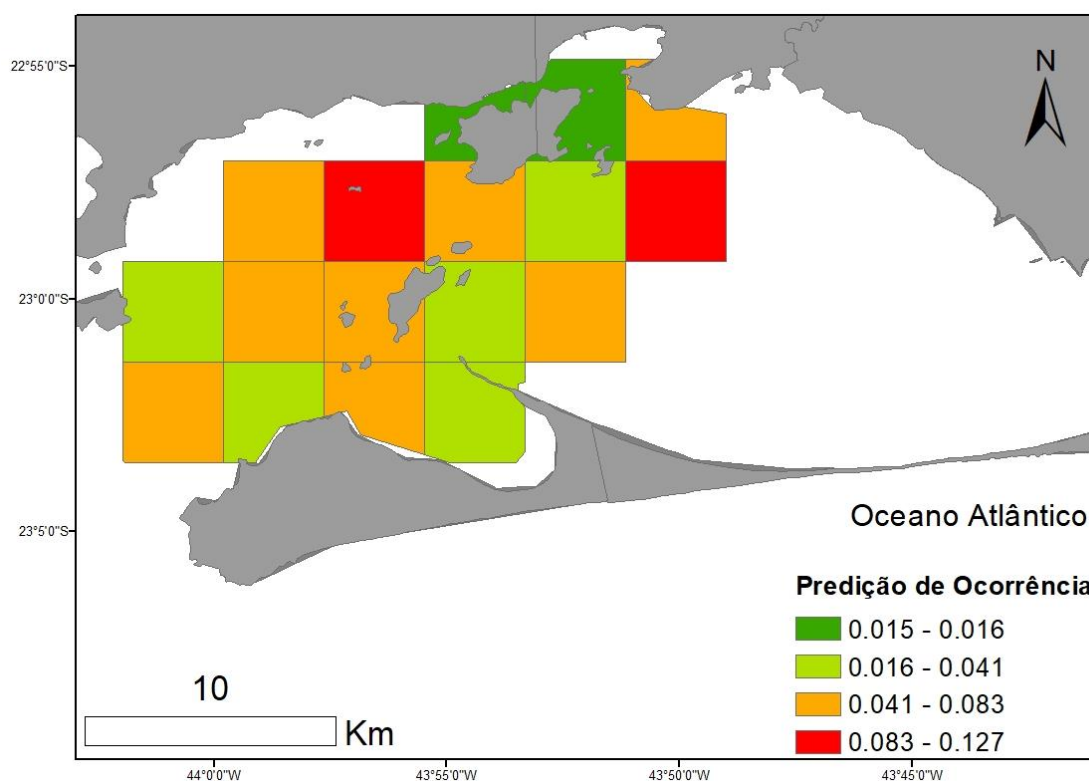


Figura 47. Predições da ocorrência usando o melhor modelo generalizado aditivo para o boto-cinza na Baía de Sepetiba.

4.4 Discussão

Este estudo foi o primeiro a modelar o efeito do ruído antropogênico no boto-cinza. De maneira geral, os níveis de ruído antropogênico aparecem como um componente importante para explicar a variação da maior parte dos parâmetros acústicos testados. Além disso, a resposta comportamental do boto-cinza frente aos níveis de ruído em escala espacial, foram semelhantes ao padrão observado em escala temporal no primeiro capítulo dessa tese. Contudo, as variáveis ambientais foram mais importantes que os níveis de ruído para a variável ocorrência do boto-cinza na Baía de Sepetiba. Assim, é possível que os benefícios da área usada ainda sejam maiores que o impacto gerado pelo ruído.

O modelo mais parcimonioso para explicar a taxa de emissão dos assovios do boto-cinza considera o SEL e algumas variáveis ambientais, sendo todas significativas. A redução da taxa de emissão em decorrência dos níveis de ruído contradiz tanto as previsões do efeito Lombard (LOMBARD, 1911) quanto as observações de BITTENCOURT *et al.* (2017) para o boto-cinza. Entretanto, esta redução converge com a nossa hipótese e com os dados já apresentados no primeiro capítulo desta tese.

Assumindo nossa premissa que o ruído antropogênico aumentou ao longo do tempo na Baía de Sepetiba, parece parcimonioso que a mesma estratégia comportamental observada em escala temporal ocorra também espacialmente. Dessa forma, assim como já proposto no primeiro capítulo, a redução na taxa de emissão de assovios pode ser uma estratégia comportamental para redução do gasto energético (HOLT *et al.*, 2015, 2016).

No ambiente marinho, principalmente em águas rasas, a profundidade e o substrato são as variáveis ambientais mais importantes para a propagação do som (AU & HASTINGS, 2008). Entretanto, as variáveis ambientais que explicam a taxa de emissão parecem contradizer os princípios de propagação do som. Em ambientes rasos, quanto maior a profundidade e a densidade do substrato maior é a propagação do som (AU & HASTINGS, 2008). Assim, parece contraditório que o boto-cinza esteja selecionando habitats acústicos onde seus sinais teria uma menor propagação. Entretanto, visto que os níveis de ruído são a variável mais importante para explicar o modelo selecionado, as condições de propagação do som são menos importantes para a determinação dos melhores habitats acústicos. Além disso, os golfinhos usam os sons tonais, principalmente, para se comunicar com coespecíficos próximos (AU *et al.*, 2000), sendo assim a propagação do som um fator comparativamente menos importante na comunicação.

Para explicar a duração dos assovios, o modelo mais parcimonioso explica menos de ¼ da variável resposta e nenhuma variável é estatisticamente significativa. Entretanto, há uma tendência de redução da duração dos assovios em áreas mais ruidosas. Este padrão também já foi observado para o boto-cinza na Baía de Guanabara (BITTENCOURT *et al.*, 2017). Além disso, uma redução da duração das emissões também foi observada na comparação temporal no primeiro capítulo desta tese. Assim como a redução da taxa de emissão, a redução da duração dos assovios pode estar relacionada com uma tentativa de redução do gasto energético (HOLT *et al.*, 2015, 2016), sendo esta estratégia comportamental usada tanto em escala temporal quanto espacial. Entretanto, esta redução do esforço vocal pode enfraquecer os laços sociais desta população. Desta forma, a longo prazo, esta estratégia pode ser mais prejudicial para a população.

Além dos níveis de SEL, a duração é influenciada pela profundidade, sendo os assovios mais longo encontrados nas maiores profundidades. Esta relação parece estar

ligada a melhor propagação dos sons. De acordo com a hipótese da adaptação acústica, é esperado que os animais adequem suas vocalizações para otimizar a propagação do som (ROTHSTEIN & FLEISCHER, 1987; EY & FISCHER, 2009). Desta forma, como o som se propaga melhor em ambientes mais profundos, o boto-cinza seleciona estes habitats para as emissões mais longas.

Na seleção de modelos para as frequências máximas e mínimas, foi escolhido como mais parcimonioso o modelo em que as variáveis ambientais foram responsáveis por explicar a variação nestes parâmetros de frequência. Entretanto, com exceção da heterogeneidade de substrato no modelo de frequência mínima, nenhuma das outras variáveis foram estatisticamente significativas em ambos os modelos.

Para ambos os modelos (frequência máxima e frequência mínima), os maiores valores foram encontrados em águas mais rasas, mais frias e com menor heterogeneidade de fundo de substrato. Todas essas características desfavorecem a propagação do som. Contudo, uma vez que o ruído não está influenciando estes parâmetros acústicos, não há urgência de adaptação acústica. Dessa forma, a variação encontrada pode estar relacionada com o tipo de comportamento desempenhado nessas áreas. Uma vez que todos estes parâmetros ambientais estão relacionados com a distribuição de peixes na baía de Sepetiba (ARAÚJO *et al.*, 2002) e os parâmetros acústicos do boto-cinza podem variar em relação a seu estado comportamental (MAY-COLLADO, 2013), é possível que este padrão acústico reflita mais o estado comportamental desempenhado que adaptações ao habitat acústico. Toda via, como este trabalho não realizou nenhuma comparação dos estados comportamentais com as emissões em cada grid, esta hipótese ainda precisa ser testada.

O GAM para a variação de frequência indica que as maiores variações são encontradas em áreas menos ruidosas e mais profundas. Entretanto, é importante ressaltar que nenhuma das variáveis foram estatisticamente significativas. A redução da variação de frequência em decorrência do aumento do ruído já foi observada em golfinho-nariz-de-garrafa em Maryland, EUA (FOUDA *et al.*, 2018). Entretanto, ainda não está claro as consequências dessa simplificação das emissões na comunicação animal (FOUDA *et al.*, 2018).

Além dos níveis de SEL, a profundidade também aparece neste modelo como uma variável explanatória. Esta correlação pode também indicar uma seleção do habitat acústico, onde as vocalizações mais complexas são produzidas em ambientes mais profundos onde a propagação acústica é mais eficiente (AU & HASTINGS, 2008).

Diferente dos modelos para as variáveis acústicas, a ocorrência do boto-cinza é melhor explicada exclusivamente pelas variáveis ambientais e não pelos níveis de SEL. Neste modelo os botos tendem a ocorrer em áreas mais profundas, mais quentes e com menor heterogeneidade de substrato. Estes dados estão de acordo com nossas observações sobre o uso do habitat. Em uma comparação entre 1998 e 2018, constatou-se que os botos-cinza continuam usando preferencialmente as mesmas áreas, mesmo com todas as mudanças que ocorreram na Baía de Sepetiba (TARDIN, comunicação pessoal).

Adicionalmente, o boto-cinza tem preferência por utilizar as áreas central e externa da Baía de Sepetiba, principalmente para alimentação nas proximidades do canal de navegação e fundeadouros (SIMÃO & POLETTI, 2002). SIMÃO & POLETTI (2002), hipotetizam que o boto-cinza utiliza as áreas mais fundas do canal de navegação para capturar presas contra a parede do canal, mas esta hipótese nunca foi testada. Desta forma, dado a redução nas populações de presas do boto-cinza (ARAÚJO *et al.*, 2017), é

plausível que a necessidade da captura seja mais importante que evitar o aumento do estresse gerado pelos altos níveis de ruído.

A interpretação dos resultados apresentados neste capítulo deve levar em conta que não houve um monitoramento sistemático da paisagem acústica da Baía de Sepetiba. Desta forma, os modelos não incorporam variações sazonais. Adicionalmente, os níveis de SEL considerados nos modelos se basearam em valores médios de ruído medidos de amostras de algumas embarcações e extrapolada com base no tempo médio de uso de grid. Desta forma, pode haver variação dos níveis de SEL em diferentes tipos de motorização e em diferentes velocidades de navegação. Entretanto esta metodologia já foi utilizada na literatura (e.g. ERB *et al.*, 2012, 2014). Além disso, é importante ressaltar que, mesmo que tenhamos mais de 10 horas de esforço de gravação, houve poucas amostras com emissão de assovios, limitando assim o número de grids modelados. Dada esta limitação, para alguns parâmetros onde nenhuma variável do modelo foi significativa, é possível que com mais amostras de assovios em áreas diferentes possamos ter uma resposta diferente.

Assim, concluímos que de maneira geral os níveis de ruído antropogênico são o componente mais importante para seleção dos habitats acústicos do boto-cinza. Os boto-cinza vocalizam mais, com assovios mais longos e com maior variação de frequência em habitats menos ruidosos. Dessa forma, podemos concluir que os níveis atuais de ruído antropogênico estão impactando o comportamento vocal do boto-cinza na Baía de Sepetiba. Entretanto, não há mudança no padrão de ocorrência em relação aos níveis de ruído, mas sim devido as variáveis ambientais. Com isso, apesar dos botos-cinza aparentemente não evitarem as áreas mais ruidosas, sua comunicação é prejudicada, podendo haver áreas onde a comunicação do boto-cinza é inviável.

4.5 Referências Bibliográficas

- ALVES-PEREIRA, M.; BRANCO, N. A. A. C.. Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 93, n. 1-3, p. 256-279, 2007.
- ANDERWALD, Pia et al. Displacement responses of a mysticete, an odontocete, and a phocid seal to construction-related vessel traffic. **Endangered Species Research**, v. 21, n. 3, p. 231-240, 2013.
- ARAÚJO, F. G., DE AZEVEDO, M. C. C., DE ARAÚJO SILVA, M., PESSANHA, A. L. M., GOMES, I. D., & DA CRUZ-FILHO, A. G. Environmental influences on the demersal fish assemblages in the Sepetiba Bay, Brazil. **Estuaries**, v. 25, n. 3, p. 441-450, 2002.
- ARAÚJO, F. G.; PINTO, S. M., NEVES, L. M., & DE AZEVEDO, M. C. C. Inter-annual changes in fish communities of a tropical bay in southeastern Brazil: What can be inferred from anthropogenic activities? **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 1, p. 102-113, 2017.
- AU, W. L. A.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000.
- AU, Whitlow WL; HASTINGS, Mardi C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.
- BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M., ANDRADE, L. G., CARVALHO, R. R., BISI, T. L., LAILSON-BRITO JR, J., & AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2017.
- BIVAND, R.; ALTMAN, M.; ANSELIN, L.; ASSUNÇÃO, R.; BERKE, O.; BERNAT, A.; BLANCHET, G.; BLANKMEYER, E.; CARVALHO, M.; CHRISTENSEN, B.; CHUN, Y.; DORMANN, C.; DRAY, S.; HALBERSMA, R.; KRAINSKI, E.; LEGENDRE, P.; LEWIN-KOH, N.; LI, H.; MA, J.; MILLO, G.; MUELLER, W.; ONO, H.; PERES-NETO, P.; PIRAS, G.; REDER, M.; TIEFELSDORF, M.; YU, D. (2018) spdep: Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. R package version 1.1-3. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=spdep>> Acesso em: 03 dezembro 2019.
- BRYANT, Peter J.; LAFFERTY, Christopher M.; LAFFERTY, Susan K. Reoccupation of Laguna Guerrero Negro, Baja California, Mexico, by gray whales. **The gray whale, *Eschrichtius robustus***, p. 375-387, 1984.
- BUCKSTAFF, K C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. **Marine Mammal Science**, v. 20, n. 4, p. 709-725, 2004.
- CAORSI, V. Z. et al. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hyliid frogs. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 12, no 8, p. 1-14, 2017.
- DI IORIO, Lucia; CLARK, Christopher W. Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. **Biology letters**, v. 6, n. 1, p. 51-54, 2010.

- ERBE, Christine. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. **Marine mammal science**, v. 18, n. 2, p. 394-418, 2002.
- ERBE, Christine; MACGILLIVRAY, Alexander; WILLIAMS, Rob. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 5, p. EL423-EL428, 2012.
- ERBE, C., WILLIAMS, R., SANDILANDS, D., & ASHE, E. Identifying modeled ship noise hotspots for marine mammals of Canada's Pacific region. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e89820, 2014.
- EGNOR, SE Roian; WICKELGREN, Jeanette Graham; HAUSER, Marc D. Tracking silence: adjusting vocal production to avoid acoustic interference. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 193, n. 4, p. 477-483, 2007.
- EY, Elodie; FISCHER, Julia. The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics**, v. 19, n. 1-2, p. 21-48, 2009.
- FOUDA, WINGFIELD, J. E., FANDEL, A. D., GARROD, A., HODGE, K. B., RICE, A. N., & BAILEY, H. Dolphins simplify their vocal calls in response to increased ambient noise. **Biology letters**, v. 14, n. 10, p. 20180484, 2018.
- GASKIN, D. E. Marine mammals and noise. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 210, 161-163, 1997.
- GUISAN, A., EDWARDS JR, T. C. & HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological modelling**, 157(2-3), 89-100, 2002.
- GERACI, J.;&LOUNSBURY, V. Marine mammal health: holding the balance in an ever-changing sea. In **Marine Mammals**, pp. 365–383. Ed. P. H. Evans&J. Raga. Springer US, New York, 2001.
- GERSTEIN, E. R.; BLUE, J. E.; PINTO, G. F. and BARR, S. Underwater noise and zones of masking with respect to hopper dredging and manatees in the St. Johns River in Jacksonville. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 120: 3145–3222, 2006.
- HILDEBRAND, John A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5-20, 2009.
- KASTAK, D.; SOUTHALL, B.; SCHUSTERMAN, R. J.;KASTAK, C. R. Underwater temporary thresholdshift in pinnipeds: effects of noise level and duration. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 118: 3154–3163, 2005.
- LESAGE, V., BARRETTE, C., KINGSLEY, M. C., & SJARE, B. 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.
- LODI, L., & B., HETZEL. Grandes agregações do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía da Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Bioikos**, 12 (2), 26-30, 1998.

- LOMBARD, Etienne. Le signe de l'elevation de la voix. **Ann. Mal. de L'Oreille et du Larynx**, p. 101-119, 1911.
- LUCKE, K.;SIEBERT, U.;LEPPER, P. A.;BLANCHET, M. A. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise(*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 125: 4060–4070, 2009.
- MAY-COLLADO, Laura 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.
- MERCHANT, N.D., FRISTRUP, K.M., JOHNSON, M.P., TYACK, P.L., WITT, M.J., BLONDEL, P., PARKS, S.E. Measuring acoustic habitats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 257-265, 2015.
- MOONEY, T. A., NACHTIGALL, P. E., BREESE, M., VLACHOS, S., & AU, W. W. Predicting temporary threshold shifts in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): The effects of noise level and duration. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 3, p. 1816-1826, 2009.
- MORISAKA, Tadamichi 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.
- NACHTIGALL, P. E.; PAWLOSKI, J. L.; AU, W. W. L. Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 113, n. 6, p. 3425-3429, 2003.
- NEDELEC, S. L. et al. Motorboat noise impacts parental behaviour and offspring survival in a reef fish. **Proc. R. Soc. B**, v. 284, n. 1856, p. 20170143, 2017.
- NRC. Marine Mammal Populations and Ocean Noise Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. The National Academics Press, Washington, DC, 2005.
- PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Evidence for signature whistle production by a Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis*. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 4, p. 944-949, 2001.
- PERRIN, W. F. Common dolphins. In: PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals**, 2. ed., San Diego: Academic Press, p. 255–259, 2009.
- PIJANOWSKI, Bryan C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.
- PURSER, J. et al. Condition-dependent physiological and behavioural responses to anthropogenic noise. **Physiology and Behavior**, [s.l.], v. 155, p. 157–161, 2016.
- REYNOLDS, J. E.; PERRIN, W. F.; REEVES, R. R.; MONTGOMERY, S.; RAGEN, T. **Marine Mammal Research Conservation, Beyond Crisis**. John Hopkins University Press, Baltimore, MD, 2005.

- RICHARDSON, W. J.; DAVIS, R. A.; EVANS, R.; LJUNGBLAD, D. K.; NORTON, P. **Summer distribution of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, relative to oil industry activities** in the Canadian Beaufort Sea, 1980–84. *Arctic*, 40: 93–104, 1987.
- RICHARDSON, W. John et al. **Marine mammals and noise**. Academic press, 2013.
- ROLLAND, Rosalind M. et al. Evidence that ship noise increases stress in right whales. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1737, p. 2363-2368, 2012.
- SIMÃO, S. M., & POLETTO, F. R. Áreas preferenciais de pesca e dieta do ecótipo marinho do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía de Sepetiba, RJ. **Floresta e Ambiente**, 9(1), 18-25. 2002.
- SLABBEKOORN, H. et al. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 25, no 7, p. 419–427, 2010.
- SOLDEVILLA, M. S., WIGGINS, S. M., HILDEBRAND, J. A., OLESON, E. M., & FERGUSON, M. C. Risso's and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. **Marine Ecology Progress Series**, 423, 247-260, 2011.
- SOUSA-PAIS, F., CARDOSO, R. P., ROSSI-SANTOS, M. R., WEDEKIN, L. L., SILVA, F. J., MONTEIRO-FILHO, E. L., & LEÃO, D. T. M. Anthropogenic Noise and Guiana Dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: Ecological and Conservation Concerns. In: **Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America**. Springer, Cham, 2018. p. 321-366.
- SOUSA-LIMA, Renata S.; CLARK, Christopher W. Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian marine park. **Park Science**, v. 26, n. 1, p. 59-63, 2009.
- TARDIN, R. H., SIMÃO, S. M., & ALVES, M. A. S. Distribution of *Tursiops truncatus* in Southeastern Brazil: a modeling approach for summer sampling. **Natureza & Conservação**, 11(1), 65-74, 2013.
- WEILGART, L. S. A brief review of known effects of noise on marine mammals. **International Journal of Comparative Psychology**, 20(1-3) 159-168, 2007.
- WILLIAMS, R., ERBE, C., ASHE, E., & CLARK, C. W. Quiet (er) marine protected areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 154-161, 2015.
- WRIGHT, A.J.; SOTO, N. A.; BALDWIN, A. L.; BATESON, M.; BEALE, C. M.; CLARK, C.; DEAK, T.; EDWARDS, E. F.; FERNÁNDEZ, A.; GODINHO, A.; HATCH, L. T.; KAKUSCHKE, A.; LUSSEAU, D.; MARTINEAU, D.; ROMERO, M. L.; WEILGART, L. S.; WINTLE, B. A.; NOTARBARTOLO-di SCIARA, G.; MARTIN, V. Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise? **International Journal of Comparative Psychology**, 20(2), 274–316, 2007.
- YEE, T. W., & MITCHELL, N. D. Generalized additive models in plant ecology. **Journal of vegetation science**, 2(5), 587-602, 1991.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Desta tese podem ser extraídos valiosos resultados para o manejo e conservação do boto-cinza que, em sua maioria, são possíveis somente devido ao esforço de um monitoramento acústico de longo prazo. Assim, conjunto dos resultados aqui obtidos indica uma grande importância do monitoramento acústico de populações. Dentre os principais resultados desta tese, podemos destacar:

- I. Temporalmente, o repertório do boto-cinza contém vocalizações estáveis por cerca de 20 anos, indicando um importante papel dos assovios na comunicação do boto-cinza.
- II. Ao longo do tempo, houve redução da diversidade de assovios, redução da duração das emissões, redução da taxa de emissão, e um aumento nas frequências máximas e mínimas. Esta variação pode estar ligada ao aumento do ruído antropogênico na Baía de Sepetiba.
- III. As variações geográficas observadas não se dão apenas nos tipos de assovios emitidos, mas também na alta diversidade no repertório da Baía da Ilha Grande e seu baixo compartilhamento com a Baía de Sepetiba. Ainda não está claro os motivos que promovem esta diferença de diversidade acústica. Contudo, é possível que 1) variação geográfica no repertório de assovios pode estar relacionada com o baixo trânsito de indivíduos entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande; e/ou 2) o boto-cinza produza dialetos para evitar a hibridização.
- IV. A modelagem do efeito do ruído nos parâmetros acústicos e na ocorrência indicou que os botos-cinza vocalizam mais, com assovios mais longos e mais complexos em habitats menos ruidosos. Desta forma, há indícios que o boto-cinza está sendo impactado pelo ruído antropogênico na baía de Sepetiba. Além disso, há indícios de uma adaptação acústica similar a observada em escala temporal.
- V. A modelagem de ocorrência indicou que não há mudança no padrão de ocorrência em relação aos níveis de ruído, mas sim devido as variáveis ambientais. Assim, as variáveis ambientais foram mais importantes que os níveis de ruído para a ocorrência. Assim, hipotetizamos que a necessidade da captura de presas mais importante que evitar o aumento do estresse gerado pelos altos níveis de ruído.

6. RECOMENDAÇÕES

Nesta tese usamos ferramentas acústicas para estudar padrões ecológicos e comportamentais. Este foi o primeiro estudo que se propôs a medir a estabilidade vocal e a modelar os efeitos do ruído antropogênico no boto-cinza. Os resultados obtidos neste trabalho devem ser considerados por órgãos ambientais em todas as esferas. Com base nos resultados apresentados e discutidos neste documento, fazemos as seguintes recomendações:

Recomendações técnicas

- Continuação do monitoramento de longo prazo nas Baías de Sepetiba e Ilha Grande.
- Monitoramento acústico passivo nas áreas de maior concentração do boto-cinza na Baía de Sepetiba visando medições de ruído *in situ* em diferentes condições ambientais e estações do ano.
- Adicionar ao modelo o ruído das embarcações pesqueiras.
- Gravações acústicas de indivíduos isolados do boto-cinza buscando identificar assovios assinatura.

Recomendações para a Conservação

- O padrão de variação temporal e espacial no repertório acústico do boto-cinza, reforçam a ideia de que o ruído de embarcações é um componente importante a ser mitigado na Baía de Sepetiba.
- Os órgãos licenciadores devem considerar o efeito cumulativo do ruído antropogênico sobre o boto-cinza para todas as atividades licenciáveis que produzem ruído subaquático.
- As variações espaciais no repertório acústico do boto-cinza devem ser usadas como uma ferramenta para identificar impactos de atividades antrópicas e não apenas sua ocorrência e comportamento superficial.
- Os assovios têm um importante papel na comunicação, mas houve uma redução em sua diversidade. Além disso, apesar do boto-cinza sofrer impacto do ruído antropogênico, a necessidade vital de alimentação faz com que os animais precisem conviver neste ambiente apesar dos altos níveis de ruído. Entretanto esta situação não é sustentável a médio e longo prazo. Assim, medidas de redução do ruído antropogênico na Baía de Sepetiba são fundamentais para a conservação desta população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAFONOV, A. V.; PANOVA, E. M. Individual patterns of tonal (whistling) signals of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) kept in relative isolation. **Biology Bulletin**, v. 39, n. 5, p. 430-440, 2012.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3, p. 227-267. 1974.
- ALVES-PEREIRA, M.; BRANCO, N. A. A. C.. Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 93, n. 1-3, p. 256-279, 2007.
- ANDERWALD, Pia et al. Displacement responses of a mysticete, an odontocete, and a phocid seal to construction-related vessel traffic. **Endangered Species Research**, v. 21, n. 3, p. 231-240, 2013.
- ANDRADE, L. G.; LIMA, I. M. S.; DA SILVA MACEDO, H.; DE CARVALHO, R. R.; LAILSON-BRITO, J.; FLACH, L.; DE FREITAS AZEVEDO, A. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. **Acta Ethologica**, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015.
- ANSMANN, I. C.; GOOLD, J. C.; EVANS, P. G.; SIMMONDS, M.; KEITH, S. G. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, n. 1, p. 19-26, 2007.
- ARAÚJO, F. G., A. G. CRUZ-FILHO, M. C. C. AZEVEDO, AND A. C. A. SANTOS. Structure of demersal fish community in the Sepetiba Bay, RJ. **Revista Brasileira de Biologia**. 58:417–430, 1998.
- ARAÚJO, F. G., DE AZEVEDO, M. C. C., DE ARAÚJO SILVA, M., PESSANHA, A. L. M., GOMES, I. D., & DA CRUZ-FILHO, A. G. Environmental influences on the demersal fish assemblages in the Sepetiba Bay, Brazil. **Estuaries**, 25(3), 441-450, 2002.
- ARAÚJO, F. G.; PINTO, S. M., NEVES, L. M., & DE AZEVEDO, M. C. C. Inter-annual changes in fish communities of a tropical bay in southeastern Brazil: What can be inferred from anthropogenic activities? **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 1, p. 102-113, 2017.
- AU, W. W. L. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: AU, W. L. A.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000, p. 1-42.
- AU, Whitlow WL; HASTINGS, Mardi C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.
- AZEVEDO, Alexandre F.; SIMÃO, Sheila M. Whistles produced by marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **Aquatic Mammals**, v. 28, n. 3, p. 261-266, 2002.

- AZEVEDO, ALEXANDRE F.; VAN SLUYS, MONIQUE. 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, Alexandre F. et al. Whistles emitted by Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) in southeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2646-2651, 2010.
- BARBOSA, MÔNICA MACHADO COLLARES. **Comparação entre os repertórios sonoros das populações de botos-cinza, Sotalia guianensis, presentes na Baía de Paraty e na Baía de Sepetiba, RJ.** Dissertação, 2009.
- BARON, S. C.; Martinez, A.; Garrison, L. P.; Keith, E. O. Differences in acoustic signals from Delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. **Marine Mammal Science**, v. 24, n. 1, p. 42-56, 2008.
- BAZÚA-DURÁN, CARMEN; AU, WHITLOW WL. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai'ian Islands. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 6, p. 3757-3769, 2004.
- BELO, W. C. O fundo marinho da Baía da Ilha Grande, RJ: Evidências da ação de correntes e de ondas no canal central com base em formas de fundo observadas em registros de sonar (100 kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, n. 1, p. 17-30, 2002.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. **Sound production for communication, echolocation, and prey capture.** Marine Mammals Evolutionary Biology. Second edition. Elsevier, San Diego, p. 270-311, 2006.
- BERTA, Annalisa; SUMICH, James L.; KOVACS, Kit M. **Marine Mammals: Evolutionary Biology.** Elsevier, 2015.
- BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M., ANDRADE, L. G., CARVALHO, R. R., BISI, T. L., LAILSON-BRITO JR, J., & AZEVEDO, A. F. Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1130-1134, 2017.
- BIVAND, R.; ALTMAN, M.; ANSELIN, L.; ASSUNÇÃO, R.; BERKE, O.; BERNAT, A.; BLANCHET, G.; BLANKMEYER, E.; CARVALHO, M.; CHRISTENSEN, B.; CHUN, Y.; DORMANN, C.; DRAY, S.; HALBERSMA, R.; KRAINSKI, E.; LEGENDRE, P.; LEWIN-KOH, N.; LI, H.; MA, J.; MILLO, G.; MUELLER, W.; ONO, H.; PERES-NETO, P.; PIRAS, G.; REDER, M.; TIEFELSDORF, M.; YU, D. (2018) **spdep: Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. R package version 1.1-3.** Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=spdep>> Acesso em: 03 dezembro 2019.
- BOISSEAU, O. Quantifying the acoustic repertoire of a population: The vocalizations of free-ranging bottlenose dolphins in Fiordland, New Zealand. **The Journal of Acoustical Society of America**, v. 117, n. 4, p. 2318–2329. 2005.
- BRYANT, Peter J.; LAFFERTY, Christopher M.; LAFFERTY, Susan K. **Reoccupation of Laguna Guerrero Negro, Baja California, Mexico, by gray whales.** The gray whale, *Eschrichtius robustus*, p. 375-387, 1984.

- BUCK, J. R.; TYACK, P. L. A quantitative measure of similarity for *Tursiops truncatus* signature whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 94, n. 5, p. 2497-2506, 1993.
- BUCKSTAFF, K. C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. **Marine Mammal Science**, v. 20, n. 4, p. 709-725, 2004.
- CALDEIRA, A. Q., DE PAULA, J. C., REIS, R. P., & GIORDANO, R. G. Structural and functional losses in macroalgal assemblages in a southeastern Brazilian bay over more than a decade. **Ecological Indicators**, v. 75, p. 242-248, 2017.
- CALDWELL, M. C. & CALDWELL, D. K. Vocalization of naive captive dolphins in small groups. **Science** 159:1121–1123, 1968.
- CALDWELL, Melba C.; CALDWELL, David K. **The whistle of the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*)—ontogeny**. In: Behavior of marine animals. Springer, Boston, MA, 1979. p. 369-401.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; TYACK, P. L. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. **The bottlenose dolphin**, p. 199-234, 1990.
- CANTOR, M.; WEDEKIN, L. L.; GUIMARAES, P. R.; DAURA-JORGE, F. G.; ROSSI-SANTOS, M. R.; SIMOES-LOPES, P. C. Disentangling social networks from spatiotemporal dynamics: the temporal structure of a dolphin society. **Animal Behaviour**, v. 84, n. 3, p. 641-651, 2012.
- CAORSI, V. Z. et al. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hyliid frogs. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 12, no 8, p. 1–14, 2017.
- CARDOSO, R. S.; MATTOS, G.; CAETANO, C. H.; CABRINI, T. M.; GALHARDO, L. B.; MEIREIS, F. Effects of environmental gradients on sandy beach macrofauna of a semi-enclosed bay. **Marine Ecology**, v. 33, n. 1, p. 106-116, 2012.
- CHENG, Z.; WANG, D.; WU, H.; HUANG, S. L.; PINE, M. K.; PENG, C. & WANG, K. Stereotyped Whistles May Be First Evidence to Suggest the Possibility of Signature Whistles in an Injured Indo-Pacific Humpback Dolphin (*Sousa chinensis*). **Aquatic Mammals**, v. 43, n. 2, p. 185, 2017.
- CONDE, M. M. S.; LIMA, H. R. P.; PEIXOTO, A. L. **Aspectos florísticos e vegetacionais da Marambaia, Rio de Janeiro, Brasil**. História natural da Marambaia, p. 133 citation_lastpage= 168, 2005.
- COOK, M. L.; SAYIGH, L. S.; BLUM, J. E. & WELLS, R. S. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Proceedings of the Royal Society of London-B**, v. 271, n. 1543, p. 1043-1050, 2004.
- CRANFORD, TED W.; AMUNDIN, MATS; NORRIS, KENNETH S. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation. **Journal of Morphology**, v. 228, n. 3, p. 223-285, 1996.
- DEECKE, Volker B.; FORD, John KB; SPONG, Paul. Quantifying complex patterns of bioacoustic variation: Use of a neural network to compare killer whale (*Orcinus orca*)

- dialects. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 105, n. 4, p. 2499-2507, 1999.
- DEECKE, Volker B.; JANIK, Vincent M. Automated categorization of bioacoustic signals: avoiding perceptual pitfalls. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 119, n. 1, p. 645-653, 2006.
- DI IORIO, Lucia; CLARK, Christopher W. Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. **Biology Letters**, v. 6, n. 1, p. 51-54, 2010.
- EGNOR, SE Roian; WICKELGREN, Jeanette Graham; HAUSER, Marc D. Tracking silence: adjusting vocal production to avoid acoustic interference. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 193, n. 4, p. 477-483, 2007.
- ELLERS, JACINTHA; SLABBEKOORN, HANS. Song divergence and male dispersal among bird populations: a spatially explicit model testing the role of vocal learning. **Animal Behaviour**, v. 65, n. 4, p. 671-681, 2003.
- EMIN-LIMA, R., MOURA, L. N., RODRIGUES, A. F., & SILVA, M. L. Note on the group size and behavior of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Marapanim Bay, Pará, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, 8(1-2), 167-170, 2010.
- ERBE, Christine. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. **Marine Mammal Science**, v. 18, n. 2, p. 394-418, 2002.
- ERBE, Christine; MACGILLIVRAY, Alexander; WILLIAMS, Rob. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 5, p. EL423-EL428, 2012.
- ERBER, Claudia; SIMÃO, Sheila M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi Dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 2, p. 381-385, 2004.
- ESCH, H. C., SAYIGH, L. S., BLUM, J. E., & WELLS, R. S. Whistles as potential indicators of stress in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Journal of Mammalogy**, v. 90, n. 3, p. 638-650, 2009.
- ESCH, H. C.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Quantifying parameters of bottlenose dolphin signature whistles. **Marine Mammal Science**, v. 25 p. 976-986, 2009.
- ESPÉCIE, Mariana de Assis. **Tamanho populacional e estimativa da sobrevivência relativa de *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) na parte oeste da Baía da Ilha Grande**, RJ. 2011.
- EY, E.; FISCHER, J. The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics**, v. 19, n. 1-2, p. 21-48, 2009.
- FERREIRA, P.H.G. et al. Estudo da Contaminação dos Sedimentos Superficiais da baía de Sepetiba por Mercúrio. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**. Itapetininga. v. 4, n. 7. 2017.

- FIGUEIREDO, L. D & SIMÃO, S. M. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, p. 1563-1569, 2009.
- FILATOVA, OLGA A., DEECKE, VOLKER B., FORD, JOHN K.B., MATKIN, CRAIG O., BARRETTLENNARD, LANCE G., GUZEEV, MIKHAIL A., BURDIN, ALEXANDR M. AND HOYT, ERICH. Call diversity in the North Pacific killer whale populations: implications for dialect evolution and population history. **Animal Behaviour**, v. 83, n. 3, p. 595-603, 2012.
- FLACH, L., FLACH, P. A., & CHIARELLO, A. G. Aspects of behavioral ecology of *Sotalia guianensis* in Sepetiba Bay, southeast Brazil. **Marine Mammal Science**, 24(3), 503-515, 2008.
- FLACH, LEONARDO; FLACH, P. A.; CHIARELLO, ADRIANO G. Density, abundance and distribution of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis* van Benéden, 1864) in Sepetiba Bay, Southeast Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 10, n. 1, p. 31-36, 2008.
- FLORES, Paulo AC; DA SILVA, Vera MF; FETTUCCIA, Daniela de C. **Tucuxi and Guiana Dolphins: *Sotalia fluviatilis* and *S. guianensis***. In: Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, 2018. p. 1024-1027.
- FONSECA, M. R. M. R. Water quality in the Sepetiba Bay. Feema—**Environmental Studies**, v. 2, p. 316-334, 1978.
- FORD, John KB. **Dialects**. In: Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, 2018. p. 253-254.
- FOUDA, WINGFIELD, J. E., FANDEL, A. D., GARROD, A., HODGE, K. B., RICE, A. N., & BAILEY, H. Dolphins simplify their vocal calls in response to increased ambient noise. **Biology Letters**, v. 14, n. 10, p. 20180484, 2018.
- FRIPP, D.; OWEN, C.; QUINTANA-RIZZO, E.; SHAPIRO, A.; BUCKSTAFF, K., JANKOWSKI, K., WELLS, RANDALL S. & TYACK, P. Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) calves appear to model their signature whistles on the signature whistles of community members. **Animal Cognition**, v. 8, n. 1, p. 17-26, 2005.
- GALVÃO, CARINE CRISTINA GONÇALVES. **Comparação dos catálogos de fotoidentificação das populações de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla, Delphinidae) da Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação, 2013.
- GASKIN, D. E. Marine mammals and noise. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 210, 161-163, 1997.
- GERACI, J.;&LOUNSBURY, V. **Marine mammal health: holding the balance in an ever-changing sea**. In Marine Mammals, pp. 365–383. Ed. P. H. Evans&J. Raga. Springer US, New York, 2001.
- GERSTEIN, E. R.; BLUE, J. E.; PINTO, G. F. and BARR, S. Underwater noise and zones of masking with respect to hopper dredging and manatees in the St. Johns River in Jacksonville. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 120: 3145–3222, 2006.

- GRIDLEY, T.; COCKCROFT, V. G.; HAWKINS, E. R.; BLEWITT, M. L.; MORISAKA, T. & JANIK, V. M. Signature whistles in free-ranging populations of Indo-Pacific bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus*. **Marine Mammal Science**, v. 30, n. 2, p. 512-527, 2014.
- GROCH, Kátia R. et al. Guiana dolphin unusual mortality event and link to cetacean morbillivirus, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 24, n. 7, p. 1349, 2018.
- GUISAN, A., EDWARDS JR, T. C. & HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological Modelling**, 157(2-3), 89-100, 2002.
- HANSER, SEAN FREDERICK THURMAN. **Toward the social and acoustic ecology of social foraging humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in southeast Alaska**. University of California, Davis, 2009.
- HAWKINS, ELIZABETH R. Geographic variations in the whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) along the east and west coasts of Australia. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 128, n. 2, p. 924-935, 2010.
- HAWKINS, Elizabeth R.; GARTSIDE, Donald F. Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2652-2663, 2010.
- HEMILÄ, SIMO; NUMMELA, SIRPA; REUTER, TOM. A model of the odontocete middle ear. **Hearing Research**, v. 133, n. 1-2, p. 82-97, 1999.
- HEMILÄ, SIMO; NUMMELA, SIRPA; REUTER, TOM. Modeling whale audiograms: effects of bone mass on high-frequency hearing. **Hearing Research**, v. 151, n. 1-2, p. 221-226, 2001.
- HILDEBRAND, John A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5-20, 2009.
- HOLT, M. M., NOREN, D. P., DUNKIN, R. C., & WILLIAMS, T. M. Vocal performance affects metabolic rate in dolphins: implications for animals communicating in noisy environments. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 11, p. 1647-1654, 2015.
- HOLT, M. M., NOREN, D. P., DUNKIN, R. C., & WILLIAMS, T. M. **Comparing the metabolic costs of different sound types in bottlenose dolphins**. In: Proceedings of Meetings on Acoustics 4ENAL. ASA, p. 010019. 2016.
- JANIK, V. M.; TODT, D. & DEHNHARDT, G. Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 35, n. 4, p. 243-248, 1994.
- 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.
- JANIK, V. M. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. **Animal Behaviour**, v. 57, n. 1, p. 133-143, 1999.

- JANIK, V. M.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 21, p. 8293-8297, 2006.
- JANIK, Vincent M. Acoustic communication in delphinids. **Advances in the Study of Behavior**, v. 40, p. 123-157, 2009.
- JANIK, V. M.; KING, S. L.; SAYIGH, L. S. & WELLS, R. S. Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 1, p. 109-122, 2013.
- JANIK, VINCENT M.; SAYIGH, LAELA S. Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 199, n. 6, p. 479-489, 2013.
- JONES, Guenevere J.; SAYIGH, Laela S. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. **Marine Mammal Science**, v. 18, n. 2, p. 374-393, 2002.
- KAPLAN, J. D.; MELILLO-SWEETING, K. & REISS, D.. Biphonal calls in Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*): bitonal and burst-pulse whistles. **Bioacoustics**, p. 1-20, 2017.
- KASTAK, D.; SOUTHALL, B.; SCHUSTERMAN, R. J.; KASTAK, C. R. Underwater temporary threshold shift in pinnipeds: effects of noise level and duration. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 118: 3154–3163, 2005.
- KING, S. L.; SAYIGH, L. S.; WELLS, R. S.; FELLNER, W. & JANIK, V. M. Vocal copying of individually distinctive signature whistles in bottlenose dolphins. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 280, p. 20130053, 2013.
- KING, STEPHANIE L.; JANIK, VINCENT M. Bottlenose dolphins can use learned vocal labels to address each other. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 32, p. 13216-13221, 2013.
- KING, S. L. & JANIK, V. M. Come dine with me: food-associated social signalling in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Animal Cognition**, v. 18, n. 4, p. 969-974, 2015.
- KING, S. L.; GUARINO, E.; KEATON, L.; ERB, L. & JAAKKOLA, K. Maternal signature whistle use aids mother-calf reunions in a bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioural Processes**, v. 126, p. 64-70, 2016.
- 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.
- LAILOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635-1645. 2010.
- LEMON, R. E. Geographic variation in the song of cardinals. **Canadian Journal of Zoology**, v. 44, n. 3, p. 413-428, 1966.

- LEMOS, A. **Biodisponibilidade de metais em perfis sedimentares da baía de Sepetiba, RJ: Variabilidade espacial e ensaios de ressuspensão.** 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2015.
- LEON-LOPEZ, Braulio. **Bottlenose dolphin signature whistle variation: a perspective on physical characteristics, long-term stability, relatedness, and disturbance effects.** 2017. Tese de Doutorado. University of St Andrews.
- LESAGE, V., BARRETTE, C., KINGSLEY, M. C., & SJARE, B. 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.
- LIMA, A. & LE PENDU, Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 136, n. 6, p. 3178-3185, 2014.
- LODI, L., & B., HETZEL. Grandes agregações do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía da Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Bioikos**, 12 (2), 26-30, 1998.
- LODI, Liliane; HETZEL, Bia. ROUGH-TOOTHED DOLPHIN, *Steno bredanensis*, FEEDING BEHAVIORS IN ILHA GRANDE BAY. **Biociências**, v. 7, n. 1, p. 29-42, 1999.
- LODI, L.; WEDEKIN, L. L.; ROSSI-SANTOS, M. R.; MARCONDES, M. C. Movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Rio de Janeiro state, southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 4, p. 0-0, 2008.
- LODI, L.; BOROBIA, M. **Baleias, Botos e Golfinhos do Brasil: guia de identificação.** Technical Books Editora, Rio de Janeiro. 2013.
- LODI, Liliane. Update on the current occurrence of *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) in Rio de Janeiro State. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 11, n. 1-2, p. 220-226, 2016.
- LOMBARD, Etienne. Le signe de l'elevation de la voix. **Ann. Mal. de L'Oreille et du Larynx**, p. 101-119, 1911.
- LUCKE, K.;SIEBERT, U.;LEPPER, P. A.;BLANCHET, M. A. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 125: 4060–4070, 2009.
- MADSEN, P.T.; LAMMERS, M.; WISNIEWSKA, D.; AND BEEDHOLM, K. Nasal sound production in echolocating delphinids (*Tursiops truncatus* and *Pseudorca crassidens*) is dynamic, but unilateral: clicking on the right side and whistling on the left side. **Journal Of Experimental Biology**, v. 216, n. 21, p. 4091-4102, 2013.
- MAHIQUES, M.M. **Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro.** 1987. 158 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MANGARATIBA, 2014. Decreto Lei Municipal nº 940 de 08 de outubro de 2014: cria a Área de Proteção Ambiental Marinha Boto-Cinza (APA Marinha Boto Cinza) –, com a finalidade de proteger, ordenar, garantir e disciplinar o uso racional dos recursos

ambientais da região, inclusive suas águas, bem como ordenar o turismo recreativo, as atividades de pesquisa, a pesca e promover o desenvolvimento sustentável da região.

- MARTINS, Dalila T. Leão; ROSSI-SANTOS, Marcos R.; SILVA, Flávio José De Lima. Effects of anthropogenic noise on the acoustic behaviour of *Sotalia guianensis* (Van Bénéden, 1864) in Pipa, North-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 98, n. 2, p. 215-222, 2018.
- MAY-COLLADO, Laura; AGNARSSON, Ingi. Cytochrome b and Bayesian inference of whale phylogeny. **Molecular Phylogenetics And Evolution**, v. 38, n. 2, p. 344-354, 2006.
- MAY-COLLADO, Laura J.; AGNARSSON, Ingi; WARTZOK, Douglas. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evolutionary Biology**, v. 7, n. 1, p. 136, 2007.
- MAY-COLLADO, Laura J.; WARTZOK, Douglas. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistle variation. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 5, p. 1229-1240, 2008.
- 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**, 125(2), 1202-1213, 2009.
- MAY-COLLADO, L. J., & WARTZOK, D. Sounds produced by the tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico rivers of Ecuador. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, 8(1-2), 131-136, 2010.
- MAY-COLLADO, Laura J. Changes in whistle structure of two dolphin species during interspecific associations. **Ethology**, v. 116, n. 11, p. 1065-1074, 2010.
- MAY-COLLADO, Laura 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.
- MCCOWAN, B. & REISS, D. Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*): A re-evaluation of the signature whistle hypothesis. **Ethology**, v. 100, n. 3, p. 194-209, 1995.
- MCCOWAN, B. & REISS, D. The fallacy of 'signature whistles' in bottlenose dolphins: a comparative perspective of 'signature information' in animal vocalizations. **Animal Behaviour**, v. 62, n. 6, p. 1151-1162, 2001.
- MELO-SANTOS, GABRIEL ALVES. **Acoustic ecology of dolphins of the genus *Sotalia* (Cetartiodactyla, Delphinidae) and of the newly described Araguaian boto *Inia araguaiaensis* (Cetartiodactyla, Iniidae)**. 2018.
- MELO-SANTOS, G., RODRIGUES, A. L. F., TARDIN, R. H., DE SÁ MACIEL, I., MARMONTEL, M., DA SILVA, M. L., & MAY-COLLADO, L. J. The newly described Araguaian river dolphins, *Inia araguaiaensis* (Cetartiodactyla, Iniidae), produce a diverse repertoire of acoustic signals. **PeerJ**, v. 7, p. e6670, 2019.

- MERCHANT, N.D., FRISTRUP, K.M., JOHNSON, M.P., TYACK, P.L., WITT, M.J., BLONDEL, P., PARKS, S.E. Measuring acoustic habitats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 257-265, 2015.
- MIKSIS, J. L.; TYACK, P. L. & BUCK, J. R. Captive dolphins, *Tursiops truncatus*, develop signature whistles that match acoustic features of human-made model sounds. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 112, n. 2, p. 728-739, 2002.
- MMA, 2014. Portaria MMA nº 445 de 17 de dezembro de 2014: lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção. MMA, Brasília. Publicada no DOU em 18 de dezembro de 2014.
- MMA. Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 417p.
- MOONEY, T. A., NACHTIGALL, P. E., BREESE, M., VLACHOS, S., & AU, W. W. Predicting temporary threshold shifts in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): The effects of noise level and duration. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 3, p. 1816-1826, 2009.
- MORISAKA, Tadamichi 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.; YOSHIDA, Y.; AKUNE, Y.; MISHIMA, H. & NISHIMOTO, S. Exchange of “signature” calls in captive belugas (*Delphinapterus leucas*). **Journal of Ethology**, v. 31, n. 2, p. 141-149, 2013.
- MORON, Juliana Rodrigues et al. Whistle variability of Guiana dolphins in South America: Latitudinal variation or acoustic adaptation? **Marine Mammal Science**, v. 35, n. 3, p. 843-874, 2019.
- MUEHE, D.; VALENTINI, E. O litoral do Rio de Janeiro: Uma caracterização físico-ambiental. Rio de Janeiro: **FEMAR**, 1998. 123p.
- NACHTIGALL, P. E.; PAWLOSKI, J. L.; AU, W. W. L. Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 113, n. 6, p. 3425-3429, 2003.
- NACHTIGALL, Paul E.; MOORE, Patrick WB (Ed.). **Animal sonar: Processes and performance**. Springer Science & Business Media, 2012.
- NEDELEC, S. L. et al. Motorboat noise impacts parental behaviour and offspring survival in a reef fish. **Proc. R. Soc. B**, v. 284, n. 1856, p. 20170143, 2017.
- NELSON, DOUGLAS A.; POESEL, ANGELIKA. Segregation of information in a complex acoustic signal: individual and dialect identity in white-crowned sparrow song. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 4, p. 1073-1084, 2007.
- NERY, M. F. **Fidelidade de Habitat e Estimativa Populacional de *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) da Baía de Sepetiba–RJ, por meio da técnica de marcação-recaptura**. 2008.

- NETO, T. **Impacto do fluxo de embarcações sobre o comportamento do boto-cinza (*Sotalia guianensis*): Um estudo de caso para a Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil.** 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2017.
- NOGARA, P. J. Caracterização dos ambientes marinhos da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu – Município de Paraty – RJ. Relatório técnico: Fundação SOS Mata Atlântica, 2000. 83 p.
- NRC. **Marine Mammal Populations and Ocean Noise Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects.**The National Academics Press, Washington, DC, 2005.
- PAPALE, E.; AZZOLIN, M.; CASCAO, I.; GANNIER, A.; LAMMERS, M. O.; MARTIN, V. M.; OSWALD, J.; PEREZ-GIL, M.; PIETRO, R.; SILVA, M.; GIACOMA, C. Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 2, p. 1126-1134, 2013.
- PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Evidence for signature whistle production by a Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis*. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 4, p. 944-949, 2001.
- PERRIN, W. F. Common dolphins. In: PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals**, 2. ed., San Diego: Academic Press, p. 255–259, 2009.
- PESSANHA, A.L.M. & F.G. ARAÚJO. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brasil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 57, n. 5-6, p. 817-828. 2003.
- PFEIFFER, W.C et al. **Metais pesados no pescado da baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro.** Ciência e Cultura. Rio de Janeiro. v. 37, n.2, p.297-301. 1985.
- PIJANOWSKI, Bryan C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.
- PURSER, J. et al. Condition-dependent physiological and behavioural responses to anthropogenic noise. **Physiology and Behavior**, [s.l.], v. 155, p. 157–161, 2016.
- QUICK, Nicola J.; JANIK, Vincent M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. **Journal of Comparative Psychology**, v. 122, n. 3, p. 305, 2008.
- QUICK, Nicola J.; JANIK, Vincent M. Bottlenose dolphins exchange signature whistles when meeting at sea. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1738, p. 2539-2545, 2012.
- RENDELL, L. E.; Matthews, J. N.; Gill, A.; Gordon, J. C. D.; Macdonald, D. W. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. **Journal of Zoology**, v. 249, n. 4, p. 403-410, 1999.
- RENDELL, Luke; WHITEHEAD, Hal. Spatial and temporal variation in sperm whale coda vocalizations: stable usage and local dialects. **Animal Behaviour**, v. 70, n. 1, p. 191-198, 2005.

- REYNOLDS, J. E.; PERRIN, W. F.; REEVES, R. R.; MONTGOMERY, S.; RAGEN, T. **Marine Mammal Research Conservation**, Beyond Crisis. John Hopkins University Press, Baltimore, MD, 2005.
- RICHARDSON, W. J.; DAVIS, R. A.; EVANS, R.; LJUNGBLAD, D. K.; NORTON, P. Summer distribution of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, relative to oil industry activities in the Canadian Beaufort Sea, 1980–84. **Arctic**, 40: 93–104, 1987.
- RICHARDSON, W. John et al. Marine mammals and noise. Academic press, 2013.
- ROLLAND, Rosalind M. et al. Evidence that ship noise increases stress in right whales. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1737, p. 2363-2368, 2012.
- ROSSI-SANTOS, M. R., & PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. **Behaviour**, 143(3), 347-364, 2006.
- ROTHSTEIN, Stephen I.; FLEISCHER, Robert C. Vocal dialects and their possible relation to honest status signalling in the brown-headed cowbird. **The Condor**, v. 89, n. 1, p. 1-23, 1987.
- SANTOS, M. E. D., LOURO, S., COUCHINHO, M. N., & BRITO, C. M. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: characteristics, production rates, and long-term contour stability. **Aquatic Mammals**, v. 31, n. 4, p. 453, 2005.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S., & SCOTT, M. D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 26, n. 4, p. 247-260, 1990.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SCOTT, M. D. & IRVINE, A. B. Sex difference in signature whistle production of free-ranging bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 36, n. 3, p. 171-177, 1995.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SOLOW, A. R.; SCOTT, M. D. & IRVINE, A. B. Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. **Animal Behaviour**, v. 57, n. 1, p. 41-50, 1999.
- SAYIGH, L. S.; ESCH, H. C.; WELLS, R. S. & JANIK, V. M. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 6, p. 1631-1642, 2007.
- SAYIGH, L. S.; QUICK, N. J.; HASTIE, G.; TYACK, P. Repeated call types in short-finned pilot whales, *Globicephala macrorhynchus*. **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 2, p. 312-324, 2013.
- SHAPIRO, A. D. Preliminary evidence for signature vocalizations among free-ranging narwhals (*Monodon monoceros*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, p.1695–1705, 2006.
- SIGNORINI, S. R. A study of the circulation in bay of Ilha Grande and bay of Sepetiba: Part I, an assessment to the tidally and wind-driven circulation using a finite element numerical model. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 29, n. 1, p. 41-55, 1980.

- SIMÃO, S. M., & POLETTTO, F. R. Áreas preferenciais de pesca e dieta do ecótipo marinho do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) na Baía de Sepetiba, RJ. **Floresta e Ambiente**, 9(1), 18-25. 2002.
- SIMÕES-LOPES, P.C. Ocorrência de uma população de *Sotalia fluviatilis* (Gervais 1853) (Cetacea, Delphinidae), no limite sul de sua distribuição, Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**,1(1): 57-62, 1988.
- SLABBEKOORN, H. et al. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 25, no 7, p. 419–427, 2010.
- SMOLKER, R. A.; MANN, J. & SMUTS, B. B. Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 33, n. 6, p. 393-402, 1993.
- SOLDEVILLA, M. S., WIGGINS, S. M., HILDEBRAND, J. A., OLESON, E. M., & FERGUSON, M. C. Risso's and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. **Marine Ecology Progress Series**, 423, 247-260, 2011.
- STEINER, WILLIAM W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 4, p. 241-246, 1981.
- STRE, G. P., MOUM, T., BUREŠ, S., KRÁL, M., ADAMJAN, M., & MORENO, J. A sexually selected character displacement in flycatchers reinforces premating isolation. **Nature**, v. 387, n. 6633, p. 589, 1997.
- TARDIN, R. H., SIMÃO, S. M., & ALVES, M. A. S. Distribution of *Tursiops truncatus* in Southeastern Brazil: a modeling approach for summer sampling. **Natureza & Conservação**, 11(1), 65-74, 2013.
- TEAM, R. Core. **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2012. URL <https://www.R-project.org>, 2019.
- TOMONAGA, M.; UWANO, Y.; OGURA, S.; CHIN, H.; DOZAKI, M. & SAITO, T. Which person is my trainer? Spontaneous visual discrimination of human individuals by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **SpringerPlus**, v. 4, n. 1, p. 352, 2015.
- TYACK, P. L. Whistle repertoires of two bottlenosed dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 18, n. 4, p. 251-257, 1986.
- TYACK, Peter. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 1, n. 6, p. 144-150, 1986.
- TYACK, P. **Use of a telemetry device to identify which dolphin produces a sound**. In: Pryor K, Norris KS (eds) *Dolphin Societies: discoveries and puzzles*. University of California Press, Berkeley, pp 319–344, 1991.
- TYACK, P. L. Development and social functions of signature whistles in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. **Bioacoustics**, v. 8, n. 1-2, p. 21-46, 1997.

- VARGHA, András; DELANEY, Harold D. A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong. **Journal of Educational and Behavioral Statistics**, v. 25, n. 2, p. 101-132, 2000.
- WATWOOD, S. L.; OWEN, E. C.; TYACK, P. L. & WELLS, R. S. Signature whistle use by temporarily restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Animal Behaviour**, v. 69, n. 6, p. 1373-1386, 2005.
- WEILGART, Linda; WHITEHEAD, Hal. 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.
- WEILGART, L. S. A brief review of known effects of noise on marine mammals. **International Journal of Comparative Psychology**, 20(1-3) 159-168, 2007.
- WILLIAMS, R., ERBE, C., ASHE, E., & CLARK, C. W. Quiet (er) marine protected areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 154-161, 2015.
- WRIGHT, TIMOTHY F. Regional dialects in the contact call of a parrot. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 263, n. 1372, p. 867-872, 1996.
- WRIGHT, A.J.; SOTO, N. A.; BALDWIN, A. L.; BATESON, M.; BEALE, C. M.; CLARK, C.; DEAK, T.; EDWARDS, E. F.; FERNÁNDEZ, A.; GODINHO, A.; HATCH, L. T.; KAKUSCHKE, A.; LUSSEAU, D.; MARTINEAU, D.; ROMERO, M. L.; WEILGART, L. S.; WINTLE, B. A.; NOTARBARTOLO-di SCIARA, G.; MARTIN, V. Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise? **International Journal of Comparative Psychology**, 20(2), 274–316, 2007.
- YEE, T. W., & MITCHELL, N. D. Generalized additive models in plant ecology. **Journal of Vegetation Science**, 2(5), 587-602, 1991.
- ZOLLINGER, Sue Anne; BRUMM, Henrik. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. **Behaviour**, v. 148, n. 11-13, p. 1173-1198, 2011.

8. ANEXO I



Figura 1. Contornos de frequência classificados pelo método ARTwarp para as populações de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, nas baías de Sepetiba e Ilha Grande.

9. ANEXO II

Tabela 1. Compartilhamento dos contornos de frequência do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande. A presença de uma categoria na população está representado por 1 e a ausência por 0. Os assovios compartilhados estão marcados com presença em ambas as populações.

<i>Categorias</i>	<i>Baía da Ilha Grande</i>	<i>Baía de Sepetiba</i>
1	1	0
2	1	1
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	1
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0
13	0	1
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	0	1
18	1	0
19	1	0
20	1	0
21	1	0
22	1	0
23	1	0
24	1	0
25	0	1
26	1	0
27	1	0
28	1	0
29	1	0
30	1	0
31	0	1
32	1	0
33	1	0
34	1	0
35	1	0
36	0	1
37	1	0
38	0	1
39	1	0

40	0	1
41	1	0
42	1	0
43	1	0
44	1	0
45	1	1
46	1	0
47	1	0
48	1	0
49	1	0
50	1	0
51	1	0
52	1	0
53	1	0
54	1	0
55	1	0
56	1	0
57	0	1
58	1	0
59	1	0
60	1	0
61	1	0
62	1	0
63	1	0
64	0	1
65	0	1
66	1	0
67	1	0
68	0	1
69	1	0
70	1	0
71	1	0
72	0	1
73	1	0
74	0	1
75	1	0
76	1	0
77	1	0
78	1	0
79	0	1
80	1	0
81	1	0
82	1	1
83	0	1
84	1	0
85	1	0
86	0	1
87	1	0

88	0	1
89	0	1
90	1	1
91	1	0
92	1	0
93	0	1
94	1	0
95	1	0
96	1	0
97	1	0
98	0	1
99	0	1
100	0	1
101	1	0
102	1	0
103	1	0
104	1	0
105	0	1
106	1	0
107	1	0
108	1	0
109	1	0
110	1	0
111	1	0
112	1	0
113	1	0
114	0	1
115	1	0
116	1	0
117	1	0
118	1	0
119	1	0
120	0	1
121	0	1
122	1	0
123	1	0
124	1	0
125	0	1
126	0	1
127	1	0
128	1	0
129	1	0
130	1	0
131	1	0
132	1	0
133	1	0
134	1	0
135	1	0

136	1	0
137	1	0
138	1	0
139	1	0
140	0	1
141	1	1
142	1	0
143	0	1
144	1	0
145	1	0
146	1	0
147	1	1
148	0	1
149	1	0
150	1	0
151	1	0
152	0	1
153	0	1
154	1	0
155	1	0
156	1	0
157	1	0
158	1	0
159	1	0
160	1	0
161	1	0
162	1	0
163	1	0
164	1	0
165	1	0
166	1	1
167	1	0
168	1	0
169	1	0
170	1	0
171	1	0
172	1	0
173	1	0
174	1	0
175	1	0
176	1	0
177	0	1
178	1	0
179	1	0
180	1	0
181	1	0
182	1	0
183	1	0

184	0	1
185	0	1
186	1	0
187	1	0
188	1	0
189	1	0
190	1	0
191	1	0
192	1	0
193	1	0
194	0	1
195	1	0
196	1	0
197	1	0
198	1	0
199	0	1
200	1	0
201	1	0
202	1	0
203	1	0
204	1	0
205	1	0
206	1	0
207	1	0
208	1	0
209	1	0
210	1	0

10. ANEXO III

Populações	CA	CO	CR	EC	FG	IG	JU	PA	PE	PR	RN	SC	SE	SP	TO	VZ
CA	40															
CO	4	69														
CR	1	3	111													
EC	2	3	4	12												
FG	2	5	2	1	27											
IG	3	7	7	2	3	114										
JU	4	4	2	2	3	2	16									
PA	6	11	11	3	9	9	3	72								
PE	3	8	3	4	3	6	4	9	41							
PR	4	9	10	5	6	13	2	13	8	61						
RN	4	9	5	3	6	7	7	14	4	12	86					
SC	3	8	4	3	5	10	2	12	6	14	1	56				
SE	3	7	10	3	2	10	0	7	5	11	8	8	56			
SP	5	9	8	5	6	10	4	12	8	14	9	5	13	49		
TO	7	8	8	3	5	10	4	10	8	9	13	14	7	13	71	
VZ	5	5	6	1	4	6	1	11	4	7	6	1	7	4	6	34

Figura 1. Comparação entre o número de tipos de assobios compartilhados pelas populações de *Sotalia* sp. ao longo de sua distribuição geográfica. Números em negrito representam o número total de tipos de assobios para cada população. Em vermelho está representado o número de assobios compartilhados entre as Baías de Sepetiba e Ilha Grande. As siglas referem-se a localidade da população amostrada: CA = Amazônia Central, CO = Amazônia Colombiana, CR = Costa Rica, EC = Rio Napo – Equador, FG = Guiana Francesa, IG = Ilha Grande, JU = Rio Juruá, PA = Costa do Pará, PE = Amazônia Peruana, PR = Estuário Paranaguá – Paraná, RN = Costa do Rio Grande do Norte, SC = Baía de Babitonga – Santa Catarina, SE = Baía de Sepetiba, SP = Estuário de Cananéia – São Paulo, TO = Rio Tocantins, VZ = Lago Maracaibo – Venezuela (adaptado de MELO-SANTOS, 2018).

11. ANEXO IV

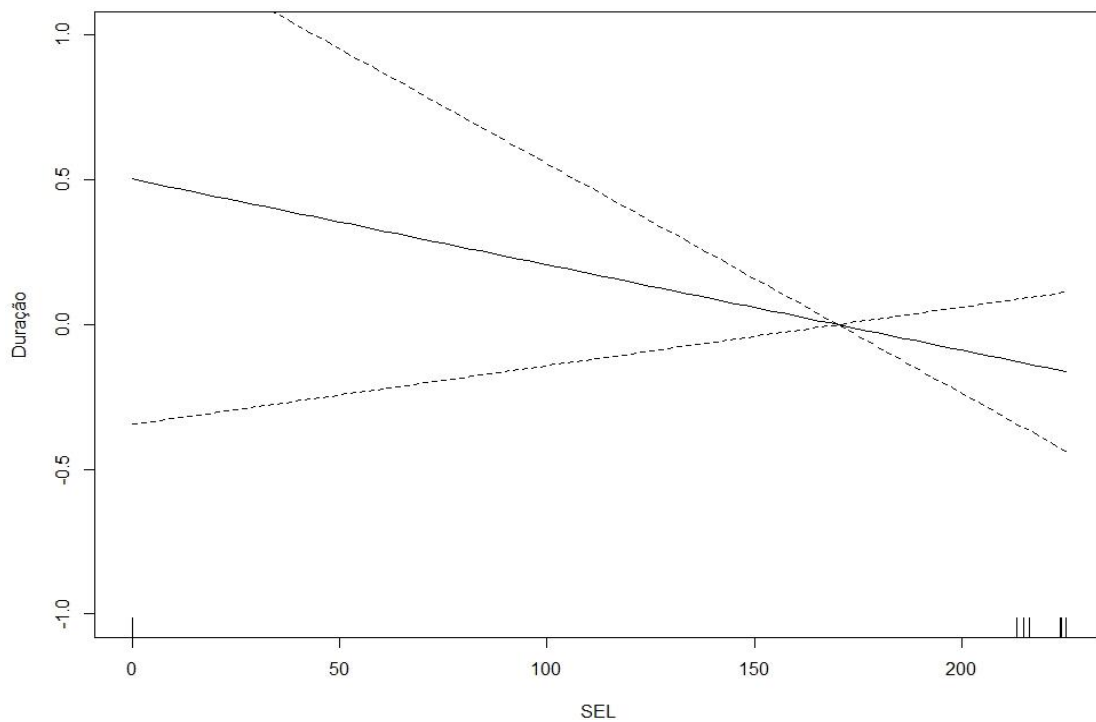


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória SEL retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a duração dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

12. ANEXO V

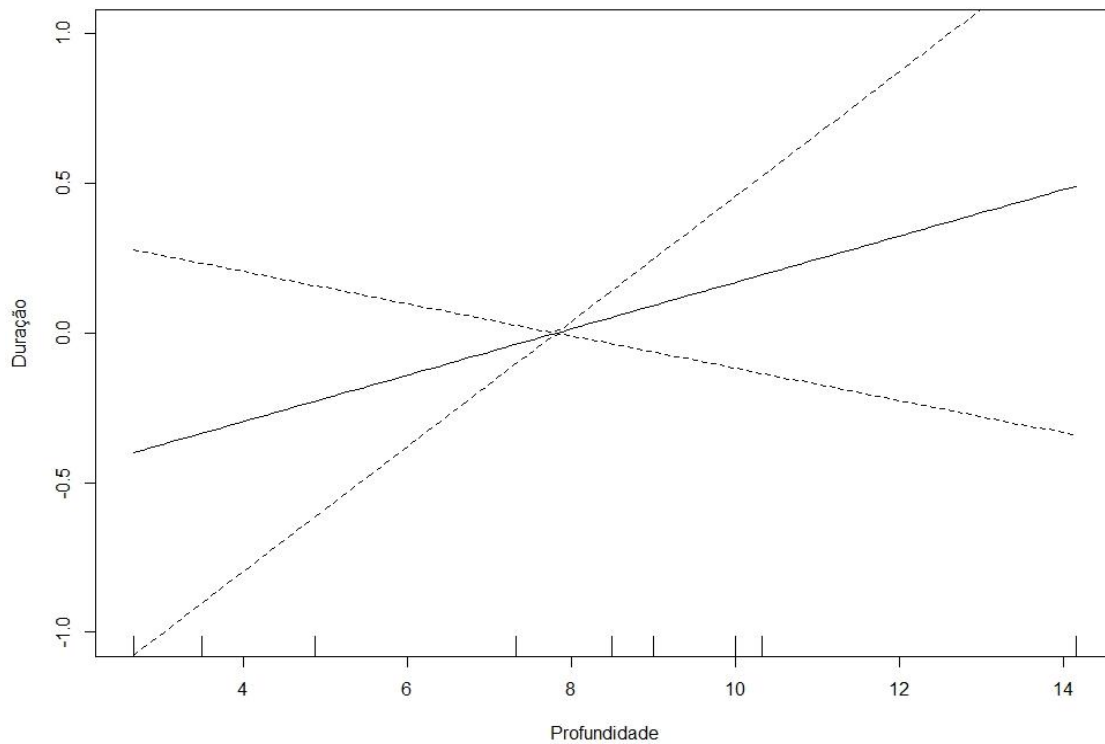


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a duração dos assóvios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

13. ANEXO VI

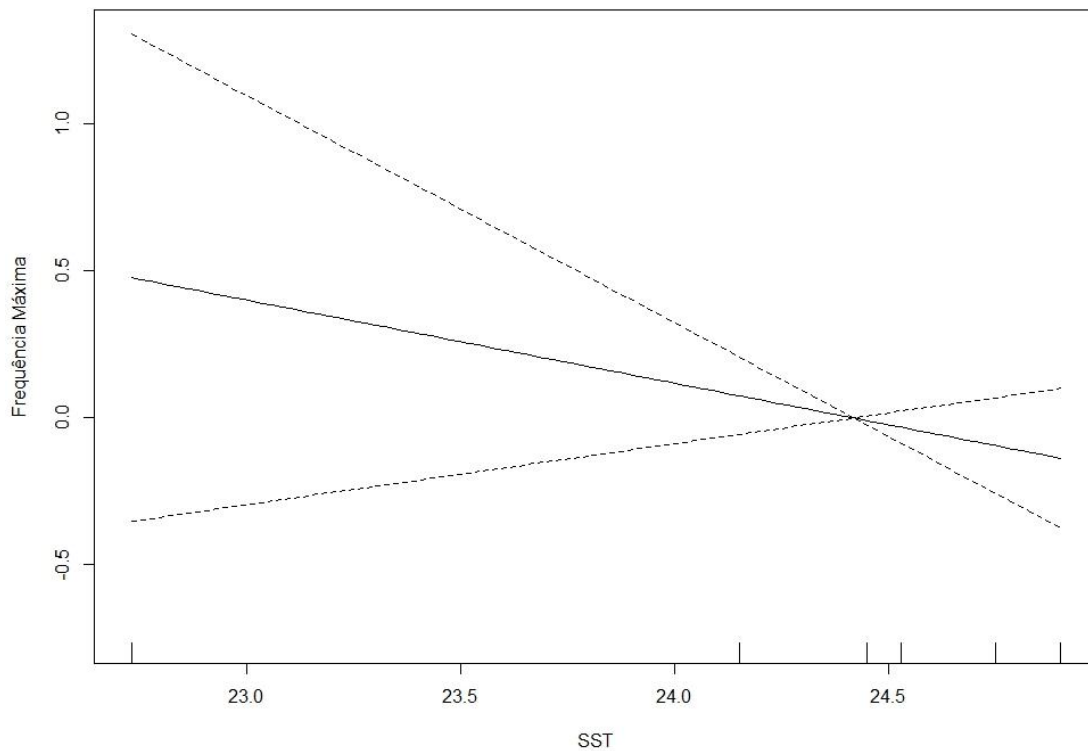


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória SST retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência máxima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

14. ANEXO VII

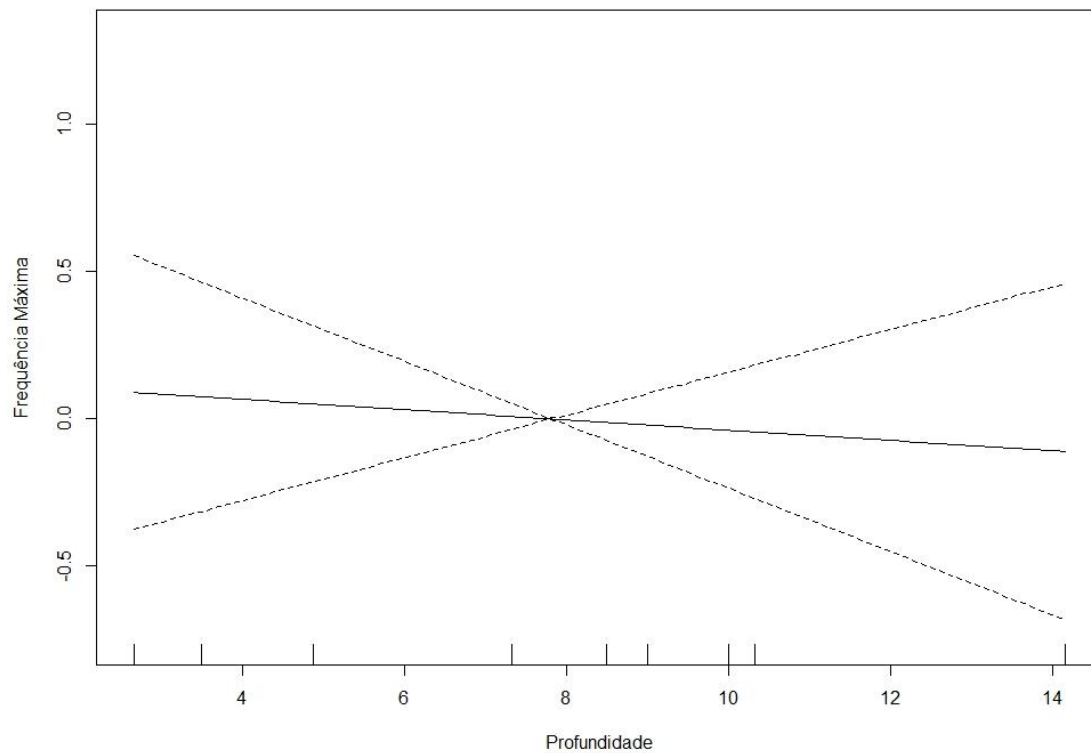


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência máxima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

15. ANEXO VIII

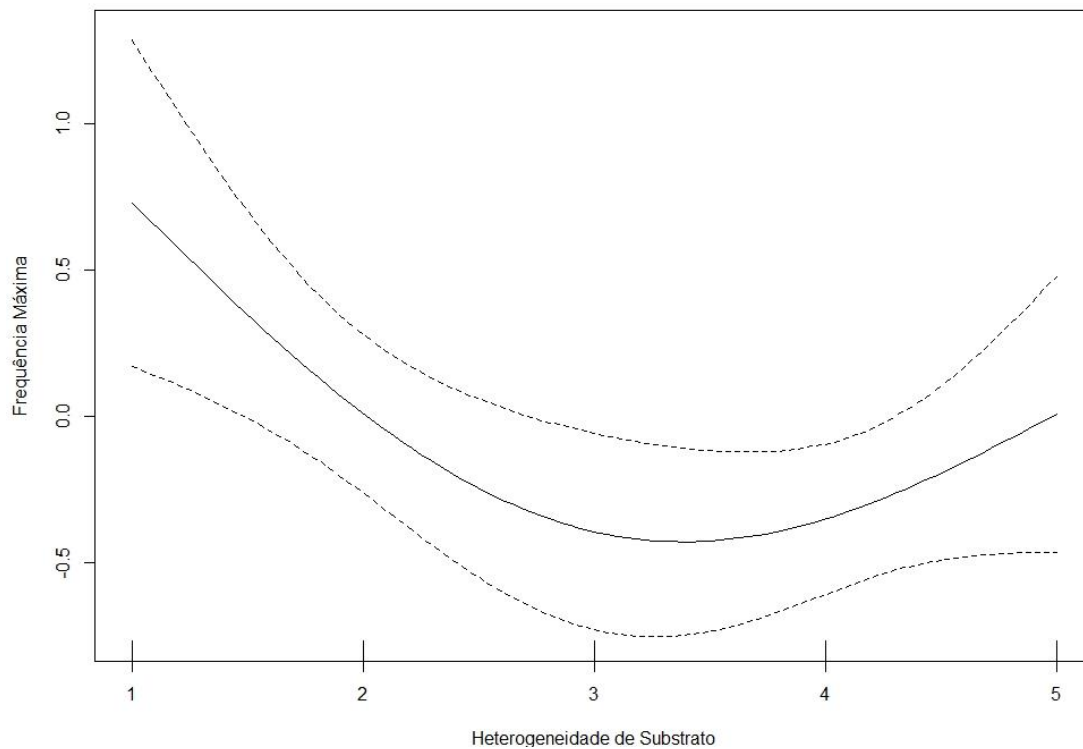


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória heterogeneidade de substratos retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a frequência máxima dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada. Os números representados no eixo X indicam a quantidade de tipos de substrato em um mesmo grid.

16. ANEXO IX

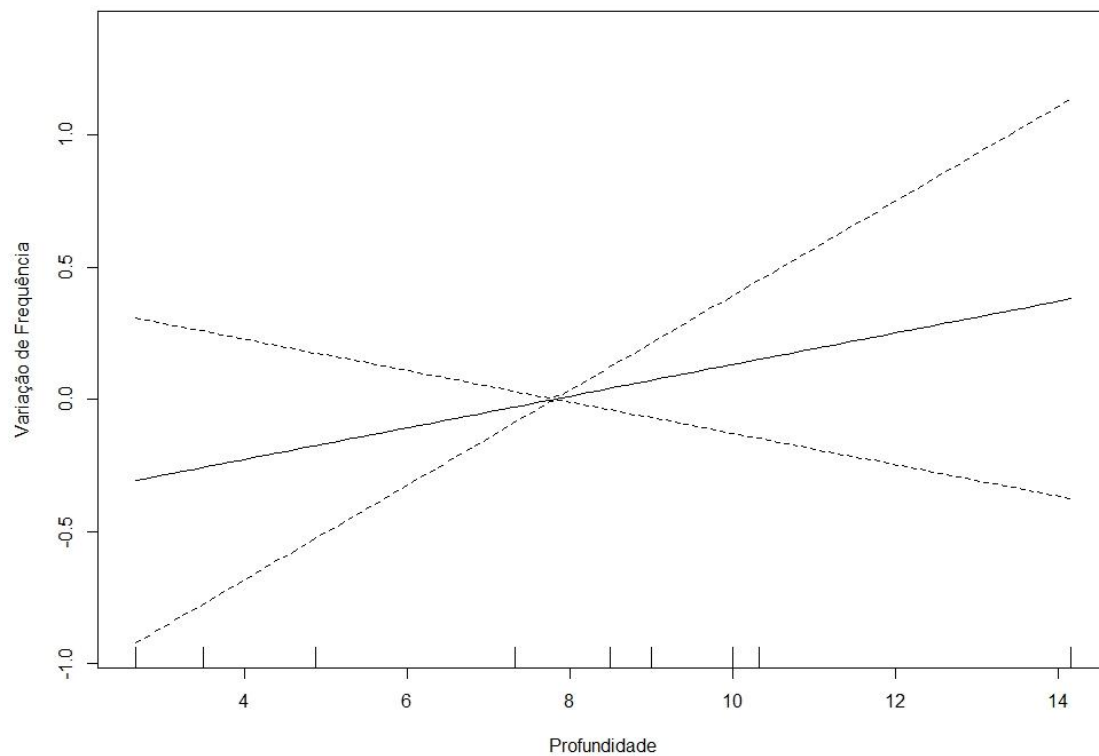


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória profundidade retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a variação de frequência dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.

17. ANEXO X

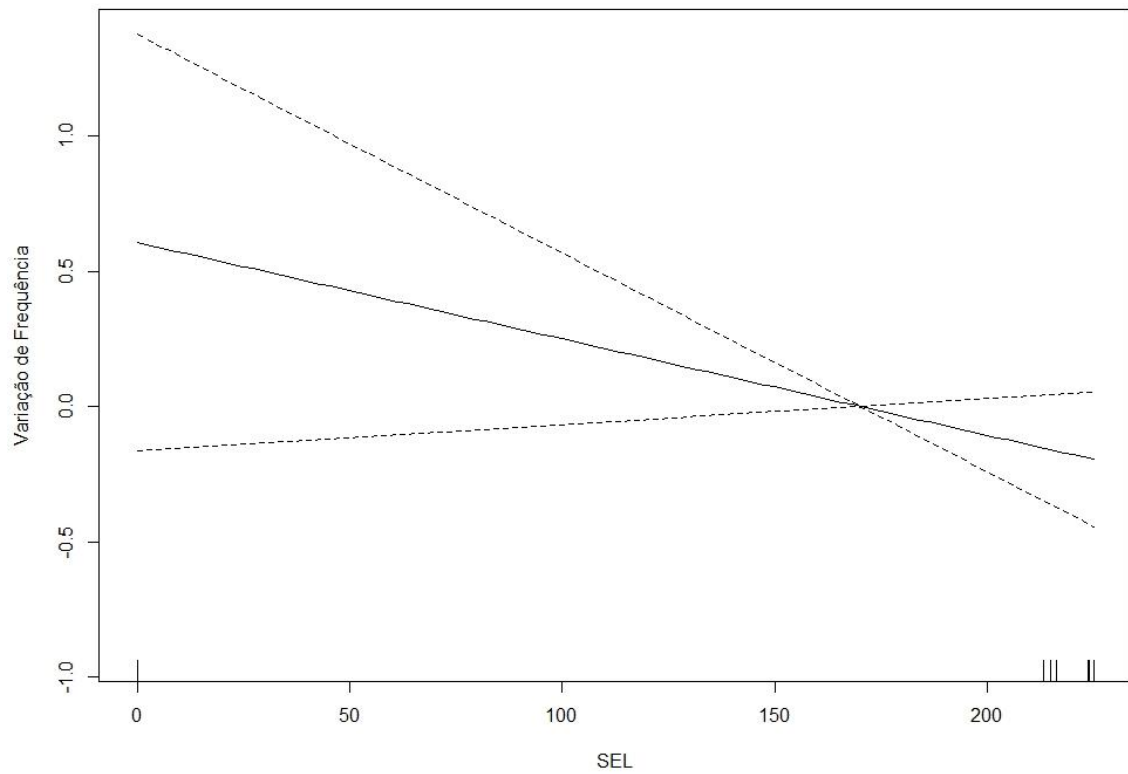


Figura 1. Representação gráfica da relação da variável explanatória SEL retida no Modelo Generalizado Aditivo (GAM) mais parcimonioso usando a variação de frequência dos assovios como variável resposta. As linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança (95%) da função ajustada.