

**Projeto de Monitoramento da Paisagem
Acústica Submarina da Bacia de Santos
PMPAS-BS – 2º Ciclo**

7º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2022

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2023**



E&P

ÍNDICE GERAL

Sumário Executivo	i
I Introdução.....	1
I.1 Paisagem Acústica Submarina.....	2
I.2 Transição do 1º Ciclo para o 2º Ciclo do PMPAS-BS.....	3
I.3 Objetivo e Estrutura do Relatório.....	6
II Materiais e Métodos	9
II.1 Área de Estudo.....	9
II.1.1 Região Costeira	10
II.1.2 Região Oceânica	16
II.2 Dados Acústicos.....	22
II.2.1 Processamento dos Dados	22
II.2.2 Caracterização dos Dados	23
III Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	27
III.1 Região Oceânica.....	27
III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores	27
III.1.1.1 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4	33
III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	43
III.1.2.1 Comparação entre as LFIs.....	43
III.2 Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	54
III.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos	54
III.2.2 Variabilidade Temporal do Ruído nos Observatórios Submarinos	65



IV	Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS	70
IV.1	Validação com Dados Medidos	71
IV.2	Resultados Obtidos.....	72
IV.2.1	Sazonalidade	73
IV.2.2	Ruído Médio e Desvio Padrão	76
IV.2.3	Diferenças Espaço-Temporais	77
IV.2.4	Categorização do Ruído Modelado	79
IV.3	Avaliação sobre os Resultados da Modelagem	83
V	Estudo de decaimento sonoro de Fontes Sísmicas in situ no Campo de Tupi.....	85
V.1	Metodologia Utilizada para Avaliação do Decaimento	86
V.1.1	Medição de Dados Acústicos	86
V.1.2	Processamento de Dados Acústicos	89
V.2	Resultados da Análise do Decaimento Sonoro.....	91
V.2.1	Paisagem Acústica na Região de Tupi	91
V.2.2	Estatísticas Gerais	95
V.2.3	Decaimento Sonoro Horizontal	100
V.2.4	Decaimento Sonoro Vertical	102
V.2.5	Discussão sobre o Decaimento Sonoro	105
VI	Considerações Finais.....	111
VI.1	Esforço Amostral e Conhecimento Auferido pelo PMPAS-BS	111
VI.2	Contribuições dos Monitoramentos Móvel, Fixo Oceânico e Fixo Costeiro	112
VI.3	Resultados da Análise da Paisagem Acústica.....	115
VI.4	Contribuição da Modelagem do Ruído Acústico na Bacia de Santos	119



VI.5	Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas	120
VI.6	Contribuição do PMPAS-BS com o PMC-BS	121
VII	Referências Bibliográficas	123
VIII	Equipe Técnica	129
VIII.1	Petrobras	129
VIII.2	Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM)	130
APÊNDICE A	Produção Científica	131
APÊNDICE B	Testes Estatísticos	135
B.1	Descrição dos Testes Estatísticos	135
B.2	Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	136
B.2.1	Região Oceânica	136
B.2.1.1	Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores	136
	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4	136
	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por ano	137
	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por profundidade	139
B.2.1.2	Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	141
	Comparação entre as LFIs	141
	Comparação entre as LFIs por ano	141
	Comparação entre as LFIs por profundidade	143
B.2.2	Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	144
B.2.2.1	Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos	144
APÊNDICE C	Modelagem do Ruído - Validação com Dados Medidos	147



APÊNDICE D	Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados	157
D.1	Monitoramento Móvel	157
D.1.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores	157
D.1.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders	157
D.2	Monitoramento Fixo	159
D.2.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs).....	159
D.2.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs)	159
D.2.3	Dados Ambientais	160
D.3	Densidade de Embarcações	161
D.4	Georreferenciamento dos Dados Acústicos.....	161
D.5	Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais	161
D.6	Sistema de Informações	162
D.7	Processamento e Arquivamento dos Dados	162
D.7.1	Consistência e Qualificação dos Dados	162
D.7.2	Definição dos Parâmetros Processados	163
D.7.3	Apresentação dos Dados e Resultados	164
D.7.3.1	Resolução Espacial Plana	164
D.7.3.2	Resolução Espacial Vertical.....	165
D.7.3.3	Resolução Espectral	165
D.7.3.4	Resolução Temporal	165
D.7.3.5	Densidade Amostral Espacial	166
D.7.3.6	Nível de Pressão Sonora Espacial.....	167
D.7.3.7	Nível da Pressão Sonora Temporal	168



D.7.3.8	Espectros de 1/3 de Oitava.....	169
D.7.3.9	Espectrogramas.....	169
D.7.3.10	Nível de Exposição Sonora – SEL _{24H}	170





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

7º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2023

FIGURAS

- Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS. 9
- Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2). Os retângulos marcados como (A) e (B) no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B). 12
- Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OSs é de 32 km. 13
- Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3). 14
- Figura II.1.1-4: Observatórios Submarinos do 2º ciclo do PMPAS-BS: OS1, no canal de acesso à Baía de Guanabara e as quatro posições consideradas para o OSp em lâminas d'água de até 100 m. 15
- Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos no primeiro ciclo do PMPAS-BS (FA01, FA02, FA03, FA03R, FA04, FA04R, FA05 e FA06, em vermelho) e das três linhas previstas para o segundo ciclo do projeto (FA, FB e FC, em azul). 18
- Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior). (Fonte: PETROBRAS, (2022))..... 21
- Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis



de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam as posições sobre a linha diagonal e dentro dos limites da Bacia de Santos (linha tracejada azul) com valores de SPL mínimo e máximo, respectivamente. A cruces pretas indicam posição das plataformas da PETROBRAS.	27
Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo). A linha tracejada magenta no gráfico de cima indica a posição do SPL máximo e a linha preta a posição do SPL mínimo, considerando apenas medições dentro dos limites da Bacia de Santos, dados pelas linhas pontilhadas pretas que marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da bacia.	29
Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL_{63Hz} para as medições realizadas na linha diagonal, numa posição onde aparecem muitos valores extremos ($-25,00^{\circ}$, $-42,08^{\circ}$), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de $105 \text{ dB re } 1\mu\text{Pa}^2$).	30
Figura III.1.1-4: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	31
Figura III.1.1-5: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos. Os trechos destacados correspondem aos trechos em que a linha cruza as regiões R1, R3 e R4.	32
Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=41.785,6$, $p=0$).	33



- Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição..... 34
- Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz..... 35
- Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de seis marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. 37
- Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, mas sem usar os dados com disparos das fontes sísmicas dos gliders utilizados para acompanhar a atividade sísmica. No gráfico superior são mostrados os boxplots para a frequência de 63 Hz e no gráfico inferior são representados os percentis de 25%, 50% e 75% para todas as frequências analisadas. 39
- Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz..... 40
- Figura III.1.1.1-7: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades



em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.	41
Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	44
Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	45
Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2022 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	46
Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2022 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de quatro marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020; a linha FA03 não tem dados para 2021; e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020.	46
Figura III.1.2.1-5: Comparação entre as LFIs do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.	48
Figura III.1.2.1-6: Comparação entre as LFIs para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.	49
Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o SEL _{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.	51



Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL_{24h_MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	51
Figura III.1.2.1-9: Evolução temporal do SEL_{24h_LF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.	52
Figura III.1.2.1-10: Evolução temporal do SEL_{24h_MF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.	53
Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.	55
Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.....	56
Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R e OS3. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.	57
Figura III.2.1-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).....	59
Figura III.2.1-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).....	60
Figura III.2.1-6: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as oito posições analisadas.....	61
Figura III.2.1-7: Comparação entre os OSs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	61



- Figura III.2.1-8: SEL_{24h} para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 usando os dados sem ponderação, com ponderação para a faixa LF e com ponderação para a faixa MF. As linhas tracejadas verticais pretas indicam a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima e entre os OS3R, OS3R1 e OS3R2 no gráfico de baixo. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.63
- Figura III.2.1-9: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as oito posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.64
- Figura III.2.2-1: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no interior da Baía de Guanabara a partir dos dados do OS1 e OS1A. Os dados cobrem o período de 14/03/2017 a 29/12/2022.....66
- Figura III.2.2-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} na região do arquipélago das Ilhas Cagarras a partir dos dados dos OS3R, OS3R1 e OS3R2. Os dados cobrem o período de 18/03/2020 a 05/10/2022.....66
- Figura III.2.2-3: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a leste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2. Os dados cobrem o período 21/03/2018 a 07/09/2019, para a frequência de 63 Hz, e de 24/05/2017 a 07/09/2019 para as demais frequências.....67
- Figura III.2.2-4: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a oeste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2R. Os dados cobrem o período de 19/08/2020 a 09/10/2022.68
- Figura III.2.2-5: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no Canal de São Sebastião a partir dos dados do OS3. Os dados cobrem o período de 01/03/2018 a 14/03/2020, para a



frequência de 63 Hz, e de 16/03/2017 a 14/03/2020 para as demais frequências.....	69
Figura IV.2-1: Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2022. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS)	73
Figura IV.2.1-1: Mapa do SPL médio (dB re 1 μ Pa ²) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2022 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.	74
Figura IV.2.1-2: Mapa do SPL médio (dB re 1 μ Pa) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2022 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.	74
Figura IV.2.1-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2022, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz.....	75
Figura IV.2.1-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2022, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz.....	76
Figura IV.2.2-1: Mapa do valor médio e desvio padrão do SPL de 2016 a 2022 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	77
Figura IV.2.2-2: Mapa do valor médio e desvio padrão do SPL de 2016 a 2022 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	77
Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2022 e o ano de 2021 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	78
Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2022 e o ano de 2021 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	79
Figura IV.2.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	81



Figura IV.2.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	81
Figura V.1.1-1: Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico da sísmica de Tupi durante as campanhas C01 a C04 (18/06/2022 a 9/11/2022).	87
Figura V.1.1-2: Trecho com as maiores amplitudes do sinal gravado na campanha ME-C004, apresentada como um percentual do fundo de escala do conversor analógico-digital.....	88
Figura V.1.1-3: Posições relativas entre a fonte e o glider de monitoramento acústico da sísmica no período de junho a novembro de 2022 nos instantes de detecção dos disparos. Os pontos em escala de cor proporcional à data no interior da área de aquisição (linha preta pontilhada) se referem às posições da fonte e os pontos coloridos nas imediações do polígono se referem às coordenadas do glider.....	89
Figura V.1.2-1: Espectro de potência para um disparo de um arranjo de canhões de ar, mostrando a energia acumulada em função da frequência.....	90
Figura V.2.1-1: Estatísticas de ruído ambiente estimadas a partir de dados do PMPAS-BS. O mapa superior esquerdo mostra a distribuição do SPL médio integrado nas bandas de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava para a região do polígono de aquisição sísmica e seu entorno. As cores indicam a magnitude do SPL interpolado para uma grade regular. O mapa superior direito mostra o número de gravações acústicas de 1 minuto por célula de 9 km usada na estatística do SPL. O boxplot (painel inferior) mostra a distribuição dos valores de SPL na região selecionada em função da faixa de profundidade da gravação. Os valores sobre cada box indicam a mediana do SPL.	93
Figura V.2.1-2: Comportamento do número de registros de AIS (embarcações distintas) por dia na região do polígono de aquisição sísmica e seu entorno. À esquerda: variação temporal no período de obtenção dos dados acústicos do PMPAS-BS e usados na estimativa dos níveis de	



- ruído ambiente (curva azul) e no período de monitoramento da sísmica de Tupi (curva laranja); a linha cheia mostra a média mensal. À direita: histogramas do número de embarcações por dia durante os anos de coleta dos dados acústicos usados na estimativa da paisagem acústica e no período monitorado da sísmica de Tupi..... 94
- Figura V.2.2-1: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica. 96
- Figura V.2.2-2: Gráfico de barras ilustrando a distribuição do número de registros acústicos em função da profundidade. 97
- Figura V.2.2-3: Painel (a): histogramas do SPL computado em janelas de 1 minuto. Em laranja: somente gravações com disparos de produção validados a partir de dados da fonte; em verde: gravações com disparos classificados como de ramp-up; em azul: o restante das gravações acústicas. Painel (b): curvas de densidade de probabilidade acumulada para os mesmos dados do painel (a). 99
- Figura V.2.3-1: Variação do SPL para janelas de 1 minuto de sinal em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos azuis indicam as janelas de gravação em que não ocorreram disparos de produção e os pontos laranjas referem-se aos minutos com indicação de ocorrência de disparos. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL_r = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 100 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 209,4$ e $N = 18,0$ da curva de decaimento ($R^2 = 0.65$)..... 101
- Figura V.2.4-1: Boxplots com a distribuição dos níveis de exposição sonora SPL de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da profundidade de medição. Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18.0 * \log_{10} r$, obtido da Equação B.2.1.1-1. 102
- Figura V.2.4-2: Variação do SPL (dB re $1\mu Pa^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da



distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical).....	103
Figura V.2.4-3: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava e em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical). Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18,0 * \log_{10}r$, obtido da Equação B.2.1.1-1.....	104
Figura V.2.4-4: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) em função da profundidade de medição (eixo vertical). Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18,0 * \log_{10}r$, obtido da Equação B.2.1.1-1. No gráfico de baixo, é apresentada a distribuição do SPL, em forma de boxplot.	105
Figura V.2.5-1: Variação do nível de exposição sonora (SEL) decorrentes de pulsos de air gun em função da profundidade. Extraído do trabalho de Martin et al., (2017). A legenda reproduzida na figura indica que diferenças nos níveis recebidos ocorrem majoritariamente nos primeiros 3 km de distância da fonte.	107
Figura V.2.5-2: Variação de diversos parâmetros acústicos associados a gravações de pulsos de air gun em diferentes profundidades e em função do afastamento da fonte (Sidorovskaia & Li, 2022). Painel superior: $\text{SPL}_{\text{pico_a_pico}}$ (à esquerda) e SPL (à direita); painel inferior: SPL_{pico} (à esquerda) e SEL (à direita).	108
Figura V.2.5-3: Exemplos de seções transversais modeladas de ruído irradiado de fontes sísmica (McPherson, Quijano, Weirathmueller, Hiltz, & Lucke, 2019; Wladichuk, McPherson, Lucke, & Li, 2018).	109
Figura B.1-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e	



perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	136
Figura C-1: Mapa ilustrativo mostrando quadrados delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e as cinco linhas usadas para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.	148
Figura C-2: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	149
Figura C-3: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	149
Figura C-4: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	150
Figura C-5: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	151
Figura C-6: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	152



Figura C-7: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.....	152
Figura C-8: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	153
Figura C-9: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	154
Figura C-10: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.....	155
Figura C-11: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.....	155
Figura D.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.....	167
Figura D.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.....	168
Figura D.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.....	168



Figura D.7.3.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.....	169
Figura D.7.3.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.	170
Figura D.7.3.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela D.7.3.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).....	171



TABELAS

Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos. As linhas destacadas em vermelho correspondem às posições dos OS usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continuará sendo usada no segundo ciclo. A linha destacada em azul representa a primeira das novas posições a serem usadas no segundo ciclo.	11
Tabela II.1.2-1: Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas referentes aos primeiro (destaque em vermelho) e segundo (destaque em azul) ciclos do PMPAS-BS.	18
Tabela II.2.2-1: Número de equipamentos, tempo de gravação, período da coleta e percentual aceito na qualificação para cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS.	25
Tabela III.1.1-1: Posição dos níveis mínimo e máximo de SPL observados sobre a linha diagonal nos mapas para cada frequência apresentada e respectiva posição. É mostrada na última coluna a diferença entre os SPL máximos e mínimos para cada frequência.	32
Tabela IV.2.4-1: Classes de Ruído.	80
Tabela IV.2.4-2: Cobertura Espacial por Classe de Ruído 63 Hz.	82
Tabela IV.2.4-3: Cobertura Espacial por Classe de Ruído 125Hz.	83
Tabela V.2.2-1: Estatísticas gerais dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider de monitoramento da sísmica de Tupi durante o período de 18/06/2022 a 09/11/2022 – campanhas C01, C02, C03 e C04 de monitoramento específico do PMPAS-BS.	96
Tabela V.2.2-2: Estatísticas gerais do SPL na janela de 1 minuto de sinal. Dados do glider de monitoramento da sísmica de Tupi durante o período de 18/06/2022 a 09/11/2022 – campanhas C01, C02, C03 e C04 de monitoramento específico do PMPAS-BS.	100



Tabela A-1: Produção científica usando dados e informações do PMPAS-BS....	131
Tabela B.2.1.1-1: SPL no 25º, 50º (mediano), 75º e 90º percentis e nível RMS para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	137
Tabela B.2.1.1-2: Mediana para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2016 a 2022.	139
Tabela B.2.1.1-3: Mediana para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m.	140
Tabela B.2.1.2-1: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	141
Tabela B.2.1.2-2: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022. O teste estatístico ANOVA teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=27.984,7$, 125Hz – $F=55.863,5$, 500 Hz – $F=50.379,0$, 1.000 Hz – $F=34.039,1$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020. A linha FA03 não coletou dados em 2021 e 2022 e a linha FA04R não coletou dados em 2022.	142
Tabela B.2.1.2-3: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes	



resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=55.027,7$, 125 Hz – $F=103.456,9$, 500 Hz – $F=92.335,1$, 1.000 Hz – $F=59.623,7$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.	143
Tabela B.2.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. Para cada frequência, as diferenças entre as distribuições foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $p=0$).	144
Tabela D.7.3.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.	165
Tabela D.7.3.10-1: Sumário dos parâmetros da função de pesos e limiares de TTS e PTS. Os limiares do SEL estão em dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ e para SPL_{pico} em dB re $1\mu\text{Pa}^2$. A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a (D.7.3.10-1). No cálculo do SPL_{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).....	171
Tabela D.7.3.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).....	172



SUMÁRIO EXECUTIVO

Introdução

Este documento é o sétimo relatório técnico anual do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos (PMPAS-BS), elaborado para atender condicionantes dos processos de licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, para as atividades de exploração e produção de óleo e gás da PETROBRAS na Bacia de Santos, e tem como objetivo a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos, rotas de navegação preferenciais que servem o polo e algumas regiões costeiras de interesse.

O PMPAS-BS foi elaborado considerando ciclos de implantação com duração de quatro anos ou pouco mais em função da contratação de serviços de medições acústicas. O primeiro ciclo teve uma duração de novembro de 2015 a dezembro de 2021, composto de componentes de Monitoramento Móvel com perfiladores acústicos e *gliders*, Monitoramento Fixo Costeiro com três observatórios submarinos, e Monitoramento Fixo Oceânico com seis linhas de fundeio, além de uma componente de Modelagem de Propagação Acústica. No segundo ciclo, foi otimizado o esforço amostral, mantendo a componente de Modelagem Acústica.

Materiais e Métodos

Os dados acústicos adquiridos foram processados para obtenção de parâmetros espectrais, que foram posteriormente qualificados usando informações estatísticas dos próprios dados ou informações externas. O parâmetro acústico obtido foi o Nível de Pressão Sonora (SPL), nas bandas de frequência de um espectro de 1/3 de oitava. A análise dos dados foi feita nos filtros do espectro de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz e 125 Hz (ruído antropogênico) e 500 Hz e 1.000 Hz (ruído geofônico), facilitando o acompanhamento de variações temporais e espaciais do ruído e a comparação com outros projetos.



Para a componente de Monitoramento Móvel, os perfiladores acústicos de livre deriva tiveram suas posições de lançamento planejadas para que suas trajetórias cobrissem toda a Bacia de Santos, e os *gliders* foram programados para que suas trajetórias cobrissem regiões específicas da bacia.

Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Móvel

As medições acústicas disponibilizadas pelos perfiladores e *gliders* permitiram a elaboração de mapas acústicos de SPL para a região da Bacia de Santos, nas bandas de frequência estudadas. Nestes mapas foram selecionadas quatro regiões R1 (intensa atividade de E&P), R2 (rota intensa de navegação), R3 e R4 (regiões sem atividade de E&P) como representativas de diferentes condições de atividades exploratórias e de tráfego de embarcações (Figura II.1.2-2). Os maiores níveis observados na região oceânica da Bacia de Santos ficaram próximos à região R1, com maior volume de atividades de exploração e produção de óleo e gás.

Foram avaliados também os dados em uma linha cortando transversalmente a Bacia de Santos (Figura III.1.1-2), passando pelo centro da região R1 (-25,5°, -43°). Observou-se uma variação de quase 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 103,4 dB re 1 μ Pa² na posição (-25,45°, -42,92°), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 85,9 dB re 1 μ Pa², na posição (-27,75°, -47,08°), no extremo sudoeste da região R4.

O acompanhamento dos ruídos medidos ao longo dos anos nas quatro regiões (Figura III.1.1.1 4) mostrou estabilidade nas quatro bandas de frequência avaliadas, alternando-se anos mais ruidosos com anos menos ruidosos para distintas bandas. Observou-se que apenas na região R1 (maior atividade de E&P) o ruído aumentou um pouco acima do padrão de 2021 para 2022. Isto foi identificado posteriormente como possível consequência da maior quantidade de medições nesta região ter sido feita em campanhas específicas dos *gliders* para monitoramento de fontes sísmicas. Ao serem utilizados apenas os dados onde não constavam disparos sísmicos, a variabilidade anual voltou para os padrões usuais (Figura III.1.1.1 5).



A análise dos níveis de ruído em diferentes profundidades (50 m, 200 m, 500 m e 950 m) não mostrou que existem diferenças grandes entre elas (Figuras III.1.1.1 6 e III.1.1.1 7), embora tenha sido observado que nas regiões R2, R3 e R4 o ruído aumenta com a profundidade e que a profundidade de 950 m é até 3 dB mais ruidosa que as outras, talvez devido, provavelmente, à sua proximidade com o canal SOFAR, que facilita a propagação de baixas frequências mesmo de fontes distantes. Na região R1, não se observa uma diferença grande entre as medianas para as profundidades.

Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Fixo Oceânico

Para a componente de Monitoramento Fixo Oceânico, foram usadas linhas de fundeio instrumentadas (LFI) para o monitoramento em pontos fixos na região oceânica da Bacia de Santos, lançadas em regiões próximas de atividades de E&P, em rotas de navegação e em regiões prístinas (Figura II.1.2 1). Foi possível verificar que os maiores níveis de ruído foram gravados nas linhas FA01 e FA02, próximas da região R1 (Figura III.1.2.1 2), e os menores níveis, na linha FA04, próxima da região R4, seguindo o comportamento visto no Monitoramento Móvel. Apenas uma das LFIs (FA02) apresentou uma indicação clara de tendência de aumento nos níveis de ruído (Figura III.1.2.1 4), com aumentos anuais consecutivos nas quatro bandas de frequência analisadas, tendo havido um aumento de 5 a 8 dB entre o ano de 2017 e o de 2022, dependendo da frequência.

Quanto à profundidade, não houve diferenças que fossem comuns a todas as linhas (Figura III.1.2.1 6). As diferenças entre as profundidades numa mesma linha não foram muito grandes.

Os dados das LFIs foram usados para o cálculo do SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*). Estes valores foram obtidos integrando a energia dos espectros de 1/3 de oitava após serem filtrados usando pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos de baixa frequência (LF, do inglês *low-frequency*) e de média frequência (MF, do inglês *medium-frequency*) de mamíferos marinhos.

Todos os dados do SEL_{24h} , tanto para o grupo LF (Figura III.1.2.1-7), quanto para o grupo MF (Figura III.1.2.1 8), ficaram abaixo do valor para o



Temporary Threshold Shift (TTS) apresentado em Finneran, (2016), de 179 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo LF e de 178 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo MF, com exceção de alguns poucos valores extremos em uma das linhas (FA06). A evolução temporal do $\text{SEL}_{24\text{h}}$ para todas as LFI para o grupo LF (Figura III.1.2.1 9) e para o grupo MF (Figura III.1.2.1-10) não ultrapassou o limiar do TTS, mesmo quando ocorreram pontos com níveis mais altos.

Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Fixo Costeiro

Com relação ao Monitoramento Fixo Costeiro, foram instalados observatórios submarinos em regiões de baixa profundidade na entrada da Baía de Guanabara, no entorno das Ilhas Cagarras, na Ilha Grande e na entrada do canal de São Sebastião (Tabela II.1.1 1). Verificou-se que os OSs instalados na região da Baía de Guanabara são mais ruidosos para a maior parte do espectro de frequência (Figura III.2.1 1). A posição a oeste da Ilha Grande é a mais silenciosa em praticamente toda a faixa de frequência, junto com a posição do canal de São Sebastião.

Os resultados obtidos mostram que zonas bem próximas podem ter assinaturas acústicas distintas (Figuras III.2.1 2 e III.2.1-3). A paisagem acústica de zonas costeiras (Figura III.2.1-4) sofre influência de sons diversos provenientes de embarcações de pequeno porte, fluxo de embarcações de grande porte em zonas portuárias, sons relacionados à ação das ondas do mar e chuva, sons de organismos costeiros (principalmente peixes, invertebrados bentônicos e alguns cetáceos). Assim, cada região, ou seja, cada habitat possui sua assinatura acústica, que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local.

Os dados foram usados para calcular o $\text{SEL}_{24\text{h}}$ para as posições dos OSs para os dados com ponderação (Figuras III.2.1 8 e III.2.1-9) para as respostas auditivas de cetáceos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF). Em todas as situações apresentadas, o $\text{SEL}_{24\text{h-MF}}$ ficou abaixo do TTS e o $\text{SEL}_{24\text{h-LF}}$ cruzou aquele limiar apenas para alguns pontos extremos nos OS1A e OS2, resultados, provavelmente, de uma elevação ocasional do ruído de fluxo de maré ou do aumento das atividades bióticas no local. No OS2, o percentil de 75% da distribuição ficou próximo do TTS, podendo ter como causa os maiores níveis de



ruído observados nesta posição na faixa de frequência de 300 a 1.000 Hz, provocados, provavelmente, por fatores bióticos como coros de peixes e invertebrados.

Paisagem Acústica - Resultados da Modelagem Acústica Submarina

Para a componente de Modelagem Acústica Submarina, foi desenvolvido o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), que é uma ferramenta de previsão da paisagem acústica submarina usando como entradas dados do sistema AIS, a assinatura acústica de navios, dados oceanográficos e dados geofísicos e tendo como saída mapas dos níveis de ruído para a Bacia de Santos, para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m.

O sistema é ajustado e validado continuamente a partir da comparação com dados acústicos obtidos em campo, e tem mostrado que é capaz de reproduzir com relativa precisão os padrões de variação espacial do ruído nos diferentes domínios fisiográficos da Bacia de Santos (Figura C-1).

A magnitude do desvio entre modelo e dados medidos variou dependendo da banda de frequência modelada (Figuras C-2 até C-11), existindo uma tendência de aproximadamente -4,4 dB (BIAS = -4,4 dB, RMSE = 5,4 dB) para a frequência de 63 Hz e uma tendência bem menor, em torno de -0,2 dB (BIAS = -0,18 dB, RMSE = 3,8 dB) para a frequência de 125 Hz. Em ambas as frequências, o modelo subestima os níveis dos dados medidos. Estas diferenças podem estar associadas aos valores usados no modelo para o ruído ambiente na ausência de embarcações e para os níveis das fontes representando o ruído irradiado pelas embarcações listadas no AIS. Podem ser causadas, também, pela não utilização de embarcações que por algum motivo não aparecem nos registros de AIS usados no modelo.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento do SIMAS permitiram a avaliação espacial e temporal do ruído ocasionado por diversas fontes antrópicas com uma extensa cobertura regional. Os mapas modelados foram compartilhados com o PMC-BS, sendo empregados nas análises de uso de habitat e distribuição de cetáceos conduzidos por esse projeto.



Paisagem Acústica - Resultados do Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas

Com relação ao estudo de decaimento sonoro devido a fontes sísmicas, foram usados *gliders* para o monitoramento do ruído acústico próximo de campanhas de prospecção sísmica (Figura V.1.1-1). Os dados obtidos mostraram que o decaimento sonoro com a distância para a fonte segue a curva de decaimento logaritmo $SPL(r) = 209,4 - 18,0 \log_{10}(r)$, onde r é a distância em metros entre o *glider* e a fonte sísmica (Figura V.2.3-1).

Em relação ao decaimento sonoro vertical, os resultados apontam para uma uniformidade nos valores de ruído com a profundidade ao longo de toda a faixa de distância monitorada (Figura V.2.4-2). Este comportamento é consistente com o que é reportado em literatura, o que inclui estudos envolvendo medições *in situ* e resultados de modelos de propagação acústica de fontes sonoras de sísmica, e que mostram pouca variação do ruído com a profundidade em distâncias superiores a um limiar que varia entre 3 km e 7 km da fonte sonora.

Considerações Finais

O primeiro ciclo do PMPAS-BS empreendeu um esforço pioneiro de medições e avaliação da paisagem acústica submarina na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, com foco na região da Bacia de Santos. Neste período, foram realizadas 23 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 234 perfiladores lançados, 72 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; dez campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica em três profundidades diferentes; e 106 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Foram gravadas 171.778,5 horas de dados acústicos para os *gliders*, OSs e LFIs. Neste mesmo período, os perfiladores analisaram um total de 5.021,4 horas de sinal. Os dados analisados neste relatório correspondem ao primeiro ciclo do projeto, com exceção dos dados dos *gliders*, que também incluiu gravações referentes ao segundo ciclo, coletados no ano de 2022.

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS permite uma visão abrangente da variabilidade espacial e temporal do ruído acústico na Bacia



de Santos. Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento se mostram suficientes para caracterização da paisagem acústica submarina, demonstrando a existência de regiões acústicas de elevada diversidade, com a coexistência de fontes variadas de ruído e de natureza distinta, incluindo principalmente: coros de peixes e invertebrados; cliques e vocalizações de cetáceos; ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e ruído de embarcações, motores e bombas.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, o comportamento espectral destes observatórios apresenta particularidades, principalmente no que se refere a faixas do espectro ligadas a fontes de ruído bioacústico e ao ruído de embarcações. Tal aspecto, em conjunto com a baixa variabilidade interanual identificada em todas as regiões monitoradas, sugerem a existência de ambientes heterogêneos, em que os níveis de ruído podem variar significativamente em função da maior ou menor proximidade com colônias biológicas e rotas de navegação e cuja resultante, no entanto, tem mantido um caráter de estabilidade.

É importante ressaltar que o simples incremento do ruído ambiente em regiões com maior atividade não pode ser tomado como único fator de impacto à fauna marinha e à vida aquática de um modo geral. Existem diversas outras variáveis como a sensibilidade de cada espécie às faixas de frequência consideradas, sua ocorrência, distribuição e a sobreposição com as áreas ocupadas e as alterações de seus padrões de comportamento ao longo do tempo. Este tipo de análise mais profunda e complexa não é parte do escopo e dos objetivos do PMPAS-BS, que dizem respeito à caracterização da paisagem acústica. Esforços no sentido de prover informações para este tipo de avaliação no âmbito do PMC-BS já estão em andamento, tendo sido estabelecido um fluxo de informações de relevância ambiental para monitoramento dos impactos sobre os cetáceos. Até o momento, já foram recortados pelo PMPAS-BS e enviados ao PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas (42.000 minutos) de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Uma segunda contribuição do PMPAS-BS com as atividades do PMC-BS está relacionada ao fornecimento de mapas modelados do ruído na Bacia de Santos para a modelagem do *habitat* de cetáceos, considerando



interferências antrópicas. Isto permitirá que os níveis de ruído acústico nas frequências de 63 Hz e 125 Hz sejam analisados pelo PMC-BS junto a outros fatores, como batimetria, temperatura, correntes, clorofila, salinidade, tráfego de embarcações e atividade de pesca, para auxiliá-los a entender possíveis fatores que governam a distribuição dos cetáceos na Bacia de Santos

No segundo ciclo do PMPAS-BS, um maior foco será dado no aprimoramento do modelo de ruído, visando aumentar sua acurácia. As medições em campo prosseguem, com novas estratégias resultantes de lições aprendidas no primeiro ciclo, visando preencher lacunas temporais e espaciais observadas nos dados do primeiro ciclo, e para auxiliar no desenvolvimento do modelo de ruído.



I INTRODUÇÃO

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) foi elaborado e proposto para atender às solicitações do Termo de Referência 002/2013, emitido pela CGPEG/DILIC/IBAMA, no âmbito do processo de licenciamento ambiental dos Projetos de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2 e nas renovações das licenças de operação das atividades de exploração e produção (E&P) da PETROBRAS na Bacia de Santos, bem como nos novos processos de licenciamento ambiental destas atividades da PETROBRAS na Bacia de Santos. O projeto tem como objetivo a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos e nas rotas de navegação preferenciais que servem a região. A seção I.1 define o conceito de paisagem acústica submarina e apresenta algumas referências no mundo. O propósito do PMPAS-BS é realizar medições pioneiras da paisagem acústica nesta extensa bacia e avaliar ruídos acústicos de origem antropogênica que possam ter suas fontes relacionadas com o incremento das atividades de produção na região (J. A. M. Lima *et al.*, 2022). Como uma de suas possíveis aplicações, estas medições poderão também subsidiar estudos e pesquisas de impactos sobre a biota marinha.

O PMPAS-BS tem uma magnitude de medições acústicas oceânicas que é pioneira na América Latina e com poucas similares no mundo, pois é feito o monitoramento de uma enorme área (~251.000 km²) por meio de diversos equipamentos com distintos métodos e sensores de aquisição acústica. Um grande desafio do projeto é garantir a qualidade e a intercambialidade dos dados medidos pelos diversos equipamentos, para que possam ser realizados estudos abrangentes com a integração dos resultados dos dados medidos pelos diferentes componentes (monitoramento móvel, fixo oceânico e fixo costeiro).

O Projeto foi elaborado considerando ciclos de implantação, sendo que cada ciclo tem duração de quatro anos, podendo se estender um pouco mais em função do tempo de especificação técnica e contratação das suas componentes.



A seção I.2 descreve o primeiro ciclo do projeto e sua gradual transição para o segundo ciclo, auferindo todos conhecimentos e experiências adquiridos para aprimoramento e otimização dos resultados do projeto. A seção I.3 define o objetivo e a estrutura do relatório.

No APÊNDICE A, é apresentada a produção científica desenvolvida utilizando dados e informações do PMPAS-BS, em publicações e apresentações em eventos e jornais no Brasil e em outras partes do mundo. Foram produzidos 29 trabalhos científicos. Além destes trabalhos, foram desenvolvidos sistemas para o processamento dos sinais de áudio (STADA - Sistema de Tratamento e Análise de Dados Acústicos), para a criação de mapas modelados de ruído (SIMAS - Sistema de Modelagem Acústica Submarina) e para a disponibilização pública dos dados processados (SIMMAO - Sistema de Medição e Modelagem Acústica Oceânica).

I.1 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

O termo “paisagem acústica” tem sido utilizado para descrever a relação entre determinada paisagem e sua composição sonora, incluindo a biofonia, geofonia e antropofonia (Pijanowski *et al.*, 2011). Nos últimos dez a vinte anos, as ações e pesquisas relacionadas à Paisagem Acústica Submarina têm atraído a atenção de diversos pesquisadores e instituições ao redor do mundo. Grande parte dessas pesquisas têm como objetivo monitorar o ruído submarino de origem antropogênica. Tais ruídos são gerados na maioria das vezes por navios (*offshore* e *nearshore* – mercantes, recreacionais e da indústria do petróleo), canhões de ar usados para levantamentos sísmicos (indústria do petróleo), sonares ativos (atividades militares e de pesquisas), explosivos submarinos (operações militares, pesca proibida, construção de portos, entre outros), sistema de produção de energia (usinas eólicas), dentre outros. Assim, o grande desafio é desenvolver programas/projetos de longo prazo e grande amplitude geográfica para avaliar, mitigar e controlar os impactos ambientais provocados pela antropofonia (Hildebrand, 2009; Cockrem, 2014; Harris e Radford, 2014).

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, agência dos Estados Unidos) e a Comunidade Europeia possuem grandes ações/pesquisas



nessa área com avanços significativos. A NOAA, por meio da *NOAA Fisheries*, possui um Programa de Acústica Submarina (2011- atual), com diversos projetos na área de paisagem acústica submarina, desde sua modelagem e estudos sobre a diversidade de mamíferos marinhos, ao monitoramento acústico passivo contínuo e controle do ruído submarino. Além disso, como fruto desses projetos, a NOAA publicou o “*Ocean Noise Strategy Roadmap*”, um documento que reúne informações significativas sobre os efeitos do ruído antropogênico na vida marinha (Gedamke *et al.*, 2016).

Já a Comunidade Europeia, por meio da MSFD (*Marine Strategy Framework Directive*), estabeleceu uma lista de 11 itens (*Commission Decision 2010/477/EU*) que caracterizam a situação (*status*) do ambiente. O item (*descriptor*) 11 - Energia e ruídos marinhos, aborda explicitamente o levantamento dos níveis de ruído acústico submarino, constando no MSFD, como: “Introdução de energia, incluindo o ruído submarino, em níveis que não afetem adversamente o meio ambiente marinho”. Nessa publicação, dois indicadores foram descritos para a área de ruído/energia: sons impulsivos de baixas e médias frequências; e sons contínuos em baixas frequências.

Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Apesar de o MSFD estabelecer que o “bom *status* ambiental” (*Good Environmental Status – GES*) deveria ter sido alcançado em 2020, os critérios para o estabelecimento do GES não foram definidos no documento que propôs as diretrizes. Estas diretrizes eram para ser revisadas até 2023 (European Commission, 2020), mas não houve nenhuma divulgação sobre isto até o momento em que este relatório foi finalizado.

I.2 TRANSIÇÃO DO 1º CICLO PARA O 2º CICLO DO PMPAS-BS

O PMPAS-BS foi elaborado considerando ciclos de implantação, sendo que cada ciclo tem duração de quatro anos ou um pouco mais, conforme prazos contratuais. Isso permite uma constante avaliação do projeto e a proposição de eventuais melhorias e ajustes do seu escopo ao final de cada ciclo. Como



primeiro ciclo do PMPAS-BS, foi considerado o período de novembro de 2015 (início do monitoramento móvel) a dezembro de 2021 (o monitoramento fixo oceânico iniciou, efetivamente, em setembro de 2017).

O objetivo principal deste primeiro ciclo foi iniciar a coleta de dados acústicos *in situ* e modelagem da propagação acústica como forma de caracterizar a paisagem acústica na Bacia de Santos, permitindo entender a distribuição dos níveis acústicos tanto nas regiões oceânicas, de águas profundas, como em alguns pontos em regiões costeiras, de águas rasas. Na componente de modelagem foi desenvolvida uma ferramenta computacional para a geração de mapas modelados do ruído, baseado em informações sobre a presença de embarcações e sobre o meio ambiente. Esta ferramenta possibilita entender melhor a distribuição do ruído em toda a bacia, mesmo em locais onde nenhum dado acústico foi coletado.

Nesse sentido, o escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS do primeiro ciclo compreendeu:

- **Monitoramento Móvel:** realizado através de um *glider* (equipamento de navegação autônoma) e perfiladores acústicos de livre deriva;
- **Monitoramento Fixo Costeiro:** realizado através de três observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos (próximas a portos utilizados pelas embarcações a serviço da PETROBRAS, em profundidades de até 30 m);
- **Monitoramento Fixo Oceânico:** realizado com a instalação de seis linhas de fundeio instrumentadas próximas a unidades de produção, rotas de navegação e em áreas com menor intensidade de atividades de E&P, sendo que em cada linha havia três sistemas de gravação acústica.

Os resultados obtidos com as medições acústicas no primeiro ciclo foram muito promissores e, baseado em toda experiência auferida neste ciclo com o tratamento e análise de uma gama extensa de medições com distintos equipamentos e sensores, foram propostas algumas alterações nas três componentes para aprimoramento e otimização do projeto em seu segundo



ciclo, conforme descrito nas conclusões do artigo Lima *et al* (2022) com a descrição do projeto e seu caráter pioneiro no monitoramento acústico em região oceânica brasileira. Deste modo, para o segundo ciclo do PMPAS-BS, o escopo de levantamento continuou com as mesmas componentes de monitoramento, sendo feitas as seguintes alterações:

- **Monitoramento Móvel:** realizado através de equipamento de navegação autônoma do tipo *glider*, passando de um para até três *gliders* em operação simultânea e contínua. A coleta usando perfiladores acústicos de livre deriva foi descontinuada;
- **Monitoramento Fixo Costeiro:** realizado através de observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos, passou de três para dois observatórios operando continuamente, sendo que um poderá ser instalado em regiões da plataforma continental até 100 m de profundidade;
- **Monitoramento Fixo Oceânico:** realizado com a instalação de linhas de fundeio instrumentadas próximas a unidades de produção, rotas de navegação e em áreas com menor intensidade de atividades de E&P, passando de seis linhas com três equipamentos por linha, para três linhas com dois equipamentos por linha.

O ano de 2022 foi considerado de transição entre o 1º e o 2º ciclo, no qual o escopo do monitoramento móvel foi realizado conforme o escopo do 2º ciclo, enquanto o escopo do monitoramento fixo foi realizado até outubro conforme o estabelecido para o 1º ciclo e a partir de novembro conforme o 2º ciclo. O 2º ciclo foi efetivamente iniciado em janeiro de 2023.

O presente relatório apresenta os dados relativos ao primeiro ciclo de implantação do PMPAS-BS obtidos no período de novembro de 2015 a janeiro de 2022 para o monitoramento móvel, de março de 2017 a outubro de 2022 para o monitoramento fixo costeiro e de setembro de 2017 a outubro de 2022 para o monitoramento fixo oceânico.

Além dos dados referentes ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, foram incluídos na análise os dados coletados pelos *gliders* no período de abril a



dezembro de 2022, referentes ao segundo ciclo de coleta do projeto. Os dados dos OS e das LFIs referentes ao segundo ciclo do projeto começaram a ser coletados em novembro de 2022 e não foram analisados neste relatório, uma vez que a primeira campanha de manutenção dos OS ocorreu em janeiro de 2023 e a das LFIs foi iniciada em junho de 2023.

1.3 OBJETIVO E ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O principal objetivo deste relatório técnico é apresentar toda sequência e desenvolvimento do projeto PMBAS-BS com dados acústicos medidos de novembro de 2015 até dezembro de 2022, apresentando materiais e métodos, tratamento dos sinais acústicos, controle de qualidade e análises específicas feitas com dados medidos em todas as componentes do projeto (Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo Oceânico) como forma de caracterizar a paisagem acústica da Bacia de Santos. Está incluído neste relatório um tópico relacionado ao desenvolvimento do Sistema de Modelagem Submarina (SIMAS) para simulação da propagação acústica submarina por modelagem numérica. Foi também acrescentado um tópico para análise do decaimento sonoro de fontes sísmicas a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*, com particular ênfase no decaimento sonoro vertical.

De forma objetiva, seguem algumas questões que este relatório se propõe a elucidar:

- (a) Qual foi o esforço amostral do PMPAS-BS até dezembro de 2022 e como o projeto contribuiu para o conhecimento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos?
- (b) Quais foram as contribuições das componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo Oceânico para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos?
- (c) Com base na análise da paisagem acústica obtida pelas medições realizadas, quais são os padrões espaciais do ruído nas bandas de frequência mais comumente usadas para avaliação de ruído com



fontes antropogênicas no oceano (63 e 125 Hz do filtro de 1/3 de oitava)? É possível identificar um incremento do nível de ruído acústico nas regiões ativas de E&P com relação às regiões com pouca ou nenhuma atividade exploratória ou de produção?

- (d) Quais resultados ressaltam a contribuição da modelagem de propagação acústica para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos?
- (e) Com relação às medições próximas de fontes sísmicas, como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte (decaimento horizontal e vertical)? Como os níveis recebidos se comparam na presença e na ausência dos disparos da fonte sísmica (comparando também ao ruído ambiente da região do Campo de Tupi)?
- (f) Qual é a contribuição do PMPAS-BS para outros projetos condicionantes de licença ambiental na Bacia de Santos, como o Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC)?

No início deste documento, é apresentado um sumário executivo, ressaltando pontos de todo o relatório, de forma a permitir uma visão expedita do documento.

O relatório apresenta o PMPAS-BS no Capítulo I (Introdução) de forma sucinta, evidenciando seu contexto, objetivos e principais desafios. Além disso, é apresentado um breve histórico sobre o conceito de Paisagem Acústica Submarina, a transição entre o primeiro e o segundo ciclos do PMPAS-BS, os objetivos e a estrutura deste documento.

No Capítulo II (Materiais e Métodos) são apresentados os dados utilizados e é feita uma descrição da área de estudo com foco nas regiões em que são realizados os monitoramentos fixo e móvel.

No Capítulo III (Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão), são apresentados os resultados obtidos a partir do processamento dos dados, incluindo uma discussão sobre a relevância destes resultados.



O Capítulo IV (Sistema de Modelagem Submarina - SIMAS) apresenta os resultados obtidos com o Sistema de Modelagem Acústica Submarina.

O Capítulo V (Estudo do Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas) apresenta os resultados do estudo do decaimento sonoro de fontes sísmicas *in situ* no Campo de Tupi.

O Capítulo VI (Considerações Finais) resume as principais informações observadas neste relatório, assim como perspectivas futuras. O Capítulo VII traz as referências bibliográficas.

No Capítulo VIII é apresentada a equipe técnica coordenadora das atividades para a preparação deste relatório.

O APÊNDICE A apresenta a produção científica realizada a partir dos dados e informações obtidos no PMPAS-BS.

O APÊNDICE B mostra o resultado dos testes estatísticos associados às comparações de diferentes distribuições de dados feitas neste documento.

O APÊNDICE C apresenta detalhes da validação usada para a modelagem do ruído na Bacia de Santos.

No APÊNDICE D, são apresentados os métodos de coleta adotados no monitoramento acústico deste projeto; a descrição da metodologia da qualificação, processamento e arquivamento dos dados; a descrição dos critérios para a seleção dos parâmetros a serem acompanhados; e a descrição de algumas das formas de apresentação de resultados, que estão sendo adotadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

7º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2023

II MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 ÁREA DE ESTUDO

Situada na região sudeste brasileira, entre os paralelos 23° (Alto de Cabo Frio) e 28° (Plataforma de Florianópolis) Sul, a Bacia de Santos é a maior bacia sedimentar *offshore* do país. Ela ocupa cerca de 350.000 km² até a cota batimétrica de 3.000 m e abrange os litorais dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Moreira *et al.*, 2007). A Figura II.1-1 apresenta os limites da região da Bacia de Santos, que é a área de interesse para os estudos aqui apresentados, e a localização das unidades de produção da PETROBRAS. É importante esclarecer que, mesmo antes de uma atuação mais abrangente da PETROBRAS na Bacia de Santos, esta região oceânica da costa sudeste brasileira já era uma zona impactada com ruído acústico de origem antropogênica (navegação de cabotagem, pesca, atividades militares etc.).

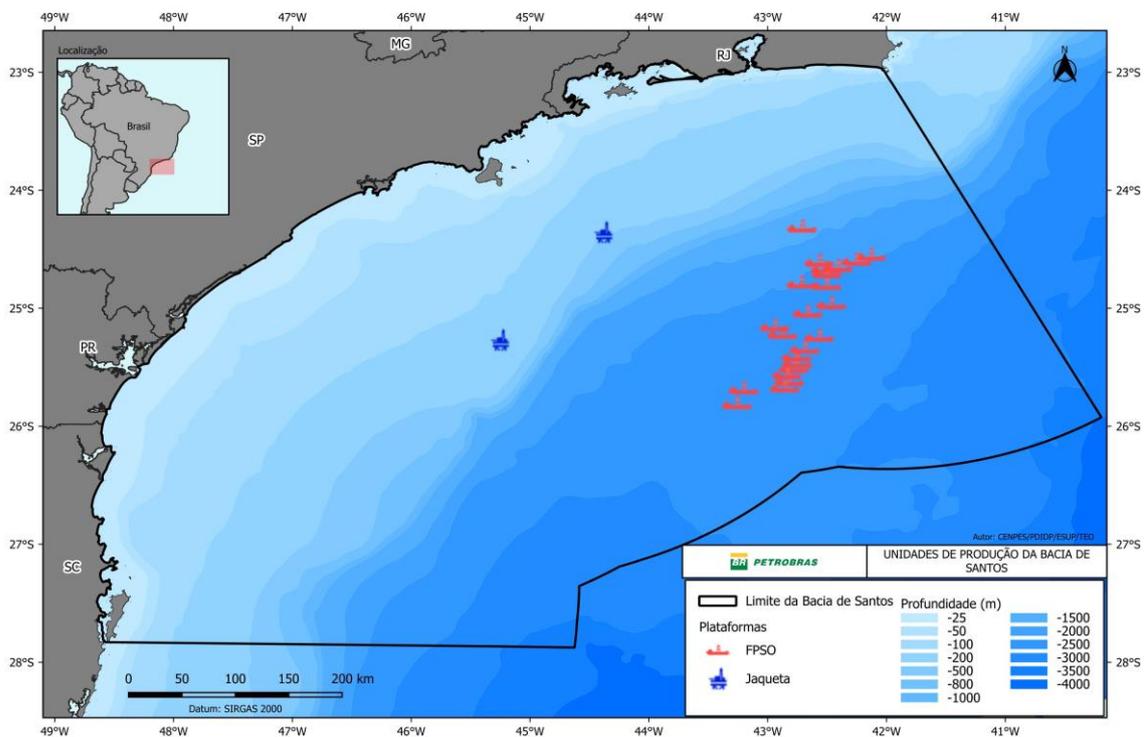


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS.



II.1.1 Região Costeira

O monitoramento fixo da região costeira da Bacia de Santos foi feito utilizando-se Observatórios Submarinos (OS) em regiões de baixa profundidade e com alto tráfego de embarcações, tanto da PETROBRAS como de terceiros. No primeiro ciclo do PMPAS-BS, os pontos selecionados foram na entrada da Baía de Guanabara (OS1, OS1A), mostrados na Figura II.1.1-1, na Baía de Ilha Grande, no seu lado leste (OS2) e no seu lado oeste (OS2R), mostrados na Figura II.1.1-2, na entrada do Canal de São Sebastião (OS3), mostrado na Figura II.1.1-3 e nas Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2), mostrados também na Figura II.1.1-1.

Para o segundo ciclo do PMPAS-BS, serão utilizados dois observatórios, sendo um deles mantido na Baía de Guanabara, em local próximo ao OS1 e outro, chamado de “Observatório Submarino da Plataforma – OSp”, que deverá ser posicionado em diferentes posições na plataforma continental com lâmina d’água de até 100 m, conforme apresentado na Tabela II.1.1-1 e Figura II.1.1-4, com o objetivo de obter mais informações para subsidiar a verificação do modelo de ruído ambiente na Bacia de Santos. A primeira locação do OS1 para o segundo ciclo foi na mesma posição indicada para o OS1A e a primeira locação do OSp (OSp1) foi próximo à embocadura da Baía de Guanabara, em profundidade de 38 m. A Tabela II.1.1-1 apresenta a posição e a profundidade local dos OSs.

Embora a aquisição de dados referentes ao segundo ciclo do PMPAS-BS nos OS tenha iniciado no final de 2022, estes dados não foram analisados neste relatório, devido ao fato da primeira campanha de recuperação dos dados ter ocorrido em janeiro de 2023 e as informações necessárias para estas análises terem sido entregues apenas no final do primeiro trimestre de 2023.



Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos. As linhas destacadas em vermelho correspondem às posições dos OS usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continuará sendo usada no segundo ciclo. A linha destacada em azul representa a primeira das novas posições a serem usadas no segundo ciclo.

OS	Local	Latitude	Longitude	Prof. (m)
OS1	Baía de Guanabara	22° 55,900'S	43° 08,500'W	27
OS1A	Baía de Guanabara	22° 55,392'S	43° 09,079'W	19
OS2	Lado Leste da Baía de Ilha Grande	23° 03,991'S	44° 05,160'W	23
OS2R	Lado Oeste da Baía de Ilha Grande	23° 07,460'S	44° 22,650'W	23
OS3	Canal de São Sebastião	23° 52,377'S	45° 27,420'W	24
OS3R	Ilhas Cagarras	23° 00,941'S	43° 11,205'W	24
OS3R1	Ilhas Cagarras	23° 00,631'S	43° 09,420'W	28
OS3R2	Ilhas Cagarras	23° 00,613'S	43° 08,785'W	24
OSp1	Baía de Guanabara (embocadura)	23°02,597'S	43°05,839'W	38

As instalações dos OSs na Baía de Guanabara, Baía de Ilha Grande e Canal de São Sebastião foram previstas considerando as bases de apoio marítimo dessas localidades, tendo sido utilizado como referência o Estudo de Impacto Ambiental do processo de licenciamento da Etapa 2. Já a instalação dos OSs no Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MoNa Cagarras) foi realizada para o atendimento da condicionante específica nº 2.8 da Autorização de Licença ALA 02/2019 emitida pelo GABIN do ICMBio no âmbito do processo de licenciamento da Etapa 3. As realocações do OS2 (canal leste da Baía de Ilha Grande) para o ponto OS2R (canal oeste da Baía de Ilha Grande), e do OS3 (Canal de São Sebastião) para os pontos OS3R, OS3R1 e OS3R2 (no entorno do MoNa Cagarras) foram autorizadas pelo IBAMA por meio do ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, de 10/02/2020.

O deslocamento do OS1 para a posição OS1A teve motivação logística, devido a problemas relativos às atividades de manutenção que ocorriam constantemente numa boia de sinalização próxima do OS1. A posição do OS1A está a cerca de 1.360 m da posição do OS1. A análise dos dados dos dois OSs foi feita de forma conjunta, mas são feitas algumas comparações para se verificar se existem diferenças nos níveis gravados nas duas posições.



O deslocamento do OS3R para a posição OS3R1 e, posteriormente, para OS3R2 foi feita para avaliar condições contrastantes de intensidade de tráfego de embarcações no entorno do MoNa Cagarras: área de menor intensidade de tráfego (OS3R) e área de maior intensidade de tráfego (OS3R1 e OS3R2). A alteração da posição OS3R1 para OS3R2 ocorreu por questões de segurança aos mergulhadores que realizavam as atividades de manutenção dos OS. A distância entre o OS3R e OS3R1 é de cerca de 3.100 m e entre o OS3R1 e OS3R2 é de cerca de 1.100 m.

Os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2 estão numa mesma região, a Baía de Guanabara, com os OS1 e OS1A mais para dentro da baía e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 mais para fora. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de quase 9 km.

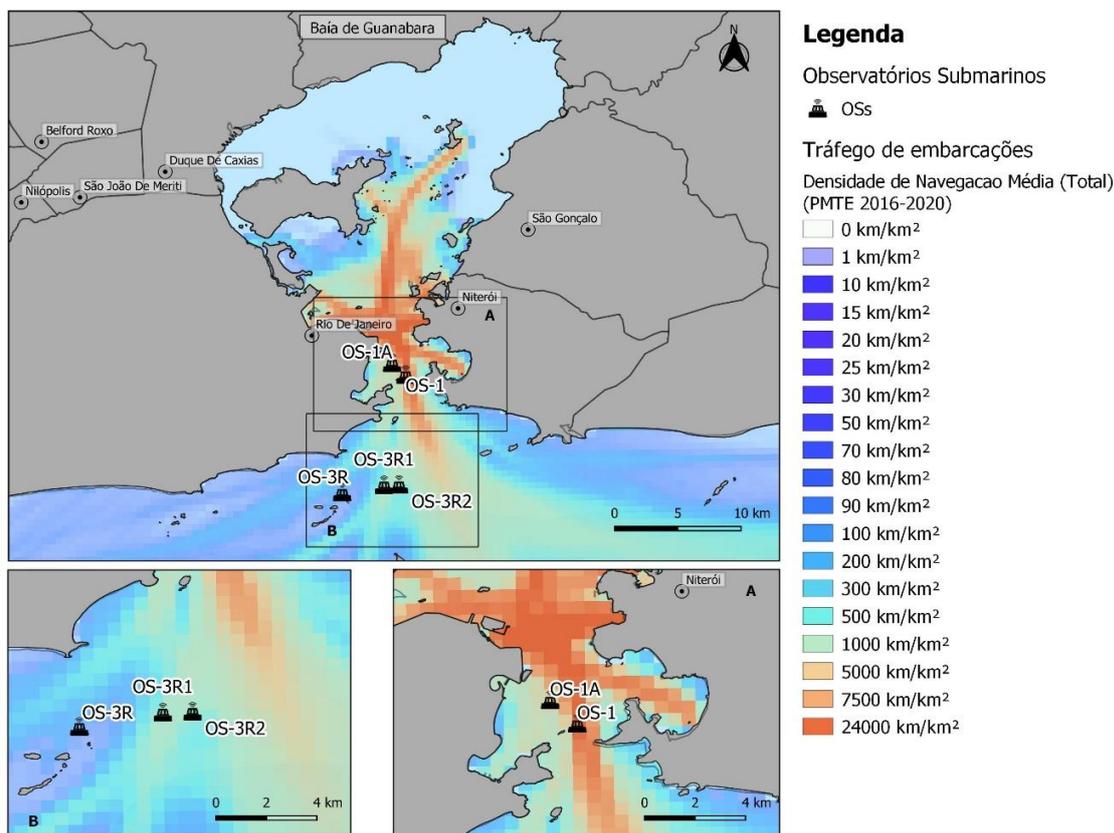


Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2). Os retângulos marcados como (A) e (B) no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B).

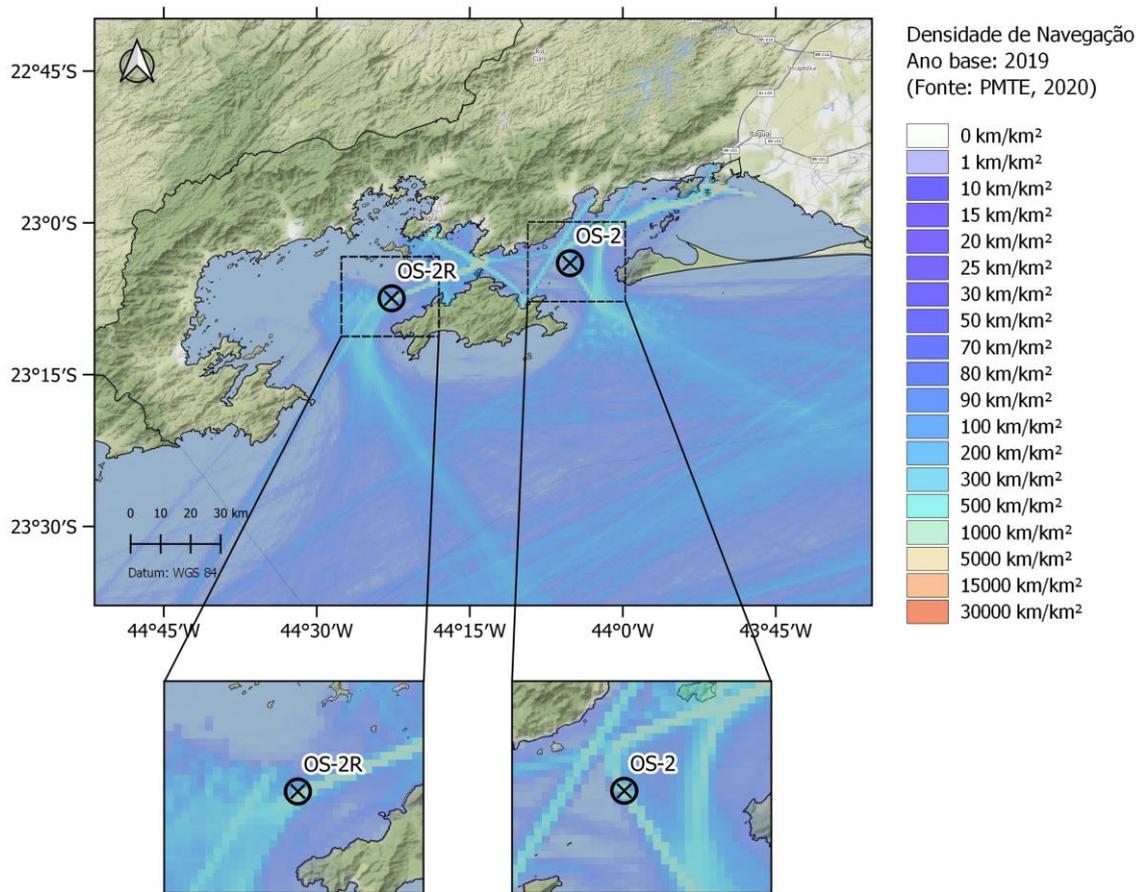


Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OSS é de 32 km.

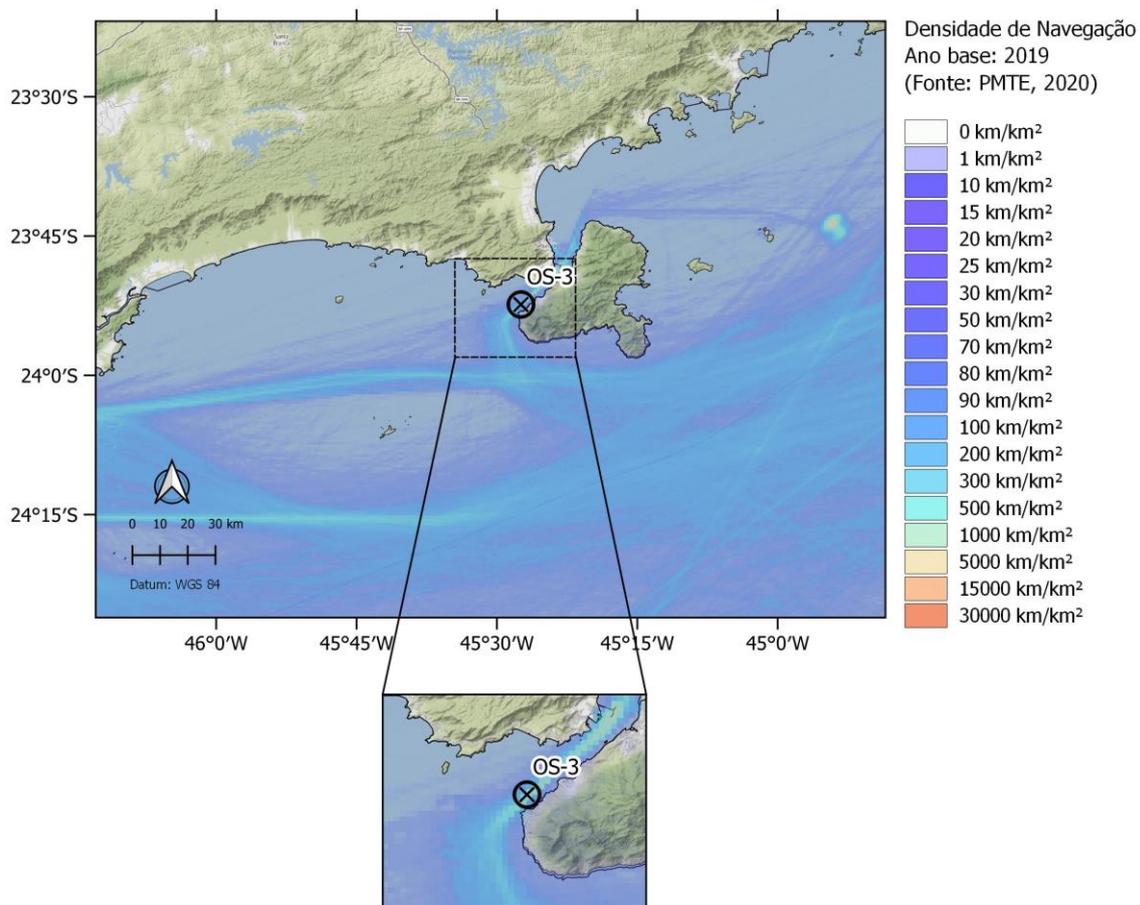


Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).

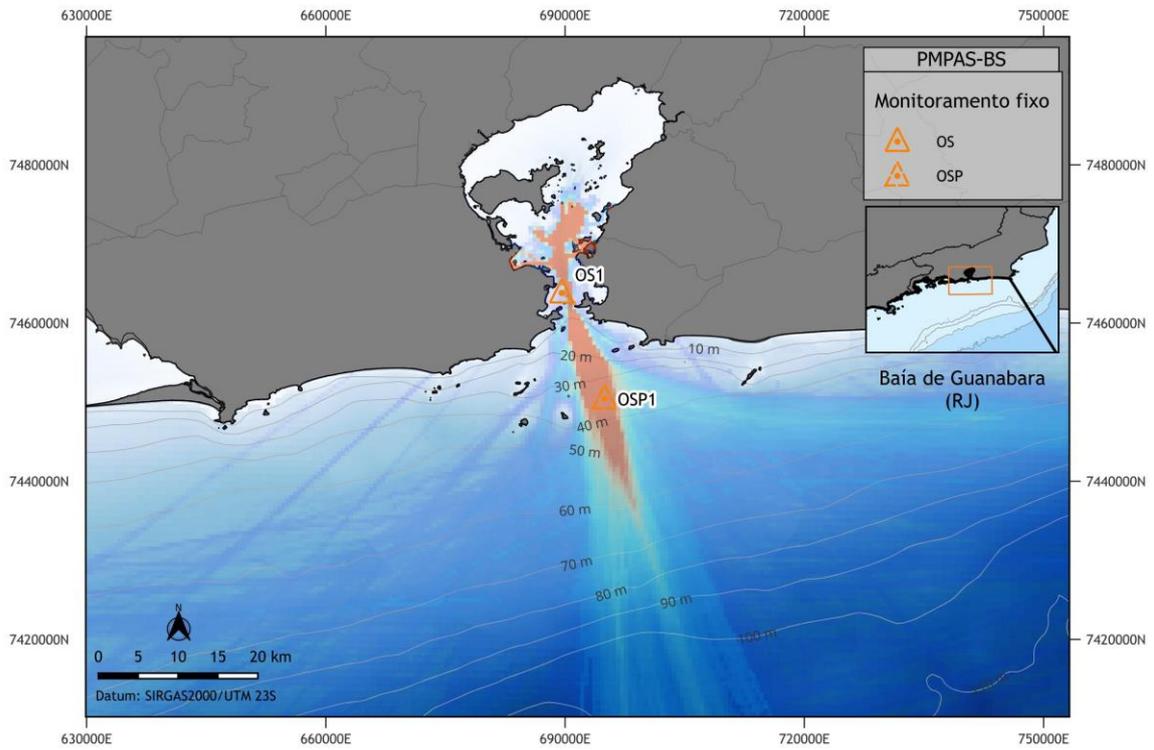


Figura II.1.1-4: Observatórios Submarinos do 2º ciclo do PMPAS-BS: OS1, no canal de acesso à Baía de Guanabara e a primeira posição considerada para o OSp em lâminas d'água de até 100 m (OSp1, a 38 m).

II.1.2 Região Oceânica

Na região oceânica, no primeiro ciclo do PMPAS-BS, foram usadas Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFI), instaladas em posições fixas, além de *gliders* e perfiladores acústicos se deslocando nesta região com a finalidade de permitir a caracterização do ruído acústico ao longo do tempo e do espaço. Para o segundo ciclo, foram usados *gliders* e linhas de fundeio.

Em relação aos *gliders*, no primeiro ciclo do projeto foi usado um *glider* para a medição do ruído ambiente na Bacia de Santos e no segundo ciclo, são usados três *gliders*, sendo que dois deles estão dedicados ao monitoramento do ruído ambiente (Monitoramento Continuado) e o terceiro está dedicado à medição de atividades específicas associadas à exploração e produção de óleo e gás na região, como a prospecção sísmica, perfurações, operação das plataformas, dentre outras. Os dados dos *gliders* lançados em 2022 são analisados neste relatório em conjunto com os dados obtidos no primeiro ciclo ou para estudos específicos sobre o ruído produzido pelas atividades da prospecção sísmica.

Os perfiladores usados no primeiro ciclo obtiveram dados que foram essenciais para uma primeira visualização da distribuição do ruído na Bacia de Santos. No segundo ciclo, o uso de perfiladores foi descontinuado por se considerar que sua utilização tinha restrições associadas ao pequeno número de amostragem diária, necessitando um grande número de perfiladores para uma cobertura mínima adequada. Outro fator na decisão pela descontinuidade do seu uso foi o fato do equipamento não permitir o uso do sinal acústico para outros propósitos, uma vez que ele não armazena as gravações acústicas nem é recuperado (os dados processados pelo próprio equipamento são transmitidos via satélite, sendo inviável a transmissão dos dados acústicos brutos). Seus dados continuam sendo usados nas análises comparativas feitas neste relatório.

Quanto ao uso das LFIs, a Figura II.1.2-1 mostra a localização das LFIs usadas no primeiro ciclo dentro da região oceânica da Bacia de Santos. É importante destacar que a localização original das LFIs foi feita considerando informações sobre rotas de navegação, batimetria e atividades atuais e futuras na Bacia de Santos, tendo como referência as informações de 2015, quando o



Projeto Executivo original do PMPAS-BS foi elaborado. Foram coletados dados em dez campanhas com o lançamento das linhas FA01, FA02, FA05 e FA06 nas posições indicadas. As linhas FA03 e FA04 foram lançadas nas cinco primeiras campanhas. A partir da sexta campanha, elas foram reposicionadas e renomeadas para FA03R e FA04R, respectivamente, pois a FA03 estava posicionada numa área que foi adquirida por outra operadora em 2018 e a FA04 foi realocada para suprir demandas específicas do escopo de modelagem, numa região fora de qualquer campo de produção ou bloco exploratório. Estas alterações também foram autorizadas pelo IBAMA por meio do ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, de 10/02/2020. Na oitava campanha, a linha FA04R voltou a ser instalada em sua posição inicial, atendendo a pedido do IBAMA para monitoramento na região sul da Bacia de Santos, sendo chamada, novamente, de FA04. A Tabela II.1.2-1 apresenta as posições e profundidades locais para as LFIs.

Para o segundo ciclo do PMPAS-BS, o número de linhas de fundeio foi reduzido de seis para três e o número de gravadores por linha passou de três, nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, para dois, a 500 m e 950 m de profundidade. A alteração das profundidades dos equipamentos foi devida ao elevado ruído induzido nos equipamentos mais rasos pela passagem das correntes marítimas existentes na região e a geração de ruídos espúrios associados à vibração da linha e que se acentua em linhas de fundeio mais extensas. Neste relatório, só serão analisadas as dez campanhas das LFIs referentes ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, uma vez que as linhas lançadas no segundo ciclo só foram recolhidas no segundo trimestre de 2023. As posições destas novas linhas, denominadas FA, FB e FC₁, são mostradas em azul na Figura II.1.2-1 e suas coordenadas são apresentadas na Tabela II.1.2-1, também destacadas em azul.



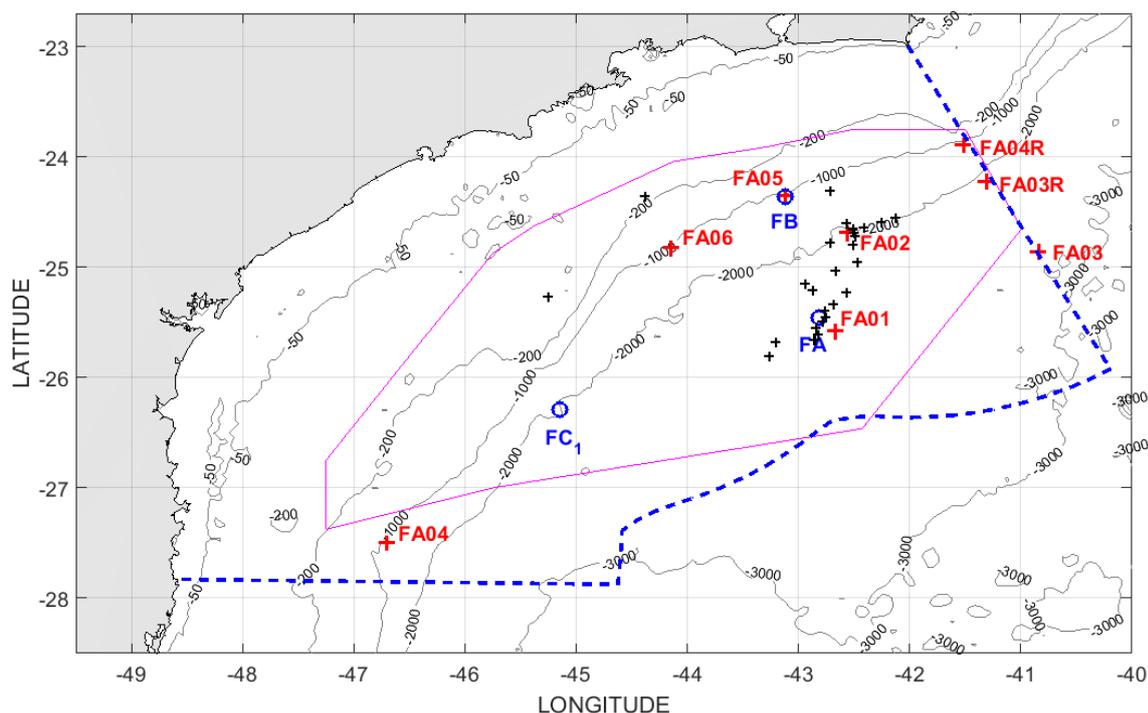


Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos no primeiro ciclo do PMPAS-BS (FA01, FA02, FA03, FA03R, FA04, FA04R, FA05 e FA06, em vermelho) e das três linhas previstas para o segundo ciclo do projeto (FA, FB e FC, em azul).

Tabela II.1.2-1: Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas referentes aos primeiro (destaque em vermelho) e segundo (destaque em azul) ciclos do PMPAS-BS.

Fundeio	Latitude	Longitude	Profundidade (m)
FA01	25°34'18,40"S	42°39'52,40"W	2.199
FA02	24°40'58,00"S	42°33'31,30"W	2.005
FA03	24°51'24,18"S	40°50'25,86"W	2.830
FA04	27°29'55,14"S	46°42'04,44"W	1.109
FA05	24°21'19,50"S	43°06'54,20"W	1.122
FA06	24°49'05,09"S	44°08'46,30"W	1.108
FA03R	24°13'37,92"S	41°18'18,30"W	2.200
FA04R	23°53'07,98"S	41°30'55,74"W	1.000
FA	25°27'19,64"S	42°48'50,75"W	2.200
FB	24°21'21,36"S	43°06'51,48"W	1.100
FC ₁	26°17'16,80"S	45°08'31,20"W	2.000

Dentro desta região oceânica, foram selecionadas quatro regiões, de aproximadamente 12.000 km² (quadrado de 1° de latitude por 1° de longitude) cada, com o objetivo de caracterizar situações distintas de exposição a fontes de ruído antropogênico. Apenas os dados obtidos pelo monitoramento móvel foram usados nas comparações entre estas regiões:

- **Região 1 – Atividade de E&P**, caracterizada por forte atividade de E&P da PETROBRAS, localizada no centro da região do Pré-Sal da Bacia de Santos, compreendida nos limites geográficos de longitudes 42,5°W até 43,5°W e latitudes 25°S até 26°S;
- **Região 2 – Rota de Navegação**, caracterizada por intensa rota de navegação da Baía de Guanabara para o Pré-Sal, tanto de embarcações da PETROBRAS como de terceiros, compreendida nos limites geográficos de longitudes 42°W até 43°W e latitudes 23,55°S até 24,55°S;
- **Região 3 – Área com pouca atividade**, localizada fora das áreas de atividade de E&P e navegação da PETROBRAS, mas ainda em rota de terceiros, como navios mercantes, compreendida nos limites geográficos de longitudes 43,88°W até 44,88°W e latitudes 25,62°S até 26,62°S;
- **Região 4 – Área com pouca atividade**, localizada fora das áreas de atividade de E&P e navegação da PETROBRAS, mas ainda em rota de terceiros, como navios mercantes, compreendida nos limites geográficos de longitudes 45,7°W até 46,7°W e latitudes 26,7°S até 27,7°S. Esta região fica mais ao sul do que a Região 3 e foi incluída por representar regiões menos ruidosas na Bacia de Santos.

A Figura II.1.2-2 mostra estas quatro regiões de interesse e as densidades de navegação computadas a partir de dados do **Automatic Identification System (AIS)** para o ano de 2022, no âmbito do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos (PMTE-BS). A figura superior mostra as embarcações a serviço da PETROBRAS e a figura inferior mostra as embarcações de terceiros.



É interessante notar que as regiões R1 e R2, apesar de apresentarem maior tráfego de embarcações da PETROBRAS, indicam uma contribuição significativa do tráfego de embarcações de terceiros e que as regiões R3 e R4 são afetadas exclusivamente por atividades de terceiros.





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

7º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2023

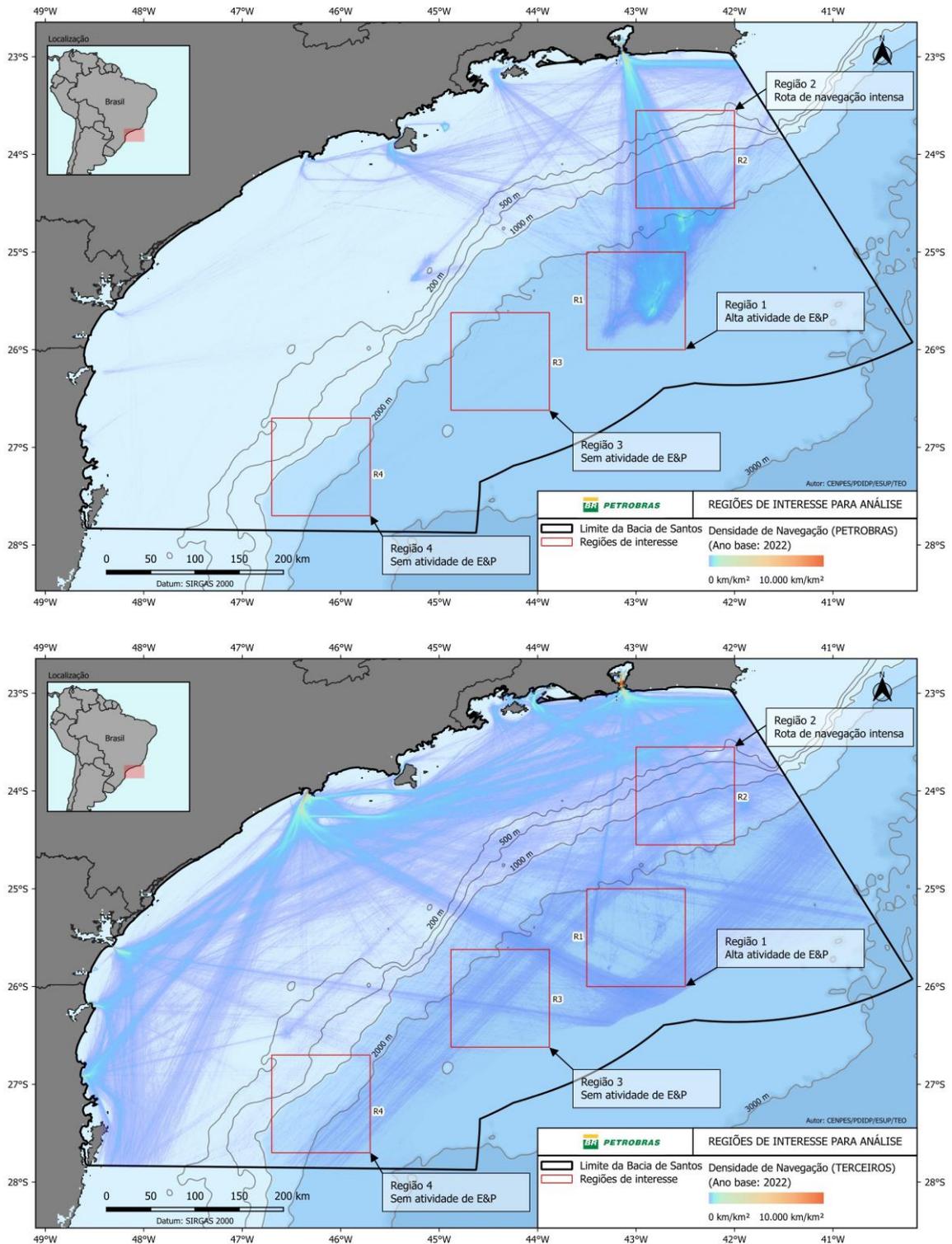


Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior). (Fonte: PETROBRAS, (2022))



II.2 DADOS ACÚSTICOS

Os equipamentos usados para a coleta de dados acústicos na Bacia de Santos no monitoramento móvel por *gliders* e perfiladores acústicos (em regiões oceânicas), e no monitoramento fixo por linhas de fundeio instrumentadas (instaladas na região oceânica) e observatórios submarinos (instalados na região costeira) são descritos com mais detalhes no APÊNDICE D.

II.2.1 Processamento dos Dados

Os dados adquiridos pelos diferentes sistemas de aquisição foram recebidos e processados seguindo os seguintes passos:

1. Consistência e integridade: os arquivos de dados recebidos são avaliados quanto à presença de artefatos indesejados, como saturação ou nível muito baixo dos sinais, sendo removidos os dados que apresentam problemas;
2. Processamento e obtenção de parâmetros espectrais: os sinais são processados para se obter parâmetros espectrais a cada minuto de sinal gravado. Estes parâmetros representam o nível de pressão sonora (SPL do inglês *Sound Pressure Level*), em dB re $1\mu\text{Pa}^2$ e foram usados nas comparações feitas neste documento;
3. Qualificação dos parâmetros espectrais: após a obtenção dos parâmetros espectrais, é feita a sua qualificação usando informações estatísticas dos próprios dados ou informações externas, como a intensidade das correntes oceânicas;
4. O tempo associado aos dados acústicos usados neste relatório corresponde ao horário de Brasília (GMT -3h), sem correções para o horário de verão que porventura tenha sido observado em algum período.

Além destas etapas de processamento, os sinais acústicos foram pesquisados para a detecção de vocalização de cetáceos, sendo os trechos encontrados encaminhados para análises mais aprofundadas pelo Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos (PMC-BS). Foram enviados ao



PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de mistictetos, uma vez que a gravação feita no PMC-BS tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones.

Também são feitas detecções da passagem de embarcações próximo aos sensores acústicos usados no PMPAS-BS. Os trechos com estas detecções são correlacionados com as informações disponíveis em registros AIS para buscar uma identificação da embarcação. As embarcações identificadas positivamente e com níveis de sinais bem acima do ruído ambiente são processadas para a obtenção dos níveis irradiados por elas. Estas informações são usadas para aprimorar o modelo de ruídos do PMPAS-BS.

Uma descrição mais detalhada das etapas do processamento dos dados é apresentada no APÊNDICE D.

II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2021, referente ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, e de janeiro de 2022 a dezembro de 2022, ano de transição entre o primeiro e o segundo ciclos, foram recebidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- **Perfiladores:** no período entre novembro de 2015 e janeiro de 2022, 224 de 234 perfiladores, lançados em 23 ciclos de lançamento, adquiriram um total de 301.281 janelas acústicas de um minuto (5.021,4 horas), das quais 297.792 (4.963,2 horas) foram aceitas no processo de qualificação. Destas janelas acústicas qualificadas, 116.166 (39%) foram realizadas dentro da Bacia de Santos e 168.686 fora dela;
- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2022, foram realizadas 52 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, referentes ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, e 14 campanhas de monitoramento continuado e 6 campanhas de monitoramento específico, referentes ao segundo ciclo do PMPAS-BS, com gravação e



processamento de 791.118 janelas acústicas de um minuto (13.185,3 horas), sendo que 448.565 destes minutos (7.476,1 horas) foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos, 424.506 (94,6%) foram medidos dentro da Bacia de Santos e 24.059 fora dela. No primeiro ciclo, foram feitas cerca de 4.580 horas de gravação, em um período de 2.184 dias (~2,1 horas/dia). Já no segundo ciclo, até o final de 2022 tinham sido feitas 2.896 horas de gravação em 272 dias (~10,6 horas/dia), o que representa um aumento de mais de cinco vezes no esforço de aquisição no segundo ciclo, comparado com aquele do primeiro ciclo.

- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre setembro de 2017 e outubro de 2022, foram realizadas 10 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs, com gravação e processamento em 3.602.474 janelas acústicas de um minuto (60.041,2 horas). Foram aceitos no processo de qualificação 1.517.582 minutos (25.293,0 horas).
- **Observatórios Submarinos (OSs):** no período entre março de 2017 e outubro de 2022, foram realizadas 106 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs, com gravação e processamento de 5.913.119 janelas acústicas de um minuto (98.552,0 horas), sendo aceitas no processo de qualificação 5.011.618 janelas (83.527,0 horas).

A Tabela II.2.2-1 mostra os dados apresentados acima, incluindo o percentual de dados aceitos no processo de qualificação em relação ao total de dados coletados por cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS.



Tabela II.2.2-1: Número de equipamentos, tempo de gravação, período da coleta e percentual aceito na qualificação para cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS.

Gravações	LFIs	Perfiladores	Gliders	OSs
Número de equipamentos na água	18	Variável ¹	1 ou 3 ²	3
Tempo de gravação (horas)	60.041,2	5.021,4	13.185,3	98.552,0
Período da coleta (dias)	1.853	2.284	2.606	2.041
Percentual aceito na qualificação	42,1%	98,8%	56,7%	84,8%

1. Foram lançados dez perfiladores a cada três meses e a transmissão de seus dados cessou apenas quando suas respectivas baterias descarregaram, de forma que o número de perfiladores ativos a cada momento foi variável.
2. No primeiro ciclo do PMPAS-BS, foi utilizado apenas um *glider*. No segundo ciclo, foram utilizados três *gliders* operando simultaneamente.



III PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA BACIA DE SANTOS – RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1 REGIÃO OCEÂNICA

III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

A Figura III.1.1-1 mostra o mapa do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz para os dados dos *gliders* e perfiladores juntos.

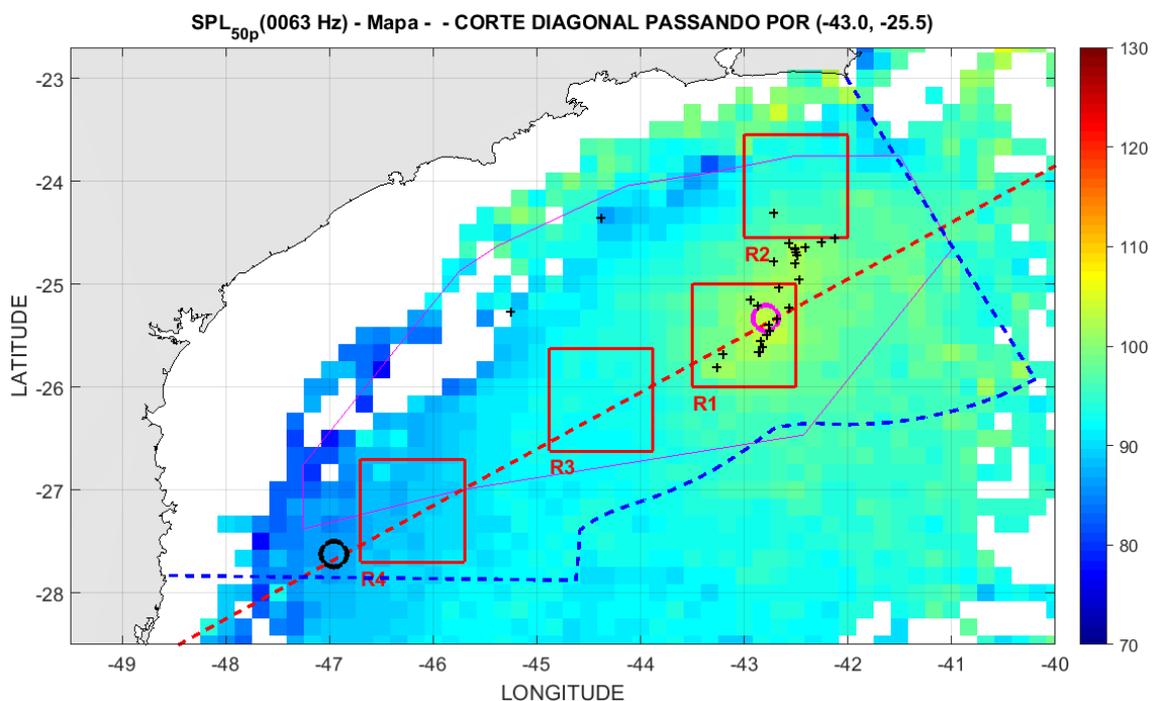


Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam as posições sobre a linha diagonal e dentro dos limites da Bacia de Santos (linha tracejada azul) com valores de SPL mínimo e máximo, respectivamente. As cruzes pretas indicam a posição das plataformas da PETROBRAS.

Os quatro quadrados vermelhos representam as regiões selecionadas para comparações, R1, R2, R3 e R4 descritas na Seção II.1.2. A linha vermelha passando pelo centro da região R1 (-25,5°, -43°) indica os pontos selecionados para se verificar, de forma um pouco mais extensa, a variação espacial dentro da Bacia de Santos. Esta linha foi escolhida por passar por diversas áreas do mapa



onde os níveis sonoros variam de valores aparentemente mais baixos até valores mais elevados, quando cruza a região R1. Dois círculos indicados no mapa identificam os pontos nesta linha onde foram encontrados o valor máximo (círculo magenta, próximo à região R1) e o valor mínimo de SPL (círculo preto na parte de baixo da linha), considerando apenas pontos no interior do polígono delimitando a Bacia de Santos (linha tracejada azul na figura).

Os níveis para as posições nesta linha são mostrados nos gráficos da Figura III.1.1-2, em função da longitude. No gráfico de cima, são apresentados os 5º, 25º, 50º (mediana), 75º e 95º percentis. No gráfico de baixo, as distribuições das medições em cada posição da linha são apresentadas por meio de *boxplots* (veja uma descrição das informações contidas em *boxplots* na seção B.1 do APÊNDICE B).

Observa-se uma variação de quase 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 103,4 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ na posição indicada pelo círculo magenta (-25,45º, -42,92º), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 85,9 dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na posição indicada pelo círculo preto (-27,75º, -47,08º), no extremo sudoeste da região R4. Mais abaixo do limite sul da Bacia de Santos, ocorrem valores de SPL ainda menores, embora o número de medições nesta região seja menor do que dentro dos limites da Bacia de Santos, tornando estes valores menos precisos. Observa-se que na região R1 aparecem muitos valores extremos (cruzes vermelhas no *boxplot*), que neste contexto não significam valores espúrios, mas sim valores próximos à cauda da distribuição e com menor frequência.

A Figura III.1.1-3 mostra um histograma do $\text{SPL}_{63\text{Hz}}$ para uma posição na linha diagonal (-25,00º, -42,08º) onde aparecem muitos valores extremos, permitindo que se tenha uma visão mais clara de como estes valores extremos aparecem na distribuição. O número de pontos usados na criação dos *boxplots* variou ao longo da linha, ficando acima de 6.000 medições na região R1, diminuindo até valores em torno de 15 medições, nas extremidades da linha. A maior amostragem nas regiões com maior energia faz parte da estratégia adotada no projeto, visando uma melhor caracterização da região onde se concentram as atividades de E&P da PETROBRAS.



O maior número de medições realizadas na região R1 pode ser um dos possíveis motivos para o surgimento dos valores extremos, junto ao fato desta ser uma região com uma intensidade maior de tráfego de embarcações, aumentando a chance destas embarcações passarem perto do *glider*, com um consequente aumento temporário dos níveis recebidos.

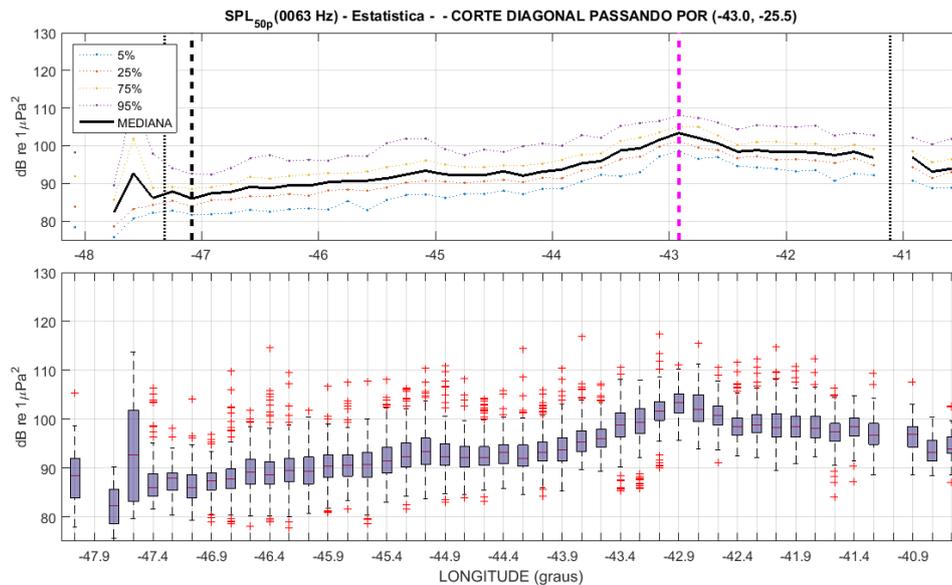


Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo). A linha tracejada magenta no gráfico de cima indica a posição do SPL máximo e a linha preta a posição do SPL mínimo, considerando apenas medições dentro dos limites da Bacia de Santos, dados pelas linhas pontilhadas pretas que marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da bacia.

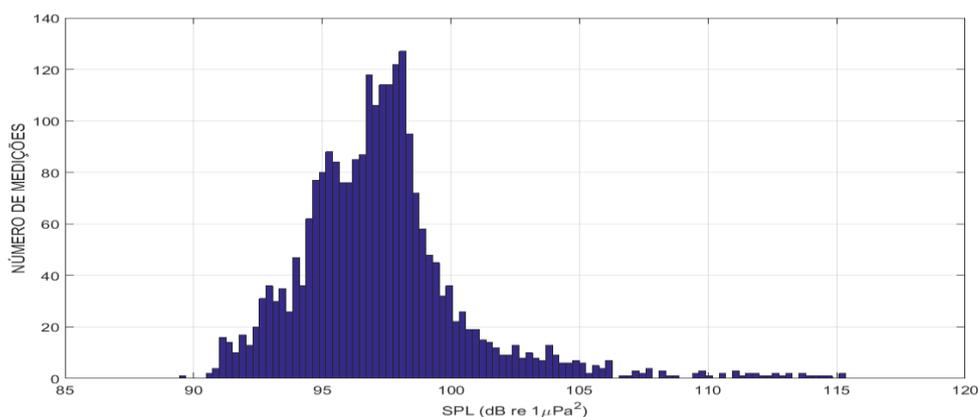


Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL_{63Hz} para as medições realizadas na linha diagonal, numa posição onde aparecem muitos valores extremos ($-25,00^\circ$, $-42,08^\circ$), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de $105 \text{ dB re } 1\mu\text{Pa}^2$).

A Figura III.1.1-4 apresenta os mapas com os SPL para a banda de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, de forma complementar à Figura II.1.1-1. São apresentadas em todos eles as regiões R1, R2, R3 e R4, a linha diagonal que é usada para a comparação entre os níveis de ruído e as posições dos pontos com níveis mínimo e máximo nesta linha.

A Figura III.1.1-5 mostra a mediana dos valores ao longo da linha diagonal vermelha para os gráficos das Figuras III.1.1-1 e III.1.1-4 em função da longitude, e a Tabela III.1.1-1 mostra as posições e valores dos máximos e mínimos encontrados na linha e a diferença entre estes valores. Estão destacados na figura os trechos onde a linha cruza as regiões R1, R3 e R4.

Em todas as faixas de frequência apresentadas, o comportamento é semelhante ao observado no filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz, apresentado na Figura III.1.1-1, com um aumento entre 12 e 20 dB na região R1, dependendo da frequência analisada, quando comparado com outras regiões mais silenciosas ao longo daquela linha. A diferença de níveis entre as curvas se deve, em parte, ao fato de o valor apresentado representar a energia total nas bandas indicadas, e a largura destas bandas serem diferentes umas das outras. Como exemplo, se os níveis espectrais (energia por unidade de frequência) fossem iguais em todas as bandas, as diferenças esperadas, tomando a banda



de 63 Hz como referência, seriam de 3 dB para 125 Hz, 9 dB para 500 Hz, 12 dB para 1.000 Hz e 22 dB para a faixa de 10 Hz a 10 kHz. No entanto, é interessante observar que os níveis para 500 Hz e 1.000 Hz são praticamente iguais e o nível para 63 Hz é maior do que os níveis para os filtros centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, mesmo tendo uma largura de banda menor.

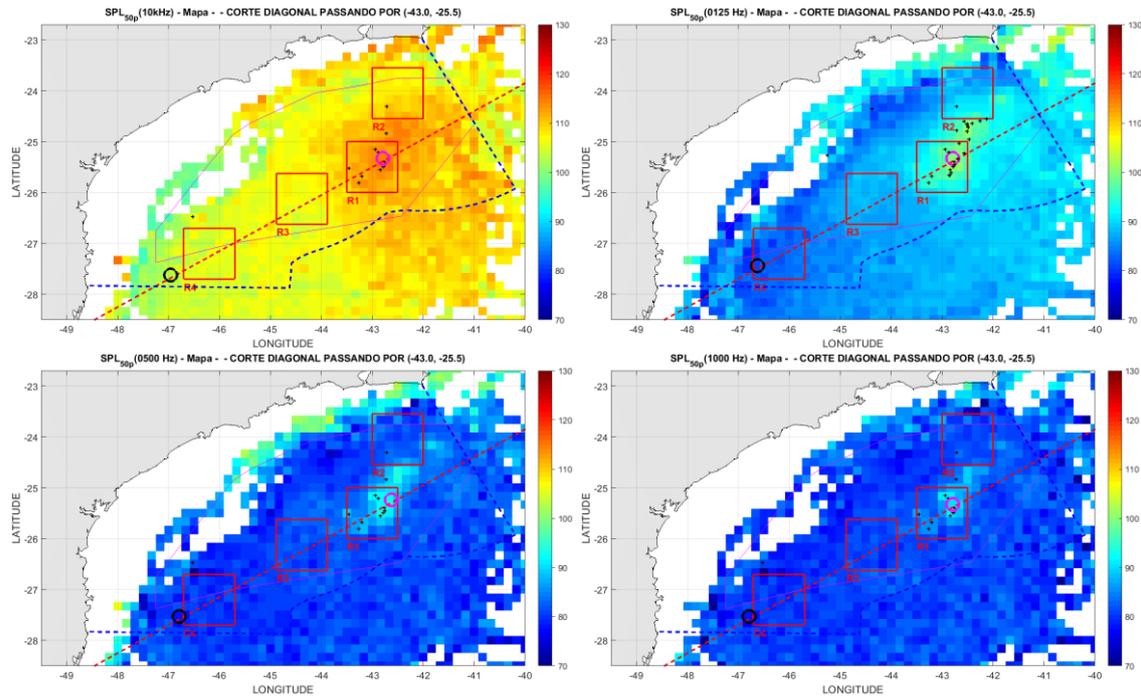


Figura III.1.1-4: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.



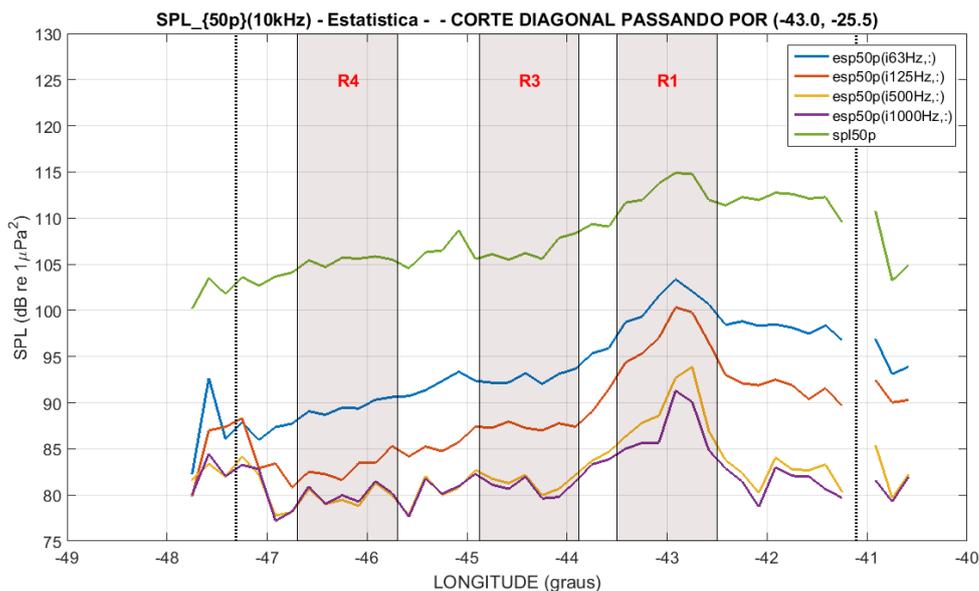


Figura III.1.1-5: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos. Os trechos destacados correspondem aos trechos em que a linha cruza as regiões R1, R3 e R4.

Tabela III.1.1-1: Posição dos níveis mínimo e máximo de SPL observados sobre a linha diagonal nos mapas para cada frequência apresentada e respectiva posição. É mostrada na última coluna a diferença entre os SPL máximos e mínimos para cada frequência.

Frequência	SPL Mínimo (dB re 1 μ Pa ²)	Long./Lat. (graus)	SPL Máximo (dB re 1 μ Pa ²)	Long./Lat. (graus)	Diferença (dB)
63 Hz	85,9	(-47,08,-27,75)	103,4	(-42,92,-25,45)	17,5
125 Hz	80,8	(-46,75,-27,56)	100,3	(-42,92,-25,45)	19,5
500 Hz	77,8	(-46,92,-27,65)	93,9	(-42,75,-25,36)	16,1
1.000 Hz	77,2	(-46,92,-27,65)	91,3	(-42,92,-25,45)	14,1
10 Hz a 10 kHz	102,7	(-47,08,-27,75)	114,9	(-42,92,-25,45)	12,2

III.1.1.1 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4

A Figura III.1.1.1-1 apresenta a comparação entre as medições das quatro regiões, R1, R2, R3 e R4, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, usando *boxplots*. Foram considerados todos os dados qualificados disponíveis de *gliders* e perfiladores, incluindo medições em todas as profundidades. A região R1 é a mais ruidosa, seguida pela região R2, depois a região R3, com a região R4 sendo a mais silenciosa. (O APÊNDICE B apresenta os resultados dos testes estatísticos comparando as distribuições apresentadas nesta seção e nas demais apresentadas neste relatório. No apêndice, são mostradas tabelas com as medianas das distribuições, o resultado do teste ANOVA e do teste *pos-hoc* Tukey, testando a hipótese nula de que as distribuições são iguais).

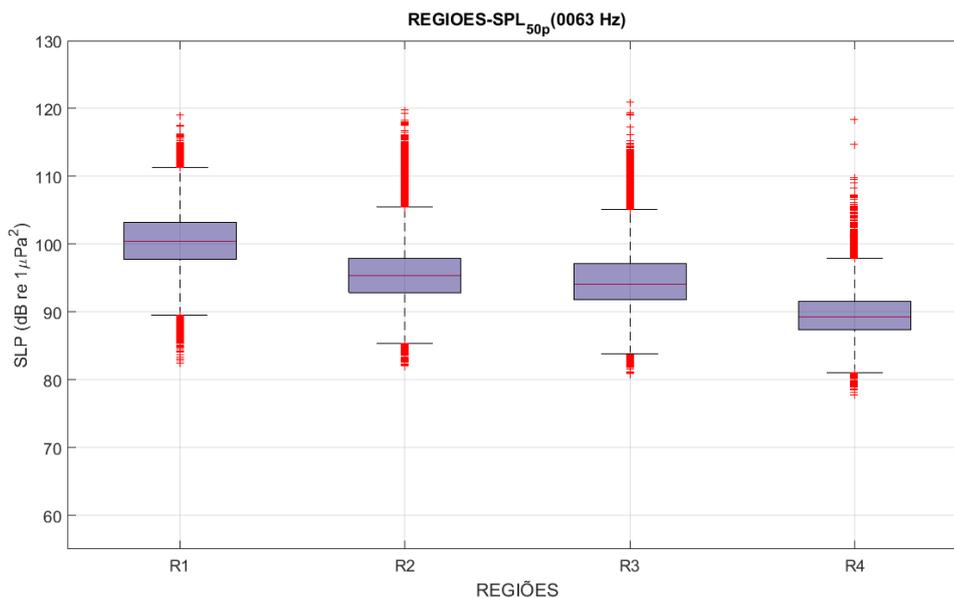


Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos *gliders* e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=41.785,6$, $p=0$).

A Figura III.1.1.1-2 apresenta a comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz,

mostrando o SPL nos percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

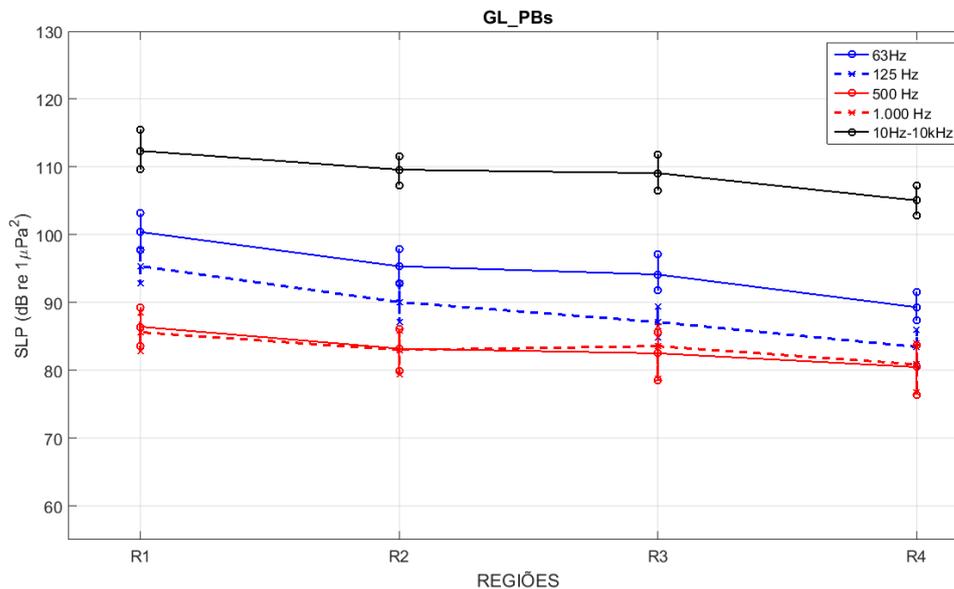


Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

O mesmo comportamento visto na frequência de 63 Hz entre as regiões se observa para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, sendo a região R1 mais ruidosa, seguida pela região R2 depois a região R3 e então a região R4. A exceção é na frequência de 1.000 Hz, onde a região R3 é mais ruidosa do que a região R2.

As regiões R1, R2 e R3 foram mais bem amostradas, com um número de medições de quatro a nove vezes maior do que na região R4. No entanto, uma comparação entre a distribuição de cada região e banda de frequência com uma distribuição feita usando o mesmo número de medições da região R4, selecionados aleatoriamente, não mostrou diferenças significativas, indicando que o número de amostras na região R4 permite representar bem os níveis de ruído nas regiões.



A Figura III.1.1-3 apresenta a comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para a frequência de 63 Hz usando *boxplots*, mas separando os dados obtidos em cada ano, de 2016 a 2022. Na III.1.1.1-4 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

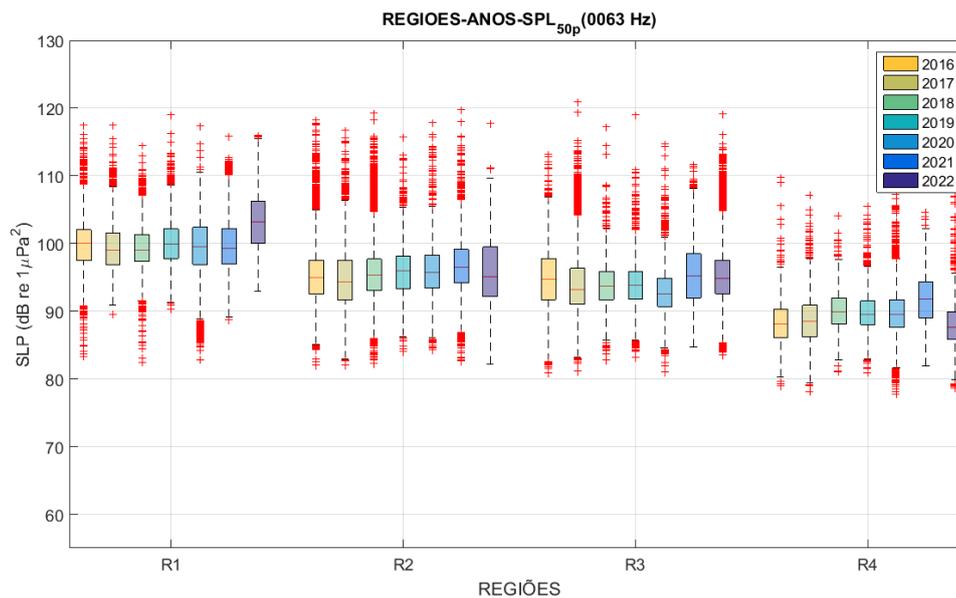


Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Para a frequência de 63 Hz, na região R1, a diferença entre as medianas das distribuições ficou menor que 1 dB até 2021, indicando uma estabilidade nos níveis de ruído nesta banda de frequência. Apesar de os níveis nesta região parecerem aumentar em quase 4 dB no ano de 2022, foi identificado que o aumento é fruto de um viés decorrente da forma como os dados acústicos que compõem o ano de 2022 foram adquiridos, o que é melhor detalhado adiante quando se discute a contribuição das campanhas específicas para monitoramento da prospecção sísmica. Na região R2, a diferença entre as medianas ficou em no máximo 2,2 dB, com o ano de 2021 mais ruidoso e 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença entre as medianas ficou perto de 2,6



dB, com o ano de 2021 sendo o mais ruidoso e o ano de 2020 o mais silencioso. Na região R4, a diferença entre as medianas ficou acima de 4 dB, sendo 2021 o ano mais ruidoso e 2022 o mais silencioso.

Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença entre os anos ficou em no máximo 3,8 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 4,3 dB, com o ano de 2021 mais ruidoso e o ano de 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 2,6 dB, sendo o ano de 2018 mais ruidoso e o ano de 2022 mais silencioso. Na região R4, a maior diferença ficou em 7,4 dB entre o ano de 2018, mais ruidoso e o ano de 2022, mais silencioso.

Para a frequência de 500 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas ficou em 3,1 dB, entre os anos de 2020, mais ruidoso e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 2,2 dB, entre os anos de 2021, mais ruidoso e 2020, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 5,8 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 4,3 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.

Para a frequência de 1.000 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas ficou em 3,1 dB, entre os anos de 2020, mais ruidoso e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 5,1 dB, entre os anos de 2017, mais ruidoso e 2020, mais silenciosos. Na região R3, a diferença máxima ficou em 6,6 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 4,2 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, na região R1, a diferença máxima foi de cerca de 3 dB, com o ano de 2021 mais ruidoso e 2017 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 3,1 dB entre os anos de 2019, mais ruidoso, e 2022, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 3,7 dB, sendo o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2020 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 4,7 dB, sendo o ano de 2021 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.



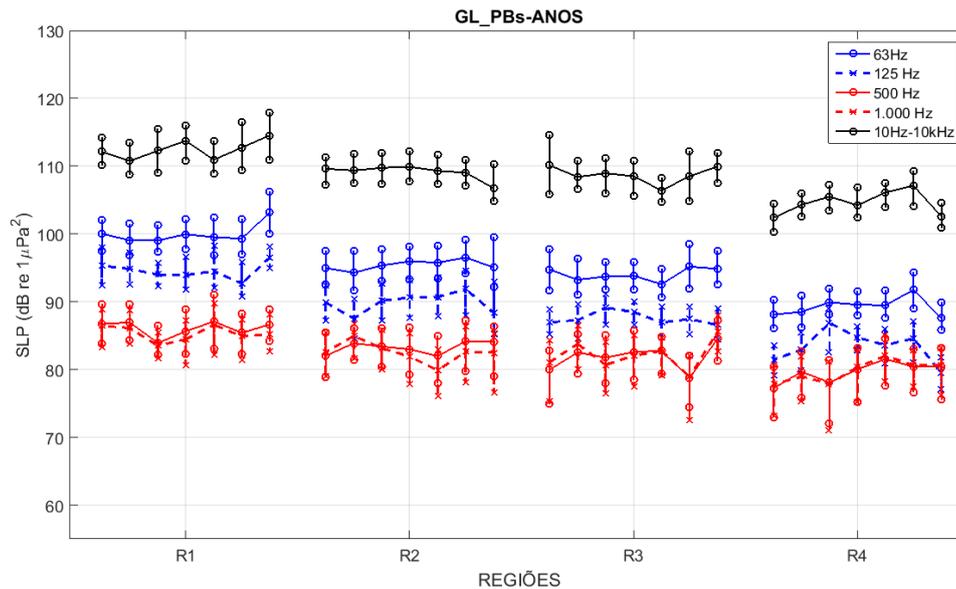


Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de seis marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente.

Observou-se uma elevação nos níveis de ruído na região R1 em 2022 em relação aos anos anteriores. Na região R3, não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos, com algumas oscilações, dependendo da frequência considerada, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2022). Nas regiões R2 e R4, também se observa uma estabilidade dos níveis entre 2016 e 2021. As medições referentes ao ano de 2022 nestas regiões indicam uma redução nos níveis de ruído. Apesar do aumento observado na região R1 para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, não é possível afirmar que isto configura uma tendência. Segundo Merchant *et al.* (2016), tendências podem demorar até décadas para serem detectadas, sendo possível, entretanto, definir a situação atual do ruído para permitir as atividades de planejamento e a verificação futura da evolução destes ruídos.

Em relação ao aumento na região R1 no ano de 2022, foi levantada a possibilidade de que os dados referentes aos gliders específicos usados no acompanhamento da sísmica e que foram também usados na estatística apresentada, poderiam estar provocando um viés nestas estatísticas, uma vez que o *glider* ficou propositadamente próximo à fonte sísmica. Para verificar isto, as Figura III.1.1-3 e III.1.1.1-4 foram refeitas, sem incluir os dados dos gliders específicos com disparos das fontes sísmicas. A Figura III.1.1.1-5 mostra esta nova estatística, sendo possível observar que os níveis de ruído do ano de 2022 para a frequência de 63 Hz na região R1 estão, agora, mais próximos dos obtidos no ano de 2021, embora ainda com um aumento em torno de 1,6 dB. Tal aspecto confere certa distinção na natureza dos dados de monitoramento específico, que focam ativamente na caracterização de fontes sonoras em uma região restrita, daquela tipicamente adotada no PMPAS-BS de monitoramento acústico passivo cobrindo áreas mais extensas, o que exige cautela na conjugação destas fontes de dados para estimativas da paisagem acústica. Os dados dos *gliders* específicos sem disparos das fontes sísmicas foram usados na análise como uma forma de estimar o ruído na região R1, uma vez que em 2022 não ocorreram medições do monitoramento contínuo naquela região. Os níveis de ruído na frequência de 125 Hz e nas demais frequências analisadas não alteraram seu comportamento mostrado anteriormente, provavelmente porque os pulsos sísmicos contribuem mais fortemente na frequência mais baixa, de 63 Hz.



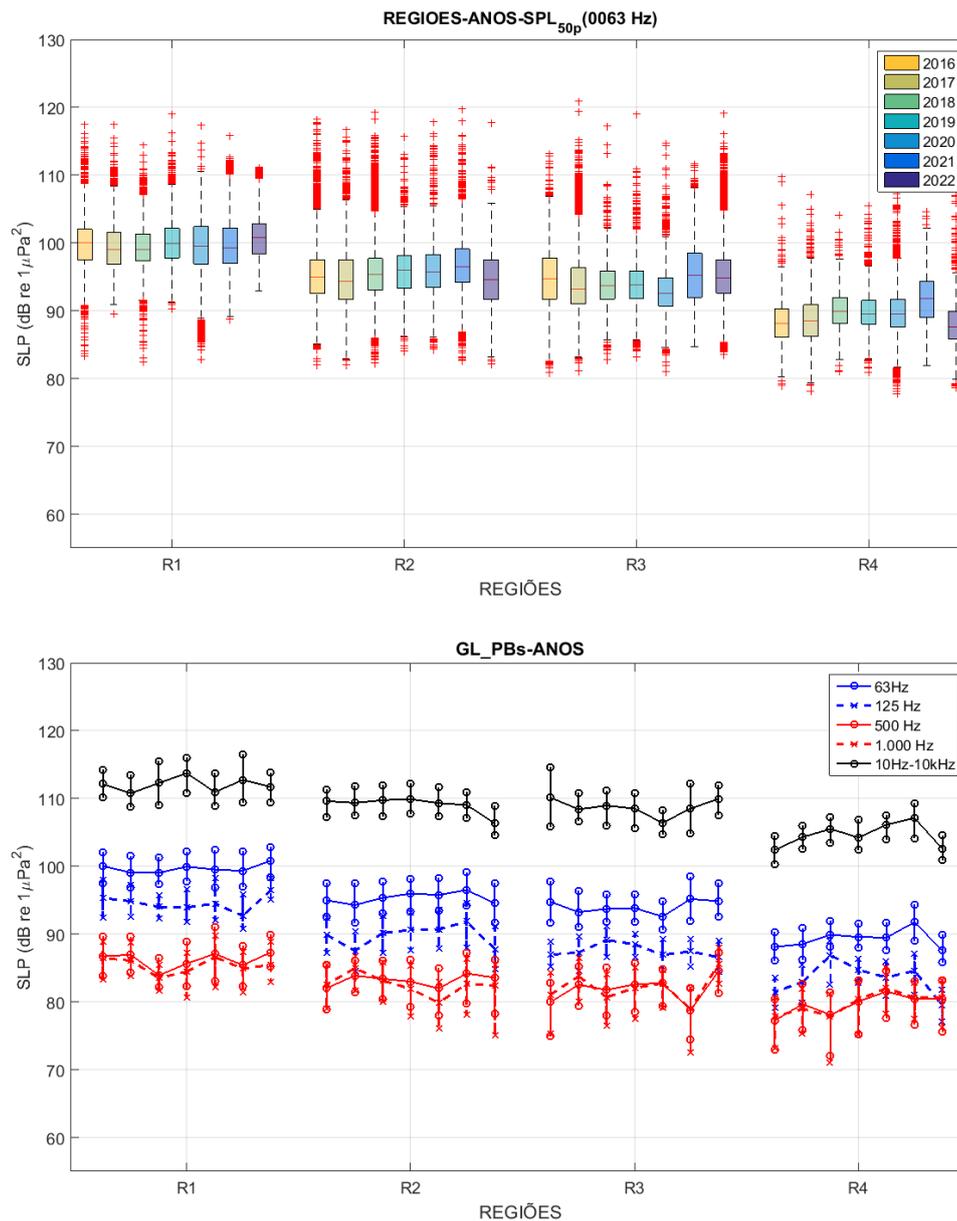


Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, mas sem usar os dados com disparos das fontes sísmicas dos gliders utilizados para acompanhar a atividade sísmica. No gráfico superior são mostrados os boxplots para a frequência de 63 Hz e no gráfico inferior são representados os percentis de 25%, 50% e 75% para todas as frequências analisadas.

A Figura III.1.1.1-6 apresenta comparações entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para quatro faixas de profundidade em torno de 50 m (0-150 m), 200 m (150-350 m), 500 m (400-600 m) e 950 m (850-1.100 m), para a frequência de 63 Hz. Na Figura III.1.1.1-7 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e

75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz e para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

Para a frequência de 63 Hz, na região R1, a diferença entre as medianas para as faixas de profundidade é de no máximo 0,6 dB, sendo mais silenciosa em 950 m e mais ruidosa em 200 m. Para as outras regiões, a profundidade de 50 m é mais silenciosa e a de 950 m mais ruidosa, com a variação máxima entre estas profundidades sendo menor que 2,2 dB nas regiões R2 e R3 e de 3,4 dB na região R4.

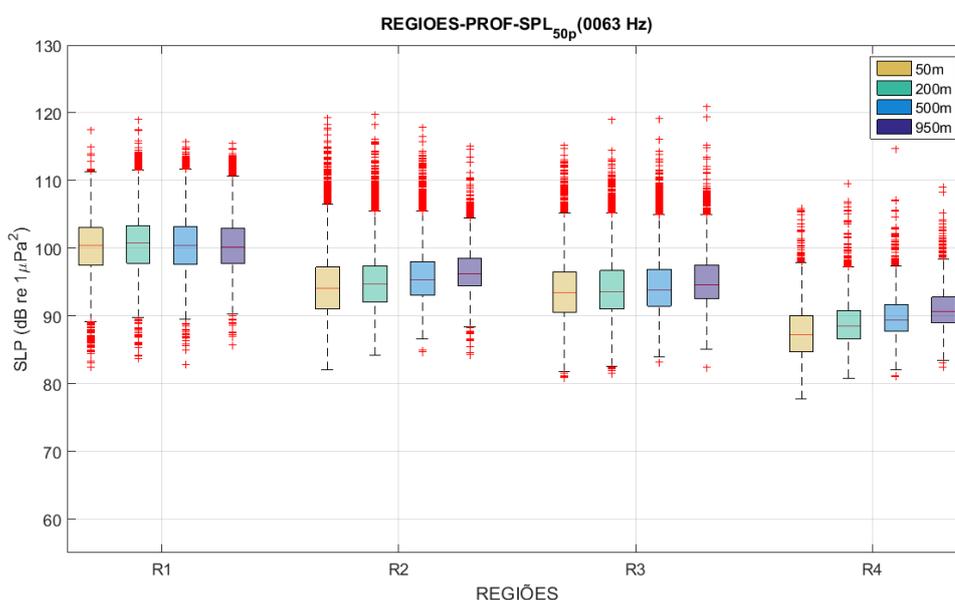


Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas do ruído para as profundidades foi de 0,9 dB entre 200 m (mais ruidosa) e 950 m (mais silenciosa). Para as demais regiões, observa-se um aumento de ruído com o aumento da profundidade, com a variação entre o máximo e o mínimo de ruído ficando acima de 1,6 dB, chegando a 4,1 dB na região R4.

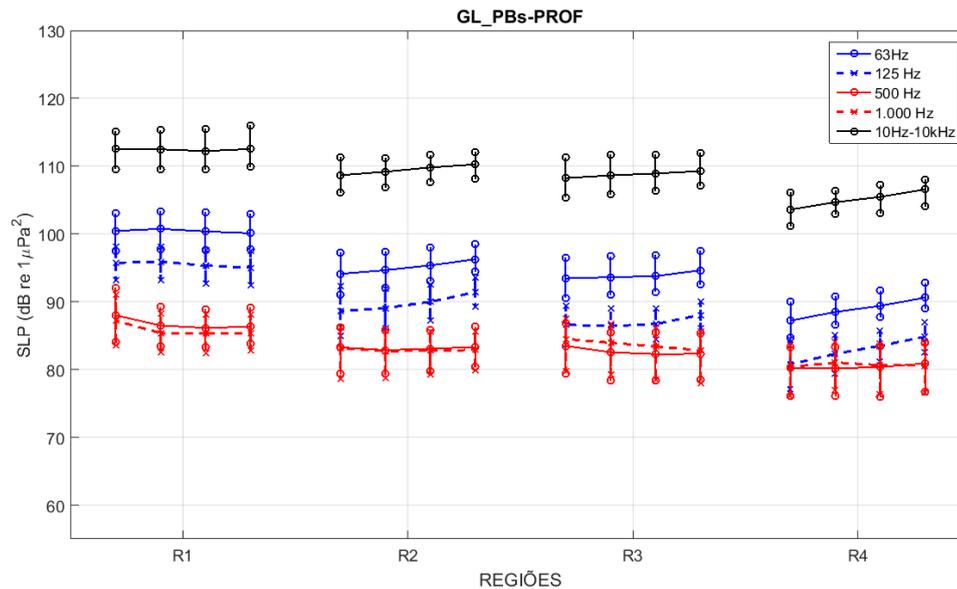


Figura III.1.1.1-7: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

Para a frequência de 500 Hz, a profundidade de 50 m é a mais ruidosa e a de 500 m mais silenciosa nas regiões R1 e R3. A profundidade de 950 m é a mais ruidosa e a de 200 m mais silenciosa nas regiões R2 e R4. A maior diferença entre as medianas dos dados, no entanto, ficou abaixo de 2 dB.

Para a frequência de 1.000 Hz, a mediana dos dados para a profundidade de 50 m é a mais alta das quatro profundidades nas regiões R1, R2 e R3, enquanto a profundidade de 200 m é mais ruidosa para a região R4. As profundidades mais silenciosas são as de 500 m na região R1; 200 m na região R2; 950 m na região R3; e 50 m na região R4. A maior diferença entre as medianas das profundidades foi de 1,9 dB, na região R1.

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, na região R1, o ruído é maior na profundidade de 50 m e menor na de 500 m. Em todas as outras regiões o ruído aumenta com o aumento da profundidade, com a diferença entre

as profundidades de 50 m e 950 m indo de 1,0 dB na região R3 a 3,0 dB na região R4.

Na comparação entre as profundidades, verificou-se que nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, nas regiões R2, R3 e R4, a mediana dos ruídos medidos na profundidade de 950 m é maior do que nas outras profundidades em até 3 dB, e que o ruído aumenta com o aumento da profundidade. Isto pode ser devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR), região próxima ao local de instalação dos hidrofones a 950 m. Na região R1, não se observa uma diferença grande entre as medianas para as profundidades.

Nas frequências mais altas, de 500 Hz e 1.000 Hz, a mediana para a profundidade de 50 m é mais alta do que para as outras profundidades nas regiões R1, R2 e R3 e as medianas para as profundidades demais profundidades são próximas entre si. Na região R4, as medianas para as quatro profundidades ficaram próximas entre si. A mediana mais alta na profundidade de 50 m pode estar associada a ruídos gerados na superfície do mar pelo vento e por ondas de superfície. Entre as medianas nas profundidades de 200 m, 500 m e 950 m as diferenças não são grandes e se alternam dependendo da região e da faixa de frequência.



III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas

III.1.2.1 Comparação entre as LFIs

A qualificação dos dados das LFIs foi feita usando-se um limiar para a velocidade de corrente medida próximo à posição dos equipamentos de gravação do áudio para a qual a correlação do SPL para as bandas de frequência de 63, 125, 500 e 1.000 Hz fosse menor ou igual a 10% (IPqM, 2021). Este limiar foi variável para cada linha em cada campanha, ao invés de ser um limiar fixo de 13 cm/s, como foi usado em alguns dos relatórios anteriores. Embora o número total de dados qualificados usando cada um destes critérios não altere muito, o critério atualmente adotado garante uma quantidade maior de dados livres da contaminação do ruído próprio das linhas. Mesmo assim, nenhum dos dois critérios garante que os dados aceitos estejam livres da interferência dos ruídos provocados pela corrente, podendo, estas interferências, influenciar, de alguma forma, as estatísticas apresentadas.

A Figura III.1.2.1-1 apresenta os *boxplots* para todos os dados das oito posições de instalação das LFIs, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. Os valores extremos observados nos *boxplots* podem ter sido causados pela passagem de embarcações próximo à linha, mas também podem ser devidos ao ruído próprio provocado pela corrente oceânica, mesmo com os dados tendo sido selecionados pelo processo de qualificação.



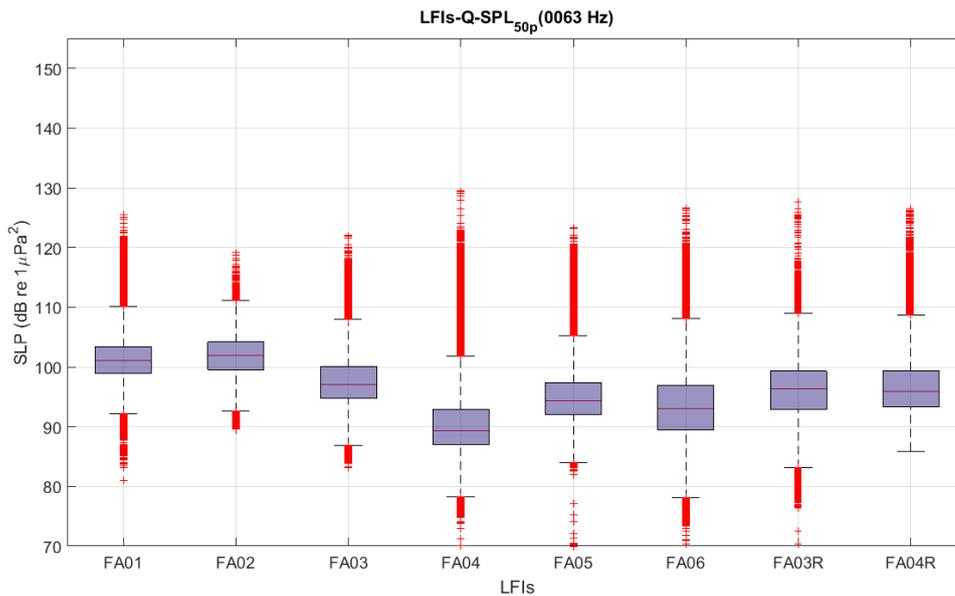


Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

Na Figura III.1.2.1-2 são apresentadas as medianas para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais nos gráficos ligam os percentis de 25% e 75% de cada distribuição.

Em todas as frequências a linha FA02 é a mais ruidosa, seguida pela FA01. A linha mais silenciosa é a FA04 nas frequências de 63 Hz e 125 Hz e a linhas FA06, nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz.

O fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas em todas as faixas de frequência se justifica pelo fato de elas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P e com alto tráfego de navegação.

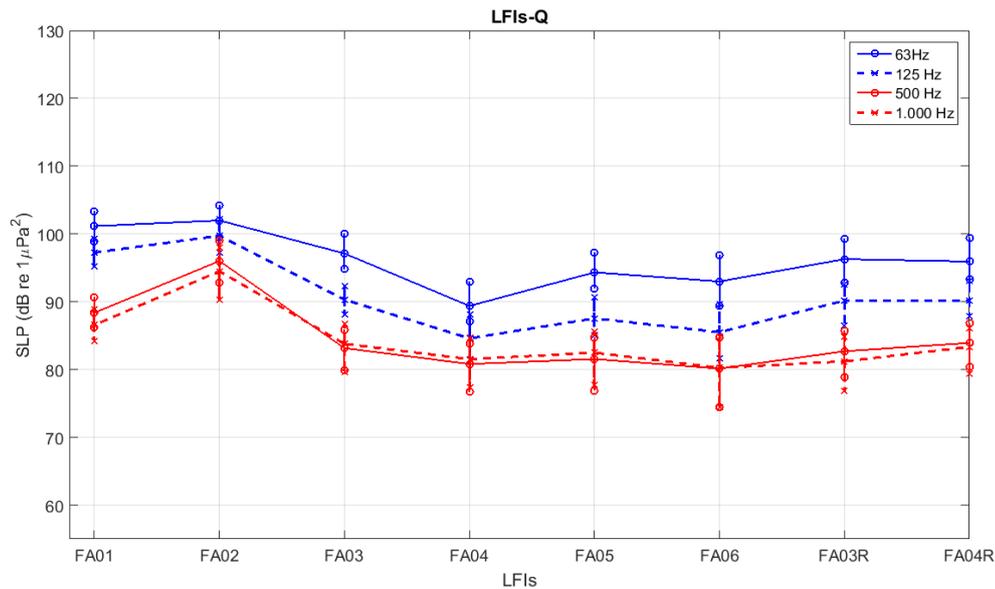


Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

A Figura III.1.2.1-3 apresenta *boxplots* para os dados das LFIs nos anos de 2017 a 2022, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.1-4 apresenta as medianas de cada linha para as frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017 a 2022.

Na frequência de 63 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2022 para a linha FA02, com um aumento do ruído de 5,3 dB; entre os anos de 2020 e 2022 para a linha FA04, com redução em torno de 5 dB; e entre os anos de 2018 para 2020 para a linha FA03, com um aumento de 4 dB. Os maiores níveis observados na linha FA04 no ano de 2020 podem ser devidos à presença de ruído da própria linha, que não tenham sido removidos pelo critério de qualificação usado. Além disso, vale lembrar que a linha FA04 foi movimentada para a posição FA04R em maio de 2020, o que reduz a quantidade total de dados disponíveis para este ano na linha.



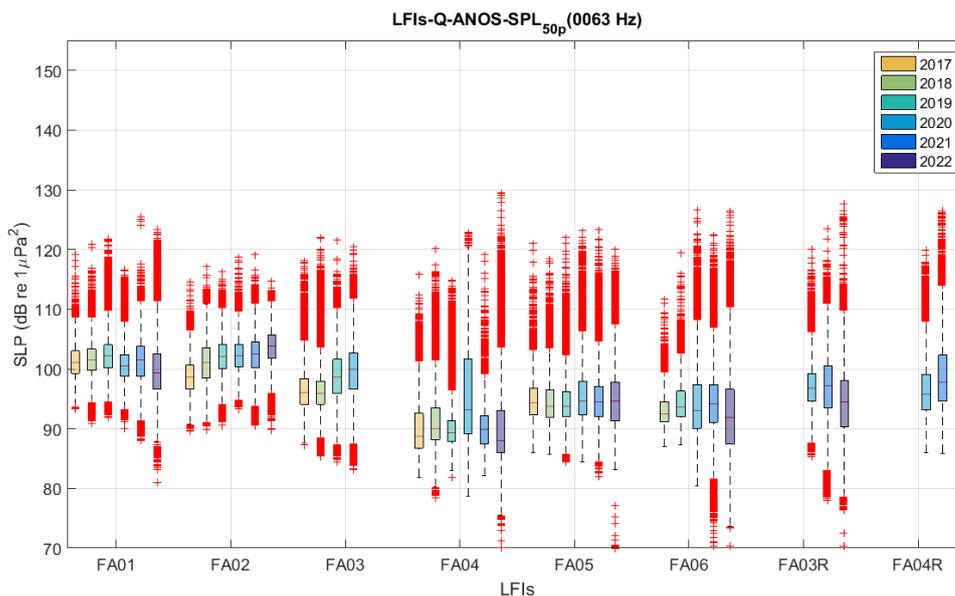


Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2022 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

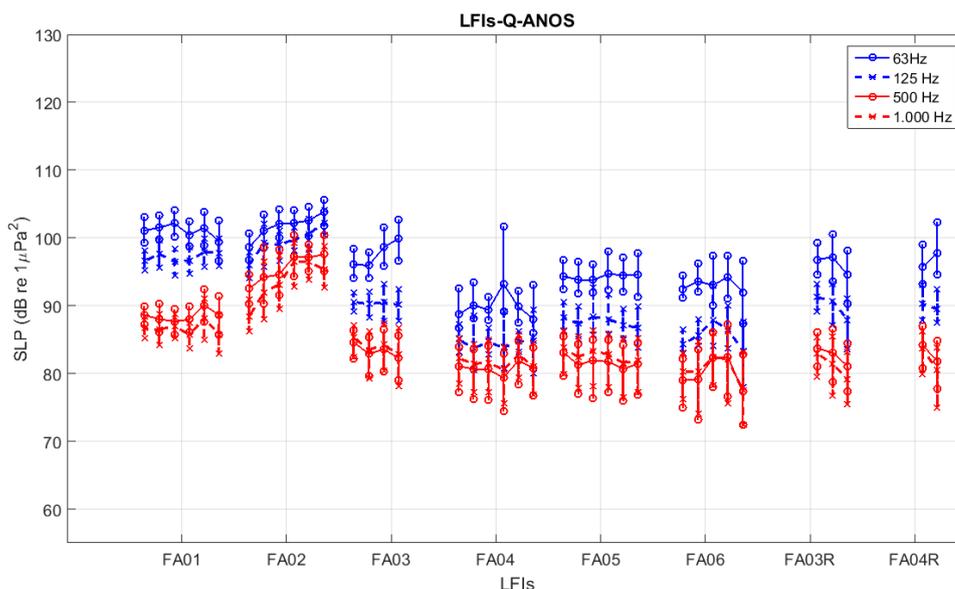


Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2022 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de quatro marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020; a linha FA03 não tem dados para 2021; e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020.

Na frequência de 125 Hz, as maiores diferenças encontradas foram um aumento de cerca de 6,3 dB para a linha FA02, entre os anos de 2017 e 2022 e uma redução de 4,5 dB entre os anos de 2020 e 2022 para a linha FA06.

Na frequência de 500 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2022 para a linha FA02, com um aumento de 5,1 dB; e entre os anos de 2021 e 2022 para a linha FA06, com uma redução de 5,1 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2021 para a linha FA02, com um aumento de 8,2 dB; entre 2020 e 2022 para a linha FA06, com redução de 4,9 dB; e entre 2020 e 2022, na linha FA03R, com uma redução de 3,8 dB.

Os maiores aumentos dos níveis de ruído ao longo dos anos de 2017 a 2022 ocorreram na linha FA02, com aumentos de mais de 5 dB nas frequências mais baixas e de até 8 dB nas frequências maiores; e na linha FA03, com aumento de perto de 4 dB na frequência de 63 Hz. Nas demais linhas e frequências as variações de níveis de ruído entre os anos foi pequena ou não existiu.

Se considerarmos apenas a variação entre 2021 e 2022, ocorreram aumentos de mais de 1 dB nas frequências de 63 Hz, 125 Hz e 500 Hz na linha FA02. Em todas as outras linhas e frequências, não houve aumento, tendo ocorrido, inclusive, redução nos níveis de ruído. A linha FA03 não foi lançada no ano de 2021 e a linha FA04R não foi lançada em 2022, não entrando nesta análise.

Apenas a linha FA02 tem uma indicação clara de tendência de aumento nos níveis de ruído, com aumentos anuais consecutivos nas quatro bandas de frequência analisadas, tendo havido um aumento de 5 a 8 dB entre o ano de 2017 e o de 2022, dependendo da frequência.

No planejamento do lançamento das linhas, as linhas FA01 e FA02 foram posicionadas em regiões impactadas pelas atividades de exploração de óleo e gás; as linhas FA03 e FA04 estavam longe destas atividades e das rotas de tráfego intenso, sendo chamadas, na época, de áreas pristinas; e as linhas FA05 e FA06 foram posicionadas em regiões com tráfego intenso de embarcações, mas sem uma atividade de exploração de óleo e gás intenso. As linhas FA03R e



FA04R foram instaladas em regiões de pouca ou nenhuma atividade de E&P. Isto justifica o fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas, seguida pela linha FA06. Em todos os *boxplots*, observou-se muitos valores extremos que podem ser devidos a ruídos do próprio sistema provocados pela corrente oceânica, mesmo após a qualificação. Outro fator que pode ter contribuído para o aparecimento dos valores extremos é a passagem de embarcações próximo à posição das LFIs, o que aumenta momentaneamente os níveis de ruído recebido, assim como já havia sido pontuado para os resultados do monitoramento móvel.

A Figura III.1.2.1-5 apresenta *boxplots* para os dados das LFIs nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.1-6 apresenta as medianas para os dados das LFIs nas faixas de frequência de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.

Na frequência de 63 Hz, as maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA06 com uma redução de 7,6 dB; entre 50 e 950 m na linha FA04, com uma redução de 7,4 dB; e entre as profundidades de 50 e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 4,2 dB.

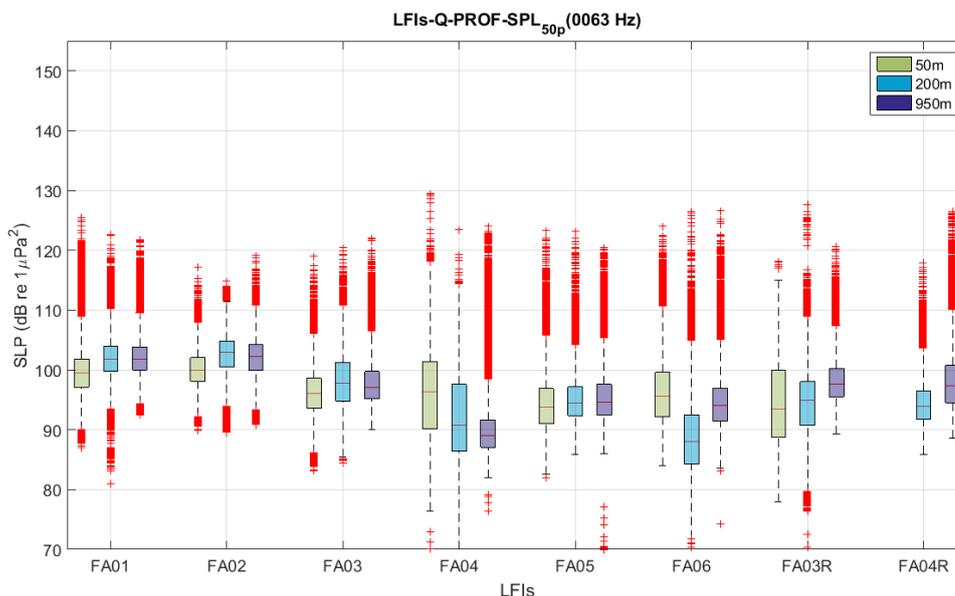


Figura III.1.2.1-5: Comparação entre as LFIs do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.



Na frequência de 125 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA06, com uma redução de 8,1 dB; entre 50 m e 950 m na linha FA04, com uma redução de 7,8 dB; e entre 50m e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 6,1 dB.

Na frequência de 500 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 200 m da linha FA06, com uma redução de 10 dB; e entre 50 m e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 5,9 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA06, com uma redução de 8,8 dB; e entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 5,4 dB.

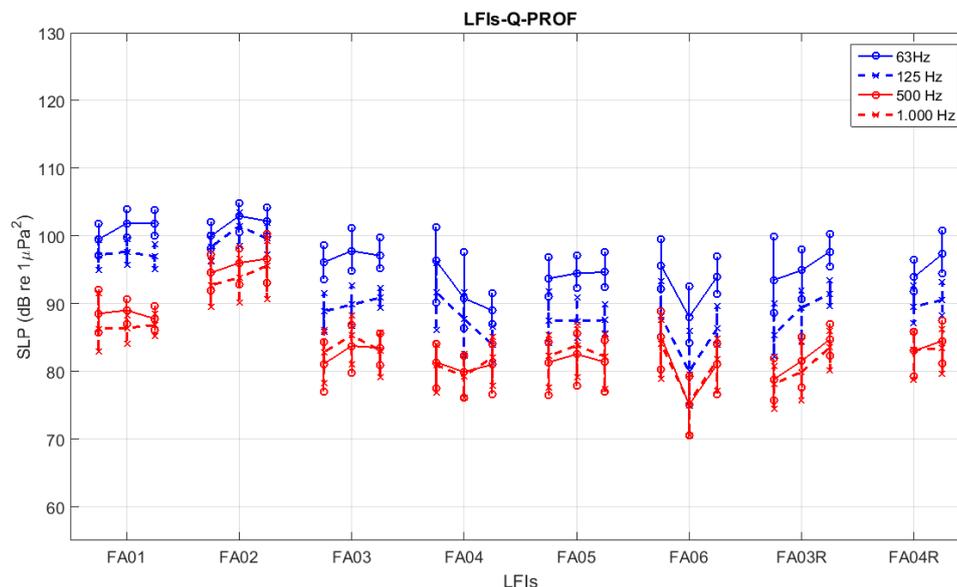


Figura III.1.2.1-6: Comparação entre as LFI's para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.

Não existem diferenças claras que sejam comuns a todas as linhas. De uma maneira geral, as diferenças entre as profundidades numa mesma linha não são muito grandes, com algumas exceções, como mostrado na Figura III.1.2.1-6. Assim como nos *boxplots* comparando os anos, apresentado na Figura III.1.2.1-1, aparecem muitos valores extremos em diversos *boxplots*, podendo ter

sido causados pelos mesmos fatores apresentados na comparação entre os anos, nesta mesma seção. O agrupamento dos dados das diferentes profundidades pode ser aconselhável para se obter informações médias sobre o ruído acústico no meio, quando não houver motivo para o uso de uma faixa de profundidade predeterminada.

A Figura III.1.2.1-7 mostra os *boxplots* para o SEL_{24h_LF} (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*) e a Figura III.1.2.1-8 para o SEL_{24h_MF} . Estes valores foram obtidos integrando a energia dos espectros de 1/3 de oitava após serem filtrados usando pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos de baixa frequência (LF, do inglês *low-frequency*) e de média frequência (MF, do inglês *medium-frequency*) de mamíferos marinhos, obtidos a partir de Finneran (2016). A linha preta tracejada no gráfico corresponde ao limiar para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran (2016), para o grupo LF (179 dB re $1\mu Pa^2.s$). Para o grupo MF, o TTS é de 178 dB re $1\mu Pa^2.s$, apenas 1 dB abaixo. O limiar para o *Permanent Threshold Shift* (PTS) apresentado por Finneran (2016), é 20 dB acima do TTS, sendo de 199 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo LF e de 198 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo MF.

Todos os dados do SEL_{24h} , tanto para o grupo LF, quanto para o grupo MF, ficaram abaixo do valor de limiar para o TTS, com exceção de alguns poucos valores extremos na linha FA06.

Para o SEL_{24h-LF} , os maiores níveis foram obtidos para a linha FA02 e os menores para a linha FA04. Para o SEL_{24h-MF} , os maiores níveis foram obtidos, também, para a linha FA02, enquanto as outras linhas ficaram com níveis muito próximos.



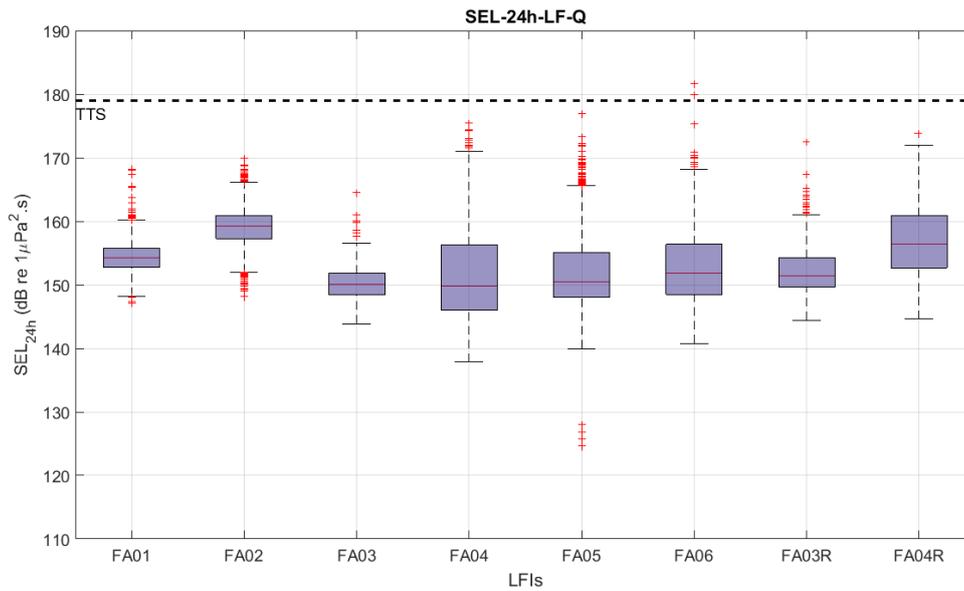


Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o SEL_{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

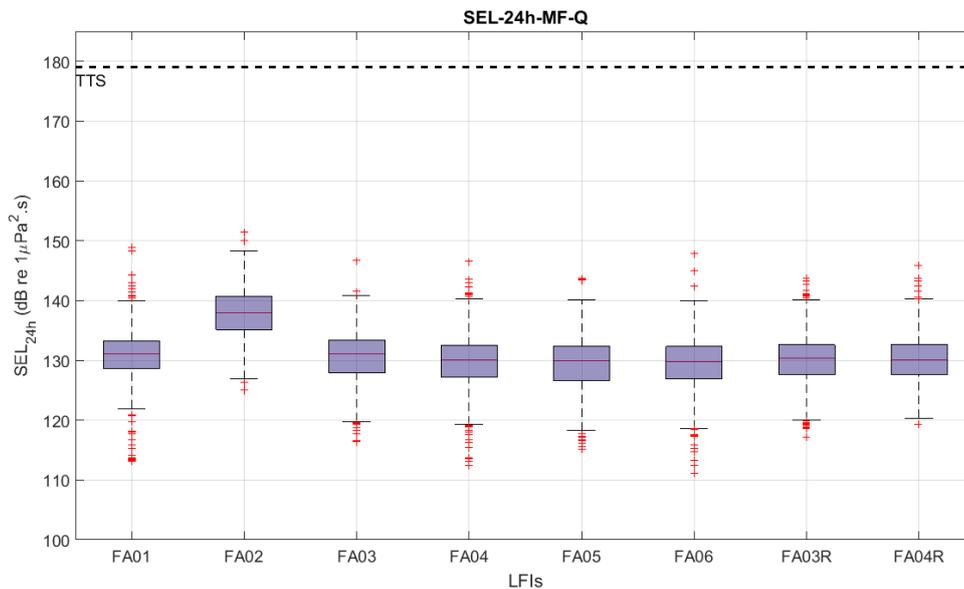


Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

A evolução temporal do SEL_{24h} para as oito LFIs é mostrada na Figura III.1.2.1-9 para o grupo LF e na Figura III.1.2.1-10 para o grupo MF. As escalas horizontais e verticais são iguais para todos os gráficos, para facilitar a comparação dos tempos de aquisição para as linhas. Os dados cobrem todo o

período das oito primeiras campanhas das LFI, indo de setembro de 2017 a outubro de 2022. A linha preta tracejada nos gráficos corresponde ao limiar para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran (2016), sendo 179 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo LF e 178 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo MF.

No $\text{SEL}_{24\text{h_LF}}$, a maior parte da energia usada no seu cálculo corresponde à faixa de baixa frequência do espectro, enquanto o $\text{SEL}_{24\text{h_MF}}$ usa mais a energia dos sinais de frequência mais alta. Como a energia da parte de baixa frequência do ruído ambiente é normalmente maior do que a energia da parte de mais alta frequência (Urlick, 1983), o $\text{SEL}_{24\text{h_LF}}$ é mais alto do que o $\text{SEL}_{24\text{h_MF}}$. Em todos os gráficos, o $\text{SEL}_{24\text{h}}$ tanto para o grupo MF quanto para o grupo LF de cetáceos não ultrapassa a linha indicando o limiar do TTS, mesmo quando ocorrem pontos com níveis mais altos, destacados dos outros pontos, correspondendo, provavelmente, a valores extremos representados nas Figuras III.1.2.1-7 e III.1.2.1-8.

Em algumas linhas observa-se uma maior variação dos valores do que nas demais, podendo ser devido à presença de ruídos próprios provocados pela passagem da corrente oceânica e que não tenham sido removidos pelos critérios de qualificação utilizados nestes dados.

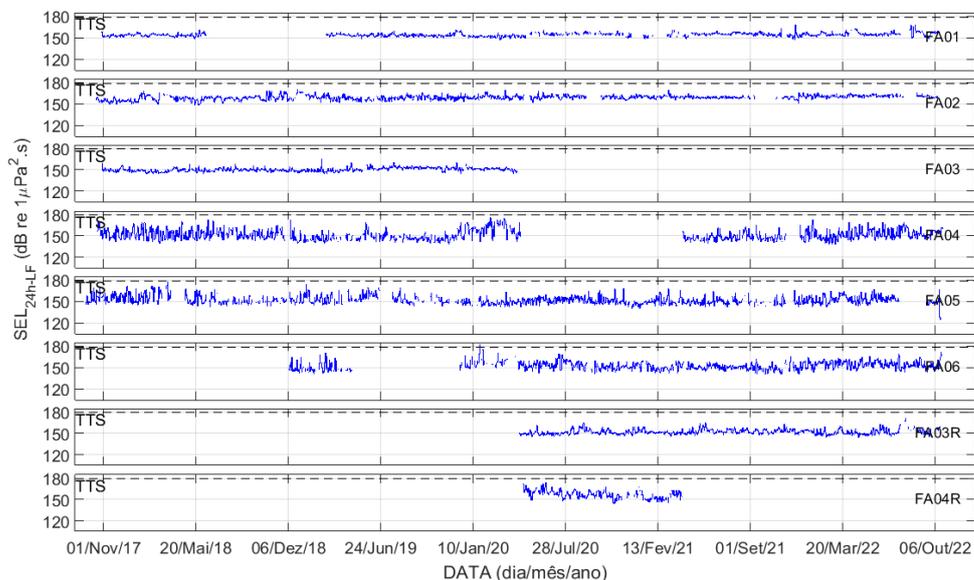


Figura III.1.2.1-9: Evolução temporal do $\text{SEL}_{24\text{h_LF}}$ para as oito LFI, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.



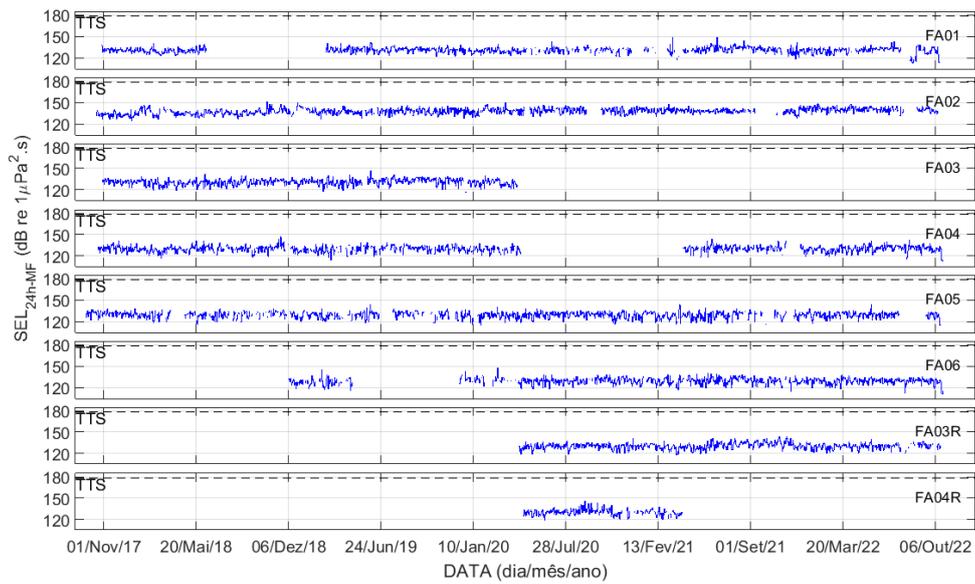


Figura III.1.2.1-10: Evolução temporal do SEL_{24h_MF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.

III.2 REGIÃO COSTEIRA – MONITORAMENTO FIXO – OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS

III.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos

A Figura III.2.1-1 mostra os espectros medianos dos SPL nas diferentes localidades monitoradas. A linha cheia corresponde à mediana dos espectros para cada frequência do filtro de 1/3 de oitava, enquanto as linhas verticais indicam os percentis 25% e 75%. Os espectros foram calculados usando dados aceitos no processo de qualificação, considerando apenas os dados coletados a partir de janeiro de 2018. Esta seleção foi necessária tendo em vista problemas de ruídos provocados pelo próprio sistema de gravação acústica identificados durante a primeira campanha de monitoramento, o que é detalhado adiante, nesta mesma seção.

É possível constatar que, de uma maneira geral, os OSs instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2) são os mais ruidosos para a maior parte do espectro de frequências, particularmente entre 10 e 300 Hz e acima de 2 kHz. A posição OS2R, a oeste da Ilha Grande, é a mais silenciosa em praticamente toda a faixa de frequência dos espectros, alternando-se com a posição OS3, junto ao Canal de São Sebastião, entre 300 Hz e 1.000 Hz e com a posição OS2 (a lesta da Ilha Grande) e OS3R1 (Ilhas Cagarras) acima de 10kHz. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, o OS2 seguido do OS1A são os mais ruidosos.



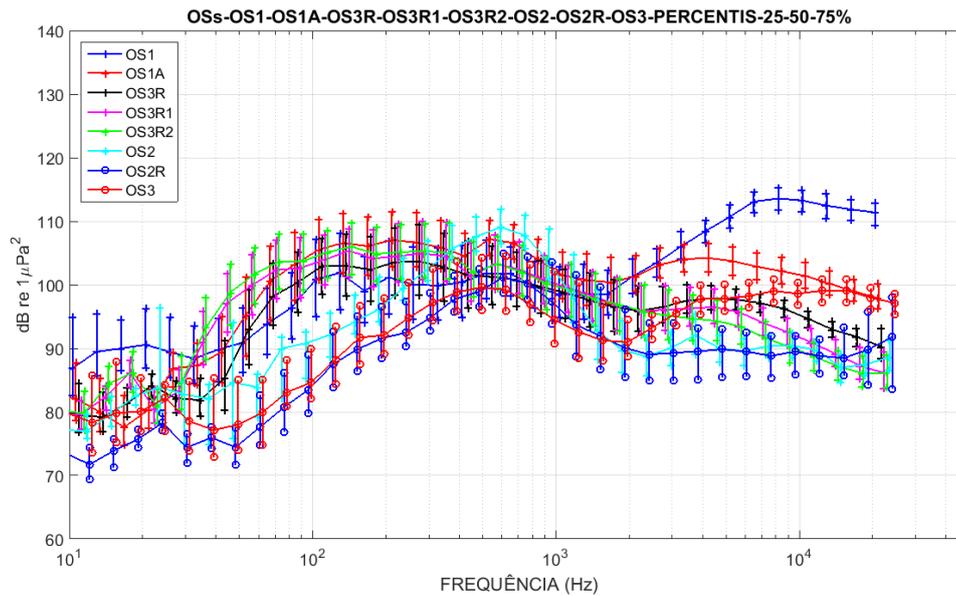


Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-2 mostra os espectros medianos para os dados obtidos nos OSs na região da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2). Destaca-se nestes espectros o aumento de níveis no OS1 na faixa de baixa frequência, abaixo de 30 Hz e na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz.

É interessante notar que, apesar da proximidade, o espectro obtido no OS1 apresenta uma tendência de aumento do SPL abaixo de 30 Hz e acima de aproximadamente 2 kHz em relação ao OS1A. Entre as frequências de 40 e 1.000 Hz, no entanto, o OS1A é mais ruidoso.

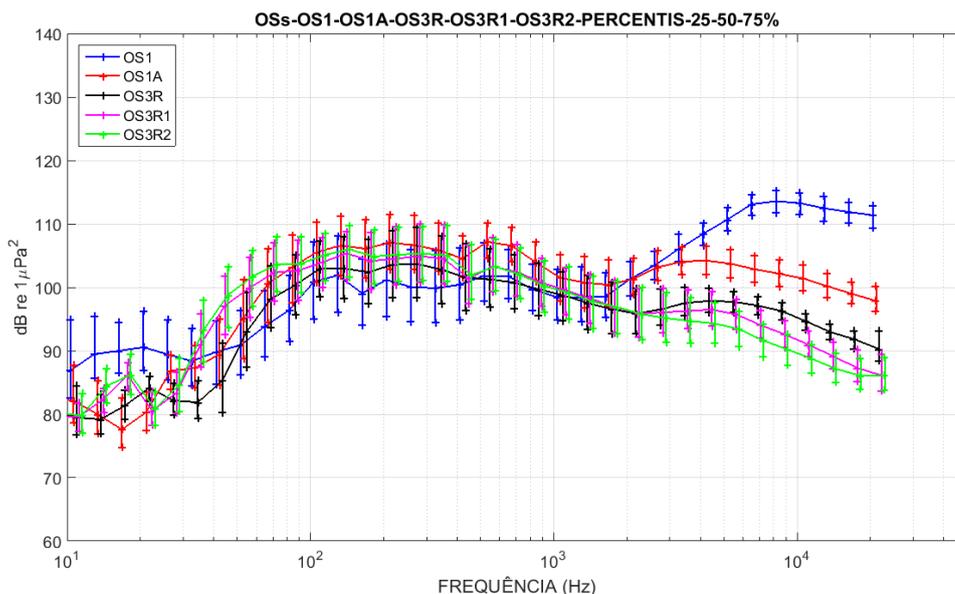


Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-3 mostra os espectros medianos dos dados obtidos nos OSs instalados na Baía de Ilha Grande (OS2, do lado leste da Ilha Grande e OS2R do lado oeste) e no Canal de São Sebastião (OS3). A posição OS2 é mais ruidosa em praticamente todas as bandas até 1.000 Hz. A partir de 2.000 Hz, a posição OS3 é mais ruidosa.

Um aspecto notável é a diferença entre os níveis espectrais estimados para o OS2 e OS2R a leste e oeste da Ilha Grande, respectivamente, onde o ruído obtido no primeiro é em média superior ao segundo em 5 dB, para uma ampla faixa do espectro. Tal aspecto pode estar relacionado à existência de mais rotas de embarcações nas proximidades de OS2, o que é evidenciado na Figura II.1.1-2.



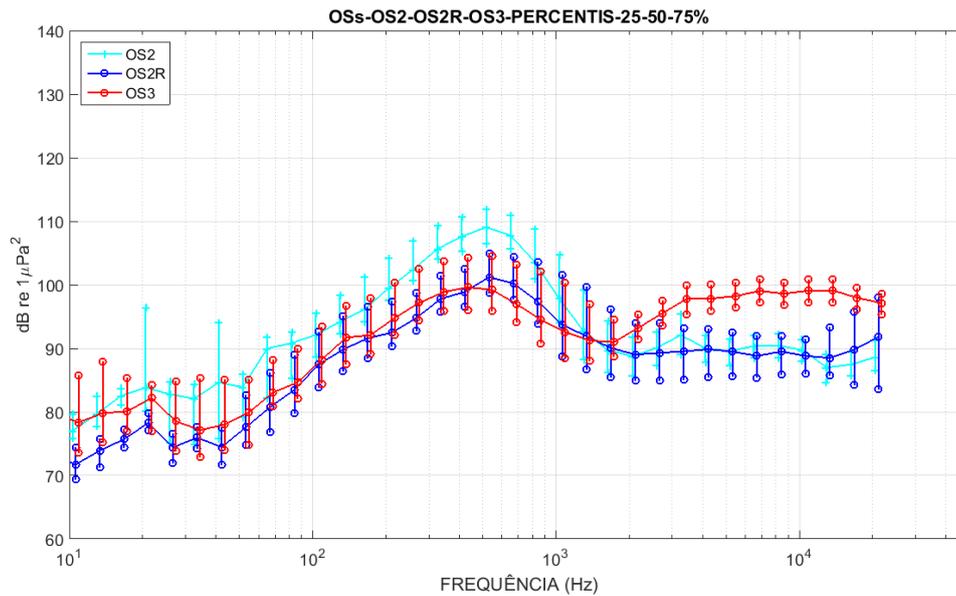


Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R e OS3. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

Estes resultados mostram que zonas bem próximas podem ter assinaturas acústicas distintas. A paisagem acústica de zonas costeiras sofre influência de sons diversos provenientes de embarcações de pequeno porte, fluxo de embarcações de grande porte em zonas portuárias, sons relacionados à ação das ondas do mar e chuva, sons de organismos costeiros (principalmente peixes, invertebrados bentônicos e alguns cetáceos) (Andrade, 2018).

Assim, cada região, ou seja, cada *habitat* possui sua assinatura acústica (Radford *et al.*, 2014), que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local. Os espectros apresentados, também permitem observar que, apesar de diferentes, as assinaturas acústica possuem características semelhantes e que remetem às principais fontes acústicas que influenciam cada faixa de frequência (Andrade, 2018; Wenz, 1962; Xavier, 2021).

Para o conjunto de frequências analisadas, tem-se três principais faixas: (A) 0 a 200 Hz, (B) 200 Hz a 2 kHz e (C) 2 a 24 kHz. As faixas (A) e (B) são influenciadas principalmente por sons antropogênicos (ex.: embarcações), abióticos (ex.: corrente de maré) e bióticos (ex.: peixes e alguns invertebrados).



Já a faixa (C) sofre mais influência de invertebrados e é caracterizada por um som que se assemelha a um chiado ou fritura.

Além de cada local possuir uma assinatura acústica própria, as variações temporais e sazonais dos fatores bióticos e abióticos podem alterar as principais características dessas assinaturas (Buscaino *et al.*, 2016; Xavier, 2021). Por exemplo, Bohnenstiehl, Lillis and Eggleston (2016) mostram em seu trabalho que variações de temperatura, luminosidade, maré, fases da lua e estações do ano podem afetar consideravelmente determinadas populações de organismo marinhos e conseqüentemente seus hábitos acústicos.

Em buscas por padrões que indicassem a presença de prováveis fontes de ruído que contribuíssem para a paisagem acústica, foram encontradas fontes com as seguintes características:

- a) Elevações de ruído em baixas frequências, provocado pelo fluxo das correntes de maré (Bassett *et al.*, 2014; Hildebrand, 2009; van Geel *et al.*, 2020);
- b) Elevações de ruído de baixas frequências até frequências altas, provocado pela passagem de embarcações (Hildebrand, 2009; Williams *et al.*, 2015);
- c) Elevações de ruído ocorrendo acima de 2 kHz, com sons de estalos/cliques, com provável associação a invertebrados (Butler *et al.*, 2017; Coquereau *et al.*, 2016; Lillis & Mooney, 2018);
- d) Elevações de ruído em baixas e médias frequências, com regiões tempo-frequência relativamente bem definidas, com sons de chiado e associação provável com coros de peixes ou invertebrados (Coquereau *et al.*, 2016; Erbe *et al.*, 2015; Hawkins & Popper, 2017);
- e) Tom em 100/125 Hz e harmônicos ocorrendo em período definido do dia, com provável origem antropogênica.

Como exemplos, as Figuras III.2.1-4 e III.2.1-5 mostram espectrogramas cobrindo o período de 24 horas do ruído acústico gravado no OS1 e no OS2, respectivamente, apresentando alguns ruídos padrões encontrados nestas regiões.

No OS1 (Figura III.2.1-4) estão destacados os ruídos de fluxo devido às marés (A), ruídos de embarcações (B), ruídos de estalos/cliques acima de 2 kHz



(C), três tipos diferentes de coros de peixes ou invertebrados (D1, D2 e D3) e tons de 100/125 Hz e harmônicos (E).

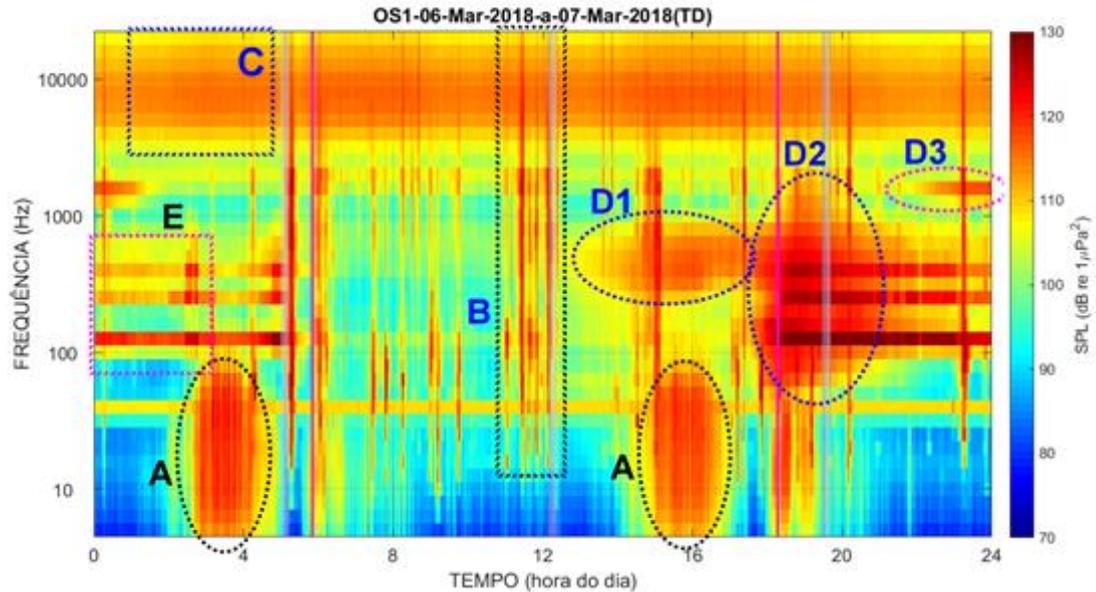


Figura III.2.1-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).

Para o OS2, instalado na Baía de Ilha Grande (Figura III.2.1-5), estão destacados os ruídos provocados pela maré (A), pelas embarcações (B) e pelos coros (D1, D2, D3, D4 e D5). Não foram observados os ruídos de estalos/cliques (C) nem os tons de 100/125 Hz (E).

Veja mais características destes ruídos para todos os OSs em IPqM/PETROBRAS (2022).

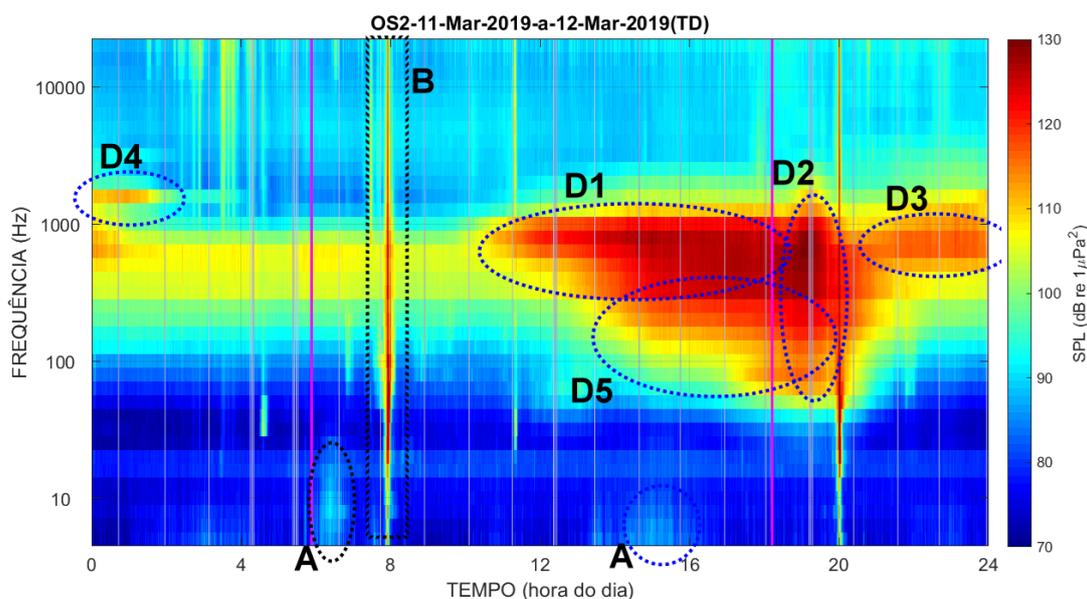


Figura III.2.1-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

A Figura III.2.1-6 apresenta *boxplots* para a banda de frequência centrada em 63 Hz para cada OS e a Figura III.2.1-7 mostra as medianas e os percentis de 25% e 75% para as bandas de frequência centradas em 63 Hz, 125, 500 e 1.000 Hz.

Na banda de 63 Hz (Figura III.2.1-6), os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2 são mais ruidosos, com o OS3R1 e OS3R2 sendo os de maior nível medido. Nesta faixa de frequência, o OS2R é o mais silencioso, seguido pelo OS2 e depois o OS3. É interessante notar o elevado número de valores fora da faixa de 1,5 vezes o intervalo interquartil para o OS2, OS2R e OS3, o que pode indicar a existência de algum processo intermitente nestas localidades, como por exemplo a passagem de embarcações e a intensificação das correntes, os quais elevam os níveis de ruído para valores bem acima do ruído ambiente médio.

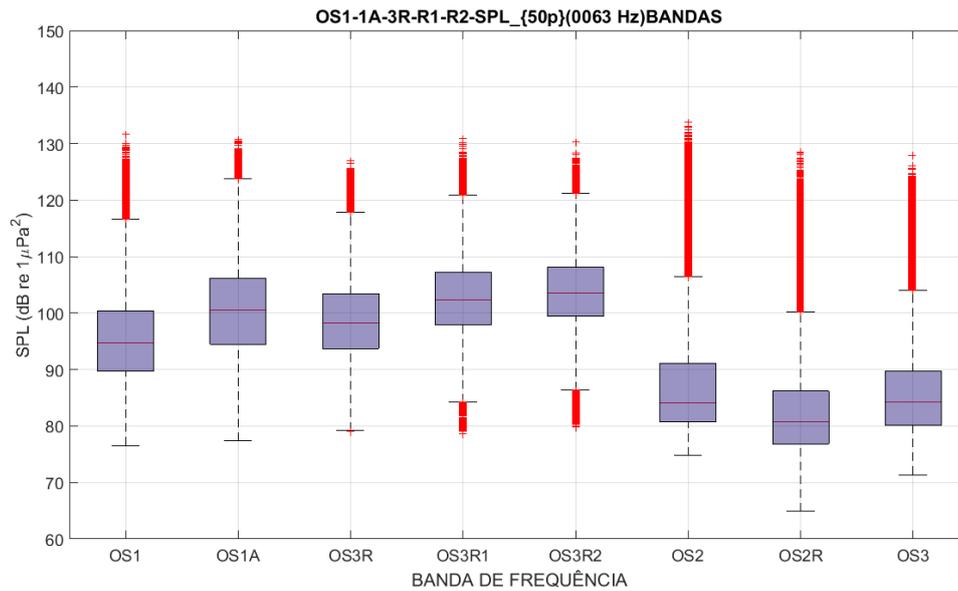


Figura III.2.1-6: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as oito posições analisadas.

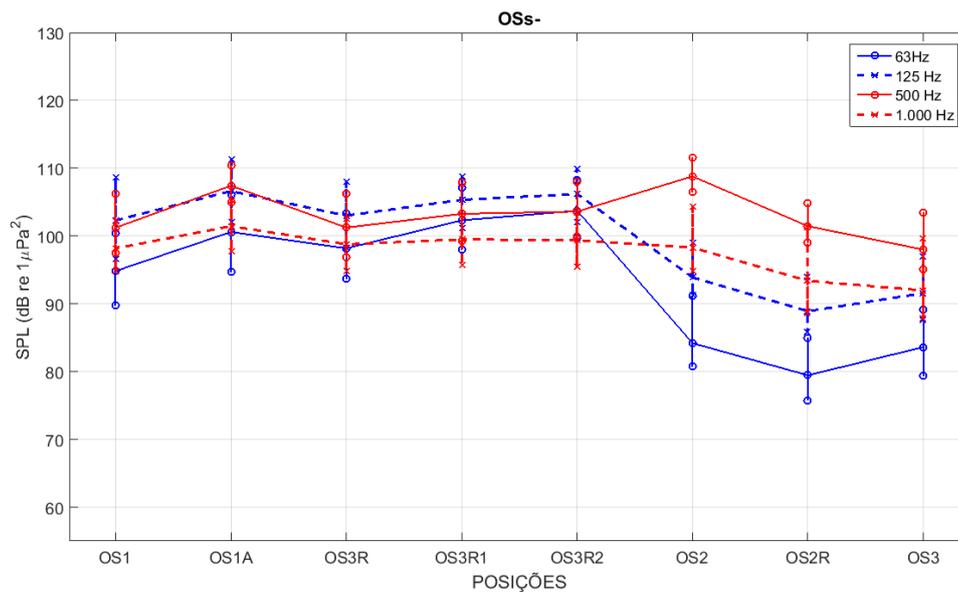


Figura III.2.1-7: Comparação entre os OSs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Para a banda centrada em 125 Hz (Figura III.2.1-7), os resultados são semelhantes aos obtidos para a banda de 63 Hz, com os maiores níveis sendo atingidos pelo OS1A, OS1, OS3R, OS3R1 e OS3R2. Os menores níveis ocorreram no OS2R, seguidos pelo OS3 e depois o OS2.



Para a banda de frequência de 500 Hz (Figura III.2.1-7), os níveis de ruído nas diferentes localidades monitoradas mostram-se mais próximos. Os maiores níveis ocorrem no OS2, seguido do OS1A. Os menores níveis ocorrem no OS3.

Na banda de frequência de 1.000 Hz (Figura III.2.1-7), os níveis são ainda mais próximos. Os maiores valores ocorrem no OS1A, seguido dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OS1. Os menores níveis ocorrem nos OS3 e OS2R. Os níveis do OS2 ficaram próximos aos níveis dos OS localizados na região da Baía de Guanabara.

Na Figura III.2.1-8 são apresentados os valores de SEL_{24h} para as posições OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 para os dados sem ponderação e com ponderação para as respostas auditivas de cetáceos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF). As linhas pretas verticais tracejadas separam, no gráfico de cima, os dados do OS1 daqueles do OS1A e no último gráfico, os dados do OS3R daqueles do OS3R1 e os dados do OS3R1 daqueles do OS3R2. A linha tracejada horizontal marca o TTS para o grupo LF de cetáceos, no valor de 179 dB re $1\mu Pa^2.s$ (Finneran, 2016). O valor para o grupo MF é de 178 dB re $1\mu Pa^2.s$, apenas 1 dB abaixo. O SEL_{24h-LF} é próximo do SEL_{24h} calculado sem usar a ponderação, enquanto o SEL_{24h-MF} é mais baixo. Isto pode ser explicado pelo fato de haver uma maior concentração de energia em frequências mais baixas, e que se encaixam melhor na região com maiores pesos na resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência.



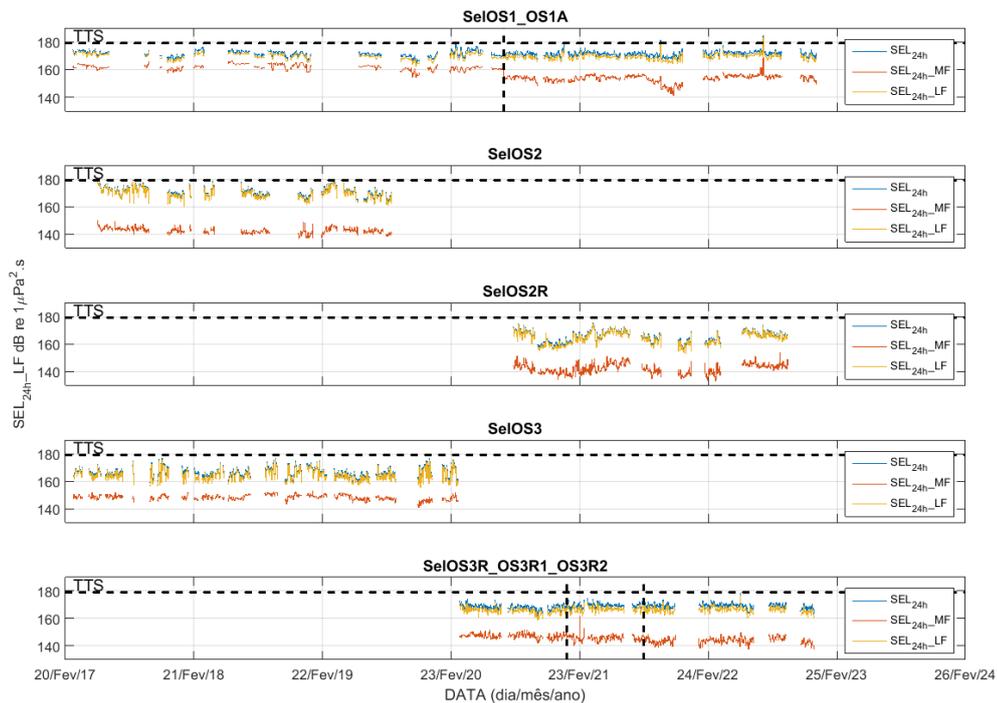


Figura III.2.1-8: SEL_{24h} para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 usando os dados sem ponderação, com ponderação para a faixa LF e com ponderação para a faixa MF. As linhas tracejadas verticais pretas indicam a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima e entre os OS3R, OS3R1 e OS3R2 no gráfico de baixo. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

Na Figura III.2.1-9 são mostrados *boxplots* do SEL_{24h} calculado para as oito posições analisadas, sem usar pesos na frequência (SEL_{24h}) e usando pesos para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência (SEL_{24h-MF}) e cetáceos de baixa frequência (SEL_{24h-LF}). A linha preta tracejada horizontal marca o valor do TTS para o grupo de baixa frequência.

Quando se usou toda a faixa de frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R.

Quando o espectro foi ponderado para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R.

Já para os dados com a resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1A e a menor para o OS3.



Nas três situações, os maiores níveis ficaram com o OS1, enquanto os menores ficaram com o OS2R (toda a faixa ou MF) ou com o OS3 (LF).

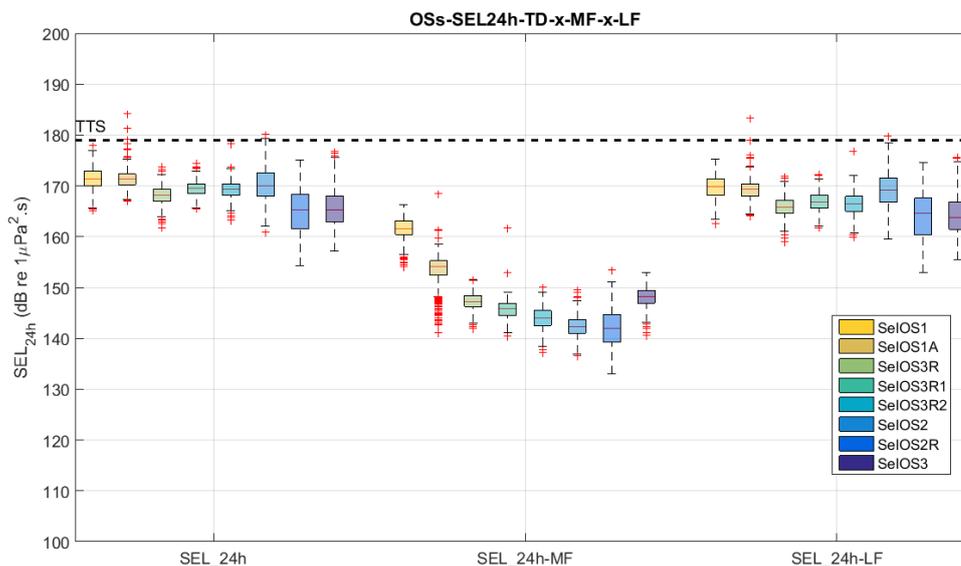


Figura III.2.1-9: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as oito posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

Em todas as situações apresentadas, o SEL_{24h-MF} ficou abaixo do TTS e o SEL_{24h-LF} cruzou aquele limiar apenas para alguns pontos extremos nos OS1A e OS2, resultados, provavelmente, de uma elevação ocasional do ruído de fluxo de maré ou do aumento das atividades bióticas no local. No OS2, o percentil de 75% da distribuição ficou próximo do TTS, podendo ter como causa os maiores níveis de ruído observados nesta posição na faixa de frequência de 300 a 1.000 Hz, provocados, provavelmente, por fatores bióticos como coros de peixes e invertebrados.

III.2.2 Variabilidade Temporal do Ruído nos Observatórios Submarinos

Nesta seção, buscou-se identificar, para cada região monitorada e para cada banda do espectro de 1/3 de oitava, a existência ou não de variabilidade interanual e sazonal nos níveis de ruído observados. As análises não indicaram a existência de variações sazonais relevantes nas faixas de frequência avaliadas em nenhum dos OSs instalados, tendo sido obtidos resultados muito semelhantes àqueles já apresentados em anos anteriores do PMPAS-BS.

Em função da proximidade geográfica, os dados no OS1/OS1A e OS3R/OS3R1/OS3R2 foram considerados em conjunto para avaliação das tendências temporais do ruído no interior da Baía de Guanabara e na região das Ilhas Cagarras, respectivamente. Apesar da existência de algumas diferenças relevantes nas características espectrais dos níveis de ruído entre locais próximos, as variações temporais e as tendências de longo prazo devem ser semelhantes, uma vez que estão mais correlacionadas com fenômenos de escala espacial mais abrangente como, por exemplo, variações do fluxo das correntes e mudanças na intensidade do tráfego de embarcações. Adicionalmente, o agrupamento dos dados contribui para aumentar o universo amostral e a confiabilidade das estatísticas calculadas. A abrangência temporal dos resultados varia de acordo com a disponibilidade de dados existente em cada localidade e são informadas nas legendas de cada figura.

Os *boxplots* com a distribuição anual dos níveis de SPL medidos no interior da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A) e apresentados na Figura III.2.2-1 mostram uma discreta tendência de aumento do ruído no período de 2019 até 2021, e uma tendência de estabilidade entre 2021 e 2022. Tal aspecto é observado nas três primeiras faixas de frequência analisadas, mas é mais evidente nas frequências de 63 e 125 Hz. Este resultado pode ser um reflexo do aumento do tráfego de embarcações, em particular de navios de terceiros que são predominantes na região, conforme indicado anteriormente com a densidade de navegação das embarcações com registros de AIS (Figura II.1.2-2).

Na região do arquipélago das Ilhas Cagarras (Figura III.2.2-2, para OS3R, OS3R1 e OS3R2), que contabilizou 2,5 anos de séries temporais medidas, o



comportamento é semelhante, sendo possível identificar um ligeiro aumento nos níveis de ruído até o ano de 2021 e que é mais evidente para as frequências de 63 e 125 Hz. Já para a frequência de 1000 Hz os dados indicam uma clara estabilidade entre nos valores medidos entre os anos de 2020 e 2022.

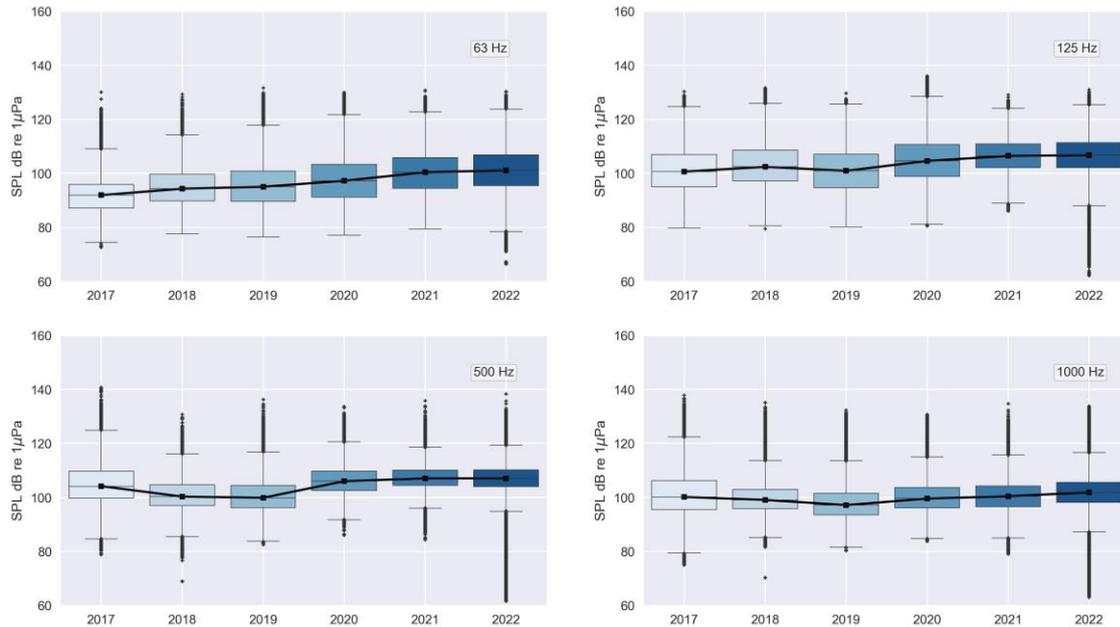


Figura III.2.2-1: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no interior da Baía de Guanabara a partir dos dados do OS1 e OS1A. Os dados cobrem o período de 14/03/2017 a 29/12/2022.

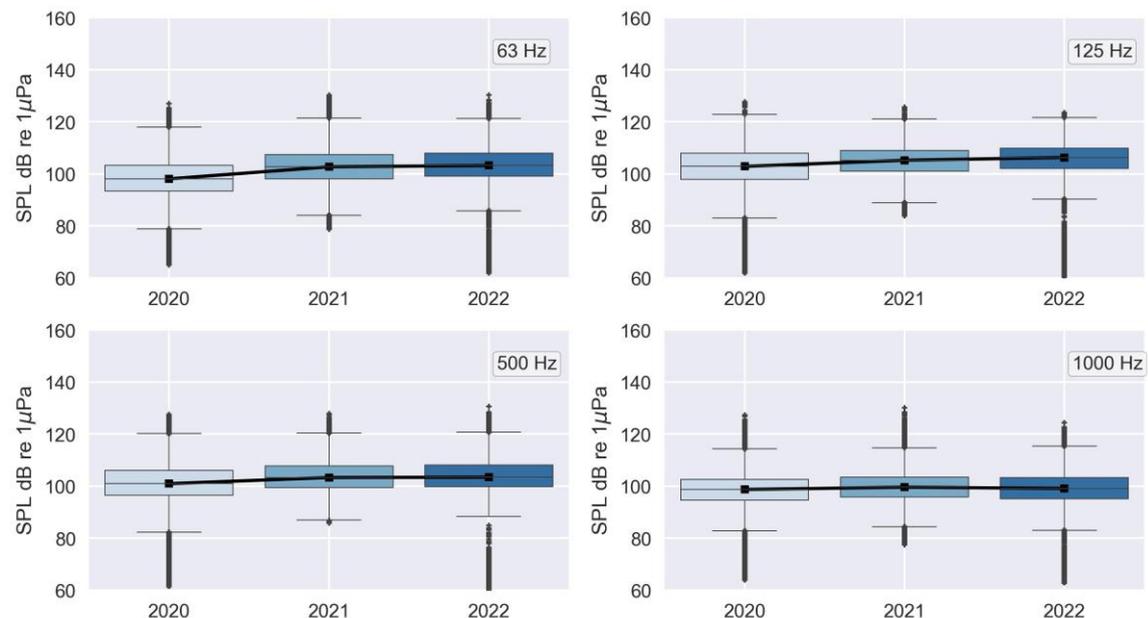


Figura III.2.2-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} na região do arquipélago das Ilhas Cagarras a partir dos dados dos OS3R, OS3R1 e OS3R2. Os dados cobrem o período de 18/03/2020 a 05/10/2022.



Os níveis de SPL no entorno da Ilha Grande, tanto para o OS2 a leste (Figura III.2.2-3) quanto para o OS2R a oeste (Figura III.2.2-4), apresentam um caráter geral de estabilidade nos períodos 2017-2019 e 2020-2021, respectivamente. Em relação ao OS2R, os níveis de ruído observados no ano de 2022 indicam uma tendência de queda em relação ao ano anterior para a frequência de 500 Hz. Tal diferença pode ser fruto da própria variabilidade estatística dos dados, considerando que as demais frequências se mostraram estáveis com um pequeno viés de aumento e a magnitude da queda é pequena, da ordem de 2 dB. Contudo, nenhum teste estatístico foi realizado para verificar esta hipótese. A tendência do ruído no período 2017-2018 no OS2 para a frequência de 63 Hz não pôde ser avaliada em função da exclusão dos dados até março de 2018, onde foram identificados problemas na aquisição. Não foram feitas novas medições no OS2 de 2019 em diante.

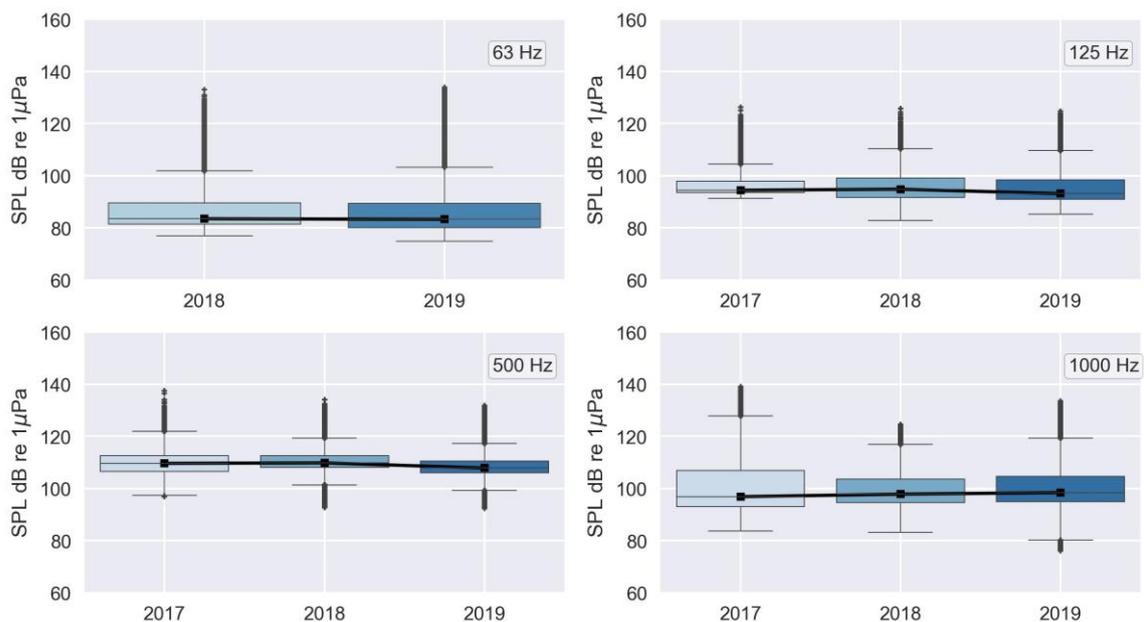


Figura III.2.2-3: Evolução temporal dos níveis de $SPL_{63\text{Hz}}$, $SPL_{125\text{Hz}}$, $SPL_{500\text{Hz}}$ e $SPL_{1000\text{Hz}}$ a leste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2. Os dados cobrem o período 21/03/2018 a 07/09/2019, para a frequência de 63 Hz, e de 24/05/2017 a 07/09/2019 para as demais frequências.

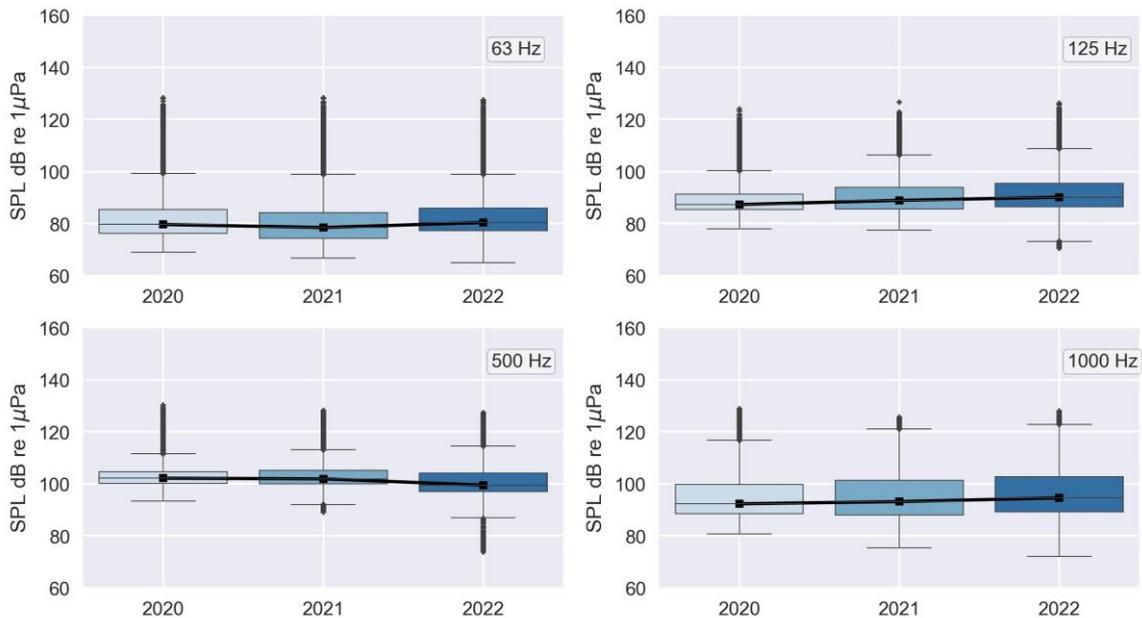


Figura III.2.2-4: Evolução temporal dos níveis de $SPL_{63\text{Hz}}$, $SPL_{125\text{Hz}}$, $SPL_{500\text{Hz}}$ e $SPL_{1000\text{Hz}}$ a oeste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2R. Os dados cobrem o período de 19/08/2020 a 09/10/2022.

De forma análoga, a variabilidade interanual dos níveis de SPL observado no Canal de São Sebastião (OS3) (Figura III.2.2-5), também apresenta estabilidade ao longo do período 2018-2020, para a banda de 63 Hz, e 2017-2020 para as demais faixas centrais do filtro de 1/3 de oitava.

É interessante notar que, para região do Canal de São Sebastião e da Ilha Grande, o valor da mediana do SPL nas bandas de 500 e 1.000 Hz é superior ao das bandas de 63 e 125 Hz, estes últimos tipicamente associados ao ruído de embarcações e ao ruído de fluxo das correntes de maré. Já para a região da Baía de Guanabara e das Ilhas Cagarras, ocorre o inverso, com maiores níveis de ruído nas frequências de 63 e 125 Hz. Não foram feitas novas medições no OS3 após 2020.

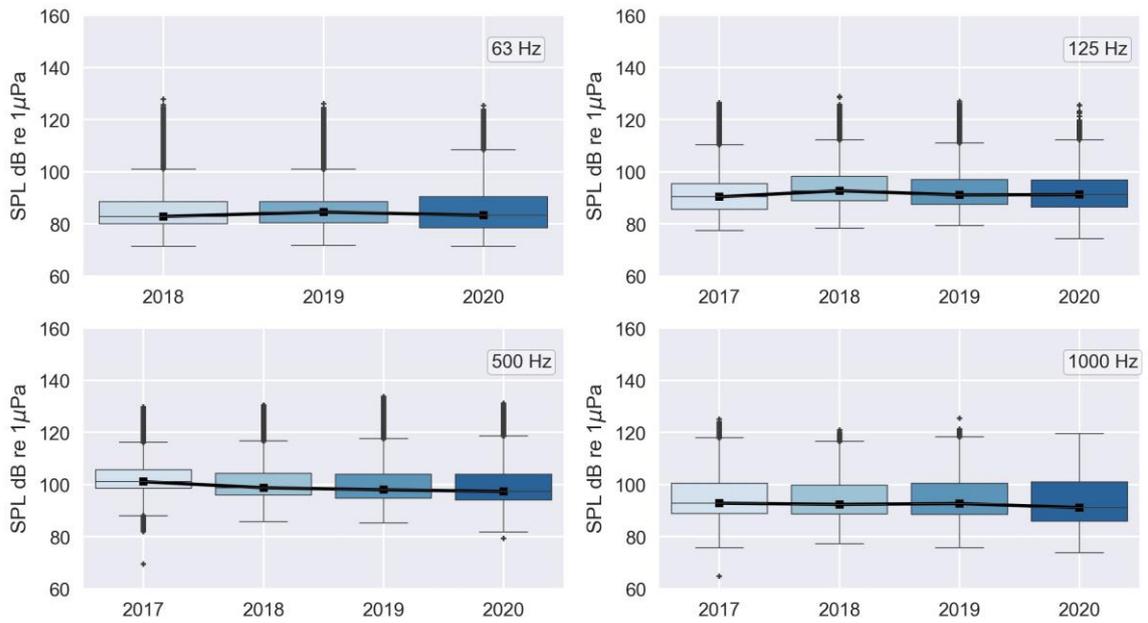


Figura III.2.2-5: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no Canal de São Sebastião a partir dos dados do OS3. Os dados cobrem o período de 01/03/2018 a 14/03/2020, para a frequência de 63 Hz, e de 16/03/2017 a 14/03/2020 para as demais frequências.

IV SISTEMA DE MODELAGEM ACÚSTICA SUBMARINA - SIMAS

O Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS) é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina, que tem como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), a assinatura acústica dos navios, os dados oceanográficos e os dados geofísicos. O sistema utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais para o desenvolvimento e implementação de um modelo computacional do ruído oceânico num domínio tridimensional para a Bacia de Santos. Este sistema é ajustado e validado continuamente a partir da comparação com dados acústicos obtidos em campo. Seu principal objetivo é auxiliar no acompanhamento do ruído na região e apoiar o gerenciamento das estratégias que visem ao controle deste ruído. Um bom funcionamento do modelo pode reduzir a necessidade de medições contínuas em longo prazo, além de permitir estimar os níveis de ruído em regiões onde seria pequena a viabilidade de obtenção de medições *in situ*.

A região oceânica modelada está compreendida entre as latitudes 20°S e 30°S, e longitude 39°W e a linha de costa sul-sudeste brasileira. Para a produção dos mapas de ruído são gerados mapas instantâneos, obtidos por meio da sobreposição do nível sonoro irradiado de múltiplas fontes sonoras e recebidos ao longo de uma grade regular. Este procedimento é repetido a cada janela de tempo de duas horas, produzindo uma série temporal de mapas de ruído.

Os produtos do SIMAS são mapas do ruído oceânico com resolução horizontal de 1/6° produzidos por fontes antrópicas (navios, plataformas etc.) e ambientais (ruído ambiente associado a ondas, ventos) nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63 e 125 Hz, e nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m, com caracterização dos níveis de ruído médio por mês; nas estações do ano: Verão (janeiro, fevereiro, março), Outono (abril, maio, junho), Inverno (julho, agosto, setembro) e Primavera (outubro, novembro, dezembro); e anualmente. A resolução de 1/6° vem sendo adotada como referência para representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos



ambientais regionais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma integração de produtos e resultados.

IV.1 VALIDAÇÃO COM DADOS MEDIDOS

A validação do modelo foi feita calculando-se a diferença entre os níveis obtidos pelo modelo (SPL_{MOD}) e aqueles calculados a partir dos dados observados (SPL_{OBS}) para as mesmas posições. A partir desta diferença (erro = $SPL_{MOD} - SPL_{OBS}$), foi calculada a tendência do modelo (BIAS), que é a média aritmética dos erros, e o erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root Mean Square Error*), que é a raiz quadrada da média dos erros ao quadrado. A tendência indica o quanto o modelo subestima (BIAS < 0) ou superestima (BIAS > 0) os dados medidos, e o RMSE quantifica a grandeza do erro do modelo, considerando de uma mesma maneira tanto erros positivos quanto negativos.

Os resultados desta validação são apresentados com mais detalhes no APÊNDICE C. Os dados utilizados para essa validação correspondem ao período de 2016 a 2021. Estas comparações com dados medidos mostraram que o modelo é capaz de reproduzir com relativa precisão os padrões de variação espacial do ruído nos diferentes domínios fisiográficos da Bacia de Santos, o que inclui regiões profundas e rasas (plataforma continental) com variada intensidade de atividades de E&P e navegação. A magnitude do erro variou dependendo da banda de frequência modelada, existindo uma tendência de aproximadamente -4,4 dB (BIAS = -4,4 dB, RMSE = 5,4 dB) para a frequência de 63 Hz e uma tendência bem menor, em torno de -0,2 dB (BIAS = -0,18 dB, RMSE = 3,8 dB) para a frequência de 125 Hz.

As causas destas diferenças podem estar associadas aos valores usados no modelo para o ruído ambiente na ausência de embarcações e para os níveis das fontes representando o ruído irradiado pelas embarcações listadas no AIS. A inclusão de outras fontes sonoras antropogênicas, como as relacionadas à prospecção sísmica e outras atividades da cadeia de exploração e produção de óleo e gás, assim como a inclusão de ruídos de natureza geofônica, como onda e vento, também pode ajudar a aproximar os níveis modelados dos medidos em campo. O modelo sofre constantes correções e atualizações com vistas a



melhorar sua precisão. Dentre os estudos sendo realizados, destacam-se: inclusão de novas fontes de ruído, como as fontes usadas na prospecção sísmica; estimação dos níveis de ruído ambiente na ausência de embarcações como função do estado do mar e velocidade do vento; e estimação dos níveis do ruído irradiado por navios, em função da velocidade de deslocamento informada pelo AIS.

IV.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os dados modelados foram usados para caracterizar a paisagem acústica da região da Bacia de Santos, por meio de mapas e de estatísticas dos níveis do ruído ambiente. Os resultados apresentados mostram exemplos de informações possíveis de serem obtidas com os dados modelados, como a visualização de mapas de ruídos para tempos específicos ou de mapas de diferenças entre dois períodos distintos.

Na preparação dos mapas de ruído modelado, os dados do AIS são uma das entradas para o sistema. A Figura IV.2-1 mostra os *boxplots* da densidade de registros AIS nas Regiões R1, R2, R3 e R4, para os anos de 2016 a 2022.

Observa-se que a região R1 apresenta maior densidade de fontes AIS seguida pela região R2, sendo as regiões R3 e R4 aquelas com as menores densidades. Observa-se também um crescimento do número de registros de AIS entre os anos de 2019 e 2022 que pode ser verificado nas demais regiões analisadas. Na região R1, houve uma gradual redução da densidade de navegação ao longo dos anos de 2016 a 2019. Nas demais regiões, as variações de densidade de tráfego são menos evidentes. Observa-se também um crescimento gradual do número de registros de AIS a partir de 2020 e que pode ser verificado nas quatro regiões monitoradas.

É importante ressaltar que o SIMAS necessita dos dados brutos de posicionamento AIS para a modelagem das fontes, os quais são manipulados e processados de forma a atender as premissas estabelecidas na configuração do sistema, ao invés de utilizar os resultados processados pelo PMTE-BS. As tendências gerais das fontes de ruído antropogênico, no entanto, devem estar



alinhadas com o indicado pelo monitoramento do tráfego de embarcações, tendo em vista que ambos utilizam a mesma fonte de informação.

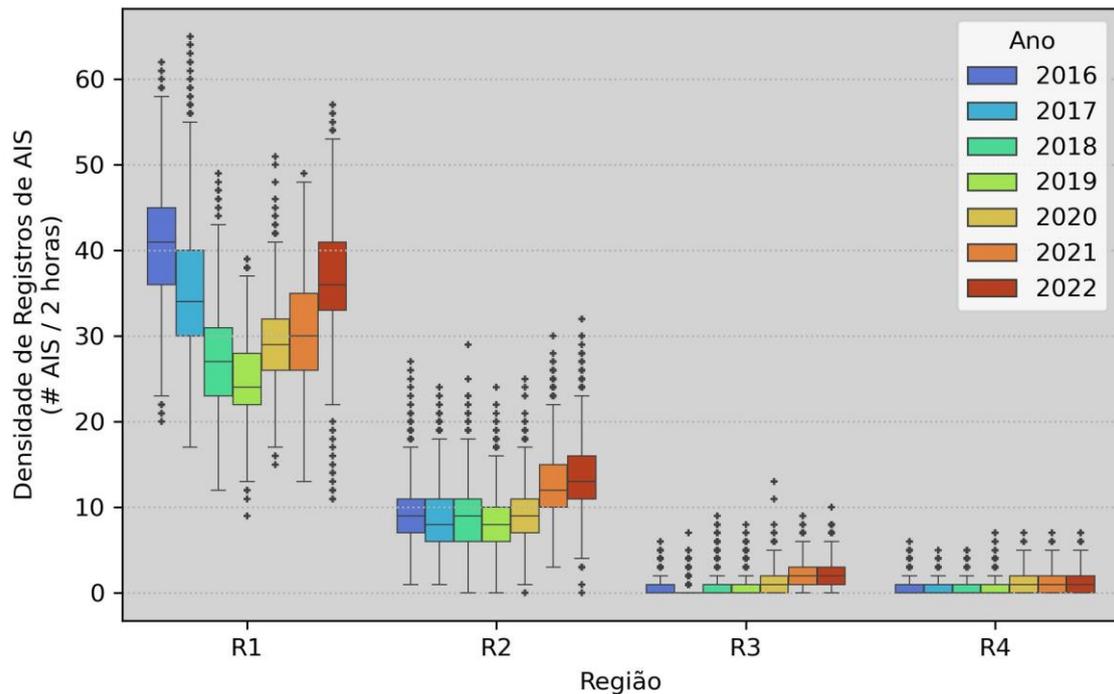


Figura IV.2-1: Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2022. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS)

IV.2.1 Sazonalidade

No período de 2016 – 2022 foram avaliados se os efeitos da sazonalidade são significativos para as frequências de 63 Hz e 125 Hz. Os resultados modelados na profundidade de 50 m foram agrupados em quatro categorias de acordo com o período (estações) do ano, resultando em mapas para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

A Figura IV.2.1-1 mostra mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m, referentes à média do ruído de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2022. A Figura IV.2.1-2 mostra os mapas equivalentes para a frequência de 125 Hz.

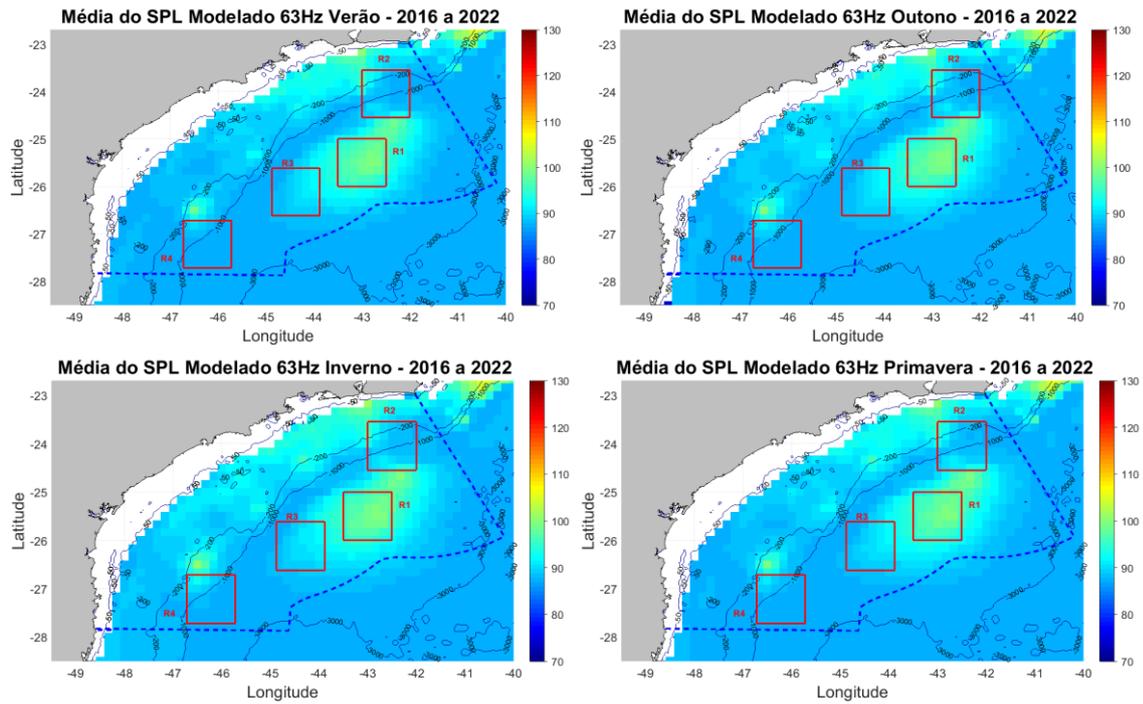


Figura IV.2.1-1: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu Pa^2$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2022 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.

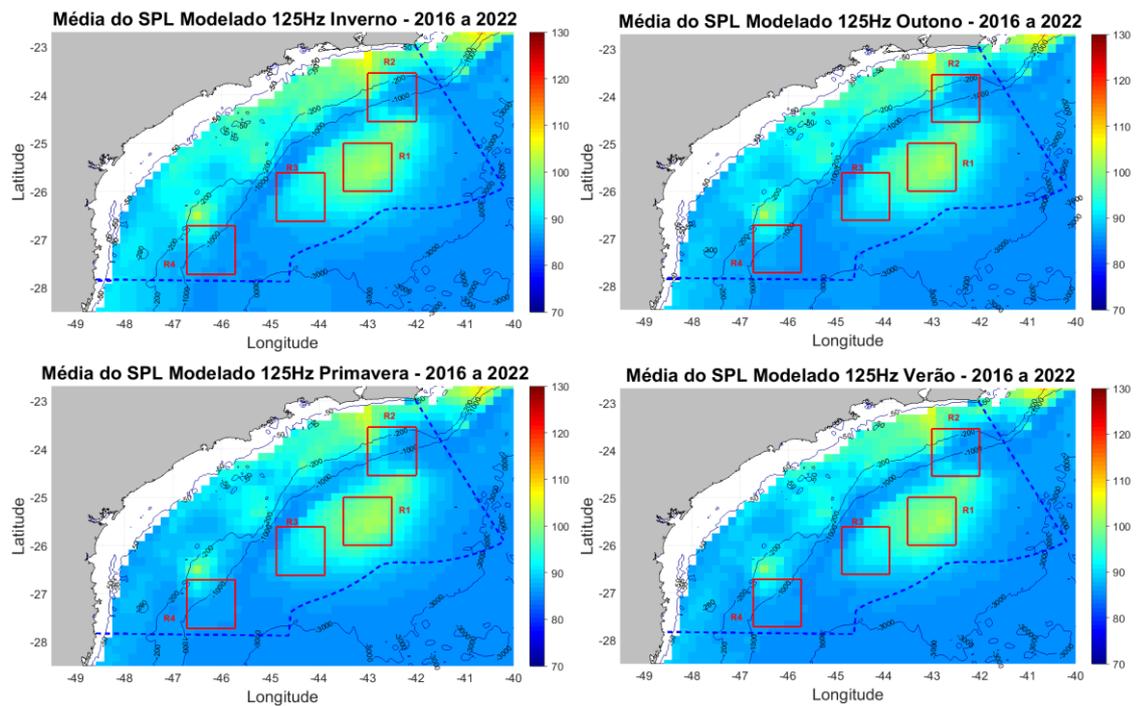


Figura IV.2.1-2: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu Pa$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2022 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.

Nos mapas, tanto para a frequência de 63 Hz quanto para 125 Hz não se constata uma evidente sazonalidade na região R1, mais ruidosa, no centro da bacia, caracterizada pela atividade de E&P e navegação. No entanto, observa-se um aumento do nível de ruído no inverno, próximo ao litoral. Variações sazonais mais claras seriam esperadas para bandas de frequência mais influenciadas por forçantes ambientais, como as bandas de 500 e 1.000 Hz. Deve-se lembrar, no entanto, que o modelo atual ainda não usa informações sobre onda e vento para a estimação do ruído ambiente, de forma que variações associadas às forçantes ambientais não devem aparecer.

Para as frequências 63 Hz e 125 Hz foi examinada a evolução temporal do ruído ocorrida no período de 2016 a 2022, para as quatro regiões, R1 a R4. As Figuras IV.2.1-3 e IV.2.1-4 mostram as medianas do ruído modelado na profundidade de 50 m para cada estação do ano no período de 2016 a 2022 nas regiões R1, R2, R3 e R4, nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente. Nota-se uma redução nos níveis de ruído de 2016 até 2019, seguido de uma estabilização nos níveis até 2022. Os resultados também apontam no sentido da inexistência de variações sazonais muito claras dentro das regiões selecionadas.

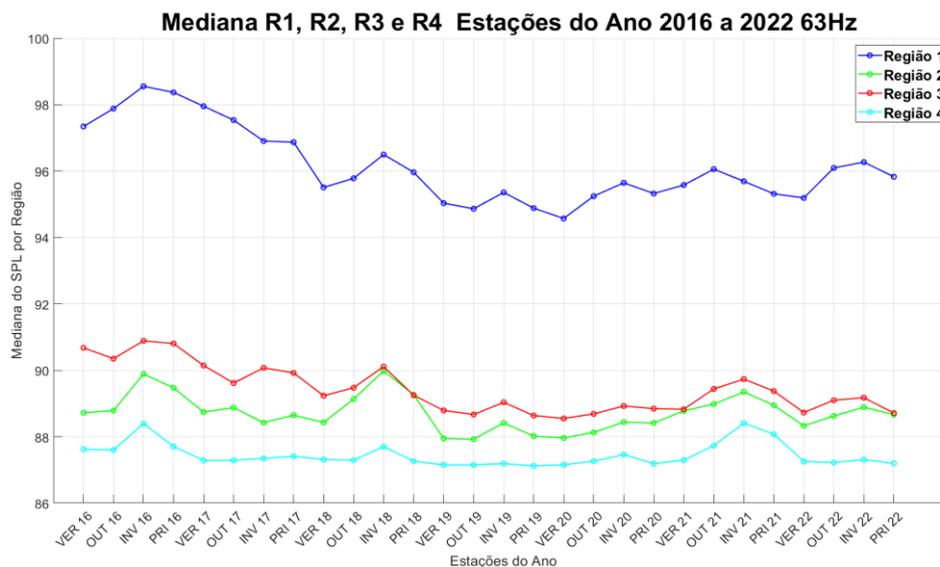


Figura IV.2.1-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2022, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz.



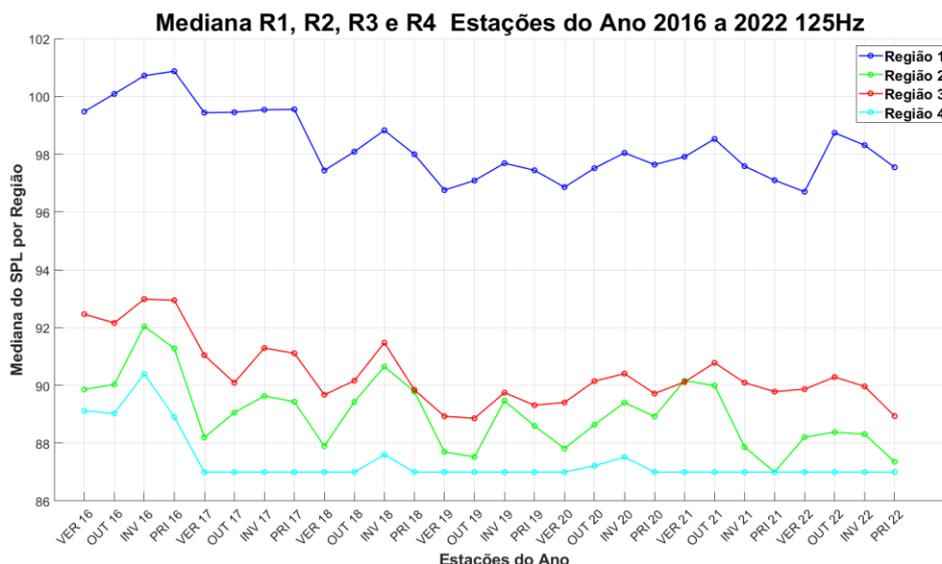


Figura IV.2.1-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2022, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz.

IV.2.2 Ruído Médio e Desvio Padrão

Os mapas modelados permitem a visualização dos níveis de ruído médio ocorrido em um determinado tempo ou período. A Figura IV.2.2-1 mostra, no mapa da esquerda, a média do ruído para o período de 2016 a 2022, na frequência de 63 Hz e na profundidade de 50 m. No gráfico da direita, é apresentado um mapa indicando o desvio padrão dos dados usados no cálculo do mapa da média do ruído. A Figura IV.2.2-2 mostra os mesmos tipos de gráficos para a frequência de 125 Hz, também na profundidade de 50 m.

Os mapas de ruído médio mostram a região R1 como sendo a área mais ruidosa, resultado este já esperado uma vez que a região R1 concentra boa parte das atividades produtivas na Bacia de Santos. Em seguida vem a região costeira, indo da região de São Sebastião até acima da região de Cabo Frio.

As maiores variações de ruído, indicadas pelo desvio padrão, ocorreram nas regiões costeiras, o que pode ser atribuído a uma série de fatores, como a variação do tráfego marítimo na região. É interessante observar que na região onde há intensa atividade humana de produção, o desvio padrão foi menor. Isso sugere que as constantes atividades nessa região podem levar a um padrão mais estável de níveis de ruído ao longo dos anos. Essa consistência pode ser



atribuída a processos de produção regulares, que geram um ruído mais previsível e uniforme. No entanto, em alguns pontos isolados, o desvio padrão foi maior, indicando uma maior variação do tráfego marítimo na região. É importante ressaltar que a variação do ruído pode ser mais pronunciada do que aquela apresentada nestes mapas se for considerado o uso de uma grade mais fina, uma vez que neste caso será possível capturar flutuações mais sutis nos níveis de ruído, resultando em um desvio padrão potencialmente maior em áreas específicas.

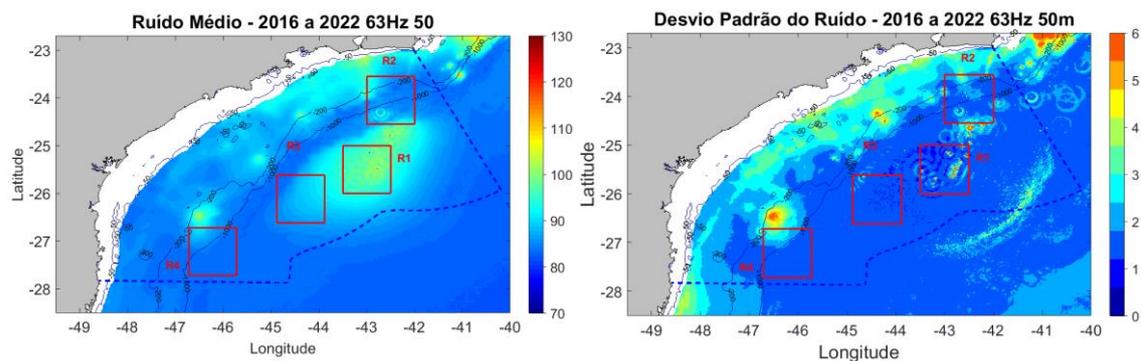


Figura IV.2.2-1: Mapa do valor médio e desvio padrão do SPL de 2016 a 2022 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

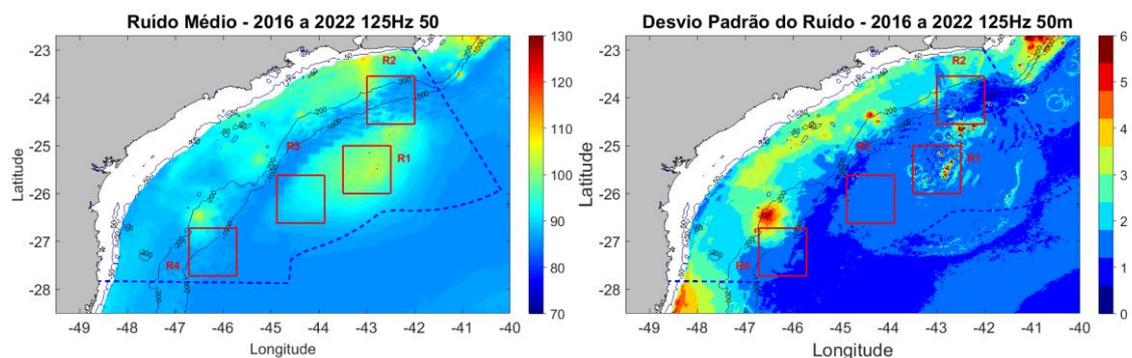


Figura IV.2.2-2: Mapa do valor médio e desvio padrão do SPL de 2016 a 2022 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

IV.2.3 Diferenças Espaço-Temporais

Os mapas modelados podem ser usados, também, para mostrar diferenças ocorridas entre duas datas específicas. As Figuras IV.2.3-1 e IV.2.3-2: mostram os mapas referentes às diferenças dos valores médios anuais do SPL entre os anos de 2022 e o ano de 2021 na profundidade de 50 m para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente.

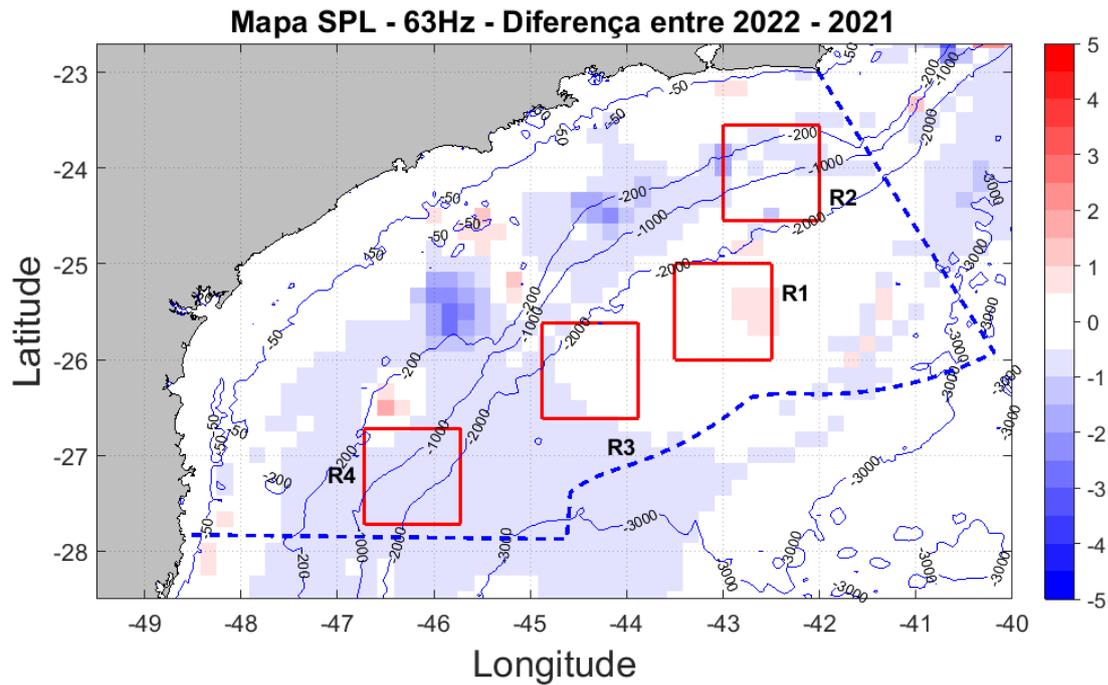


Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2022 e o ano de 2021 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

Na frequência de 63 Hz, nota-se uma redução nos níveis de boa parte da Bacia de Santos, com algumas pequenas regiões com aumentos (-0,44 dB +/- 1,46 dB).

Para a frequência de 125 Hz a tendência é parecida (-0,11 +/- 0,86), mas as regiões com aumentos são mais bem definidas na região costeira, e as áreas com aumento na região oceânica são um pouco maior do que na frequência de 63 Hz.

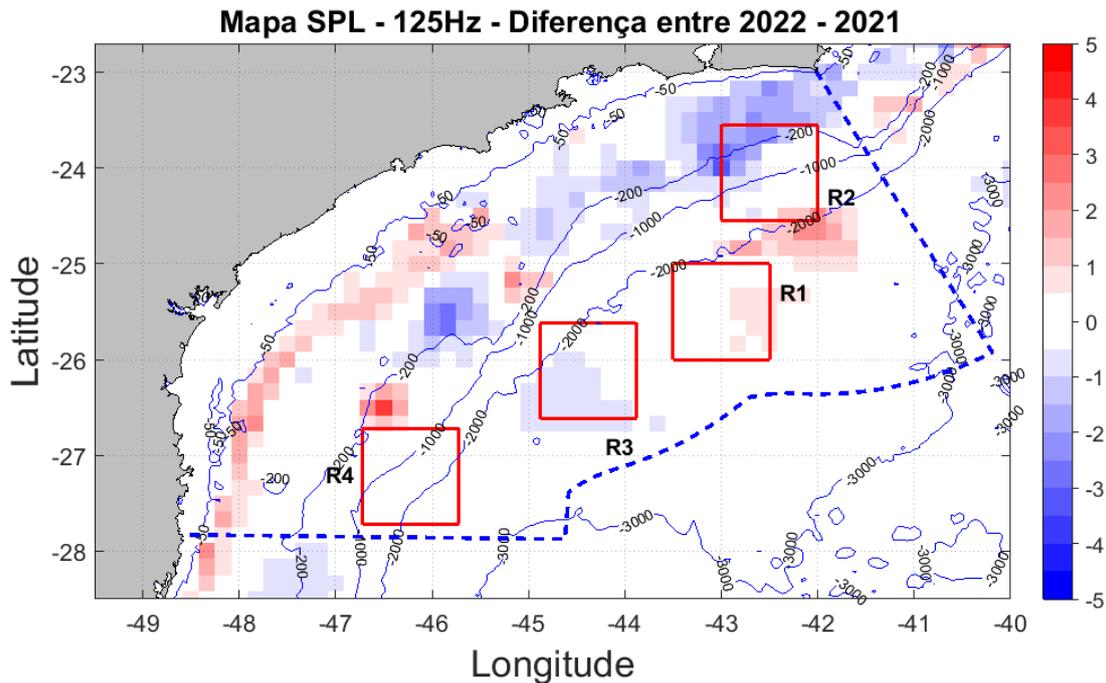


Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2022 e o ano de 2021 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

IV.2.4 Categorização do Ruído Modelado

Uma forma de melhorar a identificação de regiões com níveis de ruído semelhantes é apresentando os níveis por categorias ou classes, ou seja, reduzindo o número de níveis de ruído apresentado. Esta abordagem proporciona uma compreensão mais objetiva da distribuição espacial e temporal do ruído sendo possível representar de forma mais direta as características de ruído em cada região através de diferentes categorias. A Tabela IV.2.4-1 mostra as faixas de níveis de ruído incluídas em cada classe. A Classe 1 abrange valores de SPL acima de 85 dB e até 92 dB. Essa classe é considerada próxima ao ruído ambiente submarino utilizando na modelagem e, além disso, corresponde a uma estimativa média do ruído medido na região. Corresponde a situações em que o nível de ruído é relativamente baixo, comparado às demais áreas e geralmente está associado a regiões com menor densidade de fontes. A Classe 2 engloba valores de SPL acima de 92 dB e até 98 dB. Nessa classe, o nível de ruído submarino pode ser considerado como moderado e pode estar associado a áreas com atividade sonora um pouco mais intensa, como regiões



com maior densidade de tráfego de embarcações. Já a Classe 3 (SPL acima de 98 dB e até 104 dB), Classe 4 (SPL acima de 104 dB e até 110) e a Classe 5 referem-se a valores de SPL mais elevados, no entanto com cobertura espacial menor em relação às demais áreas.

Tabela IV.2.4-1: Classes de Ruído

Classe	SPL (dB re. 1μ Pa)
Classe 1	85 < SPL \leq 92
Classe 2	92 < SPL \leq 98
Classe 3	98 < SPL \leq 104
Classe 4	104 < SPL \leq 110
Classe 5	SPL > 110

As Figuras IV.2.4-1 e IV.2.4-2 mostram os mapas de ruído com a distribuição dessas classes. Os mapas correspondem à média do ruído mensal entre os anos de 2016 e 2022, para a profundidade de 50 m. A faixa branca próximo à costa corresponde a regiões com profundidade local menor que 50 m.

Observa-se nos mapas para as duas frequências que apenas alguns trechos modelados têm níveis correspondentes a classes diferentes da Classe 1. A Classe 2 ocorre mais frequentemente em regiões costeiras e no entorno de polos de produção. As Classes 3, 4 e 5, com valores de SPL mais elevados, têm cobertura espacial menor em relação às demais classes e ocorre em alguns trechos de regiões costeiras e no centro dos polos de produção.



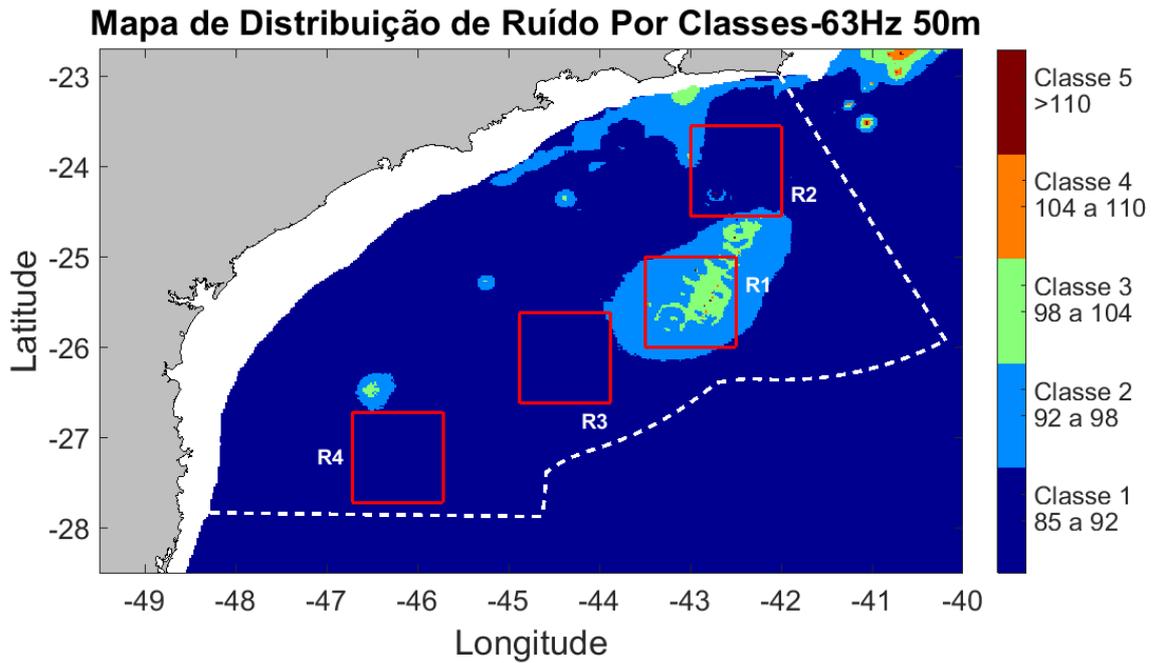


Figura IV.2.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

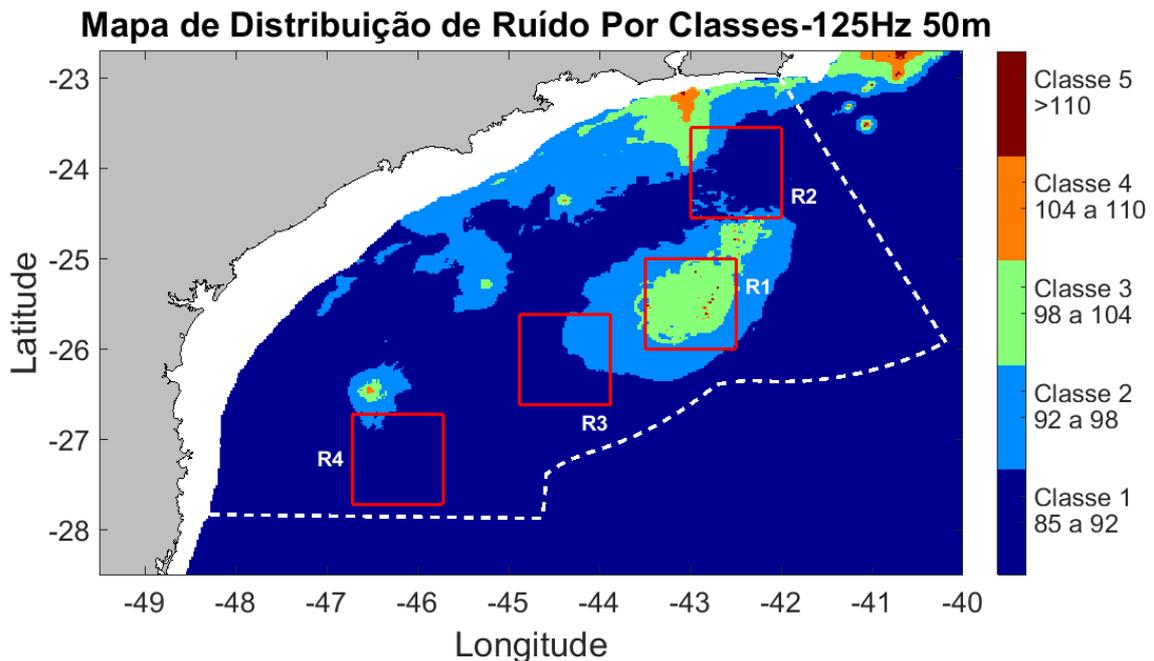


Figura IV.2.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

As Tabelas IV.2.4-2 e IV.2.4-3 mostram o percentual das coberturas de cada classe a cada ano, de 2016 a 2022, além do valor médio para todos os

dados de 2016 a 2022, para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente. Ao analisar a tabela de categorização do ruído para a frequência de 63 Hz, observa-se que a Classe 1, que representa o nível mais baixo de ruído, apresenta uma média de 90,54% da cobertura espacial ao longo dos anos. Isso indica que, em média, a maior parte dos dados modelados se enquadram nessa classe de ruído. Já a Classe 5, que representa o nível mais alto de ruído, apresenta uma média de apenas 0,12% do total da cobertura espacial.

Ao comparar as proporções entre os anos, pode-se observar variações entre as categorias do ruído. Em 2016, a Classe 1 teve a proporção de 89,35%, enquanto em 2018 esse valor subiu para 93,15%, indicando um aumento de área para esse nível de ruído. No entanto, em 2019, houve uma ligeira queda para 88,05% em relação a 2018.

Tabela IV.2.4-2: Cobertura Espacial por Classe de Ruído 63 Hz

Ano	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
2016	89,35%	8,21%	1,95%	0,33%	0,16%
2017	90,06%	7,67%	1,79%	0,36%	0,11%
2018	93,15%	5,30%	1,24%	0,24%	0,07%
2019	88,05%	9,21%	2,20%	0,35%	0,19%
2020	88,08%	9,15%	2,14%	0,47%	0,15%
2021	92,93%	5,53%	1,21%	0,26%	0,07%
2022	92,15%	6,13%	1,43%	0,21%	0,08%
Média	90,54%	7,31%	1,71%	0,32%	0,12%

Para a frequência de 125 Hz, a análise é semelhante. A Classe 1 apresenta uma média de 82,23% ao longo dos anos, enquanto a Classe 5 tem uma média de 0,21%. Observa-se também algumas variações entre os anos. Por exemplo, em 2016, a Classe 1 representou 79,63% das medições, enquanto em 2018 esse valor subiu para 84,75%. No entanto, em 2019, houve uma queda para 77,07%.



Tabela IV.2.4-3: Cobertura Espacial por Classe de Ruído 125Hz

Ano	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
2016	79,63%	13,66%	5,48%	0,94%	0,29%
2017	83,54%	10,94%	4,50%	0,83%	0,19%
2018	84,75%	11,02%	3,56%	0,52%	0,15%
2019	77,07%	14,68%	6,57%	1,28%	0,41%
2020	83,28%	11,48%	4,34%	0,74%	0,15%
2021	83,92%	11,92%	3,53%	0,50%	0,13%
2022	83,41%	11,70%	4,42%	0,78%	0,17%
Média	82,35%	12,07%	4,58%	0,80%	0,21%

Comparando as duas frequências, notamos que as porcentagens nas classes são, em geral, mais altas para 63 Hz em comparação com 125 Hz. Isso indica que, em média, a modelagem se enquadra em níveis de ruído mais baixos para a frequência de 63 Hz.

A categorização do ruído estabelece um método padronizado de avaliação e comparação, o que facilita a compreensão e interpretação dos níveis de ruído. Além disso, a classificação do ruído nos permite identificar padrões e tendências ao longo do tempo. Ao categorizar as medições de ruído em diferentes classes, podemos compreender a dinâmica da paisagem acústica do ambiente e identificar regiões característica de ruído.

IV.3 AVALIAÇÃO SOBRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS no período de 2016 a 2022 contribuíram para os estudos da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. Os mapas gerados permitiram ter uma visão abrangente do ruído e sua evolução durante os anos.

Durante o processo de desenvolvimento, implementação, simulação, ajuste e análise dos resultados obtidos pelo SIMAS, o sistema se mostrou uma boa ferramenta para a caracterização do ruído acústico antropogênico na Bacia



de Santos, nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. A medição do erro do modelo mostrou uma tendência média (BIAS) que começou em torno de 5 dB, subestimando os dados observados em ambas as frequências (Lima *et al.*, 2020), mas que foram reduzidas para perto de 4 dB para a frequência de 63 Hz e para cerca de 0,2 dB, para 125 Hz. O RMSE em 63 Hz ficou em 5,4 dB e em 125 Hz, em 3,8 dB. Estes valores mostram que ainda há ajustes a serem feitos no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, mas os resultados obtidos já são adequados para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Outros modelos também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto, por exemplo, em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio (RMSE) na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB, demonstrando que o desempenho do SIMAS já se encontra em um nível de maturidade compatível com outras iniciativas de modelagem em âmbito internacional.

O SIMAS, como está configurado atualmente, é útil na identificação das regiões com maiores e menores níveis de ruído, servindo para auxiliar no gerenciamento destes ruídos ao permitir sua estimativa em regiões onde não foram feitas medições e mesmo ao possibilitar o estudo de cenários diferentes do real, como ao simular um maior ou menor número de embarcações em uma dada região.

Como parte da evolução do SIMAS, foram definidos procedimentos para a medição dos erros do modelo, baseando-se na comparação dos dados modelados com medições realizadas em campo e apresentação destas diferenças por meio de indicadores estatísticos adequados (F. M. De Lima *et al.*, 2020). A estratégia adotada para a redução dos erros observados no modelo passa pela utilização de diferentes conjuntos de parâmetros de entrada, como os dados de ventos de modelos atmosféricos globais, citados anteriormente, e outras formas de definição dos níveis de ruído irradiado pelas embarcações. A inclusão de outras fontes de ruído antropogênico, além das embarcações registradas pelo AIS, também pode ajudar a reduzir as diferenças ainda existentes entre dados medidos e modelados.



V ESTUDO DE DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS IN SITU NO CAMPO DE TUPI

A avaliação do decaimento sonoro vertical foi incluída no escopo do 2º ciclo do PMPAS-BS para atender ao Projeto de Verificação do Decaimento Sonoro *in situ*, corresponde à condicionante específica 2.5 da Licença Prévia (LP) nº 654/2021 (Processo IBAMA 02001.012428/2019-39), que autoriza a Pesquisa Sísmica Marítima 4D Nodes e PRM na Bacia de Santos – Cluster e à condicionante específica 2.12 da Licença de Pesquisa Sísmica (LPS) nº 152/2021 (Processo IBAMA 02001.006666/2021-20), que autoriza a Atividade de Pesquisa Sísmica Marítima 3D Nodes nos Campos de Tupi e Iracema, na Bacia de Santos.

A Atividade de Pesquisa Sísmica Marítima 3D Nodes nos Campos de Tupi e Iracema, na Bacia de Santos, teve início em 19 de dezembro de 2021 e terminou em 29 de abril de 2023. O monitoramento no Campo de Tupi ocorreu a partir de junho de 2022, correspondendo à primeira campanha de monitoramento realizada no âmbito do licenciamento do Cluster BS, quando o *glider* do PMPAS-BS foi lançado especificamente para o monitoramento da atividade sísmica.

Esse capítulo analisa os resultados das 4 primeiras campanhas de monitoramento realizadas por *gliders* sequencialmente no Campo de Tupi, com duração total aproximada de 140 dias, compreendendo o período de 18/06/2022 a 09/11/2022. Os objetivos propostos para o Estudo do Decaimento Sonoro Vertical utilizando dados gravados pelo *glider* são listados a seguir:

- Mapeamento dos níveis de pressão acústica em função da profundidade e em função da distância entre a fonte sonora de sísmica e o receptor.
- Mapeamento dos níveis do ruído ambiente em um plano vertical selecionado (distância x profundidade) para todas as fontes presentes no meio.

A análise apresentada concentrou-se na avaliação do decaimento sonoro do sinal produzido pela fonte sísmica a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*, com particular ênfase no decaimento sonoro vertical.

Neste sentido, este estudo buscou responder as seguintes questões:



- Como os níveis sonoros irradiados variam na direção vertical, ou seja, em profundidade?
- Como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte?
- Como os níveis recebidos se comparam na presença e ausência dos disparos da fonte sísmica?
- Como os níveis sonoros estimados durante a atividade se comparam ao ruído ambiente da região do Campo de Tupi?

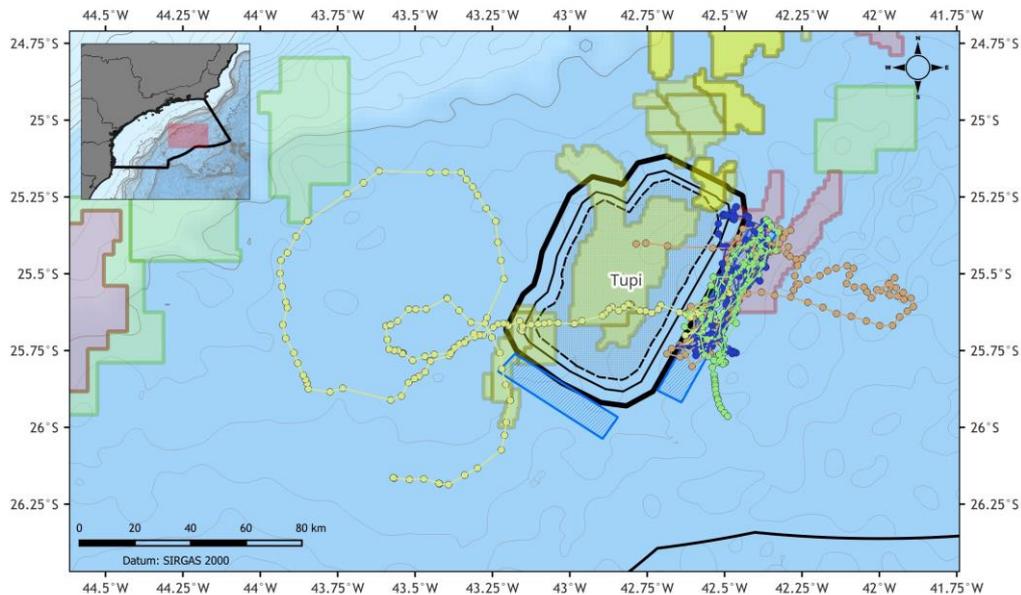
Adicionalmente, tem-se a expectativa de que o esforço amostral e as análises ora realizadas sejam capazes de subsidiar uma melhor compreensão do impacto sonoro das aquisições sísmicas e apontar formas de melhor aproveitamento dos dados medidos durante as campanhas de monitoramento acústico com o uso de *gliders*.

V.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO

V.1.1 Medição de Dados Acústicos

A Figura V.1.1-1 ilustra o polígono de aquisição sísmica do Campo de Tupi e a rota dos *gliders* durante as quatro campanhas analisadas: C01, C02, C03 e C04, entre 18/06/2022 e 09/11/2022. Os polígonos azuis da figura delimitam as áreas alvo planejadas para realização das gravações acústicas. Estas áreas foram delineadas de modo que pudessem ser obtidas medições acústicas no intervalo de 5 a 100 km da fonte e ao mesmo tempo manter o *glider* fora da área de manobra dos navios envolvidos na sísmica, por questões de segurança operacional e integridade dos equipamentos.





Legenda

Blocos

- Blocos de Produção da Petrobras
- Blocos de Exploração da Petrobras
- Áreas de Avaliação Petrobras

Sísmica de Tupi

- Manobra
- Aquisição
- Receptores

Monitoramento com gliders

- Polígonos de monitoramento

Trajetoárias por campanha

- C01 (Tupi)
- C02 (Tupi)
- C03 (Tupi)
- C04 (Tupi)

Figura V.1.1-1: Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico da sísmica de Tupi durante as campanhas C01 a C04 (18/06/2022 a 9/11/2022).

Durante a campanha C02, o *glider* apresentou dificuldades de navegação em função da ocorrência de correntes intensas, tendo sofrido um grande desvio das rotas planejadas e afastando-se demasiadamente do polígono de aquisição. Um conjunto interessante de dados pôde ser coletado durante este evento, considerando que a deriva do equipamento permitiu a gravações no interior do polígono de aquisição. Porém, isto coincidiu com um período de interrupção da atividade de aquisição sísmica e deslocamento do navio fonte para a Baía de Guanabara para troca de tripulação e reabastecimento, de modo que um conjunto muito pequeno de gravações com a presença dos disparos pôde ser feita neste trecho.

O *glider* do PMPAS-BS dedicado ao monitoramento da sísmica é equipado com um hidrofone de menor sensibilidade (-180 dB re 1 V/ μ Pa) em

relação aos sensores utilizados nos outros dois *gliders* do projeto, evitando a saturação dos sinais quando o sensor está mais próximo da fonte. A Figura V.1.1-2 mostra o trecho com os maiores níveis gravados nas quatro campanhas analisadas, tendo sido atingido cerca de 60% do fundo de escala do conversor analógico digital. Quando os níveis sobem acima de 100% do fundo de escala, eles saturam e são registrados como sendo o fundo de escala. No trecho apresentado, o *glider* estava a 4,4 km da fonte sísmica e estima-se que ele poderia se aproximar pelo menos até 2 km antes de começar a saturar, considerando um decaimento sonoro com a distância de $18 \cdot \log_{10}(r)$, onde r é a distância em metros do *glider* à fonte sonora. O valor de 18 como multiplicador do logaritmo é próximo do valor estimado para esta constante na seção V.2.3.

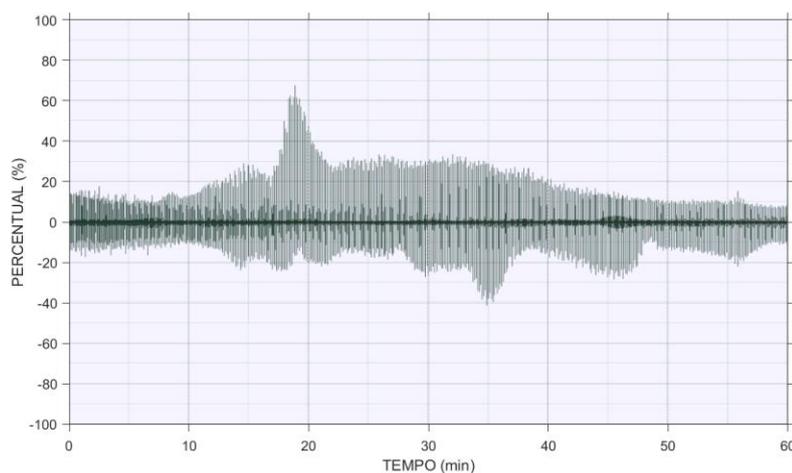


Figura V.1.1-2: Trecho com as maiores amplitudes do sinal gravado na campanha ME-C004, apresentada como um percentual do fundo de escala do conversor analógico-digital.

Em junho de 2022, quando se iniciou o monitoramento pelo *glider*, a aquisição sísmica no campo de Tupi estava sendo realizada na porção NE do polígono e, nas semanas subsequentes, a atividade prosseguiu com a execução de linhas transversais sucessivas em direção a parte central da área de aquisição (Figura V.1.1-3).

O arranjo de canhões de ar de Tupi era composto de 26 unidades (3736 pol³) distribuídos em uma geometria de 12 m x 10,4 m e que, quando combinadas, resultavam em uma fonte sonora com um nível (*Source Level*) reportado de aproximadamente 235 dB re 1 μ Pa².m na faixa de 3 a 250 Hz.



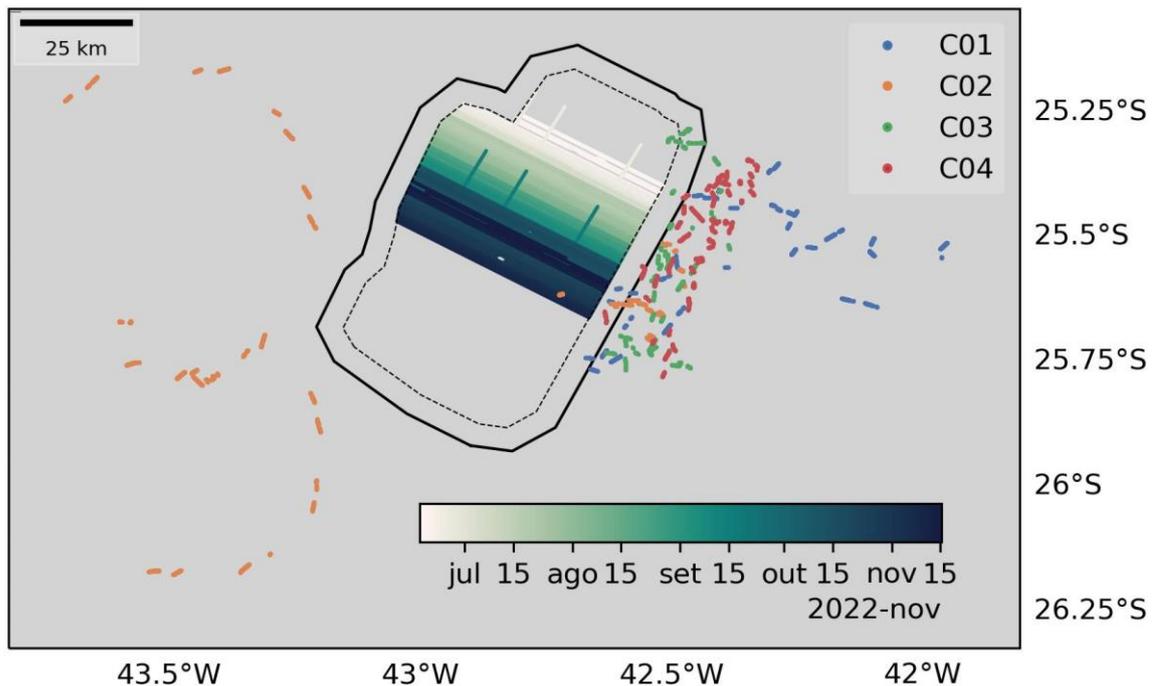


Figura V.1.1-3: Posições relativas entre a fonte e o glider de monitoramento acústico da sísmica no período de junho a novembro de 2022 nos instantes de detecção dos disparos. Os pontos em escala de cor proporcional à data no interior da área de aquisição (linha preta pontilhada) se referem às posições da fonte e os pontos coloridos nas imediações do polígono se referem às coordenadas do glider.

Os arquivos de áudio recuperados dos *gliders* foram processados para estimativa dos parâmetros acústicos e para detecção dos pulsos da fonte sísmica conforme a metodologia detalhada a seguir.

V.1.2 Processamento de Dados Acústicos

Os sinais acústicos foram processados para a obtenção de parâmetros espectrais para a análise da energia dos canhões de ar. Optou-se por trabalhar com o SPL de 1 minuto, seguindo o mesmo procedimento usado para processar os demais dados obtidos pelo PMPAS-BS, com o cálculo de espectros de 1/3 de oitava médio para cada minuto.

A energia correspondente aos disparos dos arranjos de canhões de ar usados na prospecção sísmica foi calculada integrando-se a energia nas bandas de 1/3 de oitava entre as frequências de 5 a 250 Hz dos espectros.

A Figura V.1.2-1 apresenta um espectro de potência e a energia acumulada em função da frequência de um pulso sísmico de um destes arranjos.



A faixa frequência de interesse para os trabalhos geofísicos é até em torno de 100 Hz. A energia acumulada até a frequência de 250 Hz corresponde a 99,86% da energia total do pulso sísmico, restando apenas 0,14% da energia total do pulso sísmico para frequências acima de 250 Hz, mostrando que sua energia se concentra principalmente em baixa frequência.

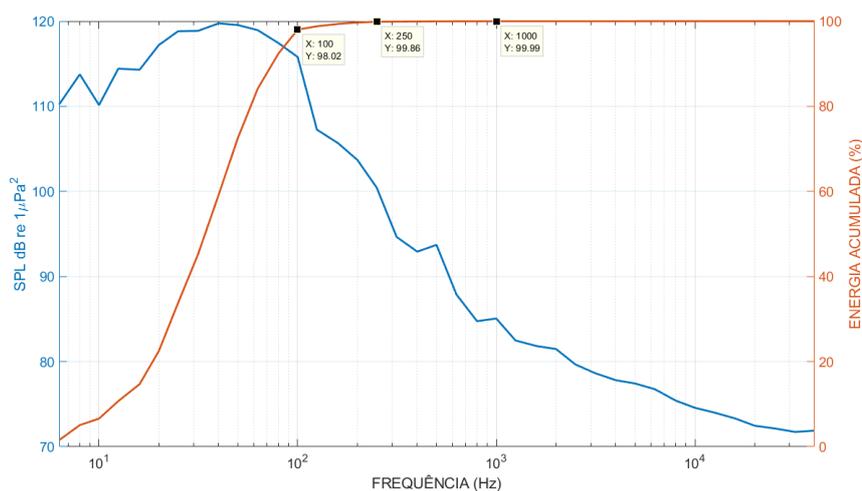


Figura V.1.2-1: Espectro de potência para um disparo de um arranjo de canhões de ar, mostrando a energia acumulada em função da frequência.

Durante uma campanha de prospecção sísmica são registrados os instantes dos disparos que vão ser usados para processamento posterior, chamados “disparos de produção”. Antes destes disparos, ocorrem outros disparos com energia crescente (*soft start* ou *ramp-up* – aumento gradual), que visam a “alertar” possíveis cetáceos que estejam próximos e permitir que eles se afastem antes dos disparos com maior energia. Apenas os instantes dos disparos de produção foram reportados. Estes instantes foram usados para indicar quais valores de SPL de 1 minuto podem ser associados aos disparos de produção. Nestes trechos, foram registradas a posição e a profundidade do *glider* e dos canhões de ar e calculada a distância dos canhões até o *glider*.

Para os demais valores de SPL, a distância entre o *glider* e os canhões foi obtida interpolando-se as posições da fonte sísmica para disparos de produção próximos. Parte destes dados correspondem ao procedimento de preparação para os disparos de produção e no restante do tempo, considerou-se que não existiam disparos provenientes da campanha analisada. Uma avaliação dos dados mostrou que o procedimento de preparação começou entre 20 e 30



minutos antes do primeiro disparo de produção. Este tempo foi usado para separar os dados da região do *ramp-up*.

V.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DO DECAIMENTO SONORO

Esta seção apresenta os resultados do processamento dos dados dos *gliders* de monitoramento da atividade sísmica no Campo de Tupi, entre 18 de junho e 9 de novembro de 2022.

Primeiramente, apresenta-se estimativas do ruído ambiente na região monitorada e sua distribuição horizontal e vertical a partir de dados pretéritos coletados no âmbito do PMPAS-BS. Em seguida, são apresentadas estatísticas gerais das medições acústicas realizadas pelos *gliders*. Por fim, é feita uma análise do comportamento dos parâmetros acústicos em função da profundidade e da distância entre fonte e receptor.

As estatísticas ora apresentadas incluem valores para o parâmetro SPL computados para janelas de 1 minuto de sinal, independentemente da ocorrência ou não de detecções de pulsos de canhões de ar, discriminando-se aquelas em que foi possível validar a detecção de disparos.

A métrica baseada na janela de 1 minuto fornece uma visão mais abrangente e padronizada do ruído médio na medida em que não se limita ao período típico do disparo, considerando a contribuição de outras fontes no ruído calculado, e permitem uma comparação direta com valores medidos e apresentados no PMPAS-BS.

V.2.1 Paisagem Acústica na Região de Tupi

Para estimativa da significância dos valores de ruído observados durante a campanha de aquisição sísmica no Campo de Tupi, é interessante conhecer os níveis de ruído ambiente da região prospectada. Desta forma, torna-se possível ter uma ideia mais clara do aporte de energia introduzido pela atividade de sísmica na paisagem acústica local.

Com o intuito de caracterizar os níveis de ruído ambiente da região da sísmica, foi feito um recorte espacial no entorno da região de Tupi cobrindo todo o polígono de aquisição e de monitoramento do *glider*. Neste subdomínio, todo o



acervo de dados do monitoramento móvel do PMPAS-BS medidos por *gliders* e perfiladores acústicos no período de novembro de 2015 até dezembro de 2021 foi considerado. Foram calculados os níveis de ruído através do SPL integrado nas bandas de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava de modo a permitir uma comparação com o processamento realizado nos dados do monitoramento específico da sísmica. Os valores pontuais de SPL foram então agrupados em células de 9 km e a média dos agrupamentos foi calculada para fornecer uma visão espacial do ruído ambiente na região.

A Figura V.2.1-1 mostra os resultados. Na parte superior da figura, o mapa à esquerda apresenta a distribuição espacial do ruído ambiente na forma do SPL médio integrado nas bandas de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava. O mapa da direita mostra a contagem de gravações acústicas disponíveis por célula de 1/12° (9 km) e usadas na estatística. O painel inferior apresenta *boxplots* da distribuição dos valores de SPL em toda a região recortada em função da faixa de profundidade da medição.

A distribuição espacial dos valores de SPL apresenta núcleos de ruído mais elevado em boa parte do polígono da sísmica de Tupi e nas áreas a nordeste e sudoeste desta região. A elevação do ruído nestes pontos possivelmente está associada à maior presença de navios e unidades de produção da região do *cluster* Tupi.

Os *boxplots* apresentados na Figura V.2.1-1 indicam que o SPL se concentra na faixa de 100 a 125 dB re 1 μ Pa², com valores medianos entre 111 e 112,6 dB re 1 μ Pa². Observa-se que não há uma variação significativa do ruído com a profundidade da medição. A distribuição do SPL é bastante semelhante entre os intervalos considerados, com uma diferença máxima de 1,6 dB entre as medianas. Tal valor é da ordem de grandeza do próprio erro das medições, que possuem incertezas associadas à instrumentação e ao sistema de gravação e que comumente alcançam valores da ordem de 1 dB (Robinson, Lepper, & Hazelwood, 2014).



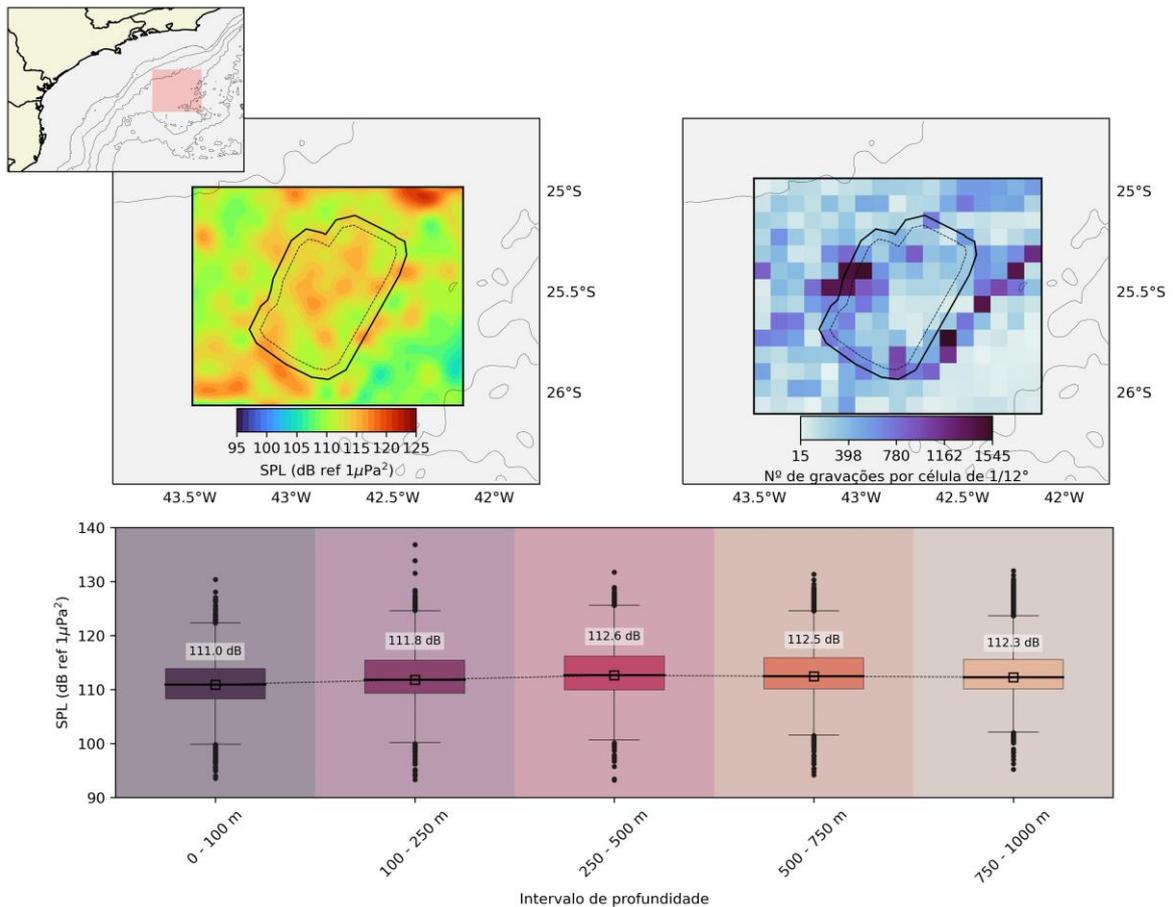


Figura V.2.1-1: Estatísticas de ruído ambiente estimadas a partir de dados do PMPAS-BS. O mapa superior esquerdo mostra a distribuição do SPL médio integrado nas bandas de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava para a região do polígono de aquisição sísmica e seu entorno. As cores indicam a magnitude do SPL interpolado para uma grade regular. O mapa superior direito mostra o número de gravações acústicas de 1 minuto por célula de 9 km usada na estatística do SPL. O boxplot (painel inferior) mostra a distribuição dos valores de SPL na região selecionada em função da faixa de profundidade da gravação. Os valores sobre cada box indicam a mediana do SPL.

Um aspecto a se considerar na comparação entre os parâmetros acústicos medidos durante o monitoramento da sísmica e a paisagem acústica local estimada a partir de dados pretéritos é a variabilidade temporal dos níveis de ruído ambiente em função da dinâmica de atividades antropogênicas na região, sendo o tráfego de embarcações uma das principais componentes de ruído desta natureza. Embora tal efeito seja lento e gradual em escala regional e de bacia, a ocorrência de períodos de maior ou menor intensidade de navegação

e atividades de E&P em áreas restritas pode se refletir pontualmente de forma mais direta em períodos de maior ou menor ruído ambiente.

A Figura V.2.1-2 mostra a variação temporal do número de embarcações diariamente registradas na região do polígono de aquisição sísmica e seu entorno e a distribuição deste número para o período em que foram coletados os dados usados na estimativa da paisagem acústica (curva azul) e no período de monitoramento da sísmica de Tupi pelos *gliders* (curva laranja). O número de embarcações diárias na área de interesse foi estimado a partir de registros do banco de dados da AIS (*Automatic Identification System*) que contém informações de posição, velocidade e rumo de embarcações a serviço da Petrobras e de terceiros.

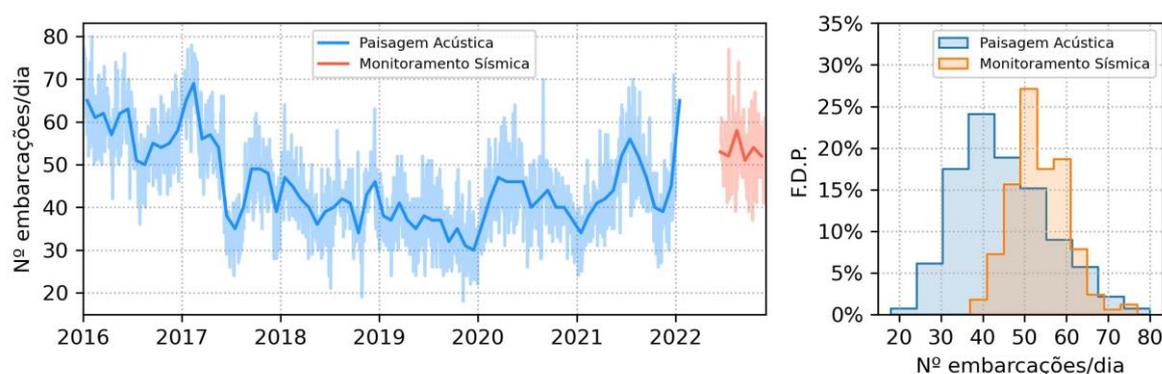


Figura V.2.1-2: Comportamento do número de registros de AIS (embarcações distintas) por dia na região do polígono de aquisição sísmica e seu entorno. À esquerda: variação temporal no período de obtenção dos dados acústicos do PMPAS-BS e usados na estimativa dos níveis de ruído ambiente (curva azul) e no período de monitoramento da sísmica de Tupi (curva laranja); a linha cheia mostra a média mensal. À direita: histogramas do número de embarcações por dia durante os anos de coleta dos dados acústicos usados na estimativa da paisagem acústica e no período monitorado da sísmica de Tupi.

Para um período de cerca de 1 ano, entre 2016 e 2017, a contagem de embarcações na região da sísmica e no seu entorno varia entre 40 e 80, o que é próximo ao observado durante o período de monitoramento da sísmica (junho a novembro de 2022). No período de 4 anos que vai de meados de 2017 até 2021, este número cai para a faixa de 20 a 60. De 2021 em diante o número de embarcações diárias volta a aumentar. Assim, o contingente de navios presentes na região durante a coleta de dados usados no cálculo dos níveis ambientais é menor, na maior parte do tempo, do que aquele registrado durante o

monitoramento da sísmica, o que pode se refletir em maiores níveis de ruído ambiente neste período. Os histogramas à direita da Figura V.2.1-2 tornam isso mais claro, onde se verifica que o número mais frequente de embarcações diárias é maior no período em que foi feito o monitoramento da sísmica.

Em adição à variabilidade de atividades que ocorreram na região do Campo de Tupi ao longo dos anos, a dinâmica de aproximações e afastamentos cíclicos do navio fonte e demais embarcações associadas à aquisição podem contribuir na elevação do ruído durante a execução do levantamento sísmico e no aumento do número de navios presentes no período. Desta forma, além da comparação dos parâmetros acústicos estimados com os níveis de ruído ambiente, é interessante realizar a comparação da energia recebida na presença e ausência dos disparos de canhões de ar, uma vez que a linha de base do ruído ambiente é temporariamente afetada pela presença de outras fontes sonoras associadas ou não à atividade e a comparação com gravações acústicas feitas no mesmo período reduz possíveis incertezas referentes à variabilidade temporal da paisagem acústica submarina local.

V.2.2 Estatísticas Gerais

A Tabela V.2.2-1 ilustra estatísticas gerais dos parâmetros acústicos obtidos a partir das gravações do *glider* de monitoramento específico do PMPAS-BS dedicado à sísmica no Campo de Tupi durante as quatro primeiras campanhas de monitoramento (C01 a C04). Estes dados cobrem um período de aproximadamente 4 meses, de 18/06/2022 a 09/11/2022.

Em relação aos níveis gerais de ruído medidos, foram analisados 51.144 trechos de um minuto de sinal, nos quais os valores de SPL variaram no intervalo de 89 a 145 dB. Comparando-se esta faixa de valores de SPL com aquela estimada para o ruído ambiente na região da sísmica de Tupi (Figura V.2.1-1), verifica-se que o máximo registrado durante o monitoramento da sísmica foi de 145 dB contra 137 dB no ruído ambiente e os níveis médios subiram de 112 dB para 118,8 dB, o que aponta para um aumento da ordem de 7 dB em relação ao ruído médio estimado a partir de dados pretéritos do PMPAS-BS. Este aumento pode ter, além da fonte sísmica de Tupi,



contribuições indiretas de outras fontes sonoras momentaneamente presentes como, por exemplo, de navios e embarcações envolvidos ou não na atividade de aquisição.

Tabela V.2.2-1: Estatísticas gerais dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider de monitoramento da sísmica de Tupi durante o período de 18/06/2022 a 09/11/2022 – campanhas C01, C02, C03 e C04 de monitoramento específico do PMPAS-BS.

	Profundidade (m)	SPL (dB re 1 μ Pa ²)	Distância ao navio fonte (km)
Contagem	51.144	51.144	51.144
Média	469,1	118,8	53,4
Desvio Padrão	276,7	8,2	28,3
Mínimo	0,0	89,2	4,3
Percentil 25%	230,0	111,6	32,8
Percentil 50%	468,9	118,8	47,3
Percentil 75%	708,3	125,6	66,3
Máximo	949,6	144,8	149,1

A Figura V.2.2-1 ilustra a distribuição das distâncias entre a fonte sísmica e o *glider* sendo obtido um valor médio da ordem de 50 km. A menor distância registrada foi de 4,3 km e a maior de 149,1 km.

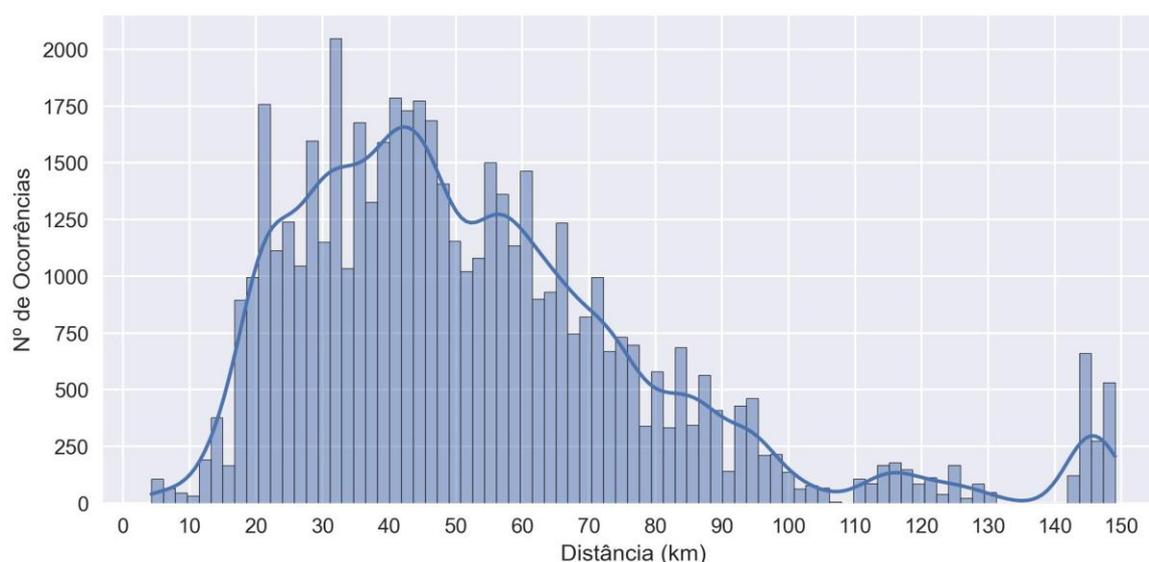


Figura V.2.2-1: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica.

A estratégia amostral planejada e executada para o *glider* foi capaz de fornecer um conjunto de medições distribuídas em uma faixa ampla de distâncias e cobrindo integralmente o intervalo de 5 a 100 km, o que é



importante para um ajuste adequado das curvas de decaimento sonoro. As faixas mais frequentemente amostradas se concentraram no intervalo de 20 a 80 km.

Em relação à profundidade, as gravações acústicas cobrem o intervalo de 0 a 950 m de forma praticamente uniforme, isto é, com um número de registros acústicos igualmente distribuídos em diferentes faixas de profundidade, exceto nos primeiros 25 m em que há um número ligeiramente maior de medições (ver Figura V.2.2-2). Tal uniformidade na distribuição de gravações ao longo da profundidade reflete a natureza de aquisição dos dados pelo *gliders*, que realiza gravações contínuas durante a descida, e é benéfica para um diagnóstico estatisticamente consistente do decaimento sonoro vertical.

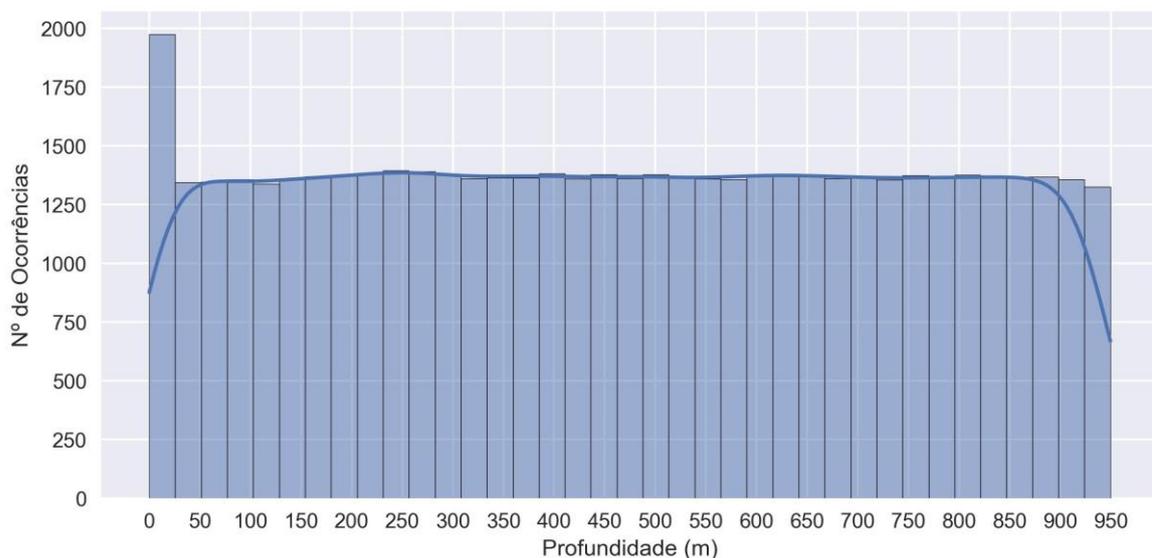


Figura V.2.2-2: Gráfico de barras ilustrando a distribuição do número de registros acústicos em função da profundidade.

O painel (a) da Figura V.2.2-3 apresenta histogramas do número de ocorrências por faixa de valores de SPL computados na janela de um minuto e referente às gravações acústicas com disparos de produção detectados e validados com informações das fontes (linha laranja), com disparos de *ramp-up* (linha verde) e para o restante das gravações (linha azul). O painel (b) da referida figura mostra curvas de densidade de probabilidade acumulada destes mesmos dados.

O valor de SPL mais frequente, isto é, referente ao pico de cada histograma, é de aproximadamente 124 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ na presença de disparos de

produção e de 108 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ na ausência de disparos, o que resulta em uma diferença da ordem de 16 dB.

Porém, no histograma azul referente aos dados sem disparos da fonte sísmica há um segundo pico evidente e com maior valor de SPL de aproximadamente 114 dB re $1\mu\text{Pa}^2$. Esta bimodalidade, ou seja, a existência de dois picos na distribuição, pode estar relacionada à ocorrência de situações distintas no conjunto de gravações em que não foram feitas detecções de disparos, como, por exemplo, situações de menor ou maior proximidade do *glider* com outras fontes sonoras. Isso pode ocorrer em relação ao próprio navio fonte e demais embarcações associadas à atividade de aquisição sísmica, que descrevem uma movimentação de afastamento e aproximação cíclicas durante a execução das linhas de tiro, bem como durante a passagem de embarcações de apoio ou demais navios em trânsito na região. No caso de instantes com detecção, a energia associada aos disparos tende a mascarar este efeito, o que se reflete em distribuições unimodais (só há um pico) para as curvas com disparos de produção e *ramp-up*.

Na presença de disparos de *ramp-up*, o pico da distribuição de SPL é de 121,9 dB re $1\mu\text{Pa}^2$, o que é próximo àquele com disparos de produção (124,1 dB re $1\mu\text{Pa}^2$). Contudo, a dispersão de valores de SPL é maior no primeiro caso, o que reflete a natureza da própria operação de *ramp-up*, onde foram executados disparos com níveis sonoros crescentes até a potência de produção no intervalo de aproximadamente 20 a 30 minutos.



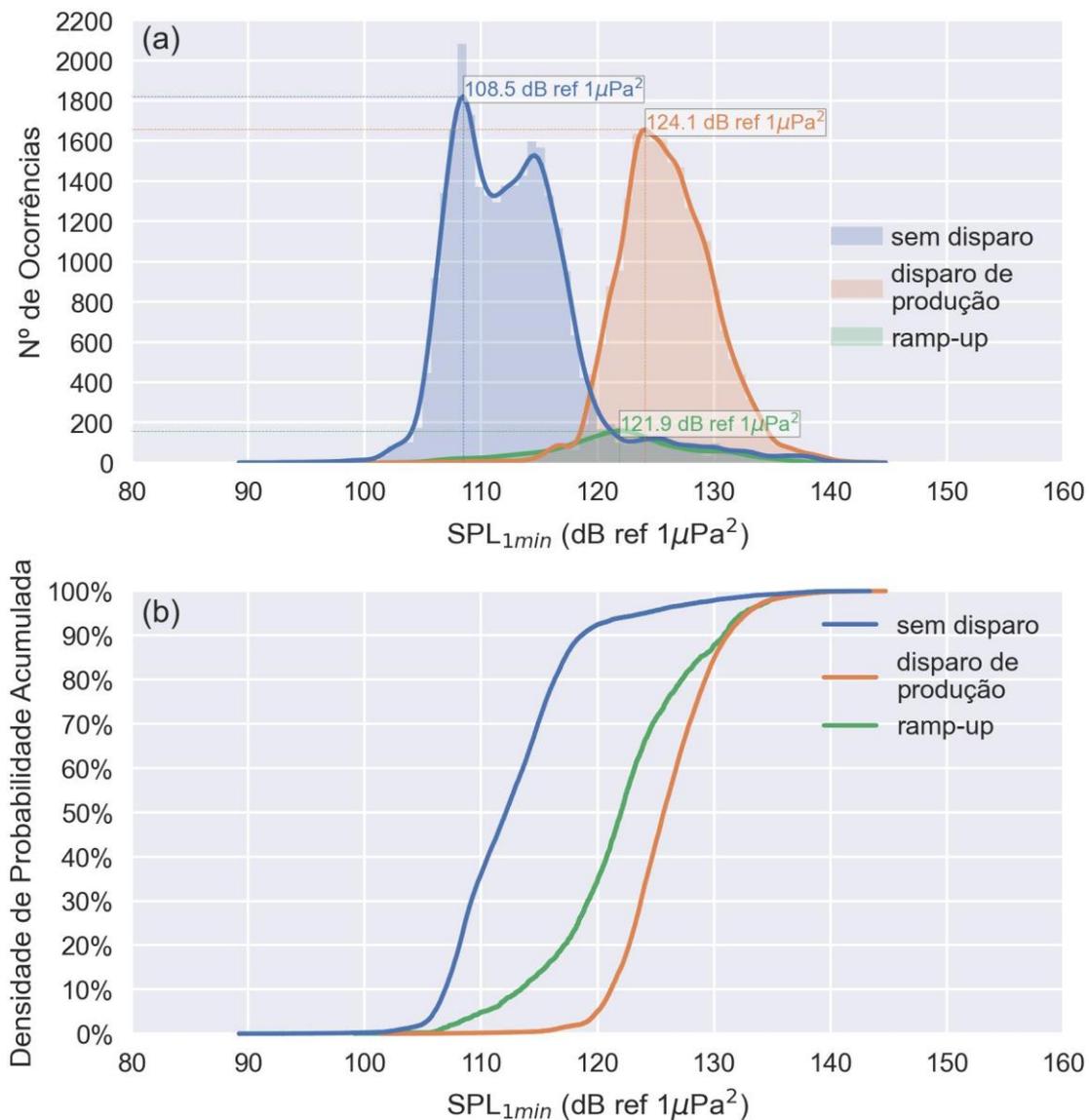


Figura V.2.2-3: Painel (a): histogramas do SPL computado em janelas de 1 minuto. Em laranja: somente gravações com disparos de produção validados a partir de dados da fonte; em verde: gravações com disparos classificados como de ramp-up; em azul: o restante das gravações acústicas. Painel (b): curvas de densidade de probabilidade acumulada para os mesmos dados do painel (a).

Um resumo das estatísticas do SPL de 1 minuto considerando a distinção dos trechos com presença ou ausência de disparos da fonte sísmica é apresentado na Tabela V.2.2-2. O valor mediano do SPL de 1 minuto na ausência de disparos é de 112,1 dB re 1µPa² (Tabela V.2.2-2), o que é bem próximo aos níveis de ruído ambiente estimados a partir dos dados do PMPAS-BS (111,0 a 112,6 dB re 1µPa²). Já na presença dos disparos, os valores de SPL



mais frequentes são da ordem de 124 e 122 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ para os tiros de produção (curva laranja) e *ramp-up* (curva verde), respectivamente, e o valor mediano considerando as duas situações é de 125,4 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (Tabela V.2.2-2). Portanto, há uma elevação típica de até 13 dB em relação ao valor mediano calculado na ausência de detecções.

Tabela V.2.2-2: Estatísticas gerais do SPL na janela de 1 minuto de sinal. Dados do glider de monitoramento da sísmica de Tupi durante o período de 18/06/2022 a 09/11/2022 – campanhas C01, C02, C03 e C04 de monitoramento específico do PMPAS-BS.

	SPL _{1min} (sem disparos) (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)	SPL _{1min} (com disparos) (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)
Contagem	26.967	24.177
Média	112,8	125,5
Desvio Padrão	5,7	4,6
Mínimo	89,2	99,1
Percentil 25%	108,6	122,8
Percentil 50%	112,1	125,4
Percentil 75%	115,5	128,4
Máximo	143,4	144,8

V.2.3 Decaimento Sonoro Horizontal

A Figura V.2.3-1 apresenta os valores do SPL de 1 minuto medido pelos *gliders* em função do afastamento horizontal da fonte durante as quatro primeiras campanhas de monitoramento da sísmica no Campo de Tupi (C01 a C04). Os pontos laranjas indicam as janelas de gravação em que foram validados pulsos de produção da fonte sísmica. Os pontos azuis se referem ao restante das gravações, o que inclui o *ramp-up* e os trechos sem disparos.

Uma equação de decaimento (curva preta) do tipo $SEL(r) = SL - N * \log_{10} r$, onde r é o afastamento em metros, foi ajustada ao conjunto de dados. Para um ajuste mais preciso, foram utilizados somente os dados das gravações com detecção obtidos no intervalo de 20 a 100 km de distância e que concentram o maior número das medições.



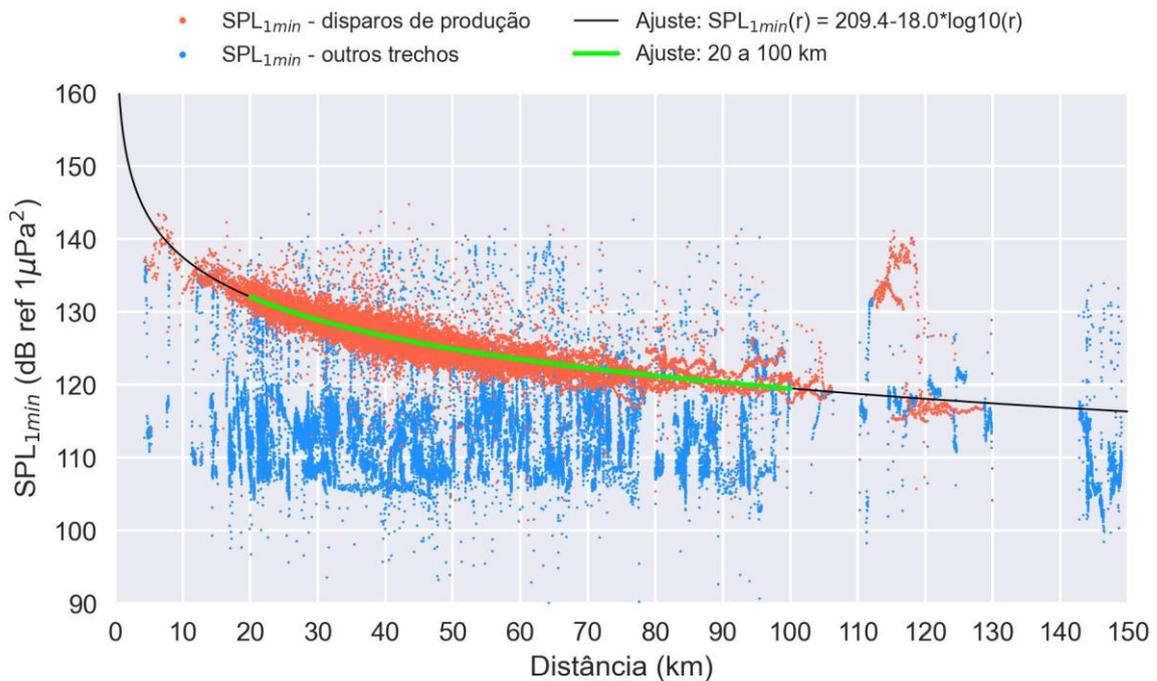


Figura V.2.3-1: Variação do SPL para janelas de 1 minuto de sinal em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos azuis indicam as janelas de gravação em que não ocorreram disparos de produção e os pontos laranjas referem-se aos minutos com indicação de ocorrência de disparos. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 100 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 209,4$ e $N = 18,0$ da curva de decaimento ($R^2 = 0.65$).

Como esperado, os valores de SPL decaem com a distância à fonte sísmica, sendo este decaimento mais acentuado para menores afastamentos, o que reflete a natureza logarítmica desta relação. A equação de ajuste obtida é dada por:

$$SPL(r) = 209,4 - 18,0 \log_{10} r \quad \text{Equação B.2.1.1-1}$$

onde os coeficientes calculados foram $SL = 209,4$ e $N = 17,9$, apontando para um nível sonoro a 1 m de aproximadamente 209,4 dB re $1\mu\text{Pa}^2$.

É interessante notar, no entanto, que há um conjunto de medições no intervalo de distâncias de 110 a 120 km de distância com valores de SPL cerca de 10 a 20 dB acima da curva de tendência e que fogem completamente ao padrão de decaimento. Este conjunto de dados foi obtido quando o *glider* enfrentou correntes intensas e se afastou dos polígonos de monitoramento e da

fonte sísmica durante a campanha C02. Uma análise mais detalhada mostrou que no período em que o *glider* adquiriu estes dados, ele estava próximo de navios de pesquisa de terceiros envolvidos, provavelmente, na aquisição de dados sísmicos na região de Antares B.

V.2.4 Decaimento Sonoro Vertical

A Figura V.2.4-1 mostra distribuições de ruído para o nível de ruído (SPL) integrado na janela de 1 minuto. Para facilitar a interpretação dos resultados, os dados foram agrupados em faixas de profundidade de 20 m e todos os valores calculados a diferentes distâncias da fonte foram padronizados para a distância de 1 m através da adição do fator $18.0 * \log_{10} r$, onde r é a distância à fonte, em metros (Equação B.2.1.1-1).

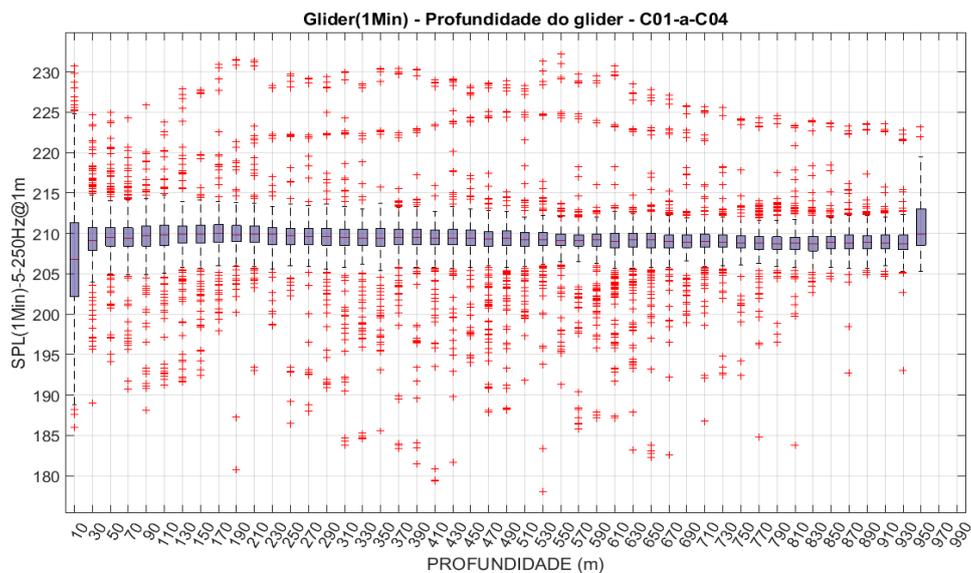


Figura V.2.4-1: Boxplots com a distribuição dos níveis de exposição sonora SPL de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da profundidade de medição. Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18.0 * \log_{10} r$, obtido da Equação B.2.1.1-1.

Observa-se que as medianas dos valores de SPL (traço horizontal vermelho no interior dos *boxplots*) variam muito pouco (menos de 2 dB) ao longo de toda faixa de profundidades avaliada, oscilando próximo ao valor de 209 dB re $1\mu\text{Pa}^2$. Os valores dos percentis 25 e 75%, cuja diferença delimita a altura das caixas, e os máximos e mínimos das distribuições também é bastante



semelhante para todas as faixas de profundidade, o que aponta para homogeneidade do ruído ao longo da vertical. A exceção ocorre para os intervalos mais próximos da superfície e do fundo, onde o número de amostras é superior e inferior ao quantitativo existente nas demais profundidades, respectivamente, o que afeta ligeiramente as estatísticas apresentadas.

A Figura V.2.4-2 apresenta a mediana dos valores de SPL de 1 minuto agrupados em quadrículas delimitadas por intervalos de profundidade de 20 m (eixo vertical) e de distância de 2 km (eixo horizontal). Os espaços em branco indicam ausência de medições para o intervalo considerado.

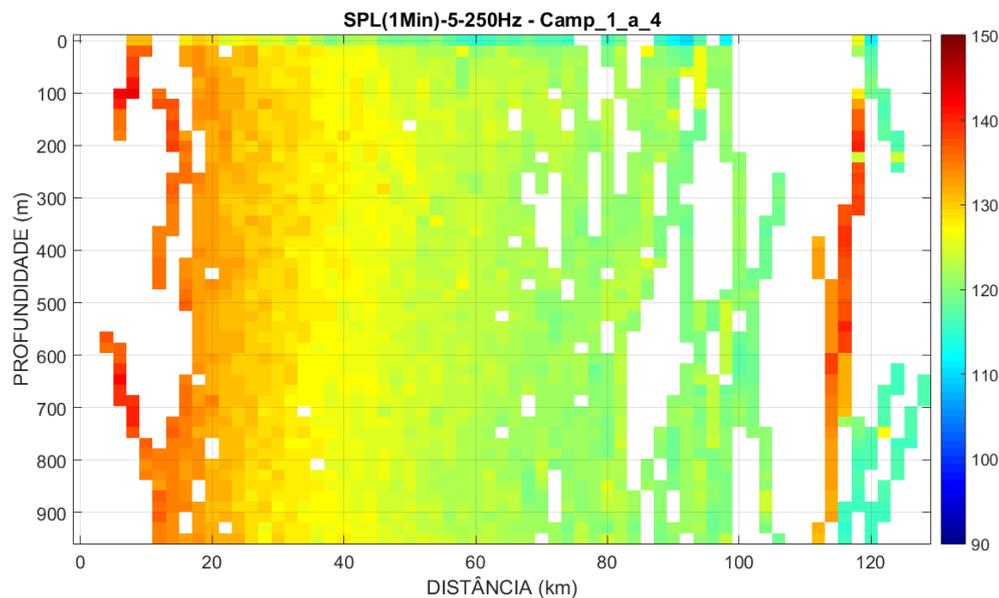


Figura V.2.4-2: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical).

A figura mostra uma redução dos níveis sonoros com a distância, mas indica um padrão de espalhamento vertical praticamente uniforme para todo o intervalo de distâncias considerado, onde para uma dada distância, não se verificam variações significativas de ruído com a profundidade.

Já os níveis mais elevados que aparecem na faixa de distância próximas a 118 km provavelmente se referem, conforme discutido, à proximidade do *glider* a fontes sísmicas diferentes daquelas de Tupi e que, pelo intervalo de cores

apresentado e assumindo uma potência sonora semelhante àquela de Tupi, indicam um afastamento da ordem de 10 km entre a fonte e o receptor.

A Figura V.2.4-3 mostra os mesmos dados da Figura V.2.4-2, mas com o SPL corrigido para a distância de 1 m através da adição do fator $18,0 * \log_{10} r$, onde r é a distância à fonte, em metros. Esta figura mostra ainda melhor a uniformidade do SPL com a profundidade. Para quantificar melhor esta uniformidade, os valores usados na Figura V.2.4-3 foram apresentados na Figura V.2.4-4, em função da profundidade. No gráfico de baixo, é apresentada a distribuição destes dados, sendo possível ver que ela é bem estreita, com a variação entre os percentis de 25% e 75% em torno de 2 dB (mediana de 209,4 dB re $1\mu\text{Pa}^2$).

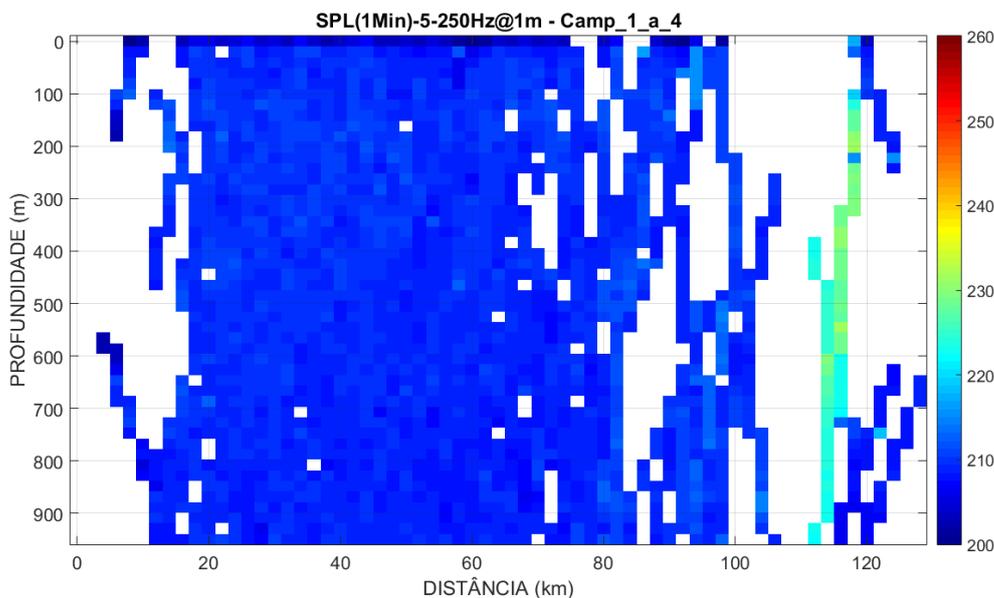


Figura V.2.4-3: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava e em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical). Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18,0 * \log_{10} r$, obtido da Equação B.2.1.1-1.



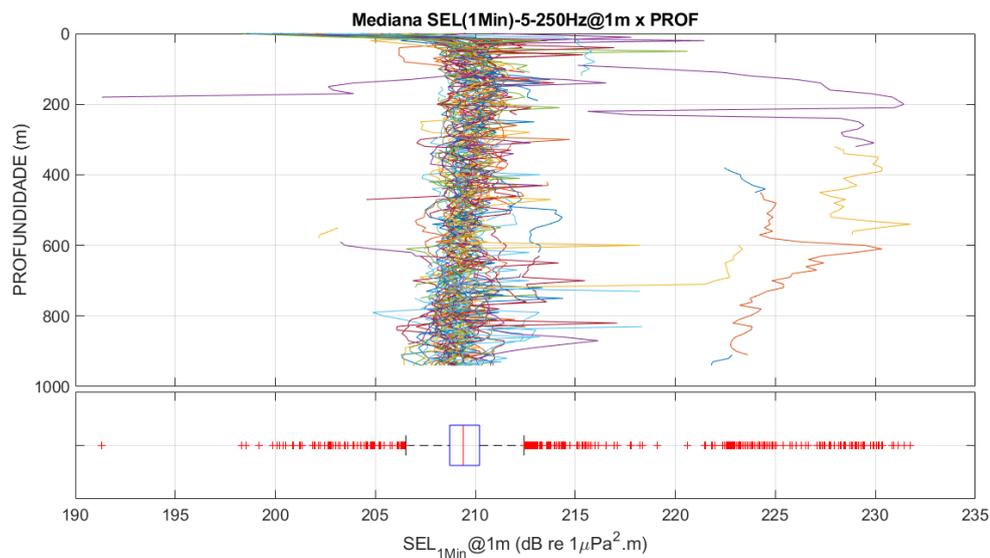


Figura V.2.4-4: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) em função da profundidade de medição (eixo vertical). Os valores de SPL em diferentes distâncias foram reduzidos a 1 m da fonte somando-se o fator $18,0 * \log_{10} r$, obtido da Equação B.2.1.1-1. No gráfico de baixo, é apresentada a distribuição do SPL, em forma de boxplot.

V.2.5 Discussão sobre o Decaimento Sonoro

Os resultados do decaimento sonoro para uma fonte sísmica mostraram um decaimento horizontal estimado para distâncias entre 20 e 100 km como sendo de $18,0 * \log_{10}(r)$ dB, onde r é a distância para a fonte sísmica. Em relação à variação dos níveis de ruído em função da profundidade, observou-se uma homogeneidade em toda a faixa de profundidade analisada (0 a 1.000 m), para uma mesma distância.

Há um conjunto razoavelmente abrangente de estudos na literatura científica acerca do monitoramento do ruído irradiado das atividades de sísmica. Estes trabalhos costumam reunir um esforço amostral orientado à estimativa dos níveis de ruído ambiente e geração de informações úteis à validação de modelos de propagação acústica, para avaliação do alcance do ruído da sísmica. O enfoque usualmente adotado na análise de dados é no comportamento dos níveis sonoros a diferentes distâncias da fonte sonora, isto é, no decaimento horizontal do ruído, não tendo sido identificados estudos que tratem



objetivamente do decaimento sonoro vertical. Apesar disso, algumas inferências sobre o decaimento sonoro em profundidade podem ser extraídas de alguns destes trabalhos.

Martin *et al.*, (2017) trazem informações sobre variações de níveis de ruído em profundidade a partir de medições acústicas. Nele foi feito um estudo de caracterização da paisagem acústica e dos pulsos de canhões de ar de uma campanha sísmica envolvendo quatro embarcações na região das Baías de *Baffin* e *Melville*, oeste da Groelândia.

Uma modelagem de propagação foi realizada previamente às atividades de aquisição e o decaimento sonoro estimado pôde ser comparado e calibrado a partir de um conjunto de quatro medições simultâneas realizadas em períodos com e sem a atividade de sísmica. Foram executados dois ciclos de medição no período com atividade de sísmica, o primeiro com 3 meses e o segundo com 1 mês de duração, e um ciclo de aproximadamente 12 meses na ausência da atividade. Três dos quatro pontos de medição contavam com linhas instrumentadas em diferentes níveis com sensores em 100, 200 e 400 m de profundidade gravando continuamente a 64 kHz no primeiro transdutor e a 8 kHz nos dois últimos. Para um dos fundeios acústicos em lâmina d'água de cerca de 400 m, os autores avaliaram o decaimento sonoro vertical.

Contudo, não foram identificadas variações significativas do ruído com a profundidade para afastamentos superiores a 3 km da fonte. Os autores concluíram que, para a região estudada, o ruído pode ser tratado como uniformemente distribuído ao longo da profundidade para fins de avaliação de exposição sonora de mamíferos marinhos (ver Figura V.2.5-1).



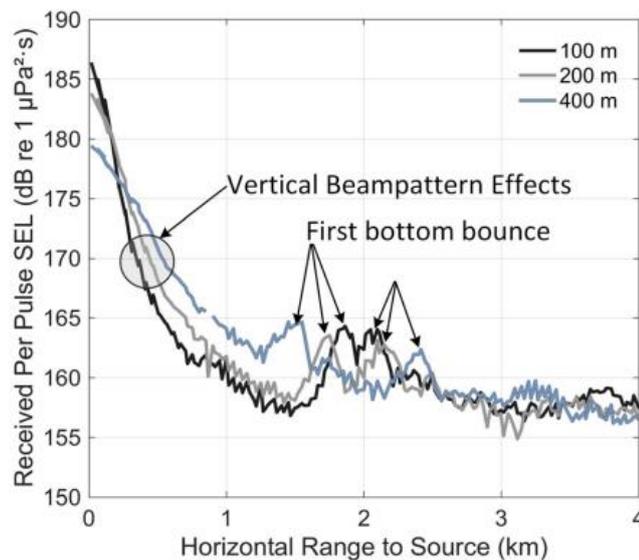


FIG. 11. (Color online) Per-pulse SEL for 125 ms impulses detected at Station BB3 hydrophones from the 3480 in.³ seismic source as it passed the station on 18 September 2012. Differences in received sound levels were primarily within the first 3 km from the source.

Figura V.2.5-1: Variação do nível de exposição sonora (SEL) decorrentes de pulsos de air gun em função da profundidade. Extraído do trabalho de Martin et al., (2017). A legenda reproduzida na figura indica que diferenças nos níveis recebidos ocorrem majoritariamente nos primeiros 3 km de distância da fonte.

Sidorovskaia & Li, (2022) monitoraram o ruído de uma campanha de aquisição sísmica no Golfo do México durante 14 dias através de três fundeios acústicos instalados em lâmina d'água de 1500 m. Dois fundeios contavam com sensores distribuídos em quatro faixas de profundidades distintas (122 a 360 m, 532 a 779 m, 934 a 991 m e 954 a 1.017 m), e um fundeiro com instrumentos instalados em torno de 1.150 e 1.170 m, todos configurados para uma resolução espectral na faixa de 10 Hz a 23 kHz. A Figura V.2.5-2 reproduzida deste estudo mostra o comportamento de diversos parâmetros acústicos ($SPL_{pico_a_pico}$, SPL , SPL_{pico} e SEL) em função da distância à fonte e da profundidade. Os níveis estimados através de diferentes métricas mostram uma dependência com a profundidade para afastamentos de até cerca de 7 km, ponto a partir do qual os valores dos parâmetros em diferentes níveis se sobrepõem no gráfico, indicando baixa variabilidade do ruído com a profundidade.

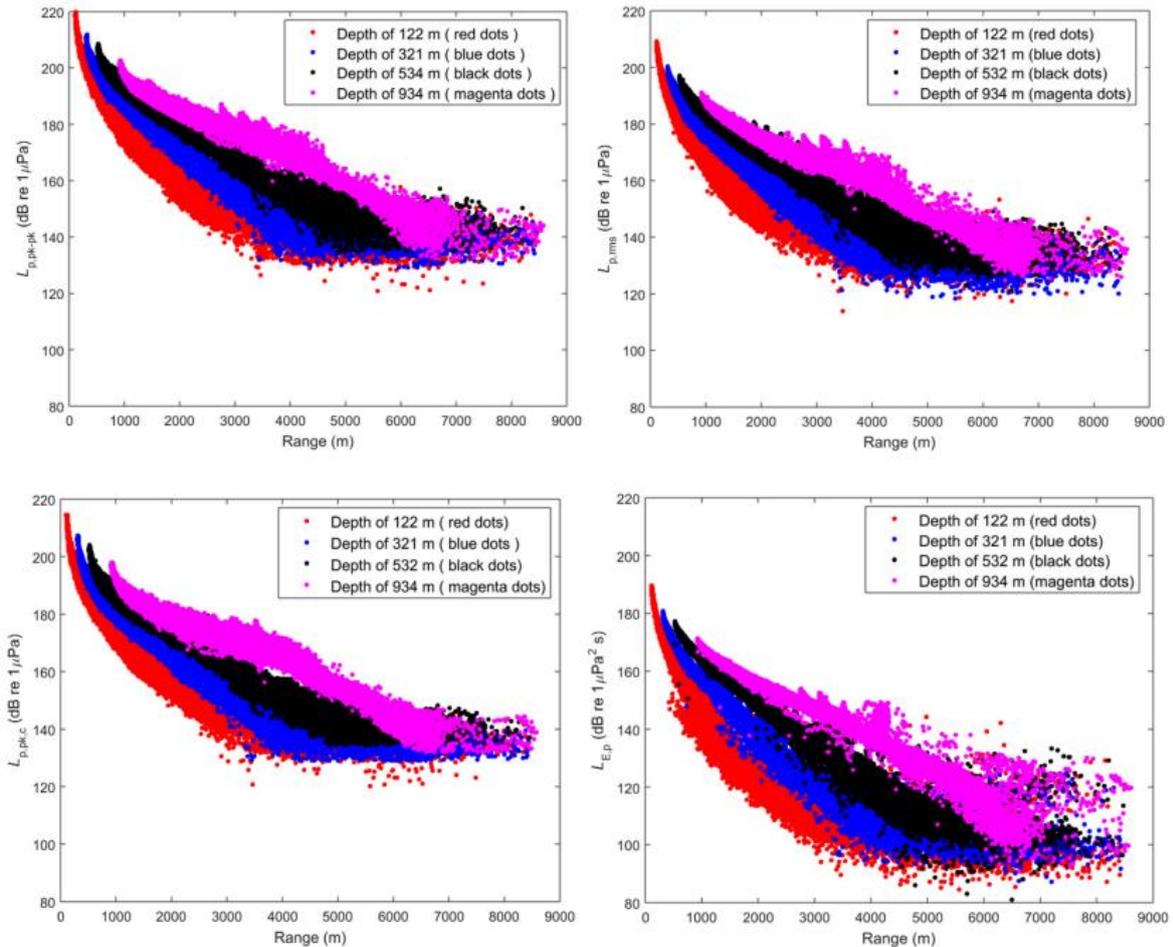


Figura V.2.5-2: Variação de diversos parâmetros acústicos associados a gravações de pulsos de air gun em diferentes profundidades e em função do afastamento da fonte (Sidorovskaia & Li, 2022). Painel superior: $SPL_{pico_a_pico}$ (à esquerda) e SPL (à direita); painel inferior: SPL_{pico} (à esquerda) e SEL (à direita).

Estes resultados corroboram os padrões de decaimento obtidos a partir dos dados de *gliders* do monitoramento no Campo de Tupi, na medida em que apontam para variações muito pequenas dos níveis sonoros com a profundidade quando há um afastamento entre a fonte e o receptor dentro dos intervalos de distância praticados pelos *gliders*.

Além de trabalhos envolvendo medições *in situ* do ruído irradiado de fontes sísmicas, há inúmeros documentos que apresentam seções verticais de ruído obtidos através de modelos numéricos de propagação acústica (MacGillivray & Chapman, 2005; Zeddies, et al., 2015; Zykov, 2018; Wladichuk, McPherson, Lucke, & Li, 2018; McPherson, Quijano, Weirathmueller, Hiltz, & Lucke, 2019). Estes modelos fornecem uma visão mais abrangente e completa

das variações horizontais e verticais do ruído irradiado de uma fonte sísmica com boa precisão. Apesar de simularem a propagação do ruído irradiado do disparo do pulso de *air gun* para diferentes regiões, arranjos, níveis sonoros da fonte, lâminas d'água e perfis de velocidade, uma característica transversal aos resultados apresentados é que a variabilidade vertical do ruído se concentra em regiões próximas à fonte, o que vai ao encontro dos estudos baseados em medições.

A Figura V.2.5-3 ilustra este aspecto. Nela são apresentados exemplos de seções verticais de ruído, em função do afastamento da fonte e da profundidade, extraídas de resultados de modelos numéricos de propagação do ruído de fontes sísmicas.

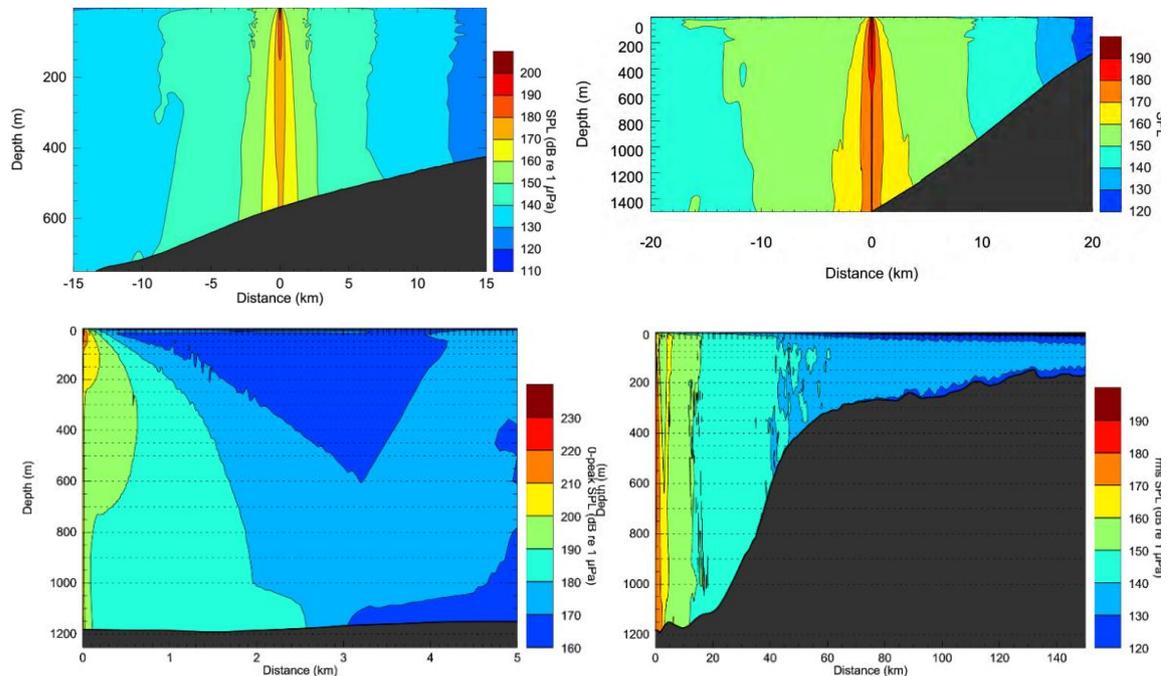


Figura V.2.5-3: Exemplos de seções transversais modeladas de ruído irradiado de fontes sísmica (McPherson, Quijano, Weirathmueller, Hiltz, & Lucke, 2019; Wladichuk, McPherson, Lucke, & Li, 2018).

As razões pelas quais o decaimento sonoro vertical mostra-se mais relevante a curtas distâncias da fonte podem ser inúmeras e envolver tanto características da fonte, quanto interações complexas das ondas sonoras emitidas com o meio de propagação.

VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2022 para *gliders*, de novembro de 2015 a janeiro de 2022 para perfiladores, de setembro de 2017 a outubro de 2022 para as LFIs e de março de 2017 até outubro de 2022 para os OSs. Estas considerações finais irão abordar as questões levantadas na seção I.4 deste relatório, onde foi estabelecido o seu objetivo, além de tecer considerações adicionais baseadas nos resultados obtidos.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, um maior foco está sendo dado no aprimoramento do modelo de ruído, visando aumentar sua acurácia. As medições em campo prosseguem, com novas estratégias resultantes de lições aprendidas no primeiro ciclo, visando preencher lacunas temporais e espaciais observadas nos dados do primeiro ciclo, e para auxiliar no desenvolvimento do modelo de ruído.

VI.1 ESFORÇO AMOSTRAL E CONHECIMENTO AUFERIDO PELO PMPAS-BS

A primeira questão aborda o esforço amostral do PMPAS-BS e como este atendeu ao objetivo proposto de buscar o entendimento e aprofundamento do conhecimento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

O primeiro ciclo do PMPAS-BS empreendeu um esforço pioneiro de medições e avaliação da paisagem acústica submarina na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, com foco na região da Bacia de Santos. Neste período, foram realizadas 23 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 234 perfiladores lançados, 72 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; dez campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica em três profundidades diferentes; e 106 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Foram gravadas 171.778,5 horas de dados acústicos para os *gliders*, OSs e LFIs. Neste mesmo período, os perfiladores analisaram um total de 5.021,4 horas de sinal. Os dados analisados neste relatório correspondem ao primeiro ciclo do projeto, com exceção dos dados dos *gliders*,



que também incluiu gravações referentes ao segundo ciclo, coletados no ano de 2022.

O conhecimento auferido permitiu o conhecimento da paisagem acústica em uma extensa região oceânica (as medições cobriram cerca de 251.000 km² dos 350.000 km² da Bacia de Santos), na qual as poucas medições acústicas oceânicas disponíveis tinham finalidade militar e se concentravam em regiões de interesse da Marinha do Brasil como Arraial do Cabo. As componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Oceânico e Monitoramento Fixo Costeiro permitiram a coleta de um extenso acervo de dados, um dos maiores do mundo em termos de esforço amostral em uma região oceânica, tornando possível a elaboração de mapas de ruído acústico em uma região geográfica cobrindo toda Bacia de Santos e análise de pontos fixos específicos na faixa costeira (principais portos com finalidade de apoio à indústria offshore de Óleo e Gás (O&G) na BS e na região oceânica (pontos que cobriam locais com intensa atividade de E&P, desenvolvimento da produção, rotas de navegação e regiões prístinas). A componente de modelagem acústica permitiu o desenvolvimento de um modelo numérico de propagação acústica em uma grade oceânica pioneira no Oceano Atlântico Sul. Resultados destes esforços serão discutidos nas próximas seções.

VI.2 CONTRIBUIÇÕES DOS MONITORAMENTOS MÓVEL, FIXO OCEÂNICO E FIXO COSTEIRO

A segunda questão aborda quais as contribuições das componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo Oceânico para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

As contribuições dos monitoramentos móvel, fixo oceânico e fixo costeiro atenderam aos seus objetivos propostos no planejamento do primeiro ciclo do PMPAS-BS, e suas respectivas contribuições são detalhadas a seguir.



Monitoramento Móvel (Gliders e Perfiladores)

O monitoramento acústico baseado em plataformas móveis (*gliders* e perfiladores) está detalhado na Seção III.1.1. São apresentadas comparações dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4, mostrando a região R1 como a mais ruidosa, seguida pelas regiões R2, depois R3 e, por último, a região R4. São comparados, também, os níveis de ruído numa linha cruzando a Bacia de Santos, passando por trechos com menores níveis de ruído até trechos onde os níveis de ruído são mais altos. Foram encontradas diferenças de até 20 dB entre os trechos mais silenciosos e os mais ruidosos, dependendo da faixa de frequência analisada.

A evolução dos níveis de ruído nos sete anos de medição (2016 a 2022) mostrou variações entre os anos que não indicam uma tendência de aumento do ruído com o tempo, embora tenha sido observado um aumento pontual destes níveis para as frequências de 63 Hz e 125 Hz na região R1 entre 2021 e 2022. A comparação das medições realizadas em diferentes profundidades para as regiões R2, R3 e R4 mostrou que para as frequências de 63 Hz e 125 Hz os níveis dos ruídos medidos a 950 m é maior do que nas outras três profundidades (50 m, 200 m e 500 m) em até 2 dB, o que é uma diferença pequena, talvez devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR). Para a região R1, os níveis nas quatro profundidades foram semelhantes entre si.

Monitoramento Fixo Oceânico (Linhas de Fundeio Instrumentadas)

As medições do monitoramento acústico baseadas em linhas de fundeio instrumentadas profundas (LFIs) estão detalhadas na Seção III.1.2, com a apresentação dos resultados da evolução temporal dos sinais gravados em dez ciclos de lançamento e recolhimento, para as seis linhas (FA01 a FA06) e mais as duas novas posições da linha FA03 (FA03R), usada a partir da sexta campanha, e da linha FA04 (FA04R), usada nas sexta e sétima campanhas.

A comparação dos níveis de ruídos entre as linhas mostrou que as linhas FA01 e FA02, instaladas em regiões com maior atividade de E&P, são mais



ruidosas do que as outras linhas, sendo a linha FA02 mais ruidosa do que a linha FA01. A linha menos ruidosa foi a linha FA04.

As comparações das linhas entre os anos de 2017 e 2022 mostraram aumentos na linha FA02 de mais de 5 dB nas frequências mais baixas e até 8 dB nas frequências maiores, e na linha FA03 de perto de 4 dB na frequência de 63 Hz. Nas demais linhas e frequências as variações de níveis de ruído entre os anos foram pequenas ou não existiram. Apenas a linha FA02 teve aumento do ano de 2021 para 2022, sendo de um pouco mais de 1 dB. Nesta linha, percebe-se uma tendência de aumento nos níveis de ruído, com aumentos anuais consecutivos nas quatro bandas de frequência analisadas, tendo havido um aumento de 5 a 8 dB entre os anos de 2017 e 2022, dependendo da frequência.

As comparações entre as diferentes profundidades não mostraram nenhuma profundidade com aumento significativo e consistente que seja comum entre as linhas.

Foram calculados os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} para cada linha. Suas distribuições ficaram abaixo do valor limiar do TTS, definido em Finneran (2016).

Monitoramento Fixo Costeiro (Observatórios Submarinos)

As medições do monitoramento acústico baseadas em observatórios submarinos rasos (OSs) estão detalhadas na Seção III.2, onde são apresentados os resultados das análises temporais dos sinais para os OSs instalados em oito posições em três regiões costeiras na Baía de Guanabara, Baía de Ilha Grande e Canal de São Sebastião.

Os OSs instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A na Baía de Guanabara e OS3R, OS3R1 e OS3R2, nas Ilhas Cagarras) são mais ruidosos na maior parte do espectro, particularmente entre 10 e 300 Hz e acima de 2 kHz. A posição a oeste da Ilha Grande (OS2R) é a mais silenciosa em praticamente todo o espectro. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, as posições na Baía de Ilha Grande (OS2) e na Baía de Guanabara (OS1A) são as mais ruidosas.

Os níveis do SEL_{24-MF} foram menores para o OS2 e o OS2R e maiores para o OS1. Os níveis do SEL_{24-LF} foram menores para o OS2R e o OS3 e maiores para o OS1, o OS1A e o OS2. Em todas as posições, o SEL_{24h-MF} ficou



abaixo do TTS, mas o SEL_{24h-LF} cruzou aquele limiar para alguns pontos extremos nos OS1A, OS2 e OS3.

Uma análise da variabilidade temporal dos níveis de ruído entre 2017 e 2022 mostrou uma discreta tendência de aumento do ruído no período de 2019 a 2021 para os OSs na Baía de Guanabara (OS1 e OS1A), particularmente nas bandas de 63 Hz e 125 Hz. O acréscimo dos dados de 2022, porém, indica uma estabilidade dos níveis de ruído auferidos em 2021, o que já vinha sendo observado nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz. Os dados do OS3R, OS3R1 e OS3R2 mostram um comportamento semelhante, com um pequeno aumento entre 2020 e 2021 e uma estabilidade entre 2021 e 2022 que é mais evidente nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. Para a região da Baía de Ilha Grande (OS2 e OS2R) e do Canal de São Sebastião (OS3), observa-se uma estabilidade nos níveis de ruído no período de 2017 a 2022, com variações muito pequenas entre o ano de 2021 e 2022. Nenhuma das posições apresentou um ciclo sazonal muito evidente nas faixas de frequências analisadas, sendo a variabilidade entre os meses do ano bastante discreta.

VI.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DA PAISAGEM ACÚSTICA

A terceira questão discute, com base na análise da paisagem acústica obtida pelas medições realizadas, quais os padrões espaciais do ruído nas bandas de frequência mais comumente usadas para avaliação de ruído com fontes antropogênicas no oceano (63 e 125 Hz do filtro de 1/3 de oitava). É possível identificar um incremento do nível de ruído acústico nas regiões ativas de E&P com relação às regiões com pouca ou nenhuma atividade exploratória ou de produção?

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS no período de 2015 a 2022 nas suas vertentes móvel e fixa traz uma visão abrangente da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. A caracterização de quatro regiões com distintos níveis de atividades de E&P e navegação (R1, R2, R3 e R4), em termos do nível de intensidade sonora (SPL), revela um incremento de ruído de 11,1 e 11,9 dB para as faixas de 63 e 125 Hz, respectivamente, na região R1, onde se concentra a maior parte das atividades



da PETROBRAS e a maior parte das medições acústicas, em relação à região mais silenciosa (R4). A diferença entre as regiões com maior ou menor grau de atividades antropogênicas para as bandas de 500 e 1.000 Hz, no entanto, é menor, da ordem de 6 dB, indicando a relevância de ruídos de origem geofônica, como o ruído induzido pela ação do vento e por ondas de gravidade em superfície.

Em relação à distribuição do ruído na coluna d'água, os resultados mostraram que o ruído nas bandas de 63 e 125 Hz junto ao canal SOFAR é um pouco mais elevado do que aquele próximo à superfície nas regiões R2, R3 e R4 da Bacia de Santos. Tal aspecto denota influência de ruídos de origem remota que possuem longo alcance nas faixas de baixa frequência do espectro. Esta diferença, no entanto, é pequena, variando de 1,2 dB nas regiões mais ruidosas a no máximo 4,1 dB nas áreas mais silenciosas, dando indícios de que o monitoramento numa única faixa de profundidade intermediária, em conjunto com a medição por meio do monitoramento móvel e com os resultados de modelagem, seria suficiente para fins de caracterização da paisagem acústica. Na região R1, os níveis nas quatro profundidades analisadas ficaram muito próximos entre si.

O comportamento dos níveis de intensidade (SPL) ao longo do tempo foi avaliado usando os resultados tanto do monitoramento fixo quanto do monitoramento móvel. Com o monitoramento móvel, não foram identificadas tendências de aumento do ruído ao longo do tempo, embora tenha sido observado um aumento nas frequências de 63 Hz, em torno de 1,6 dB e de 125 Hz de 3,8 dB de 2021 para 2022 na região R1. Já com o monitoramento fixo, observou-se flutuações nos níveis de ano para ano que não permitem caracterizar uma tendência, com exceção da linha FA02, onde ocorreram aumentos anuais consecutivos nas quatro bandas de frequência analisadas. Os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} obtidos em todas as LFIs estão ainda bem abaixo do valor de TTS indicado por Finneran (2016) para os cetáceos dos grupos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF).

Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento também se mostram suficientes para caracterização da paisagem hidroacústica, demonstrando a existência de regiões acústicas de elevada diversidade, com a



coexistência de fontes variadas de ruído e de natureza distinta, incluindo principalmente: coros de peixes e invertebrados; cliques e vocalizações de cetáceos; ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e ruído de embarcações, motores e bombas. A presença destas fontes se dá em três faixas principais do espectro de frequência: 0 a 200 Hz, 200 Hz a 2 kHz e 2 a 24 kHz. As duas primeiras são influenciadas por sinais de origem antropogênica, abiótica e biótica, enquanto a última é dominada por fontes bióticas.

A região do interior da Baía de Guanabara e em menor grau a região das Ilhas Cagarras, monitoradas pelos OS1/OS1A e OS3R/OS3R1/OS3R2, respectivamente, são as de maior nível de ruído nas bandas de 63 e 125 Hz, considerando o conjunto de localidades monitoradas. Já para as bandas de 500 e 1.000 Hz os níveis medidos nos diferentes OSs são semelhantes. A região da Baía de Guanabara apresentou um pequeno incremento nos níveis de ruído nas bandas de 63 e 125 Hz no período 2017-2021 e indica uma estabilidade nos níveis entre 2021 e 2022. No entorno da Ilha Grande e do Canal de São Sebastião, há uma tendência de estabilidade no ruído medido.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, em particular os OS1 e OS1A e os OS3R, OS3R1 e OS3R2, o comportamento espectral destes observatórios apresenta particularidades, principalmente no que se refere a faixas do espectro ligadas a fontes de ruído bioacústico e ao ruído de embarcações. Tal aspecto, em conjunto com a baixa variabilidade interanual identificada em todas as regiões monitoradas, sugerem a existência de ambientes heterogêneos, em que os níveis de ruído podem variar significativamente em função da maior ou menor proximidade com colônias biológicas e rotas de navegação e cuja resultante, no entanto, tem mantido um caráter de estabilidade. Assim, o monitoramento continuado numa posição fixa por períodos de tempo contínuos não deve contribuir significativamente com novas informações em relação aos dados ora coletados, sendo possível espaçar o esforço amostral ao longo do tempo sem prejuízo à avaliação de eventuais tendências de aumento ou diminuição do ruído hidroacústico, os quais podem levar vários anos para que sejam efetivamente detectados (Merchant *et al.*, 2016).



É importante ressaltar que o simples incremento do ruído ambiente em regiões com maior atividade não pode ser tomado como o único impacto à fauna marinha e à vida aquática de um modo geral. Este tipo de avaliação deve considerar não somente o nível de intensidade e de exposição sonora, mas diversas outras variáveis como a sensibilidade de cada espécie às faixas de frequência consideradas, sua ocorrência, distribuição e a sobreposição com as áreas ocupadas e as alterações de seus padrões de comportamento ao longo do tempo. Este tipo de análise mais profunda e complexa, que se traduz em indicadores ambientais mais específicos, não é parte do escopo e dos objetivos do PMPAS-BS, que dizem respeito à caracterização da paisagem acústica. Porém, esforços no sentido de prover informações para este tipo de avaliação no âmbito do PMC-BS já estão em andamento, tendo sido estabelecido um fluxo de informações de relevância ambiental para monitoramento dos impactos sobre os cetáceos.

Diante do exposto, considera-se que os resultados apresentados neste relatório com dados do 1º ciclo do PMPAS-BS de novembro de 2015 até dezembro de 2021 (06 anos de dados acústicos medidos) são capazes de fornecer uma base robusta para definição dos principais aspectos e tendências da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos, conforme gráficos e tabelas apresentados nos capítulos anteriores, oferecendo subsídios para avaliação dos impactos das atividades da PETROBRAS e de outras fontes antropogênicas de ruídos atuantes na região. O padrão de monitoramento acústico passivo adotado dificulta distinguir o percentual de contribuição da PETROBRAS, de outras operadoras de E&P e das diversas fontes que contribuem para esta paisagem (navegação de cabotagem, atividades de pesca etc.). Neste sentido, o modelo regional de ruído acústico SIMAS, que vem evoluindo continuamente e já oferece resultados de qualidade comparáveis às melhores iniciativas internacionais de modelagem de propagação acústica, poderá ser usado para avaliar, gradualmente, a contribuição dos diversos atores na paisagem acústica da Bacia de Santos.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, um maior foco está sendo dado no aprimoramento do modelo de ruído, visando aumentar sua acurácia. As medições em campo prosseguem, com novas estratégias resultantes de lições



aprendidas no primeiro ciclo, visando preencher lacunas temporais e espaciais observadas nos dados do primeiro ciclo, e para auxiliar no desenvolvimento do modelo de ruído.

VI.4 CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM DO RUÍDO ACÚSTICO NA BACIA DE SANTOS

A quarta questão aborda quais resultados ressaltam a contribuição da modelagem de propagação acústica para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento das ferramentas computacionais para modelagem do ruído acústico na região da Bacia de Santos e adjacências, apresentados no Capítulo IV, permitem a avaliação espacial e temporal do ruído ocasionado por diversas fontes antrópicas (navios a serviço de atividades de E&P, navios mercantes, plataformas etc.) com uma extensa cobertura regional. Modelos de ruído têm sido utilizados em diversos outros programas internacionais de monitoramento da paisagem acústica, conforme Dekeling *et al.* (2014b).

A validação dos resultados da modelagem acústica utilizando os dados acústicos medidos, particularmente da componente móvel (perfiladores e *gliders*), mostrou os níveis do ruído modelado em média 4,4 dB abaixo do ruído medido na frequência de 63 Hz e 0,2 dB, também abaixo do ruído medido, na frequência de 125 Hz. Estas diferenças são usadas para melhorar a estimativa dos dados de entrada, como os valores do ruído ambiente na ausência de embarcações e os níveis irradiados pelas embarcações presentes no AIS. Mesmo com estas diferenças, os padrões de variabilidade espacial do ruído medido em diferentes radiais e domínios da Bacia de Santos são reproduzidos de forma consistente pelo modelo, indicando um importante avanço no grau de maturidade desta ferramenta.

Usando os dados modelados, é possível ver uma redução nos níveis do ruído irradiado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz entre os anos de 2016 e 2019, seguido de uma estabilização para os anos de 2020 a 2022 para todas as regiões, com exceção da região R1 na frequência de 63 Hz, que teve um ligeiro



aumento nos níveis de 2020 a 2022. A redução observada é coerente com a redução no volume de tráfego observado a partir dos registros AIS. Não se observou uma estação do ano que seja consistentemente mais ruidosa ou silenciosa do que as outras.

Avaliando a média e o desvio padrão dos mapas gerados pelo modelo, observa-se que as maiores variações dos níveis ocorrem na plataforma continental, próximo à região costeira, com apenas algumas pequenas regiões com maiores variações na região oceânica, próximo às regiões com maiores atividades de E&P.

A apresentação dos níveis de ruído em faixas ou categorias também ajuda a entender a distribuição dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Se forem consideradas as frequências de 63 Hz e 125 Hz, mais de 80 % da área modelada tem níveis na primeira faixa de ruído, entre 85 e 92 dB, associada, normalmente, ao ruído ambiente produzido por um tráfego leve a moderado de embarcações distantes.

Outra apresentação interessante para os mapas modelados é o mapa de diferenças entre duas situações distintas. O mapa de diferença entre os anos de 2022 e 2021, por exemplo, mostrou que houve pouco incremento de ruído na frequência de 63 Hz entre esses anos, sendo esse incremento um pouco maior para a frequência de 125 Hz, em alguns pontos da Bacia de Santos.

VI.5 DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS

A quinta questão aborda os resultados das medições feitas com *gliders* nas proximidades de levantamento sísmico no campo de Tupi. É questionado como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte (decaimento horizontal e vertical) e como os níveis recebidos se comparam na presença e ausência dos disparos da fonte sísmica (comparando também ao ruído ambiente da região do Campo de Tupi).

Os dados obtidos pelos *gliders* de monitoramento específico, dedicados ao acompanhamento de atividades de exploração sísmica, foram processados para a obtenção dos níveis do ruído da fonte sísmica em função da distância e da profundidade do *glider* a essa fonte. Foram usados cerca de 140 dias de



gravação em quatro campanhas do *glider*, no período de junho a novembro de 2022. Foram feitas gravações com a distância do *glider* variando de 4 a 150 km da fonte, lembrando que por questão de segurança o *glider* é programado para evitar aproximação de menos de 5 km do polígono de aquisição da sísmica.

Uma análise nos sinais gravados pelo *glider* mostrou que não ocorreu saturação mesmo nas menores distâncias de gravação (~4 km), indicando que o sistema acústico está adequado para a aquisição proposta.

O parâmetro analisado foi o SPL obtido em janelas de 1 minuto do sinal. Quando se considerou o decaimento sonoro com a distância para a fonte, verificou-se que os dados seguem a curva de decaimento logaritmo $SPL(r) = 209,4 - 18,0 \log_{10}(r)$, onde r é a distância em metros entre o *glider* e a fonte sísmica.

Na análise da variação do ruído com a profundidade, verificou-se que na faixa de distância dos dados, esta variação é muito pequena, corroborando com informações obtidas na literatura que mostra que variações maiores com a profundidade só ocorrem em distâncias menores entre a fonte e o receptor (Martin *et al.*, 2017; Sidorovskaia & Li, 2022).

VI.6 CONTRIBUIÇÃO DO PMPAS-BS COM O PMC-BS

A sexta questão aborda a contribuição de dados coletados pelo PMPAS-BS para outros projetos condicionantes de licença ambiental da Bacia de Santos. Devido ao monitoramento do ruído acústico ter uma interface com o monitoramento de cetáceos na Bacia de Santos, pois estes mamíferos se comunicam por sinais acústicos e são sensíveis ao ruído no ambiente marinho, foi natural que as equipes de técnicos especializados do Projeto de Monitoramento de Cetáceos da Bacia de Santos (PMC-BS) tivessem a oportunidade de interagir em diversas ocasiões para definirem como o PMPAS-BS poderia contribuir fornecendo registros acústicos para identificação de vocalizações de cetáceos pela equipe do PMC-BS.

Apesar do conhecimento de vocalizações de cetáceos ser de domínio e especialidade de técnicos do PMC-BS, ficou evidente que a grande quantidade de registros acústicos medidos pelo PMPAS-BS e sua extensão temporal



criariam dificuldades para uma análise pormenorizada pela equipe do PMC-BS. Desta forma, técnicos do PMPAS-BS tomaram a iniciativa de utilizar rotinas do programa especializado PAMGuard para detecção da vocalização de cetáceos e incluí-las em suas rotinas automáticas de processamento dos registros acústicos medidos pelos equipamentos do projeto. Todas as vezes que possíveis vocalizações são identificadas, os trechos temporais correspondentes são recortados e enviados à equipe especializada do PMC-BS.

Até o momento, já foram recortados pelo PMPAS-BS e enviados ao PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas (42.000 minutos) de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de mysticetos, uma vez que as gravações feitas no PMC-BS têm a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones.

Uma segunda contribuição do PMPAS-BS com as atividades do PMC-BS está relacionada ao fornecimento de mapas modelados do ruído na Bacia de Santos para a modelagem do *habitat* de cetáceos, considerando interferências antrópicas (SocioAmbiental/PETROBRAS, 2023). Neste estudo, os níveis de ruído acústico nas frequências de 63 Hz e 125 Hz são analisados junto a outros fatores, como batimetria, temperatura, correntes, clorofila, salinidade, tráfego de embarcações e atividade de pesca, para entender os fatores que governam a distribuição dos cetáceos na Bacia de Santos.

Os resultados das análises realizadas pela equipe do PMC-BS serão apresentados no próximo relatório anual do projeto.



VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, D. C. de. (2018). *Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil* (Issue 1). Universidade Federal Fluminense.
- ANSI. (2004). *ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters* (Vol. 552).
- Bassett, C., Thomson, J., Dahl, P. H., & Polagye, B. (2014). Flow-noise and turbulence in two tidal channels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 1764–1774. <https://doi.org/10.1121/1.4867360>
- Bohnenstiehl, D. R., Lillis, A., & Eggleston, D. B. (2016). The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: Temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. *PLoS ONE*, 11(1), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143691>
- Buscaino, G., Ceraulo, M., Pieretti, N., Corrias, V., Farina, A., Filiciotto, F., Maccarrone, V., Grammatta, R., Caruso, F., Giuseppe, A., & Mazzola, S. (2016). Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. *Scientific Reports*, 6(May), 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep34230>
- Butler, J., Butler, M. J., & Gaff, H. (2017). Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. *Ecological Indicators*, 77, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.041>
- Cockrem, J. (2014). Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals. *Final 2014 Report from ONR Marine Mammal Physiological Stress Response*, 1–6.
- Coquereau, L., Grall, J., Chauvaud, L., Gervaise, C., Clavier, J., Jolivet, A., & Di Iorio, L. (2016). Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. *Marine*



Biology, 163(5). <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2902-2>

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. a, Andersson, M. H., Andre, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. V. (2014a). *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II: Monitoring Guidance Specifications*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-148X.2008.00479.x>

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. a, Andersson, M. H., Andre, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. V. (2014b). *Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background Information and Annexes* (Issue May). <https://doi.org/10.2788/2808>

Erbe, C., Verma, A., McCauley, R., Gavrilov, A., & Parnum, I. (2015). The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*, 137, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.015>

European Commission. (2020). Report on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive. In *COM(2020) 259 final*.

Farcas, A., Powell, C. F., Brookes, K. L., & Merchant, N. D. (2020). Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic. *Science of the Total Environment*, 735(May), 139509. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139509>

Finneran, J. J. (2016). *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores. Technical Report 3026*.

Gedamke, J., Harrison, J., Hatch, L., Angliss, R., Barlow, J., Berchok, C., Caldow, C., Castellote, M., Cholewiak, D., Deangelis, M. L., Dziak, R., Garland, E., Guan, S., Hastings, S., Holt, M., Laws, B., Mellinger, D., Moore, S., Moore, T. J., ... Wahle, C. (2016). Ocean Noise Strategy Roadmap. In *Noaa*.



- Harris, S. A., & Radford, C. A. (2014). *Marine Soundscape Ecology*. 1–9.
- Hawkins, A. D., & Popper, A. N. (2017). A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, 74(3), 635–651. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>
- Hildebrand, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- IPqM/PETROBRAS. (2019). *3º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2018*.
- IPqM/PETROBRAS. (2022). *6º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2021*.
- IPqM. (2021). *Influência da corrente oceânica no ruído próprio das linhas de fundeio instrumentadas*.
- Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2011). Computational Ocean Acoustics. In *NASPA Journal* (Vol. 42, Issue 4). Springer New York.
- Lillis, A., & Mooney, T. A. (2018). Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. *Coral Reefs*, 37(2), 597–607. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1684-z>
- Lima, F. M. De, Junior, C. C., Soares-Filho, W., Galotta, C., Antonio, J., Lima, M., & Paula, T. P. De. (2020). An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil. *International Conference on Underwater Acoustics*, 1–8.
- Lima, J. A. M., Paula, T. P. de, Soares-Filho, W., Spengler, A., Almeida, F. G. de, Pereira, D. P. C., Galotta, C., Junior, C. C., Bodart, C. P., & Stein, M. (2022). Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico.



Revista Brasileira de Meio Ambiente, 10(2), 95–119.

- Martin, S. B., Matthews, M.-N. R., MacDonnell, J. T., & Bröker, K. (2017). Characteristics of seismic survey pulses and the ambient soundscape in Baffin Bay and Melville Bay, West Greenland. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(6), 3331–3346. <https://doi.org/10.1121/1.5014049>
- Merchant, N. D., Brookes, K. L., Faulkner, R. C., Bicknell, A. W. J., Godley, B. J., & Witt, M. J. (2016). 2-Underwater noise levels in UK waters. *Scientific Reports*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.1038/srep36942>
- Moreira, J. L. P., Valdetaro, C., Gil, J. A., & Machado, M. A. P. (2007). Bacia de Santos. *Boletim de Geociencias Da Petrobras*, 531–549.
- NOAA. (2016). *NOAA Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing - Underwater Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts* (Issue July).
- PETROBRAS. (2022). *Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos - PMTE-BS - Em elaboração*.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Radford, C. A., Stanley, J. A., & Jeffs, A. G. (2014). Adjacent coral reef habitats produce different underwater sound signatures. *Marine Ecology Progress Series*, 505, 19–28. <https://doi.org/10.3354/meps10782>
- Ross, D. (1976). *Mechanics of underwater noise*. Pergamon Press.
- Sidorovskaia, N., & Li, K. (2022). Marine compressed air source array primary acoustic field characterization from at-sea measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151(6), 3957–3978. <https://doi.org/10.1121/10.0011678>



- SocioAmbiental/PETROBRAS. (2023). *PMC-BS - RA07 - Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos*.
- Urick, R. J. (1983). *Principles of Underwater Sound* (D. Heiberg & J. Davis (eds.); 3rd ed.). McGraw-Hill Book Company.
- van Geel, N. C. F., Merchant, N. D., Culloch, R. M., Edwards, E. W. J., Davies, I. M., O'Hara Murray, R. B., & Brookes, K. L. (2020). Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *148*(2), 701–712. <https://doi.org/10.1121/10.0001704>
- Velleman, P. F., & Hoaglin, D. C. (1981). Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis. In *Duxbury Press, Boston*.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *34*(12), 1936–1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>
- Williams, R., Wright, A. J., Ashe, E., Blight, L. K., Brintjes, R., Canessa, R., Clark, C. W., Cullis-Suzuki, S., Dakin, D. T., Erbe, C., Hammond, P. S., Merchant, N. D., O'Hara, P. D., Purser, J., Radford, A. N., Simpson, S. D., Thomas, L., & Wale, M. A. (2015). Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean and Coastal Management*, *115*, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021>
- Xavier, F. C. (2021). *Assinatura bioacústica de costões rochosos: Caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas*. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira & Universidade Federal Fluminense.

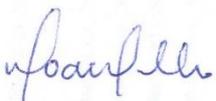


VIII EQUIPE TÉCNICA**VIII.1 PETROBRAS**

Profissional	Thiago Pires de Paula
Unidade de Negócios	CENPES/PDDP/TEO
Registro no Conselho de Classe	CREA/RJ 200920704-1
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6964874
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	



VIII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

Profissional	Alexandre Bazyl Zacarias de França
Unidade de Negócios	IPqM
Registro no Conselho de Classe	
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	8018168
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	
Profissional	William Soares Filho
Unidade de Negócios	IPqM
Registro no Conselho de Classe	CREA-RJ – 50.138-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	355491
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	



APÊNDICE A Produção Científica

A Tabela A-1 apresenta uma lista das publicações científicas feitas usando dados e informações do PMPAS-BS.

Tabela A-1: Produção científica usando dados e informações do PMPAS-BS.

TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Investigating flow noise on underwater gliders acoustic data	Santos, F., Oliveira, A., Barmak, R., São Thiago, P. Lima, J.A, Paula, T.P., Almeida, F.G.	5 th joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016. Havaí, Estados Unidos
Development and characterization of an autonomous underwater acoustic recording system.	Alexandre Alves, Rodrigo Barros, Cassiano Villares, Rodrigo Ribeiro, Eduardo Bernsmuller, Orlando Afonso, Fernando L. de Magalhães, Leonardo Barreira	Oceans Conference & Exposition 2018, Oceans' 2018 Proceedings, Charleston, 2018.
Análise Experimental da Influência Acústica do Vaso do Sistema Autônomo de Acústica do Vaso do Sistema Autônomo de Aquisição de Sinais Submarinos (SAASS) sobre a Resposta do Hidrofone de Monitoramento.	Orlando J. R. Afonso, Fernando L. de Magalhães	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018
Sistema Autônomo de Aquisição de Sinais Submarino- SAASS.	Alexandre Alves, Rodrigo Barros, Cassiano Villares, Rodrigo das Dores, Eduardo Bernsmuller, Orlando Afonso, Fernando L. de Magalhães, Leonardo Barreira	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Estudo dos Parâmetros de Sinterização de Cerâmicas Piezoelétricas Hemisféricas a Base de PZT I Empregadas em Transdutores Hidroacústicos.	Maria Aparecida P. Santos, Ananda M. V. O. Ávila, Felipe B.S. Mendes, Fernando L. de Magalhães, Mateus Mota Morais, Carlos Alberto Fortulan	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Fabricação de Cerâmicas Piezoelétricas Semiesféricas por Prensagem Isostática e Usinagem a Verde, para Aplicação em Hidrofones.	Mateus Mota Morais, Ananda M. V. O. Ávila, Maria Aparecida P. Santos, Fernando L. de Magalhães, Felipe B.S. Mendes, Carlos Alberto Fortulan	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Elastômeros para Encapsulamento de Transdutores Hidroacústicos.	Maurício Ferrapontoff Lemos, Priscila Richa Ribeiro Ferreira, Rodrigo Honorato Cunha, Roberto da Costa Lima, Fernando L. de Magalhães, Orlando Afonso, Henrique Corrêa Cury de Aguiar	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Classificador especialista de embarcações: Um estudo comparativo de técnicas.	João Vicente G. Rocha, Rodrigo Emanuel de B. A. Barros, Alexandre Soares Alves, Natanael Moura Junior, João B. O. Souza Filho.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Evaluation of data measured by acoustic profilers on the Southeast Brazilian continental slope.	Soares-Filho, W., Barreira, L. M., Lima, J. A. M., Paula, T. P., Almeida, F. G.	Rio Acoustics, 2017, Rio de Janeiro, RJ.
Detecção de embarcações nos sinais de áudio obtidos no âmbito do projeto PMPAS-BS.	Santos, L. O., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Detecção de vocalizações de mamíferos marinhos no âmbito do PMPAS-BS.	Rafael, S., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Caracterização da corrente costeira no canal de São Sebastião.	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Avaliação Termodinâmica de Elastômeros Poliuretanos.	Lemos, M. F., Cunha, R. H., Santos, J. F., Lima, R. C.	15º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2019. Bento Gonçalves, RS.
Avaliação de Poliuretanos para Encapsulamento de Transdutores Hidroacústicos.	Lima, R. C, Lemos, M. F., Cunha, R. H.	15º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2019. Bento Gonçalves, RS.
Estudo de Caso de Detecção de Odontocetos na Bacia de Santos – Brasil.	Espirito Santo, S. R. G. S., De Lima, F. M., Soares-Filho, W., Galotta, C., Correa-Junior, C.	XVIII Congreso Latino-Americano de Ciencias del Mar, 2019. Mar del Plata, Argentina.
An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil.	De Lima, F. M. Correa-Junior, C. C., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M., Lima, J. A. M., De Paula, T. P.	International Conference on Underwater Acoustics, 2020. Southampton, Reino Unido.
Developing an Autonomous Underwater Acoustic Recorder in Brazil.	Buchman, R. M.; Bernsmüller, E.	Revista Sea Technology. Edição de OUT2020.
Priorização de Sistemas de Monitoramento Acústico Submarino Utilizando o Método AHP.	Stein, M., Soares, G. M., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M.	XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020. Foz do Iguaçu, PR.
An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil.	De Lima, F. M. Correa-Junior, C. C., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M., Lima, J. A. M., De Paula, T. P.	Revista online Proceedings of Meetings on Acoustics (POMA) da Acoustical Society of America (ASA), 2021.
Estudo de caso de detecção de baleias na Bacia Santos durante a primavera.	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W., Galotta, C., Calado, L., Xavier, F.C.	XIV Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, 2021. Formato virtual



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Ocorrência de baleias na Bacia de Santos e sua relação com a temperatura da superfície do mar.	Espirito Santo, S. R. G. S., Xavier, F.C, Soares-Filho, W., Galotta, C., de Lima, F. M., Calado, L.	XII Congresso Iberoamericano de Acústica, 2022. Florianópolis, SC.
A utilização de um Sistema de Modelagem de acústica submarina na Bacia de Santos. Autor: Fabiano Marcos de Lima	De Lima, F. M., Correa-Junior, C. C., Galotta, C., Paula, T. P., Mansur, W. J., Vera-Tudela, C. A. R., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S. R. G. S.	XII Congresso Iberoamericano de Acústica, 2022. Florianópolis, SC.
Ocorrência de baleia jubarte nas ilhas Cagarras através de método acústico	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W., Galotta, C., De Lima, F. M., Wedekin, L.L., Paro, A.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos, 2022. Mata de São João, BA.
Recent records of blue whales (<i>Balaenoptera Musculus</i>) in south and southeastern oceanic waters of Brazil, SW Atlantic	Wedekin, L. L., Cremer, M. J., Daura-Jorge, F. G., Baracho-Neto, C. G., Kleivane, L., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S.R.G.S., Filun, D., Rossi-Santos, M.R., Paro, A., Bezamat, C., Hille, D. A., Dalla-Rosa, L., Simões-Lopes, P. C., Bonatto, S. L., Cypriano- Sousa, A. L.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos, 2022. Mata de São João, BA.
Using an autonomous vehicle (seaglider) reveals the seasonality of cetaceans in the Santos Basin, Brazil	Filun, D., Schall, E., Paitach, R., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S. R. G. S., Paro, A. D., Rossi-Santos, M., Wedekin, L. L.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos, 2022. Mata de São João, BA.
Influence of Polarization Times and Temperature on the Piezoelectric Properties of Complex Geometry PZT Ceramics.	Foluke Salgado de Assis, Roberto da Costa Lima, Jairo Moura de Melo, Rubens Lincoln Santana Blazutti Marçal, Bruna Karina da Silva Oliveira, Fernando Luiz de Magalhães, Priscila Simões Teixeira Amaral	XXI B-MRS Meeting da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais
Monitoramento da Paisagem Acústica da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico	José Antônio Moreira Lima, Thiago Pires de Paula, William Soares Filho, Ângela Spengler, Fernando Gonçalves de Almeida, Diogo Peregrino Correa Pereira, Cátia Galotta, Carlos Corrêa Junior, Cristiani Perrini Bodart, Marcela Stein	Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.2, 095-119 (2022)
“Playing the beat”: Occurrence of Bio-duck calls in Santos Basin (Brazil) reveals a complex acoustic behaviour for the Antarctic minke whale (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	Marcos R. Rossi-Santos, Diego Filun, William Soares-Filho, Alexandre D. Paro, Leonardo L. Wedekin	PLoS ONE 17(9), 1-13, 2022
Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha	Ubirajara Gonçalves Melo Junior	Tese de doutorado em desenvolvimento no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Gerenciamento de risco de baleias na Bacia de Santos através de um método acústico	Sidney Rafael Gomes da Silva do Espírito Santo	Tese de doutorado em desenvolvimento no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

7º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2023

APÊNDICE B Testes Estatísticos

B.1 Descrição dos Testes Estatísticos

Nos resultados apresentados neste relatório, são feitas comparações das diferentes distribuições de dados obtidos em condições diversas usando uma representação conhecida como *boxplot*, onde diversas informações estatísticas das distribuições são mostradas graficamente, facilitando a comparação (Velleman & Hoaglin, 1981). A Figura B.1-1 mostra um exemplo de utilização do *boxplot* para comparar três conjuntos de dados. Para cada conjunto de dados, o retângulo marca a posição dos 25º e 75º percentis (distância interquartil - IQR) e a linha vermelha no centro representa a mediana (50º percentil). As barras acima e abaixo do quadrado correspondem a uma distância de uma vez e meia a altura do quadrado (1,5 IQR) a partir da parte superior e inferior do quadrado, respectivamente. Os pontos acima da barra superior ou abaixo da barra inferior são representados por cruces vermelhas. O uso do valor de 1,5 IQR corresponde a uma cobertura de 99,3% dos dados, se eles tiverem uma distribuição normal.

Antes da análise estatística, os dados são submetidos a um processo de qualificação onde valores espúrios são detectados e excluídos das análises seguintes, conforme descrito com detalhes no segundo relatório técnico do PMPAS-BS (IPqM/PETROBRAS, 2019). Os valores representados pelas cruces vermelhas citados acima podem corresponder a sinais de nível mais alto e que ocorram com pouca frequência nos dados, como ocorre no caso da passagem de uma embarcação próximo ao sensor. Estes dados não contribuem efetivamente para o entendimento do ruído ambiente, porque representam mais uma indicação local do que regional, já que os níveis decaem rapidamente com a distância.

A comparação entre as distribuições é feita usando-se a Análise de Variância (ANOVA) e do teste pos-hoc Tukey, testando a hipótese nula de que as distribuições são iguais. Para estas análises, os dados fora da distância de 1,5 IQR abaixo do 25º percentil e acima do 75º percentil são removidos para reduzir sua interferência na comparação das distribuições. No exemplo dos



dados da Figura B.1-1, a análise ANOVA mostrou que os três grupos são significativamente diferentes entre eles ($F = 25.228$, $p=0,0000$).

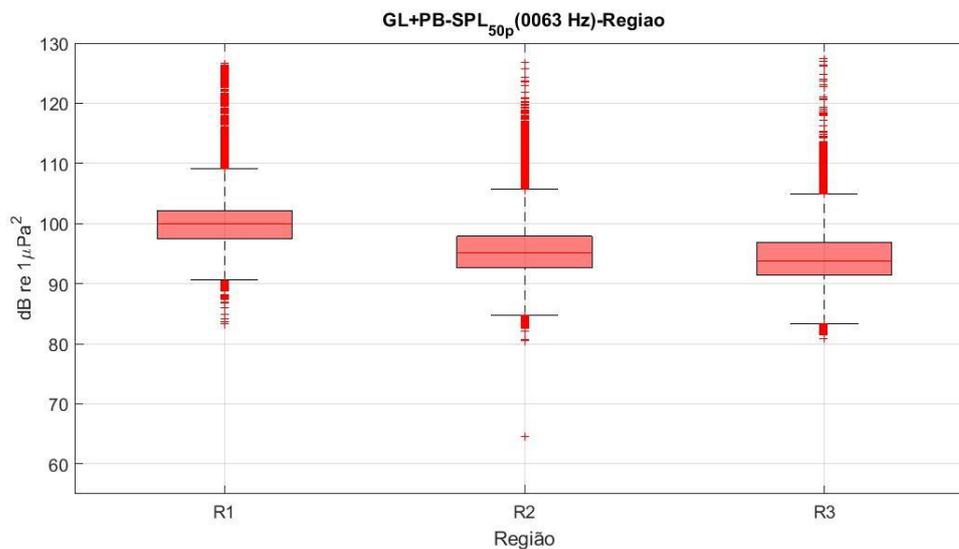


Figura B.1-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

B.2 Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão

B.2.1 Região Oceânica

B.2.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4

A Tabela B.2.1.1-1 apresenta os SPL nos percentis de 25%, 50% (mediana), 75% e 90% e o nível RMS para as medições de cada uma das regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, mostrando o comportamento das distribuições das medições nestas bandas. Na primeira coluna, é apresentado o resultado do teste estatístico. O teste de Tukey para grupos homogêneos indicou que não é possível dizer que existe diferenças entre as medianas das distribuições para a frequência de 1.000



Hz para as regiões R2 e R3. Todas as outras diferenças entre as regiões podem ser consideradas estatisticamente significativas.

Tabela B.2.1.1-1: SPL no 25º, 50º (mediano), 75º e 90º percentis e nível RMS para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Frequência (ANOVA)	Região	Nº de Medições	25%	50%	75%	90%	RMS
63 Hz (F=41.785,6, p=0)	R1	87.389	97,70	100,39	103,17	106,08	102,7
	R2	43.037	92,87	95,33	97,91	100,83	98,4
	R3	51.856	91,76	94,13	97,10	99,95	97,2
	R4	9.768	87,34	89,30	91,56	94,04	91,9
125 Hz (F=68.653,4, p=0)	R1	87.389	92,77	95,36	97,74	100,14	97,0
	R2	43.037	87,07	90,05	92,77	95,46	92,8
	R3	51.856	84,84	87,11	89,40	91,53	89,0
	R4	9.768	80,59	83,44	85,93	88,08	86,2
500 Hz (F=13.877,2, p=0)	R1	87.389	83,59	86,42	89,33	92,53	89,8
	R2	43.037	79,88	83,19	86,11	88,54	86,4
	R3	51.856	78,48	82,50	85,62	88,03	85,7
	R4	9.768	76,38	80,47	83,65	85,95	96,4
1000 Hz (F=7.271,7, p=0)	R1	87.389	82,75	85,60	88,54	91,57	89,2
	R2	43.037	79,35	82,99	85,86	88,17	85,5
	R3	51.856	78,81	83,55	86,44	88,92	85,4
	R4	9.768	76,70	80,86	84,00	86,29	96,4
10Hz a 10kHz (F=18.660,9, p=0)	R1	87.389	109,64	112,37	115,49	118,13	114,6
	R2	43.037	107,31	109,59	111,61	113,73	111,4
	R3	51.856	106,56	109,08	111,85	114,81	111,3
	R4	9.768	102,88	105,05	107,22	108,81	113,4

Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por ano

A Tabela B.2.1.1-2 apresenta a mediana de cada região, nos anos de 2016 a 2022, para a faixa de frequência de 10Hz a 10kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Para a frequência de 63 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016, 2020 e 2021, nem entre os anos de 2017 e 2018 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2022, entre 2018, 2019 e 2022; entre 2019 e 2020; entre 2020 e 2021; e entre 2020 e 2022, para a região R2; entre os anos de 2017, 2018 e 2019, para a região R3; e entre os anos de 2016, 2017 e 2022; e entre 2018, 2019 e 2020 para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, F=5.721,2,0, p=0).



Para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016 e 2020, e entre 2018 e 2019 para a região R1; entre os anos de 2018 e 2019; e entre 2020 e 2021 para a região R2; entre 2016, 2017 e 2020; entre 2016 e 2022; entre 2017 e 2021; entre 2018 e 2019; entre 2020 e 2021 e entre 2020 e 2022 para a região R3; e entre os anos de 2019 e 2021, e entre 2020 e 2021 para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=8.264,1$, $p=0$).

Para a frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016 e 2022 e entre 2017 e 2020 para a região R1; entre os anos de 2016, 2019, 2020 e 2022, entre 2017, 2018 e 2021; e entre 2017 e 2022, para a região R2; entre 2017, 2019 e 2020, e entre 2018 e 2019 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2018, e entre 2017, 2019, 2021 e 2022 para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=1.986,1$, $p=0$).

Para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que existe diferença significativa entre as distribuições para os anos de 2018 e 2019, e entre 2019 e 2021 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2021, entre 2019 e 2022, e entre 2020 e 2022 para a região R2; entre os anos de 2016 e 2018 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2017, entre 2016 e 2018, e entre 2019, 2021 e 2022, para a região R4. As diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=1.320,0$, $p=0$).

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016 e 2018 e entre 2017 e 2020, para a região R1; entre os anos de 2016 e 2021; entre 2017 e 2018; e entre 2019 e 2020, para a região R2; entre os anos de 2017, 2018 e 2021; e entre 2018 e 2019 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2022; entre 2017, 2018 e 2019; e entre 2018 e 2020 para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=2.699,8$, $p=0$).



Tabela B.2.1.1-2: Mediana para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2016 a 2022.

Região	Ano	Nº de Medições	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1,000 Hz	10Hz-10kHz
R1	2016	18.632	100,02	95,33	86,71	86,46	112,15
	2017	13.121	99,07	94,82	86,96	86,09	110,76
	2018	5.291	99,05	94,02	83,91	83,52	112,28
	2019	5.268	99,96	93,92	85,65	84,46	113,75
	2020	14.238	99,51	94,52	87,09	86,62	110,94
	2021	6.177	99,33	92,68	85,42	84,90	112,75
	2022	24.662	103,15	96,52	86,64	85,18	114,54
R2	2016	10.819	94,98	89,89	82,02	82,57	109,62
	2017	3.834	94,28	87,53	83,88	84,95	109,36
	2018	19.323	95,35	90,15	83,40	83,17	109,76
	2019	3.000	95,98	90,61	82,99	81,91	109,90
	2020	1.004	95,77	90,67	81,99	79,87	109,32
	2021	4.579	96,51	91,87	84,19	82,65	109,05
	2022	478	95,08	88,35	84,13	82,48	106,76
R3	2016	9.064	94,76	86,95	79,98	81,08	110,12
	2017	15.169	93,24	87,29	82,52	83,78	108,41
	2018	1.794	93,72	89,12	81,76	80,68	108,96
	2019	3.105	93,84	88,49	82,58	82,05	108,52
	2020	2.154	92,58	86,93	82,77	82,74	106,41
	2021	3.206	95,17	87,44	78,75	78,97	108,53
	2022	17.364	94,86	86,56	84,54	85,58	109,95
R4	2016	584	88,10	81,43	77,23	77,81	102,38
	2017	1.108	88,52	82,94	79,66	78,99	104,30
	2018	300	89,90	86,88	78,10	77,90	105,51
	2019	1.545	89,57	84,71	80,04	80,35	104,24
	2020	5.131	89,48	83,59	81,55	82,03	106,13
	2021	419	91,75	84,59	80,42	80,62	107,12
	2022	681	87,57	79,47	80,45	80,63	102,57

Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por profundidade

A Tabela B.2.1.1-3 apresenta a mediana de cada região, nas faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m, para essas faixas de frequência.

Para a frequência de 63 Hz, não é possível afirmar que há diferenças entre as distribuições para as profundidades de 200 m, 500 m e 950 m para a região R1; e entre 50 m e 200 m na região R3. Entretanto, as demais diferenças entre as distribuições em cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, 6.454,9, p=0).

Para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m e 200 m e de



500 m e 950 m para a região R1; e de 50 m e 200 m na região R3. Entretanto, as demais distribuições em cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=10.432,1$, $p=0$).

Para a frequência de 500 Hz, não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 500 m; e de 200 m e 950 m para a região R1; entre 50 m e 500 m para a região R2; entre 200 m, 500 m e 950 m na região R3; e entre 50 m, 200 m e 500 m; e entre 500 m e 950 m na região R4. Entretanto, as demais distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=2.083,2$, $p=0$).

Para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 500 m na região R1; entre 50 m, 200 m e 500 m para a região R2; e entre todas as profundidades na região R4. Entretanto, todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=1.164,2$, $p=0$).

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que todas as distribuições em cada região são diferentes, a menos das profundidades de 200 e 500 m na região R1 (ANOVA, $F=3.004,9$, $p=0$).

Tabela B.2.1.1-3: Mediana para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m.

Região	Prof.,	No de Medições	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1,000 Hz	10Hz-10kHz
R1	50m	11.159	100,44	95,76	88,02	87,22	112,56
	200m	17.465	100,76	95,91	86,50	85,38	112,49
	500m	18.519	100,38	95,33	86,14	85,33	112,22
	950m	11.618	100,12	95,03	86,32	85,39	112,54
R2	50m	8.052	94,11	88,60	83,27	83,17	108,66
	200m	9.975	94,66	89,07	82,87	82,73	109,19
	500m	9.069	95,37	90,00	83,07	82,76	109,82
	950m	4.551	96,27	91,42	83,31	82,91	110,27
R3	50m	7.159	93,43	86,59	83,50	84,51	108,25
	200m	10.406	93,63	86,43	82,55	83,94	108,64
	500m	10.896	93,78	86,71	82,27	83,43	108,92
	950m	6.977	94,64	88,06	82,32	82,80	109,28
R4	50m	1.900	87,22	80,77	80,26	80,38	103,60
	200m	2.370	88,50	82,32	80,17	81,04	104,69
	500m	1.915	89,40	83,50	80,38	80,63	105,48
	950m	1.463	90,63	84,85	80,90	80,58	106,59



B.2.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas

Comparação entre as LFIs

Na Tabela B.2.1.2-1 são apresentadas as medianas para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. São apresentados, também, os resultados do teste estatístico (ANOVA) comparando as distribuições das linhas para cada frequência. Não é possível afirmar que há diferenças entre as distribuições para as linhas FA04 e FA03R, na banda de 1.000 Hz. As demais diferenças entre as distribuições das linhas são estatisticamente significativas para cada faixa de frequência.

Tabela B.2.1.2-1: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

LFI	Frequências / (teste ANOVA)			
	63 Hz (F=127.580, p=0)	125 Hz (F=257.391, p=0)	500 Hz (F=241.156, p=0)	1000 Hz (F=158.011, p=0)
FA01	101,16	97,25	88,36	86,56
FA02	101,99	99,74	96,01	94,51
FA03	97,12	90,32	83,17	83,80
FA04	89,38	84,60	80,82	81,52
FA05	94,33	87,55	81,55	82,50
FA06	92,99	85,51	80,14	80,26
FA03R	96,28	90,18	82,70	81,21
FA04R	95,93	90,20	83,94	83,34

Comparação entre as LFIs por ano

A Tabela B.2.1.2-2 apresenta as medianas de cada linha para as frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017 a 2022. São apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência. A linha FA06 não coletou dados no ano de 2017; as linhas FA03R e FA04R não coletaram dados antes de 2020; a linha FA03 não coletou dados em 2021 e 2022; e a linha FA04R não coletou dados em 2022, por isso, não aparecem nestes anos nos gráficos e na tabela.

Na frequência de 63 Hz, não é possível dizer que há diferenças entre os anos 2017 e 2021 para a linha FA01; entre 2020 e 2021 para a linha FA02; entre 2017, 2019 e 2021 para a linha FA04; e entre 2017 e 2021, e entre 2018, 2019 e 2022 para a linha FA05.



Na frequência de 125 Hz, o teste indicou que não é possível dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2020 e entre 2018 e 2021 para a linha FA01; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA02; entre os anos de 2017, 2020, 2021 e 2022 para a linha FA04; entre 2020 e 2021 para a linha FA04R; e entre os anos de 2018 e 2021 e entre 2019 e 2020 para a linha FA05.

Na frequência de 500 Hz, o teste indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA03; entre 2017 e 2022 e entre 2018 e 2019 para a linha FA04; entre 2018 e 2019 para a linha FA05; e entre 2018 e 2019 para a linha FA06.

Na frequência de 1.000 Hz, não é possível afirmar que houve diferenças entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA01; entre os anos de 2020 e 2021 na linha FA02; entre 2018 e 2020 na linha FA03; entre 2018 e 2019 e entre 2019 e 2022 na linha FA04; e entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA06.

Tabela B.2.1.2-2: Medianas para os dados das LFI's nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022. O teste estatístico ANOVA teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=27.984,7$, 125Hz – $F=55.863,5$, 500 Hz – $F=50.379,0$, 1.000 Hz – $F=34.039,1$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020. A linha FA03 não coletou dados em 2021 e 2022 e a linha FA04R não coletou dados em 2022.

	63Hz						125Hz					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022
FA01	101,1	101,5	102,2	100,5	101,5	99,4	96,6	97,6	96,5	96,7	97,9	97,8
FA02	98,6	101,1	102,1	102,2	102,6	103,9	96,0	99,2	99,0	99,8	100,6	102,3
FA03	96,1	95,9	98,6	99,9	NaN	NaN	90,6	90,2	90,5	90,1	NaN	NaN
FA04	88,7	90,1	89,4	93,2	89,8	88,0	85,1	83,7	84,7	83,8	84,7	84,9
FA05	94,3	93,8	93,8	94,7	94,5	94,6	88,2	87,3	88,3	88,1	87,1	86,7
FA06	NaN	92,5	93,6	93,0	94,2	92,0	NaN	84,3	85,6	87,9	86,5	83,4
FA03R	NaN	NaN	NaN	96,8	97,2	94,5	NaN	NaN	NaN	91,2	90,7	87,9
FA04R	NaN	NaN	NaN	95,7	97,7	NaN	NaN	NaN	NaN	90,3	89,5	NaN
	500Hz						1000Hz					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022
FA01	88,6	88,0	87,7	88,0	90,1	88,6	86,7	86,5	87,0	85,7	88,1	85,8
FA02	92,5	94,2	94,6	97,2	97,1	97,6	88,4	92,0	93,1	96,5	96,5	95,3
FA03	84,6	82,9	83,6	82,3	NaN	NaN	85,4	83,5	84,3	82,7	NaN	NaN
FA04	81,1	80,6	80,6	79,3	81,9	80,8	82,3	81,4	81,6	80,6	82,8	81,1
FA05	83,1	81,3	81,9	81,8	80,65	81,4	83,8	82,4	83,4	82,8	81,6	81,9
FA06	NaN	79,0	79,2	82,3	82,45	77,4	NaN	80,3	80,2	82,4	82,1	77,5
FA03R	NaN	NaN	NaN	83,7	83,10	81,1	NaN	NaN	NaN	82,9	81,4	79,1
FA04R	NaN	NaN	NaN	84,2	81,83	NaN	NaN	NaN	NaN	83,7	80,5	NaN

NaN: valores ausentes.



Comparação entre as LFIs por profundidade

A Tabela B.2.1.2-3 apresenta as medianas para os dados das LFIs nas faixas de frequência de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. São apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência.

Na frequência de 63 Hz, todas as diferenças entre as distribuições de cada linha nas diferentes profundidades foram consideradas estatisticamente significativas.

Na frequência de 125 Hz, o teste estatístico mostrou que as diferenças entre as profundidades em uma mesma linha são significativas estatisticamente.

Na frequência de 500 Hz, o teste estatístico mostrou que as diferenças entre as profundidades em uma mesma linha são significativas estatisticamente.

Na frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível dizer que existe diferenças entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA01.

Tabela B.2.1.2-3: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=55,027,7$, 125 Hz – $F=103,456,9$, 500 Hz – $F=92,335,1$, 1.000 Hz – $F=59,623,7$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.

	63Hz			125Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	99,48	101,87	101,85	97,18	97,67	96,95
FA02	99,99	102,97	102,18	98,34	101,46	99,61
FA03	96,10	97,78	97,11	88,85	89,85	90,86
FA04	96,35	90,79	88,99	91,73	87,75	83,91
FA05	93,71	94,47	94,66	87,53	87,42	87,58
FA06	95,65	88,02	94,01	88,07	79,98	86,35
FA03R	93,49	94,91	97,68	85,39	89,41	91,47
FA04R	NaN	93,94	97,33	NaN	89,57	90,54
	500Hz			1000Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	88,52	89,02	87,77	86,26	86,41	86,81
FA02	94,57	96,00	96,64	92,72	93,84	95,63
FA03	81,06	83,75	83,45	82,79	85,31	83,10
FA04	81,35	79,89	81,01	80,96	79,26	82,07
FA05	81,33	82,53	81,37	82,24	83,81	82,19
FA06	85,12	75,08	81,04	84,05	75,29	81,77
FA03R	78,77	81,55	84,70	78,14	79,91	83,53
FA04R	NaN	83,03	84,49	NaN	83,19	83,45



B.2.2 Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos

B.2.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos

Na Tabela B.2.2.1-1 são apresentadas as medianas das distribuições para cada OS e em cada banda.

Na banda de 63 Hz, o teste estatístico indicou que as distribuições apresentam diferenças significativas (ANOVA, $F=680.119$, $p=0$).

Para a banda centrada em 125 Hz, Todas as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $F=473.062$, $p=0$).

Para a banda de frequência de 500 Hz, Todas as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $F=143.050$, $p=0$).

Na banda de frequência de 1.000 Hz, as posições apresentam diferenças significativas estatisticamente (ANOVA, $F=74.021$, $p=0$).

Tabela B.2.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. Para cada frequência, as diferenças entre as distribuições foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $p=0$).

OS	No de Medições	63 Hz ($F=680.119$)	125 Hz ($F=473.062$)	500 Hz ($F=143.050$)	1,000 Hz ($F=74.021$)
OS1	645.851	94,79	102,30	101,23	98,15
OS1A	846.811	100,57	106,61	107,17	101,53
OS3R	365.090	98,19	103,01	101,25	98,78
OS3R1	237.100	102,32	105,35	103,28	99,50
OS3R2	354.553	103,61	105,99	103,26	99,16
OS2	419.979	84,11	93,84	108,79	98,21
OS2R	676.085	80,76	89,82	101,21	93,71
OS3	665.948	84,22	91,97	98,32	92,46

SEL_{24h} calculado para as oito posições analisadas

Quando se usou toda a faixa de frequência, não é possível dizer que houve diferença significativa entre o OS1 e o OS1A, nem entre os OS3R1 e o OS3R2 ou entre os OS3R1 e OS2 (ANOVA, $F= 6.396,4$, $p=0$)



Quando o espectro foi ponderado para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência, não é possível dizer que houve diferenças significativas entre o OS2 e o OS2R (ANOVA, $F= 6.396,4$, $p=0$).

Já para os dados com a resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência, não é possível dizer que haja diferenças significativas entre o OS1, OS1A e OS2; entre o OS3R e o OS3R2 nem entre o OS3R1 e o OS3R2; e entre o OS2R e o OS3. Nas demais comparações as diferenças entre as distribuições são significativas (ANOVA, $F= 6.396,4$, $p=0$).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

7º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2023

APÊNDICE C Modelagem do Ruído - Validação com Dados Medidos

A validação do modelo foi feita calculando-se a diferença entre os níveis obtidos pelo modelo (SPL_{MOD}) e aqueles calculados a partir dos dados medidos (SPL_{MED}) para as mesmas posições. A partir desta diferença (erro = $SPL_{MOD} - SPL_{MED}$) foi calculada a tendência do modelo (BIAS), que é a média aritmética dos erros, e o erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root Mean Square Error*), que é a raiz quadrada da média dos erros ao quadrado. A tendência indica o quanto o modelo subestima (BIAS < 0) ou superestima (BIAS > 0) os dados medidos, e o RMSE quantifica a grandeza do erro do modelo considerando de uma mesma maneira tanto erros positivos quanto negativos.

Para a validação, foram considerados os dados medidos em células de $1/6^\circ$, selecionadas sobre cinco trajetórias lineares cruzando regiões da Bacia de Santos com diferentes características de ruído. A Figura C-1 mostra as linhas usadas para a comparação. Na figura, observam-se quatro quadrados que representam as regiões R1, R2, R3 e R4, as mesmas utilizadas na análise dos resultados do monitoramento móvel (item III.1.1). As linhas passam pela região R1, que é a região onde ocorrem as atividades de E&P com maior intensidade.

As Figuras C-2 a C-11 apresentam gráficos com os níveis de ruído medido e modelado para as posições destas linhas, para as bandas de frequência de 63 Hz e 125 Hz, em função da latitude, na Linha 1, e em função da longitude, nas demais. Nos gráficos, a linha vermelha corresponde à mediana do ruído modelado em cada posição onde a linha passa, para todo o período de 2016 a 2021. Os pontos azuis representam os níveis de ruído para as medições realizadas em cada posição das linhas. As linhas roxa, amarela e verde representam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75%, respectivamente, dos dados medidos em cada célula. É importante ter em mente que a maior parte das medições em campo foram feitas mais próximas à região central da Bacia de Santos, principalmente com *gliders*, e desta região em direção ao sudoeste desta bacia, acompanhando a deriva dos perfiladores que foram lançados, preferencialmente, na região do Pré-sal. Poucas medições foram feitas na porção norte da Bacia de Santos ou na plataforma continental.



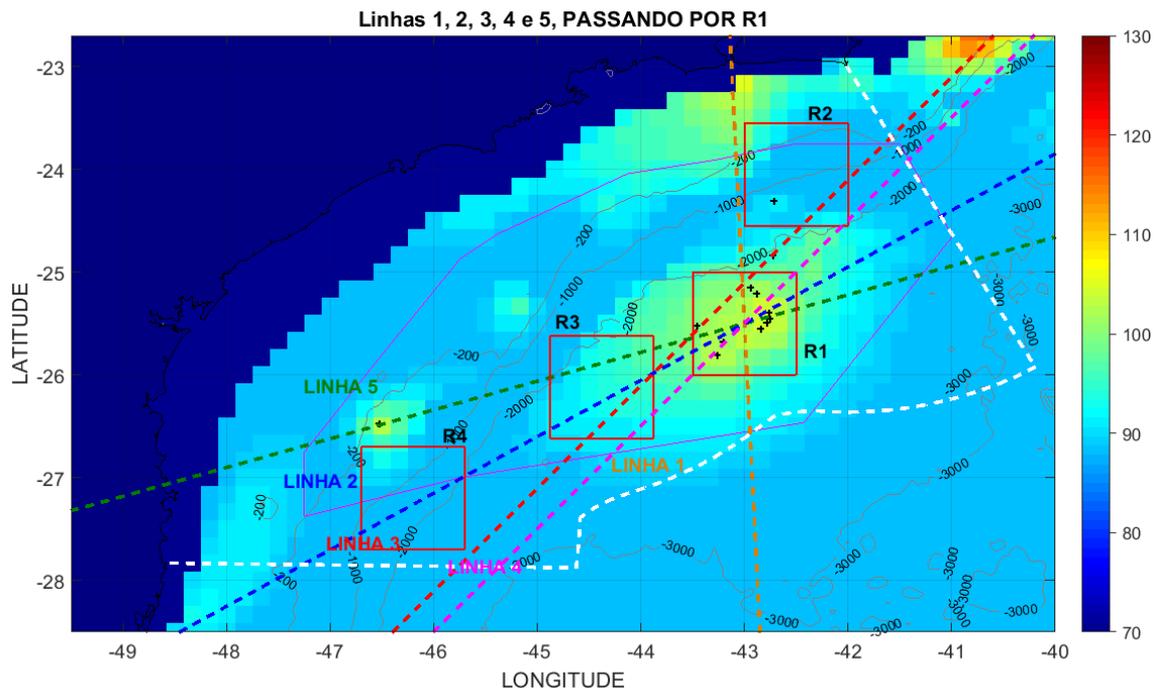


Figura C-1: Mapa ilustrativo mostrando quadrados delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e as cinco linhas usadas para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.

A Linha 1 é um transecto norte-sul passando pela entrada da Baía de Guanabara e pelo centro da região R4. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura C-2) e 125 Hz (Figura C-3) mostram que o modelo acompanha os dados medidos em toda a extensão da linha, sendo que na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = - 5,8 dB, RMSE = 6,0 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,45 dB, RMSE = 2,1 dB). É interessante notar que algumas poucas medições na plataforma continental, feitas entre as latitudes -24° a -23°, mostram uma elevação de energia que também é mostrada nos dados modelados.



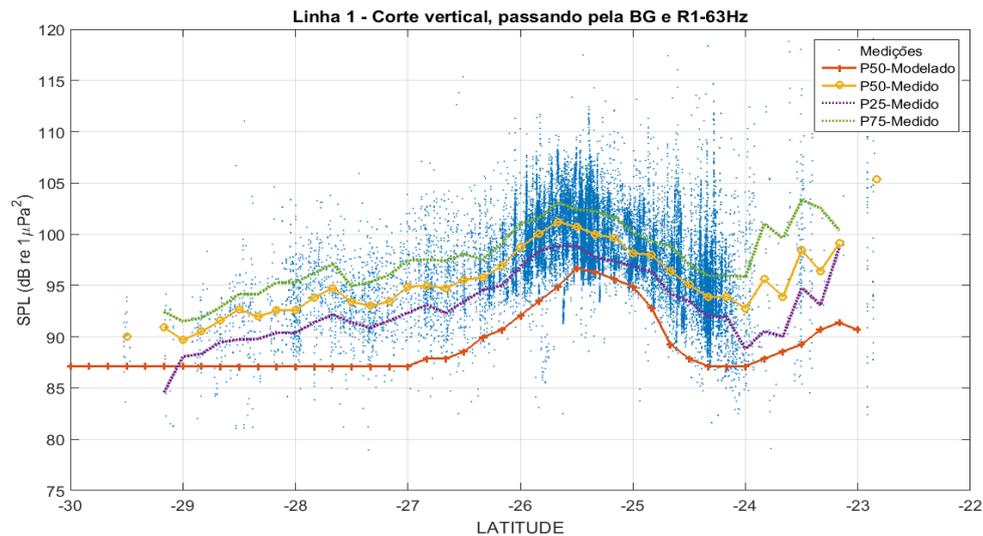


Figura C-2: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

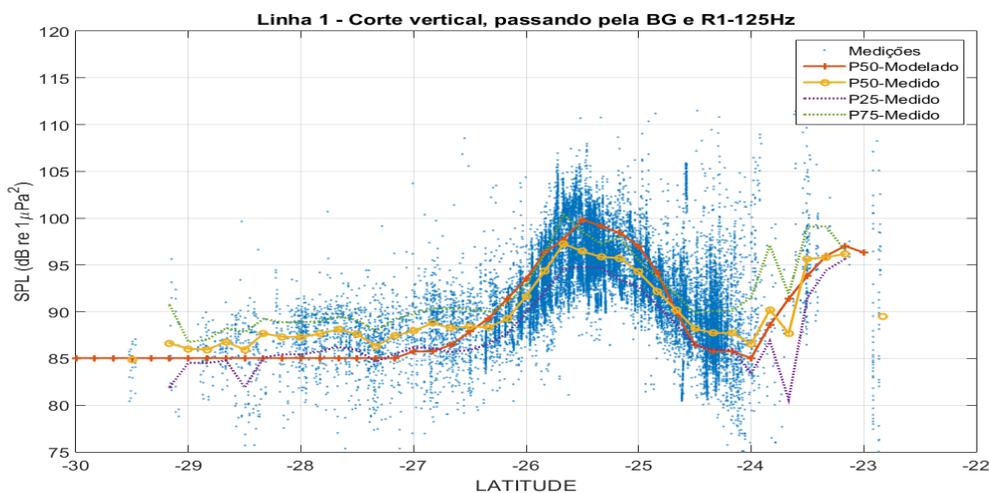


Figura C-3: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 2 é uma linha diagonal passando pelas regiões R1, R3 e R4, sendo a mesma linha apresentada na Figura III.1.1-1 da Seção III.1.1, para análise dos dados medidos. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz



(Figura C-4) e 125 Hz (Figura C-5) mostram que o modelo acompanha os dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -4,0 dB, RMSE = 5,3 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,36 dB, RMSE = 3,8 dB). As maiores diferenças entre o modelo e as medições ocorre acima da latitude de -41° , onde o número de medições é menor e as estatísticas de ruído derivadas das medições, menos confiáveis.

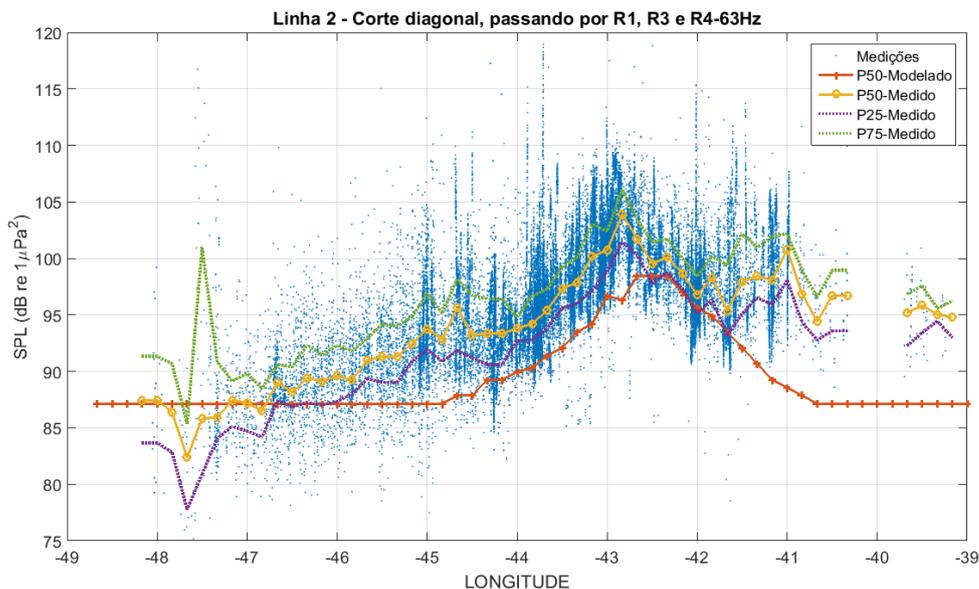


Figura C-4: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



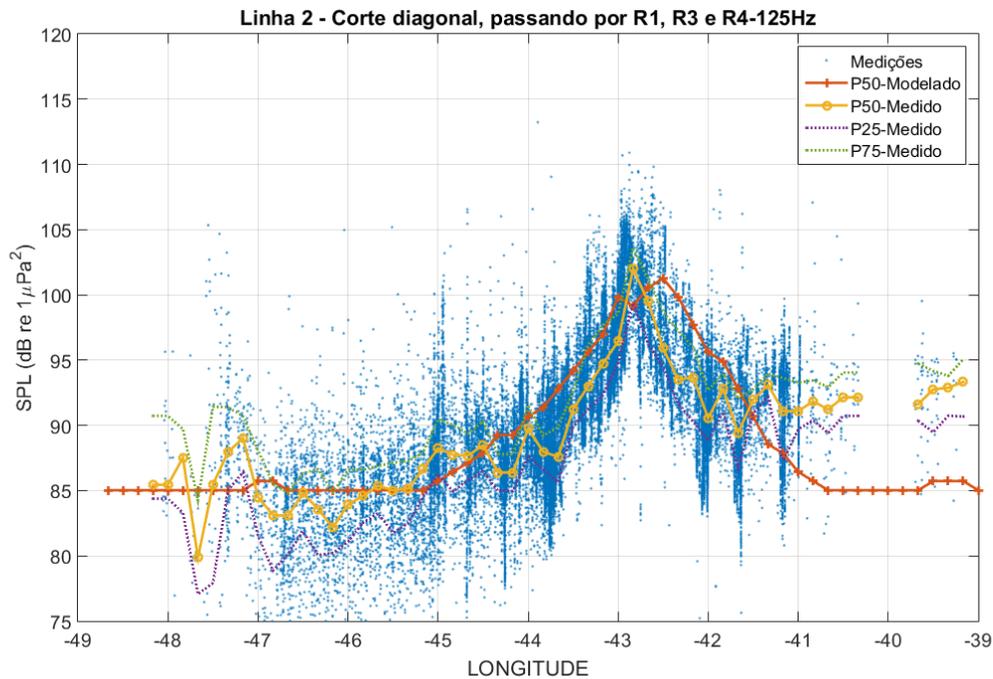


Figura C-5: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 3 é uma linha diagonal passando pelos vértices da região R1. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura C-6) e 125 Hz (Figura C-7) mostram que o modelo acompanha as tendências dos dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -4,4, RMSE = 5,1 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,42 dB, RMSE = 3,9 dB). O modelo mostra uma elevação nos níveis do ruído em latitudes acima de -41°, que é corroborado pelas poucas medições feitas neste trecho.



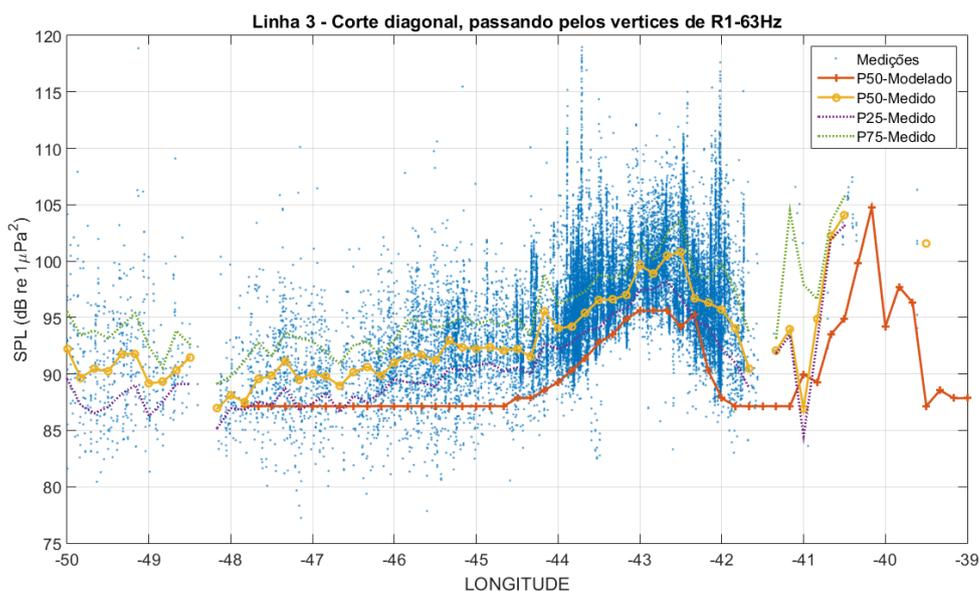


Figura C-6: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

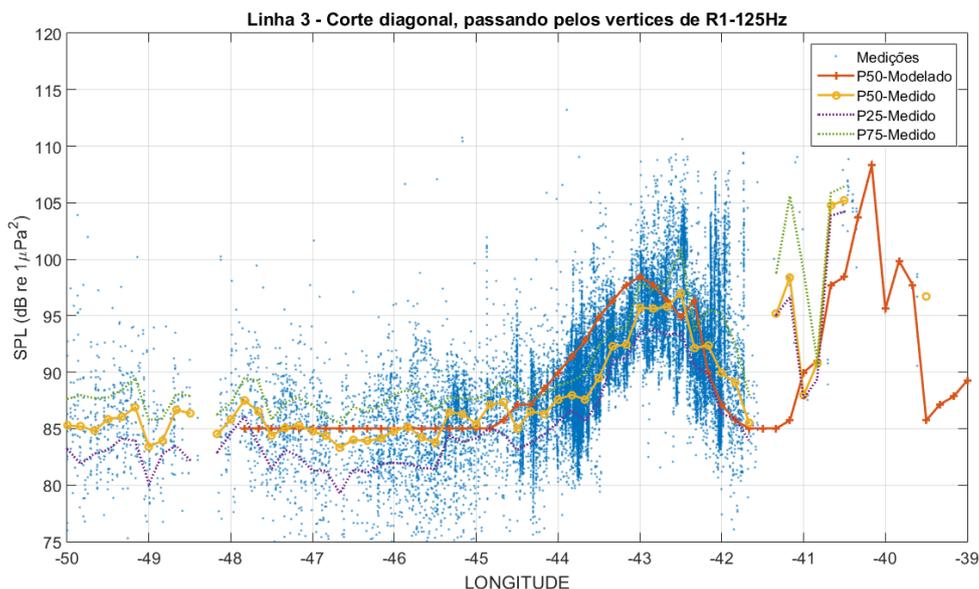


Figura C-7: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.



A Linha 4 é uma linha diagonal paralela à Linha 3, passando um pouco mais ao norte dela. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura C-8) e 125 Hz (Figura C-9) mostram que o modelo acompanha as variações espaciais dos níveis medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = - 4,4 dB, RMSE = 5,0 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,45 dB +/- 3,2 dB). Assim como foi visto na Linha 3, o modelo mostra uma elevação nos níveis de ruído acima da longitude de -41°, que é indicado, também, pelas poucas medições feitas neste trecho.

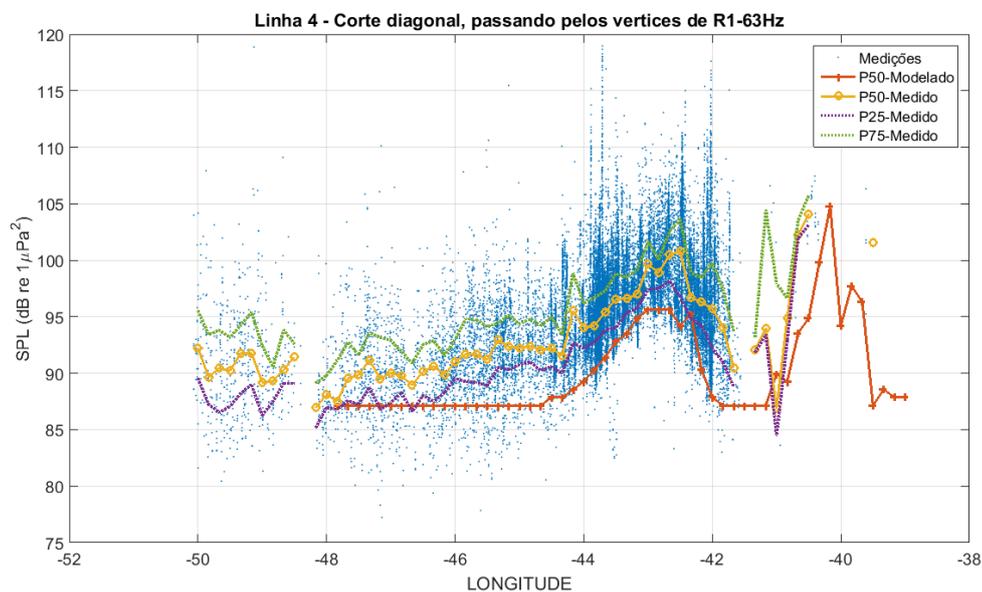


Figura C-8: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



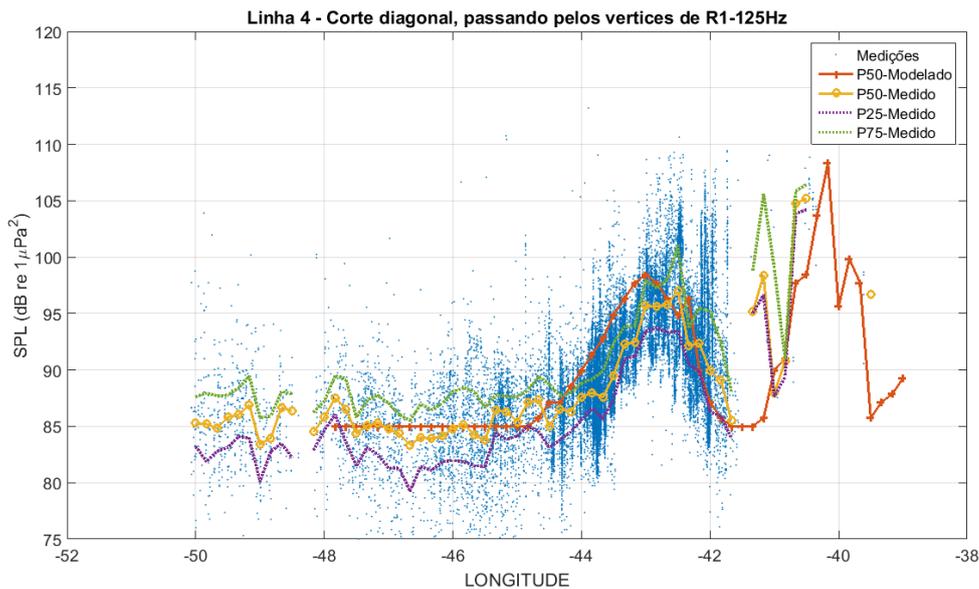


Figura C-9: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 5 é uma linha diagonal passando pela região R1 e ao norte da região R4, onde se destaca uma região com maiores níveis. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura C-10) e 125 Hz (Figura C-11) mostram que o modelo apresenta um padrão semelhante àquele obtido através dos dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = 3,6 dB, RMSE = 5,4 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (0,68 dB, RMSE = 5,0 dB). A elevação de energia vista no modelo ao norte da região R4, entre as longitudes -47° e -46° , também é vista nos dados medidos.



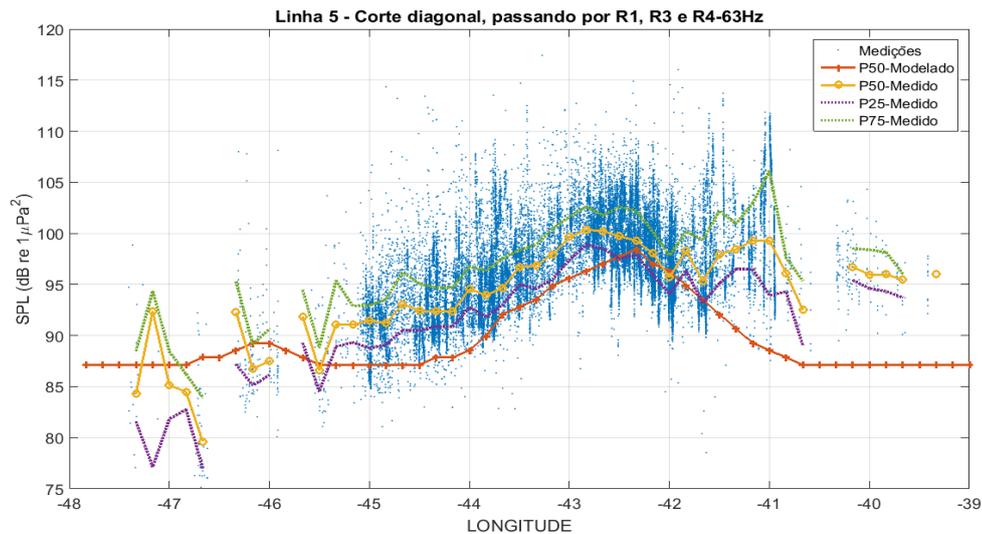


Figura C-10: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

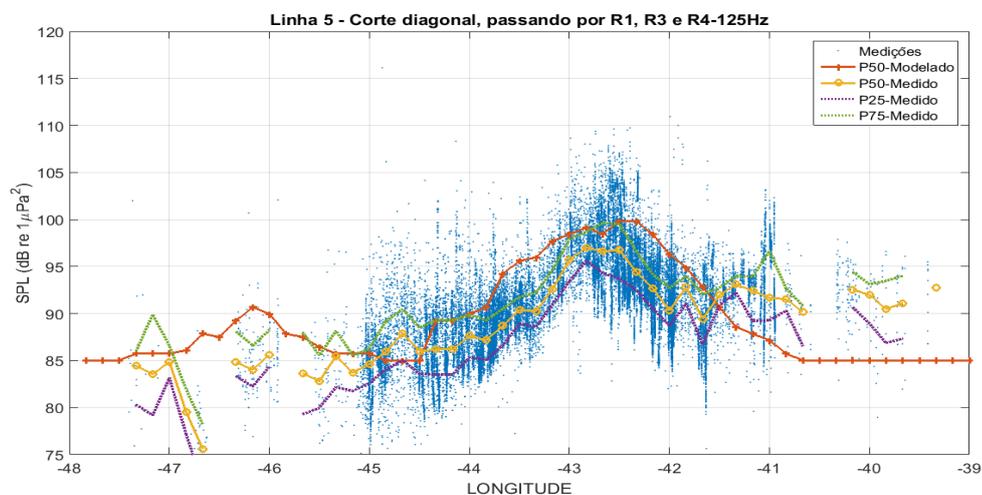


Figura C-11: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

Estas comparações mostram que o modelo é capaz de reproduzir com relativa precisão os padrões de variação espacial do ruído medido nos diferentes domínios fisiográficos da Bacia de Santos, o que inclui regiões profundas e rasas



(plataforma continental) com variada intensidade de atividades de E&P e navegação. A magnitude do erro, no entanto, varia dependendo da banda de frequência modelada, existindo uma tendência de aproximadamente -4,4 dB (BIAS = -4,4 dB, RMSE = 5,4 dB) para a frequência de 63 Hz e uma tendência bem menor, em torno de -0,2 dB (BIAS = -0,18 dB, RMSE = 3,8 dB) para a frequência de 125 Hz, considerando todas as linhas agrupadas. As causas destas diferenças foram investigadas e alguns testes realizados indicaram que o valor do nível de ruído de fundo em 63 Hz, ao qual os ruídos irradiados das fontes são somados, seriam maiores do que o valor ora utilizado. Cabe ressaltar que os valores medidos também possuem uma margem de incerteza associado ao quantitativo amostral e aos erros instrumentais e que deverão ser estimados para uma comparação mais adequada entre o modelo e a medição.

No processo normal de desenvolvimento do modelo de ruído, estas diferenças são usadas para melhorar a estimativa dos dados de entrada, como os valores do ruído ambiente na ausência de embarcações e os níveis irradiados pelas embarcações presentes no AIS. A inclusão de outras fontes sonoras antropogênicas, como as relacionadas com a prospecção sísmica e atividades da perfuração de poços, ou bióticas, como a vocalização de cetáceos e coros de peixes e invertebrados, pode ajudar a aproximar os níveis modelados dos medidos em campo.



APÊNDICE D Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados

D.1 Monitoramento Móvel

D.1.1 Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores

O equipamento utilizado foi o **PABLO** (do inglês, *Profiling Acoustic Buoyant Lagrangian Observing system*), fabricado pela MetOcean Telematics, que é um derivador lagrangiano oceânico descartável concebido para adquirir dados acústicos em perfis de até 1.000 m de profundidade, através de controle de sua flutuabilidade e derivando com as correntes. Sua operação consiste em ciclos de descida, deriva submersa na profundidade de estacionamento, subida realizando janelas acústicas programadas e transmissão de dados via satélite de comunicação Iridium, a cada emergência.

Para cada janela acústica realizada nas profundidades programadas, o sistema de aquisição presente no perfilador obtém um minuto de gravação. O próprio equipamento processa as séries temporais das janelas acústicas e gera os parâmetros acústicos e espectros que são enviados por satélite a cada emergência. Os dados recebidos de cada perfilador são analisados para se obter informações da operação do equipamento, incluindo seu tempo de vida e tempos entre janelas acústicas medidas. Os parâmetros acústicos passam por um processo de qualificação e os dados qualificados são disponibilizados num sistema de informação, disponível para consulta.

D.1.2 Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders

Os *gliders* são veículos submersíveis autônomos – **VSA (AUV – Autonomous Underwater Vehicles)**, controlados remotamente por satélite, sendo capazes de mergulhar a profundidades de até 1.000 metros e de seguir rotas programadas pelo usuário. São utilizados os modelos *Seaglider*, fabricado pela empresa Kongsberg e *Slocum*, fabricado pela Teledyne, que permitem a coleta contínua de dados oceanográficos de temperatura, condutividade e



profundidade, usando um sensor de CTD (do inglês, **C**onductivity, **T**emperature, **D**epth), e sua transmissão ocorre quando o *glider* retorna à superfície. Os *gliders* também podem conduzir equipamento para monitoramento acústico passivo (**PAM**, do inglês **P**assive **A**coustic **M**onitoring), que é programado para adquirir os dados acústicos recebidos por hidrofone e sistema de aquisição, operando de forma contínua. O PAM permanece ligado durante todo o período de descida e encerra sua gravação ao fim da descida (o PAM permanece desligado durante a subida do equipamento). Ao atingir a superfície, o *glider* transmite via satélite as informações de navegação do mergulho e os dados do CTD.

Ao final da missão, com duração associada à capacidade das baterias e memória, uma embarcação vai ao encontro do *glider* em seu ponto de emersão e realiza a sua recuperação. Os arquivos de áudio são armazenados internamente e só são disponíveis com a recuperação do *glider*.

Nos *gliders*, é realizada a gravação quase contínua de sinais acústicos. Os sinais gravados são processados pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) para a obtenção de parâmetros acústicos a cada minuto de sinal. Para cada um destes minutos, os parâmetros acústicos passam por um processo de qualificação, antes de serem inseridos no sistema de informações. Na primeira etapa de qualificação, são identificados e separados os trechos contaminados pelo ruído do próprio veículo, quando da atuação de bombas e motores internos, atuação esta que é registrada pelo próprio equipamento ou detectada por um aplicativo do fabricante do equipamento. Ainda nesta etapa, são separados, também, os trechos onde o ruído de fluxo devido ao movimento do *glider* possa ter afetado o sinal gravado.

O processamento dos sinais acústicos dos *gliders* é feito seguindo procedimentos semelhantes aos realizados pelos perfiladores em seu processamento interno dos sinais acústicos coletados.



D.2 Monitoramento Fixo

D.2.1 Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs)

Os Observatórios Submarinos (OSs) são sistemas de gravação de sinais acústicos instalados junto ao fundo em regiões costeiras na Bacia de Santos. O objetivo dos OSs é, principalmente, a obtenção do ruído de embarcações, para uso no Sistema de Modelagem Acústica desenvolvido para o PMPAS-BS.

Nos OSs são instalados gravadores autônomos programados para gravar o sinal acústico no meio de forma contínua. Estes gravadores são equipados com hidrofones, pré-amplificadores e processadores que recebem e armazenam o ruído acústico produzido pelo meio e por outras fontes de ruído presentes, como embarcações e animais marinhos.

Os equipamentos são programados para gravação contínua ou pulsada dos sinais acústicos. A sua recuperação ou troca é realizada em intervalos da ordem de 45 a 60 dias.

O processamento dos sinais acústicos gravados nos OSs é realizado para a obtenção de parâmetros acústicos, que são usados para a descrição do ruído ambiente e das emissões acústicas de embarcações nas regiões onde os OSs estão instalados. No processamento dos sinais, são obtidos parâmetros acústicos para cada minuto de gravação. Nos trechos onde seja detectada a passagem de uma embarcação, são obtidos os níveis devido a ela e é feita uma correlação do tempo da detecção com informações do sistema AIS, numa tentativa de identificar a embarcação.

D.2.2 Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs)

As Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs) consistem numa linha, presa por um liberador acústico a uma poita e terminando numa boia submersa de flutuação, a cerca de 50 m de profundidade, sendo instaladas em regiões com



atividades de produção, em desenvolvimento da produção, sem atividades de E&P e com tráfego marítimo para E&P.

Na linha, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. O período pretendido de recuperação das linhas é da ordem de seis meses.

Ao término do período de aquisição, uma embarcação próxima emite um sinal acústico de liberação e o liberador acústico solta a linha da poita. Sua extremidade superior emerge, permitindo a sua recuperação para troca de equipamentos, de baterias e recuperação dos dados.

Os parâmetros espectrais obtidos para os dados acústicos gravados nas LFI são usados para descrever a paisagem acústica na posição onde elas estão instaladas, permitindo acompanhar a evolução do ruído ambiente em diferentes condições de atividade antrópica.

Para garantir a qualidade dos dados obtidos, é necessário que se possa identificar e separar os dados que possam estar contaminados por fontes de ruído isoladas e identificáveis, como o ruído próprio destas linhas, causado, por exemplo, pela vibração induzida por correntes oceânicas. Esta identificação é feita, para cada trecho de sinal gravado, verificando se existe correlação entre o ruído medido e a velocidade da corrente oceânica. Caso esta condição ocorra, os parâmetros acústicos daquele trecho não são inseridos no sistema de informação.

D.2.3 Dados Ambientais

Com intuito de verificar possíveis correlações entre os dados coletados pelos sensores acústicos e parâmetros abióticos, podem ser utilizados parâmetros ambientais, como o vento e a altura significativa de onda. Os dados horários de vento e onda, com resolução de aproximadamente 27 km, são extraídos do produto ERA5 da ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Tais parâmetros são filtrados espacialmente, de acordo com as regiões de interesse, e temporalmente em relação aos períodos de medição dos dados acústicos.



D.3 Densidade de Embarcações

As posições das embarcações nas regiões de interesse são obtidas a partir de dados do Sistema de Identificação Automática (*Automatic Identification System – AIS*) fornecidos pela PETROBRAS. Além das posições, esses dados fornecem o tipo, o rumo, a velocidade e nome de cada embarcação listada no sistema.

D.4 Georreferenciamento dos Dados Acústicos

As posições das medições acústicas estão referenciadas em coordenadas geográficas, em *Datum WGS-84*. No caso dos perfiladores, a posição fornecida é determinada pelo seu receptor GPS, no ponto de emersão. No caso dos *gliders* a posição é interpolada a partir dos pontos de início e final do mergulho, obtidos pelo seu GPS, utilizando-se, como referência, os tempos das medições obtidas pelo seu CTD. No caso das Linhas de Fundeio e dos Observatórios Submarinos, a posição adotada é a posição de lançamento de sua poita, na superfície, sendo que pode ocorrer deriva por efeito da correnteza até sua chegada ao piso marinho. Além disto, para as LFI's deve ser observado que a linha se move por efeito das correntes, podendo sua extremidade superior derivar por centenas de metros em relação à poita.

D.5 Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais

As medições acústicas são marcadas pela data/hora de sua aquisição, sincronizadas pelos seus equipamentos na superfície antes do lançamento. A hora adotada é a hora UTC. Os parâmetros acústicos são obtidos por trechos de um minuto, a partir da hora inicial da gravação de um arquivo de dados, não correspondendo, obrigatoriamente, a um minuto cheio.



D.6 Sistema de Informações

Um grande volume de dados (sinais sonoros, dados ambientais, dados de instrumentação oceanográfica, entre outros) é coletado no âmbito do PMPAS-BS, sendo processado, armazenado e disponibilizado numa plataforma *web* com o apoio de um sistema de informação. Esses dados processados servem de insumo para análises com relação às variações espaço-temporais para verificar padrões na paisagem acústica, levando em consideração variações circadianas, sazonais, interanuais e alterações relacionadas às atividades de exploração e produção de petróleo na Bacia de Santos.

Para atender aos dados acústicos e complementares coletados pelo projeto PMPAS-BS foi desenvolvido o **Sistema de Modelagem e Medições Acústicas Oceânicas – SIMMAO**, que é um sistema de informações composto por um conjunto de ferramentas e um banco de dados para armazenamento, em ambiente confiável e seguro, dos dados medidos pelas linhas de fundeio instrumentadas (LFIs), observatórios submarinos (OSs), *gliders* e perfiladores acústicos, dados complementares (posições e ambientais), metadados associados, resultados gerados pelo processamento e análise destes dados, além dos parâmetros estatísticos calculados sobre conjuntos de medições.

O banco de dados armazena também os resultados e mapas produzidos pelo sistema de modelagem de ruído ambiental, descrito na Seção IV.

As ferramentas desenvolvidas para o **SIMMAO** facilitam o recebimento, a verificação de consistência e a armazenagem dos dados brutos; o recebimento e a armazenagem dos metadados associados; o processamento dos dados; a armazenagem e a disponibilização dos dados processados para a comunidade científica por meio de página *web* com acesso controlado na internet.

D.7 Processamento e Arquivamento dos Dados

D.7.1 Consistência e Qualificação dos Dados

Os sinais acústicos são avaliados quanto a sua consistência, verificando-se a integridade dos arquivos recebidos e se os sinais gravados não contêm



distorções como trechos com saturação ou com níveis muito baixos de sinal. Os sinais que apresentam problemas de consistência são removidos das fases seguintes de processamento.

O processamento tem o propósito de obter parâmetros acústicos a cada minuto de sinal. Estes parâmetros devem passar por um processo de qualificação para poderem ser inseridos no sistema de informações. Para todos os sistemas, a fase final de qualificação consiste em se detectar a presença de dados espúrios, baseado na definição de limiares de detecção nas distribuições estatísticas dos parâmetros.

Para os perfiladores, como a obtenção dos parâmetros acústicos é feita pelo próprio equipamento, nenhuma outra avaliação é feita antes da detecção dos dados espúrios.

Para os outros sistemas (*gliders*, OSs e LFIs), os trechos de sinal são avaliados quanto à presença de ruído próprio e de ruído de fluxo. Caso estes ruídos estejam presentes, o trecho não será inserido no sistema de informações. Os trechos restantes passam, então, pelo processo de detecção de dados espúrios, após o qual, os dados qualificados são inseridos no sistema de informações.

D.7.2 Definição dos Parâmetros Processados

As diretrizes da Comunidade Europeia sobre poluição acústica dos mares recomendam a monitoração do valor médio quadrático (RMS, do inglês **Root Mean Square**) do SPL em bandas de 1/3 de oitava. As quatro bandas de frequência (63, 125, 500 e 1.000 Hz) foram escolhidas atendendo às recomendações dos *guidelines* internacionais para monitoramento da paisagem acústica submarina (Dekeling *et al.*, 2014a; Jensen *et al.*, 2011). A seleção das bandas de 63 e 125 Hz foi feita considerando que é nessas bandas onde ocorre a assinatura típica do ruído de embarcações (Dekeling *et al.*, 2014a, 2014b). As bandas de 500 e 1.000 Hz foram selecionadas por serem impactadas por fontes de ruídos ambientais (Jensen *et al.*, 2011; Ross, 1976). Os parâmetros de SPL considerados para cada uma destas bandas de frequência são os valores



espectrais no percentil de 50% das bandas de 1/3 de oitava correspondentes (SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz}).

Foi adotado o critério de processar as janelas das séries temporais registradas pelos *gliders*, LFI e OSs e para cada janela acústica, da ordem de um minuto, calcular os parâmetros:

- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS médio entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 5% entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 50% entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 95% entre 10 Hz e 10 kHz;
- SPL_{RMS} Médio;
- SPL_{MAX};
- SPL_{pico-a-pico};
- SPL_{pico};
- SPL_{63Hz};
- SPL_{125Hz};
- SPL_{500Hz};
- SPL_{1000Hz}.

Os valores de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} são recuperados dos espectros estimados no percentil de 50%.

D.7.3 Apresentação dos Dados e Resultados

As próximas seções mostram, de maneira genérica, como os dados e resultados são apresentados.

D.7.3.1 Resolução Espacial Plana

Para o caso do monitoramento móvel (*gliders* e perfiladores), foi adotada a apresentação de densidade amostral e de SPL, em dB re 1 μ Pa², com uma



resolução espacial de 1/6 de grau (quadrados com cerca de 18,5 km de lado – 10 mn). A resolução de 1/6 de grau vem sendo adotada como referência para representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos ambientais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma uniformidade na forma de sua apresentação.

D.7.3.2 Resolução Espacial Vertical

As medições foram classificadas em três faixas de profundidades: de 0 a 100 m, 150 a 300 m e 850 a 1.100 m, sendo estas as faixas que incluem as profundidades das medições das Linhas de Fundeio Instrumentadas, que estão a 50 m, 200 m e 950 m.

D.7.3.3 Resolução Espectral

A resolução espectral adotada é a de 1/3 de oitava. As bandas de 1/3 de oitava e suas frequências centrais consideradas são apresentadas na Tabela D.7.3.3-1. A largura das bandas de um filtro de 1/3 de oitava é proporcional à sua frequência central, podendo ser obtida multiplicando-se esta frequência por 0,2308 (ANSI, 2004).

Tabela D.7.3.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.

#Banda	Freq. Central						
1	6,3	11	63,1	21	631	31	6.310
2	7,9	12	79,4	22	794	32	7.943
3	10	13	100,0	23	1.000	33	10.000
4	12,6	14	125,9	24	1.259	34	12.589
5	15,8	15	158,5	25	1.585	35	15.849
6	19,9	16	199,5	26	1.995	36	19.953
7	25,1	17	251,2	27	2.512	37	25.119
8	31,6	18	316,2	28	3.162	38	31.698
9	39,8	19	398,1	29	3.981	39	39.906
10	50,1	20	501,2	30	5.012	40	50.238

D.7.3.4 Resolução Temporal

A resolução temporal depende do equipamento empregado. Para os perfiladores, é realizado um ou dois ciclos de medição por dia, com a aquisição



de cinco janelas acústicas de um minuto de sinal, em profundidades diferentes durante a fase de subida.

Para os *gliders*, são feitas gravações na parte da descida de alguns mergulhos realizados ao longo do dia. Isto corresponde a trechos de até três horas de gravação contínua, repetida de duas a três vezes por dia.

Para os OSs, são feitas gravações contínuas durante todo o período em que o equipamento está instalado, sendo que cada ciclo de gravação dura entre 45 e 60 dias. Em algumas poucas situações em que foi necessário aumentar a autonomia dos equipamentos, a gravação foi feita de forma pulsada, com gravação de 30 minutos e um tempo de espera, sem gravação, de 90 minutos.

Para as LFIs, são feitas gravações pulsadas, com a aquisição de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. As LFIs permanecem no mar por um período planejado de 6 meses.

Para todos os sistemas de aquisição, os parâmetros acústicos são calculados para trechos de um minuto de sinal, considerando-se a hora do início das gravações como tempo de referência. Para as LFIs, são usados 60 dos 85 segundos disponíveis por gravação para a obtenção dos parâmetros acústicos.

D.7.3.5 Densidade Amostral Espacial

Esta apresentação consiste em mostrar o número de medições válidas, num mapa tridimensional cobrindo a região sudeste do Brasil, entre as latitudes 30° S e 22° S e longitudes 49° W e 39° W, com a resolução de quadrados de 1/6 de grau. A Figura D.7.3.5-1 mostra um exemplo desta apresentação. A escala de cores corresponde ao número de medições válidas realizadas em cada quadrado, para as classes de profundidade de 0 a 100 m, 150 a 300 m e 900 a 1.100 m, a partir de perfiladores ou *gliders*. São representadas: a linha da costa do Brasil (linha em azul); as isóbatas de 200 e 2.000 metros (linhas em vermelho); um polígono definindo a área geográfica da Bacia de Santos (linha em magenta); e a posição de algumas plataformas (cruzes em preto)).



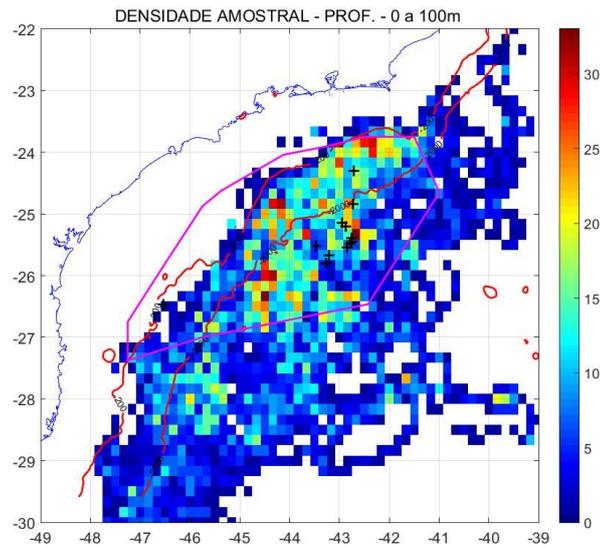


Figura D.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.

D.7.3.6 Nível de Pressão Sonora Espacial

Esta apresentação consiste em mostrar um mapa tridimensional com a resolução de quadrados de 1/6 de grau, para as classes de profundidade, dos valores de SPL RMS, de pico e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, a partir de dados de perfiladores ou *gliders*. A Figura D.7.3.6-1 mostra um exemplo desta apresentação.



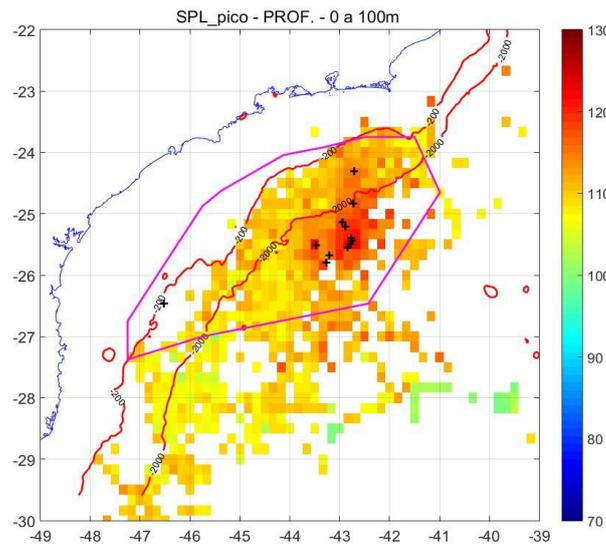


Figura D.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

D.7.3.7 Nível da Pressão Sonora Temporal

Esta apresentação consiste na apresentação dos valores de SPL RMS médio ou de pico de janelas na resolução temporal de um minuto, no mesmo local, e para cada profundidade, ao longo do tempo. A Figura D.7.3.7-1 mostra um exemplo desta apresentação.

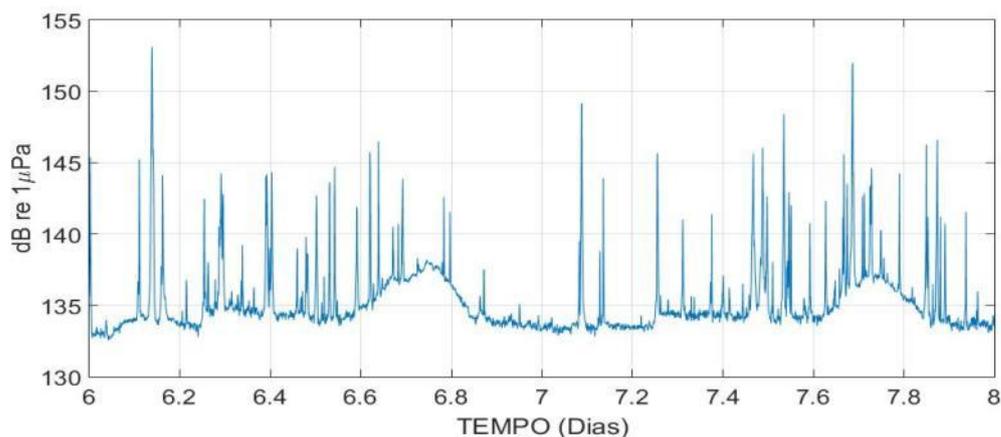


Figura D.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.

D.7.3.8 Espectros de 1/3 de Oitava

Esta apresentação consiste dos espectros de 1/3 de oitava do SPL RMS entre 10 Hz e 10 kHz, médio, e de percentis de 5%, 50% e 95% de uma janela de medição. A Figura D.7.3.8-1 mostra um exemplo de espectro de 1/3 de oitava de um sinal gravado num OS.

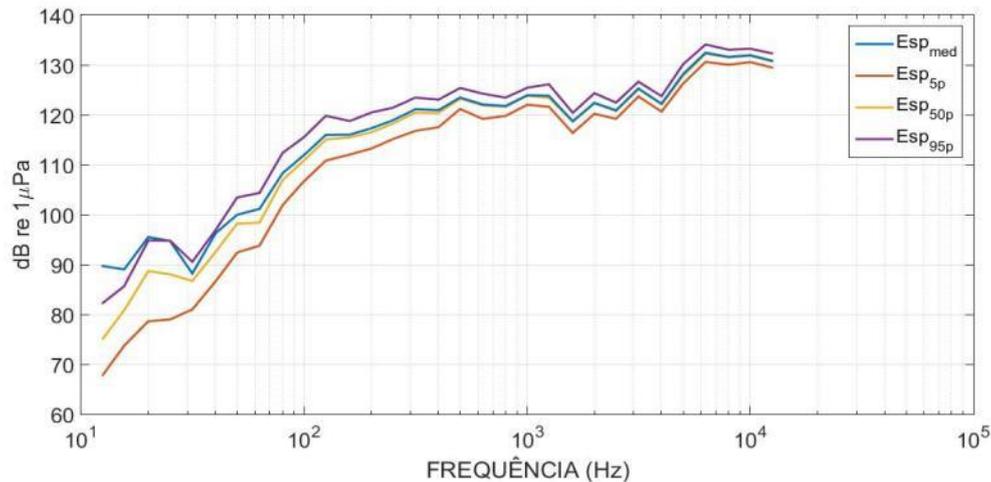


Figura D.7.3.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.

D.7.3.9 Espectrogramas

Esta apresentação consiste num mapa tridimensional mostrando a energia nas bandas dos espectros de 1/3 de oitava de um sinal e sua evolução ao longo do tempo, permitindo ver seu comportamento dinâmico. A Figura D.7.3.9-1 mostra um exemplo de um espectrograma onde se vê a passagem de duas embarcações. O eixo vertical representa a frequência, crescendo para cima, e o eixo horizontal representa o tempo. A intensidade dos sinais é dada por uma escala de cores, onde o mais claro representa maior energia.

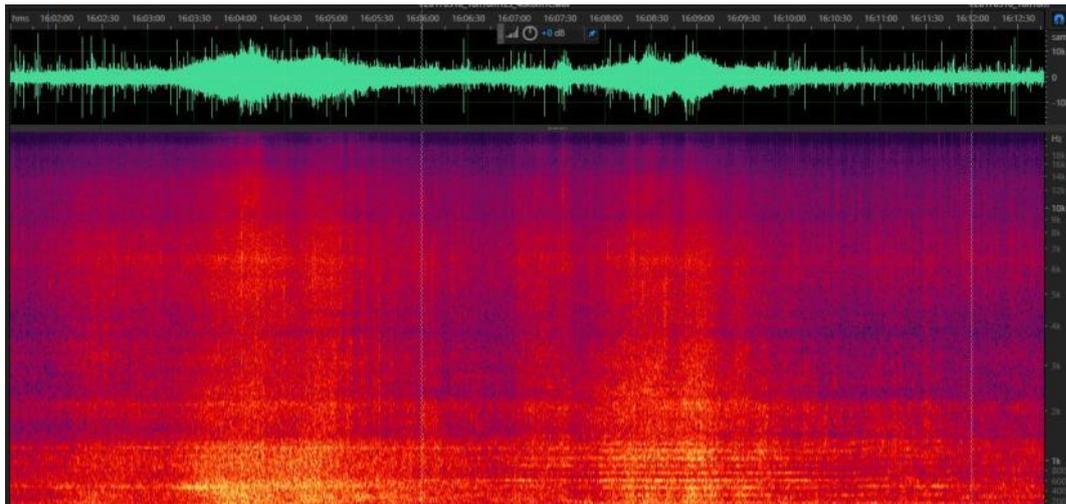


Figura D.7.3.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.

D.7.3.10 Nível de Exposição Sonora – SEL_{24H}

Os parâmetros espectrais calculados a partir dos sinais acústicos gravados no projeto PMPAS-BS foram usados para calcular a energia acumulada num intervalo de 24 horas, chamado de nível de exposição sonora, SEL_{24H} (do inglês, *Sound Exposure Level*). O SEL_{24H} é usado por diversos autores para avaliar o impacto em animais marinhos das fontes sonoras presentes num meio (NOAA, 2016). No presente relatório, os dados obtidos são calculados utilizando a banda de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

O SEL_{24h} foi calculado, também, filtrando o espectro de potência original usando pesos correspondentes aos audiogramas para grupos de baixa e média frequências entre os cetáceos (LF e MF, respectivamente), usando a fórmula em Finneran (2016):

$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\} \quad (D.7.3.10-1)$$

onde $W(f)$ é a amplitude da função de ponderação na frequência f , em kHz, C é o ganho da função, f_1 e f_2 são as frequências de corte inferior e superior, respectivamente e a e b são expoentes não dimensionais para baixa e alta frequências, respectivamente. As funções usadas para calcular SEL_{24h_LF} e



SEL_{24h_MF} usaram os valores de C, f1, f2, a e b apresentados nas duas primeiras linhas da Tabela D.7.3.10-1. Nesta tabela são apresentados, também, os limiares para o TTS e o PTS para os diversos grupos de mamíferos marinhos.

Tabela D.7.3.10-1: Sumário dos parâmetros da função de pesos e limiares de TTS e PTS. Os limiares do SEL estão em dB re 1µPa².s e para SPL_{pico} em dB re 1µPa². A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a (D.7.3.10-1). No cálculo do SPL_{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).

Grupo	Parâmetros da Equação (A.7.6.10-1)					Não impulsivo		Impulsivo			
	a	b	f1 (kHz)	f2 (kHz)	C (dB)	Limiar TTS	Limiar PTS	Limiar TTS		Limiar PTS	
						SEL (pond.)	SEL (pond.)	SEL (pond.)	SPL _{pico} (não pond.)	SEL (pond.)	SPL _{pico} (não pond.)
LF	1	2	0,20	19	0,13	179	199	168	213	183	219
MF	1,6	2	8,8	110	1,20	178	198	170	224	185	230
HF	1,8	2	12	140	1,36	153	173	140	196	155	202
SI	1,8	2	4,3	25	2,62	186	206	175	220	190	226
OW	2	2	0,94	25	0,64	199	219	188	226	203	232
PW	1	2	1,9	30	0,75	181	201	170	212	185	218

A Figura D.7.3.10-1 mostra os pesos para os diversos grupos de espécies de mamíferos marinhos calculados com a fórmula e tabela acima. Neste trabalho, foram usados apenas as curvas referentes aos grupos LF e MF.

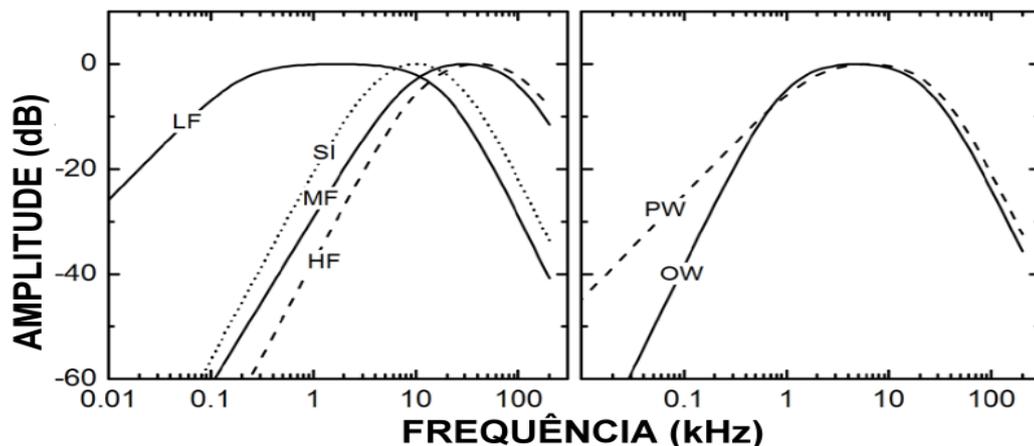


Figura D.7.3.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela D.7.3.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).

A Tabela D.7.3.10-2 apresenta, para cada curva de pesos, os membros dos grupos de espécies de mamíferos marinhos correspondentes.

Tabela D.7.3.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).

Code	Name	Members
LF	Low-frequency cetaceans	Family Balaenidae (right and bowhead whales) Family Balaenopteridae (rorquals) Family Eschrichtiidae (gray whale) Family Neobalaenidae (pygmy right whale)
MF	Mid-frequency cetaceans	Family Ziphiidae (beaked whales) Family Physeteridae (Sperm whale) Family Monodontidae (Irrawaddy dolphin, beluga, narwhal) Subfamily Delphininae (white-beaked/white-sided/Risso's/bottlenose/spotted/spinner/striped/common dolphins) Subfamily Orcininae (melon-headed whales, false/pygmy killer whale, killer whale, pilot whales) Subfamily Stenoninae (rough-toothed/humpback dolphins) Genus <i>Lissodelphis</i> (right whale dolphins) <i>Lagenorhynchus albirostris</i> (white-beaked dolphin) <i>Lagenorhynchus acutus</i> (Atlantic white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obliquidens</i> (Pacific white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obscurus</i> (dusky dolphin)
HF	High-frequency cetaceans	Family Phocoenidae (porpoises) Family Platanistidae (Indus/Ganges river dolphins) Family Iniidae (Amazon river dolphins) Family Pontoporiidae (Bajji/ La Plata river dolphins) Family Kogiidae (Pygmy/dwarf sperm whales) Genus <i>Cephalorhynchus</i> (Commersen's, Chilean, Heaviside's, Hector's dolphins) <i>Lagenorhynchus australis</i> (Peale's or black-chinned dolphin) <i>Lagenorhynchus cruciger</i> (hourglass dolphin)
SI	Sirenians	Family Trichechidae (manatees) Family Dugongidae (dugongs)
OW	Otariids and other non-phocid marine carnivores (water)	Family Otariidae (eared seals and sea lions) Family Odobenidae (walrus) <i>Enhydra lutris</i> (sea otter) <i>Ursus maritimus</i> (polar bear)
PW	Phocids (water)	Family Phocidae (true seals)

A avaliação sobre os possíveis impactos causados por estes ruídos nos animais presentes no meio, bem como a comparação com os valores obtidos com dados da literatura, é escopo do Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos (PMC), sendo que os dados acústicos são disponibilizados pelo PMPAS-BS para o PMC-BS.

