

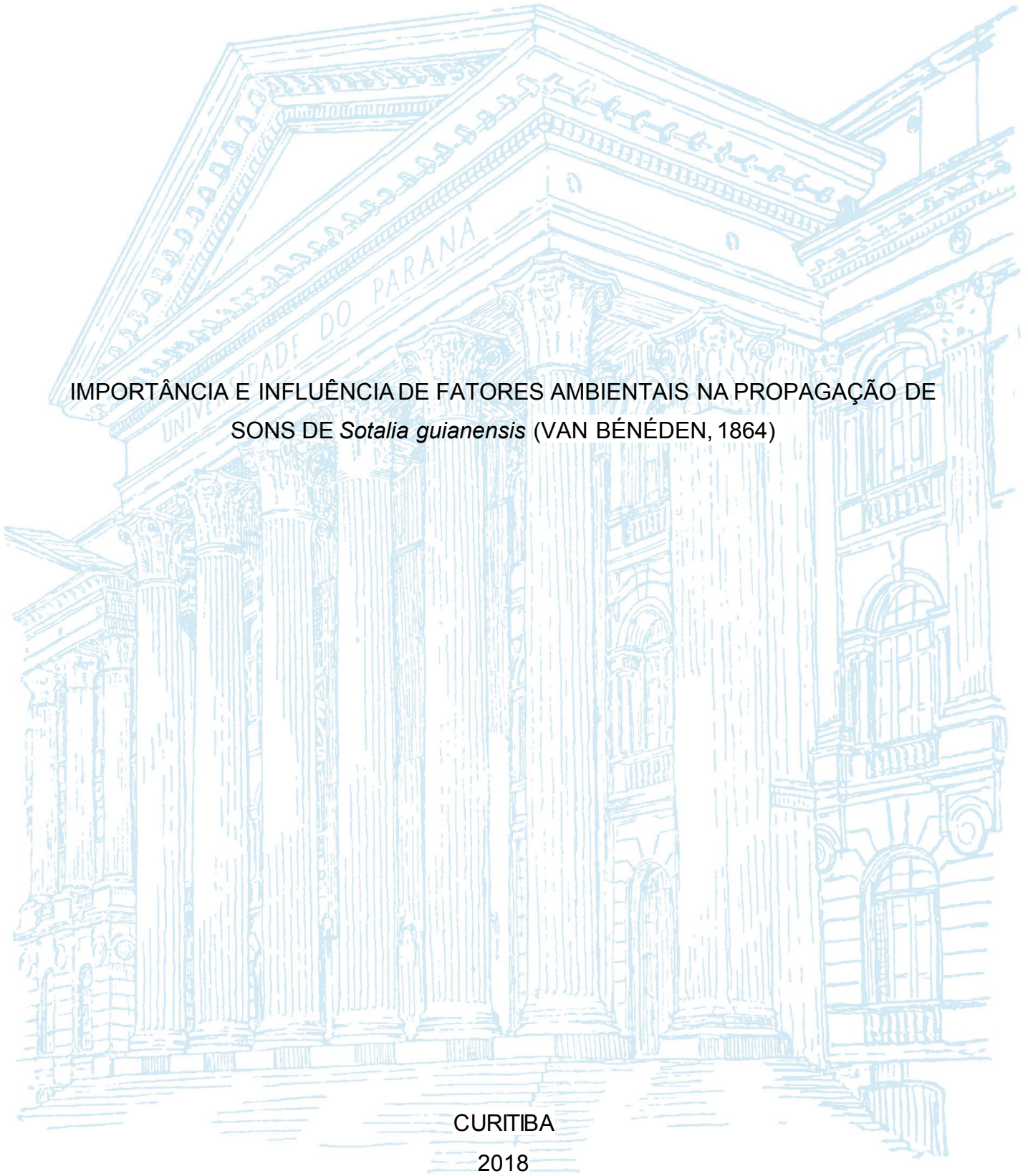
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCIMARY STEINKE DECONTO PESAROGLO

IMPORTÂNCIA E INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA PROPAGAÇÃO DE
SONS DE *Sotalia guianensis* (VAN BÉNÉDEN, 1864)

CURITIBA

2018



LUCIMARY STEINKE DECONTO PESAROGLO

IMPORTÂNCIA E INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA PROPAGAÇÃO DE
SONS DE *Sotalia guianensis* (VAN BÉNÉDEN, 1864)

Tese apresentada ao Curso de Pós - Graduação em Zoologia do Departamento de Zoologia, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Emygdio Leite de Araujo Monteiro Filho.

CURITIBA

2018

Universidade Federal do Paraná. Sistema de Bibliotecas.
Biblioteca de Ciências Biológicas.
(Telma Terezinha Stresser de Assis –CRB/9-944)

Pesaroglo, Lucimary Steinke Deconto
Importância e influência de fatores ambientais na propagação de sons de
Sotalia guianensis (van Bénédén, 1864). / Lucimary Steinke Deconto
Pesaroglo. – Curitiba, 2018.
112 p. : il. ; 30cm.

Orientador: Emygdio Leite de Araújo Monteiro Filho
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

1. Boto. 2. Som. 3. Bioacústica. I. Título. II. Monteiro Filho, Emygdio Leite
de Araújo. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas.
Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

CDD (20. ed.) 599.53




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOLOGIA


TERMO DE APROVAÇÃO

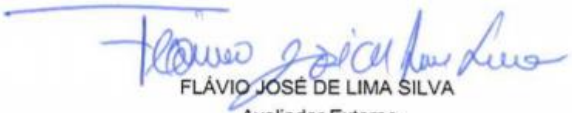
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **LUCIMARY STEINKE DECONTO PESAROGLO** intitulada: **IMPORTÂNCIA E INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA PROPAGAÇÃO DE SONS DE *Sotalia guianensis* (VAN BÉNÉDEN, 1864)**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.


Curitiba, 22 de Fevereiro de 2018.


EMYGDIO LEITE DE ARAUJO MONTEIRO FILHO
Presidente da Banca Examinadora


ANDRÉ DE CAMARGO GUARALDO
Avaliador Externo


FLÁVIO JOSÉ DE LIMA SILVA
Avaliador Externo


THIAGO CORRÊA DE FREITAS
Avaliador Externo


DALILA TELES LEÃO MARTINS
Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Realmente, esta seção da minha tese, é umas das mais essenciais e especiais, pois muitas foram as mãos que ajudaram a construir este trabalho e o levaram ao patamar daquilo o que penso ser, a universidade.

Quero agradecer inicialmente meu orientador, não somente por acreditar novamente em mim, mas também por respeitar meus limites, acalmar minhas preocupações, por me ajudar a superar as dificuldades e, enfim, alcançar novos conhecimentos. Agradeço, muito mais, por ter me acompanhado nas expedições de campo no Rio Grande do Norte. Esta ajuda foi essencial para controlar o nível de ansiedade e sucesso na execução deste estudo.

Por falar em Rio Grande do Norte, não há como não ser IMENSAMENTE grata à equipe do Projeto Cetáceos da Costa Branca que nos auxiliaram nas atividades de campo em Tibau do Sul. Agradeço especialmente o Prof. Dr. Flávio José de Lima Silva que nos recebeu muito gentilmente e que proporcionou todo o arranjo logístico para que as expedições fossem realizadas. Agradeço não somente por este apoio logístico, mas, também, pelo apoio emocional e também por ajudar na solução de problemas que ocorreram durante esta fase. Sem este apoio tudo seria muito mais difícil. E o que dizer de outros colegas, Dalila, Daniel, Ana, Aline, Prof. Simone, Jean que além de me acompanharem nas expedições, me fizeram sentir em casa, entre verdadeiros amigos. E quando tudo parecia dar errado, ainda, se disponibilizaram para consertar os equipamentos, coletar e me enviar os dados do último campo no RN. Estas simples palavras não conseguem expressar toda minha gratidão a vocês.

Agradeço a empresa de turismo O Aventureiro, localizada na Praia da Pipa/RN, especialmente ao Danilo, por ceder suas embarcações e funcionários para as expedições de campo. Também, agradeço ao Damião e seu tio, pescadores e condutores de embarcação, que nos ajudaram nos campos na Laguna de Guaraíras.

E foram inúmeras as pessoas que me auxiliaram em campo, desde meu orientador até minha irmã caçula. Vamos, então, aos agradecimentos a estas pessoas que foram essenciais para a execução deste trabalho: do IPeC, Emygdio, Caio, Eric, Jonas (jovem pesquisador), Liisa e seu pai; Felipe, meu marido; do laboratório da UFPR, Fabiana, Lucas, Flávia e Ana; Amarilis e Gabriela, minha mãe e irmã. Espero não ter esquecido ninguém.

Em especial quero agradecer ao Seu Marapé, Reinaldo Rosa Ribeiro, o qual foi mais que um mestre de embarcação foi um verdadeiro amigo durante minhas expedições

em campo em Cananéia. O Seu Marapé, além de conduzir a embarcação, me ajudou a manejar o hidrofone, a criar um peso para que o hidrofone não vibrasse tanto com a maré, puxou muita âncora para amostrarmos os 18 pontos estabelecidos no Capítulo II. Mais ainda, acreditou mais no sucesso do meu trabalho, do que eu em várias ocasiões. Estava sempre pronto para solucionar qualquer problema, estava sempre com um humor contagiante e sempre crente que o trabalho do dia iria ser bem sucedido. Nunca teve tempo ruim nestes 6 anos que convivi com seu Marapé, desde minha dissertação e entrada no IPeC. E estou emocionada ao escrever tais palavras, porque muitas das vezes, eram somente eu e o Seu Marapé em campo. Ele foi minha companhia nos melhores e piores momentos no mar de Cananéia. Meu eterno obrigada a você seu Marapé por todo apoio e amizade.

Agradeço ao Prof. Dr. Thiago Corrêa de Freitas, físico e professor da Luteria/SEPT na UFPR. Obrigada por aceitar nos acompanhar neste árduo campo de estudo, que é a Acústica. Obrigada por todas as vezes em que se propôs a ler, explicar e discutir conceitos físicos conosco. Sua ajuda foi de real importância para elevar a qualidade de nosso trabalho e também a segurança no que estava sendo desenvolvido. Sua disposição e ânimo, para mim, mostram o verdadeiro sentido da universidade, na qual as pessoas devem estar abertas às discussões e colaborações inter e multidisciplinares. A partir da nossa parceria, consigo ver ações mais abertas e integradas para futuros projetos que possam ser desenvolvidos por mim. Além disso, seu convite junto à Profa. Dra. Silvana Maria Carbonera e ao SES/PR, para organizar um encontro sobre o 14º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, abriram meus olhos para desenvolver ações e projetos alinhados a estas metas mundiais.

Outro professor de extrema importância para a qualidade deste estudo foi o Prof. André de Camargo Guaraldo, que me ajudou a entender a análise estatística utilizada nos dois primeiros capítulos. Suas dicas de estudo e a disciplina ofertada na pós-graduação foram essenciais para assegurar todo o processo de análise realizado, dado minha insegurança quando o assunto é estatística. Sua disponibilidade e atenção, desde meu primeiro contato, me fazem acreditar que a universidade não é feita somente de pessoas interessadas no benefício próprio, interessadas apenas no êxito do seu próprio laboratório. Você é exemplo de colaboração, de uma universidade mais justa e aberta, dedicação do seu tempo em benefício de outrem. Muito obrigada por tudo!

Agradeço o Programa de Pós-Graduação em Zoologia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida e de essencial valor para execução deste trabalho.

E, por fim, quero agradecer a minha família, pois é devido a eles (e por eles) que esta tese foi desenvolvida. Se não fosse o apoio e incentivo incondicional dos meus pais (Osvaldo e Amarilis) e do meu marido (Felipe), eu não teria condições de desenvolver meu doutorado durante estes quatro anos. Mais do que tudo, vocês são a causa do meu sucesso como pessoa e profissional. Foram muitas as horas de dúvida e insegurança, mas vocês estavam sempre a postos para me incentivar e fazer crer no melhor caminho a seguir. Nada do que sou hoje, seria se não houvesse vocês nos bastidores. Eu sou reflexo daquilo que vocês me proporcionaram e, por isso, serei sempre grata. Aos meus irmãos e minha amiga Karin, obrigada por sempre estarem torcendo por mim e estarem sempre dispostos a me ajudar.

RESUMO

Poucos estudos com bioacústica marinha, particularmente no Brasil, observam a importância da caracterização do ambiente para corretas descrições de emissões sonoras de cetáceos. Por isso, esta tese tem como objetivo determinar a importância de fatores ambientais para a propagação de sons do boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Mammalia: Delphinidae), uma espécie que habita ambientes estuarinos e utiliza marcadamente os sinais acústicos para sobreviver e se reproduzir. Para tal, o Capítulo I apresenta os resultados de um experimento de propagação sonora, que utilizou *playbacks* de sons da espécie em dois locais com parâmetros ambientais diferentes, no nordeste e sudeste do Brasil. Este experimento teve como finalidade verificar a influência de escalas de variação espacial, temperatura, salinidade, profundidade, oxigênio dissolvido, turbidez e distância origem-receptor do som sobre a propagação destes sons. Se estes parâmetros ambientais podem variar conforme o espaço, também se alteram conforme o período do ano, na escala temporal. Por isso, o Capítulo II utilizou os mesmos princípios metodológicos do Capítulo I para verificar a influência das estações do ano, verão e inverno, sobre a propagação de um assobio de *S. guianensis* em Cananéia, sudeste do Brasil. Por último, o Capítulo III tem como objetivo caracterizar a composição do ruído natural e antropogênico de um setor do estuário de Cananéia, já que o ruído é outra importante fonte sonora que influencia na comunicação subaquática. Neste capítulo, foi testado se a presença de embarcações, o tipo de maré (enchente ou vazante), a velocidade do vento e a temperatura superficial da água alteram o nível de pressão sonora do ruído no estuário. Os resultados desta tese demonstram que os principais parâmetros do ambiente que influenciam os sons de *S. guianensis* são a salinidade, a concentração de oxigênio dissolvido e a turbidez da água. Também, a propagação destes sons é influenciada nas menores escalas espaciais (dezenas de metros e centenas de metros) e não houve importância da estação do ano sobre os parâmetros sonoros do assobio da espécie. A presença de embarcações e a maré enchente são variáveis que aumentam o nível de ruído no estuário de Cananéia, sendo que o vento e a temperatura da água não influenciaram na intensidade do ruído na região, em nenhuma faixa de frequência sonora analisada. Os resultados desta tese permitem concluir que há uma influência dos parâmetros ambientais na propagação de sons de *S. guianensis*. Portanto, para que os sons emitidos por esta espécie cheguem ao destino com a mesma eficiência, os indivíduos necessitam adaptar seu repertório sonoro às diferentes condições ambientais, sejam elas naturais ou modificadas pelo homem, em seus habitats.

Palavras-chave: Boto-cinza. Propagação sonora. Degradação sonora. Ruído. Bioacústica.

ABSTRACT

Few studies with marine bioacoustics, particularly in Brazil, note the importance of characterizing the environment for correct descriptions of cetacean sound emissions. Therefore, this thesis aims to determine the importance of environmental factors on the sound propagation of Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Mammalia: Delphinidae), a species that inhabits estuarine environments and uses marked acoustic signals to survive and reproduce. For this, Chapter I will present the results of a sound propagation experiment, which used playbacks of sounds of the species in two location with different environment parameters in the Northeast and Southeast of Brazil. This experiment aimed to verify the influence of scales of spatial variation, temperature, salinity, depth, dissolved oxygen, turbidity and origin-receiver distance of the sound on the propagation of these sounds. If these environmental parameters can vary according to the space, they also change according to the period of the year, in the time scale. Therefore, Chapter II will use the same methodological principles of Chapter I to verify the influence of the seasons, summer and winter, on the propagation of a whistle of *S. guianensis* in Cananéia, Southeastern Brazil. Finally, Chapter III aims to characterize the composition of the natural and anthropogenic noise of a sector of the Cananéia estuary, since noise is another important sound source that influences underwater communication. In this chapter, it will be tested whether the presence of vessels, type of tide, wind speed and surface water temperature alter the noise sound pressure level in the estuary. The results of this thesis demonstrate that the main parameters of the environment that influence *S. guianensis* sounds are salinity, dissolved oxygen concentration and water turbidity. In addition, the propagation of these sounds is influenced in the smallest spatial scales (tens of meters and hundreds of meters) and, there was no importance of the season of the year on the sound parameters of the whistle of the species. The presence of vessels and the flood tide are variables that increase the noise level in the Cananéia estuary, there being no influence of the wind or water temperature on the intensity of the noise in the region, in any sound frequency range analyzed. The results of this thesis allow to conclude that there is an influence of environmental parameters in the propagation of *S. guianensis* sounds. Therefore, in order for the sounds emitted by this species to reach the destination with the same efficiency, individuals need to adapt their sound repertoire to the different environmental conditions, whether natural or man-made, in their habitats.

Keywords: Guiana dolphin. Sound propagation. Sound degradation. Noise. Bioacoustics.

LISTA DE FIGURAS

PRÓLOGO

- Figura 1.** Representação esquemática de uma onda sonora e suas características físicas.16
- Figura 2.** Representação do perfil da velocidade do som em relação a profundidade do oceano. Figura de Urick (1983).22

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Áreas de estudos, Município de Tibau do Sul, Estado do Rio Grande do Norte, nordeste (NE) do Brasil e Município de Cananéia, Estado de São Paulo, sudeste (SE) do Brasil. Os triângulos indicam os locais internos, nos quais ocorreram as amostragens próximas a rios em ambas as regiões (NE e SE). Já os quadrados, indicam os locais externos, com maiores influências marinhas, nos quais ocorreram as amostragens em mar aberto (NE) e na desembocadura do estuário (SE).31
- Figura 2.** Espectrogramas representando os três tipos de som utilizados nos *playbacks* em diferentes condições espaciais e ambientais no Nordeste e Sudeste do Brasil. A – Assobio; B – *Burst pulses*; C – *Clicks*.....33
- Figura 3.** Predição dos valores do nível de pressão sonora (NPS) dos sons de *Sotalia guianensis* em função das variáveis preditoras do seguinte modelo: $NPS = 151,14 + 5,28 * clicks - 7,12 * interno - 0,04 * distância - 0,33 * salinidade - 0,34 * turbidez + 0,51 * oxigênio\ dissolvido + \epsilon$. Ex = local externo; In = local interno; C = *click*; BP = *burst pulses*; A = assobio. A faixa cinza indica o intervalo de confiança de 95%.37
- Figura 4.** Nível de pressão sonora (NPS) de sons de *Sotalia guianensis* em função da distância. A linha sólida preta corresponde aos valores preditos segundo a lei de propagação esférica do som [$NPS = NPS_{origem} - 20 \log_{10}(distância)$]. A linha sólida vermelha corresponde ao NPS de sons de *S. guianensis* a 15, 50, 100 e 500 m da origem do som considerando ambos os locais (interno e externo), amostrados no nordeste e sudeste do Brasil. A linha traço e ponto acima, corresponde ao NPS no local externo e a linha tracejada abaixo, corresponde ao NPS no local interno, para as mesmas distâncias em ambas as regiões do Brasil (NE + SE).38
- Figura 5.** Boxplots dos parâmetros sonoros de *playbacks* de sons de *Sotalia guianensis* que foram significativamente diferentes entre as distâncias amostradas, no nordeste e sudeste do Brasil. As letras minúsculas a e b indicam as distâncias em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste *a posteriori* de Dunn.39
- Figura 6.** Degradação do NPS e dos parâmetros de frequência nos *playbacks* de um assobio (acima), de *burst pulses* (centro) e de *clicks* (abaixo) de *Sotalia guianensis*, conforme a distância da origem do som, no nordeste e sudeste do Brasil. É possível observar na distância de 500 m, uma menor amplitude dos sons (oscilograma; azul), bem como uma coloração cinza mais clara no espectrograma. À direita da figura observa-se os

espectros de frequência para cada tipo de som, nas quatro distâncias amostradas. Nestes gráficos, nota-se a diminuição do NPS (nível de pressão sonora) conforme o aumento da distância. A faixa de frequência na qual o som é registrado, também, é menor a 500 m de distância da origem do som, principalmente para assobios e *clicks*.40

Figura 7. Boxplots dos parâmetros sonoros de playbacks de sons de *Sotalia guianensis* e dos parâmetros ambientais que foram significativamente diferentes entre os locais amostrados, no nordeste e sudeste do Brasil.42

CAPÍTULO II

Figura 1. Setor amostrado do Complexo Estuarino de Cananéia, Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. O triângulo preto indica o setor interno, no qual ocorreram as amostragens próximas a rios. O quadrado preto indica o setor externo, no qual ocorreram as amostragens próximas a mar aberto.53

Figura 2. Parâmetros sonoros de playbacks do assobio de *Sotalia guianensis* que foram significativamente diferentes em função do setor amostrado em Cananéia, sudeste do Brasil. Os parâmetros de frequência do assobio não diferiram entre os setores (ver texto).57

Figura 3. Parâmetros ambientais da água em função do setor e estação do ano amostrados em Cananéia, sudeste do Brasil. As letras minúsculas indicam a faixa de frequência em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste de Kruskal-Wallis seguido do teste a posteriori de Dunn.57

Figura 4. Nível de pressão sonora (NPS) de playbacks do assobio de *Sotalia guianensis* em função das distâncias amostradas em Cananéia, sudeste do Brasil. A linha corresponde aos valores preditos segundo a lei de propagação esférica do som [$NPS = NPS_{origem} - 20 \log_{10}(distância)$]. Os quadrados indicam a média do NPS no inverno e os triângulos indicam a média do NPS no verão a 15, 50, 100 e 500 m da origem do som considerando ambos os setores amostrados (externo e interno) em Cananéia.58

Figura 5. Predição dos valores do nível de pressão sonora (NPS) em função das variáveis preditoras do seguinte modelo: $NPS = 148,06 - 0,05 * distância + 0,31 * salinidade - 0,55 * turbidez + \epsilon$. Ex = setor externo; In = setor interno. A faixa cinza indica o intervalo de confiança de 95%.61

CAPÍTULO III

Figura 1. Área de estudo, estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. O tracejado preto indica as transecções percorridas e os vértices entre as linhas do zigue-zague indicam os 18 pontos de amostragem. A faixa cinza indica a extensão da área de marinas, posto náutico e pontos de embarque para travessias diárias de pedestres e automóveis entre ilhas e também para passeios turísticos náuticos. A estrela (★) indica a Ilha de Pai Mattos.71

Figura 2. Nível de pressão sonora (NPS) de acordo com a profundidade em que o hidrofone foi posicionado durante as amostragens em cada ponto.72

Figura 3. Nível de pressão sonora (NPS) e densidade espectral de pressão (DEP) do ruído abiótico e antropogênico do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, nas cinco

faixas de frequência amostradas. As letras minúsculas indicam a faixa de frequência em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste <i>a posteriori</i> de Dunn.	77
Figura 4. Gradientes do nível de pressão sonora médio (dB re μ Pa) provenientes de ruídos abióticos e antropogênicos no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, para cada faixa de frequência amostrada.	78
Figura 5. Gradiente do NPS médio (dB re μ Pa) do ruído ambiental do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, na presença de embarcações (A) e quando não havia embarcações em movimento durante as gravações (B).	79
Figura 6. Gradiente do NPS médio (dB re μ Pa) proveniente de ruídos naturais do estuário de de Cananéia, sudeste do Brasil, durante a maré enchente (A) e vazante (B).	80
Figura 7. Gradientes do NPS médio (dB re μ Pa) provenientes de ruídos naturais e antropogênicos do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. A – Mapa dos valores médios de todas as amostragens entre abril de 2016 e fevereiro de 2017; B – Mapa da amostragem de fevereiro de 2017 que ocorreu em um final de semana do período de férias na região.	80
Figura 8. Nível de pressão sonora (NPS) proveniente de ruídos naturais e antropogênicos do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, de acordo com o ponto de amostragem e nas cinco faixas de frequência amostradas. O NPS na faixa de frequência menor que 1 kHz não varia significativamente entre os pontos mostrados. As letras minúsculas indicam os pontos de amostragem nos quais o NPS difere significativamente, conforme teste <i>a posteriori</i> de Dunn.	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela I. Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo proposto: $NPS = \alpha + \beta \cdot local + \beta \cdot distancia + \beta \cdot tipo\ de\ som + \beta \cdot salinidade + \beta \cdot oxigênio\ dissolvido + \beta \cdot turbidez + \epsilon$. Os valores de referência no intercepto são tipo de som assobio e local externo.36

CAPÍTULO II

Tabela I. Estatística descritiva e análise de Kruskal-Wallis ($K-W; H$) para os parâmetros sonoros de assobios *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500 m de distância da fonte emissora em Cananéia, sudeste do Brasil. $FMín$ = frequência mínima; $FMáx$ = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μPa). * p -valor < 0,05.59

Tabela II. Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo proposto: $NPS = \alpha + \beta \cdot distancia + \beta \cdot salinidade + \beta \cdot turbidez + \epsilon$60

CAPÍTULO III

Tabela I. Média \pm desvio padrão dos parâmetros sonoros do ruído ambiental analisado em um setor do estuário de Cananéia, entre abril de 2016 e fevereiro de 2017. Na tabela os valores gerais englobam todos os dados analisados em profundidade média. A tabela apresenta, também, resultados com base na presença de embarcações e no tipo de maré durante as gravações. O resultado do teste de Kruskal-Wallis ($K-W; H$) é apresentado para a comparação entre as faixas de frequência (kHz) em cada conjunto de dados analisados. O teste de Mann-Whitney ($M-W; U$) foi utilizado para comparar os parâmetros sonoros entre a presença e ausência de embarcações e entre maré enchente e maré vazante. NPS = nível de pressão sonora (dB re $1\mu Pa$); DEP = densidade espectral de pressão (dB re $\mu Pa^2 / Hz$). *** indicam valor de $p < 0,001$75

Tabela II. Matriz de correlação entre os parâmetros ambientais e sonoros para cada faixa de frequência do ruído ambiental analisado no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. TSA = temperatura superficial da água; NPS = nível de pressão sonora; DEP = densidade espectral de pressão.83

SUMÁRIO

PRÓLOGO	16
Conceitos básicos e propagação da onda sonora	16
Propagação do som no ambiente marinho	21
CAPÍTULO I Variações nos sons do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i>, de acordo com escalas espaciais e fatores ambientais em duas áreas do litoral brasileiro	24
RESUMO	25
ABSTRACT	26
INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	29
Área de Estudo	29
Procedimentos	31
Análises sonoras e estatísticas	34
RESULTADOS	36
DISCUSSÃO	41
Usos do estudo para a conservação da espécie	46
CAPÍTULO II Influência de parâmetros sazonais na propagação de assobios do boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i>, em ambiente estuarino	48
RESUMO	49
ABSTRACT	50
INTRODUÇÃO	51
MATERIAL E MÉTODOS	53
Área de estudo	53
Procedimentos	54
Análises sonoras e estatísticas	55
RESULTADOS	56
DISCUSSÃO	62
CAPÍTULO III Influência de ruídos naturais e antropogênicos na composição do ambiente acústico estuarino da região de Cananéia, sudeste do Brasil.	65
RESUMO	66
ABSTRACT	67
INTRODUÇÃO	68
MATERIAL E MÉTODOS	71
RESULTADOS	74
DISCUSSÃO	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	88

REFERÊNCIAS.....	90
GLOSSÁRIO.....	103
APÊNDICE 1 – TABELAS COM OS VALORES ABSOLUTOS DOS PARÂMETROS SONOROS E AMBIENTAIS REGISTRADOS NO CAPÍTULO I, DE ACORDO COM A REGIÃO, LOCAL E DISTÂNCIAS AMOSTRADOS	107

PRÓLOGO

Conceitos básicos e propagação da onda sonora

O som é uma **onda mecânica**, longitudinal e sua velocidade está relacionada com sua frequência e comprimento de onda (Berta *et al.*, 2006). A frequência do som (f) é definida pelo número de oscilações por segundo e sua unidade é chamada Hertz (Hz; Figura 1). Já o comprimento de onda (λ) é caracterizado pela distância entre dois vales ou duas cristas, sendo mensurada em metros (m; Figura 1). Assim, a velocidade do som (c), em metros por segundo, fica definida conforme equação abaixo:

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

Esta equação simplificada da velocidade do som pode levar a uma interpretação de que o cálculo desta variável é simples, no entanto, a predição da velocidade do som em líquidos, por exemplo, pode ser muito mais difícil de se obter do que em gases (Kinsler *et al.*, 2000).

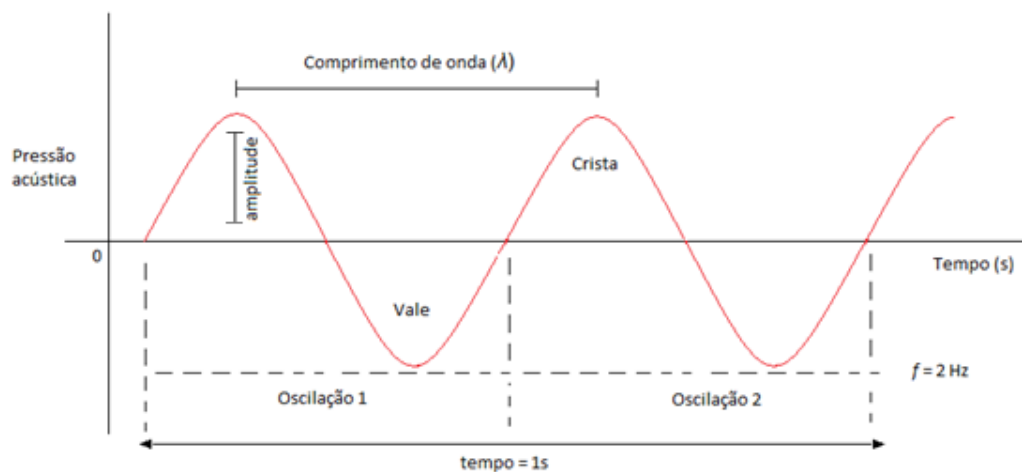


Figura 1. Representação esquemática de uma onda sonora e suas características físicas.

A velocidade do som na água é de 1450 m/s, sendo quase cinco vezes maior que a do som no ar, em condições normais de temperatura e pressão. Mas, muitos outros parâmetros podem influenciar indiretamente a estimativa desta velocidade, como temperatura, umidade e salinidade, as quais alteram a densidade do meio em que a onda sonora é propagada e, conseqüentemente, alteram a velocidade do som.

Observamos a complexidade do cálculo da velocidade do som na água destilada, em função da temperatura com dependência paramétrica da pressão, através da equação abaixo:

$$c = 1402,7 + 488.t - 482.t^2 + 135.t^3 + (15,9 + 2,8.t + 2,4.t^2).(P_G/100) \quad (2)$$

onde, P_G é a pressão de referência em bar (1 bar = 10^5 Pascals) e $t = T/100$, sendo T a temperatura em graus Celsius (Kinsler *et al.*, 2000). Ressalta-se que, por exemplo, no ambiente marinho muitas outras variáveis se somam a esta equação para determinação da velocidade do som, tornando-a muito mais complexa que as outras duas anteriores apresentadas. A velocidade do som em função da temperatura, salinidade e profundidade no meio oceânico pode ser determinada pela seguinte equação:

$$c = 1448,96 + 4,591.T - 5,304.10^{-2}.T^2 + 2,374.10^{-4}.T^3 + 1,340.(S-35) + 1,630.10^{-2}.D + 1,675.10^{-7}.D^2 - 1,025.10^{-2}.T.(S-35) - 7,139.10^{-13}.T.D^3 \quad (3)$$

onde, T é a temperatura em graus Celsius, S é a salinidade em partes por milhão e D é a profundidade em metros (Mackenzie, 1981).

Outros parâmetros acústicos que também descrevem o som, são aqueles relacionados ao meio em que a onda sonora está se propagando ou ao fluxo de energia mecânica (Bradley e Stern, 2008). Entre estes parâmetros estão a **pressão**, a **densidade** e **intensidade** acústicas. A perturbação causada pela propagação do som no meio provoca uma aproximação ou afastamento momentâneo das moléculas em um determinado ponto do espaço. Assim, uma maior concentração de moléculas em um mesmo volume determina uma maior densidade local do que a média da densidade do meio circundante e, conseqüentemente, uma maior pressão local (Bradley e Stern, 2008). A magnitude das diferenças de pressão define a **amplitude** de uma onda sonora e é frequentemente medida pela diferença entre o equilíbrio (zero) e o ponto máximo em uma crista de onda, ou pela diferença entre o ponto máximo em uma crista e o ponto mínimo de um vale de uma onda (Götz *et al.*, 2009; Figura 1).

A intensidade sonora (I) é definida como sendo o fluxo de energia (E) por unidade de tempo (t) por unidade de área (S), na direção da propagação de uma onda, de tal forma que:

$$I = (\Delta E / \Delta t) / S \quad (4)$$

onde, Δ representa a variação da quantidade. A unidade de intensidade sonora é Watts por metro quadrado (W/m^2) ou Joules por segundo por metro quadrado ($J/s.m^2$; Bradley e Stern, 2008). A medida convencional de energia do som na água é em termos de pressão acústica em vez de intensidade (Berta *et al.*, 2006). Ela é medida em unidades de **Bel** e denominada nível de pressão ou nível de intensidade sonora, geralmente utilizada na escala de um décimo de Bel, o decibel (dB).

O nível de pressão ou intensidade sonora devem ter o mesmo valor quando utilizam valores de referência apropriados (Bradley e Stern, 2008). Por exemplo:

$$\text{Nível de intensidade sonora (dB)} = 10 \log_{10} (\text{intensidade} / \text{intensidade de referência}) \quad (5)$$

Note o fator 10 multiplicando o logaritmo. Isto ocorre devido à intensidade sonora ser dada em decibel e não em *Bel*. Como a intensidade é proporcional ao quadrado da pressão sonora, tem-se:

$$\text{Nível de pressão sonora (NPS; dB)} = 20 \log_{10} (\text{pressão} / \text{pressão de referência}) \quad (6)$$

No ar a pressão sonora de referência é $20 \cdot 10^{-6}$ Newtons/ m^2 (ou 20 micro Pascals, μPa), já em ambiente aquático, a pressão de referência é $1 \cdot 10^{-6}$ Newtons/ m^2 ou 1 μPa (Au e Hastings, 2008). Sendo assim, há uma diferença nos valores absolutos de 26 dB apresentados por acústicos que atuam no ambiente aéreo e subaquático. Somando-se, a este valor, a diferença de **impedância** entre o meio aéreo e aquático (a qual é 3,606 vezes ou 35,6 dB maior na água do que no ar), temos uma diferença de aproximadamente de 62 dB no nível sonoro para equivalentes pressões acústicas em ambos os meios (Au e Hastings, 2008). A pressão sonora decai com a distância a partir da origem, já que a energia inicial é única e a onda se propaga por grandes áreas e superfícies (Au e Hastings, 2008). Este decaimento da pressão (e também intensidade) com o quadrado da distância é chamado de **propagação esférica do som** (Urick, 1983).

As principais propriedades do meio que podem afetar a transmissão do som são a atenuação, a reflexão, a reverberação e a absorção (Bradley e Stern, 2008).

Com a distância, importantes informações acústicas podem perder intensidade (atenuadas), serem degradadas e competirem com o ruído do ambiente (Daniel e Blumstein, 1998). Esta degradação sonora refere-se a alguma mudança no espectro, como mudanças no tempo e estrutura do sinal entre o emissor e receptor (Slabbekoorn *et al.*, 2002).

A atenuação do som refere-se ao decaimento da amplitude sonora (Slabbekoorn *et al.*, 2002). Como a amplitude está relacionada com a pressão e, esta, com o nível de intensidade, como já descrito acima, a atenuação ocorre quando há mudança mensurável na intensidade (em dB) durante a propagação do som pelo meio. Este fenômeno sofre a influência de outras características da onda sonora; algumas frequências atenuam-se mais rapidamente do que outras (Daniel e Blumstein, 1998). Sons de baixas frequências atenuam-se menos e percorrem maiores distâncias, enquanto que sons de alta frequência atenuam-se mais rápido, porém resultam em melhores informações e resoluções, devido a seu comprimento de onda menor (NRC, 2000; Berta *et al.*, 2006). Isto pode ser facilmente observado nas telecomunicações, em que ondas de rádio AM (Amplitude Modulada) possuem frequências menores, chegando a locais distantes e, por vezes, com sinal de baixa qualidade. Já as ondas FM (Frequência Modulada), possuem maiores frequências e transmitem seus sinais de forma mais eficiente a menores distâncias, comparadas as AM. Também, sons propagando-se em superfícies porosas atenuam-se mais facilmente que em superfícies compactas (Forrest, 1994). Isto claramente está relacionado à densidade do meio de propagação. Sons podem atenuar-se com a distância da sua origem (NRC, 2000) ou, em ambientes terrestres, por exemplo, podem variar conforme a distância da origem do som em relação ao solo (Ellinger e Hödl, 2003).

Quando existem barreiras ou limites em um determinado ambiente, a onda sonora pode refletir e então se propagar em diferentes trajetórias que a original (Bradley e Stern, 2008). Para que haja reflexão do som é necessário que o comprimento de onda (λ) seja $1/10$ do tamanho do objeto ou barreira. Assim, altas frequências irão refletir mais facilmente que baixas frequências em pequenos objetos, dado seu λ menor. Como as trajetórias da onda refletida podem ser maiores ou menores que a original, o sinal transmitido será diferente e recebido em tempos diferentes pelo receptor, podendo em alguns casos duas ou mais ondas refletidas se somarem e originarem uma onda resultante com maior amplitude comparada as ondas do som primário (OGP, 2008). Relembrando que a intensidade do som decai

com a distância, as ondas sonoras refletidas que possuem maiores trajetórias, resultarão em sinais mais atenuados do que aquelas com distâncias origem-receptor menores.

Quando a onda sonora atinge uma superfície em um determinado ângulo, torna a espalhar-se devido à reflexão do som em função do ângulo de incidência e da rugosidade da superfície (Bradley e Stern, 2008). Esta reflexão faz com que som persista no ambiente mesmo após a sua produção ter cessado. Este fenômeno é denominado de reverberação e é derivado da reflexão sonora. A reverberação pode degradar o som e modificar a informação que será transmitida para o receptor, sendo que esta degradação será maior em frequências mais altas, já que estas aumentam tanto a intensidade quanto a duração deste fenômeno (Ellinger e Hödl, 2003). Slabbekoorn *et al.* (2002) sugerem que a reverberação traz benefícios à comunicação de aves em florestas densas, já que este fenômeno resultaria em um som mais longo e intenso que se propagaria mais facilmente por este tipo de ambiente. Ey *et al.* (2009) também demonstram que babuínos emitem vocalizações mais longas em uma floresta densa com muitas superfícies de reverberação para melhorar a propagação da onda sonora neste meio.

A última propriedade do meio que afeta a transmissão do som a ser destacada é a absorção. Este é o processo pelo qual a energia sonora é convertida em calor (agitação das moléculas) e a qual, portanto, faz com que o nível de pressão sonora diminua com o aumento da distância a partir da origem do som (Götz *et al.*, 2009). Também, a perda de energia por absorção pode ocorrer por relaxamento das moléculas do meio (Forrest, 1994). Por exemplo, no oceano há vários sais dissolvidos e que podem possuir mais de uma forma molecular, como o sulfato de magnésio (Bradley e Stern, 2008). Para conversão destas moléculas em outras formas é necessária energia, sendo o som um dos doadores de energia para estes processos (Bradley e Stern, 2008). Assim, ocorre a perda de intensidade da onda sonora por absorção desta molécula. Perdas por absorção são insignificantes para baixas frequências (<1 kHz), mas podem ser significativas para as altas frequências. Por exemplo, um som de 40 kHz teria perdas de absorção de até aproximadamente 10 dB por km (Götz *et al.*, 2009; Au e Hastings, 2008). A absorção atmosférica é quase 100 vezes maior que a absorção no mar a uma mesma frequência e, portanto, a comunicação por som no mar também é menos afetada por este fenômeno (Forrest, 1994). Comparando tipos de ambiente terrestres, sons em ambientes como densas florestas sofrem maior influência da absorção e

reverberação que ambientes abertos ou descampados (Ey e Fischer, 2009). Dado a diferença entre os meios terrestre e marinho, seguiremos destacando como os parâmetros ambientais podem afetar a propagação do som e a comunicação no ambiente marinho.

Propagação do som no ambiente marinho

No oceano, o som se propaga de forma eficiente, em alta velocidade e potencialmente a grandes distâncias, propagando-se quase cinco vezes mais rápido do que no meio aéreo (Nowacek *et al.*, 2007). A variação da velocidade do som no oceano depende de três parâmetros físicos: temperatura, salinidade e profundidade, sendo a temperatura o fator de maior importância (Bradley e Stern, 2008). Por exemplo, quanto maior a temperatura da água maior será a velocidade de propagação do som (Au e Hastings, 2008). Outros fatores como nível de intensidade na origem do som, ruído ambiental, sensibilidade do receptor, tipo de sedimento, relevo de fundo e turbidez também influenciam na detecção e propagação da onda sonora no oceano (Richardson *et al.*, 1995). Em estudos com mamíferos marinhos, para sons direcionais como a **ecolocalização**, as distâncias de detecção, nas quais é possível registrar com qualidade estes sons, dependerão da orientação e localização do animal em relação ao **hidrofone** e, também, da intensidade e frequência do som de origem (Hodge *et al.*, 2013).

Reverberações e reflexões da onda sonora na superfície do mar, no fundo oceânico, em bancos de areia, etc., podem afetar a velocidade e atenuar a informação a ser transmitida através do ambiente (Best *et al.*, 2004). A propagação do som em águas rasas é influenciada pelo tipo de sedimento de fundo, já que múltiplas reflexões ocorrem devido à natureza do material, sendo que as maiores perdas de energia ocorrem nas menores frequências do som e em fundo oceânico argiloso (Sanjana *et al.*, 2014). Grãos maiores ou iguais a areia grossa com formatos planos também podem provocar grande atenuação do som (Macedo *et al.*, 2009). A degradação da matéria orgânica também influencia na propagação da onda sonora, já que esta degradação produz gases que permanecem entre os grãos do sedimento (Macedo *et al.*, 2009). Como discutido na seção de *Conceitos básicos e propagação da onda sonora*, a absorção do som pelo ar é muito maior do que na água ou em objetos sólidos, portanto, sedimentos que aprisionam maior quantidade de ar ou

gases em sua composição irão atenuar a velocidade e intensidade do som mais facilmente. Para cada tipo de fundo no ambiente marinho há um limite de corte na frequência da onda sonora, abaixo da qual o som não se propaga (Au e Hastings, 2008). A frequência do corte (kHz) é menor quando a profundidade aumenta e o sedimento possui granulidade maior (Au e Hastings, 2008). Frequências muito baixas podem penetrar no fundo oceânico, podendo causar certos impactos a este ambiente (OGP, 2008).

A velocidade do som em relação à profundidade do oceano é uma função da temperatura (fator mais importante; Bradley e Stern, 2008), salinidade e pressão (própria profundidade; Au e Hastings, 2008; Figura 2). Na superfície (“*surface layer*”, em inglês) o som é suscetível a mudanças locais e diárias, como o aquecimento e resfriamento superficial da água e ação dos ventos; na **termoclina sazonal** (“*seasonal thermocline*”, em inglês), região em que a temperatura decai com a profundidade e varia de acordo com as estações do ano, a velocidade do som diminui proporcionalmente com a diminuição deste parâmetro; na camada isotérmica profunda (“*deep isothermal layer*”, em inglês) a temperatura não varia muito e a velocidade do som aumenta devido ao aumento da pressão associada às maiores profundidades em relação à superfície (Au e Hastings, 2008). Mudanças na densidade da água, como influxo de água doce de rios, podem também afetar a propagação do som, refratando e refletindo o mesmo (Bradley e Stern, 2008).

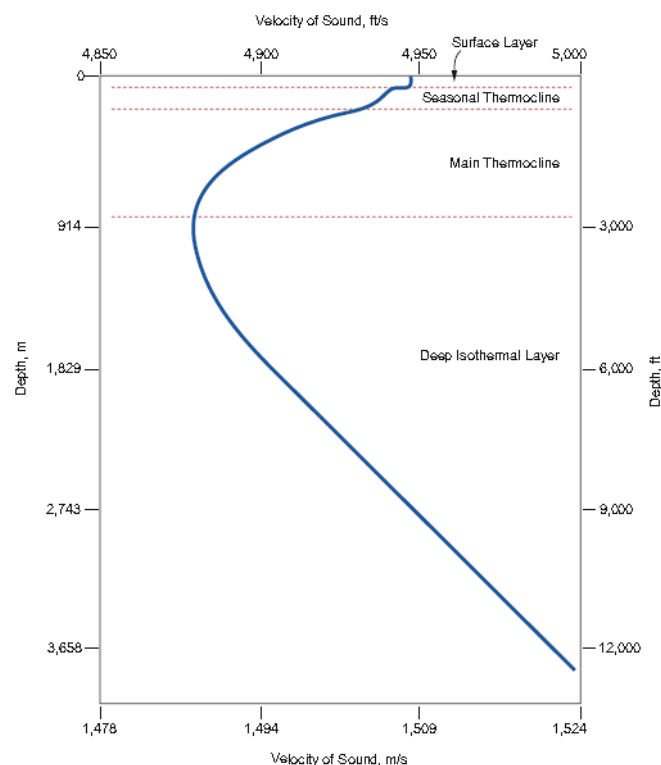


Figura 2. Representação do perfil da velocidade do som em relação a profundidade do oceano. Figura de Urick (1983).

A transmissão de informações acústicas é usada em estratégias de reprodução e sobrevivência para muitas espécies, podendo esta informação conter a identidade do emissor, o tamanho, o seu estado sexual, tipo de predador, etc. (Ey e Fischer, 2009). Particularmente, esta é uma modalidade sensorial indispensável para muitos animais aquáticos, pois outros sentidos possuem várias limitações de uso dentro da água (Nowacek *et al.*, 2007). Portanto, o som pode ser adaptado a uma ampla variedade de condições ambientais e situações comportamentais (Gillam, 2011).

Um som com qualidade de transmissão ruim pode interferir na mensagem a ser enviada entre emissor e receptor e o efeito pode agravar-se quando este sinal tem uma alta densidade de informação ou quando a informação é transmitida a uma taxa alta de repetição (Endler, 1993). Por isso, diversos animais ajustam seu repertório sonoro ao habitat no qual estão inseridos, maximizando o sucesso da recepção do sinal (Morton, 1975), sendo que diferenças geográficas no ambiente podem contribuir para diferenças na forma como os organismos percebem, produzem e utilizam o som (Rice *et al.*, 2014).

Uma caracterização precisa de cada hábitat deve preceder qualquer estudo sobre a influência do ambiente sobre o comportamento sonoro de espécies. Particularmente, os locais exatos onde os sinais são emitidos devem ser descritos (Ey e Fischer, 2009), já que o ambiente acústico é espacialmente heterogêneo e pode gerar sinais específicos em ambientes específicos (Bormpoudakis *et al.*, 2013). Assim, justifica-se a realização desta tese, pois ainda no Brasil os estudos com bioacústica marinha não observam a importância da caracterização do ambiente para uma correta caracterização de emissões sonoras de qualquer espécie em questão. As palavras em **negrito** no corpo do texto indicam que há uma definição destas em um glossário anexo.

CAPÍTULO I

Variações nos sons do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, de acordo com escalas espaciais e fatores ambientais em duas áreas do litoral brasileiro

Revista pretendida: Journal of the Acoustical Society of America (*J. Acoust. Soc. Am.*), ISSN (0001-4966), Fator de Impacto (JCR, 2015) = 1,572, Qualis CAPES (Biodiversidade) = B1

RESUMO

O som é uma onda mecânica e depende do meio para se propagar, no entanto, muitos estudos de bioacústica não consideram os parâmetros ambientais para caracterizar sons de origem biológica. Tais parâmetros podem variar ao longo da distribuição de uma espécie e dentro do habitat de uma população. Assim, este estudo objetiva determinar a influência de escalas espaciais e de parâmetros ambientais da água sobre sons de um delfínido, *Sotalia guianensis*, em regiões costeiras do Brasil. Para tanto, foram utilizados playbacks de assobios, *clicks* e *burst pulses* para testar a propagação destes sons em dois locais com características ambientais diferentes, próximos ou não da desembocadura de rios, no nordeste e sudeste do Brasil e, ao longo de quatro distâncias dentro destes locais. Observou-se que a propagação de todos os sons testados dependeu do local, da distância entre emissor e receptor do som, da salinidade, da turbidez e da concentração de oxigênio dissolvido da água. Estes resultados confirmam que, em geral, a lei de propagação esférica do som se aplica para explicar a atenuação de sons de delfínidos nestas áreas, embora não seja possível descartar que outros parâmetros, como quantidade de partículas na água, possam interferir nesta atenuação e alterar a comunicação destes animais em seus habitats. Adicionalmente, não houve diferença na propagação sonora entre as regiões, ou latitudes, indicando que as diferenças no meio podem ser mais importantes que a distância geográfica para diferenciação de repertório sonoro entre populações. O modelo gerado neste estudo pode ser utilizado como ferramenta para prever a influência de alterações ambientais nos parâmetros de salinidade, oxigênio dissolvido e turbidez da água, bem como de delineamentos amostrais em estudos de acústica, sobre o nível de pressão dos sons de *S. guianensis*. Além disso, a metodologia deste estudo pode ser replicada para outras áreas e espécies, sendo uma importante ferramenta para estudos de conservação.

Palavras-chave: Boto-cinza. Propagação sonora. Assobios. Estalidos. Sons explosivos pulsantes.

ABSTRACT

Sound is a mechanical wave and depends on the medium to propagate. However, many studies with bioacoustics do not consider environmental parameters to characterize sounds of biological origin. These parameters may vary along the distribution of a species and within the habitat of a population. Thus, this study aims to determine the influence of spatial scales and environmental parameters of water on sounds of a dolphin, *Sotalia guianensis*, in coastal regions of Brazil. To this end, whistles, clicks and burst pulses playbacks were used to test the propagation of these sounds in two locations with different environmental characteristics, close or not to the mouth of rivers, in the Northeast and Southeast of Brazil. The influence of the distance between the origin and reception of the sound was also tested. We observed that the propagation of all the sounds tested depended on the location, the distance, the salinity, the turbidity and the dissolved oxygen concentration of the water. These results confirm that, in general, the spherical spreading law is applied to explain the attenuation of dolphin sounds in these areas. However, it is not possible to rule out that other parameters such as the amount of particles in the water may interfere with this attenuation and change communication of these animals in their habitats. In addition, there was no difference in sound propagation between the regions, or latitudes, indicating that the differences in the medium may be more important than the geographic distance for differentiation of sound repertoire between populations. The model generated in this study can be used as a tool to predict the influence of environmental changes on the parameters of salinity, dissolved oxygen and water turbidity, as well as sample designs in acoustic studies, on the pressure level of *S. guianensis*. In addition, the methodology of this study can be replicated to other areas and species, being an important tool for conservation studies.

Keywords: Guiana dolphin. Sound propagation. Whistles. Clicks. Burst pulses.

INTRODUÇÃO

A comunicação acústica é extremamente abundante na natureza, sendo utilizada por diversos grupos animais, como insetos, peixes, anfíbios, aves e mamíferos (Bennet-Clark, 1998; Bass e Ladich, 2008; Cathpole e Slater, 2008; Maciej *et al.*, 2011; Penna *et al.*, 2013). Particularmente para animais marinhos, a comunicação através do som é indispensável, pois um ambiente viscoso e amplo, como o oceano, dificulta a transmissão de sinais visuais (Nowacek *et al.*, 2007). No oceano, o som se propaga de forma eficiente, em alta velocidade e potencialmente a grandes distâncias, sendo quase cinco vezes mais rápido do que no meio aéreo (Nowacek *et al.*, 2007). A variação desta velocidade depende de três parâmetros físicos do oceano: temperatura, salinidade e profundidade, sendo a temperatura o fator mais importante (Bradley e Stern, 2008). Dessa forma, quanto maior forem a temperatura e a salinidade na água a uma certa profundidade, maior será a velocidade de propagação de um som emitido (Au e Hastings, 2008).

Apenas alguns estudos destacam a importância dos parâmetros físico-químicos da água para a comunicação entre cetáceos. Por exemplo, as características acústicas dos assobios de *Stenella frontalis* (Delphinidae) variam entre populações adjacentes de áreas costeiras e oceânicas do Atlântico Norte devido às diferenças nas condições ambientais de cada habitat (Baron *et al.*, 2008). Neste estudo a profundidade, a temperatura e os níveis de ruído natural e antropogênico foram considerados importantes fatores modificadores da propagação do som, explicando as diferenças entre os assobios de populações costeiras e oceânicas destes golfinhos (Baron *et al.*, 2008). Outros parâmetros que influenciam a propagação sonora são a quantidade de partículas na água e o tipo de sedimento no assoalho marinho. Estes fatores podem alterar parâmetros de frequência, duração e amplitude sonora, principalmente, de espécies costeiras, estuarinas e dulcícolas (Sanjana *et al.*, 2014; Amorim *et al.*, 2016).

A profundidade do oceano e a intensidade do vento, os dois principais parâmetros ambientais geradores naturais de ruídos no ambiente marinho, influenciam a frequência e duração dos assobios produzidos por *Stenella coeruleoalba* (Delphinidae) no Mar Mediterrâneo (Azzolin *et al.*, 2013). Esta espécie parece emitir sons mais curtos quando a intensidade do vento é maior e, portanto, gera ruídos mais intensos no mar, com frequências mais baixas em maiores profundidades (Azzolin *et al.*, 2013). A **modulação** dos assobios desta mesma

espécie é outro parâmetro acústico que pode ser modificado conforme as variáveis ambientais e sociais às quais os animais estão submetidos (Papale *et al.*, 2013). Os repertórios sonoros de *Physeter macrocephalus* (Physeteridae) em duas áreas no Japão também diferem consideravelmente em número de *clicks* por **coda**, na duração e tipo de uso relativo da coda (Amano *et al.*, 2014). Isto ocorre devido às condições oceanográficas muito discrepantes entre as áreas, como a presença de correntes marinhas e de uma camada isotérmica na água, exigindo estratégias de forrageio diferentes e, portanto, sons diferentes para cada região e estratégias utilizadas (Amano *et al.*, 2014).

O som produzido por cetáceos, portanto, pode variar conforme a região (escala espacial) em que estes animais se encontram, podendo refletir processos locais, bem como padrões de escala global (Rossi-Santos e Podos, 2006; May-Collado e Wartzok, 2008). Populações de *Tursiops truncatus* (Delphinidae), na América Central, apresentam assobios com características diferentes entre si, mas várias similaridades com assobios da mesma espécie na América do Norte e do Sul (May-Collado e Wartzok, 2008). Populações de *Sotalia guianensis* (Delphinidae) no sul do Brasil e na Costa Rica, mesmo distantes, também apresentam semelhanças em seus repertórios sonoros (Deconto e Monteiro-Filho, 2013). Estas similaridades entre populações distantes são reflexos de condições acústicas semelhantes em cada região e que induzem os animais a responderem comportamentalmente de maneira análoga (May-Collado e Wartzok, 2008). Assim, estudos que utilizem múltiplas escalas em sua metodologia podem ampliar, identificar e compatibilizar as escalas e seus, respectivos, processos com maior precisão (Casenave *et al.*, 2007).

Especificamente para os assobios de *S. guianensis*, foram identificadas variações latitudinais, sendo as frequências iniciais e mínimas destes sons menores em populações encontradas na distribuição mais ao sul e maiores na distribuição ao norte da costa brasileira (Azevedo e Van Sluys, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006). Uma das hipóteses apresentadas para explicar a existência de variações geográficas nos assobios de populações de *S. guianensis* estava relacionada às diferenças das áreas de estudo, pois enquanto as regiões ao sul do país apresentam áreas mais abrigadas como baías e estuários, as regiões do norte do país são áreas abertas de costa litorânea (Rossi-Santos e Podos, 2006). Tais locais apresentam parâmetros ambientais, como temperatura, salinidade e turbidez distintos (Almeida, 2006; Monteiro *et al.*, 2006; Almeida *et al.*, 2012; Alvares *et al.*, 2013; Godoy *et al.*, 2016; Miyashita e Calliari, 2016; CPTEC, 2017). Portanto, populações que habitam

regiões de estuário podem apresentar parâmetros de assobios semelhantes em função das similaridades bióticas e abióticas existentes nos sistemas estuarinos e, devem ser diferentes quando comparados a áreas costeiras abertas com características ambientais e biológicas distintas (Leão *et al.*, 2015). Deconto e Monteiro-Filho (2013) sugerem uma comparação entre populações de *S. guianensis* que habitam regiões de águas internas, próximas a rios, e de águas externas, com maior influência marinha, para testar se as variações nos assobios desta espécie ocorrem devido a diferenças nas condições ambientais em que cada população vive.

Assim, o objetivo deste estudo foi determinar quais são as características físico-químicas do ambiente que possuem maior influência sobre os sons produzidos por *S. guianensis* sob diferentes escalas de variação espacial no litoral do nordeste e sudeste do Brasil, por meio de um experimento de propagação sonora em ambiente natural. Para isso, foram consideradas duas hipóteses. Na primeira, considerou-se que ocorre uma maior variação no **nível de pressão sonora** (NPS dB re μ Pa) destes sons nas menores escalas de variação espacial (dezenas de metros e centenas de metros) devido às diferenças ambientais nestas escalas. Na segunda hipótese, que os parâmetros ambientais influenciam a propagação dos sons *S. guianensis*, alterando os valores esperados segundo a **lei de propagação esférica do som** - na qual, o NPS decai com o quadrado da distância (Urlick, 1983). Assim, espera-se encontrar maiores valores de NPS quando houver maior temperatura, salinidade e concentração de **oxigênio dissolvido** e em menores profundidades e menores condições de **turbidez** da água. O modelo gerado neste estudo é uma importante ferramenta para estudos de conservação e avaliação de impactos ambientais sobre a comunicação de cetáceos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Durante o desenvolvimento deste estudo, dois diferentes sistemas costeiros foram amostrados: Município de Tibau do Sul, Estado do Rio Grande do Norte (RN), nordeste do Brasil e o Município de Cananéia, Estado de São Paulo (SP), sudeste do Brasil.

No Município de Tibau do Sul, foram amostradas a Laguna de Guaraíras (06°13'S e 35°04'W; Fig. 1) e a Praia da Pipa (6°11'S e 35°06'W; Fig. 1). O clima da

região é classificado como do tipo As de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). Nesta região, ocorre uma estação chuvosa entre os meses de março e agosto e uma estação seca entre setembro e fevereiro (Araújo *et al.*, 2001). A Laguna de Guaraíras possui cerca de 7 km de extensão, chegando a 8 m de profundidade e é fortemente influenciada por correntes de maré que resultam em bancos arenosos no interior e na desembocadura da laguna (Melo, 2000). Os sedimentos são característicos de águas rasas e de correntes moderadas de baixa energia (Melo, 2000). A temperatura da água varia entre 27 a 32 °C e a salinidade, entre 24 e 38 ppm (Almeida, 2006; Almeida *et al.*, 2012). A Laguna de Guaraíras faz parte de um complexo de lagunas que compõem uma Área de Proteção Ambiental (APA Bonfim/Guaraíras), com o objetivo de conservar áreas de dunas, restingas e Mata Atlântica, além dos recursos hídricos da região (IDEMA, 2017). A Praia da Pipa é contornada por falésias com cerca de 30 m de altura e apresenta um conjunto de rochas nas duas extremidades, formando uma baía semifechada (Monteiro *et al.*, 2006). É bastante influenciada pelas variações de marés e apresenta uma topografia subaquática com declive suave e extenso, constituído por fundo arenoso e rochoso com profundidade de até 7,6 m (Santos-Jr *et al.*, 2006). A temperatura atmosférica varia entre 19 a 30 °C e a salinidade, entre 36 e 37 ppm (Monteiro *et al.*, 2006; CPTEC, 2017). A média de temperatura da água na Praia da Pipa não está disponível.

O Município de Cananéia está localizado no Complexo Estuarino de Cananéia, Estado de São Paulo e apresenta 110 km de extensão. Este complexo é constituído por um grande canal protegido (Mar Pequeno), uma baía (Baía de Trapandé) e três ilhas (Ilha Comprida, Ilha do Cardoso e Ilha de Cananéia; Fig. 1). O clima da região é classificado como do tipo Cfa de Köppen com temperatura anual média de 21,5 °C (CBH-RB, 2008; Alvares *et al.*, 2013). O sedimento da Baía de Trapandé é composto por areia fina e muito fina, com grãos moderadamente a bem selecionados e a batimetria da região no entorno revela um acentuado declive na extremidade sul da Ilha Comprida (Domit, 2006). A temperatura da água varia de 19,50 a 29,50 °C e a salinidade de 12 a 35 ppm (Godoy *et al.*, 2016; Miyashita e Calliari, 2016). Esta região é considerada um dos cinco estuários menos depredados e mais produtivos em biomassa do mundo, além de ser parte da "Reserva da Biosfera da Mata Atlântica" (UNESCO, 2012) e está protegida por Áreas de Proteção Ambiental Estadual e Federal (CBH-RB, 2008). As áreas de amostragens encontram-se entre as coordenadas 25°01' a 25°15'S e 47°52' a 48°06'W (Fig. 1).

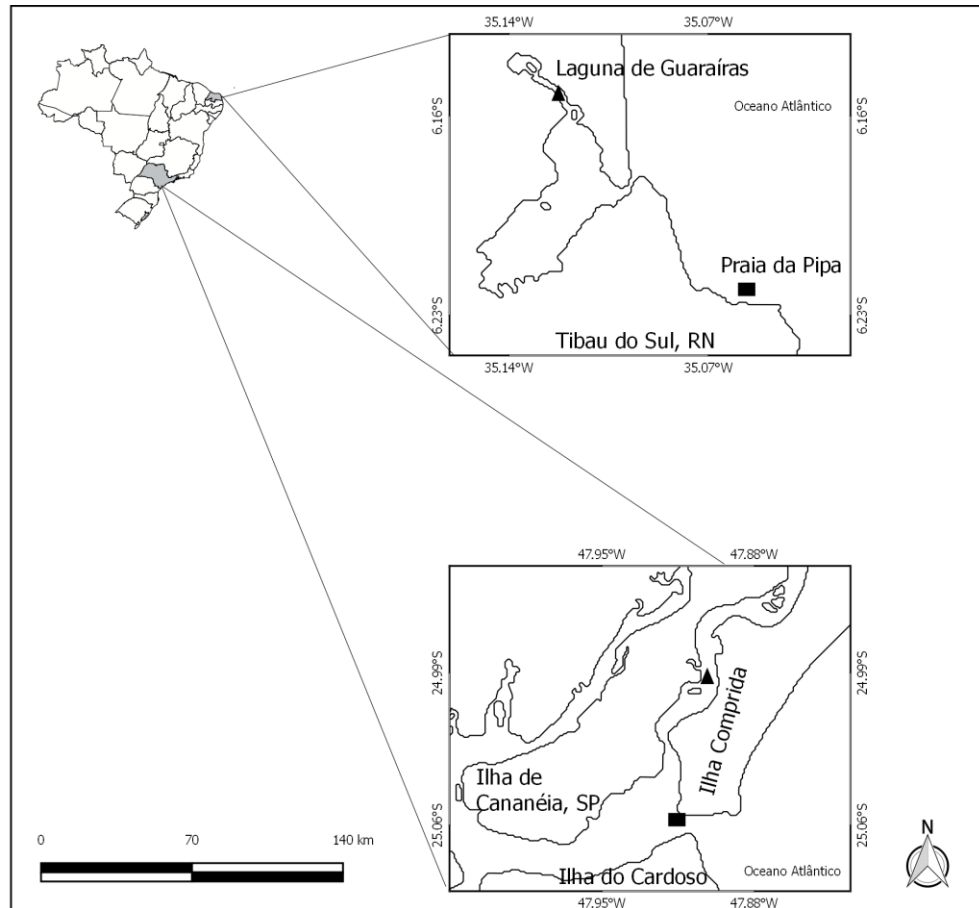


Figura 1. Áreas de estudos, Município de Tibau do Sul, Estado do Rio Grande do Norte, nordeste (NE) do Brasil e Município de Cananéia, Estado de São Paulo, sudeste (SE) do Brasil. Os triângulos indicam os locais internos, nos quais ocorreram as amostragens próximas a rios em ambas as regiões (NE e SE). Já os quadrados, indicam os locais externos, com maiores influências marinhas, nos quais ocorreram as amostragens em mar aberto (NE) e na desembocadura do estuário (SE).

Procedimentos

Para determinar a influência de parâmetros ambientais e espaciais no NPS de *S. guianensis* foram escolhidas três escalas de variação espacial: região (centenas de quilômetros), local (centenas de metros) e pontual (distâncias; dezenas de metros).

As regiões nordeste e sudeste do Brasil foram escolhidas devido às diferentes condições ambientais em que a espécie está submetida. Enquanto no nordeste estes animais habitam áreas de mar aberto, com pouca variação de temperatura anual e maior transparência da água, no sudeste estes animais habitam estuários,

de águas mais turvas e variações marcadas de temperatura (Rossi-Santos e Podos, 2006).

A escala local é representada por dois setores amostrais dentro de cada região que possuem diferentes características ambientais (Fig. 1). Os locais denominados internos são áreas de laguna (NE) ou próximas a rios (SE) que possuem menor profundidade, menor salinidade e maior turbidez da água. Já os locais denominados externos são áreas de mar aberto (NE) ou na desembocadura do estuário (SE) que possuem maiores profundidades, maior salinidade e menor turbidez.

Para a escala pontual foram testadas quatro distâncias dentro de cada local, sendo 15, 50, 100 e 500 m entre o sistema de emissão e recepção dos sons, mantidas com aferições em telêmetro e cordas entre embarcações. O sistema de emissão consiste em um autofalante subaquático multidirecional LL916 (Lubell Labs, frequência de resposta de 200 Hz a 20 kHz) e o sistema de recepção dos sons em um hidrofone multidirecional C53 (Cetacean Research Technology, frequência de resposta de 14 Hz a 250 kHz e média de sensibilidade de -165 dB re 1 V/ μ Pa) acoplado a um gravador digital (Foxtex FR2-LE, capacidade de gravação 96 kHz e frequência de resposta de 48 kHz). O autofalante e o hidrofone foram posicionados a aproximadamente 2 m de profundidade.

De acordo com a lei de propagação esférica, o NPS é proporcional ao inverso do quadrado da distância da origem do som (Urlick, 1983), expresso na equação (1):

$$\text{Atenuação do NPS (dB/m)} = 20 \log_{10}(\text{distância}) + \alpha \quad \text{Eq. (1)}$$

O coeficiente de absorção (α) não foi considerado na equação, devido à influência da absorção da energia sonora por moléculas na água do mar ser quase desprezível na faixa de frequência (até 20 kHz) utilizada neste estudo, a qual é de aproximadamente 0,001 dB/m (Au e Hastings, 2008). Assim, esperara-se registrar sons com atenuação de 24, 34, 40 e 54 dB no NPS, nas quatro distâncias testadas, respectivamente (Urlick, 1983). O NPS na origem do som foi de 175 dB re 1 μ Pa @ 1m.

A espécie alvo do estudo, *S. guianensis*, possui um repertório composto por cinco classes de som: assobios, *burst pulses*, *clicks*, sons de baixa frequência e banda estreita (*LFN sounds*) e o gargarejo, sendo este último emitido exclusivamente por filhotes (Monteiro e Monteiro-Filho, 2001; Deconto e Monteiro-

Filho, 2016). Neste estudo, os três primeiros foram utilizados para verificar como os parâmetros ambientais e escalas de variação espacial afetam o NPS de cada um deles. Estes sons foram utilizados, pois representam os sons com maiores taxas de repetição para a espécie (Monteiro e Monteiro-Filho, 2001; Deconto e Monteiro-Filho, 2017). Os *playbacks* utilizados neste estudo foram obtidos a partir de gravações prévias, com pouco ruído de fundo, realizadas na região de Cananéia, área de estudo no sudeste do Brasil.

Os assobios são sons modulados, ou seja, possuem maior variação na duração do que na frequência quando comparados a sons pulsados (Fig. 2a). O assobio ascendente foi categoria escolhida para se utilizar nos *playbacks*, devido a este tipo de som ser o mais frequente entre os delfínídeos (Erber e Simão, 2004; Moron *et al.*, 2015).

Os *burst pulses* e *clicks* são sons pulsados, variam em frequência e, pouco, em duração (Fig. 2 b-c). Foram escolhidos *burst pulses* e *clicks* com altas taxas de repetição, pois estes tipos de som carregam grande número de informações em um curto espaço de tempo.

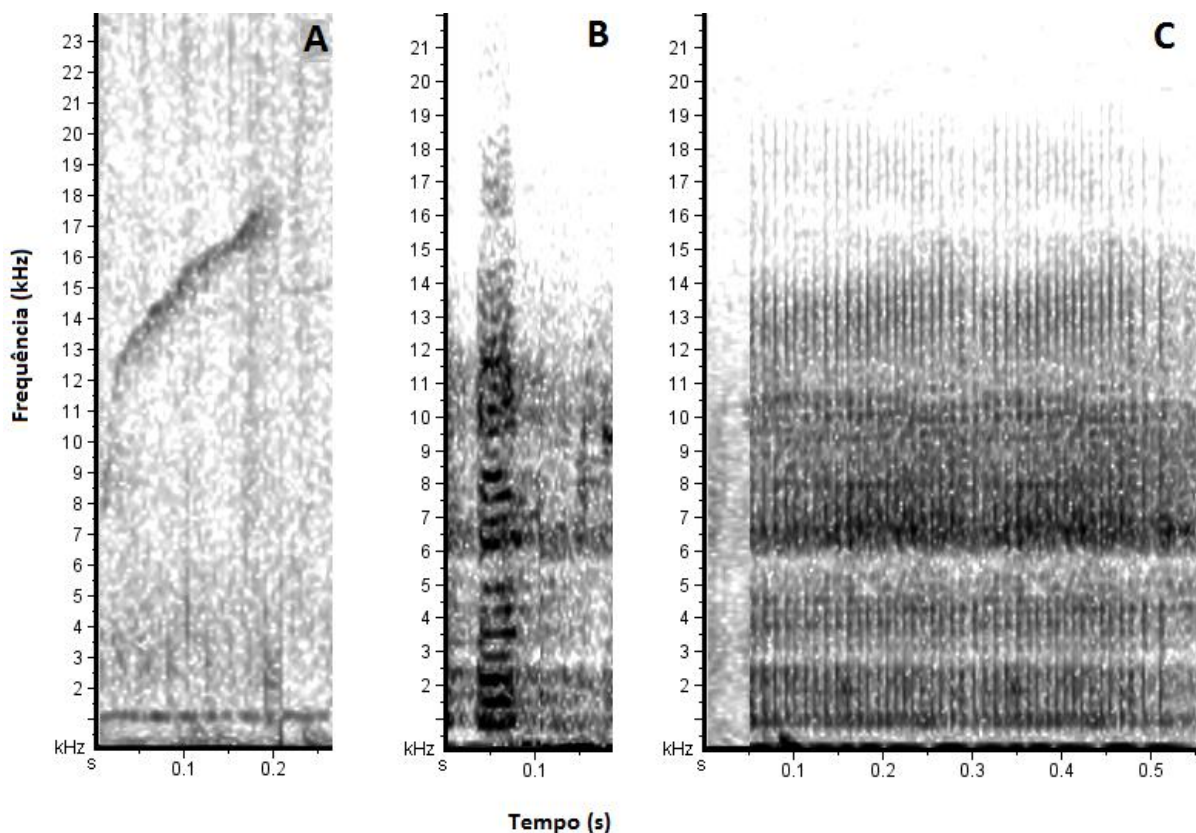


Figura 2. Espectrogramas representando os três tipos de som utilizados nos *playbacks* em diferentes condições espaciais e ambientais no Nordeste e Sudeste do Brasil. A – Assobio; B – *Burst pulses*; C – *Clicks*.

Determinadas estas variáveis (região, local, distância, tipo de som), o experimento foi realizado durante quatro amostragens, duas na região NE e duas na região SE, entre 2015 e 2016. O experimento consistiu em emitir três vezes *playbacks* de cada tipo de som (assobio, *burst pulses*, *clicks*), um por vez, nas quatro distâncias amostradas (15, 50, 100 e 500 m), tanto no local interno, como no local externo em cada região. Também foram coletados, a 2 m de profundidade, em cada distância, a temperatura superficial da água (°C), a salinidade (‰, partes por milhão), a concentração de oxigênio dissolvido (%), a turbidez (NTU, Unidades Nefelométricas de Turbidez) e a profundidade (metros) para verificar a influência destes parâmetros na variação do NPS. A temperatura e oxigênio dissolvido foram mensurado através do medidor de oxigênio dissolvido MO-900 (Instrutherm Ltda., São Paulo, Brasil). A salinidade, através do refratômetro portátil (ERMA, Japão). A profundidade, por meio do profundímetro PS-7 (Hondex Ltda., Toyohashi, Japão). Todos estes parâmetros foram analisados em campo, durante as amostragens. A turbidez foi o único parâmetro analisado em laboratório, com turbidímetro TD-300 (Instrutherm Ltda., São Paulo, Brasil).

Análises sonoras e estatísticas

Os sons foram analisados usando o programa RAVEN 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology, New York). Nos espectrogramas gerados pelo programa, para cada amostra, foram registrados parâmetros sonoros como duração (s), frequências inicial e final (kHz), frequências máxima e mínima (kHz), taxa de repetição de pulsos (TRP; pulsos por segundo), número de bandas [definimos *burst pulses* como emissões sonoras que aparecem como faixas horizontais claras e escuras em um espectrograma e que se assemelham a harmônicos - um artefato na digitalização segundo Watkins (1967)], intervalos entre *clicks* (IEC; segundos) e NPS (dB re μPa). A análise da frequência máxima de *clicks* e *burst pulses* não foi realizada, devido ao sistema de gravação ser limitado a frequência de Nyquist de 48 kHz e estas categorias sonoras ultrapassarem tal limite.

Foram realizadas análises dos **oscilogramas, espectros de frequência e espectrogramas**, visando verificar o quanto estes parâmetros mudavam em diferentes escalas espaciais e em diferentes condições ambientais, já que a degradação de um som ao longo da distância pode afetar o registro correto dos

parâmetros de amplitude, de composição de frequência e de tempo de um som, interferindo principalmente na gravação de sons com frequência mais altas ou nas frequências finais e máximas de um mesmo som (Berta *et al.*, 2006; Mouterde *et al.*, 2014).

Para verificar a influência das escalas de variação espacial e dos parâmetros ambientais sobre o NPS foi realizado uma análise de regressão linear múltipla. A variável resposta foi o NPS e as variáveis preditoras foram região (dois níveis, NE e SE), local (dois níveis, interno e externo), distância, tipo de som (três níveis: assobio, *burst pulse* e *click*), temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez e profundidade. Como estas variáveis atuam juntas no ambiente e algumas relações são esperadas (maior temperatura na região NE, maior profundidade, maior salinidade e menor turbidez no local externo), foi testada a colinearidade entre as variáveis preditoras para que o modelo incluísse o menor número de variáveis possível e tivesse um maior poder de predição. As interações entre as variáveis também foram avaliadas, já que poderia haver uma relação, principalmente, da variável local com as variáveis ambientais. Como não houve colinearidade, nem interação significativa entre nenhuma destas variáveis, o modelo inicial proposto foi:

$$\text{NPS} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{região} + \beta_2 \cdot \text{local} + \beta_3 \cdot \text{distância} + \beta_4 \cdot \text{tipo de som} + \beta_5 \cdot \text{temperatura} + \beta_6 \cdot \text{salinidade} + \beta_7 \cdot \text{oxigênio dissolvido} + \beta_8 \cdot \text{turbidez} + \beta_9 \cdot \text{profundidade} + \varepsilon \quad \text{Eq. (2)}$$

onde, α é o coeficiente linear e representa onde a reta intercepta o eixo Y, β é o coeficiente angular, o qual determina a inclinação da reta e ε é o erro experimental do modelo. Este modelo atendeu a todas as premissas para a realização da regressão linear múltipla. Para obtenção do modelo mais parcimonioso, o qual retém apenas as variáveis preditoras importantes para explicar a variação do NPS, foi utilizado o processo de remoção sequencial das variáveis com base na comparação dos valores do Critério de Informação de Akaike (AIC) entre modelos. Através deste processo foram removidas, sequencialmente, a temperatura, a região e a profundidade, gerando o seguinte modelo que foi testado:

$$\text{NPS} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{local} + \beta_2 \cdot \text{distância} + \beta_3 \cdot \text{tipo de som} + \beta_4 \cdot \text{salinidade} + \beta_5 \cdot \text{oxigênio dissolvido} + \beta_6 \cdot \text{turbidez} + \varepsilon \quad \text{Eq. (3)}$$

O teste de Mann-Whitney (U) foi utilizado para verificar se os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* e os parâmetros ambientais eram diferentes entre os locais de amostragem, externo e interno. O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar os parâmetros sonoros entre as distâncias amostradas, seguido do teste *a posteriori* de Dunn, com nível de confiança de 95%, para indicar em quais distâncias haviam diferenças significativas entre os parâmetros sonoros. Os testes não-paramétricos foram utilizados, pois os dados não atendiam todas as premissas para os testes paramétricos. Para valores absolutos consultar Apêndice 1.

Todos os testes estatísticos foram realizados através do Programa BioEstat 5.0 (Ayres *et al.* 2007) e em ambiente R versão 3.3.3 (R Core Team, 2017). Os gráficos dos valores preditos para ambos os modelos foram realizados através do pacote *effects* (versão 3.1-2; Fox, 2003) em ambiente R.

RESULTADOS

O modelo proposto foi capaz de explicar 72% da variação do NPS em função das variáveis preditoras propostas ($R^2 = 0,72$; $F = 103,00$, g. l. = 278, $p < 0,0001$). Todas os níveis dentro do modelo foram significativos, exceto assobio e *burst pulses* que não apresentaram valores de NPS diferentes entre si (Tabela I).

Tabela I. Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo proposto: $NPS = \alpha + \beta \cdot \text{local} + \beta \cdot \text{distância} + \beta \cdot \text{tipo de som} + \beta \cdot \text{salinidade} + \beta \cdot \text{oxigênio dissolvido} + \beta \cdot \text{turbidez} + \varepsilon$. Os valores de referência no intercepto são tipo de som assobio e local externo.

	Coefficiente de regressão	Erro padrão	Teste t	p-valor
Intercepto	151,14	4,83	31,29	<0,001
<i>Burst pulses</i>	-2,16	1,20	-1,80	0,07
<i>Clicks</i>	5,28	1,20	4,41	<0,001
Local_Interno	-7,12	2,19	-3,25	<0,01
Distância	-0,04	0,00	-17,61	<0,001
Salinidade	-0,33	0,09	-3,76	<0,001
Oxigênio dissolvido	0,51	0,17	3,07	<0,01
Turbidez	-0,34	0,07	-5,17	<0,001

Assim, o NPS diminui com a distância, com a salinidade, com a turbidez e aumenta com a concentração de oxigênio dissolvido na água (Fig. 3). Também, é menor no local interno e maior para os *clicks* (Fig. 3).

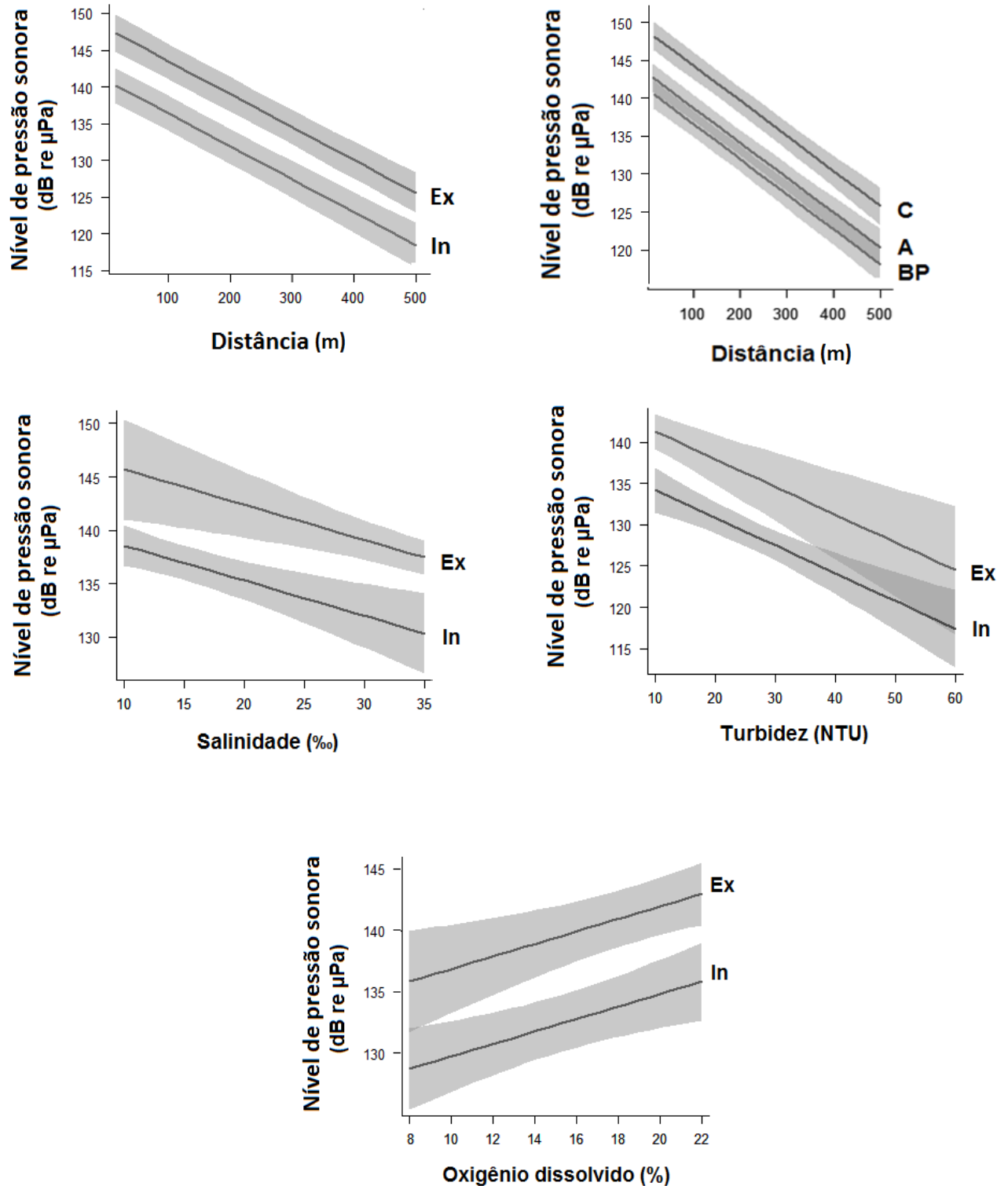


Figura 3. Predição dos valores do nível de pressão sonora (NPS) dos sons de *Sotalia guianensis* em função das variáveis predictoras (ver tabela I). Ex = local externo; In = local interno; C = *click*; BP = *burst pulses*; A = assobio. A faixa cinza indica o intervalo de confiança de 95%.

É possível observar que os dados do NPS dos sons de *S. guianensis*, deste estudo, se aproximam dos valores previstos de atenuação de acordo com a lei de propagação esférica do som (Fig. 4). Os dados permitem verificar que os locais externo e interno apresentam valores de NPS acima e abaixo, respectivamente, do esperado nas distâncias amostradas (Fig. 4).

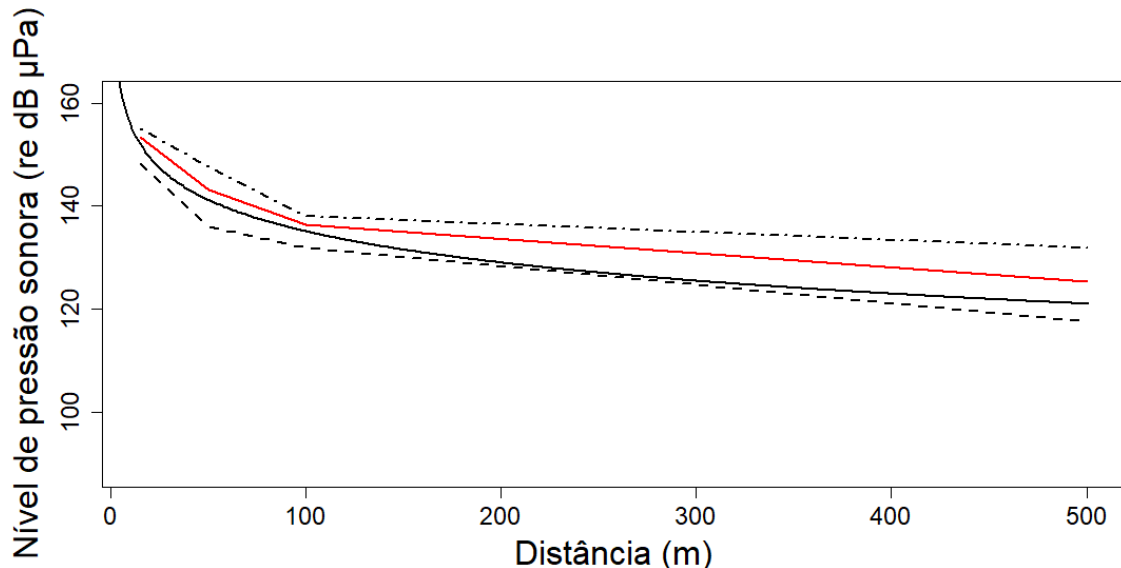


Figura 4. Nível de pressão sonora (NPS) de sons de *Sotalia guianensis* em função da distância. A linha sólida preta corresponde aos valores previstos segundo a lei de propagação esférica do som [$NPS = NPS_{origem} - 20 \log_{10}(distância)$]. A linha sólida vermelha corresponde ao NPS de sons de *S. guianensis* a 15, 50, 100 e 500 m da origem do som considerando ambos os locais (interno e externo), amostrados no nordeste e sudeste do Brasil. A linha traço e ponto acima, corresponde ao NPS no local externo e a linha tracejada abaixo, corresponde ao NPS no local interno, para as mesmas distâncias em ambas as regiões do Brasil (NE + SE).

A atenuação sonora devido a distância influenciou o registro de outros parâmetros sonoros dos *burst pulses* e *clicks* que não o NPS. A TRP ($H = 11,45$; $p = 0,01$; Fig. 5) e número de bandas dos *burst pulses* ($H = 26,56$; $p < 0,001$; Fig. 5) foram significativamente diferentes entre as quatro distâncias amostradas. Enquanto que, para os *clicks*, foram diferentes a duração ($H = 13,05$; $p = 0,01$; Fig. 5) e a frequência mínima ($H = 21,29$; $p < 0,001$; Fig. 5). Estas diferenças são visíveis em espectrogramas, oscilogramas e espectros de frequência (Fig. 6). Não houve diferenças significativas na duração ($H = 7,25$; $p = 0,06$), na frequência mínima ($H = 7,46$; $p = 0,06$) e na frequência máxima ($H = 2,54$; $p = 0,47$) dos assobios conforme a distância. Também, não houve variação no número de *clicks* registrados ($H = 7,38$; $p = 0,06$).

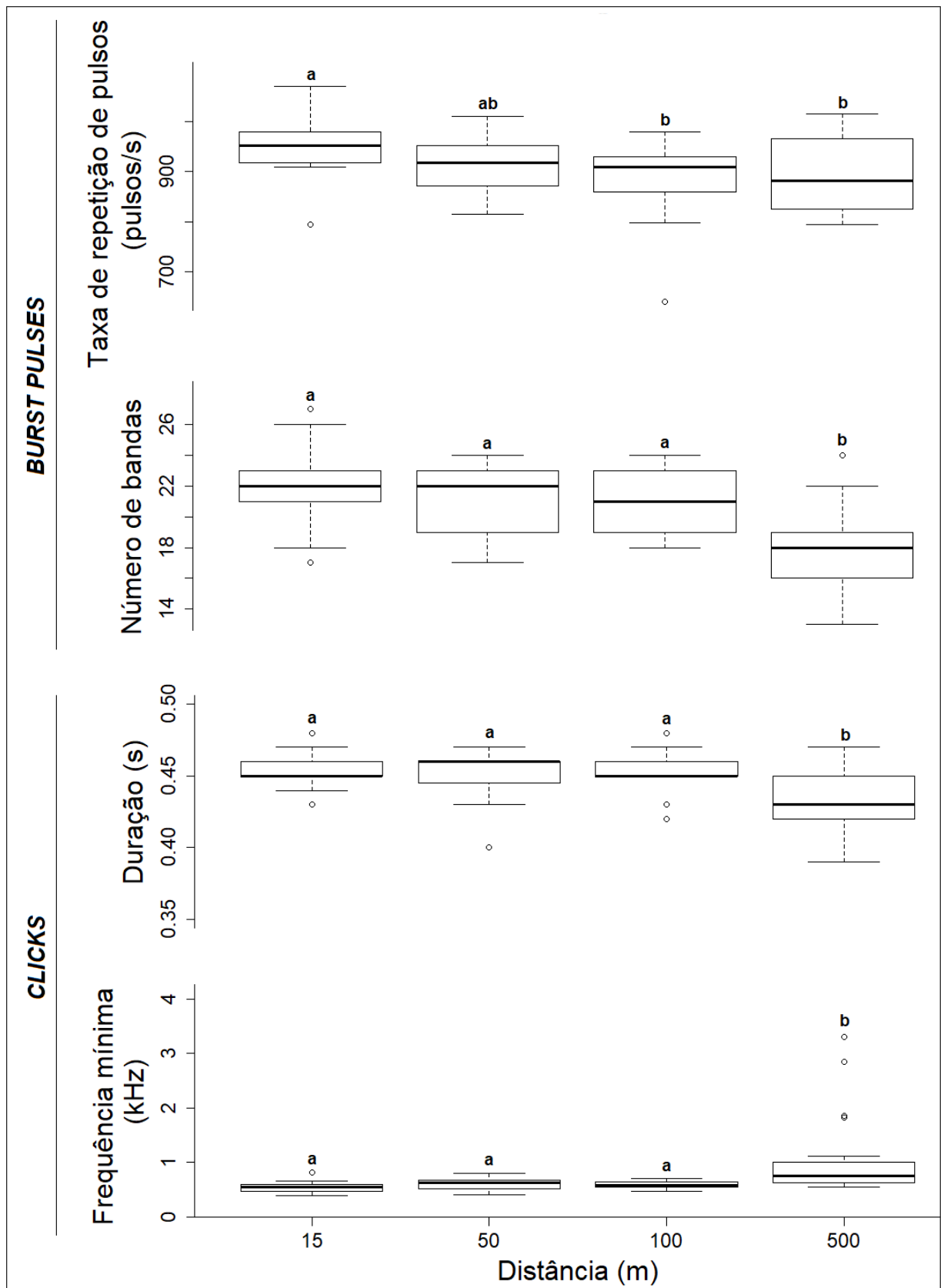


Figura 5. Boxplots dos parâmetros sonoros de playbacks de sons de *Sotalia guianensis* que foram significativamente diferentes entre as distâncias amostradas, no nordeste e sudeste do Brasil. As letras minúsculas a e b indicam as distâncias em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste *a posteriori* de Dunn.

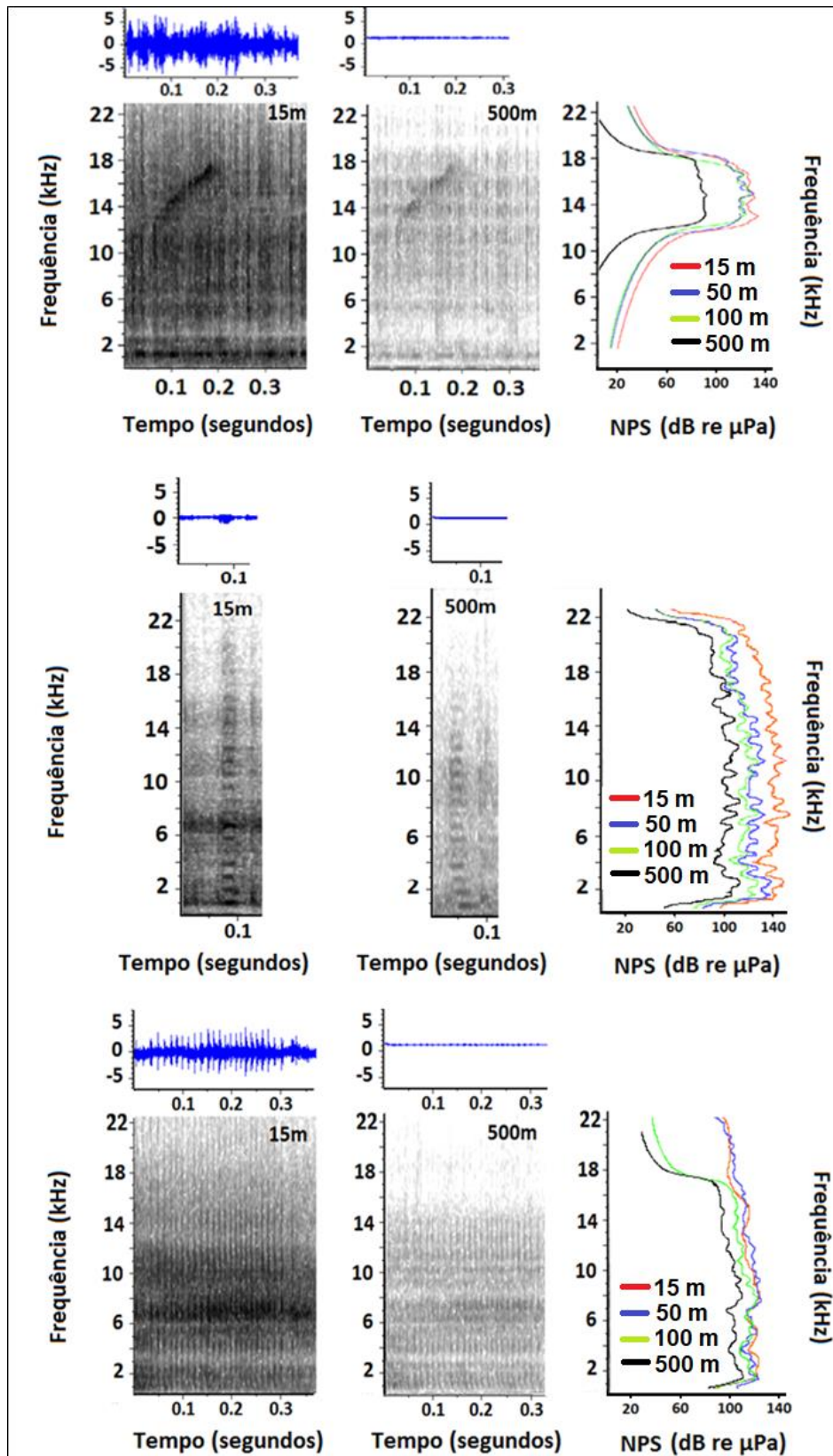


Figura 6. Degradação do NPS e dos parâmetros de frequência nos *playbacks* de um assobio (acima), de *burst pulses* (centro) e de *clicks* (abaixo) de *Sotalia guianensis*, conforme a distância da origem do som, no nordeste e sudeste do Brasil. É possível observar na distância de 500 m, uma menor amplitude dos sons (oscilograma; azul), bem como uma coloração cinza mais clara no espectrograma. À direita da figura observa-se os espectros de frequência para cada tipo de som, nas quatro distâncias amostradas. Nestes gráficos, nota-se a diminuição do NPS (nível de pressão sonora) conforme o aumento da distância. A faixa de frequência na qual o som é registrado, também, é menor a 500 m de distância da origem do som, principalmente para assobios e *clicks*.

Entre os locais externo e interno, outros parâmetros sonoros apresentaram diferenças significativas. A duração do assobio ($U = 830,00$; $p = 0,02$; Fig.7) e o número de bandas dos *burst pulses* ($U = 844,00$; $p = 0,02$; Fig.7) foram maiores no local externo. Também, os parâmetros de salinidade ($U = 8424,00$; $p < 0,0001$), concentração de oxigênio dissolvido ($U = 12168,00$; $p < 0,0001$) e turbidez ($U = 2016,00$; $p < 0,0001$) da água foram significativamente diferentes, com maior salinidade, maior concentração de oxigênio dissolvido e menores níveis de turbidez no local externo (Fig. 7).

DISCUSSÃO

A hipótese de haver uma variação no NPS de sons de *S. guianensis* nas menores escalas de variação espacial (distância e local) foi confirmada, bem como a interferência dos parâmetros ambientais na predição da propagação do som segundo a lei de propagação esférica. Contudo, nem todos os parâmetros ambientais que, julgávamos ser importantes influenciaram na variação do NPS durante as amostragens, principalmente devido às particularidades que as regiões costeiras e estuarinas apresentam em comparação às predições de propagação sonora estabelecidas em ambientes oceânicos.

Os sons de *S. guianensis* (assobios, *burst pulses* e *clicks*) utilizados nos testes sofreram atenuação conforme o previsto na lei de propagação esférica (Urick, 1983), onde o NPS decai com o quadrado da distância da origem do som. Assim, segundo os dados, é possível prever a atenuação dos sons de odontocetos nas áreas de estudo. No entanto, para predições mais acuradas, devemos levar em consideração os parâmetros ambientais e geográficos dos locais amostrados, visto que o local externo (maior influência marinha, maior profundidade, maior salinidade e menor turbidez) apresenta NPS ligeiramente maior que o esperado segundo a mesma lei. Por outro lado, o local interno apresenta valores ligeiramente menores de NPS.

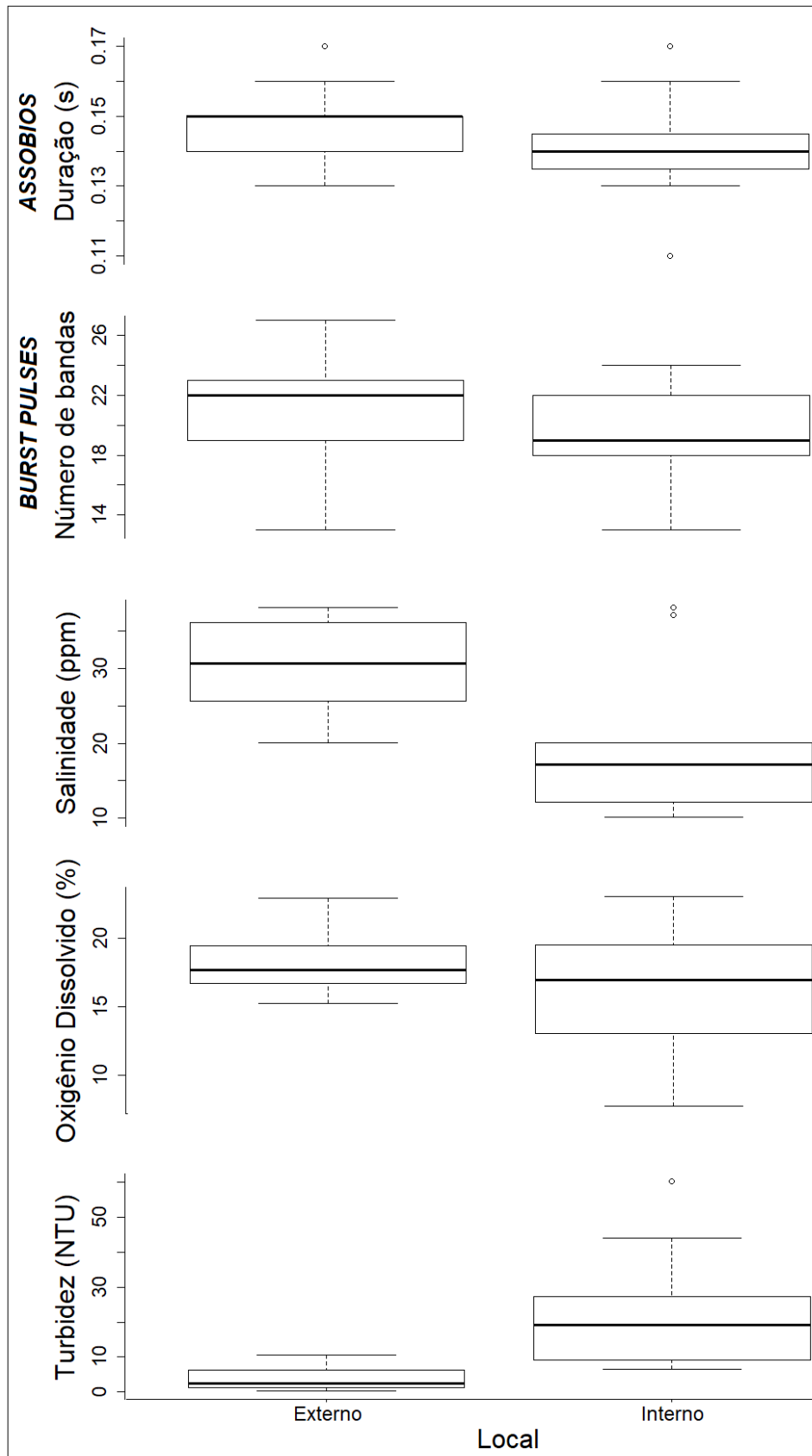


Figura 7. Boxplots dos parâmetros sonoros de playbacks de sons de *Sotalia guianensis* e dos parâmetros ambientais que foram significativamente diferentes entre os locais amostrados, no nordeste e sudeste do Brasil.

Os menores valores do NPS no local interno podem ser devido às interações da onda sonora com o assoalho aquático. De uma maneira geral, as interações da onda sonora com a superfície e fundo oceânico podem afetar a atenuação do som. Em um mesmo ponto do espaço pode haver o encontro de várias ondas derivadas da reflexão do som ou, então, estas ondas derivadas da reflexão, somarem-se, gerando sons com maior amplitude que o som direto (DeRuiter *et al.*, 2010). O contrário também pode ser visto, a onda sonora sendo atenuada, dependendo da composição dos sedimentos (Macedo *et al.*, 2009; Sanjana *et al.*, 2014). Neste contexto, os sedimentos lodosos provenientes de rios nas localidades internas, deste estudo, devem contribuir para a absorção dos sons, resultando em uma menor quantidade de reflexões e, conseqüentemente, uma maior atenuação sonora (Sanjana *et al.*, 2014). Assim, a lei de propagação esférica, utilizada comumente para calcular a atenuação de sons de cetáceos, pode não ser suficiente para explicar tais variações (DeRuiter *et al.*, 2010).

A perda do nível de pressão dos sons de *S. guianensis* em um raio de 500 m da origem do som, levando em consideração somente a distância, é de aproximadamente 20%. Isto, indica que durante amostragens dos sons de cetáceos em zonas costeiras, os sistemas de gravação poderiam estar registrando sons produzidos por indivíduos a meio quilômetro de distância. Esta informação, torna ainda mais difícil o delineamento de estudos com pequenos cetáceos, pois a capacidade de um hidrofone multidirecional captar sons emitidos a grandes distâncias dificulta a associação dos sons com os indivíduos, tipo de agrupamento e comportamentos exibidos por estes golfinhos. No entanto, dependendo do NPS do som original, o som recebido a 500 m de distância ou mais pode estar fora do **limiar de audição** para a espécie. Por exemplo, entre 16 e 32 kHz a média do limiar de audição para *S. guianensis* foi estimado em 67 dB re μPa , com base em testes de um indivíduo em cativeiro (Sauerland e Dehnhardt, 1998). Assim, se um som é emitido a 80 dB re μPa , ele pode não ser percebido a 500 m por outros indivíduos dentro das áreas amostradas, pois segundo nosso modelo, o qual inclui além da distância outras variáveis preditoras, haveria uma perda de cerca de 30 dB. Esta distância pode ser ainda menor quando pensamos em outros parâmetros da água que, segundo nosso modelo, podem influenciar na propagação de todos os sons da espécie, como a concentração de oxigênio dissolvido, a turbidez e salinidade da água.

Embora os parâmetros de frequência e duração de um som não mudem diretamente conforme a distância da origem, no presente estudo foi possível verificar que a diminuição do NPS pode afetar tais parâmetros, principalmente nas frequências mais altas (Mouterde *et al.*, 2014). Isto ocorre porque frequências mais altas tem menor comprimento de onda, sofrendo maior absorção e, conseqüentemente, percorrendo menores distâncias (Berta *et al.*, 2006). Também, ocorre devido a maior absorção da energia sonora de frequências mais altas por moléculas presentes na água, quando comparadas a baixas frequências (Au e Hastings, 2008; Merchant *et al.*, 2014; Erbe *et al.*, 2016).

Alterações nos parâmetros de frequência em decorrência da distância também foram verificados em outros grupos taxonômicos, como em aves (Mouterde *et al.*, 2014). Estas degradações sonoras, no entanto, podem não ser prejudiciais à comunicação animal. Para aves e cetáceos, a perda de informação em elementos com mais alta frequência, como os harmônicos, pode indicar a distância e o sentido de movimentação do animal emissor em relação ao receptor de um determinado som (“*ranging*”; Morton, 1986; Ey e Fischer, 2009; Lammers e Au, 2003). No presente estudo, observou-se, por exemplo, mudanças significativas na quantidade de bandas de *burst pulses* entre as distâncias, com menores quantidades registradas a maiores distâncias. Este menor número de bandas indica a distância do golfinho emissor para possíveis receptores da informação contida neste som, facilitando a coesão, a movimentação e as estratégias de pesca em um agrupamento destes pequenos cetáceos (Branstetter *et al.*, 2012).

A temperatura é considerada o fator mais importante, dentre os parâmetros ambientais, para o cálculo da velocidade do som na água (Au e Hastings, 2008; Bradley e Stern, 2008). No entanto, a hipótese de que o NPS seria proporcionalmente maior com o aumento da temperatura na água não foi confirmada no presente estudo. Tanto a temperatura, como a profundidade não foram importantes para demonstrar a variação dos sons nas diferentes escalas espaciais. Portanto, estes parâmetros são importantes em estudos de propagação sonora em larga escala oceânica (Urick, 1983), ao passo que outros fatores ambientais, como a quantidade de partículas em suspensão na água, devem ser mais relevantes para estudos em regiões costeiras e estuarinas, onde não ocorram variações significativas de profundidade e de densidade da água.

Mares costeiros que, apresentem certas profundidades, também podem apresentar uma alta estratificação da coluna d’água, com a formação de camadas,

como aquelas citadas para o ambiente oceânico e influenciadas pela temperatura, salinidade e pressão. A camada superficial geralmente é mais homogênea, seguida de uma camada intermediária denominada **termoclina**, na qual a temperatura da água decai rapidamente com a profundidade. Por fim, há uma camada mais profunda, na qual temperatura e salinidade são mais estáveis e, então, a pressão é o parâmetro de maior influência (Bradley e Stern, 2008). Devido a esta estratificação, somado à sazonalidade, ambientes estuarinos apresentam também condições diferenciais de propagação sonora ao longo da profundidade (Klusek e Lisimenka, 2016). Assim, mesmo que alguns estudos proponham que o nível de ruído espectral possa diminuir com a profundidade oceânica (Wenz, 1962; Barclay e Buckingham, 2013), experimentos em águas costeiras do Mar Báltico demonstraram que maiores profundidades podem apresentar maiores níveis de ruído (Klusek e Lisimenka, 2016). Isto ocorre devido à propagação de ruídos originados pelo vento e embarcações serem distintas acima ou dentro da termoclina sazonal (Bradley e Stern, 2008; Klusek e Lisimenka, 2016; Figura 2 na seção Prólogo).

A salinidade é outro parâmetro cuja influência é considerada sobre a velocidade do som no ambiente marinho (Bradley e Stern, 2008). Teoricamente, esperava-se maior NPS em maiores salinidades, pois com maior quantidade de sais, maior é a densidade da água e, assim, maior a proximidade entre as moléculas, potencializando a propagação do som (Richardson *et al.*, 1995; Bradley e Stern, 2008). Por outro lado, a perda de energia por absorção pode ocorrer por relaxamento das moléculas do meio (Forrest, 1994). Por exemplo, no oceano há vários sais dissolvidos e que podem possuir mais de uma forma molecular, como o sulfato de magnésio (Bradley e Stern, 2008). Para conversão destas moléculas em outras formas é necessária energia, sendo o som um dos doadores de energia para estes processos (Bradley e Stern, 2008). Assim, ocorre a perda de intensidade da onda sonora por absorção destas moléculas de sais.

Menor concentração de oxigênio dissolvido, portanto, maior quantidade de matéria orgânica na água e maiores níveis de turbidez, indicam maiores quantidade de partículas em suspensão na água (Davies-Colley e Smith, 2001). Sons emitidos nestas condições estão propensos à absorção e à atenuação ao longo de sua propagação (Bradley e Stern, 2008). Estudos em rios, também demonstram que a turbidez afeta outros parâmetros sonoros, além do NPS. Por exemplo, indivíduos de *Inia geoffrensis* (Iniidae) parecem adaptar seus *burst pulses* dependendo da quantidade de partículas em suspensão na água, diminuindo a duração e os

parâmetros de frequência e aumentando a taxa de emissão destes sons em águas mais turvas (Amorim *et al.*, 2016).

Através do presente estudo, é possível observar que o NPS de sons de *S. guianensis* diferem em uma mesma latitude (local externo, com influência marinha e, local interno, com influência de rios) e que a distância geográfica (regiões) pode não influenciar na propagação destes sons. Esta tendência vem sendo corroborada mais recentemente, contradizendo estudos anteriores que demonstram padrão mais semelhante de sons em populações próximas do que entre populações mais distantes (Azevedo e van Sluys, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006; May-Collado e Wartzok, 2009). Estes estudos compararam regiões do sul e sudeste com regiões do norte e nordeste do Brasil, sem levar em consideração se os pontos de amostragem eram locais com maior influência marinha ou estuarina/dulcícola. Nesses estudos, foi comparado um local interno do sul ou sudeste, com locais externos do norte ou nordeste. Portanto, sendo dois locais com características ambientais diferentes, proporcionaram a recepção de sons também diferentes. Assim, a diferença não se deve a latitude e, sim, aos locais amostrados. Outros estudos, com populações muito próximas de *S. guianensis*, indicam diferenças no repertório sonoro entre áreas (Leão *et al.*, 2015; Deconto e Monteiro-Filho, 2017). Vários parâmetros são utilizados para explicar estas diferenças e o presente estudo contribui para reforçar que os parâmetros da água influenciam na propagação de sons de *S. guianensis* que, assim como já documentado para *Inia geoffrensis* (Amorim *et al.*, 2016), deve adaptar o seu repertório sonoro de acordo condições ambientais.

Usos do estudo para a conservação da espécie

Através do modelo gerado neste estudo, é possível prever a influência de alterações ambientais nos parâmetros de salinidade, oxigênio dissolvido e turbidez, bem como de delineamentos amostrais em estudos de acústica, sobre o nível de pressão dos sons de *Sotalia guianensis*. Assim, a construção de modelos que incluam estas variáveis ambientais, além da distância, é de extrema importância para determinar como ocorre a propagação e comunicação sonora da espécie.

Uma aplicação do nosso modelo em estudos de impactos ambientais pode ser observada na análise das consequências da abertura do Canal do Valo Grande, ao norte do estuário de Cananéia, na comunicação do boto-cinza na região. Este

canal tinha como objetivo ligar o Rio Ribeira de Iguape até o Porto de Iguape, no entanto, acabou não sendo utilizado, pois as margens do rio desmoronaram e assorearam toda a sua foz, impedindo a passagem de embarcações (CBH-RB, 2011). Estudos na região revelam que a salinidade no local diminuiu 30 vezes e a turbidez da água aumentou muito devido ao assoreamento do estuário (CBH-RB, 2011). Utilizando o nosso modelo, podemos medir qual foi o impacto causado por estas mudanças ambientais na comunicação sonora de indivíduos de *S. guianensis*. Mantendo outras variáveis constantes, o NPS de um assobio a 500 m da origem de emissão seria 20% menor atualmente do que antes da abertura do Canal do Valo Grande. Considerando que o som original possuía 80 dB re μPa , o som captado nas novas condições de salinidade e turbidez a 500 m de distância terá 59 dB re μPa . Isto estaria, fora do limite mínimo de audição para a espécie, o qual é de 67 dB re μPa entre 16 e 32 kHz.

Outro exemplo de aplicação, poderia ter sido desenvolvido em 2015 no sudeste Brasil, quando ocorreu o maior desastre ambiental do país, o rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração, localizada no município de Mariana, Estado de Minas Gerais. Estes rejeitos percorreram 660 km do interior do país e atingiram o mar na costa do Estado do Espírito Santo, elevando os níveis de turbidez da água em até 100 NTU (UFES, 2017). Através do nosso modelo, ou de modelos que fossem delineados para o local, poderia ter sido calculado a perda do nível de pressão de sons de *S. guianensis* e outros delfínídeos, devido ao aumento de turbidez nesta região costeira.

Este estudo, fornece bases teóricas e experimentais para a determinação da influência dos parâmetros ambientais sobre a propagação sonora. Portanto, a metodologia apresentada pode e deve ser replicada em outras áreas e com outras espécies, permitindo a ampliação do conhecimento sobre a influência dos parâmetros ambientais em espécies que utilizam marcadamente o som como meio de comunicação, bem como as consequências da alteração das paisagens naturais devido a influência humana.

CAPÍTULO II

**Influência de parâmetros sazonais na propagação de assobios do boto-cinza,
Sotalia guianensis, em ambiente estuarino.**

Revista pretendida: Bioacoustics, ISSN (0952-4622), Fator de Impacto (JCR, 2015) =
1,364, Qualis CAPES (Biodiversidade) = B1.

RESUMO

O nível de pressão sonora (NPS) de sons do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, depende das condições do ambiente em que está sendo propagado. Distância, salinidade, oxigênio dissolvido e turbidez da água são os principais parâmetros que influenciam o NPS da espécie. Estes parâmetros ambientais variam conforme a estação do ano em estuários subtropicais. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar se a sazonalidade ambiental afeta a propagação dos sons de *S. guianensis* no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. Para tal, um experimento de propagação sonora foi conduzido na região para verificar se os parâmetros do assobio da espécie variavam significativamente conforme a estação do ano, verão e inverno, a distância entre origem e recepção do som e, conforme, parâmetros físico-químicos da água. Foram analisados quatro parâmetros sonoros, duração (s), frequências máximas e mínimas (kHz) e NPS (dB re μ Pa). A análise de regressão linear demonstrou que a estação do ano não foi importante para explicar a variação do NPS no estuário. O NPS foi dependente da distância, salinidade e turbidez. Assim, independente da denominação da estação do ano, quando houver maior nível de salinidade e menor de turbidez na água, haverá maiores NPS registrados na recepção do som. Por isso, espécies que habitam regiões que apresentam variações nos parâmetros ambientais ou, migram em poucos dias para áreas diferentes, devem ajustar seus repertórios sonoros para manter a mesma eficiência na comunicação entre indivíduos.

Palavras-chave: Propagação sonora. Sazonalidade. Boto-cinza. Assobios. Bioacústica.

ABSTRACT

The sound pressure level (SPL) of Guiana dolphin sounds depends on the conditions of the environment in which it is being propagated. Distance, salinity, dissolved oxygen and water turbidity are the main parameters that influence the NPS of the species. These environmental parameters vary according to the season in subtropical estuaries. Thus, the objective of this study was to determine if the environmental seasonality affects the propagation of Guiana dolphin sounds in the Cananéia estuary, Southeastern Brazil. For this, a sound propagation experiment was conducted in the region to verify if a whistle of the species varied significantly according to the season, summer and winter, the distance between origin and reception of the sound and, according to physical-chemical parameters of the water. Four sound parameters, duration (s), maximum and minimum frequencies (kHz) and SPL (dB re μPa) were analyzed. The linear regression analysis showed that the season was not important to explain the variation of SPL in the estuary. SPL was dependent on distance, salinity and turbidity. Thus, regardless of the denomination of the season, when there is a higher level of salinity and lower turbidity in the water, there will be higher SPL recorded in the sound reception. Therefore, species that inhabit regions with great variation of environmental parameters or migrate in a few days to different areas should adjust their sound repertoires to maintain the same efficiency in communication between individuals.

Keywords: Sound propagation. Seasonality. *Sotalia guianensis*. Whistles. Bioacoustics.

INTRODUÇÃO

Sons no oceano podem ser **atenuados** facilmente ao longo da distância de propagação, podendo a energia sonora a certas frequências, ser **absorvida** ou **refletida** no ambiente marinho (Urlick, 1983). Como consequência, de acordo com características ambientais os sons biológicos podem ser degradados tanto em **amplitude** como em **frequência** (Mouterde *et al.*, 2014).

A **degradação sonora** pode influenciar as espécies de animais marinhos, os quais utilizam o som para diversas funções, como comunicação, forrageamento, reconhecimento do ambiente, reprodução, entre outras (Berta *et al.*, 2006; Au e Hastings, 2008). Por isso, entender como um som se propaga nos habitats destes animais, contribui para entender como as variações ambientais podem influenciar as atividades e os repertórios sonoros destes animais.

Particularmente, para o boto-cinza, *Sotalia guianensis*, um pequeno odontoceto que habita águas costeiras da América Central e do Sul, foram descritos cinco tipos de sons: assobios, *burst pulses*, *clicks*, sons de baixa frequência e banda estreita (*LFN sounds*) e o gargarejo, sendo este último som emitido por filhotes (Monteiro-Filho e Monteiro, 2001; Deconto e Monteiro-Filho, 2016). Os assobios são o tipo de som mais estudado para espécie (Azevedo e Simão, 2002; Erber e Simão, 2004; Azevedo e van Sluys, 2005; Pivari e Rosso, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006; Figueiredo e Simão, 2009; May-Collado e Wartzok, 2009; Albuquerque e Souto, 2013; Deconto e Monteiro-Filho, 2013; May-Collado, 2013; Andrade *et al.*, 2015a; Andrade *et al.*, 2015b; Lima *et al.*, 2016; Bittencourt *et al.*, 2017). A maioria destes estudos tem como objetivo descrever estes sons, associar o repertório sonoro a comportamentos da espécie ou determinar a influência de atividades humanas sobre os assobios. No entanto, apenas um estudo tem como objetivo entender a influência dos parâmetros ambientais e da atenuação sonora na propagação dos sons de *S. guianensis* (Cap. I).

De maneira geral, assobios, *burst pulses* e *clicks* de *S. guianensis* sofrem atenuação sonora de acordo com a lei de **propagação esférica**, na qual a intensidade sonora decai com o quadrado da distância (Urlick, 1983; Cap. I). Todavia, em uma análise mais detalhada, é possível perceber que, dependendo das condições ambientais em que estes sons estão se propagando, a atenuação pode ser maior ou menor do que o esperado (Cap. I). Experimentos com sons de *Phocoena phocoena* (Phocoenidae) também apontam para variações nos

mensuramentos da atenuação de *clicks* desta espécie, conforme características do fundo oceânico, velocidade de propagação e parâmetros ambientais (DeRuiter *et al.*, 2010).

O clima subtropical no sul e sudeste do Brasil é caracterizado por apresentar sazonalidade marcada, com época (primavera/verão) de temperatura mais alta e maiores volumes de chuva e época (outono/inverno) de temperaturas baixas e menor pluviosidade (Alvares *et al.*, 2013; Tessler, 2001). No Complexo Estuarino de Cananéia, localizado no Estado de São Paulo, sudeste do Brasil, o regime pluviométrico, a descarga de água doce e a ação das correntes de maré influenciam na quantidade de partículas suspensas na água do estuário (Tessler, 2001) e, conseqüentemente, nos parâmetros de **turbidez** e **oxigênio dissolvido**. Sons emitidos em águas com uma grande quantidade de partículas em suspensão, estão propensos à absorção e à atenuação ao longo de sua propagação (Bradley e Stern, 2008), sendo que a salinidade, o oxigênio dissolvido e a turbidez já foram identificados como os principais parâmetros ambientais que influenciam na propagação de sons de *S. guianensis* em regiões costeiras e estuarinas (Cap. I). O sedimento nesta região é composto por areia fina e muito fina, com grãos moderadamente a bem (Domit, 2006). O clima da região é classificado como do tipo Cfa de Köppen com temperatura anual média de 21,5 °C (CBH-RB, 2008). A temperatura da água varia de 19 a 29 °C e a salinidade de 12 a 35 ppm dependendo da estação do ano (Godoy *et al.*, 2016; Miyashita e Calliari, 2016).

Assim, o objetivo deste estudo foi identificar a influência da sazonalidade sobre a propagação de sons de *S. guianensis* em Cananéia, sudeste do Brasil, considerando dois setores com distintas características dentro desta região e diferentes distâncias da origem e recepção do som. Esperou-se encontrar maiores **níveis de pressão sonora** (NPS dB re μ Pa) no inverno e no setor com maior influência marinha, pois nestas condições, há maiores salinidades, menores níveis de turbidez e maiores de concentração de oxigênio dissolvido na água. Também esperou-se registrar maiores NPS nas menores distâncias entre a origem e recepção do som, devido a intensidade sonora decair com o quadrado da distância (Urlick, 1983).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O Complexo Estuarino de Cananéia, localizado no Estado de São Paulo, apresenta 110 km de extensão e é constituído de um grande canal protegido (Mar Pequeno), uma baía (Baía de Trapandé) e três ilhas (Ilha Comprida, Ilha do Cardoso e Ilha de Cananéia; Fig. 1). Esta região é considerada um dos cinco estuários menos depredados e mais produtivos em biomassa do mundo, além de ser parte da "Reserva da Biosfera da Mata Atlântica" (UNESCO, 2012) e estar protegida por Áreas de Proteção Ambiental Estadual e Federal (CBH-RB, 2008). As áreas de amostragens encontram-se entre as coordenadas 25°01' a 25°15'S e 47°52' a 48°06'W (Fig. 1).

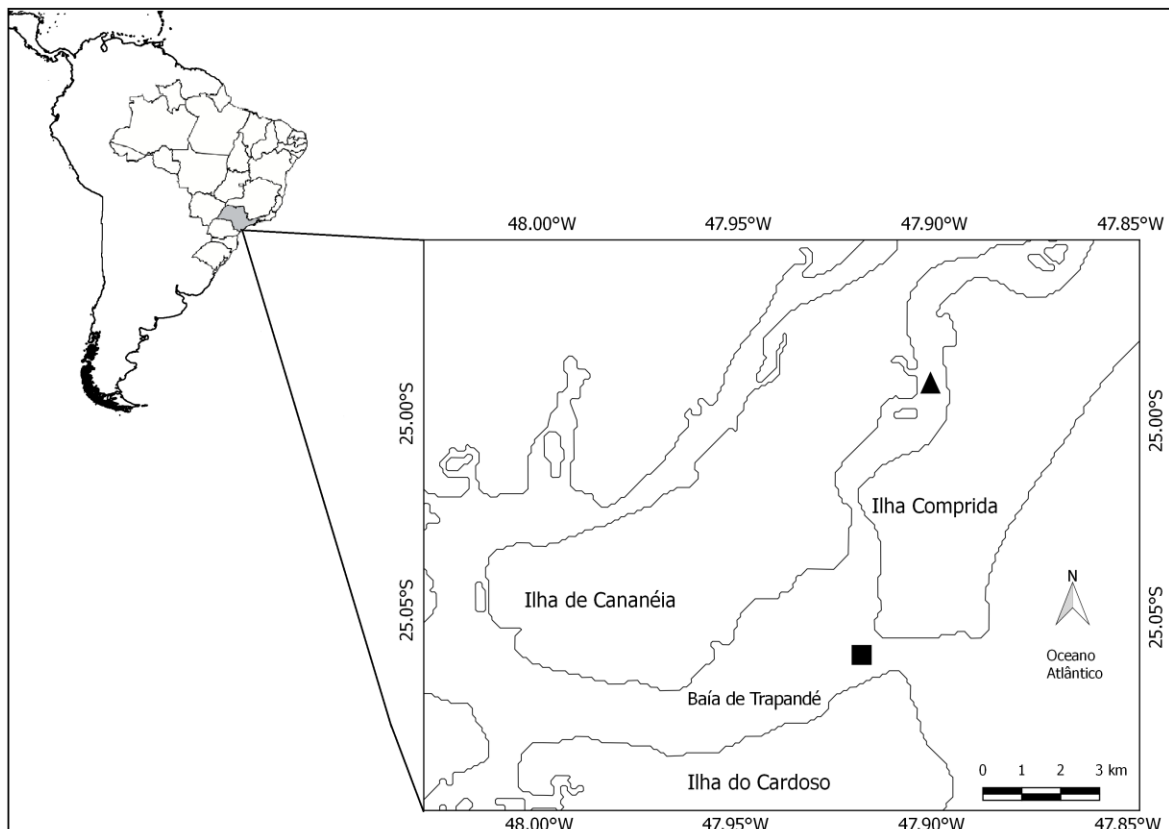


Figura 1. Setor amostrado do Complexo Estuarino de Cananéia, Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. O triângulo preto indica o setor interno, no qual ocorreram as amostragens próximas a rios. O quadrado preto indica o setor externo, no qual ocorreram as amostragens próximas a mar aberto.

Procedimentos

Visando avaliar a possível influência das estações do ano e de parâmetros ambientais sobre o NPS de assobios de *Sotalia guianensis*, foram realizadas duas amostragens no verão e duas amostragens no inverno no estuário de Cananéia.

Como modelo para este estudo foi utilizado um assobio da espécie, previamente gravado na região de Cananéia, com tempo de 0,14 segundos e faixa de frequência entre 12,65 e 18,11 kHz. Os assobios são os sons com maior taxa de repetição para a espécie na área amostrada (Monteiro e Monteiro-Filho, 2001; Deconto e Monteiro-Filho, 2017).

Em cada amostragem, os testes foram conduzidos em dois setores amostrais (Fig. 1), os quais representam as diferentes características ambientais encontradas por *S. guianensis* dentro do estuário de Cananéia. O primeiro setor foi denominado de interno, sendo situado próximo a rios, com menor profundidade, menor salinidade e maior turbidez da água quando comparado ao segundo setor. Este, foi denominado de externo e encontra-se na desembocadura do estuário de Cananéia, possuindo maiores profundidades, maior salinidade e menor turbidez.

Dentro de cada setor foram determinadas as distâncias de 15, 50, 100 e 500 m entre o sistema de emissão e recepção dos sons. De acordo com a lei de propagação esférica, esperara-se registrar sons com atenuação de 24, 34, 40 e 54 dB no NPS a estas distâncias, já que o NPS é proporcional ao inverso do quadrado da distância da origem do som (Urick, 1983). Esta relação pode ser expressa conforme equação abaixo:

$$\text{Atenuação do som (dB/m)} = 20 \log_{10}(\text{distância}) \quad \text{Eq. (1)}$$

Determinadas estas variáveis, o experimento consistiu em emitir o assobio em três sequências independentes para cada uma das distâncias estabelecidas através de autofalante subaquático multidirecional LL916 (Lubell Labs, frequência de resposta de 200 Hz a 20 kHz) o sistema de recepção dos sons em um **hidrofone** multidirecional C53 (Cetacean Research Technology, frequência de resposta de 14 Hz a 250 kHz e média de **sensitividade** de -165 dB re 1 V/ μ Pa) acoplado a um gravador digital (Foxtex FR2-LE, capacidade de gravação 96 kHz e frequência de resposta de 48 kHz). O NPS na origem do som foi de 175 dB re 1 μ Pa @ 1m. O

autofalante e o hidrofone foram posicionados a aproximadamente 2 m de profundidade.

Como a onda sonora é dependente também de parâmetros físico-químicos da água e, estes parâmetros variam com a estação do ano, a cada distância, também foram coletados a temperatura superficial (°C), a salinidade (ppm, partes por milhão), a concentração de oxigênio dissolvido (%), a turbidez (NTU, Unidades Nefelométricas de Turbidez) e a profundidade (onde se encontrava o hidrofone; em metros) para testar a influência destes parâmetros na variação do NPS (dB re μ Pa).

Análises sonoras e estatísticas

Os sons foram analisados usando o programa RAVEN 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology, New York). Nos **espectrogramas** gerados pelo programa foram registrados parâmetros sonoros, duração (s), frequências máximas e mínimas (kHz) e NPS (dB re μ Pa) dos assobios. Além da análise dos espectrogramas, foram inspecionados os **oscilogramas** e os **espectros de frequência**, visando a verificar o quanto tais parâmetros mudavam em diferentes condições ambientais.

Todos os testes estatísticos foram realizados através do Programa BioEstat 5.0 (Ayres *et al.* 2007) e em ambiente R versão 3.3.3 (R Core Team, 2017). O teste de Mann-Whitney (*U*) foi utilizado para comparar a tendência central (mediana) dos parâmetros sonoros e ambientais observados entre estações do ano (verão e inverno) e entre setores (externo e interno). O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar os parâmetros sonoros e ambientais observados entre distâncias e entre os setores em cada estação do ano. Os testes não-paramétricos foram utilizados, pois os dados não atendiam todas as premissas para os testes paramétricos.

Para verificar a influência da estação do ano e dos parâmetros ambientais sobre o NPS foi realizada uma análise de regressão linear múltipla. A variável resposta foi o NPS (dB re μ Pa) e as variáveis preditoras foram estação do ano (dois níveis, verão e inverno), setor (dois níveis, externo e interno), distância, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez e profundidade. Como estas variáveis atuam juntas no ambiente e algumas relações são esperadas (maior temperatura no verão; maior profundidade, maior salinidade e menor turbidez no setor externo) foi testada a colinearidade entre as variáveis preditoras para que o modelo incluísse o menor número de variáveis possível e tivesse um maior poder de predição. As interações

entre as variáveis também foram avaliadas, já que poderia haver uma relação, principalmente, do setor com as variáveis ambientais. Houve colinearidade entre estação do ano e temperatura ($r = 0,95$; $p < 0,01$) e entre setor e salinidade ($r = 0,79$; $p < 0,01$), por isso estas variáveis categóricas foram excluídas do modelo. Não houve nenhuma interação significativa entre as outras variáveis. Por isso o modelo proposto foi:

$$\text{NPS} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{distância} + \beta_2 \cdot \text{temperatura} + \beta_3 \cdot \text{salinidade} + \beta_4 \cdot \text{oxigênio dissolvido} + \beta_5 \cdot \text{turbidez} + \beta_6 \cdot \text{profundidade} + \varepsilon \quad \text{Eq. (2)}$$

onde, α é o coeficiente linear e representa onde a reta intercepta o eixo Y, β é o coeficiente angular, o qual determina a inclinação da reta e ε é o erro experimental do modelo. Para obtenção do modelo mais parcimonioso, o qual retém apenas as variáveis preditoras importantes para explicar a variação do NPS, foi utilizado o processo de remoção sequencial das variáveis com base na comparação dos valores do Critério de Informação de Akaike (AIC) entre modelos. Através deste processo foram removidas, uma a uma, a temperatura, a profundidade e o oxigênio dissolvido, gerando o seguinte modelo que foi testado:

$$\text{NPS} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{distância} + \beta_2 \cdot \text{salinidade} + \beta_3 \cdot \text{turbidez} + \varepsilon \quad \text{Eq. (3)}$$

Os gráficos dos valores preditos para ambos os modelos foram realizados através do pacote *effects* (versão 3.1-2; Fox, 2003) em ambiente R.

RESULTADOS

Os parâmetros sonoros dos assobios em Cananéia não diferiram entre as estações do ano ($U_{\text{Duração}} = 1001,00$, $p = 0,54$; $U_{\text{Frequência mínima}} = 823,00$, $p = 0,05$; $U_{\text{Frequência máxima}} = 1021,50$, $p = 0,65$; $U_{\text{NPS}} = 841,00$, $p = 0,07$), mas houve diferença significativa entre os valores de duração e NPS do assobio considerando os setores amostrados, com maiores valores para o setor externo ($U_{\text{Duração}} = 667,00$, $p < 0,01$; $U_{\text{Frequência mínima}} = 893,00$, $p = 0,15$; $U_{\text{Frequência máxima}} = 988,50$, $p = 0,48$; $U_{\text{NPS}} = 813,00$, $p = 0,04$; Fig. 2).

Os parâmetros ambientais que variaram significativamente entre as estações do ano foram a temperatura em ambos os setores, a concentração de oxigênio

dissolvido e a turbidez, ambas apenas no setor interno da área estudo (Fig. 3), o qual possui maior proximidade com rios da região. Apenas a turbidez da água no inverno não variou significativamente entre os setores amostrados (Fig. 3).

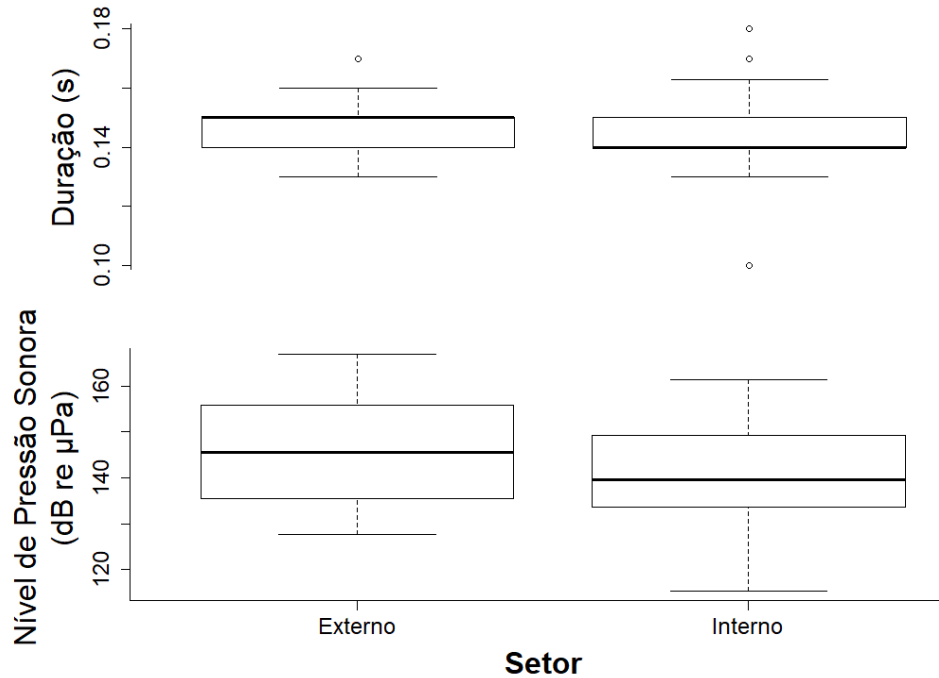


Figura 2. Parâmetros sonoros de playbacks do assobio de *Sotalia guianensis* que foram significativamente diferentes em função do setor amostrado em Cananéia, sudeste do Brasil. Os parâmetros de frequência do assobio não diferiram entre os setores (ver texto).

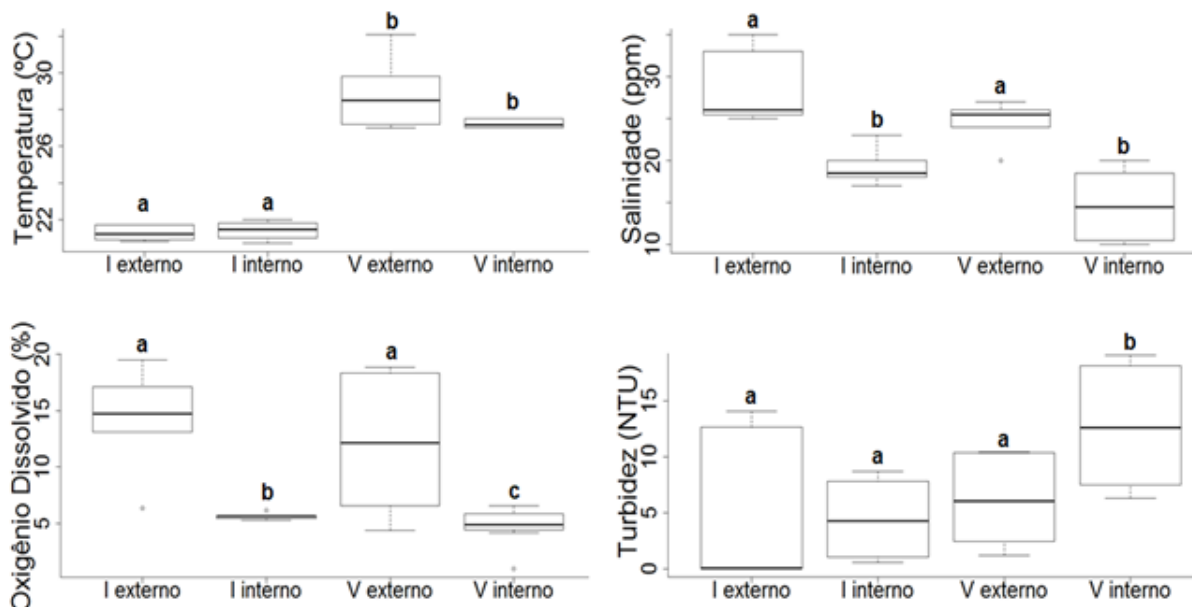


Figura 3. Parâmetros ambientais da água em função do setor e estação do ano amostrados em Cananéia, sudeste do Brasil. As letras minúsculas indicam a faixa de frequência em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste de Kruskal-Wallis seguido do teste *a posteriori* de Dunn.

Houve uma perda do NPS conforme o aumento da distância (Fig. 4). A perda do NPS, comparando as distâncias extremas de 15 m e 500 m, foi de 17,66% no verão e 16,36% no inverno. No verão, somente o NPS foi significativamente diferente entre as distâncias (Tabela I). Por outro lado, no inverno, todos os parâmetros sonoros (duração, frequência mínima, frequência máxima e NPS) foram significativamente diferentes em relação a distância da fonte emissora (Tabela I).

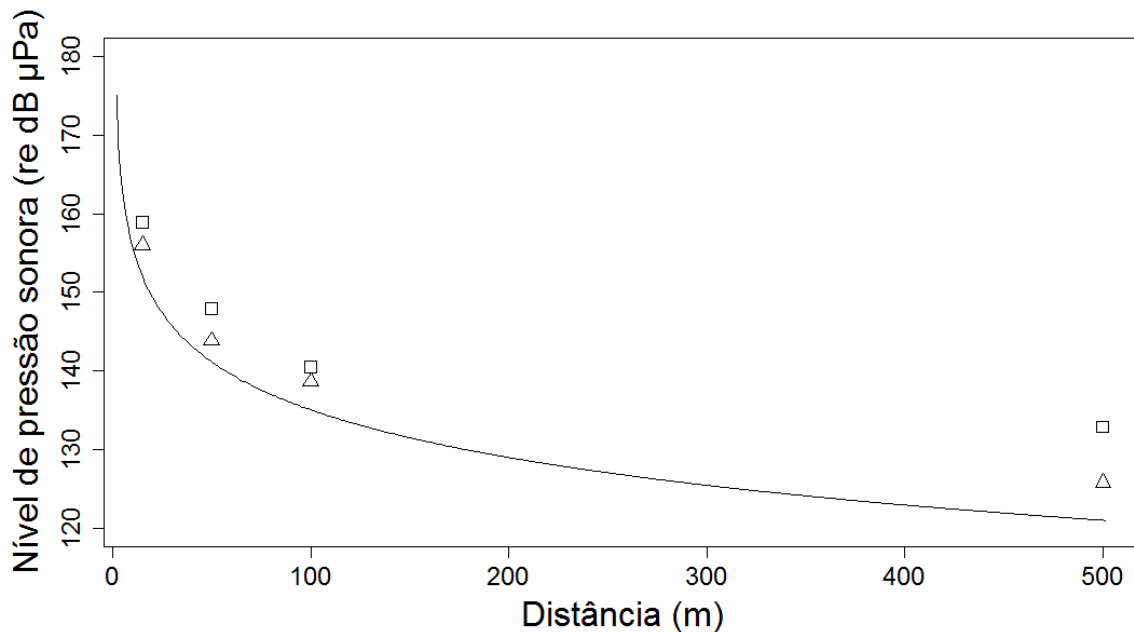


Figura 4. Nível de pressão sonora (NPS) de playbacks do assobio de *Sotalia guianensis* em função das distâncias amostradas em Cananéia, sudeste do Brasil. A linha corresponde aos valores preditos segundo a lei de propagação esférica do som [$NPS = NPS_{origem} - 20 \log_{10}(\text{distância})$]. Os quadrados indicam a média do NPS no inverno e os triângulos indicam a média do NPS no verão a 15, 50, 100 e 500 m da origem do som considerando ambos os setores amostrados (externo e interno) em Cananéia.

Tabela I. Estatística descritiva e análise de Kruskal-Wallis (*K-W*; *H*) para os parâmetros sonoros de assobios *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500 m de distância da fonte emissora em Cananéia, sudeste do Brasil. FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa). * *p*-valor < 0,05.

			15 m	50 m	100 m	500 m	K-W <i>H</i> <i>p</i>	Total
Verão	Duração	Média±DP	0,14±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	2,66	0,14±0,01
		CV (%)	7,14	6,67	6,67	6,67	0,45	7,14
		“Range”	0,13-0,16	0,14-0,16	0,14-0,16	0,13-0,16		0,13-0,16
	FMín	Média±DP	11,95±0,40	11,78±0,28	12,02±0,48	11,92±0,29	3,30	11,92±0,37
		CV (%)	3,35	2,38	3,99	2,43	0,35	3,10
		“Range”	11,35-12,57	11,25-12,27	10,90-12,65	11,64-12,54		10,90-12,65
	FMáx	Média±DP	17,69±0,19	17,61±0,20	17,59±0,18	17,58±0,09	3,25	17,62±0,17
		CV (%)	1,07	1,14	1,02	0,52	0,36	0,97
		“Range”	17,38-18,11	17,28-17,96	17,35-18,01	17,45-17,76		17,28-18,11
NPS	Média±DP	154,62±5,30	143,52±6,40	136,97±4,77	127,32±7,95	37,94	140,60±11,71	
	CV (%)	3,43	4,46	3,48	6,24	<0,01*	8,33	
	“Range”	149,40-162,50	135,00-151,80	127,70-140,90	115,30-134,80		115,30-162,50	
Inverno	Duração	Média±DP	0,15±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,14±0,01	8,60	0,15±0,01
		CV (%)	6,67	6,67	6,67	7,14	0,04*	6,67
		“Range”	0,13-0,18	0,14-0,17	0,13-0,16	0,10-0,15		0,13-0,18
	FMín	Média±DP	11,65±0,27	11,67±0,22	11,85±0,36	11,96±0,34	8,79	11,77±0,32
		CV (%)	2,32	1,89	3,04	2,84	0,03*	2,72
		“Range”	11,29-12,11	11,25-12,08	10,90-12,34	11,64-12,54		10,90-12,54
	FMáx	Média±DP	17,66±0,19	17,50±0,21	17,58±0,25	17,60±0,09	26,33	17,58±0,20
		CV (%)	1,08	1,20	1,42	0,51	<0,01*	1,14
		“Range”	17,35-18,11	17,10-17,85	17,00-18,01	17,48-17,76		17,00-18,11
	NPS	Média±DP	158,89±4,69	147,92±7,29	139,54±8,75	132,90±4,47	30,72	145,61±11,58
		CV (%)	2,95	4,93	6,27	3,36	<0,01*	7,95
		“Range”	152,10-166,90	138,10-160,30	129,20-154,80	127,50-138,70		127,50-166,90

O modelo proposto foi capaz de explicar 61% da variação do NPS em função das variáveis preditoras propostas ($R^2 = 0,61$; $F = 48,93$, g. l. = 89, $p < 0,0001$). Todas as variáveis inclusas no modelo foram significativas (Tabela II).

Tabela II. Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo proposto: $NPS = \alpha + \beta \cdot \text{distância} + \beta \cdot \text{salinidade} + \beta \cdot \text{turbidez} + \varepsilon$.

	Coefficiente de regressão	Erro padrão	Teste t	p-valor
Intercepto	148,06	3,19	46,43	<0,001
Distância	-0,05	0,004	-11,15	<0,001
Salinidade	0,31	0,13	2,40	0,02
Turbidez	-0,55	0,14	-4,05	<0,001

Assim, o NPS diminui com a distância e a turbidez e é maior com a salinidade (Fig. 5). A equação da reta ajustada pode ser verificada abaixo:

$$NPS = 148,06 - 0,05 * \text{distância} + 0,31 * \text{salinidade} - 0,55 * \text{turbidez} + \varepsilon$$

Como a salinidade está correlacionada com o setor (maior salinidade no setor externo; $r = 0,79$; $p < 0,01$), então pode-se afirmar que, se o NPS aumenta com a salinidade, então este parâmetro também é maior no setor externo, comparado ao setor interno.

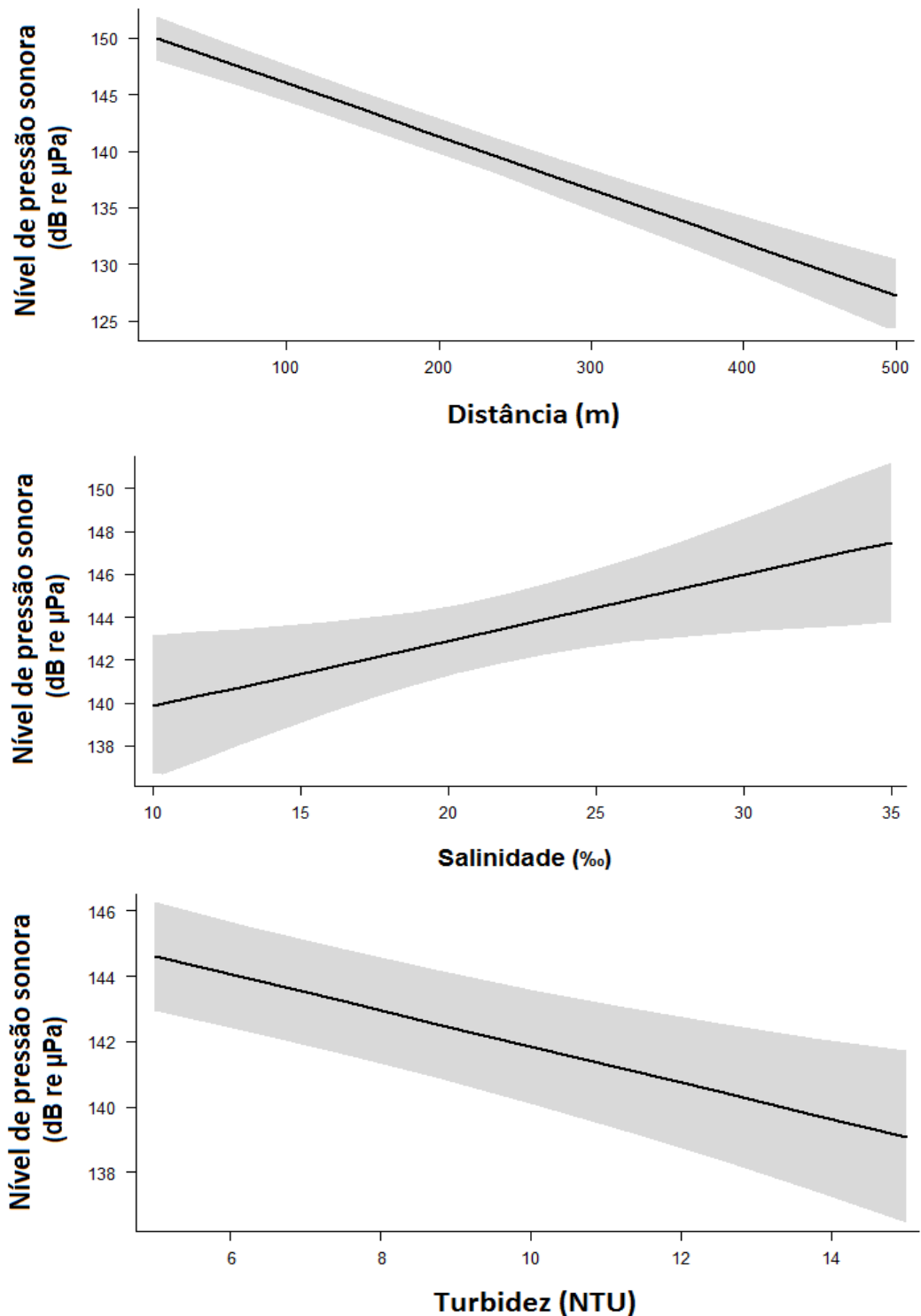


Figura 5. Predição dos valores do nível de pressão sonora (NPS) em função das variáveis predictoras do seguinte modelo: $NPS = 148,06 - 0,05 * distância + 0,31 * salinidade - 0,55 * turbidez + \epsilon$. Ex = setor externo; In = setor interno. A faixa cinza indica o intervalo de confiança de 95%.

DISCUSSÃO

Apesar da variação dos parâmetros ambientais entre estações do ano, não houve diferenças significativas entre os parâmetros sonoros no verão e no inverno. Uma possível explicação para tal fato é que a amplitude de variação da salinidade e turbidez dentro das estações do ano foi semelhante e ocorreu, possivelmente, como resposta à pouca variação de pluviosidade no período no qual se inclui as amostragens (CIIAGRO, 2017). A pluviosidade que no inverno deveria ser muito menor que no verão na região de Cananéia, acabou sendo semelhante nos períodos de amostragem, ou seja, a pluviosidade que é um parâmetro importante na região, não foi sazonalmente marcada (CIIAGRO, 2017). Assim, o modelo identifica a importância da salinidade e turbidez na variação do NPS, com maior NPS quando há maior salinidade e menor turbidez. No entanto, esta condição que seria esperada no inverno, ocorreu também no verão e, por isso, a estação do ano é excluída do modelo.

O aumento proporcional do NPS ao aumento da salinidade, ocorre, pois o aumento da salinidade na água, gera uma maior **densidade** e, portanto, maior facilidade na propagação do som e manutenção da intensidade ao longo da trajetória da onda (Richardson *et al.*, 1995; Bradley e Stern, 2008). Com relação a turbidez, observou-se no modelo uma relação negativa entre esta e o NPS. Isso acontece, porque o tipo de sedimento e a quantidade de descarga de água doce em zonas costeiras são fatores que influenciam a turbidez e, também, são importantes influências na propagação de ondas sonoras (Sanjana *et al.*, 2014). Nestes ambientes, a água é rica em sedimentos que atuam como barreiras na trajetória do som (Bradley e Stern, 2008). Assim, a cada choque da onda sonora com uma partícula em suspensão na água, há perda de energia e, portanto, o som é atenuado mais rapidamente (Bradley e Stern, 2008). Por isso, também foi verificado menores valores do NPS no setor interno da nossa área de estudo, pois esta é uma área próxima a rios e, conseqüentemente, com maior turbidez, quando comparado com o setor externo e próximo a desembocadura do estuário.

A atenuação do NPS conforme a distância segue o predito pela lei de propagação esférica do som, no entanto, com pequenas variações que refletem a realidade da área estudada. O NPS registrado foi ligeiramente maior que o esperado, segundo tal lei, em ambas as estações do ano. Isto, demonstra a importância de caracterizar outros parâmetros ambientais, além da distância, para

estudos com sons de animais marinhos (DeRuiter, 2010). Deste modo, nosso modelo resultante torna-se eficiente a medida que adiciona a salinidade e turbidez como fatores influentes na variação do NPS de *S. guianensis*.

Mesmo que este estudo não tenha registrado a influência direta da estação do ano na propagação de assobios de *S. guianensis*, isto ocorreu, não porque os sons não sofram influência dos parâmetros ambientais em diferentes estações, mas sim porque estas estações foram uniformes. Contudo, podemos considerar que os dois setores estudados em um mesmo período amostral acabam refletindo as variações ambientais esperadas em diferentes estações do ano, ou seja, o setor interno apresenta características da estação chuvosa, pois localiza-se próximo a desembocadura de rios (menor salinidade), com muito sedimento em suspensão e com menor turbulência (menor oxigenação). Já o setor externo, apresenta características de uma estação pouco chuvosa, ou seja, sem aporte de água doce (maior salinidade), com menos sedimentos em suspensão e maior turbulência (maior oxigenação) resultante da arrebentação próximo à barra. Neste panorama, pudemos registrar diferenças do NPS nos dois setores e, já que estes dois setores apresentam características de diferentes estações, é possível considerar que houve variação sazonal, pelo menos no NPS. Esta variação reforça a necessidade do comportamento plástico já relatado da espécie (Deconto e Monteiro-Filho 2013, 2016; Leão *et al.* 2015) e que levaria o boto-cinza a ajustar o NPS em diferentes épocas do ano e em diferentes setores do estuário a fim de obter as mesmas respostas em diferentes ambientes.

Para outras espécies também há registros de alteração do repertório sonoro conforme os parâmetros do meio. As baleias-azul, *Balaenoptera musculus*, podem ter a frequência dos seus sons alterada devido às mudanças climáticas globais, acidificação dos oceanos e aumento dos ruídos antropogênicos (McDonald *et al.*, 2009; Seghal *et al.*, 2010). Parâmetros de frequência e tempo de sons do boto, *Inia geoffrensis*, mudam conforme a turbidez dos rios em que habitam (Amorim *et al.*, 2016). Os ângulos de emissão de *clicks* do golfinho-corcunda-indopacífico, *Sousa chinensis*, são influenciados pela temperatura da água (Song *et al.*, 2017). Desta maneira, observa-se que a influência do meio na emissão sonora de mamíferos marinhos não é uma particularidade que tem sido relatada para *S. guianensis*, mas uma forte característica que afeta tanto baleias como golfinhos e em áreas marinhas, estuarinas e dulcícolas.

Este comportamento sonoro plástico parece ser uma característica muito comum a cetáceos, o que acaba por permitir que realizem migrações ou grandes deslocamentos. Então, a mudança nos parâmetros ambientais que se esperaria em um ano (sazonalidade), pode ocorrer em alguns dias ou meses para alguns indivíduos (Rice *et al.*, 2014). Durante estas movimentações, baleias e golfinhos passam por diferentes condições físicas do meio, as quais podem alterar a propagação sonora e a comunicação destes animais, podendo também afetar os comportamentos de forrageio e reprodução (Rice *et al.*, 2014; Burnham, 2017). Um mesmo indivíduo pode nadar mais de 200 km por dia, alcançando 650, 2000 km em um período de três a dez meses (O'Brien *et al.*, 2009; Scott e Chivers, 2009). Casos extremos registram indivíduos de *Tursiops truncatus*, golfinho-nariz-de-garrafa, percorrendo em média de 50 km/dia (1000 km em 20 dias; Wood, 1998; Hwang *et al.*, 2014) a 95 km/dia (189 km em dois dias; Hwang *et al.*, 2014). Assim, algumas espécies estariam sujeitas a diferentes condições ambientais (salinidade, oxigenação, turbidez, temperatura) que certamente influenciam nas emissões sonoras (no mínimo no NPS). Por isso, as espécies que realizam estas movimentações precisam apresentar plasticidade no comportamento sonoro, caso contrário, estariam sobre forte interferência do meio em sua comunicação e detecção de alvos e obstáculos.

Por tudo que foi exposto, a região de Cananéia não apresentou diferença entre os parâmetros ambientais nas estações do ano que denominamos verão e inverno. No entanto, as estações não apresentaram pluviosidade marcada, como se esperaria para uma região subtropical (Tessler, 2001; CIIAGRO, 2017). Por outro lado, os setores interno e externo apresentaram características de estação chuvosa e pouco chuvosa respectivamente, interferindo de forma diferentes sobre os sons avaliados, permitindo assim, validar a hipótese inicial de que há maiores NPS durante o inverno (neste caso, no setor externo). Nem todas as variáveis ambientais foram importantes para explicar a variação do NPS do assobio de *S. guianensis* neste estudo. Apenas, a salinidade e a turbidez demonstraram ser influentes na propagação deste som em Cananéia, sendo o oxigênio dissolvido suprimido da análise, diferentemente do que havia sido registrado para a região em estudo anterior (Cap. I). Tais parâmetros ambientais sofrem importantes mudanças sazonais, até mesmo diárias, em estuários e zonas costeiras. Por isso, estudos sonoros de espécies que ocorram nestas regiões devem considerar a importância destas variações no registro do repertório sonoro de cetáceos.

CAPÍTULO III

Influência de ruídos naturais e antropogênicos na composição do ambiente acústico estuarino da região de Cananéia, sudeste do Brasil.

Revista pretendida: *Marine Pollution Bulletin (Mar. Pollut. Bull.)*, ISSN (0025-326X), Fator de Impacto (JCR, 2015/2016) = 3,099, Qualis CAPES (Biodiversidade) = A2.

RESUMO

O turismo no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, vem crescendo nos últimos anos. Embora, algumas ações estejam sendo realizadas para o controle de embarcações na área, poucos estudos tem sido feitos em relação a produção de ruído no estuário e seus efeitos sobre a população do boto-cinza, *Sotalia guianensis*. Assim, o objetivo deste estudo é caracterizar o ambiente acústico do setor com maior trânsito de embarcações no estuário de Cananéia e produzir mapas do nível de pressão sonora de ruídos, tanto de origem natural abiótica, como de origem antropogênica. Quatro parâmetros sonoros foram analisados em cinco faixas de frequência, o nível de pressão sonora (NPS), a densidade espectral de pressão (DEP), a frequência central e o pico de frequência. Estes parâmetros foram comparados através de testes não paramétricos e de correlações sob diferentes condições ambientais, como presença de embarcações, tipo de maré, velocidade do vento e temperatura superficial da água (TSA). Os resultados demonstram que o NPS e a DEP do ruído ambiental diminuíram com o aumento da frequência sonora. O NPS e a DEP foram maiores na presença de embarcações e na maré enchente, exceto na faixa de frequência de < 1 kHz. Finais de semana e períodos de férias foram importantes datas nas quais ocorreram um aumento de ruído na região. A velocidade do vento e a TSA não estiveram correlacionadas com os parâmetros sonoros do ruído na região em nenhuma faixa de frequência. Portanto, observa-se que, tanto ruídos naturais (maré), quanto antropogênicos (embarcação) são importantes fatores para um aumento no ruído em Cananéia. Apesar dos indivíduos de *S. guianensis* permanecerem no setor com maior trânsito de embarcações no estuário e, enfrentarem condições naturais de ruído, a presença de embarcações afeta a intensidade deste parâmetro na água. Por isso, destaca-se a importância da continuidade da regulamentação de embarcações na região e de estudos futuros que identifiquem se tais ruídos alteram parâmetros do repertório sonoro da espécie.

Palavras-chave: Ruído antropogênico. Ruído ambiente. Boto-cinza. Estuários. Bioacústica.

ABSTRACT

Tourism in the Cananéia estuary, Southeastern Brazil, has been growing in recent years. Although some actions are being carried out to control vessels in the area, few studies have been done regarding noise production in the estuary and its effects on the population of Guiana dolphin, *Sotalia guianensis*. Thus, the objective of this study is to characterize the acoustic environment of the sector with greater traffic of vessels in the Cananéia estuary and to produce maps of the sound pressure level (SPL) of both abiotic and anthropogenic sources. Four sound parameters were analyzed in five frequency bandwidth, the SPL, the pressure spectral density (PSD), the center frequency and the peak frequency. These parameters were compared through non-parametric tests and correlations under different environmental conditions, such as vessel presence, tide type, wind speed and sea surface temperature (SST). The results demonstrate that the SPL and PSD of background noise decreased with increasing frequency. SPL and PSD were higher in the presence of vessels and in the flood tide, except in the frequency range lower than 1 kHz, in which the acoustic environment characteristics did not vary according to the environmental conditions. Weekends and holiday periods were important dates in which there was a rise in noise in the region. Wind speed and SST were not correlated with noise parameters in the region in any frequency range. Therefore, it is observed that both natural (tidal) and anthropogenic (vessel) sources are important factors for an increase in noise in Cananéia. Although the individuals of *S. guianensis* remain in the sector with the highest traffic of vessels in the estuary and, facing natural noise conditions, the presence of vessels affects the intensity of noise in the water. Therefore, it is important to note the importance of continuing regulation of vessels in the region and future studies that identify whether such noise changes parameters of the sound repertoire of the species.

Keywords: Anthropogenic noise. Environmental noise. Guiana dolphin. Estuaries. Bioacoustic.

INTRODUÇÃO

Um ambiente ruidoso é caracterizado por apresentar várias fontes individuais de som, algumas identificadas e outras não, que podem ter uma ampla faixa de **frequência**, mas geralmente são definidas por serem sons de baixa frequência (< 1 kHz; NRC, 2000; MMC, 2007).

Com o aumento da urbanização, industrialização e desenvolvimento de atividades humanas em diversas regiões do planeta, a quantidade de ruídos emitidos no meio vem aumentando drasticamente nas últimas décadas (Haxel *et al.*, 2013; Slabbekoorn, 2013; Williams *et al.*, 2013). Ruídos antropogênicos no ambiente marinho são gerados por uma variedade de atividades, dentre elas por embarcações comerciais, exploração e produção de gás e petróleo, operações militares navais, pesca, construção, pesquisa e recreação aquática (Hildebrand, 2009).

A combinação destes sons com aqueles de origem natural abiótica e biótica no ambiente marinho define o ambiente acústico oceânico, o qual pode variar no espaço e tempo (Rice *et al.*, 2014; Erbe *et al.*, 2016). A maioria dos sons abióticos é devida aos efeitos do vento interagindo com a superfície do mar e com ondas, produzindo sons com frequências dominantes entre 10 e 1000 Hz; já os sons bióticos são produzidos por animais, como crustáceos, peixes e mamíferos marinhos, com função de reprodução, defesa de território, localização no espaço e como resultados da atividade de forrageamento e deslocamento (Radford *et al.*, 2010). A ocorrência destes tipos de sons na natureza pode ser complexa, pois em um mesmo ambiente podemos ter a presença de todos eles. Por exemplo, na costa do Estado de Oregon, EUA, os **ruídos** são provenientes principalmente de embarcações, seguidos por quebras de onda na superfície, ventos e emissões sonoras de baleias (Haxel *et al.*, 2013).

Mudanças nas emissões sonoras de aves, primatas, cetáceos e roedores tem sido observadas como resultados de adaptações acústicas para reduzir o **maskamento** dos efeitos de ruídos em seus habitats (Barber *et al.*, 2009). O ruído proveniente de fontes humanas pode mascarar sinais e comportamentos acústicos importantes, alterar os **limiares de audição**, diminuir a capacidade auditiva dos animais, além de ter efeitos sobre o comportamento, hormônios e pressão sanguínea de diversas espécies (Gordon *et al.*, 2004; Barber *et al.*, 2009).

A plasticidade relativa ao fenótipo acústico pode ser uma característica espécie-específica importante para explicar porque algumas espécies persistem e

outras falham em um ambiente ruidoso (Slabbekoorn, 2013). Vários estudos demonstram um ajuste na frequência (Hz) e na **amplitude** de emissões sonoras de aves e anfíbios de acordo com o nível de **intensidade** do ruído no ambiente, resultando em sons com maiores frequências (Parris *et al.*, 2009; Lowry *et al.*, 2013) e maiores amplitudes (Nemeth e Brumm, 2010) para evitar ruídos ambientais que normalmente são caracterizados por ter baixa frequência e altas intensidades. No entanto, embora os ruídos antropogênicos estejam relacionados a sons de baixas frequências, sons provenientes de perfurações de plataformas de petróleo ultrapassam a frequência de 47 kHz, portanto, mascarando diversos sons de delfinídeos e também de *Megaptera novaeangliae* (Balaenopteridae) que possam se encontrar próximos a estes locais (Rossi-Santos, 2015).

A duração de emissões sonoras também é influenciada por ruídos no meio em diferentes grupos taxonômicos. Por exemplo, aves urbanas parecem emitir sons mais curtos comparadas a aves de áreas rurais (Nemeth e Brumm, 2010). Também, espécies de aves que emitem sons em frequências médias são mais propensas a ajustar seus cantos em relação às espécies que emitem sons de mais baixas e altas frequências. Isto ocorre devido ao ruído não ter tanta influência sobre os cantos emitidos em alta frequência e porque, muitas vezes, os indivíduos que emitem sons de muito baixa frequência não são capazes de adaptar este parâmetro para ultrapassar a banda de frequência do ruído (Hu e Cardoso, 2010).

Há registros de cetáceos também ajustando a frequência e intensidade de emissões sonoras para evitar sobreposição destas com ruídos de embarcações. Em relação a este fenômeno, foram registradas mudanças na forma, na duração e na frequência de assobios de *Tursiops truncatus* (Delphinidae) dependendo das características do ambiente em que esta espécie ocorre, com assobios de mais alta frequência, mais longos, com maior número de pontos de **inflexão** e maior taxa de emissão em ambientes ruidosos (Buckstaff, 2004; Morisaka *et al.*, 2005). A amplitude de emissões sonoras de *Orcinus orca* (Delphinidae) aumentam proporcionalmente ao aumento do nível de ruído no ambiente, sendo este correlacionado com a presença de embarcações nas áreas nas quais os animais ocorrem (Holt *et al.*, 2009).

A perda de **espaço** para a comunicação acústica intra e interespecies ocorre em função de variações espectrais e espaço-temporais do ruído ambiente em uma região, podendo em ambientes ruidosos ocorrer, por exemplo, uma redução que pode variar de 30 a 97% do espaço para comunicação de baleias (Clark *et al.*, 2009;

Williams *et al.*, 2013). Esta perda pode influenciar a ocupação do habitat e, conseqüentemente, a relação social entre indivíduos e populações (Rice *et al.*, 2014).

A redução da distância da transmissão de um sinal devido ao ruído antropogênico pode diminuir também a eficácia das relações sociais animais (Barber *et al.*, 2009). Diversos estudos ressaltam a importância de ações que diminuem a quantidade e a intensidade de ruídos para melhorar a qualidade ou manter saudáveis populações de anfíbios, aves, mamíferos marinhos e humanos (p.ex., Slabbekoorn e Ripmeester, 2007; Clark *et al.*, 2009; Parris *et al.*, 2009). A poluição sonora agrava os problemas impostos à vida selvagem devido à presença humana. Assim sendo, locais fortemente antropizados e áreas críticas para a sobrevivência de espécies em declínio ou ameaçadas de extinção são candidatos prioritários para a gestão e controle de ruídos (Barber *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2013).

Na região do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, o turismo vem sendo incrementado anualmente, porém sem planejamento e infraestrutura adequada (CBH-RB, 2008). Esta região é cercada por dezenas de unidades de conservação, desde unidades de uso sustentável até as de proteção integral (CBH-RB, 2008). Também, possui um estado excelente de conservação da Mata Atlântica, sendo reconhecida pela UNESCO como "Reserva da Biosfera da Mata Atlântica" (MMA, 2000; UNESCO, 2012). Para turismo de avistagem de cetáceos a única regulamentação existente é uma lei municipal que restringe a aproximação e velocidades de embarcações a grupos de *Sotalia guianensis* (Delphinidae) na região (Filla *et al.*, 2008; Filla e Monteiro-Filho, 2009; Cananéia, 2011). No entanto, não há nenhuma regulamentação com base na geração de ruídos decorrentes das atividades humanas no estuário.

Assim, o objetivo do presente estudo foi caracterizar os ruídos naturais abióticos e antropogênicos produzidos em um setor do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil e verificar a influência destes ruídos na comunicação de indivíduos de *Sotalia guianensis*, sendo esta a única espécie de cetáceo residente na região. Estes animais fazem parte da "fauna carismática", atuando como espécie-bandeira em projetos de conservação no Brasil (Caro e O'Doherty, 1999; Jesus *et al.*, 2008; Rossi-Santos e Reis, 2008; Lailson-Brito *et al.*, 2013; Monteiro-Filho *et al.*, 2017). Com base nos resultados foi possível construir mapas acústicos da região, como importante ferramenta para medidas de mitigação dos impactos sonoros sobre a referida população de cetáceos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em um setor do estuário de Cananéia (24°98'S a 25°06'S / 47°89'W a 47°93'W), Estado de São Paulo (SP), sudeste do Brasil (Fig. 1).

Picos de chuva são registrados entre janeiro e março, com média anual de 2.300 mm de precipitação (Godoy *et al.*, 2016). A temperatura da água em Cananéia varia de 19,5 a 29,5 °C e a salinidade de 12 a 35 ppm (Godoy *et al.*, 2015; Miyashita e Calliari, 2016). Apesar de ocorrer maior precipitação nos meses de verão, a ocorrência de chuvas ao longo de todo ano é considerável (CBH-RB, 2016).

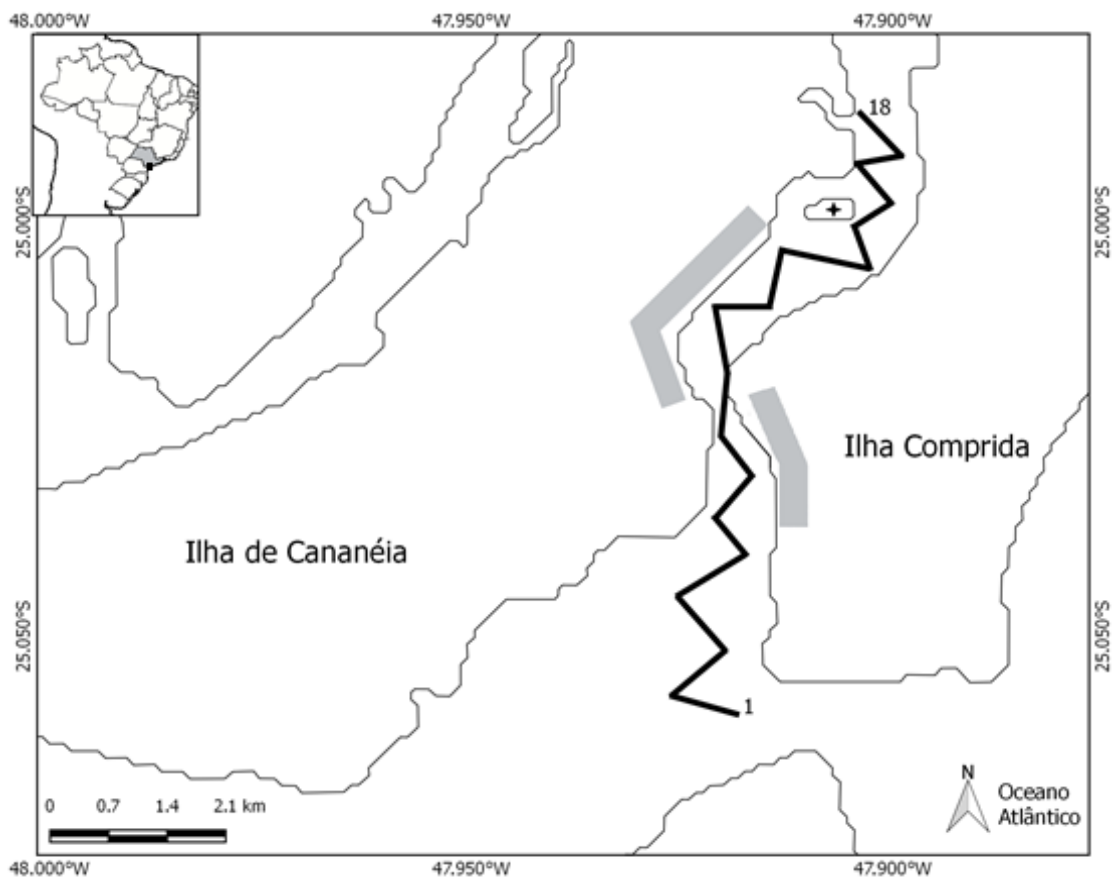


Figura 1. Área de estudo, estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. O tracejado preto indica as transecções percorridas e os vértices entre as linhas do zigue-zague indicam os 18 pontos de amostragem. A faixa cinza indica a extensão da área de marinas, posto náutico e pontos de embarque para travessias diárias de pedestres e automóveis entre ilhas e também para passeios turísticos náuticos. A estrela (✦) indica a Ilha de Pai Mattos.

A cada três meses, entre abril/2016 a fevereiro/2017, duas expedições de campo foram realizadas na região, totalizando sete períodos amostrais. A cada expedição, 18 pontos foram amostrados a partir de percursos em zigue-zague desde a Praia do Pereirinha (ponto 1; Fig. 1) até próximo à Ilha Pai Mattos (Ponto 18; Fig. 1). As transecções foram predeterminadas com auxílio de GPS e do programa MapSource.

Afim de determinar a influência da profundidade na geração de ruído no ambiente foram estabelecidas três profundidades em cada ponto de amostragem para a realização das gravações: 1) a 2 m da superfície; 2) metade da profundidade total; e 3) 2 m do fundo marinho. Quando a profundidade era inferior a 5 m, estes valores reduziam para 1 m da superfície e 1 m do fundo e, quando a profundidade era inferior a 3 m, estes valores eram de 0,5 m.

A cada profundidade foi registrado um arquivo sonoro de dois minutos, sendo a frequência máxima de gravação de 22 kHz. Os sons foram captados através de um **hidrofone** multidirecional (C53, frequência de resposta de 14 Hz a 250 kHz) acoplado a um gravador digital (frequência de amostragem de 44 kHz, **frequência de Nyquist** 22 kHz).

A cada profundidade, também, foram registrados os parâmetros ambientais: velocidade do vento, temperatura superficial da água (TSA), tipo de maré e presença de embarcações. O registro destes parâmetros ocorreu devido à possível influência deles sobre o nível de ruído ambiental.

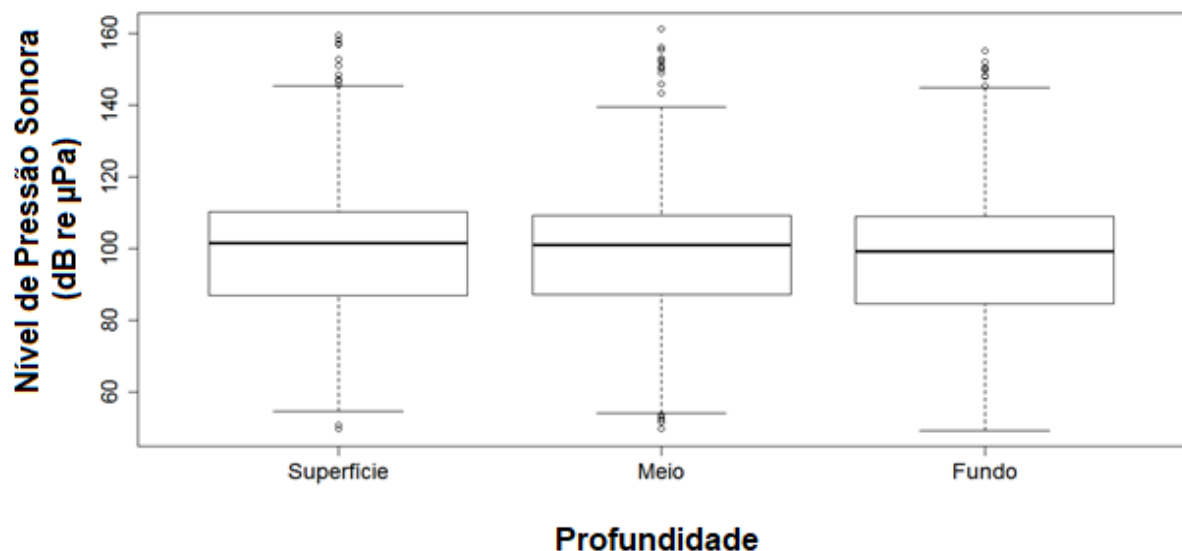


Figura 2. Nível de pressão sonora (NPS) de acordo com a profundidade em que o hidrofone foi posicionado durante as amostragens em cada ponto.

Como não houve diferença nos parâmetros sonoros entre estas profundidades (superfície, meio e fundo, Fig. 2) foram utilizados os valores mensurados na profundidade média para as análises estatísticas e geração de mapas.

Os sons foram analisados usando o programa RAVEN 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology, New York). Sons provenientes de origem biológica (peixes, cetáceos, etc.) foram excluídos da análise, bem como sons produzidos pela vibração do cabo do hidrofone.

Para a caracterização do ambiente acústico foi analisado o **nível de pressão sonora** (dB re μPa), a densidade espectral de pressão (DEP; dB re μPa^2 /Hz; caracterizada pela média dos valores de pressão sonora durante um certo intervalo de tempo, por unidade de frequência), a frequência central (kHz; frequência que divide um som em duas bandas de frequência com igual NPS) e o pico de frequência (kHz; frequência na qual ocorre o maior valor de NPS em um som) de cada arquivo registrado.

Cada parâmetro sonoro foi analisado dentro de cinco faixas de frequências pré-estabelecidas: < 1 kHz, 1 a 5 kHz, 5 a 10 kHz, 10 a 15 kHz e de 15 a 22 kHz. Estas faixas foram estabelecidas, pois os parâmetros ambientais e antropogênicos afetam distintas classes de frequência no ruído ambiental marinho.

Dentro de cada faixa de frequência, foi realizado o teste de Mann-Whitney (U) para comparar a tendência central (mediana) dos parâmetros sonoros observados entre tipo de maré (enchente, vazante) e entre presença e ausência de embarcações. Também, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar os parâmetros sonoros observados entre os pontos de amostragem (1 a 18) e para comparar as diferenças do NPS e da DEP entre as faixas de frequências pré-estabelecidas. A análise *a posteriori* de Dunn foi utilizada para discriminar quais classes eram distintas entre si, através da comparação da média dos postos, com nível de confiança de 95%. Os testes não-paramétricos foram utilizados, pois os dados não atendiam todas as premissas para os testes paramétricos.

Além disso, um teste de correlação foi realizado para verificar se o NPS do ruído ambiente aumentava conforme o aumento da velocidade do vento e da temperatura superficial da água (TSA), já que o vento é um dos principais geradores de ruído no mar e a velocidade de um som aumenta com a temperatura da água, facilitando a propagação sonora e mantendo o NPS. Todos os testes estatísticos

foram realizados através do Programa BioEstat 5.0 (Ayres *et al.* 2007) e em ambiente R versão 3.3.3 (R Core Team, 2017).

Mapas acústicos foram confeccionados com o auxílio do programa Surfer 9, onde foram gerados os gradientes do NPS médio, conforme a faixa de frequência analisada, a presença de embarcações e o tipo de maré. Após esta etapa, estes gradientes foram sobrepostos ao mapa da região do estuário de Cananéia no programa QGIS 2.14.

RESULTADOS

A média geral (média±desvio padrão) para o NPS do ruído ambiental no setor analisado do estuário de Cananéia foi de $95,48 \pm 9,92$ dB re $1 \mu\text{Pa}$, de $60,00 \pm 12,44$ dB re $1 \mu\text{Pa}$ para a DEP, de $7,78 \pm 6,13$ kHz para a frequência central e de $7,33 \pm 6,10$ kHz para o pico de frequência.

Houve diferença no NPS e na DEP entre as faixas de frequência, sendo que estes valores de amplitude sonora diminuíram com o aumento da frequência (Tabela I; Fig. 3 e 4), exceto para o NPS entre as faixas de frequências de $< 1\text{kHz}$ e $1-5\text{ kHz}$ e de $5-10\text{ kHz}$ e $10-15\text{ kHz}$ e para a DEP entre as faixa de frequência $5-10\text{ kHz}$ e $10-15\text{ kHz}$, as quais não foram significativamente diferentes entre si (Fig. 3).

Tabela I. Média±desvio padrão dos parâmetros sonoros do ruído ambiental analisado em um setor do estuário de Cananéia, entre abril de 2016 e fevereiro de 2017. Na tabela os valores gerais englobam todos os dados analisados em profundidade média. A tabela apresenta, também, resultados com base na presença de embarcações e no tipo de maré durante as gravações. O resultado do teste de Kruskal-Wallis (K-W; *H*) é apresentado para a comparação entre as faixas de frequência (kHz) em cada conjunto de dados analisados. O teste de Mann-Whitney (M-W; *U*) foi utilizado para comparar os parâmetros sonoros entre a presença e ausência de embarcações e entre maré enchente e maré vazante. NPS = nível de pressão sonora (dB re 1μPa); DEP = densidade espectral de pressão (dB re μPa²/Hz). *** indicam valor de $p < 0,001$.

		<1	1-5	5-10	10-15	15-22	K-W (<i>H</i>)
NPS	Geral	102,41±10,9	100,04±8,85	94,56±8,02	92,10±7,40	88,26±7,48	167,23***
	Com embarcação	103,96±8,53	102,30±7,61	98,00±8,27	94,95±7,56	90,93±7,76	80,89***
	Sem embarcação	101,01±12,58	97,99±9,45	91,43±6,38	89,51±6,27	85,84±6,36	99,15***
	M-W (<i>U</i>)	1632,00	1351,50	983,00	1091,00	1174,00	
	<i>p</i>	0,09	< 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
	Maré enchente	103,09±12,48	100,55±8,98	93,38±5,99	91,08±5,58	87,46±4,98	78,44***
	Maré vazante	97,35±12,14	93,49±8,69	88,02±5,64	86,77±6,57	83,01±7,55	30,91***
	M-W (<i>U</i>)	382,50	288,50	254,00	278,50	318,00	
	<i>p</i>	0,11	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,01	
	DEP	Geral	75,26±11,06	63,60±8,90	57,23±7,72	54,43±8,27	49,49±7,15
Com embarcação		76,83±8,95	65,82±7,52	60,70±7,80	57,78±6,94	52,21±7,21	161,48***
Sem embarcação		73,83±12,57	61,58±9,60	54,08±6,19	51,38±8,25	47,01±6,17	173,89***
M-W (<i>U</i>)		1656,00	1374,00	912,50	924,50	1048,00	
<i>p</i>		0,11	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Maré enchente		76,01±12,20	64,12±8,89	55,98±5,59	51,07±9,01	48,60±4,48	133,15***
Maré vazante		70,01±12,56	57,15±9,34	50,75±5,85	49,47±6,46	44,23±7,69	53,09***
M-W (<i>U</i>)		385,00	300,00	267,00	300,50	345,50	
<i>p</i>		0,11	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	

Tabela I (continuação). Média±desvio padrão dos parâmetros sonoros analisados em um setor do estuário de Cananéia, entre abril de 2016 e fevereiro de 2017. Na tabela os valores gerais englobam todos os dados analisados em profundidade média. A tabela apresenta, também, resultados com base na presença de embarcações e no tipo de maré durante as gravações. O resultado do teste de Kruskal-Wallis (K-W; *H*) é apresentado para a comparação entre as faixas de frequência (kHz) em cada conjunto de dados analisados. NPS = nível de pressão sonora (dB re 1 μ Pa); DEP = densidade espectral de pressão (dB re μ Pa²/Hz). *** indicam valor de $p < 0,001$.

Frequência central	Geral	0,61±0,06	2,21±0,67	6,94±0,34	12,37±0,34	16,77±1,39
	Com embarcação	0,61±0,07	2,36±0,66	6,84±0,34	12,29±0,32	16,61±1,98
	Sem embarcação	0,61±0,06	2,09±0,66	7,04±0,31	12,45±0,34	16,92±0,34
	M-W (<i>U</i>)	1920,00	1461,50	1334,50	1458,50	1772,00
	<i>p</i>	0,17	< 0,05	< 0,01	< 0,05	0,31
	Maré enchente	0,61±0,06	1,99±0,61	6,95±0,27	12,41±0,29	16,93±0,35
	Maré vazante	0,60±0,07	2,25±0,71	7,20±0,32	12,51±0,42	16,90±0,34
	M-W (<i>U</i>)	456,00	399,00	271,00	440,00	470,00
	<i>p</i>	0,52	0,16	< 0,01	0,39	0,65
	Pico de frequência	Geral	0,57±0,07	1,45±0,69	6,36±1,48	12,39±1,52
Com embarcação		0,56±0,07	1,41±0,61	6,37±1,41	12,57±1,52	15,83±0,86
Sem embarcação		0,57±0,07	1,50±0,76	6,35±1,55	12,23±1,52	15,91±1,07
M-W (<i>U</i>)		1914,50	1870,50	1845,50	1744,00	1951,00
<i>p</i>		0,75	0,59	0,51	0,25	0,89
Maré enchente		0,57±0,06	1,39±0,47	6,03±1,19	12,14±1,56	15,93±1,17
Maré vazante		0,57±0,07	1,68±1,09	6,92±1,94	12,38±1,45	15,87±0,87
M-W (<i>U</i>)		486,50	475,00	398,00	446,00	459,00
<i>p</i>		0,82	0,70	0,16	0,44	0,55

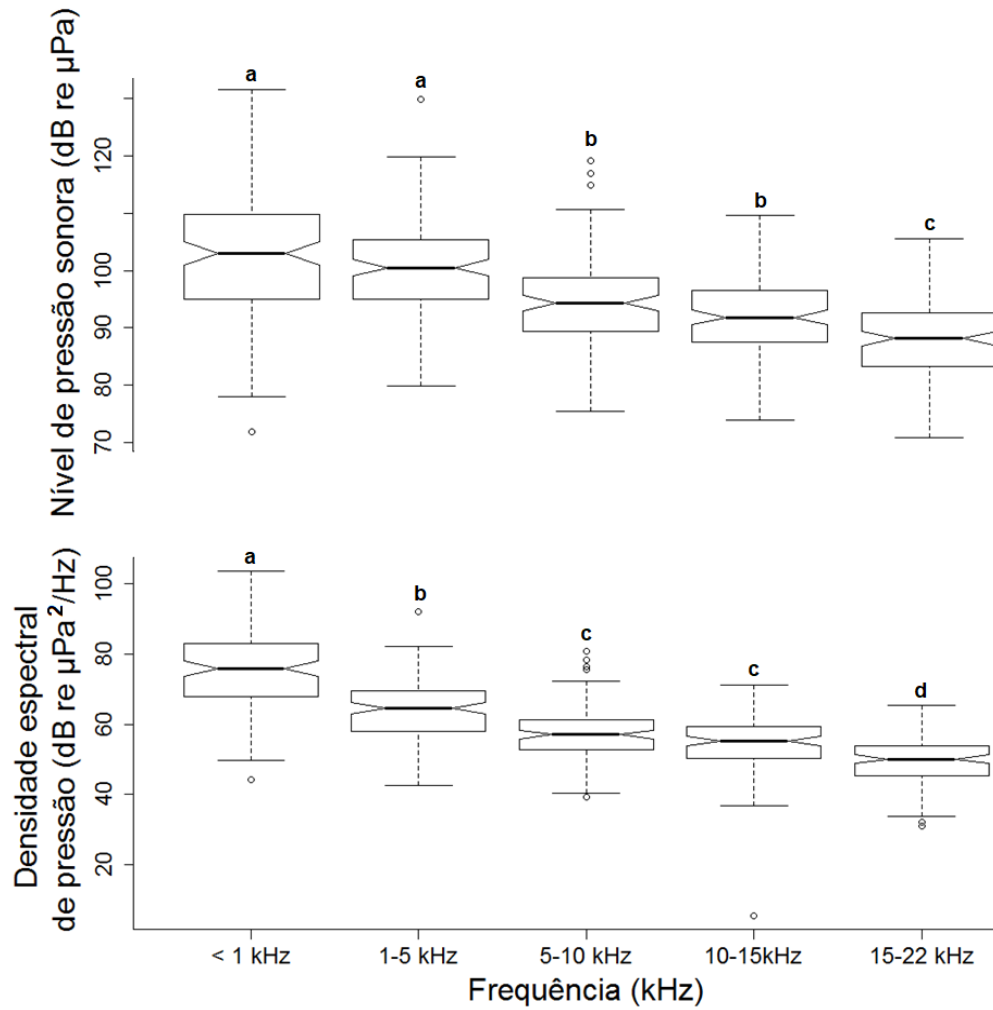


Figura 3. Nível de pressão sonora (NPS) e densidade espectral de pressão (DEP) do ruído abiótico e antropogênico do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, nas cinco faixas de frequência amostradas. As letras minúsculas indicam a faixa de frequência em que os parâmetros sonoros foram significativamente diferentes, conforme teste *a posteriori* de Dunn.

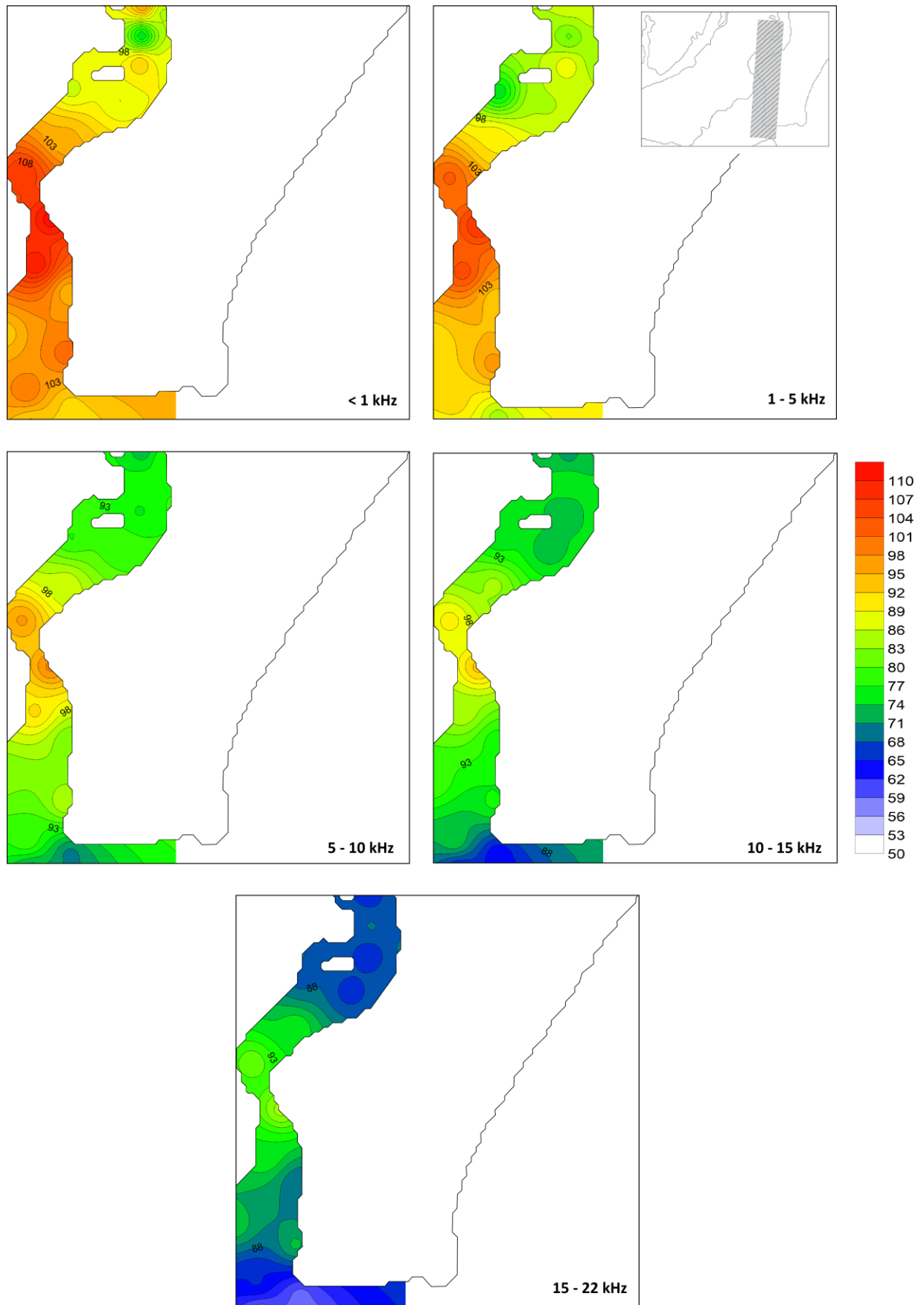


Figura 4. Gradientes do nível de pressão sonora médio (dB re μPa) provenientes de ruídos abióticos e antropogênicos no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, para cada faixa de frequência amostrada.

Foram registradas embarcações em 47,62% dos arquivos analisados. Excetuando a faixa de frequência < 1 kHz e na faixa de 15-22 kHz para frequência central, em todas as outras faixas, o NPS, a DEP e a frequência central foram significativamente diferentes entre presença e ausência de embarcações, com maior NPS e DEP quando havia embarcações durante as gravações (ver valores do teste de Mann-Whitney na Tabela I; Fig. 5). O pico de frequência não foi influenciado pela presença de embarcações em todas as faixas de frequência (Tabela I).

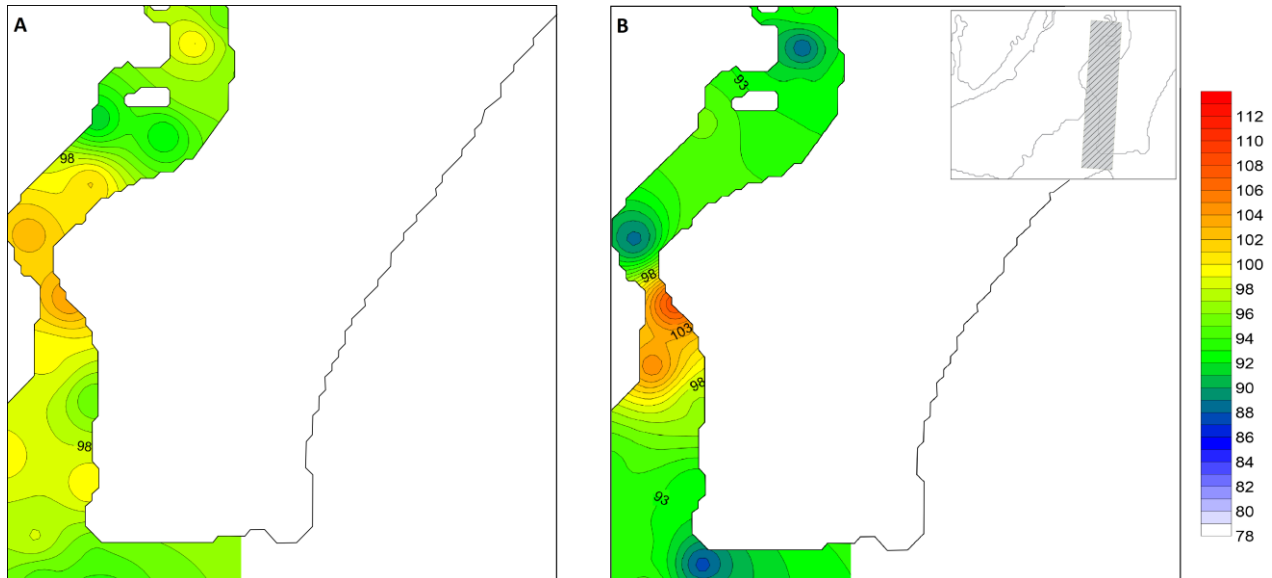


Figura 5. Gradiente do NPS médio (dB re μPa) do ruído ambiental do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, na presença de embarcações (A) e quando não havia embarcações em movimento durante as gravações (B).

Na comparação entre marés, houve diferença significativa entre enchente e vazante no NPS e na DEP em todas as faixas de frequência, exceto na faixa <1 kHz (ver valores do teste de Mann-Whitney na Tabela I; Fig. 6). A frequência central só foi diferente entre as marés na faixa de 5-10 kHz e o pico de frequência não diferiu entre marés em nenhuma das faixas de frequência (Tabela I).

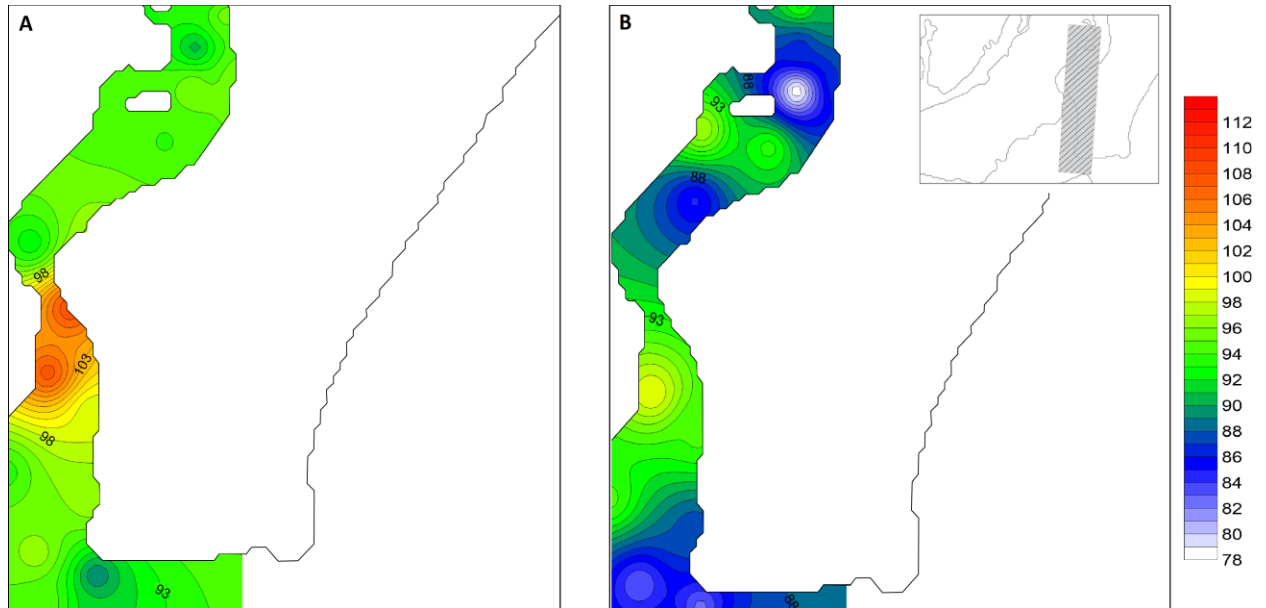


Figura 6. Gradiente do NPS médio (dB re μPa) proveniente de ruídos naturais do estuário de de Cananéia, sudeste do Brasil, durante a maré enchente (A) e vazante (B).

Finais de semana e períodos de férias foram importantes datas nas quais ocorrem um aumento de ruído na região (Fig. 7). Durante o período foram registrados 265 encontros com embarcações, sendo 73,59% destes encontros com embarcações com motor de popa, 25,28% com motor de centro e 1,13% com jet sky.

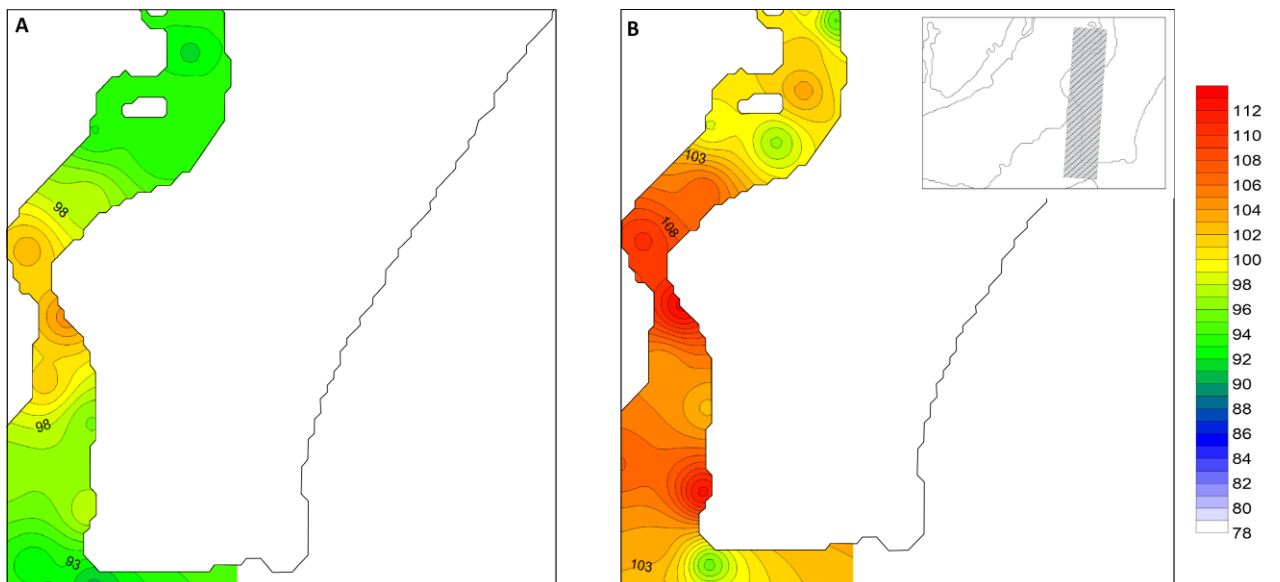


Figura 7. Gradientes do NPS médio (dB re μPa) provenientes de ruídos naturais e antropogênicos do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. A – Mapa dos valores médios de todas as amostragens entre abril de 2016 e fevereiro de 2017; B – Mapa da amostragem de fevereiro de 2017 que ocorreu em um final de semana do período de férias na região.

Os pontos de amostragem 8, 9 e 10, ondem ocorrem os maiores NPS, são os locais de chegada e saída de embarcações na Ilha de Cananéia (Fig. 1). Observa-se que o NPS nos pontos 9 e 10 foi significativamente maior que nos pontos 1 e 3, nas faixas acima de 5 kHz (5-10 kHz: $H = 33,27$, $p < 0,05$; 10-15 kHz: $H = 36,64$, $p < 0,01$; 15-22 kHz: $H = 31,19$, $p < 0,05$; Fig.8) e, também, que o NPS nos pontos 8, 9 e 10 foi maior que no ponto 12, na faixa de frequência de 1-5 kHz ($H = 29,90$, $p < 0,05$; Fig. 8). Não houve diferença no NPS na faixa abaixo de 1 kHz ($H = 26,87$, $p = 0,06$; Fig.8)

Os parâmetros sonoros no estuário de Cananéia apresentaram baixas correlações com o vento e com a temperatura superficial da água (TSA), em todas as faixas de frequência analisadas (Tabela II).

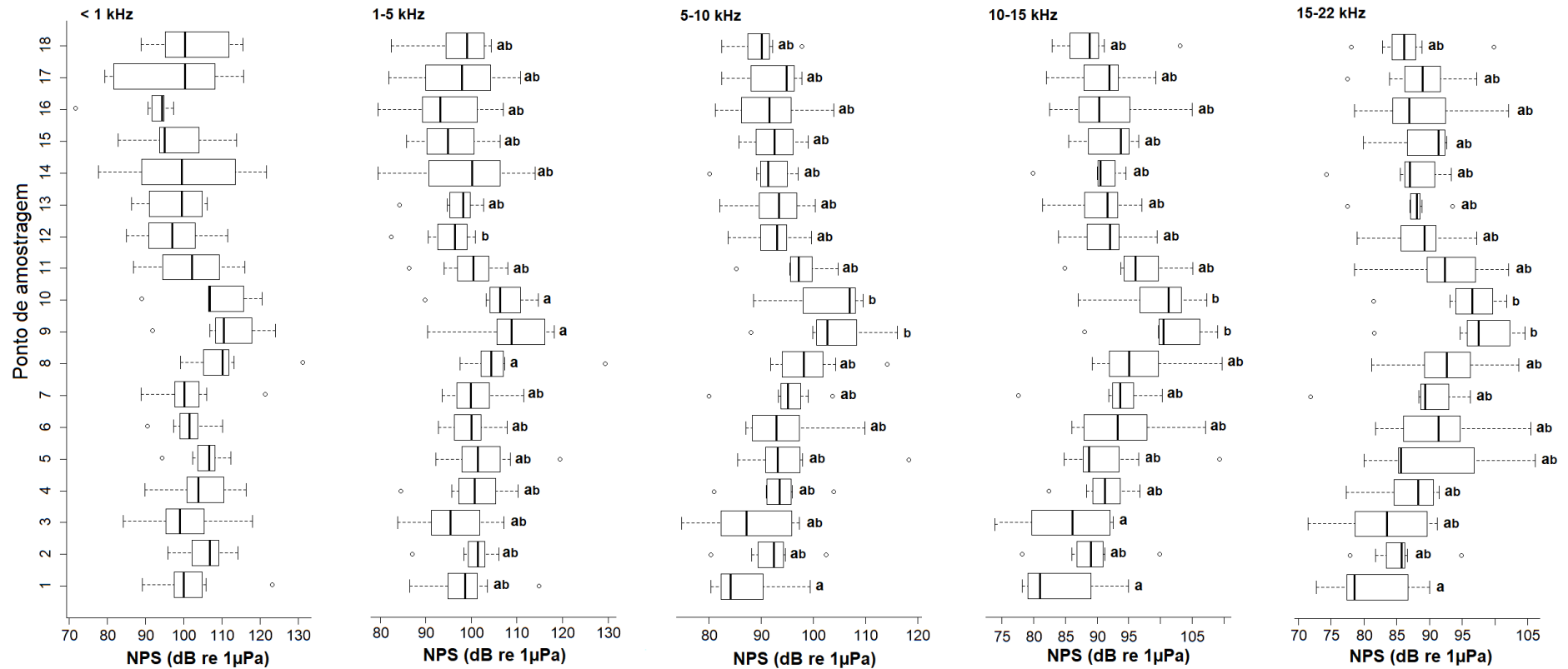


Figura 8. Nível de pressão sonora (NPS) proveniente de ruídos naturais e antropogênicos do estuário de Cananéia, sudeste do Brasil, de acordo com o ponto de amostragem e nas cinco faixas de frequência amostradas. O NPS na faixa de frequência menor que 1 kHz não varia significativamente entre os pontos mostrados. As letras minúsculas indicam os pontos de amostragem nos quais o NPS difere significativamente, conforme teste *a posteriori* de Dunn.

Tabela II. Matriz de correlação entre os parâmetros ambientais e sonoros para cada faixa de frequência do ruído ambiental analisado no estuário de Cananéia, sudeste do Brasil. TSA = temperatura superficial da água; NPS = nível de pressão sonora; DEP = densidade espectral de pressão.

Faixa de frequência	Parâmetro ambiental	NPS (dB re μPa)	DEP (dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$)	Frequência central (kHz)	Pico de frequência (kHz)
< 1kHz	Vento (Km/h)	-0,03	-0,05	-0,07	-0,10
	TSA ($^{\circ}\text{C}$)	-0,05	-0,05	-0,12	-0,16
1 – 5 kHz	Vento (Km/h)	-0,15	-0,19	0,01	0,05
	TSA ($^{\circ}\text{C}$)	-0,07	-0,07	0,01	-0,05
5 – 10 kHz	Vento (Km/h)	-0,15	-0,22	0,23	-0,01
	TSA ($^{\circ}\text{C}$)	-0,05	-0,06	-0,03	-0,05
10-15 kHz	Vento (Km/h)	-0,16	-0,20	-0,16	-0,18
	TSA ($^{\circ}\text{C}$)	-0,05	-0,10	0,01	0,13
15 – 22 kHz	Vento (Km/h)	-0,21	-0,28	0,05	0,07
	TSA ($^{\circ}\text{C}$)	-0,06	-0,07	-0,10	-0,05

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicam que tanto fatores ambientais, quanto fatores antropogênicos contribuem para a geração de ruídos no estuário de Cananéia. A maré enchente e a presença de embarcações foram os principais componentes que influenciaram o ambiente acústico, elevando os níveis de ruído no setor amostrado, o qual é a principal rota de embarcações turísticas e de pesca da região.

Os resultados deste estudo indicam que o ruído ambiente no estuário de Cananéia diminui à medida que a faixa de frequência é mais alta, pois os ruídos naturais e antropogênicos estão concentrados nas faixas de frequência mais baixas. Geralmente, o ruído marinho é considerado como sons de baixa frequência, no entanto, outros estudos também já registraram ruídos naturais e antropogênicos ultrapassando a faixa de 10, 20, 40 e até 100 kHz (Bradley e Stern, 2008; Merchant *et al.*, 2014; Rossi-Santos, 2015; Bittencourt *et al.*, 2016).

Observa-se que a presença de embarcações e a maré enchente são fatores influentes em todas as faixas de frequência, exceto na faixa < 1 kHz, pois aumentam o NPS e a DEP nestas condições. O ruído abaixo de 1 kHz mostrou-se homogêneo em todo o período e situações amostradas. Isto deve ocorrer, pois o fluxo de água em torno do hidrofone gera um “pseudo-ruído” registrado no sistema de gravação, o qual não faz parte do ambiente acústico natural (Merchant *et al.*, 2014). Este “pseudo-ruído” é característico em áreas de fluxo de maré, que gera ruídos em baixa frequência, os quais diminuem progressivamente à medida que a frequência aumenta (Merchant *et al.*, 2014).

A média de aproximadamente 96 dB re μPa do NPS do ruído ambiente é mais baixa do que o encontrado em outros estuários com atividades humanas, os quais apresentam níveis de cerca de 110 dB re μPa a baixas frequências ou em faixas de frequência amplas (McQuinn *et al.*, 2011; Castellote *et al.*, 2012; Gervaise *et al.*, 2012; Bittencourt *et al.*, 2014; Seger *et al.*, 2015;). Por exemplo, em épocas de alta temporada turística no Mar Adriático, algumas regiões registraram níveis de ruído superiores a 140 dB re μPa (Rako *et al.*, 2013). No período de férias na região de Cananéia foi registrado em cerca de 81% do tempo amostrado a presença de embarcações. Neste mesmo período, o NPS do ruído ambiente foi em média 103 dB re μPa , chegando a cerca de 122 dB re μPa .

Outros estudos já vem demonstrando o aumento do NPS e da DEP devido a presença de embarcações, como no nordeste do Oceano Pacífico e no Oceano Índico onde houve um aumento de no mínimo 20 dB no ruído ambiental desde a época pré-industrial até o início século XXI (Hildebrand, 2009; Miksis-Olds *et al.*, 2013). Tal fato, coincidiu com um aumento no mesmo período no número e tamanho das embarcações comerciais (Hildebrand, 2009). Neste caso, o aumento de ruído é responsável pela poluição sonora que pode afetar a comunicação de diversos animais marinhos, já sendo observados mudanças no comportamento e repertório sonoro de várias espécies de cetáceos, devido não somente à presença de embarcações, mas também a outros ruídos antropogênicos, como aqueles advindos da exploração de gás e petróleo, atividades militares e industriais costeiras (Castellote *et al.*, 2012; Merchant *et al.*, 2014; May-Collado e Quiñones-Lebrón, 2014; Gospic e Picciulin, 2016; Parks *et al.*, 2016; van Ginkel *et al.*, 2017).

Especificamente para *Sotalia guianensis*, o ruído de embarcações, além de mascarar os sons emitidos por esta espécie (Monteiro-Filho *et al.*, 2008; Rezende, 2008; Albuquerque e Souto, 2013), pode levar estes golfinhos a alterarem suas emissões sonoras, como uma menor duração, maior frequência e taxa de emissão de assobios durante a passagem de embarcações e níveis de ruídos mais elevados (Rezende, 2008; Bittencourt *et al.*, 2017). Também, ocorre uma maior influência negativa de embarcações com motor de popa, em comparação com embarcações com motor de centro, sobre os assobios e comportamentos desta espécie, como já registrado em Cananéia (Monteiro-Filho *et al.*, 2008; Rezende, 2008).

Embora tenha sido observado maiores níveis de ruído no ambiente marinho como resultado de ações humanas, regiões inabitadas e/ou distantes da costa, como arquipélagos e regiões polares, também podem apresentar altos níveis de ruído ambiente e, muitas vezes, maiores que aqueles registrados para regiões com influência antropogênica (Bittencourt *et al.*, 2016; Haver *et al.*, 2017). A produção do som por animais, desde pequenos crustáceos a grandes baleias e, o ruído proveniente de fatores físicos, como ventos e degelo polar, são os principais contribuintes para a formação da paisagem acústica nestes locais (Bittencourt *et al.*, 2016; Menze *et al.*, 2017; Haver *et al.*, 2017). Mais recentemente, registrou-se uma diminuição nos níveis de ruídos em baixas frequências (< 115 Hz) nos oceanos Pacífico e Atlântico, demonstrando que a tendência no acréscimo de ruído no ambiente marinho não é global (Andrew *et al.*, 2011; Miksis-Olds e Nichols, 2016).

Outro importante fator para a elevação no NPS em nosso estudo foi o tipo de maré, sendo que a maré enchente gerou os maiores níveis de ruído ambiente (Fig. 7A), enquanto que outros fatores ambientais, como o vento, a temperatura superficial da água e a profundidade, que comumente tem sido relacionados à produção de ruídos (Radford *et al.*, 2010), não tiveram correlações significativas com o ruído em Cananéia. Em regiões costeiras a correlação entre vento, profundidade e ruído ambiental pode não ser tão simples, como o previsto para áreas oceânicas (Barclay e Buckingham, 2013; Klusek e Lisimenka, 2016). Em estuários e zonas costeiras a relação direta entre o nível de ruído e a velocidade do vento é restrita a algumas profundidades e a uma faixa de frequência mais estreita do que a de estudos no ambiente oceânico (Klusek e Lisimenka, 2016). Há registros de altas velocidades de ventos estarem associadas a ruídos na faixa de frequência de 0,1-10 kHz (Merchant *et al.*, 2014). Por outro lado, os ventos parecem não ter relação alguma com ruídos ambiente abaixo de 3 kHz (Seger *et al.*, 2015). Estes resultados contraditórios podem indicar que a influência do vento sobre o nível de ruído na água é dependente do local amostrado e não pode ser generalizado.

No presente estudo, não foi registrada correlação entre vento/ruído, temperatura superficial da água/ruído e profundidade/ruído em nenhuma faixa de frequência analisada. Outros fatores, não analisados, podem ser importantes para explicar a variabilidade do NPS do ruído ambiental em Cananéia, como o tipo de sedimento e velocidade do fluxo de maré. Sedimentos finos (lodosos) podem possuir uma **impedância** acústica semelhante à da coluna de água e, assim, não refletirem ondas sonoras provenientes dos ruídos, causando a **atenuação sonora** e, conseqüentemente, menores NPS (Barclay e Buckingham, 2013; Sanjana *et al.*, 2014). Já, o aumento da velocidade do fluxo de maré e o transporte de sedimentos neste fluxo estão relacionados a maiores níveis de ruído a baixas e altas frequências, respectivamente (Merchant *et al.*, 2014). O estreitamento das margens do estuário entre os pontos 8, 9 e 10 também pode ser outro fator que eleva os níveis de ruídos na região central da nossa área de estudo, além do trânsito de embarcações intenso nestes pontos. Embora a água não se encontre em um duto fechado, uma descrição qualitativa da situação permite supor que este estreitamento das margens force a água a passar com maior velocidade nestes pontos (Nussenzveig, 2002). Este aumento de velocidade pode levar a uma produção de ruídos naturais mais intensos, justificando os resultados observados.

O setor do estuário de Cananéia amostrado, embora, apresente influência antrópica, é a área mais utilizada pela maioria da população de *S. guianensis* na região, principalmente devido a fatores ambientais específicos, como salinidade e profundidade, que proporcionam uma quantidade e variedade de presas para estes golfinhos (Godoy *et al.*, 2015). Por isso, recomenda-se um monitoramento contínuo desta população e das atividades de pesca e turismo na região. Níveis de ruído que excedam os 110 dB re μPa podem afetar o forrageamento, a reprodução e taxa de sobrevivência de espécies de cetáceos. Já, os níveis acima de 120 dB re μPa , podem afastar indivíduos de uma área prioritária para a sobrevivência da população e causar lesões ao sistema auditivo destes animais (Southall *et al.*, 2007).

O presente estudo pode contribuir com a elaboração de normas e regulamentos para o tráfego de embarcações e do turismo que estão sendo feito na região de Cananéia (Fundação Florestal, 2007; Cananéia, 2011; Fundação Florestal, 2015; Cananéia, 2016; Fundação Florestal, 2017), visando mitigar os impactos acústicos dessas atividades, as quais, até o momento, parecem não estar afetando a presença dos animais na região (Godoy *et al.*, 2015). Aliás, foi demonstrado neste estudo que fatores ambientais naturais, como a maré enchente, podem elevar o ruído dentro do estuário. No entanto, as espécies que permanecem em áreas de alto ruído antropogênico podem ser fortemente motivadas por forrageamento ou reprodução, como citado acima. Por isso, muito cuidado deve ser tomado ao interpretar os resultados de habituação ou adaptabilidade ao ruído antropogênico por *S. guianensis* em Cananéia, pois a exposição crônica à poluição sonora pode gerar impactos no sistema auditivo e comunicação destes animais que podem não ser detectados a curto prazo (Gordon *et al.*, 2004; Pine *et al.*, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese demonstrou que os parâmetros ambientais influenciam a propagação dos sons de *Sotalia guianensis* em ambiente costeiro e estuarino. Os parâmetros da água que melhor explicaram a variação do nível de pressão sonora (NPS) de assobios, *burst pulses* e *clicks* desta espécie foram a salinidade, a turbidez e o oxigênio dissolvido. O NPS foi proporcionalmente maior quando havia menores níveis de turbidez e maior concentração de oxigênio dissolvido na água. Em relação a salinidade, a resposta do NPS não foi uniforme. Portanto, áreas estuarinas e costeiras que apresentam altos níveis de turbidez e matéria orgânica, bem como regiões eutrofizadas podem dificultar a propagação de sons de cetáceos, devido a absorção sonora pelas partículas em suspensão.

A temperatura e a profundidade, as quais são descritas como importantes parâmetros para a propagação do som na água, não foram importantes para explicar a variação do NPS de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *S. guianensis*. Tais parâmetros são importantes em áreas oceânicas, onde a variação da profundidade e da temperatura são muito grandes ao longo da coluna d'água. Em estuário e regiões costeiras em que não há grande variação da massa d'água ao longo da profundidade, outros parâmetros, como turbidez e salinidade são os determinantes para a propagação sonora, conforme os resultados desta tese.

A distância geográfica não foi importante para explicar a variação do NPS, pois os sons emitidos em latitudes semelhantes (que foram denominadas de locais e setores nesta tese) foram diferentes e, sons emitidos a centenas de quilômetros (região nordeste e sudeste do Brasil) apresentaram similaridades em sua propagação. Isto ocorreu devido às condições ambientais nos locais e setores serem muito distintas, por exemplo, o local e setor externo apresentou maiores salinidades, menores níveis de turbidez e maiores concentrações de oxigênio do que o local e setor interno. Sabendo que os sons variam conforme estes parâmetros, registrou-se, portanto, parâmetros sonoros distintos em cada local e setor.

O NPS foi menor com o aumento da distância, próximo ao que é previsto pela lei de propagação esférica sonora, na qual a intensidade sonora decai com o quadrado da distância. As diferenças entre os dados observados e os previstos por esta lei, novamente, são devido aos parâmetros da água, com menores valores de atenuação em condições de águas mais salinas, menos turvas e com maiores quantidades de oxigênio dissolvido. A perda do NPS conforme a distância ou local

de amostragem influenciou o registro de outros parâmetros sonoros, com a duração, a frequência e o número de bandas. Por isso, estudos que avaliam o repertório sonoro de cetáceos devem fazer seus registros o mais próximo possível dos animais, evitando a análise incorreta dos sinais devido a atenuação sonora.

Outros parâmetros ambientais que podem influenciar a comunicação de animais na água são os ruídos, tanto de origem natural, como antropogênica. Os resultados desta tese demonstram que o nível de ruído no estuário de Cananéia aumenta com a presença de embarcações e com a maré enchente e não é influenciado com a profundidade de amostragem, nem com a velocidade do vento e a temperatura da água. Finais de semana e férias são importantes períodos em que ocorre um aumento do nível de ruído no estuário, pois a quantidade de embarcações circulando é a maior na região.

Por tudo o que foi exposto, esta tese contribui para conhecimentos inéditos sobre os sons de *S. guianensis*, pois este é o primeiro estudo da propagação sonora desta espécie em ambiente natural. Esta tese fornece, também, ferramentas para a conservação de cetáceos, pois a metodologia utilizada pode ser replicada para diversas espécies e em diferentes ambientes. Os modelos obtidos nos capítulos I e II podem ser utilizados para calcular a variação no nível de pressão de sons de cetáceos devido a alterações ambientais ocorridas, por exemplo, por ações humanas nos habitats destes animais, como a construção de portos, barragens e canais de navegação, vazamentos de rejeitos e eutrofização em áreas costeiras. Além disso, os mapas acústicos produzidos no capítulo III fornecem resultados visuais e de fácil compreensão para serem aplicados em programas de gestão e conservação de áreas naturais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, N. S.; SOUTO, A. S. 2013. Motorboat noise can potentially mask the whistle sound of estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*). **Ethnobiol. Conserv.** **2**: 1-15.
- ALMEIDA, L. R. 2006. **Avaliação espaço-temporal do zooplâncton da laguna estuarina de Guaráiras (RN/Brasil)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. Natal, RN, Brasil, 66 pp.
- ALMEIDA, L. R.; COSTA, I. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. 2012. Composition and abundance of zooplankton community of an impacted estuarine lagoon in Northeast Brazil. **Braz. J. Biol.** **72**: 12-24.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. J.** **22**: 711-728.
- AMANO, M.; KOUROGI, A.; AOKI, K.; YOSHIOKA, M.; MORI, K. 2014. Differences in sperm whale codas between two waters off Japan: possible geographic separation of vocal clans. **J. Mamm.** **95**: 169-175.
- AMORIM, T. O. S.; ANDRIOLO, A.; REIS, S. S.; DOS SANTOS, M. E. 2016. Vocalizations of Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*): Characterization, effect of physical environment and differences between populations. **J. Acoust. Soc. Am.** **139**: 1285-1293.
- ANDRADE, L. G.; LIMA, I. M. S.; BITTENCOURT, L.; BISI, T. L.; LAILSON-BRITO, J. JR.; AZEVEDO, A. F. 2015a. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** **137**: EL15-EL19.
- ANDRADE, L. G.; LIMA, I. M. S.; MACEDO, H. S.; CARVALHO, R. R.; LAILSON-BRITO, J. JR.; FLACH, L.; AZEVEDO, A. F. 2015b. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. **Acta Ethol.** **18**: 47-57.
- ANDREW, R. K.; HOWE, B. M.; MERCER, J. A. 2011. Long-time trends in ship traffic noise for four sites off the North American West Coast. **J. Acoust. Soc. Am.** **129**: 642-651.
- ARAÚJO, J. P.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SOUTO, A. S. 2001. Behavior the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis*, at Dolphin Bay - Pipa - Rio Grande do Norte – Brazil. **Trop. Oceanogr.** **29**: 13-23.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. 2008. **Principles of Marine Bioacoustics**. Springer, New York, NY.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. 2007. **BIOESTAT - Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas**. Ong Mamiraua.

Belém, PA. Disponível em: <https://www.mamiraua.org.br/pt-br/publicacoes/.../bioestat-50/>.

AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. 2002. Whistles produced by marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **Aquat. Mamm.** **28**: 261-266.

AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. 2005. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: comparisons among populations. **J. Acoust. Soc. Am.** **117**: 1456-1464.

AZZOLIN, M.; PAPALE, E.; LAMMERS, M. O.; GANNIER, A.; GIACOMA, C. 2013. Geographic variation of whistles of the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) within the Mediterranean Sea. **J. Acoust. Soc. Am.** **134**: 694-705.

BARBER, J. R.; CROOKS, K. R.; FRISTRUP, K. M. 2009. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. **Trends Ecol. Evol.** **25**: 180-189.

BARCLAY, D. R.; BUCKINGHAM, M. J. 2013. Depth dependence of winddriven, broadband ambient noise in the Philippine Sea. **J. Acoust. Soc. Am.** **133**: 62-71.

BARON, S. C.; MARTINEZ, A.; GARRISON, L. P.; KEITH, E. O. 2008. Differences in acoustic signals from delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. **Mar. Mammal Sci.** **24**: 42-56.

BASS, A. H.; LADICH, F. 2008. **Vocal-acoustic communication: From neurons to brain**. In Fish Bioacoustics, Webb, J. F.; Fay, R. R.; Popper, A. N. (Eds.), pp. 253-278. Springer-Verlag, New York, NY.

BENNET-CLARK, H. C. 1998. Size and scale effects as constraints in insect sound communication. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B** **353**: 407-419.

BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. 2006. **Marine Mammals Evolutionary Biology**. Academic, New York, NY.

BEST, M.; TUFFIN, D. J.; DIX, J. K.; BULL, J. M. 2004. Tidal height and frequency dependence of acoustic velocity and attenuation in shallow gassy marine sediments. **J. Geophys. Res.** **109**: 1-17.

BITTENCOURT, L.; CARVALHO, R. R.; LAILSON-BRITO, J.; AZEVEDO, A. F. 2014. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. **Mar. Pollut. Bull.** **83**: 331-336.

BITTENCOURT, L.; BARBOSA, M.; SECCHI, E.; AZEVEDO, A. 2016. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep Sea Res. I** **115**: 103-111.

BITTENCOURT, L.; LIMA, I. M. S.; ANDRADE, L. G.; CARVALHO, R. R.; BISI, T. L.; LAILSON-BRITO JR, J.; AZEVEDO, A. F. 2017. Underwater noise in an impacted

environment can affect Guiana dolphin communication. **Mar. Pollut. Bull.** **114**: 1130-1134.

BORMPOUDAKIS, D.; SUEUR, J.; PANTIS, J. D. 2013. Spatial heterogeneity of ambient sound at the habitat type level: Ecological implications and applications. **Landscape Ecol.** **28**: 495-506.

BRADLEY, D. L.; STERN, R. 2008. **Underwater sound and the marine mammal acoustic environment: A guide to fundamental principles**. US Marine Mammal Commission, Maryland, EUA.

BRANSTETTER, B. K.; MOORE, P.W.; FINNERAN, J. J.; TORMEY, M. N.; AIHARA, H. 2012. Directional properties of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) clicks, burst-pulse, and whistle sounds. **J. Acoust. Soc. Am.** **131**: 1613-21.

BUCKSTAFF, K. C. 2004. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. **Mar. Mammal Sci.** **20**: 709-725.

BURNHAM, R. 2017. Whale geography: Acoustics, biogeography and whales. **Prog. Phys. Geogr.** **41**: 676-685

CANANÉIA. 2011. **Lei Nº 2.129, de 21 de dezembro de 2011. Regulamenta as atividades com fins comerciais de Turismo, Lazer e Esporte náutico no Município de Cananéia.** Disponível em: http://www.cananeia.sp.gov.br/images/stories/atos_oficiais/leis/2011/2129.pdf. Acesso em: 20/04/2017.

CANANÉIA. 2016. **Lei Nº 2.250, de 16 de fevereiro de 2016 EM. Alteração da Lei Municipal nº2129/2011.** Disponível em: www.cananeia.sp.gov.br/novo_site/wp-content/uploads/2016/02/2016Lei-2250.pdf. Acesso em: 21/12/2017.

CARO, T. M.; O'DOHERTY, G. O. 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. **Conserv. Biol.** **13**: 805-814.

CASTELLOTE, M.; CLARK, C. W.; LAMMERS, M. O. 2012. Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. **Biol. Conserv.** **147**: 115-122.

CATCHPOLE, C. K.; SLATER, P. J. B. 2008. **Bird Song: Biological Themes and Variations**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

CBH-RB (Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape e Litoral Sul). 2008. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Unidade de Gerenciamento Nº 11**. Secretaria de saneamento e recursos hídricos, São Paulo, Brasil.

CBH-RB (Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape e Litoral Sul). 2011. **Sistematização de base de dados ambientais do complexo estuarino-lagunar de Iguape-Cananéia visando subsidiar a regra operativa da barragem do Valo Grande (Iguape)**. Secretaria de saneamento e recursos hídricos, São Paulo, Brasil.

CBH-RB (Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape e Litoral Sul). 2016. **Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul - UGRHI 11. Relatório I.** Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents //CBHRB/12026/relatorio-i-rb.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBHRB/12026/relatorio-i-rb.pdf)>. Acesso em: 18/05/2017.

CIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas). 2017. **Monitoramento climático.** Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>>. Acesso em: 30/10/2017.

CLARK, C. W.; ELLISON, W. T.; SOUTHALL, B. L.; HATCH, L.; VAN PARIJS, S. M.; FRANKEL, A.; PONIRAKIS, D. 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** **395**: 201-222.

CPTEC (Centro de previsão de tempo e estudos climáticos). 2017. **Praia da Pipa-RN.** Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/cidades>. Acesso em: 05/10/2017.

DANIEL, J. C.; BLUMSTEIN, D. T. 1998. A test of the acoustic adaptation hypothesis in four species of marmots. **Anim Behav** **56**: 1517-1528.

DAVIES-COLLEY, R. J.; SMITH, D. G. 2001. Turbidity, suspended sediment and water clarity: a review. **J. Am. Water. Resour. Assoc.** **37**: 1085-1101.

DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 2013. High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** **134**: 3899-3904.

DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 2016. Day and night sounds of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in southeastern Brazil. **Acta Ethol.** **19**: 61-68.

DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 2017. Differences in the sounds of Guiana dolphin *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) between two areas of southeastern and southern Brazil. **Bioacoustics (Online)**, 1-16.

DERUITER, S. L.; HANSEN, M.; KOOPMAN, H. N.; WESTGATE, A. J.; TYACK, P. L.; MADSEN, P. T. 2010. Propagation of narrow-band-high-frequency clicks: measured and modeled transmission loss of porpoise-like clicks in porpoise habitats. **J. Acoust. Soc. Am.** **127**: 560-567.

_____. 2017. **Dicionário Brasileiro Da Língua Portuguesa Michaelis.** Companhia Melhoramentos, São Paulo, SP.

_____. 2009. **Dictionary of Physics.** Oxford University Press, Oxford, UK.

DOMIT, C. 2006. **Comportamento de Pesca do Boto-cinza, *Sotalia guianensis* (van Banédén, 1864).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, Brasil, 96 pp.

ELLINGER, N.; HÖDL, W. 2003. Habitat acoustics of a neotropical lowland forest. **Bioacoustics** **13**: 297-321.

ENDLER, J. A. 1993. Some general comments on the evolution and design of animal communication systems. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B** **340**: 215-225.

ERBE, C.; REICHMUTH, C.; CUNNINGHAM, K.; LUCKE, K.; DOOLING, R. 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. **Mar. Poll. Bull.** **103**: 15-38.

ERBER, C.; SIMÃO, S. M. 2004. Analysis of whistles produced by the tucuxi dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. **An. Acad. Bras. Cienc.** **76**: 381-385.

EY, E.; FISCHER, J. 2009. The “acoustic adaptation hypothesis” - A review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics** **19**: 21-48.

EY, E.; RAHN, C.; HAMMERSCHMIDT, K.; FISCHER, J. 2009. Wild female olive baboons adapt their grunt vocalisations to environmental conditions. **Ethology** **115**: 493-503.

FIGUEIREDO, L. D.; SIMÃO, S. M. 2009. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** **126**: 1563-1569.

FILLA, G. F.; ATEM, A. C. G.; BISI, T. L.; OLIVEIRA, L. V.; DOMIT, C.; GONÇALVES, M.; HAVUKAINEN, L.; OLIVEIRA, F.; RODRIGUES, R. G.; ROSAS, F. C. W.; SANTOS-LOPES, A. R.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 2008. Proposal for creation of a ‘zoning with regulation of use in the Cananéia Estuarine-Lagoon Complex’ aiming the conservation of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (van Béneden) (Cetacea, Delphinidae). **Pan-Am. J. Aquat. Sci.** **3**: 75-83.

FILLA, G. F.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 2009. Monitoring tourism schooners observing estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*) in the Estuarine Complex of Cananéia, south-east Brazil. **Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.** **19**: 772-778.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI-FILHO, E. 2005. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola** **22**: 10-16.

FORREST, T. G. 1994. From sender to receiver: propagation and environmental effects on acoustic signals. **Am. Zool.** **34**: 644-654.

FOX, J. 2003. Effect displays in r for generalised linear models. **J. Stat. Softw.** **8**: 1-27.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2007. **Portaria Normativa nº 045, de 26 de setembro de 2007. Estabelece normas e procedimentos para o credenciamento de embarcações de turismo comercial e a limitação da navegação às embarcações que navegam no entorno do PEIC, a fim de preservar as populações de boto – cinza, ordenar a visitação pública e prevenir contra a poluição do meio ambiente marinho.** Disponível em: <<http://fflorestal.sp.gov.br>>. Acesso: 21/12/2017.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2015. **Portaria Normativa nº 220, de 07 de maio de 2015. Limita emergencialmente a visitação pública na Praia do Itacuruçá /**

Prereirinha, no Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC). Disponível em: <<http://fflorestal.sp.gov.br>>. Acesso: 21/12/2017.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2017. **Portaria Normativa nº 259, de 03 de agosto de 2017. Prorroga a Portaria Normativa FF/DE nº 220/2015 que limita emergencialmente a visitação pública na Praia de Itacuruçá / Pereirinha, no Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC).** Disponível em: <<http://fflorestal.sp.gov.br>>. Acesso: 21/12/2017.

GERVAISE, C.; SIMARD, Y.; ROY, N.; KINDA, B.; MÉNARD, N. 2012. Shipping noise in whale habitat: characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay-St. Lawrence Marine Park hub. **J. Acoust. Soc. Am.** **132**: 76-89.

GILLAM, E. 2011. An introduction to animal communication. **Nature Educ. Knowl.** **3**: 70. Disponível em: <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/an-introduction-to-animal-communication-23648715>. Acesso: 27/05/2015.

VAN GINKEL, C.; BECKER, D. M.; GOWANS, S.; SIMARD, P. 2017. Whistling in a noisy ocean: bottlenose dolphins adjust whistle frequencies in response to real-time ambient noise levels. **Bioacoustics (Online)**, 1-15.

GODOY, D. F.; ANDRIOLO, A.; FILLA, G. F. 2015. The influence of environmental variables on estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*) spatial distribution and habitat used in the Estuarine Lagunar Complex of Cananéia, southeastern Brazil. **Ocean Coast. Manage.** **106**: 68-76.

GORDON, J.; GILLESPIE, D.; POTTER, J.; FRANTZIS, A.; SIMMONDS, M. P.; SWIFT, R.; THOMPSON, D. 2004. A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. **Mar. Technol. Soc. J.** **37**: 16-34.

GOSPIĆ, N. R.; PICCIULIN, M. 2016. Changes in whistle structure of resident bottlenose dolphins in relation to underwater noise and boat traffic. **Mar. Pollut. Bull.** **105**: 193-198.

GÖTZ, T.; HASTIE, G.; HATCH, L.T.; RAUSTEIN, O.; SOUTHALL, B.; TASKER, M.; THOMSEN, F. 2009. **Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment.** OSPAR Commission, London.

HAYER, S. M.; KLINCK, H.; NIEUKIRK, S. L.; MATSUMOTO, H.; DZIAK, R. P.; MIKSIS-OLDS, J. L. 2017. The not-so-silent world: Measuring Arctic, Equatorial, and Antarctic soundscapes in the Atlantic **Ocean. Deep-Sea Res. I** **122**: 95-104.

HAXEL, J. H.; DZIAK, R. P.; MATSUMOTO, H. 2013. Observations of shallow water marine ambient sound: The low frequency underwater soundscape of the central Oregon coast. **J. Acoust. Soc. Am.** **133**: 2586-2596.

HILDEBRAND, J. A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** **395**: 5-20.

HODGE, L. E. W.; BELL, J. T.; KUMAR, A.; READ, A. J. 2013. The influence of habitat and time of day on the occurrence of odontocete vocalizations in Onslow Bay, North Carolina. **Mar. Mammal Sci.** **29**: 411-427.

HOLT, M. M.; NOREN, D. P.; VEIRS, V.; EMMONS, C. K.; VEIRS, S. 2009. Speaking up: Killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. **J. Acoust. Soc. Am.** **125**: 27-32.

HU, Y.; CARDOSO, G. C. 2010. Which birds adjust the frequency of vocalizations in urban noise? **Anim. Behav.** **79**: 863-867.

HWANG, A.; DEFRAN, R. H.; BEARZI, M.; MALDINI, D.; SAYLAN, C. A.; LANG, A. R.; DUDZIK, K. J.; GUZÓN-ZATARAIN, O. R.; KELLY, D. L.; WELLER, D. W. 2014. Coastal range and movements of common bottlenose dolphins off California and Baja California, Mexico. **Bull. Southern California Acad. Sci.** **113**: 1- 13

IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente). 2017. **Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guarairás**. Disponível em: <http://www.idema.m.gov.br>. Acesso em: 05/10/2017.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2017. **Tempo**. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso em: 14/12/2017.

JESUS, A. H.; MEDEIROS, P. I. A. P.; SILVA, F. J. L. 2008. **Boto-cinza *Sotalia guianensis*: pesquisa e conservação no Nordeste do Brasil**. UERN, Mossoró, Rio Grande do Norte. 100 pp.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. 2000. **Fundamentals of Acoustics**. Wiley, New Jersey, NJ.

KLUSEK, Z.; LISIMENKA, A. 2016. Seasonal and diel variability of the underwater noise in the Baltic Sea. **J. Acoust. Soc. Am.** **139**: 1537-1547.

LAILSON-BRITO, J. J.; FRAGOSO, A. B. L.; CUNHA, H. A.; DORNELES, P. R.; AZEVEDO, A. F. 2013. **O boto-cinza e outros cetáceos**. In Meniconi, M. F. G.; Silva, T. A.; Fonseca, M. L.; Lima, S.; Lima, E. F.; Lavrao, H.; Figueiredo Jr., A. (Org.), pp. 198-222. Baía de Guanabara: Síntese do conhecimento ambiental. PETROBRAS, Rio de Janeiro.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. 2003. Directionality in the whistles of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): A signal feature to cue direction of movement? **Mar. Mamm. Sci.** **19**: 249-264.

LEÃO, D. T.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; SILVA, F. J. L. 2015. Acoustic parameters of sounds emitted by *Sotalia guianensis*: dialects or acoustic plasticity. **J. Mammal.** **97**: 611-618.

LIMA, I. M. S.; ANDRADE, L. G.; BITTENCOURT, L.; BISI, T. L.; FLACH, L.; LAILSON-BRITO, J. JR.; AZEVEDO, A. F. 2016. Whistle comparison of four delphinid species in Southeastern Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** **139**: 124-127.

LOWRY, H.; LILL, A.; WONG, B. B. M. 2013. Behavioural responses of wildlife to urban environments. **Biol. Rev.** **3**: 537-549.

- MACEDO, H. C.; GARCIA, A. F.; MACHADO, J. C. 2009. Propriedades acústicas (velocidade de propagação e coeficiente de atenuação) de sedimentos marinhos coletados nas proximidades da ilha de Cabo Frio, RJ. Ver. **Bras. Geof. 27**: 195-204.
- MACIEJ, P.; FISCHER, J.; HAMMERSCHMIDT, K. 2011. Transmission characteristics of primate vocalizations: Implications for acoustic analyses. **Plos One 6**: 30-36.
- MACKENZIE, K. V. 1981. Nine-term equation for sound speed in the oceans. **J. Acoust. Soc. Am. 70**: 807-812.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. 2008. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: Factors promoting whistle variation. **J. Mammal. 89**: 1229-1240.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. 2009. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: the importance of broadband recording systems. **J. Acoust. Soc. Am. 125**: 1202-1213.
- MAY-COLLADO, L. J.; QUIÑONES-LEBRÓN, S. G., 2014. Dolphin changes in whistle structure with watercraft activity depends on their behavioral state. **J. Acoust. Soc. Am. 135**: 193-198.
- MCDONALD, M. A.; HILDEBRAND, J. A.; MESNICK, S. 2009. Worldwide decline in tonal frequencies of blue whale songs. **Endanger. Species Res. 9**: 13-21.
- MCQUINN, I. H.; LESAGE, V.; CARRIER, D.; LARRIVÉE, G.; SAMSON, Y.; CHARTRAND, S.; MICHAUD, R.; THERIAULT, J. 2011. A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: vessel-generated noise characteristics of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park. **Canada. J. Acoust. Soc. Am. 130**: 3661-3673.
- MELO, F. T. L. 2000. **Aspectos morfo-dinâmicos do complexo lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, região costeira sul oriental do RN**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, Brasil, 118 pp.
- MENZE, S.; ZITTERBART, D.; OPZEELAND, I.; VAN BOEBEL, O. 2017. The influence of sea ice, wind speed and marine mammals on Southern Ocean ambient sound. **R. Soc. Open Sci. 4**: 1-21.
- MERCHANT, N. D.; PIROTTA, E.; BARTON, T. R.; THOMPSON, P. M. 2014. Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals. **Mar. Pollut. Bull. 78**: 85-89.
- MIKSIS-OLDS, J. L.; BRADLEY, D. L.; NIU, X. M. 2013. Decadal trends in Indian Ocean ambient sound. **J. Acoust. Soc. Am. 134**: 3464-3475.
- MIKSIS-OLDS, J. L.; NICHOLS, S. M. 2016. Is low frequency ocean sound increasing globally? **J. Acoust. Soc. of Am. 139**: 501-511.
- MIYASHITA, L. K.; CALLIARI, D. 2016. Distribution and salinity tolerance of marine mysids from a subtropical estuary, Brazil. **Mar. Biol. Res. 12**: 133-145.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2000. **Avaliações e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidadebrasileira/Áreas-prioritárias/item/772> 4-workshop-mata-atlântica-e-camposulinospampas. Acesso em: 03/03/2016.

MMC (Marine Mammal Commission). 2007. **Marine Mammals and Noise: A Sound Approach to Research and Management**. Disponível em: www.mmc.gov/fullsoundreport.pdf. Acesso em: 26/05/2015.

MONTEIRO, M. S.; SOUTO, A.; NASCIMENTO, L. F. 2006. Comparações entre os comportamentos de forrageio nas diferentes faixas etárias do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (Cetacea; delphinidae) na Baía dos Golfinhos, Praia de Pipa - RN – Brasil. **Rev. Etol.** **8**: 13-25.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. A. 2001. Sounds of *Sotalia fluviatilis guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in an estuarine region in southeastern Brazil. **Can. J. Zool.** **79**: 59-66.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; GONÇALVES, M. L. R. L.; KEINERT, A. C.; SASAKI, G. 2008. **Comportamento como bioindicador das interações entre o boto-cinza e o homem (tráfego de embarcações)**. In II Workshop do Nordeste: Pesquisa e Conservação de *Sotalia guianensis*. ROSSI-SANTOS, M. R., REIS, M. S. S (Coord.), pp. 129-136. Editus, Ilhéus, Bahia, Brasil.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; DECONTO, L. S.; LOUZADA, C. N.; WANDERLEY, R. P.; GODOY, D. F.; MEDEIROS, E. 2017. **Long-Term Monitoring of Dolphins in a Large Estuarine System of Southeastern Brazil**. In ROSSI-SANTOS, MARCOS R.; FINKL, C. (Org.), pp. 15-40. Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America: Technological Innovation in Ecology and Conservation. Springer, Cham.

MORISAKA, T.; SHINOHARA, M.; NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. 2005. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. **J. Mammal.** **86**: 541-546.

MORON, J. R.; AMORIM, T. O. S.; SUCUNZA, F.; CASTRO, F. R. D.; ROSSI-SANTOS, M.; ANDRIOLO, A. 2015. Spinner dolphin whistle in the Southwest Atlantic Ocean: is there a geographic variation? **J. Acoust. Soc. Am.** **138**: 2495-2498.

MORTON, E. S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. **Am. Nat.** **109**: 17-34.

MORTON, E. S. 1986. Predictions from the ranging hypothesis for the evolution of long-distance signals in birds. **Behaviour** **99**: 65-86.

MOUTERDE, S. C.; THEUNISSEN, F. E.; ELIE, J. E.; VIGNAL, C.; MATHEVON, N. 2014. Acoustic Communication and Sound Degradation: How Do the Individual Signatures of Male and Female Zebra Finch Calls Transmit over Distance? **PLoS ONE** **9**: e102842.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2000. **Marine Mammals and Low-Frequency Sound: Progress Since 1994**. National Academy Press, Washington, DC.

NEMETH, E.; BRUMM, H. 2010. Birds and anthropogenic noise: are urban songs adaptive? **Am. Naturalist** **176**: 465-475.

NOWACEK, D. P.; THORNE, L. H.; JOHNSTON, D. W.; TYACK, P. L. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. **Mammal Rev.** **37**: 81-115.

NRC (National Research Council). 2000. **Marine Mammals and Low-Frequency Sound**. National Academy Press, Washington, D.C.

NUSSENZVEIG, M. H. 2002. **Física Básica 2**. Blucher, São Paulo, Brasil.

O'BRIEN, J. M.; BERROW, S. D.; RYAN, C.; MCGRATH, D.; O'CONNOR, I.; PESANTE, G.; BURROWS, G.; MASSETT, N.; KLÖTZER, V.; WHOOLEY, P. 2009. A note on long-distance matches of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) around the Irish coast using photo-identification. **J. Cetac. Res. Manage.** **11**: 71-76.

OGP (Oil and Gas Producers). 2008. **Fundamentals of underwater sound**. Oil and Gas Producers, London.

PAPALE, E.; AZZOLIN, M.; CASCÃO, I.; GANNIER, A.; LAMMERS, M. O.; MARTIN, V. M.; OSWALD, J.; PEREZ-GIL, M.; PRIETO, R.; SILVA, M. A.; GIACOMA, C. 2013. Geographic variability in the acoustic parameters of striped dolphin's (*Stenella coeruleoalba*) whistles. **J. Acoust. Soc. Am.** **133**: 1126-1134.

PARKS, S. E.; CUSANO, D. A.; BOCCONCELLI, A.; FRIEDLAENDER, A. S.; WILEY, D. N. 2016. Noise impacts on social sound production by foraging humpback whales. **Proc. Meet. Acoust.** **27**: 1-8.

PARRIS, K. M.; VELIK-LORD, M.; NORTH, J. M. A. 2009. Frogs call at a higher pitch in traffic noise. **Ecol. Soc.** **14**: 25-49.

PILLING, S. 2017. **Ondas, som e introdução a bioacústica**. Disponível em: https://www1.univap.br/spilling/BIOF/BIOF_04_Ondas,%20som%20e%20bioacustica.pdf. Acesso em: 25/10/2017.

PINE, M. K.; WANG, K.; WANG, D. 2016. Monitoring rising ambient sound levels from vessels and impacts on Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) occurrences. **Proc. Meet. Acoust.** **27**: 1-12.

PIVARI, D.; ROSSO, S. 2005. Whistles of small groups of *Sotalia fluviatilis* during foraging behavior in southern Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** **118**: 2725-2731.

R Core Team. 2017. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Viena, Áustria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C.; JEFFS, A. G. 2010. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** **401**: 21-29.

RAKO, N.; VILIBIĆ, I.; MIHANOVIĆ, H. 2013. Mapping underwater sound noise and assessing its sources by using a self-organizing maps method. **J. Acoust. Soc. Am.** **133**: 1368-1376.

REZENDE, F. 2008. **Alterações acústico-comportamentais**. In *Biologia, Ecologia e Conservação do Boto-cinza*. Monteiro-Filho, E. L. A., Monteiro, K. D. K. A. (Eds.), pp. 155-176. Páginas e Letras, São Paulo, Brasil.

RICE, A. N.; TIELENS, J. T.; ESTABROOK, B. J.; MUIRHEAD, C. A.; RAHAMAN, A.; GUERRA, M.; CLARK, C. W. 2014. Variation of ocean acoustic environments along the western North Atlantic coast: a case study in context of the right whale migration route. **Ecol. Informatics** **21**: 89-99.

RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R. J.; MALME, C. I.; THOMSOM, D. H. 1995. **Marine Mammals and Noise**. Academic, New York, NY.

ROSSI-SANTOS, M. R. 2015. Oil industry and noise pollution in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) soundscape ecology of the southwestern Atlantic breeding ground. **J Coast Res.** **299**:184-195.

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

ROSSI-SANTOS, M. R., REIS, M. S. S. 2008. **Relatório do II Workshop do Nordeste sobre pesquisa e conservação de Sotalia guianensis**. In *II Workshop do Nordeste: Pesquisa e Conservação de Sotalia guianensis*. ROSSI-SANTOS, M. R., REIS, M. S. S (Coord.). Editus, Ilhéus, Bahia, Brasil, 276 pp.

SANJANA, M. C.; LATHA, G.; THIRUNAVUKKARASU, A.; RAGURAMAN, G. 2014. Acoustic propagation affected by environmental parameters in coastal waters. **Indian J. Geo-Mar. Sci.** **43**: 17-21.

SANTOS-JR, E.; PANSARD, K. C.; YAMAMOTO, M. E.; CHELLAPPA, S. 2006. Comportamento do boto-cinza, *Sotalia guianensis* (van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae) na presença de barcos de turismo na Praia de Pipa, Rio Grande do Norte, Brasil. **Rev. Bras. Zool.** **23**: 661-666.

SAUERLAND, M.; DEHNHARDT, G. 1998. Underwater audiogram of a tucuxi (*Sotalia fluviatilis guianensis*). **J. Acoust. Soc. Am.** **103**: 1199-1204.

SCOTT, M. D.; CHIVERS, S. J. 2009. Movements and diving behavior of pelagic spotted dolphins. **Marine Mammal Sci.** **25**: 137-160.

SEGER, K. D.; THODE, A. M.; SWARTZ, S. L.; URBÁN, R. J. 2015. The ambient acoustic environment in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. **J. Acoust. Soc. Am.** **138**: 3397-3410.

SEHGAL, A.; TUMAR, I.; SCHÖNWÄLDER, J. 2010. Effects of climate change and anthropogenic ocean acidification on underwater acoustic communications. **Proc. IEEE Oceans**: 1-6.

SLABBEKOORN, H.; ELLERS, J.; SMITH, T. B. 2002. Birdsong and Sound Transmission: The Benefits of Reverberations. **The Condor** **104**: 564-573.

SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. P. 2007. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. **Mol. Ecol.** **17**: 72-83.

SLABBEKOORN, H. 2013. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. **Anim Behav.** **85**: 1089-1099.

SONG, Z.; ZHANG, Y.; WANG, X.; WEI, C. 2017. A simulation of temperature influence on echolocation click beams of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*). **J. Acoust. Soc. Am.** **142**: EL381-EL387.

SOUTHALL, B. L.; BOWLES, A. E.; ELLISON, W. T.; FINNERAN, J. J.; GENTRY, R. L.; GREENE JR., C. R.; KASTAK, D.; KETTEN, D. R.; MILLER, J. H.; NACHTIGALL, P. E.; RICHARDSON, W. J.; THOMAS, J. A.; TYACK, P. L. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. **Aquat. Mamm.** **33**: 412-522.

TESSLER, M. G. 2001. **Taxas de sedimentação holocênica na plataforma continental sul do Estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, SP, Brasil, 155 pp.

UNESCO. 2012. **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**. Disponível em: <<http://www.unesco.org>>. Acesso em 11/06/2012.

UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). 2017. **Monitoramento da influência da pluma do Rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana/MG – novembro de 2015: processamento, interpretação e consolidação de dados**. Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, Brasil.

URICK, R. J. 1983. **Principles of underwater sound**. McGraw-Hill, New York, NY.

VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; PIJANOWSKI, B. C.; DOUCETTE, J.; PEKIN, B. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. **Landscape Ecol.** **26**: 1233-1246.

WATKINS, W. A. 1967. **The harmonic interval: Fact or artifact in spectral analysis of pulse trains**. In *Marine Bioacoustics*, Tavolga, W. N. (Ed.), pp. 15-43. Pergamon Press, Oxford, UK.

WENZ, G. M. 1962. Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources. **J. Acoust. Soc. Am.** **34**: 1936-1956.

WILLIAMS, R.; CLARK, C. W.; PONIRAKIS, D.; ASHE, E. 2013. Acoustic quality of critical habitats for three threatened whale populations. **Anim. Conserv.** **17**: 174-185.

WOOD, C. J. 1998. Movement of bottlenose dolphins around the south-west coast of Britain. **J. Zool.** **246**: 155-163.

GLOSSÁRIO

Absorção sonora: processo pelo qual a energia sonora é convertida em calor e que, portanto, causa um decaimento na amplitude da onda (Götz *et al.*, 2009).

Amplitude: magnitude das diferenças de pressão em uma onda senoidal, geralmente definida pelo valor máximo de pressão sonora (Bradley e Stern, 2008; Götz *et al.*, 2009).

Atenuação: é o decaimento da intensidade de um determinado som (Slabbekoorn *et al.*, 2002).

Bel, decibel: medida logarítmica da pressão sonora, calculada por $20\log_{10}$ (pressão / pressão de referência). A pressão de referência na água é de $1\mu\text{Pa}$ e equivale à 0 dB (Au e Hastings, 2008).

Coda: *clicks* estereotipados com ampla banda de frequência emitidos por cachalotes (*Physeter macrocephalus*), com função na comunicação social destes grandes cetáceos e na diferenciação individual de cada membro de uma família (Berta *et al.*, 2006; Amano *et al.*, 2014).

Coefficiente de absorção sonora: medida logarítmica da perda de intensidade sonora ao longo da distância em que uma onda sonora está sendo propagada, devido a absorção do som pelo meio (conversão da energia acústica em calor). Este coeficiente é representado por α e é dado em dB/km. O coeficiente de absorção sonora é calculado pela expressão $\alpha = (10\log I_1 - 10\log I_2) / (r - r_0)$, onde I é a intensidade sonora e r é a distância em quilômetros do ponto de origem do som r_0 . Este coeficiente pode variar em função da frequência da onda sonora e em função da viscosidade e profundidade do meio de propagação (Urlick, 1983).

Comprimento onda: é a menor distância na qual uma onda senoidal (ou periódica em caso de sons complexos) se repete, medida em metros (Bradley e Stern, 2008).

Degradação sonora: refere-se a alguma mudança no espectro sonoro, como tempo e estrutura do sinal e entre emissor e receptor do som (Slabbekoorn *et al.*, 2002).

Densidade: quantidade de partículas ou moléculas em um volume do espaço, agrupadas ou não, devido a propagação da onda sonora (Bradley e Stern, 2008).

Ecolocalização, ecolocação: Fenômeno de emissão de sons por parte de certos animais, como morcegos e golfinhos, para discernir a distância e a direção de objetos pela maneira como os sons são por eles refletidos (adaptado do Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa Michaelis, 2017).

Espaço acústico: volume que circunda um indivíduo, no qual a comunicação acústica com outros membros da própria espécie pode ser esperada. Este espaço para comunicação depende de muitas características do emissor, do receptor e do meio de propagação do som (Clark *et al.*, 2009).

Espectro de frequência: é a representação gráfica do nível de pressão sonora em função da frequência (Berta *et al.*, 2006)

Espectrograma: é a representação gráfica do conjunto de frequências de um som e suas respectivas amplitudes, em função do tempo. A amplitude é geralmente representada por uma escala de cores (Villanueva-Rivera *et al.*, 2011).

Frequência: número de oscilações de uma onda sonora por unidade de tempo, expressa em Hertz (Hz; Villanueva-Rivera *et al.*, 2011).

Frequência de Nyquist: é a metade da frequência de amostragem, correspondendo ao limite máximo de frequência do sinal que pode ser reproduzido sem erro (Villanueva-Rivera *et al.*, 2011).

Frequência fundamental: menor frequência (som mais grave) de uma sequência harmônica (Au e Hastings, 2008).

Harmônico: múltiplo inteiro de frequência de um som fundamental, produzido a partir de uma única fonte (Cathpole e Slater, 2008).

Hidrofone: sensor mecânico subaquático que detecta mudanças de pressão (Bradley e Stern, 2008; equivalente a um microfone para gravações em ambiente aéreo).

Impedância: é a resistência ou dificuldade que o material impõe à passagem do som, expressa por $Z = \rho \cdot c$, onde Z é a impedância acústica característica do meio ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), ρ a densidade do meio ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) e c a velocidade do som no meio ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; Au e Hastings, 2008).

Intensidade: é a potência recebida por unidade de área. Como potência é energia por unidade de tempo, a intensidade traz a informação sobre o fluxo de energia por unidade de área por unidade de tempo (Bradley e Stern, 2008).

Limiar de audição: particular frequência na qual um som dificilmente pode ser ouvido (Bradley e Stern, 2008).

Mascaramento: é a redução da audibilidade de um som devido à presença de um segundo som (National Research Council, 2000). O mascaramento ocorre quando um ruído ou outros sons são intensos o suficiente para impedir a detecção de relevantes sinais biológicos de comunicação e orientação no espaço de peixes e mamíferos marinhos em uma determinada faixa de frequência (Ospar, 2009).

Modulação do som: a modulação de um som é o conjunto de variações na amplitude ou na frequência de uma onda sonora. Nesta tese, sons modulados referem-se a sons que variam em frequência, ao longo do tempo (Guimarães, 2006).

Nível de pressão sonora (NPS): é o valor da logaritmização da razão entre a pressão sonora mensurada em um determinado ponto do espaço e a pressão sonora de referência, ou seja, $NPS = 20 \log_{10} (\text{pressão mensurada} / \text{pressão de referência})$. A pressão de referência na água equivale à $1 \cdot 10^{-6}$ Newtons/m² (ou 1 μ Pa) e, no ar, equivale à $20 \cdot 10^{-6}$ Newtons/m² (ou 20 μ Pa; Au e Hastings, 2008). O valor do NPS igual 0 dB significa que a pressão mensurada é igual a pressão de referência. Valores negativos do NPS significam que a pressão mensurada é menor que o valor de referência e valores positivos indicam maior pressão mensurada em comparação a pressão de referência.

Onda mecânica: são ondas que se propagam apenas em meio material (meio deformáveis ou elásticos). Durante a propagação destas ondas, as partículas do meio vibram em torno do seu ponto de equilíbrio, sem se deslocarem ao longo da propagação, juntamente com a onda mecânica. Ondas sonoras, ondas em uma corda ou na água são exemplos de ondas mecânicas (Pilling, 2017).

Oscilograma: é a representação gráfica da amplitude de uma onda em função do tempo (Au e Hastings, 2008).

Oxigênio dissolvido: é a concentração de oxigênio dissolvido na água do mar. A degradação aeróbica da matéria orgânica é um dos principais agentes da diminuição deste gás na água (Fiorucci e Benedetti-Filho, 2005).

Pressão sonora: é a força exercida por unidade de área em um determinado meio devido à propagação da onda sonora (Au e Hastings, 2008).

Propagação esférica do som: é a mais simples condição de propagação de um sinal em um meio homogêneo. Neste conceito, o sinal se propaga igualmente a partir da origem em todas as direções, na forma de esfera de um raio r . Assim, a intensidade de um som decai com o quadrado de distância (r) e a atenuação do som aumenta com o quadrado da distância (Urlick, 1983).

Reflexão do som: mudança na trajetória de uma onda sonora, em um determinado ângulo, devido a presença de uma barreira ou um limite no ambiente (Bradley e Stern, 2008).

Ruído: informação indesejada dentro de uma faixa de frequência em um canal de comunicação (Dictionary of Physics, 2009).

Sensitividade: é a capacidade de resposta de um transdutor na transformação da pressão sonora, por exemplo, em sinal elétrico. Geralmente, é determinada como o número de decibéis relativos a 1 volt produzido por uma pressão acústica de 1 micropascal. Sua unidade é dB re 1V / μ Pa (Urick, 1983).

Termoclina sazonal: a palavra termoclina refere-se a mudança de temperatura conforme a profundidade. Termoclina sazonal refere-se a diminuição de temperatura (e velocidade do som) com o aumento da profundidade do oceano, a qual varia ao longo do ano, principalmente em regiões temperadas. Durante o verão as águas superficiais se aquecem, tornando a termoclina sazonal muito marcada. Já no inverno, as águas se resfriam e esta camada tende a ser indistinguível da camada superficial do oceano. Abaixo da termoclina sazonal existe a termoclina, camada permanente e pouco influenciada por variações sazonais (Urick, 1983).

Turbidez: é o resultado da intensa dispersão de luz por partículas finas em suspensão na água. Assim, água com grandes quantidades de finas partículas são consideradas turvas e, conseqüentemente, são águas com menor visibilidade (Davies-Colley e Smith, 2001).

**APÊNDICE 1 – TABELAS COM OS VALORES ABSOLUTOS DOS PARÂMETROS SONOROS E AMBIENTAIS REGISTRADOS NO
CAPÍTULO I, DE ACORDO COM A REGIÃO, LOCAL E DISTÂNCIAS AMOSTRADOS**

Tabela I (continua). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500 m de distância da fonte emissora na região nordeste do Brasil e em ambos os locais de amostragem (externo e interno). FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IEC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

			15m	50m	100m	500m	Geral
Assobio	Duração	Média±DP	0,14±0,01	0,15±0,02	0,14±0,01	0,14±0,01	0,14±0,01
		CV (%)	7,69	10,32	9,52	9,01	9,22
		“Range”	0,12-0,16	0,13-0,17	0,11-0,16	0,13-0,17	0,11-0,17
	FMín	Média±DP	11,79±0,28	12,08±0,23	12,12±0,31	12,36±0,31	12,09±0,34
		CV (%)	2,37	1,88	2,54	2,52	2,83
		“Range”	11,29-12,20	11,68-12,50	11,77-12,70	11,82-13,00	11,29-13,00
	FMáx	Média±DP	17,39±0,21	17,43±0,27	17,23±0,34	17,33±0,28	17,34±0,28
		CV (%)	1,19	1,52	1,95	1,62	1,60
		“Range”	16,90-17,79	17,10-17,90	16,64-17,77	17,00-18,07	16,64-18,07
NPS	Média±DP	143,26±15,72	135,75±14,62	130,06±14,88	114,61±13,97	130,92±17,84	
	CV (%)	10,97	10,77	11,44	12,19	13,63	
	“Range”	116,70-158,20	106,80-150,40	103,50-152,80	95,30-133,70	95,30-158,20	

Tabela I (continuação). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500m de distância da fonte emissora na região nordeste do Brasil e em ambos os locais de amostragem (externo e interno). FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IEC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

Burst pulses	Duração	Média±DP	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	
		CV (%)	16,45	20,38	16,45	20,38	18,04	
		“Range”	0,02-0,03	0,02-0,04	0,02-0,03	0,02-0,04	0,02-0,04	
	TRP	Média±DP	951,58±41,71	919,42±50,64	904,83±34,30	905,25 ±71,91	920,00±53,50	
		CV (%)	4,38	5,51	3,79	7,94	5,82	
		“Range”	910,00-	870,00-	860,00-980,00	825,00±1015,0	825,00-	
	Nº bandas	Média±DP	1018,00	1010,00	21,75±1,87	0	1018,00	
		CV (%)	21,92±1,73	21,92±1,73	8,57	16,50	20,60±3,17	
		“Range”	7,89	7,89	18,00-24,00	3,18	15,38	
	NPS	Média±DP	17,00-24,00	18,00-24,00	133,20±15,18	13,00-24,00	13,00-24,00	
		CV (%)	142,21±16,48	138,15±14,56	11,40	119,00±116,13	133,44±17,57	
		“Range”	11,59	10,54	110,30-152,70	13,55	13,16	
	Clicks	Duração	Média±DP	116,00-160,70	117,40-156,80	0,45±0,01	0,42±0,02	0,44±0,02
			CV (%)	1,17	2,43	2,47	5,36	3,74
			“Range”	0,44-0,46	0,43-0,46	0,43-0,46	0,39-0,44	0,39-0,46
FMín		Média±DP	0,53±0,04	0,57±0,05	0,60±0,06	2,15±1,79	0,96±1,07	
		CV (%)	7,06	9,20	9,21	82,95	111,07	
		“Range”	0,49-0,58	0,52-0,64	0,54-0,65	0,70-4,47	0,49-4,47	
Nº clicks		Média±DP	35,33±1,41	34,68±0,69	34,330,72	32,75±1,91	34,25±1,51	
		CV (%)	4,00	1,99	2,10	5,84	4,40	
		“Range”	34,00-37,33	33,67-35,33	33,67±35,33	30,00-34,33	33,67-37,33	
IEC		Média±DP	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	
		CV (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		“Range”	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01	
NPS		Média±DP	145,80±17,37	143,16±16,31	136,34±17,44	122,82±19,03	137,03±18,20	
		CV (%)	11,92	11,40	12,79	15,49	13,28	
		“Range”	122,47-163,97	122,37-161,83	113,03-155,17	98,55-144,47	113,03-163,97	

Tabela II (continua). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500 m de distância da fonte emissora na região sudeste do Brasil e em ambos os locais de amostragem (externo e interno). FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IEC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

			15m	50m	100m	500m	Geral	
Assobio	Duração	Média±DP	0,14±0,01	0,14±0,01	0,15±0,01	0,14±0,01	0,14±0,01	
		CV (%)	7,14	7,14	6,67	7,14	7,14	
		“Range”	0,13-0,16	0,14-0,16	0,14-0,16	0,13-0,16	0,13-0,16	
	FMín	Média±DP	11,95±0,40	11,78±0,28	12,02±0,48	11,92±0,29	11,92±0,37	
		CV (%)	3,35	2,38	3,99	2,43	3,10	
		“Range”	11,35-12,57	11,25-12,27	10,90-12,65	11,64-12,54	10,90-12,65	
	FMáx	Média±DP	17,69±0,19	17,61±0,20	17,59±0,18	17,58±0,09	17,62±0,17	
		CV (%)	1,07	1,14	1,03	0,51	0,97	
		“Range”	17,38-18,11	17,28-17,96	17,35-18,01	17,45-17,76	17,28-18,11	
	NPS	Média±DP	154,62±5,30	143,52±6,40	136,97±4,77	127,32±7,95	140,60±11,71	
		CV (%)	3,43	4,46	3,48	6,24	8,33	
		“Range”	149,40-162,50	135,00-151,80	127,70-140,90	115,30-134,80	115,30-162,50	
	Burst pulses	Duração	Média±DP	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	0,03±0,01
			CV (%)	33,33	33,33	33,33	50,00	33,33
			“Range”	0,02-0,03	0,02-0,04	0,03-0,05	0,02-0,03	0,01-0,05
TRP		Média±DP	947,42±86,67	904,00±56,14	871,92±95,41	886,08±78,11	902,35±82,93	
		CV (%)	9,15	6,21	10,94	8,82	9,19	
		“Range”	795,00-1070,00	815,00-954,00	640,00-957,00	795,00-979,00	640,00-1070,00	
Nº bandas		Média±DP	22,25±3,11	19,83±2,21	20,17±1,85	18,83±2,04	20,27±2,60	
		CV (%)	13,98	11,15	9,17	10,83	12,83	
		“Range”	18,00-27,00	17,00-23,00	18,00-24,00	16,00-22,00	16,00-27,00	
NPS		Média±DP	150,23±1,50	138,62±4,66	129,83±1,96	119,90±7,91	134,65±12,19	
		CV (%)	1,00	3,36	1,51	6,60	9,05	
		“Range”	147,40-151,80	132,30-143,90	126,40-132,00	111,40-129,90	111,40-151,80	

Tabela II (continuação). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos a 15, 50, 100 e 500 m de distância da fonte emissora na região sudeste do Brasil e em ambos os locais de amostragem (externo e interno). FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IEC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

Clicks	Duração	Média±DP	0,45±0,01	0,45±0,01	0,46±0,004	0,45±0,01	0,45±0,01
		CV (%)	2,22	2,22	0,87	2,22	2,22
		“Range”	0,45-0,47	0,44-0,47	0,45-0,46	0,43-0,45	0,43-0,47
	FMín	Média±DP	0,57±0,06	0,63±0,05	0,56±0,02	0,70±0,14	0,62±0,09
		CV (%)	10,53	7,94	3,57	20,00	14,52
		“Range”	0,53-0,66	0,59-0,69	0,54-0,59	0,45-0,63	0,53-0,63
	Nº <i>clicks</i>	Média±DP	35,42±1,83	34,63±1,25	34,92±1,60	34,92±1,69	34,97±1,47
		CV (%)	5,17	3,61	4,58	4,84	4,20
		“Range”	33,67-37,00	34,00-36,50	33,67-37,00	33,00-37,00	33,00-37,00
	IEC	Média±DP	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
		CV (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		“Range”	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01	0,01-0,01
	NPS	Média±DP	164,24±6,43	154,38±7,50	147,80±7,29	135,43±6,89	150,28±12,55
		CV (%)	3,92	4,86	4,93	5,09	8,35
		“Range”	159,10-172,97	144,57-160,60	139,93-154,17	125,17-139,47	125,17-172,97

Tabela III (continua). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos nos locais externo e interno em ambas as regiões do Brasil. FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

			Local Externo	Local Interno	
Assobios	Duração	Média±DP	0,14±0,01	0,14±0,01	
		CV (%)	7,14	7,14	
		“Range”	0,12-0,17	0,11-0,17	
	FMín	Média±DP	11,94±0,36	12,07±0,37	
		CV (%)	3,02	3,07	
		“Range”	10,90-12,67	11,35-13,00	
	FMáx	Média±DP	17,45±0,23	17,51±0,30	
		CV (%)	1,32	1,71	
		“Range”	16,70-18,01	16,64-18,11	
	NPS	Média±DP	141,94±13,28	129,58±15,77	
		CV (%)	9,34	12,17	
		“Range”	102,30-162,50	95,30-152,80	
	Burst pulses	Duração	Média±DP	0,03±0,01	0,03±0,01
			CV (%)	33,33	33,33
			“Range”	0,02-0,05	0,02-0,04
TRP		Média±DP	909,65±72,23	912,98±68,36	
		CV (%)	7,94	7,49	
		“Range”	640,00-1015,00	795,00-1070,00	
Nº bandas		Média±DP	21,04±3,01	19,75±2,64	
		CV (%)	14,31	13,37	
		“Range”	13,00-27,00	13,00-24,00	
NPS		Média±DP	139,53±12,01	128,27±15,72	
		CV (%)	8,61	12,26	
		“Range”	113,30-160,70	88,30-151,80	

Tabela III (continuação). Estatística descritiva para os parâmetros sonoros de assobios, *burst pulses* e *clicks* de *Sotalia guianensis* obtidos nos locais externo e interno em ambas as regiões do Brasil. FMín = frequência mínima; FMáx = frequência máxima; NPS = nível de pressão sonora; TRP = taxa de repetição de pulsos por segundo; IC = intervalo entre *clicks* em segundos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Duração em segundos (s), Frequência em quilohertz (kHz) e NPS em decibéis (dB re μ Pa).

Click	Duração	Média±DP	0,44±0,07	0,45±0,02
		CV (%)	15,91	4,44
		"Range"	0,39-0,47	0,39-0,48
	FMín	Média±DP	0,62±0,10	0,89±1,08
		CV (%)	16,13	121,35
		"Range"	0,39-0,90	0,45-7,07
	Nº clicks	Média±DP	34,96±1,81	34,32±1,63
		CV (%)	5,18	4,72
		"Range"	32,00-39,00	29,00-38,00
	IC	Média±DP	0,01±0,00	0,01±0,00
		CV (%)	0,00	0,00
		"Range"	0,01-0,01	0,01-0,01
	NPS	Média±DP	146,90±11,50	136,45±14,95
		CV (%)	7,83	10,96
		"Range"	117,80-168,00	97,90-161,40

Tabela IV. Resultados da análise descritiva para os parâmetros ambientais da água registrados na região nordeste (NE) e sudeste (SE) do Brasil. Dentro de cada região foram amostrados dois locais, externo e interno, com base na proximidade com mar aberto e rios. T = temperatura; S = salinidade; OD = oxigênio dissolvido; P = profundidade; Tu = turbidez; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

	Estatística	T (°C)	S (‰)	OD (%)	P (m)	Tu (NTU)
NE externo	Média± DP	26,90±0,82	36,00±1,59	19,06±2,77	9,50±1,08	1,11±1,06
	CV (%)	3,07	4,42	14,54	11,35	94,74
	Amplitude	26,10-28,60	34,00-38,00	15,30-23,00	7,70-11,00	0,01-2,51
NE interno	Média± DP	31,66±1,30	26,50±11,36	14,70±6,69	1,75±0,47	34,07±1,48
	CV (%)	4,10	42,88	45,47	26,73	45,51
	Amplitude	29,90-33,60	13,00-38,00	7,80-23,10	1,30-2,70	10,75-60,00
SE externo	Média± DP	28,76±1,75	24,75±2,06	17,64±0,95	12,16±5,98	6,16±3,72
	CV (%)	6,09	8,31	5,36	49,18	60,42
	Amplitude	27,00-32,10	20,00-27,00	16,70-19,80	4,40-18,80	1,20-10,42
SE interno	Média± DP	27,23±0,22	14,63±4,02	16,02±1,71	4,76±1,61	12,73±5,33
	CV (%)	0,82	27,48	10,65	33,80	41,85
	Amplitude	27,00-27,50	10,00-20,00	13,10-18,00	1,00-6,60	6,28-19,10
NE geral	Média± DP	29,28±2,62	31,25±9,39	16,88±5,55	5,61±3,96	17,59±19,44
	CV (%)	8,96	30,04	32,89	70,55	110,49
	Amplitude	26,10-33,60	13,00-38,00	7,80-23,10	1,30-11,00	0,01-60,00
SE geral	Média± DP	27,99±1,47	19,69±5,99	16,83±1,60	8,46±5,73	9,44±5,64
	CV (%)	5,23	30,43	9,48	67,73	59,73
	Amplitude	27,00-32,10	10,00-27	13,10-19,80	1,00-18,80	1,20-19,10