

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

**9º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2024**

**Volume Único**

**Revisão 00  
Agosto / 2025**



**E&P**



[illegible]

|             | Original             | Rev. 01 | Rev. 02 | Rev. 03 | Rev. 04 | Rev. 05 | Rev. 06 | Rev. 07 |
|-------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Data        | 08/2025              |         |         |         |         |         |         |         |
| Elaboração  | William Soares Filho |         |         |         |         |         |         |         |
| Verificação | Cátia Galotta        |         |         |         |         |         |         |         |
| Aprovação   | CC Rodrigo Freitas   |         |         |         |         |         |         |         |



## ÍNDICE GERAL

|  |    |
|--|----|
| Sumário Executivo .....  | i  |
| I Introdução.....  | 1  |
| I.1 Paisagem Acústica Submarina.....   | 2  |
| I.2 Primeiro e Segundo Ciclos do PMPAS-BS.....                                       | 4  |
| 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 .....   | 15 |
| II.2 Dados Acústicos.....  | 20 |
| II.2.1 Processamento dos Dados .....   | 20 |
| II.2.2 Caracterização dos Dados .....  | 21 |
| III Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e<br>Discussão ..... | 25 |
| III.1 Região Oceânica.....   | 25 |
| III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores .....                           | 25 |
| III.1.1.1 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4 .....                          | 30 |
| III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas .....                  | 39 |
| III.1.2.1 Comparação entre as LFIs.....  | 39 |
| III.1.2.2 Processamento dos Dados das LFIs do Segundo Ciclo do<br>PMPAS-BS .....     | 43 |
| III.2 Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos .....          | 46 |
| III.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos .....                   | 46 |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| III.2.2 | Comparação Entre OSs Próximos à Baía de Guanabara                              | 55  |
| III.2.3 | Comparação Entre OSs Próximos ao Canal de São Sebastião                        | 57  |
| IV      | Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS                                | 61  |
| IV.1    | Resultados Obtidos   | 64  |
| IV.1.1  | Ruído Médio e Desvio Padrão  | 65  |
| IV.1.2  | Sazonalidade   | 67  |
| IV.1.3  | Diferenças Espaço-Temporais  | 70  |
| IV.1.4  | Categorização do Ruído Modelado  | 74  |
| IV.2    | Novas Funcionalidades do SIMAS   | 78  |
| IV.2.1  | Mapas Verticais  | 78  |
| IV.3    | Avaliação sobre os Resultados da Modelagem                                     | 81  |
| V       | Estudo de decaimento sonoro de Fontes Sísmicas in situ em Campos de Exploração | 85  |
| V.1     | Metodologia Utilizada para Avaliação do Decaimento                             | 87  |
| V.1.1   | Medição de Dados Acústicos   | 87  |
| V.1.2   | Processamento de Dados Acústicos   | 90  |
| V.1.3   | Estatísticas Gerais  | 91  |
| V.1.4   | Ruído Ambiente   | 93  |
| V.2     | Decaimento Sonoro  | 95  |
| V.2.1   | Decaimento Sonoro Horizontal – Tupi-Iracema                                    | 96  |
| V.2.2   | Decaimento Sonoro Horizontal – Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios               | 98  |
| V.2.3   | Decaimento Sonoro Vertical   | 102 |
| V.2.4   | Discussão sobre o Decaimento Sonoro  | 108 |
| 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               | 118 |
| VI.5       | Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas .....                                   | 120 |
| VI.6       | Contribuição do PMPAS-BS com o PMC-BS .....                                  | 122 |
| VII        | Referências Bibliográficas .....   | 125 |
| VIII       | Equipe Técnica .....   | 131 |
| VIII.1     | PETROBRAS .....  | 131 |
| VIII.2     | Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).....                                | 132 |
| APÊNDICE A | Produção Científica .....  | 133 |
| APÊNDICE B | Testes Estatísticos .....  | 139 |
| B.1        | Descrição dos Testes Estatísticos.....                                       | 139 |
| B.2        | Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão..... | 140 |
| B.2.1      | Região Oceânica .....  | 140 |
| B.2.1.1    | Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores .....                           | 140 |
|            | Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4 .....                            | 140 |
|            | Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por ano .....                   | 141 |
|            | Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4, por profundidade .....          | 144 |
| B.2.1.2    | Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas .....                  | 145 |
|            | Comparação entre as LFIs - SPL.....  | 145 |
|            | Comparação entre as LFIs – SEL24h.....                                       | 146 |
| B.2.2      | Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos.....         | 147 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| B.2.2.1    | Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos .....                         | 147 |
|            | SPL dos espectros de 1/3 de oitava medianos para os OSs .....                      | 147 |
|            | Comparação entre os OSs – SPL .....  | 148 |
|            | Comparação entre os OSs – SEL24h .....   | 148 |
| APÊNDICE C | Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados .....                           | 151 |
| C.1        | Monitoramento Móvel .....  | 151 |
| C.1.1      | Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores .....                               | 151 |
| C.1.2      | Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders .....                                    | 151 |
| C.2        | Monitoramento Fixo .....   | 153 |
| C.2.1      | Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos<br>(OSs).....           | 153 |
| C.2.2      | Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio<br>Instrumentadas (LFIs) ..... | 153 |
| C.2.3      | Dados Ambientais .....   | 154 |
| C.3        | Densidade de Embarcações .....   | 155 |
| C.4        | Georreferenciamento dos Dados Acústicos.....                                       | 155 |
| C.5        | Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros<br>espectrais .....    | 155 |
| C.6        | Sistema de Informações .....   | 156 |
| C.7        | Processamento e Arquivamento dos Dados .....                                       | 156 |
| C.7.1      | Consistência e Qualificação dos Dados .....  | 156 |
| C.7.2      | Definição dos Parâmetros Processados .....   | 157 |
| C.7.3      | Apresentação dos Dados e Resultados .....  | 158 |
| C.7.3.1    | Resolução Espacial Plana .....   | 158 |
| C.7.3.2    | Resolução Espacial Vertical.....   | 159 |
| C.7.3.3    | Resolução Espectral .....  | 159 |

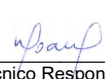


|          |  |     |
|----------|--|-----|
| C.7.3.4  | Resolução Temporal.....                              | 160 |
| C.7.3.5  | Densidade Amostral Espacial.....                     | 160 |
| C.7.3.6  | Nível de Pressão Sonora Espacial .....               | 161 |
| C.7.3.7  | Nível da Pressão Sonora Temporal.....                | 162 |
| C.7.3.8  | Espectros de 1/3 de Oitava.....                      | 163 |
| C.7.3.9  | Espectrogramas.....                                  | 163 |
| C.7.3.10 | Nível de Exposição Sonora – SEL <sub>24H</sub> ..... | 164 |



  
Coordenador da Equipe



  
Técnico Responsável

9º Relatório  
Técnico

Revisão 00  
08/2025



## 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), nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2) e mais afastados (OSP1, OSP3 e OSP4). Os retângulos 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 e os OS3R, OS3R1 e OS3R2. .... 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: Observatórios Submarinos no Canal de São Sebastião (OS3 e OSP2). .... 14
- 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 usadas no segundo ciclo do projeto (FA, FB, FC1 e FC2, em azul). .... 17
- Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referentes a embarcações a serviço da PETROBRAS (mapa superior) e de terceiros (mapa inferior). (Fonte: (PETROBRAS, 2024)) ..... 19
- 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 cruzes pretas indicam posição das plataformas da PETROBRAS. ....   | 26 |
| 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 do mapa da Figura III.1.1-1 (gráfico de cima) e boxplot para as medições feitas em cada posição (gráfico de baixo). A linha tracejada preta no gráfico de cima indica a posição do SPL mínimo e a linha magenta a posição do SPL máximo, para 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. .... | 27 |
| Figura III.1.1-3: 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. ....  | 28 |
| Figura III.1.1-4: 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 longitudes correspondentes às regiões R1, R2, R3 e R4. ....  | 29 |
| 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, $F=31.760,3$ , $p=0$ ). ....  | 30 |
| 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. ....  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2024, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....   | 32 |
| Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2024, 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 nove marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024, respectivamente. ... | 34 |
| Figura III.1.1.1-5: 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.....  | 36 |
| Figura III.1.1.1-6: 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. ....   | 37 |
| 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.....  | 40 |
| 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.....  | 41 |
| Figura III.1.2.1-3: Comparação entre o SEL <sub>24h-LF</sub> para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....   | 42 |



|   |    |
|---|----|
| Figura III.1.2.1-4: Comparação entre o SEL <sub>24h-MF</sub> para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS. ....  | 42 |
| Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs.....   | 47 |
| 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, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro. ...                | 48 |
| 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, OS3 e OSP2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.....                    | 49 |
| 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 100/125 Hz). .           | 51 |
| 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). ....  | 52 |
| Figura III.2.1-6: Boxplots do SPL <sub>63Hz</sub> , para as posições analisadas.....  | 53 |
| 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. ....  | 53 |
| Figura III.2.1-8: Boxplots do SEL <sub>24h</sub> , SEL <sub>24h-MF</sub> e SEL <sub>24h-LF</sub> , para as posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL <sub>24h</sub> para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo..... | 55 |
| Figura III.2.2-1: Observatórios submarinos na região da Baía de Guanabara. ...  | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Figura III.2.2-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4. ....   | 57 |
| Figura III.2.3-1: Observatórios submarinos na região do canal de São Sebastião. ....   | 58 |
| Figura III.2.3-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3, OSP2 e OSP2-1. ....   | 59 |
| Figura IV-1: Comparação entre os dados modelados (em vermelho, janelas de 2 horas, profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017 para 63 Hz e 125 Hz. .... | 63 |
| Figura IV.1-1: 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 2024. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS). ....  | 65 |
| Figura IV.1.1-1: Mapas do valor médio do SPL de 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m. ....  | 66 |
| Figura IV.1.1-2: Mapas do desvio padrão do SPL de 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m. ....  | 67 |
| Figura IV.1.2-1: Mapa do SPL médio (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m. ....   | 68 |
| Figura IV.1.2-2: 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 2024 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m. ....  | 69 |
| Figura IV.1.2-3: Distribuição do ruído modelado nos meses do ano, para os anos de 2016 a 2024, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz. ....   | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Figura IV.1.2-4: Distribuição do ruído modelado nos meses do ano, para os anos de 2016 a 2024, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz. ....   | 70 |
| Figura IV.1.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de (a) 2019 e 2016; (b) 2023 e 2019; e (c) 2024 e 2023, para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m. ....  | 72 |
| Figura IV.1.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de (a) 2019 e 2016; (b) 2023 e 2019; e (c) 2024 e 2023, para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m. ....   | 73 |
| Figura IV.1.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m. ....   | 75 |
| Figura IV.1.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m. ....  | 76 |
| Figura IV.2.1-1: Mapa de ruído instantâneo para a frequência de 63Hz na profundidade de 50m para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00. ....   | 79 |
| Figura IV.2.1-2: Mapa das fontes AIS para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00. ....  | 79 |
| Figura IV.2.1-3: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-48; -28,2) e (-46,1; -27,7), distantes 195 Km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar. ....   | 80 |
| Figura IV.2.1-4: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-43,6; -26,2) e (-41,8; -24,8), distantes 238 km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar. ....   | 80 |
| Figura IV.2.1-5: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-41,5; -22,8) e (-40,5; -23,8), distantes 151 km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar. ....   | 80 |
| Figura V.1.1-1: Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico durante as campanhas C01 a C19 (linhas) e a localização dos disparos de campanhas realizadas pela PETROBRAS (Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sapinhoá-Monitor, Sépia e Búzios) e de campanhas sísmicas de terceiros (CGG e PGS). .... | 88 |

|   |    |
|---|----|
| Figura V.1.1-2: Linhas do tempo das dezenove primeiras campanhas dos gliders de monitoramento específico e das campanhas sísmicas que tiveram algum tempo de execução comum com as campanhas dos gliders.....   | 89 |
| Figura V.1.1-3: Distâncias dos disparos efetuados nas campanhas sísmicas e os gliders de monitoramento específico, durante as gravações acústicas. ....   | 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.1.3-1: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica para os campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sapinhoá-Monitor, Sépia e Búzios. ....   | 93 |
| Figura V.1.4-1: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos (Ruído Ambiente).....   | 94 |
| Figura V.1.4-2: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos. No gráfico de cima, são apresentadas as medianas em função da profundidade mostradas na V.1.4-1. No gráfico de baixo, é mostrado o boxplot das medianas de cada célula apresentada no gráfico de cima.....   | 95 |
| Figura V.2.1-1: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL=224,7$ e $N=21,4$ da curva de decaimento. .... | 97 |
| Figura V.2.1-2: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km   |    |



|  |     |
|--|-----|
| considerado na estimativa dos parâmetros $SL=221,3$ e $N=20,7$ da curva de decaimento. ....  | 97  |
| Figura V.2.2-1: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Itapu, usando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - Nlog10r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de 20 a 70 km usado na estimativa dos parâmetros $SL = 218,4$ e $N = 20,3$ da curva de decaimento.....                             | 99  |
| Figura V.2.2-2: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Aram, usando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - Nlog10r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de 20 a 250 km usado na estimativa dos parâmetros $SL = 197,1$ e $N = 15,7$ a curva de decaimento.....                              | 99  |
| Figura V.2.2-3: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Iara, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - Nlog10r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 195,6$ e $N = 15,6$ da curva de decaimento. ....   | 100 |
| Figura V.2.2-4: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Sépia, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - Nlog10r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 210,2$ e $N = 18,3$ da curva de decaimento. ....  | 100 |
| Figura V.2.2-5: Decaimento sonoro do $SPL_{1min}$ para o campo de Búzios, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - Nlog10r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 100 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 199,9$ e $N = 16,4$ da curva de decaimento. .... | 101 |

- Figura V.2.3-1: 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), para o campo de Tupi-Iracema..... 102
- Figura V.2.3-2:  $\text{SPL}_{1\text{min}} @1\text{m}$  (SL), considerando um decaimento de  $21,4 \log_{10}(r)$ , incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema. .... 103
- Figura V.2.3-3:  $\text{SPL}_{1\text{min}} @1\text{m}$  (SL), considerando um decaimento de  $21,4 \log_{10}(r)$ , incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema. .... 103
- Figura V.2.3-4: Decaimento sonoro do  $\text{SPL}_{1\text{min}}$ , considerando apenas medições feitas próximo à superfície (<50 m), para o campo de Tupi-Iracema. A curva vermelha mostra o ajuste de uma função do tipo  $\text{SPL}r = \text{SL} - N \log_{10}r$  para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $\text{SL} = 262,9$  e  $N = 30,3$  da curva de decaimento ( $R^2 = 0,62$ ). A curva preta mostra o decaimento considerando medições feitas em todas as profundidades. .... 104
- Figura V.2.3-5: 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), para o campo de Tupi-Iracema, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS..... 105
- Figura V.2.3-6: 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), para o campo de Itapu, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS..... 106
- Figura V.2.3-7: 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), para o campo de Aram, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS. ....  | 106 |
| Figura V.2.3-8: 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), para o campo de Iara, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS. ....  | 107 |
| Figura V.2.3-9: 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), para o campo de Sêpia, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS. .... | 107 |
| 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. ....   | 140 |
| Figura C.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m. ....  | 161 |
| Figura C.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m. ....   | 162 |
| Figura C.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto. ....  | 162 |
| Figura C.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. ....   | 163 |
| Figura C.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. ....   | 164 |
| Figura C.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  
C.7.3.10-1 (Fonte:(FINNERAN, 2016)). ..... 166



  
Coordenador da Equipe



  
Técnico Responsável

9º Relatório  
Técnico

Revisão 00  
08/2025

## TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos (OSs). As linhas em vermelho correspondem às posições dos OSs usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continua sendo usada no segundo ciclo. As linhas em azul representam as quatro primeiras posições do OSP 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. ....   | 17 |
| 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, separados para os dois ciclos do projeto. ....  | 24 |
| 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. ....  | 29 |
| Tabela III.1.1-2: Diferenças do SPL para os anos com SPL mínimo e máximo em cada região e para cada faixa de frequência. ....   | 35 |
| Tabela III.1.1-3: Diferenças do SPL para as profundidades com SPL mínimo e máximo em cada região e para cada faixa de frequência. ....  | 38 |
| Tabela III.1.2.2-1: Números de série dos equipamentos SonoVault utilizados nas campanhas do segundo ciclo com números de série dos hidrofones e profundidade de instalação. ....  | 45 |
| Tabela IV.1.4-1: Classes de Ruído. ....   | 74 |
| Tabela IV.1.4-2: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 63 Hz. ....  | 76 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabela IV.1.4-3: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 125 Hz.....  | 77  |
| Tabela V-1: Informações sobre as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, indicando o tempo do primeiro e último disparos de produção. ....   | 85  |
| Tabela V-2: Informações sobre as campanhas dos gliders de monitoramento específico. ....  | 86  |
| Tabela V.1.3-1: Estatísticas gerais da profundidade e dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider durante o período de 18/06/2022 a 20/10/2024 nas campanhas ME_C01 a ME_C19 de monitoramento específico do PMPAS-BS.....                                      | 92  |
| Tabela V.1.3-2: Estatísticas gerais das distâncias das fontes sonoras de cada uma das sísmicas aos gliders para janelas de 1 minuto de sinal durante o período de 18/06/2022 a 20/10/2024 nas campanhas ME_C01 a ME_C19 de monitoramento específico do PMPAS-BS.....                            | 92  |
| Tabela V.2.2-1: Parâmetros das curvas de decaimento ajustadas para as campanhas sísmicas.....   | 98  |
| Tabela A-1: Produção científica usando dados e informações do PMPAS-BS.   | 133 |
| Tabela B.2.1.1-1: SPL no 25º, 50º (mediano), 75º e 90º percentis, nível RMS e média 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. .... | 141 |
| 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 2024. ....                              | 143 |
| 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.....  | 145 |
| Tabela B.2.1.2-1: Medianas para os dados das LFI nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. ....   | 146 |
| Tabela B.2.1.2-2: Medianas para os dados do SEL24h das LFI com e sem uso de pesos MF e LF.....  | 146 |
| Tabela B.2.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências indicadas. ....   | 147 |
| Tabela B.2.2.1-2: 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). ....  | 148 |
| Tabela B.2.2.1-3: Medianas para os dados do SEL24h dos OSs com e sem uso de pesos MF e LF.....  | 149 |
| Tabela C.7.3.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda. ....   | 159 |
| Tabela C.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 $\mu$ Pa <sup>2</sup> .s e para SPL <sub>pico</sub> em dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> . A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a Equação C.7.3.10-1. No cálculo do SPL <sub>pico</sub> não é feita a ponderação (Fonte: (FINNERAN, 2016)). .... | 165 |
| Tabela C.7.3.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: (FINNERAN, 2016)). ....   | 167 |

## SUMÁRIO EXECUTIVO

### Introdução

Este documento é o nono relatório técnico anual do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da 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 ao polo e algumas regiões costeiras de interesse.

O PMPAS-BS foi elaborado considerando ciclos de implantação com duração em torno de quatro anos. 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. No Monitoramento Móvel, a coleta usando perfiladores acústicos de livre deriva foi descontinuada e passou-se a usar até três *gliders* em operação simultânea e contínua, ao invés de apenas um. O monitoramento fixo costeiro passou a usar dois observatórios ao invés de três, sendo um deles fixo na Baía de Guanabara e o outro, volante, podendo ser instalado em qualquer ponto da plataforma continental, até 100 m de profundidade. Finalmente, o monitoramento fixo oceânico passou a operar três linhas com dois gravadores, no lugar das seis linhas com três gravadores do primeiro ciclo.

O ano de 2022 foi considerado de transição entre o primeiro e o segundo ciclos, no qual o escopo do monitoramento móvel foi realizado conforme o escopo do segundo ciclo, enquanto o escopo do monitoramento fixo foi realizado até outubro conforme o estabelecido para o primeiro ciclo e a partir de novembro



conforme o segundo ciclo. O segundo ciclo foi efetivamente iniciado em janeiro de 2023.

### ***Materiais e Métodos***

Os dados acústicos adquiridos foram processados para obtenção de parâmetros espectrais, 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.

### ***Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Móvel***

Para a componente de Monitoramento Móvel, os perfiladores acústicos de livre deriva tiveram suas posições de lançamento planejadas no primeiro ciclo para que suas trajetórias cobrissem toda a Bacia de Santos, e os *gliders* foram programados para que suas trajetórias cobrissem regiões específicas da bacia em ambos os ciclos.

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 (Figura III.1.1-1). Nestes mapas foram selecionadas quatro regiões: R1 (região de intensa atividade de E&P), R2 (rota intensa de navegação), R3 (região com pouca atividade de E&P) e R4 (região sem atividade de E&P) como representativas de diferentes condições de atividades exploratórias e de tráfego de embarcações (veja mapa de densidade de navegação na Figura II.1.2-2). Os maiores níveis observados na região oceânica da Bacia de Santos ficaram próximos à região R1, que é onde ocorre o maior volume de atividades de exploração e produção de óleo e gás.

Foram avaliados os dados em uma linha que corta transversalmente a Bacia de Santos (Figura III.1.1-1), passando pelo centro da região R1 (-25,5°, -43°). Em todas as faixas de frequência avaliadas (63 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz e banda 10 Hz-10 kHz), o comportamento é semelhante com maiores valores



na região R1 e menores valores próximos de R4 (Figura III.1.1-4), com um aumento entre 13 e 22 dB na região R1 (Tabela III.1.1-1), dependendo da frequência analisada, quando comparado com outras regiões mais silenciosas ao longo daquela linha.

O acompanhamento dos ruídos medidos ao longo dos anos nas quatro regiões (Figura III.1.1-4), de 2016 até 2024, mostrou estabilidade nas quatro bandas de frequência avaliadas, alternando-se anos mais ruidosos com anos menos ruidosos para distintas bandas. Não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões, com algumas oscilações, dependendo da frequência, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2024).

A análise dos níveis de ruído em diferentes profundidades (50 m, 200 m, 500 m e 950 m), nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, mostrou que não existem diferenças grandes entre elas para a região R1 (Figura III.1.1-6). Nas regiões R2, R3 e R4, verificou-se que a mediana dos ruídos medidos na profundidade de 950 m é maior do que nas outras profundidades em até 7 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. Nas frequências 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 demais profundidades são 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. Na região R4, as medianas para 500 m e 950 m ficaram mais altas e para 50 m, mais baixa, invertendo a tendência observada nos relatórios anteriores, não havendo uma explicação clara, até o momento, para esta situação.

### ***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 sem atividade de E&P (Figura II.1.2-1). De forma distinta do monitoramento oceânico móvel, a componente fixa oceânica



teve a contratação de uma empresa diferente na licitação do segundo ciclo, demandando uma curva de aprendizado no processo de operação dos gravadores acústicos. Neste relatório são apresentados apenas os dados do primeiro ciclo das LFI, pois os dados do segundo ciclo estão em fase de qualificação. A Seção III.1.2.2, descreve os problemas encontrados para o processamento dos dados das LFI do segundo ciclo e o que está sendo feito para permitir o processamento e uso dos dados em conjunto com os coletados no primeiro ciclo.

Na Figura III.1.2.1-2 são apresentadas as medianas para os dados das oito posições de instalação das LFI no primeiro ciclo, para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Em todas as frequências a linha FA02 é a mais ruidosa, seguida pela FA01. A linha mais silenciosa é a FA04 também para todas as frequências. O fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas se justifica pelo fato de elas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P e com alto tráfego de embarcações.

Os dados das LFI 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.1.2.1-3), quanto para o grupo MF (Figura III.1.2.1-4), ficaram abaixo do valor proposto por Finneran, (2016). para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) para sons contínuos, de 179 dB re  $1\mu Pa^2.s$  para o grupo LF e de 178 dB re  $1\mu Pa^2.s$  para o grupo MF, com exceção de alguns poucos valores extremos em uma das linhas (FA06). Estes limiares estão em constante atualização. Para os próximos relatórios será feita uma revisão bibliográfica no sentido de atualizar estas referências.

### ***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). Como esperado, devido ao alto tráfego



de navios com diversas finalidades, observou-se que os OSs instalados nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4) são os mais ruidosos para a banda de frequência 63 Hz (Figura III.2.1-6), associada a ruído antropogênico (DEKELING *et al.*, 2014a). A posição OS2R, a oeste da Ilha Grande, é a mais silenciosa, junto com a posição OS3, no canal de São Sebastião.

A paisagem acústica de zonas costeiras (Figuras III.2.1-4 e III.2.1-5) 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 da chuva e 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 (XAVIER, 2021).

Os dados foram usados para calcular o  $SEL_{24h}$  para as posições dos OSs para os dados com ponderação (Figura III.2.1-8) para as respostas auditivas de cetáceos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF). Em todas as situações apresentadas, o  $SEL_{24h-MF}$  ficou abaixo do TTS para sons contínuos 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.

Os dados medidos durante o segundo ciclo do PMPAS-BS nos OSs já atingiram uma quantidade suficiente para permitir comparações entre posições próximas com medições realizadas pelos OSs nos dois ciclos. Nas imediações da Baía de Guanabara (Figura III.2.2-1), foram coletados dados pelos OS1, OS3R, OS3R1 e OS3R2, no primeiro ciclo; OS1A nos dois ciclos; e OSP1, OSP3 e OSP4, no segundo ciclo. A distância entre o OSP1 e os outros observatórios ficou entre 6,2 km, para o OS3R e 9,6 km, para o OS3R2. O OSP3 ficou a cerca de 6,8 km do OSP1 e o OSP4 a 23,7 km do OSP3. Os níveis do espectro para o OSP1 ficaram mais próximos dos OS3R1 e OS3R2 e acima do OS3R em baixas frequências e menores do que para as outras posições acima de 1 kHz (Figura III.2.2-2). Os menores níveis acima de 100 Hz ocorreram no OSP4, embora este tenha sido mais ruidoso abaixo de 30 Hz. Os OSP1 e OSP3 mostraram-se mais

silenciosos do que os outros OSs para frequências acima de 1 kHz, com exceção do OSP4, que foi ainda mais silencioso acima de 800 Hz.

Nas imediações do Canal de São Sebastião (Figura III.2.3-1), O OSP2 foi lançado, no segundo ciclo, na entrada do Canal de São Sebastião depois de retirado da posição OSP1, ficando cerca de 4,6 km mais a sudoeste da posição OS3, usada no primeiro ciclo do projeto. O OSP2 foi mais ruidoso em baixas frequências entre 20 Hz e 100 Hz do que o OS3, podendo ser devido ao fato dele estar mais perto das rotas de tráfego que passam ao largo da Ilhabela, sem entrar no canal (Figura III.2.3-2). Para frequências acima de 2 kHz, associados aos ruídos produzidos por invertebrados, o OSP2 ficou mais silencioso do que o OS3, provavelmente devido ao fato de o OSP2 estar mais distante dos costões rochosos de Ilhabela do que o OS3. Durante a primeira campanha do segundo ciclo nesta região, o observatório foi arrastado por uma rede de pesca, passando a gravar na posição OSP2-1, a cerca de 2 km de sua posição original. Observou-se também distintos níveis de ruído na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz, sendo mais ruidoso no OSP2-1, mais próximo dos costões da Ilhabela e mais silencioso no OSP2, mais afastado dos costões.

### ***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.

A medição da incerteza 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 erro médio



quadrático (RMSE) em 63 Hz ficou em 5,4 dB e em 125 Hz, em 3,8 dB. Embora ainda existam oportunidades de ajustes no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, os valores obtidos já demonstram desempenho alinhado à literatura para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Por exemplo, outras iniciativas de modelagem da paisagem acústica submarina também apresentam incertezas desta ordem de grandeza, como pode ser visto em Farcas *et al.*, (2020), onde o erro médio (RMSE) na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB.

Os resultados obtidos com a modelagem da paisagem acústica submarina, na Bacia de Santos, mostraram que, em média, os maiores níveis de ruído se concentram na região do polo pré-sal e na região costeira, indo de São Sebastião até acima da região de Cabo Frio (Figura IV.1.1-1). As maiores variações do ruído ao longo dos anos ocorreram, principalmente, na região costeira (Figura IV.1.1-2).

A evolução temporal deste ruído, nas regiões R1, R2, R3 e R4, mostrou uma redução dos níveis de ruído em 63 Hz e 125 Hz entre os anos de 2016 e 2019, seguido de uma estabilização até 2024 (Figura IV.1.2-3).

O mapa de diferenças entre os anos 2016 e 2019 mostra esta redução dos níveis de ruído em quase toda a Bacia de Santos. Entre 2019 e 2023, esta redução continua ocorrendo, mas pode-se observar uma elevação dos níveis de ruído entre as regiões R1 e R2, no polo pré-sal. Entre 2023 e 2024, houve pouca variação nos níveis de ruído na bacia (Figura IV.1.3-1).

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS no período de 2016 a 2024 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.

As diferentes formas de visualização dos resultados da modelagem podem ser usadas para ajudar a entender o comportamento e a evolução da paisagem acústica na Bacia de Santos. A introdução dos mapas verticais no SIMAS acrescenta a possibilidade de analisar o ruído ao longo da profundidade e da distância (Figura IV.2.1-3), ampliando a gama de ferramentas disponíveis para a análise da paisagem acústica.

## ***Paisagem Acústica - Resultados do Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas***

A avaliação do decaimento sonoro, incluída no escopo do segundo ciclo do PMPAS-BS, se propõe a analisar dados acústicos medidos por *gliders* nas proximidades de campanhas sísmicas. Foram avaliados, neste nono relatório, os resultados obtidos do processamento das gravações de dezenove campanhas de monitoramento realizadas por *gliders* de monitoramento específico, com acompanhamento das sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios (Tabela V-1).

É importante observar que a Bacia de Santos é um ambiente ruidoso, mesmo na ausência de campanhas sísmicas, de forma que foi oportuno avaliar seu ruído ambiente na região de realização da sísmica, quando disparos não estavam sendo realizados (Figuras V.1.4-1 e V.1.4-2), sendo encontrado um valor de SPL mediano de 108,7 dB re 1uPa<sup>2</sup> na faixa de 5-250 Hz, e intervalo entre os 25% e o 75% percentis em torno de 3 dB.

São apresentados resultados do processamento dos dados dos *gliders* de monitoramento da atividade sísmica nos Campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, entre 18 de junho de 2022 e 20 de outubro de 2024. O decaimento sonoro horizontal foi estimado para os campos de Tupi-Iracema (Figura V.2.1-2), Itapu (Figura V.2.2-1), Aram (Figura V.2.2-2), Iara (Figura V.2.2-3), Sépia (Figura V.2.2-4) e Búzios (Figura V.2.2-5). O decaimento vertical é discutido na Seção V.2.3.

Os resultados do decaimento sonoro para uma fonte sísmica mostraram um decaimento horizontal estimado para distâncias entre 20 e 150 km para o campo de Tupi-Iracema como sendo de  $20,7 \cdot \log_{10}(r)$  dB, onde  $r$  é a distância em metros para a fonte sísmica. Para as campanhas em Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, o decaimento variou entre 15,7 e 20,3, sendo esta variação devida, em parte, ao menor número de medições realizadas no acompanhamento destas sísmicas, quando comparado com Tupi-Iracema. 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, para a faixa de distância de operação dos *gliders* aos navios sísmicos.



## Considerações Finais

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) é um projeto pioneiro na América do Sul de avaliação do ruído submarino em uma extensa região oceânica, que pode ser considerado referência em observações acústicas oceânicas (LIMA *et al.*, 2024).

O primeiro ciclo do PMPAS-BS realizou um esforço amostral acústico na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, onde foram feitas 23 campanhas com 234 perfiladores, 52 campanhas com *gliders*, 10 campanhas com LFI (seis linhas com gravações em três profundidades) e 106 campanhas com OSs. O segundo ciclo do PMPAS-BS, em andamento, já contabiliza 72 campanhas com *gliders*, 4 campanhas com LFI (3 linhas com gravações nas profundidades de 500 m e 950 m) e 23 campanhas com OSs. No total do projeto, foram gravadas 203.258,6 horas de dados acústicos para *gliders*, OSs e LFI, e os perfiladores disponibilizaram parâmetros acústicos referentes a 5.020,3 horas de sinais acústicos.

A transição do primeiro para o segundo ciclo do PMPAS-BS permitiu amadurecer os bons resultados e procurar evitar problemas ocorridos no primeiro ciclo para auxiliar no planejamento de um segundo ciclo de medições mais eficiente e objetivo. A componente de modelagem do ruído acústico na Bacia de Santos, feita pelo SIMAS, é tão importante, e até mais estratégica, do que as próprias componentes de medição (DEKELING *et al.*, 2014a), pois permite uma ampla avaliação espacial e temporal do ruído acústico submarino que não são praticáveis por medições diretas. O desenvolvimento criterioso e a validação desta modelagem são um dos principais objetivos do segundo ciclo do PMPAS-BS.

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.

Para o ambiente oceânico, a complementação dos resultados obtidos por dados medidos pelos *gliders* da componente móvel e linhas de fundeio da



componente fixa oceânica, auxiliando na validação da modelagem do ruído acústico, irá fornecer o monitoramento adequado para uma região extensa e complexa, não apenas impactada por ruído de origem antropogênica por atividades de E&P, mas também impactada por muitas rotas de navegação comercial, rotas pesqueiras e militares etc.


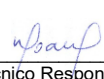
O uso de modelos validados para previsão da paisagem acústica submarina traz uma série de contribuições ao monitoramento (DEKELING *et al.*, 2014a), tais como:

- Redução do tempo requerido para a detecção de tendências de aumento do ruído por atividades antropogênicas em relação ao que é necessário apenas com medições;
- Otimização no planejamento do número e do posicionamento de equipamentos de medição, pois permite o conhecimento prévio com maior precisão dos locais mais preservados e aqueles mais críticos em relação ao ruído antropogênico;
- Maior abrangência espaço-temporal dos resultados em relação ao que é obtido apenas com medições;
- Possibilidade de identificação da contribuição de diferentes fontes sobre a paisagem acústica como, por exemplo, a influência individual de fatores ambientais (onda, vento etc.) ou das embarcações de apoio;
- Possibilidade de previsão de cenários futuros, de diagnóstico de cenário presente e de reconstrução de cenários históricos.

É importante ressaltar que o PMPAS-BS também tem como foco o apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico para a disciplina de acústica submarina, incentivando a utilização dos seus dados por pesquisadores para estudos acadêmicos, artigos científicos etc. (APÊNDICE A), além da colaboração com outras iniciativas abrangentes, como o 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. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas tabelas de detecção de vocalização de 45 campanhas de



monitoramento contínuo e 19 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de mysticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones. Foi disponibilizada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando, dados importantes para a avaliação dos possíveis impactos da atividade sísmica sobre os cetáceos.

  
Coordenador da Equipe  
Técnico Responsável9º Relatório  
TécnicoRevisão 00  
08/2025



## I INTRODUÇÃO

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) é executado para atender condicionantes ambientais dos processos de licenciamento conduzidos pelo IBAMA das atividades de exploração, produção e escoamento de petróleo e gás natural realizadas pela 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 à região. 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 (LIMA *et al.*, 2022). Como uma de suas possíveis aplicações, estas medições poderão 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 km<sup>2</sup>) 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).

A Seção I.1 define o conceito de paisagem acústica submarina e apresenta algumas referências no mundo. A Seção I.2 descreve o primeiro e o segundo ciclos do projeto e sua gradual transição do primeiro para o segundo ciclo, auferindo todos os 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 revistas científicas no Brasil e em outras partes do mundo. Foram produzidos, até o momento, 43 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 tem 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, tipos de 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 (COCKREM, 2014; HARRIS e RADFORD, 2014; HILDEBRAND, 2009).

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, agência dos Estados Unidos da América) 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. Em 2017, a Comissão Europeia revisou os indicadores da MSFD, exigindo valores de referência específicos para cada indicador de ruído. Em 2020 e 2022, foram delineadas metodologias para avaliar o ruído impulsivo e ruído contínuo, respectivamente, sem recomendar valores específicos (MERCHANT *et al.*, 2022).

Além disso, a Organização Marítima Internacional (IMO) tem desenvolvido diretrizes para a redução do ruído submarino proveniente do transporte marítimo comercial (IMO MEPC.1/CIRC.833, 2014; IMO MEPC.1/CIRC.906, 2023), que fornecem uma visão geral das abordagens aplicáveis a projetistas, construtores de navios e operadores de navios para reduzir o ruído submarino de qualquer navio, além de auxiliar as partes interessadas relevantes a estabelecer mecanismos e programas pelos quais os esforços de redução de ruído possam ser realizados.



## **I.2 PRIMEIRO E SEGUNDO CICLOS 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 realizar a 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, baseada em informações sobre a presença de embarcações e sobre as características do meio de propagação. 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 (50, 200 e 950 m).



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 *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 um com posição móvel, instalado em diferentes 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 (500 e 950 m).

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



O presente relatório apresenta os dados relativos tanto ao primeiro ciclo quanto ao segundo ciclo de implantação do PMPAS-BS. Os dados foram obtidos no período de novembro de 2015 a dezembro de 2024 para o monitoramento móvel, de março de 2017 a dezembro de 2024 para o monitoramento fixo costeiro e de setembro de 2017 a dezembro de 2024 para o monitoramento fixo oceânico.

### **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 2024, 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 Sistemas de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), usado para a confecção de mapas do ruído ambiente na Bacia de Santos por meio de modelagem numérica, além de um tópico para análise do decaimento sonoro de fontes sísmicas a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*.

É oportuno definir algumas questões que este relatório se propõe a responder para contribuir com uma visão abrangente do projeto. Algumas questões são contínuas e serão repetidas ao longo da duração do projeto PMPAS-BS, como a constante atualização do esforço amostral e contribuições das componentes do monitoramento para a caracterização acústica da bacia, e outras são específicas e voltadas para atender algum ponto analisado pelo relatório. Seguem as perguntas:

- (a) Qual foi o esforço amostral do PMPAS-BS até dezembro de 2024 e como o projeto contribuiu para o conhecimento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos até este período?
- (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)?
- (d) Quais resultados da modelagem de propagação acústica foram alcançados 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) utilizando dados medidos por *gliders* em campanhas de aquisição sísmica?
- (f) Qual é a contribuição do PMPAS-BS para outros projetos condicionantes de licença ambiental na Bacia de Santos como, por exemplo, o Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC-BS)?

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, no Capítulo II (Materiais e Métodos), 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 para avaliação do ruído na Bacia de Santos.

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



O Capítulo V (Estudo de decaimento sonoro de Fontes Sísmicas *in situ* em Campos de Exploração) apresenta os resultados do estudo do decaimento sonoro de fontes sísmicas *in situ* nos campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios.

O Capítulo VI (Considerações Finais) sintetiza os principais resultados deste relatório e aponta para perspectivas e análises 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 os níveis sonoros apresentados e o resultado dos testes estatísticos associados às comparações de diferentes distribuições de dados feitas neste documento.

No APÊNDICE C, 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.



## 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 km<sup>2</sup> 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.).

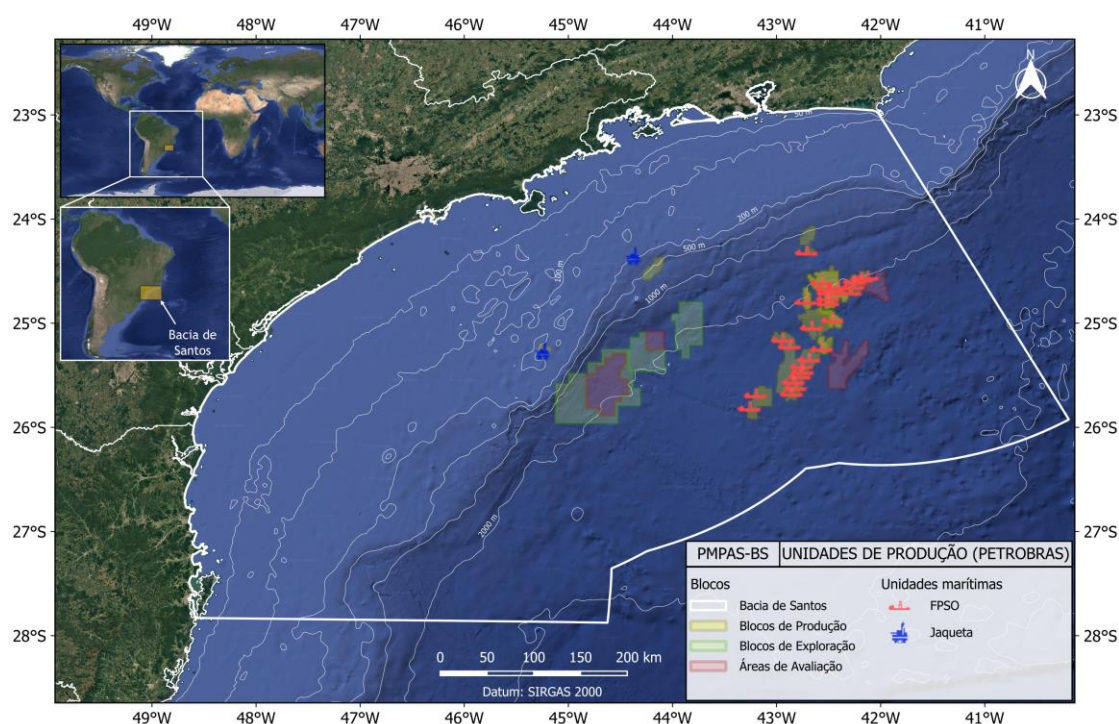


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS.

### **II.1.1 Região Costeira**

O monitoramento fixo da região costeira da Bacia de Santos foi feito utilizando-se Observatórios Submarinos (OSs) 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.

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.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, foram utilizados dois observatórios, sendo um deles mantido na Baía de Guanabara, em local próximo ao OS1A e outro, chamado de “Observatório Submarino da Plataforma – OSP”, que foi posicionado em diferentes regiões na plataforma continental com lâmina d’água de até 100 m, conforme apresentado na Tabela II.1.1-1 e Figuras II.1.1-1 e II.1.1-3, com o objetivo de obter mais informações para subsidiar a verificação do modelo de ruído ambiente na Bacia de Santos.



*Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos (OSs). As linhas em vermelho correspondem às posições dos OSs usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continua sendo usada no segundo ciclo. As linhas em azul representam as quatro primeiras posições do OSP usadas no segundo ciclo.*

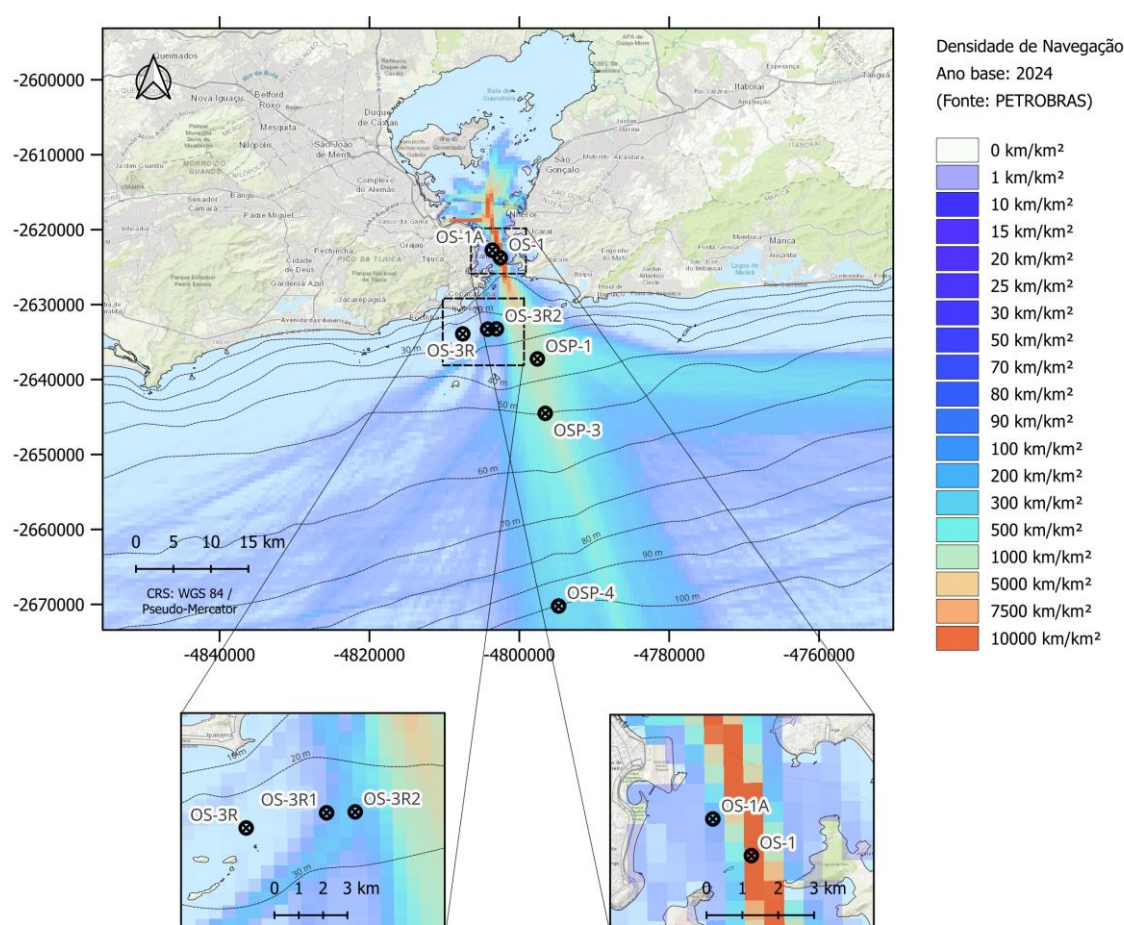
| OS    | Local                             | Latitude      | Longitude    | Prof. (m) |
|-------|-----------------------------------|---------------|--------------|-----------|
| OS1   | Baía de Guanabara                 | 22° 55,900'S  | 43° 08,500'W | 27        |
| OS1A  | Baía de Guanabara                 | 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        |
| OSP2  | Canal de São Sebastião            | 23° 54,467'S  | 45° 28,954'W | 35        |
| OSP3  | Baía de Guanabara (embocadura)    | 23° 06,245'S  | 43° 05,272'W | 53        |
| OSP4  | Baía de Guanabara (embocadura)    | 23° 18,941'S" | 43° 04,309'W | 103       |

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 foram feitas algumas comparações para se verificar se existem diferenças nos sinais gravados nas duas posições.

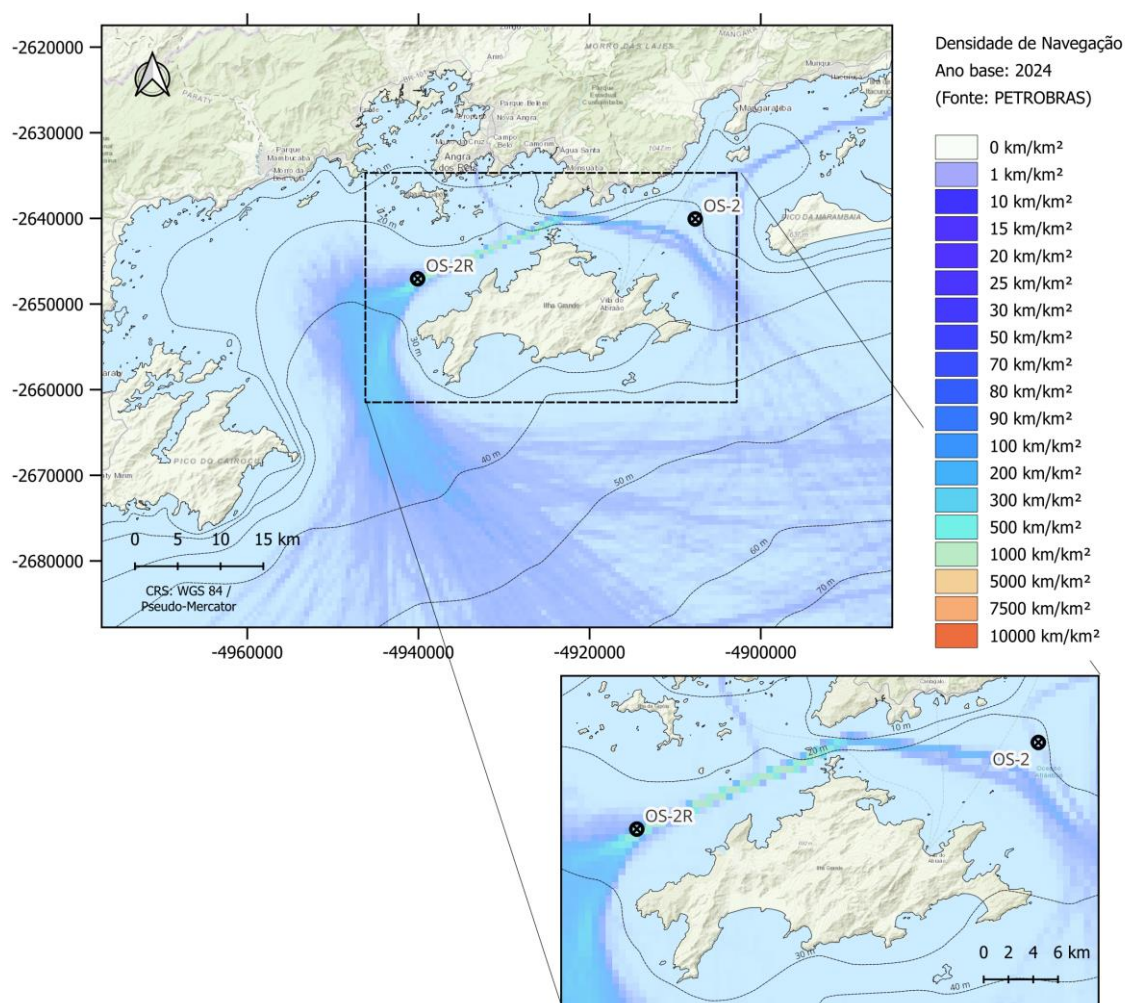
O deslocamento do OS3R para a posição OS3R1 e, posteriormente, para OS3R2 foi feita para avaliar condições contrastantes de intensidade de tráfego de embarcações no entorno do MoNa Cagarras: área de menor intensidade de tráfego (OS3R) e área de maior intensidade de tráfego (OS3R1 e OS3R2). A alteração da posição OS3R1 para OS3R2 ocorreu por questões de segurança dos mergulhadores que realizavam as atividades de manutenção dos OSs. 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, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4 foram instalados na região da Baía de Guanabara e seu entorno, com os OS1 e OS1A no canal de acesso da baía, em uma profundidade de 16 m, os OS3R, OS3R1 e OS3R2 mais para fora, próximo ao arquipélago das Ilhas Cagarras, em uma profundidade de até 28 m, os OSP1, OSP3 e OSP4 ainda mais para fora, com o OSP1 em uma profundidade local de 38 m, o OSP3 a 53 m e o OSP4 a 103 m. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de quase 9 km. A distância do OS3R1 até o OSP1 é de cerca de 6,5 km. O OSP3 está a 6,8 km do OSP1 e o OSP4 a 23,7 km do OSP3.



**Figura II.1.1-1:** Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A), nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2) e mais afastados (OSP1, OSP3 e OSP4). Os retângulos 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 e os OS3R, OS3R1 e OS3R2.



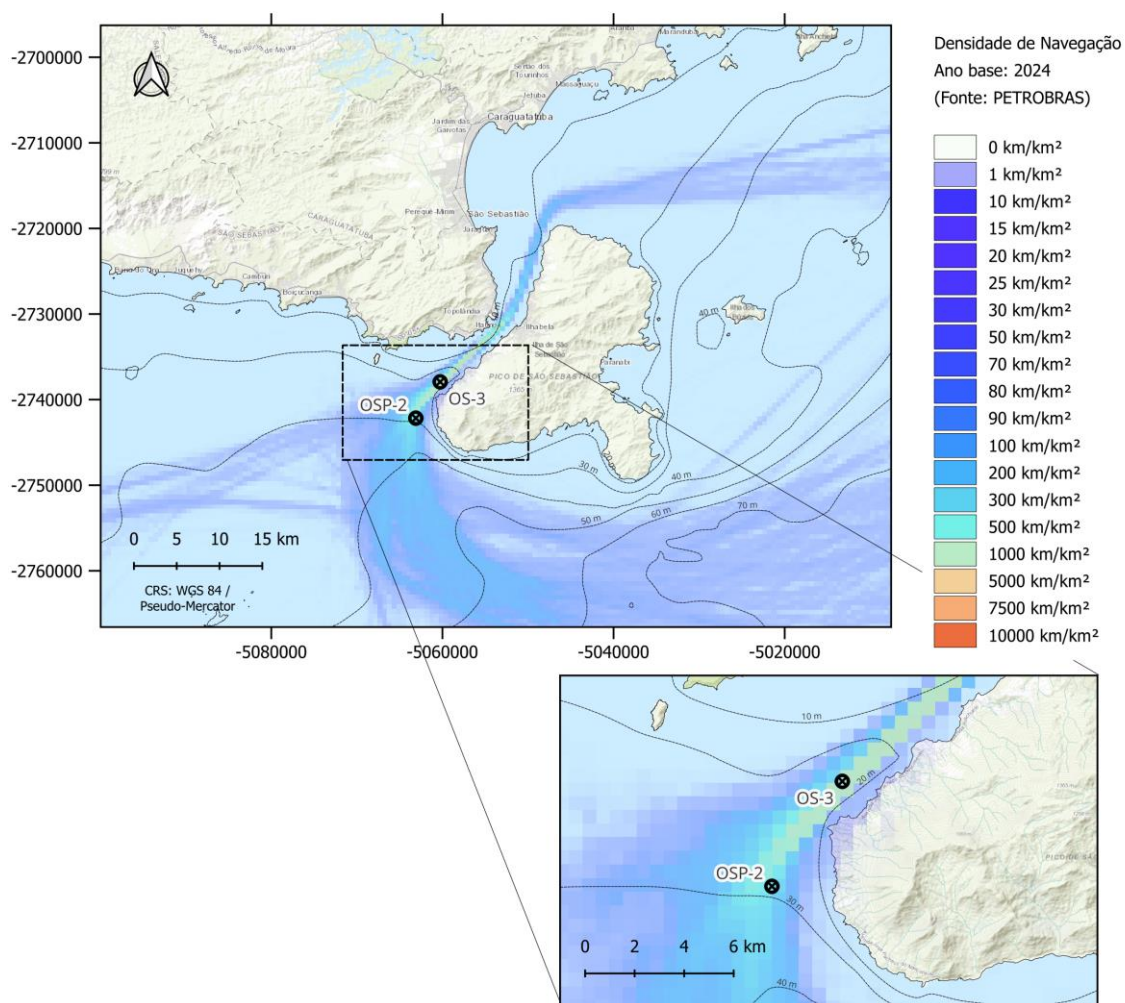


Figura II.1.1-3: Observatórios Submarinos no Canal de São Sebastião (OS3 e OSP2).

## 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. No 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 (Monitoramento Específico), como a prospecção sísmica, perfurações, operação das plataformas, dentre outras.

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 são processados pelo próprio equipamento e 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. 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.

No 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 à geração de ruídos espúrios associados à vibração da linha e que se acentua em linhas de fundeio mais extensas. As posições destas novas linhas, denominadas FA, FB, FC1 e FC2, 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. A posição planejada para a linha FA corresponde àquela da posição FA01, do primeiro ciclo, continuando o monitoramento de uma área com alta atividade de E&P. A posição FB corresponde à posição FA05, monitorando o tráfego de embarcações vindos da Baía de Guanabara para o polo pré-sal. A posição da linha FC foi planejada para medir regiões diversas, como regiões onde se planeja a instalação de plataformas, como foi o caso da posição FC1 e de outras regiões específicas, como a posição FC2, que monitora uma região intermediária entre a linha FA04, do primeiro ciclo, e a linha FC1, do segundo ciclo. Além de monitorar áreas com diferentes níveis de atividade antropogênica, as linhas do segundo ciclo do PMPAS-BS foram posicionadas onde as correntes são, em média, inferiores a 13 cm/s, para minimizar ruídos causados pelo fluxo e pela vibração da linha de fundeio.



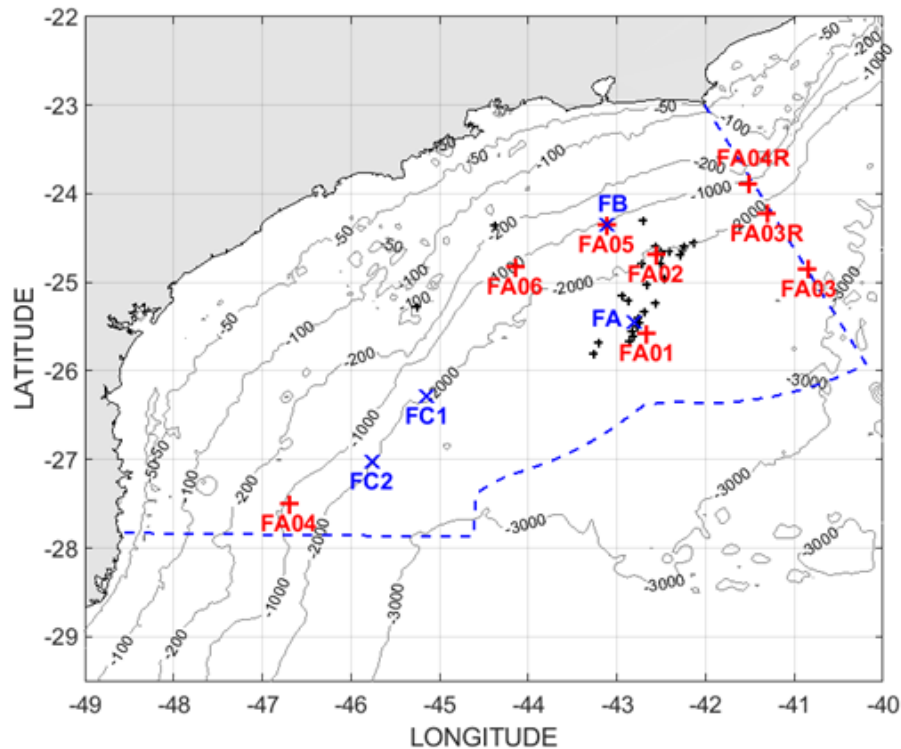


Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos no primeiro ciclo do PMPAS-BS (FA01, FA02, FA03, FA03R, FA04, FA04R, FA05 e FA06, em vermelho) e das três linhas usadas no segundo ciclo do projeto (FA, FB, FC1 e FC2, em azul).

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 <sub>1</sub> | 26°17'16,80"S | 45°08'31,20"W | 2.000            |
| FC <sub>2</sub> | 27°01'20,39"S | 45°46'00,80"W | 2.011            |

Dentro desta região oceânica, foram selecionadas quatro regiões, de aproximadamente 12.000 km<sup>2</sup> (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 em áreas com pouca atividade de E&P e navegação da PETROBRAS, mas com forte presença de 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 2024, 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, em sua maior parte, por atividades de terceiros.

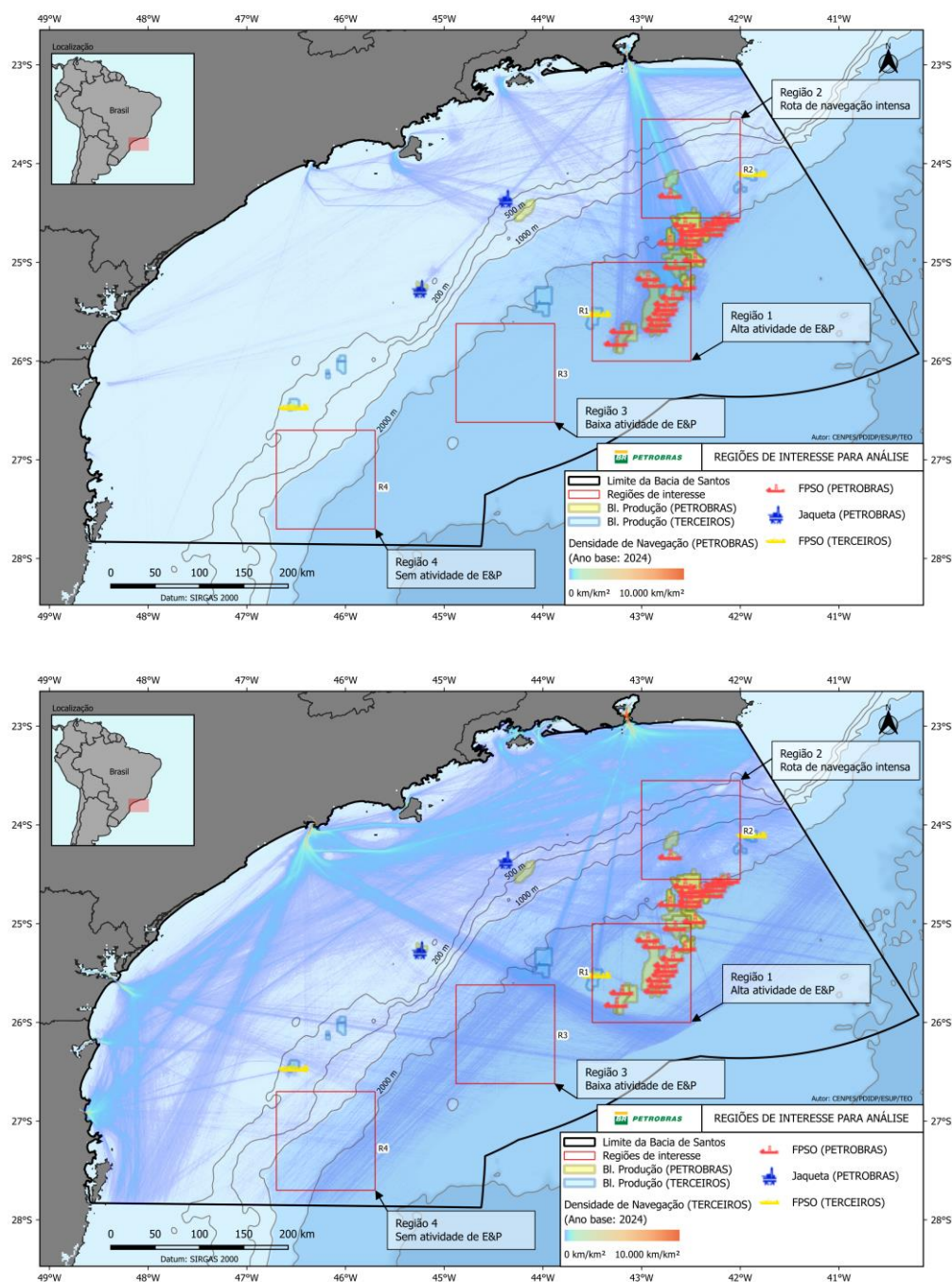


Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referentes a embarcações a serviço da PETROBRAS (mapa superior) e de terceiros (mapa inferior). (Fonte: (PETROBRAS, 2024))

## 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 B.

### 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). No primeiro ciclo do



PMPAS-BS, foram enviados ao PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas de gravações. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas as tabelas de detecção de vocalização de 45 campanhas de monitoramento contínuo e 19 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de misticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones. Foi enviada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando.

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 B.

## II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2024, 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 301.219 janelas acústicas de um minuto (5.020,3 horas), das quais 297.720 (4.945,3 horas) foram aceitas no processo de qualificação (98,5%). Destas janelas acústicas qualificadas, 145.783 (49%) foram realizadas dentro da Bacia de Santos e 150.937 fora dela;



- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2024, foram realizadas 52 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, referentes ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, 53 campanhas de monitoramento continuado e 19 campanhas de monitoramento específico, referentes ao segundo ciclo do PMPAS-BS, com gravação e processamento de 1.300.021 janelas acústicas de um minuto (21.667,0 horas), sendo que 1.066.481 destes minutos (17.774,6 horas – 82%) foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos, 899.989 (84,4%) foram medidos dentro da Bacia de Santos e 13.236 fora dela. No primeiro ciclo, foram feitas cerca de 9.132,3 horas de gravação, em um período de 2.273 dias (~4,0 horas/dia). Já no segundo ciclo, até o final de 2024 tinham sido feitas 12.534,7 horas de gravação em 1.065 dias (~11,8 horas/dia), o que representa um aumento em torno de três vezes no esforço de aquisição no segundo ciclo, comparado com aquele do primeiro ciclo, compatível com o aumento no número de *gliders* em operação simultânea, que passou de um *glider* no primeiro ciclo para até três no segundo ciclo.
- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre setembro de 2017 e dezembro de 2024, foram realizadas 10 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs no primeiro ciclo do PMPAS-BS e quatro no segundo ciclo. Devido a problemas operacionais ocorridos durante as campanhas do segundo ciclo e à necessidade de informações adicionais sobre os equipamentos usados nas linhas em fase de levantamento junto à empresa responsável pela coleta, os dados coletados no segundo ciclo do projeto não são usados em conjunto com os dados do primeiro ciclo neste relatório. São apresentados, no entanto, informações mais detalhadas sobre os problemas encontrados e o que está sendo feito para permitir a utilização destes dados. Em relação ao primeiro ciclo, foram feitos a gravação e o processamento de 3.579.488 janelas acústicas de um minuto (59.658,1 horas), referentes ao primeiro ciclo do projeto. Foram aceitos no processo de qualificação 1.309.242 minutos (21.820,7 horas). Os dados do segundo ciclo estão em processamento devido a mudanças



dos equipamentos de medição e estas estatísticas serão apresentadas no próximo relatório técnico do PMPAS-BS.

- **Observatórios Submarinos (OSs):** no período entre março de 2017 e dezembro de 2024, foram realizadas 129 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs, sendo 24 destas campanhas correspondentes ao segundo ciclo do projeto. Foram realizados, no total, gravação e processamento de 7.663.492 janelas acústicas de um minuto (127.724,8 horas), sendo aceitas no processo de qualificação 6.053.764 janelas (100.896,0 horas), correspondendo a 79,0%.

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, separados para os dois ciclos do projeto. O menor percentual de dados qualificados ocorreu nas LFIs, devido, principalmente, ao ruído próprio provocados pelas correntes oceânicas. O percentual para os *gliders* no segundo ciclo ficou um pouco acima do obtido no primeiro ciclo. Em relação aos OSs, houve uma redução no percentual de dados qualificados no segundo ciclo, quando comparado com o primeiro ciclo. Esta redução ocorreu, principalmente, nos observatórios submarinos de plataforma (OSP), instalados nas profundidades de 53 m e 103 m, na saída da Baía de Guanabara. Em algumas destas campanhas ocorreram problemas com o vandalismo dos observatórios por pescadores, provocando a perda de dados e danos físicos nos equipamentos. Outro problema observado foi uma falha técnica na placa eletrônica do gravador acústico, provocando falhas na gravação. Fatores como a mudança da empresa contratada para coleta dos dados de LFIs e OSs, que demanda uma curva de aprendizado, assim como distintos equipamentos nas LFIs entre o primeiro e o segundo ciclos, alteração do número de equipamentos e objetivos das campanhas dos *gliders*, entre outros, colaboram para estas diferenças, que são normais quando se refere à complexidade das medições acústicas em região extensa e com condições meteo-oceanográficas hostis como a Bacia de Santos.



*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, separados para os dois ciclos do projeto.*

| Sistemas              | LFIs     |                | Perf.                 | Gliders |          | OSs      |          |
|-----------------------|----------|----------------|-----------------------|---------|----------|----------|----------|
| Ciclos                | 1º       | 2º             | 1º                    | 1º      | 2º       | 1º       | 2º       |
| <b>Equipamentos</b>   | 18       | 6              | Variável <sup>1</sup> | 1       | 3        | 3        | 2        |
| <b>Gravação. (h)</b>  | 59.658,1 | 6.028,7        | 5.020,3               | 9.132,3 | 12.534,8 | 98.529,0 | 17.375,7 |
| <b>Período (dias)</b> | 1.830    | 787            | 2.272                 | 2.273   | 1.065    | 2.064    | 792      |
| <b>Qualificação</b>   | 36,6%    | - <sup>2</sup> | 98,5%                 | 79,1%   | 84,2%    | 84,8%    | 59,5%    |

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. A qualificação dos dados coletados pela LFIs no segundo ciclo está em andamento, não tendo sido possível incluir seus resultados neste relatório.



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

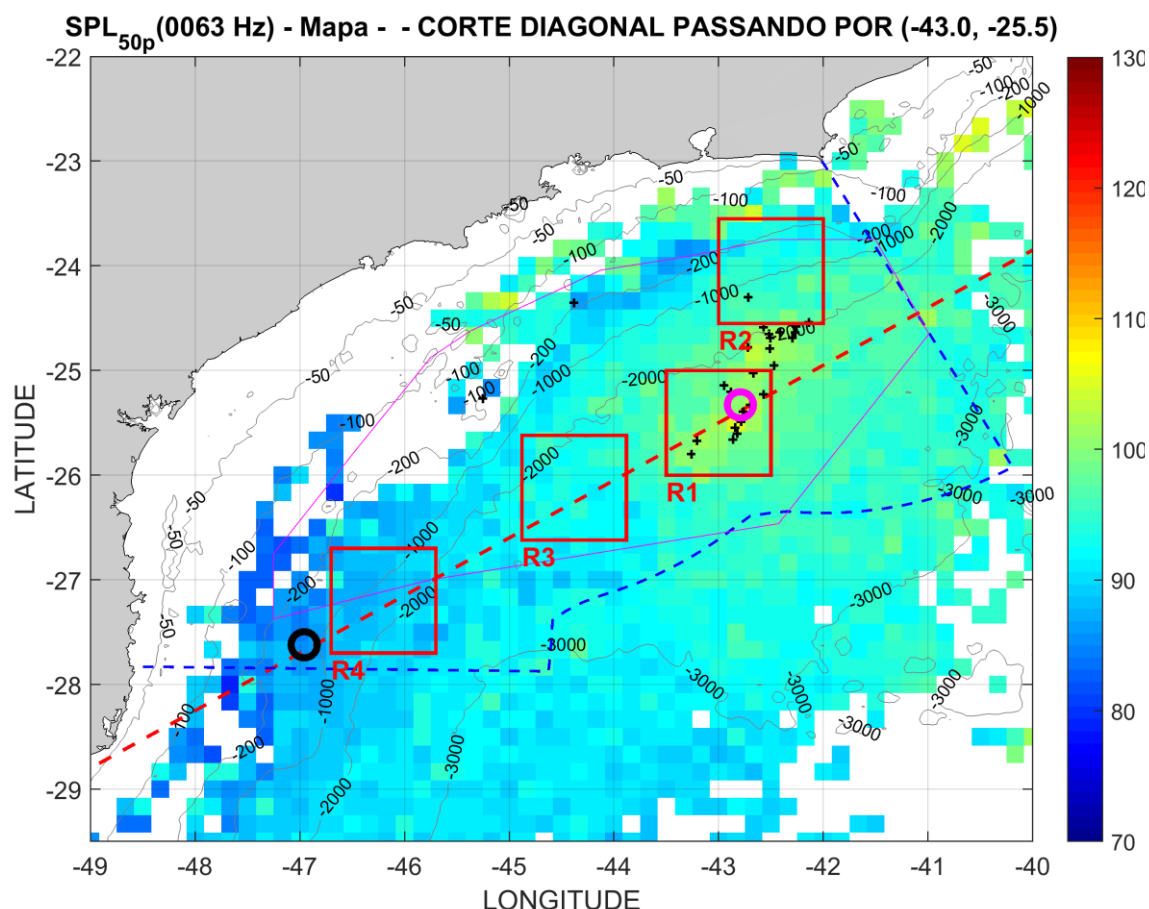
#### III.1 REGIÃO OCEÂNICA

##### III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

Os dados obtidos no monitoramento móvel com *gliders* e perfiladores foram usados para mapear os níveis de ruído ambiente na Bacia de Santos, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e nas bandas de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz (LIMA *et al.*, 2025). 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.

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).

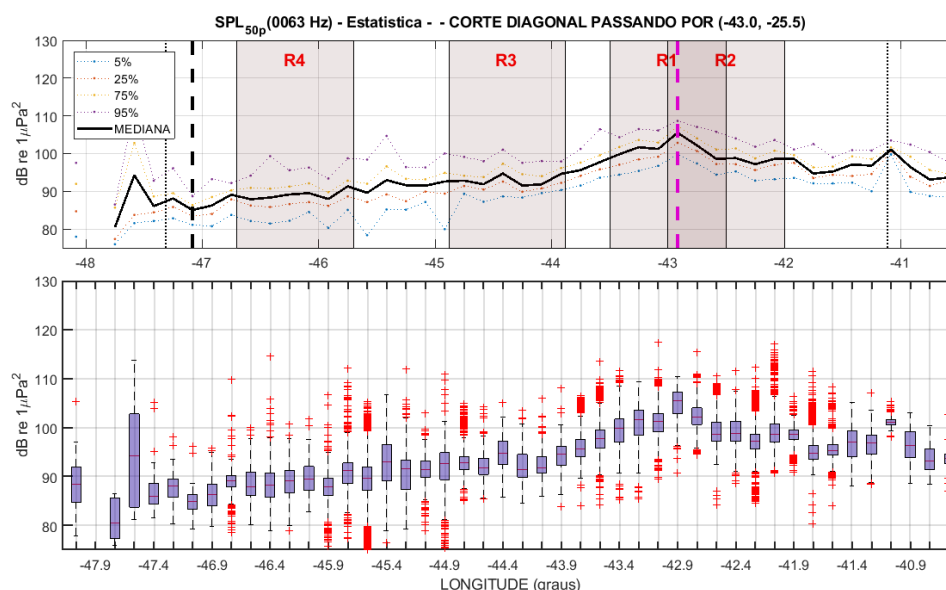
Os níveis para as posições nesta linha são mostrados nos gráficos da Figura III.1.1-2, em função da longitude. No gráfico de cima, são apresentados os 5°, 25°, 50° (mediana), 75° e 95° percentis. No gráfico de baixo, as distribuições das medições em cada posição da linha são apresentadas por meio de *boxplots*.



*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 posição das plataformas da PETROBRAS.*

Observa-se uma variação de 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 105,0 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup> na posição indicada pelo círculo magenta (-25,45°, -42,92°), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 85,0 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>, na posição indicada pelo círculo preto (-27,75°, -47,08°), 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 em algumas longitudes, aparecem muitos valores extremos (cruzes vermelhas no *boxplot*), que neste contexto não

significam valores espúrios, mas sim valores próximos à cauda da distribuição que ocorrem com menor frequência.



*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 do mapa da Figura III.1.1-1 (gráfico de cima) e boxplot para as medições feitas em cada posição (gráfico de baixo). A linha tracejada preta no gráfico de cima indica a posição do SPL mínimo e a linha magenta a posição do SPL máximo, para 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.*

A Figura III.1.1-3 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.1.1-4 mostra a mediana dos valores ao longo da linha diagonal vermelha para os gráficos das Figuras III.1.1-1 e III.1.1-3 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 longitudes referentes às 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 13 e 21 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 para diferentes frequências 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.

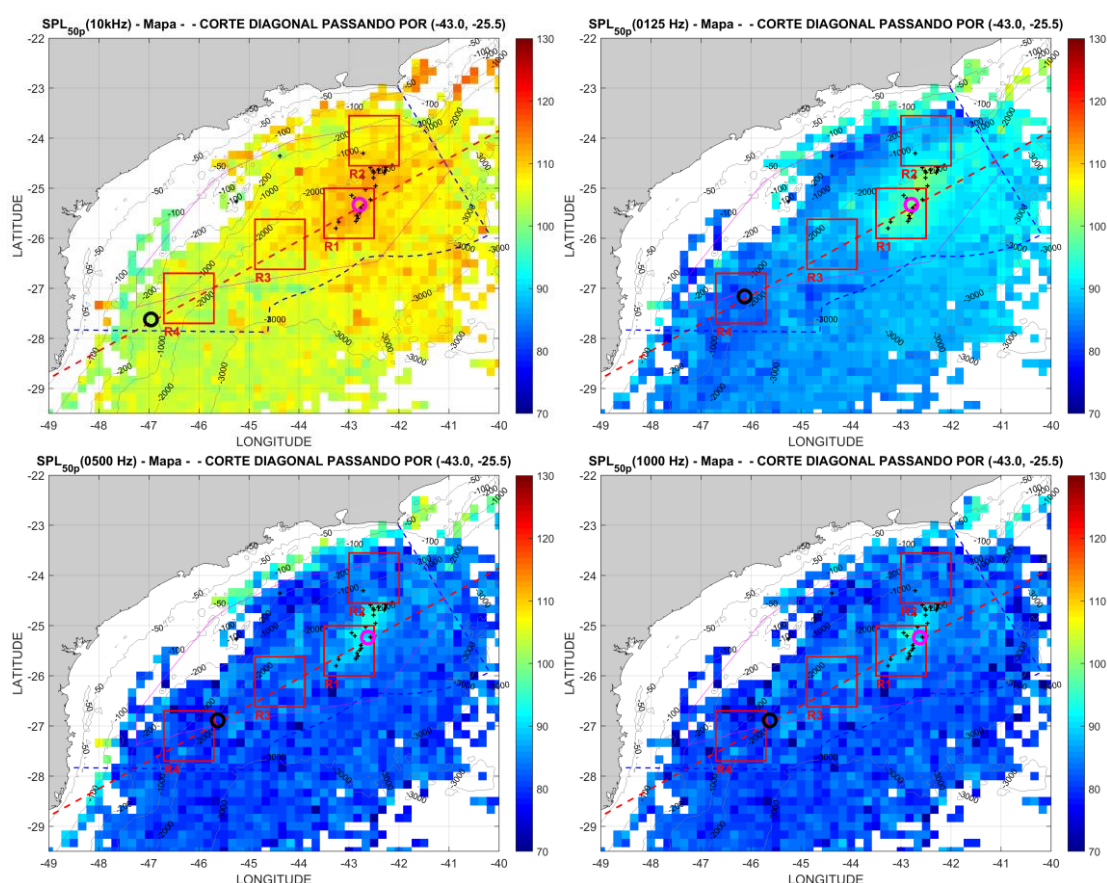


Figura III.1.1-3: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

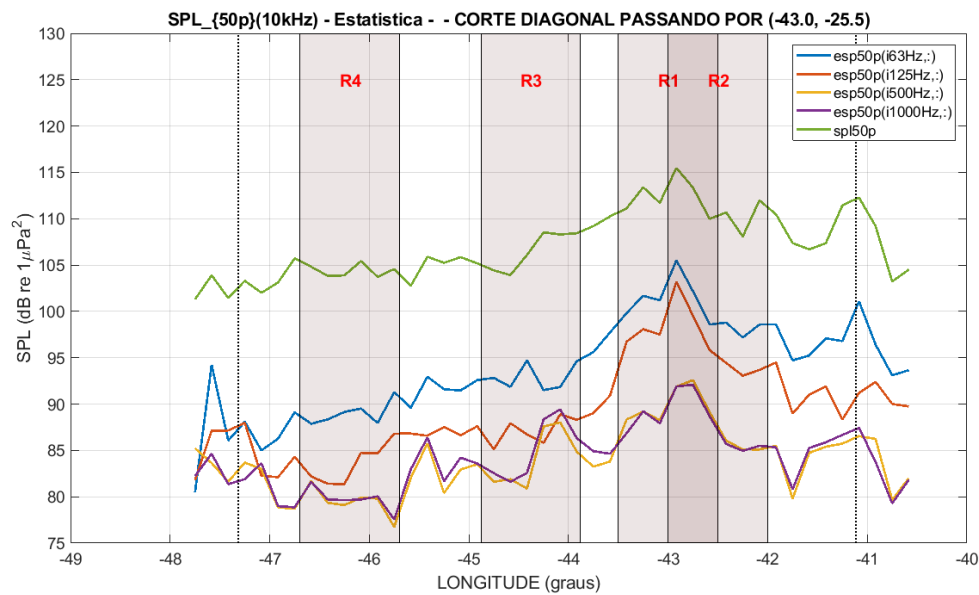


Figura III.1.1-4: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos. Os trechos destacados correspondem aos trechos em que a linha cruza as longitudes correspondentes às regiões R1, R2, 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<br>(dB re 1 $\mu\text{Pa}^2$ ) | Long./Lat.<br>(graus) | SPL Máximo<br>(dB re 1 $\mu\text{Pa}^2$ ) | Long./Lat.<br>(graus) | Diferença<br>(dB) |
|----------------|---|-----------------------|---|-----------------------|-------------------|
| 63 Hz          | 85,0                                      | (-47,08,-27,75)       | 105,5                                     | (-42,92,-25,45)       | 20,5              |
| 125 Hz         | 81,4                                      | (-46,25,-27,29)       | 103,2                                     | (-42,92,-25,45)       | 21,8              |
| 500 Hz         | 76,7                                      | (-45,75,-27,01)       | 92,6                                      | (-42,75,-25,36)       | 15,8              |
| 1.000 Hz       | 77,5                                      | (-45,75,-27,01)       | 92,1                                      | (-42,75,-25,36)       | 14,5              |
| 10 Hz a 10 kHz | 102,0                                     | (-47,08,-27,75)       | 115,5                                     | (-42,92,-25,45)       | 13,5              |

### 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.

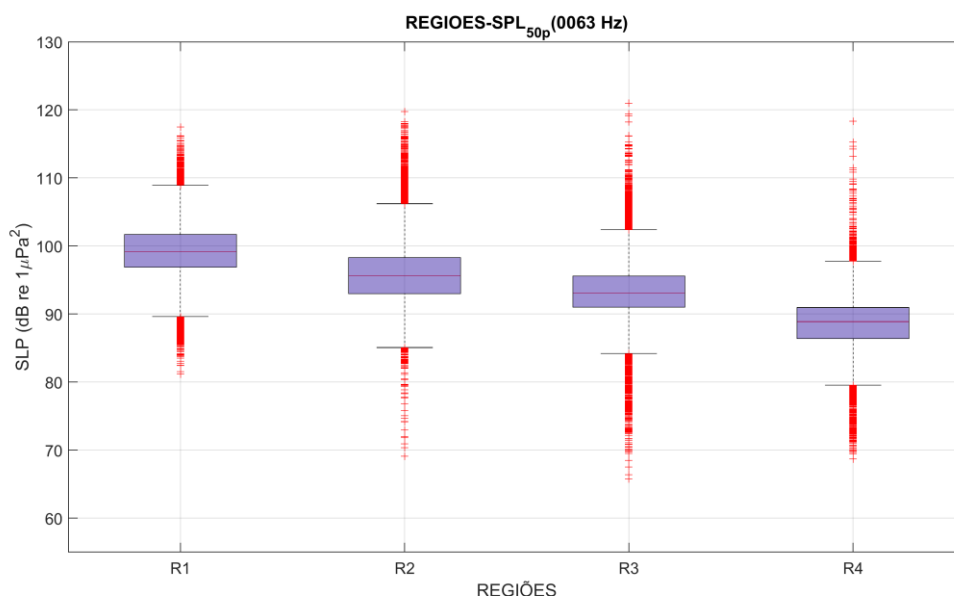


Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos *gliders* e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA,  $F=31.760,3$ ,  $p=0$ ).

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.

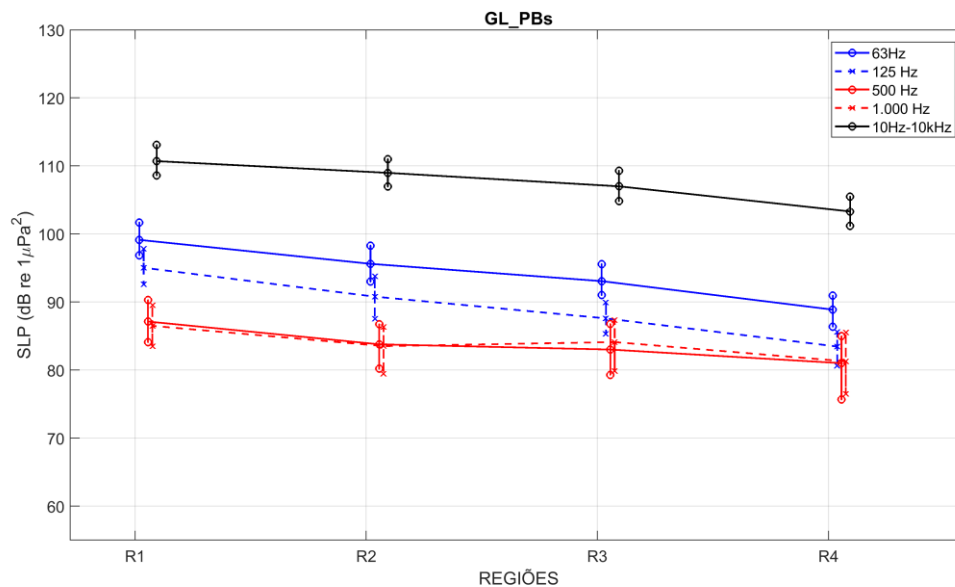


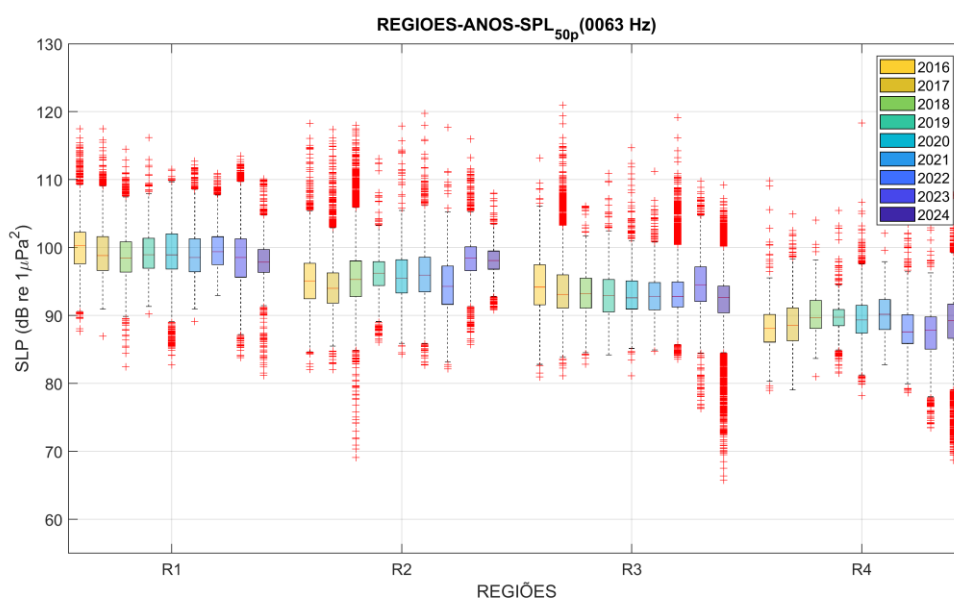
Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis 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. As exceções são na frequência de 500 Hz, onde não é possível dizer que há diferenças entre as regiões R2 e R3 e na frequência de 1.000 Hz, onde a região R3 é um pouco mais ruidosa do que a região R2.

As regiões R1, R2 e R3 foram mais bem amostradas, com um número de medições de três a seis 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. As relações entre o número de medições na região R4 para as outras regiões variavam entre quatro e nove vezes no primeiro ciclo, tendo sido

compensadas pela estratégia adotada no segundo ciclo de direcionar as campanhas de monitoramento continuado visando equilibrar esta relação, não só entre as regiões R1, R2, R3 e R4, mas, também, para outras regiões dentro da Bacia de Santos que foram menos amostradas no primeiro ciclo.

A Figura III.1.1.1-3 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 2024. Na Figura 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. Na Tabela III.1.1-2, são apresentadas as diferenças entre os anos com SPL mínimo e máximo para cada região e faixa de frequência analisadas.



**Figura III.1.1.1-3:** Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2024, 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 3 dB até 2024, com o ano de 2016 mais ruidoso e 2024 mais silencioso, indicando uma estabilidade nos níveis de ruído nesta banda de frequência. Na região R2, a diferença entre as medianas ficou em 4,4 dB, com o ano de 2023 mais ruidoso e 2017 mais silencioso. Na região R3, a



diferença entre as medianas ficou perto de 2 dB, com o ano de 2023 sendo o mais ruidoso e o ano de 2020 o mais silencioso. Na região R4, a diferença entre as medianas ficou perto de 2,6 dB, sendo 2021 o ano mais ruidoso e 2022 o mais silencioso.

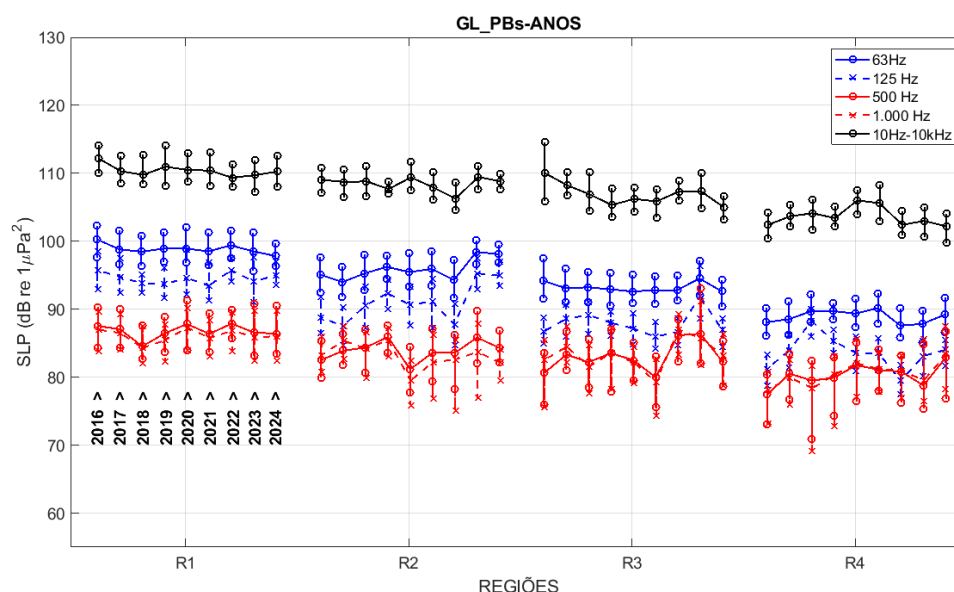
Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença entre os anos ficou em no máximo 2,3 dB, com o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 7,7 dB, com o ano de 2023 mais ruidoso e o ano de 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 6 dB, sendo o ano de 2023 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a maior diferença ficou em 8,8 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 3,3 dB, entre os anos de 2022, mais ruidoso, e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 4,7 dB, entre os anos de 2019, mais ruidoso, e 2020, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 6,4 dB, com o ano de 2023 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 5,5 dB, com o ano de 2024 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 dB, entre os anos de 2020, mais ruidoso, e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 5,9 dB, entre os anos de 2019, mais ruidoso e 2020, mais silenciosos. Na região R3, a diferença máxima ficou em 7,7 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 5,3 dB, com o ano de 2024 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 2016 mais ruidoso e 2022 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 3,2 dB entre os anos de 2023, mais ruidoso, e 2022, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 5 dB, sendo o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2024 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 3,8 dB, sendo o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2024 mais silencioso.





*Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2024, 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 nove marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024, respectivamente.*

Observou-se uma estabilização nos níveis de ruído nas regiões R1, R2 e R4 em 2024 em relação a 2023. Na região R4, observa-se um pequeno aumento nas frequências de 63 Hz e 125 Hz em 2024 em relação a 2023. Não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões, com algumas oscilações, dependendo da frequência, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2024). 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.

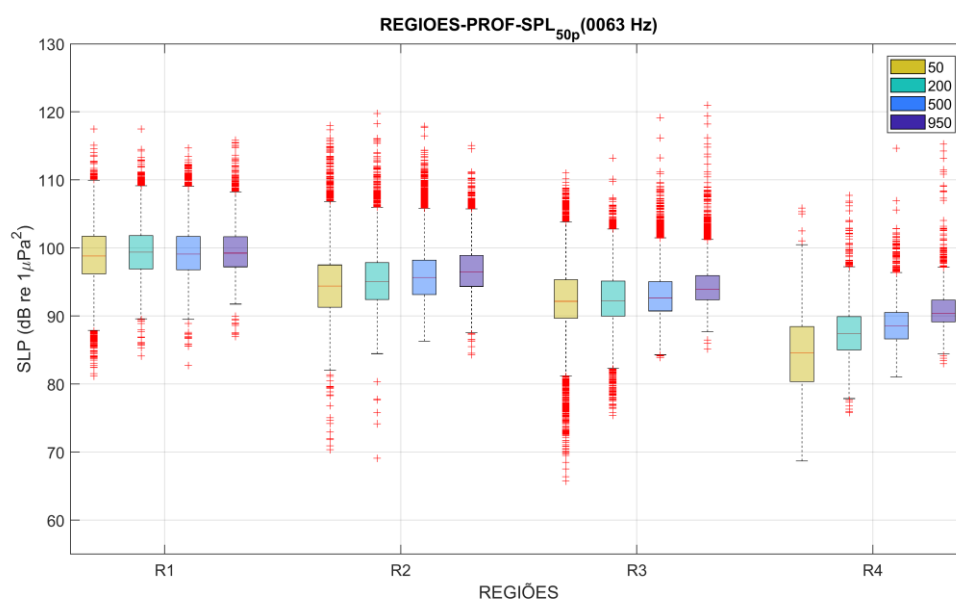
*Tabela III.1.1-2: Diferenças do SPL para os anos com SPL mínimo e máximo em cada região e para cada faixa de frequência.*

| Frequência | Região | Mínimo | Máximo | Diferença |
|------------|--------|--------|--------|-----------|
| 63Hz       | R1     | 2024   | 2016   | 2,46      |
|            | R2     | 2017   | 2023   | 4,46      |
|            | R3     | 2020   | 2023   | 1,93      |
|            | R4     | 2022   | 2021   | 2,59      |
| 125Hz      | R1     | 2021   | 2016   | 2,29      |
|            | R2     | 2017   | 2023   | 7,76      |
|            | R3     | 2021   | 2023   | 5,99      |
|            | R4     | 2022   | 2018   | 8,81      |
| 500Hz      | R1     | 2018   | 2022   | 3,34      |
|            | R2     | 2020   | 2019   | 4,75      |
|            | R3     | 2021   | 2023   | 6,40      |
|            | R4     | 2016   | 2024   | 5,48      |
| 1.000Hz    | R1     | 2018   | 2020   | 2,98      |
|            | R2     | 2020   | 2019   | 5,91      |
|            | R3     | 2021   | 2022   | 7,72      |
|            | R4     | 2016   | 2024   | 5,30      |
| 10Hz-10kHz | R1     | 2022   | 2016   | 2,85      |
|            | R2     | 2022   | 2023   | 3,20      |
|            | R3     | 2024   | 2016   | 5,00      |
|            | R4     | 2024   | 2020   | 3,84      |

A Figura III.1.1.1-5 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.1.1.1-6 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. Na Tabela III.1.1-3, são apresentadas as diferenças entre as profundidades com SPL mínimo e máximo para cada região e faixa de frequência analisadas.

Para a frequência de 63 Hz, na região R1, a diferença entre as medianas para as faixas de profundidade é de no máximo 0,5 dB, sendo mais silenciosa em 50 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 2,1 dB nas regiões R2 e R3 e de 5,8 dB na região R4.





*Figura III.1.1.1-5: 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.*

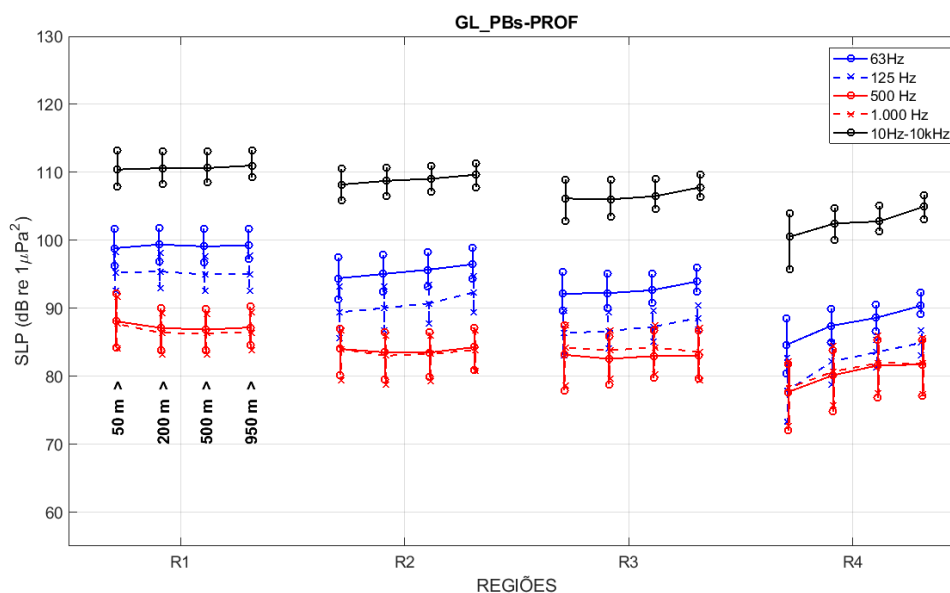
Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas do ruído para as profundidades foi de 0,4 dB entre 200 m (mais ruidosa) e 500 m (mais silenciosa). Para as demais regiões, observa-se um aumento de ruído com o aumento da profundidade, com a variação entre o máximo e o mínimo de ruído ficando acima de 2 dB, chegando a 7,1 dB na região R4.

Para a frequência de 500 Hz, a profundidade mais ruidosa nas regiões R1 e R3 é 50 m e nas regiões R2 e R4, 950 m. A profundidade de 500 m foi mais silenciosa nas regiões R1 e R2, enquanto na região R3 foi 200 m e na região R4, 50 m. A maior diferença entre as medianas dos dados, no entanto, ficou abaixo de 1,5 dB nas regiões R1, R2 e R3, mas ficou em torno de 4 dB na região R4.

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 500 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 3,7 dB, na região R4.



Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em todas as regiões, o ruído é maior na profundidade de 950 m. O menor ruído ficou na profundidade de 50 m para as regiões R1, R2 e R4 e de 200 m na região R3. O ruído aumenta com o aumento da profundidade, com a diferença entre as profundidades de 50 m e 950 m indo de 0,6 dB na região R1 a 4,5 dB na região R4.



*Figura III.1.1.1-6: 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.*

*Tabela III.1.1-3: Diferenças do SPL para as profundidades com SPL mínimo e máximo em cada região e para cada faixa de frequência.*

| Frequência | Região | Mínimo | Máximo | Diferença |
|------------|--------|--------|--------|-----------|
| 63Hz       | R1     | 50     | 200    | 0,55      |
|            | R2     | 50     | 950    | 2,07      |
|            | R3     | 50     | 950    | 1,78      |
|            | R4     | 50     | 950    | 5,75      |
| 125Hz      | R1     | 500    | 200    | 0,44      |
|            | R2     | 50     | 950    | 2,93      |
|            | R3     | 50     | 950    | 2,23      |
|            | R4     | 50     | 950    | 7,07      |
| 500Hz      | R1     | 500    | 50     | 1,23      |
|            | R2     | 500    | 950    | 0,79      |
|            | R3     | 200    | 50     | 0,61      |
|            | R4     | 50     | 950    | 4,04      |
| 1.000Hz    | R1     | 500    | 50     | 1,35      |
|            | R2     | 200    | 50     | 0,97      |
|            | R3     | 950    | 50     | 0,67      |
|            | R4     | 50     | 500    | 3,67      |
| 10Hz-10kHz | R1     | 50     | 950    | 0,60      |
|            | R2     | 50     | 950    | 1,44      |
|            | R3     | 200    | 950    | 1,77      |
|            | R4     | 50     | 950    | 4,47      |

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 7 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 demais profundidades são 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. Na região R4, as medianas para 500 m e 950 m ficaram mais altas e para 50 m, mais baixa, invertendo a tendência observada nos relatórios anteriores, indicando a



necessidade de um melhor acompanhamento destes dados nas próximas campanhas.

### **III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas**

No segundo ciclo do PMPAS-BS, a aquisição de dados com as LFI foi modificada, passando de seis linhas com três equipamentos (50 m, 200 m e 950 m) no primeiro ciclo para três linhas com dois equipamentos (500 m e 950 m) no segundo ciclo. Até dezembro de 2024, foram realizadas quatro campanhas com as LFI no segundo ciclo. Uma análise dos dados obtidos nestas campanhas mostrou que grande parte das gravações apresentaram problemas que impediram seu uso para a caracterização do ruído ambiente. O processamento para os equipamentos que não tiveram problemas de gravação não pode ser feito até o fechamento deste relatório devido à falta de informações necessárias para a conversão dos dados gravados em pressão acústica. Estas informações incluem as curvas de sensibilidade dos hidrofones, o fundo de escala dos conversores analógico-digitais e resposta de baixa frequência dos equipamentos usados na gravação.

Na Seção III.1.2.1, são reapresentadas as comparações dos dados das LFI coletados no primeiro ciclo do projeto. Na Seção III.1.2.2, são mostrados mais detalhes sobre os dados obtidos pelas LFI no segundo ciclo.

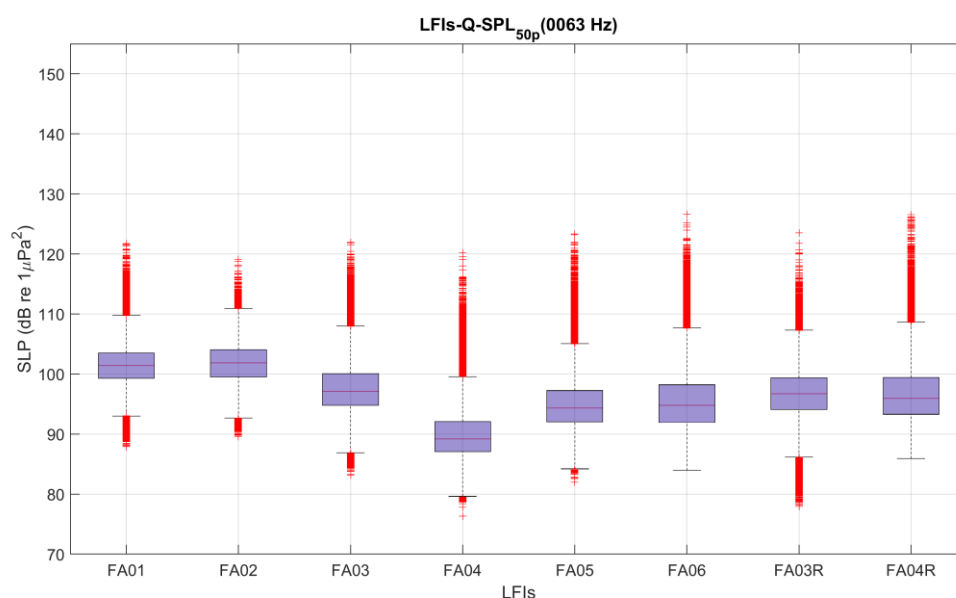
#### **III.1.2.1 Comparação entre as LFI**

A qualificação dos dados das LFI 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 Hz, 125 Hz, 500 Hz 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, 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.

Os dados usados nas análises apresentadas nesta seção consideram apenas os dados coletados durante o primeiro ciclo do PMPAS-BS. 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 validados 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.

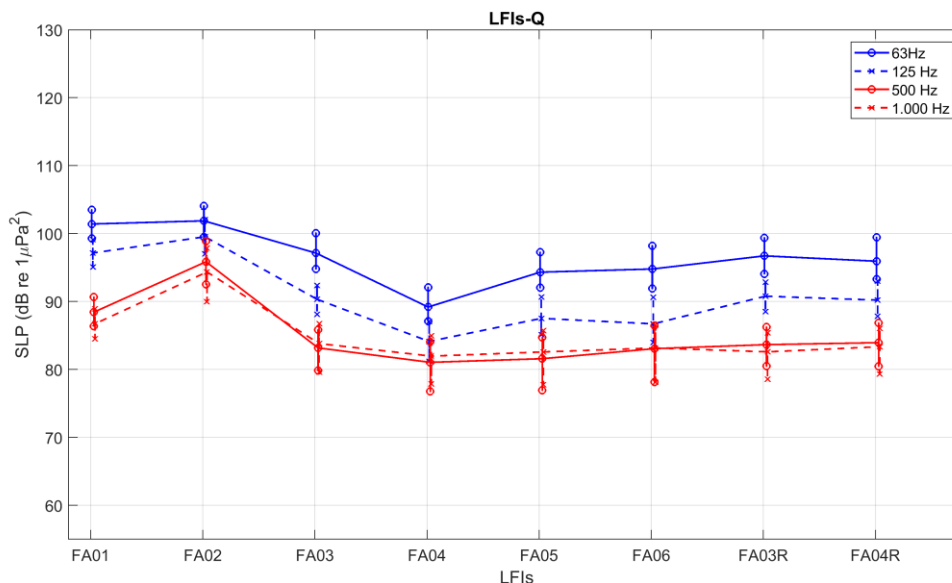


Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

A Figura III.1.2.1-3 mostra os *boxplots* para o  $SEL_{24h\_LF}$  (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*) e a Figura III.1.2.1-4 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 para a linha FA-02, enquanto as outras linhas ficaram com níveis muito próximos.

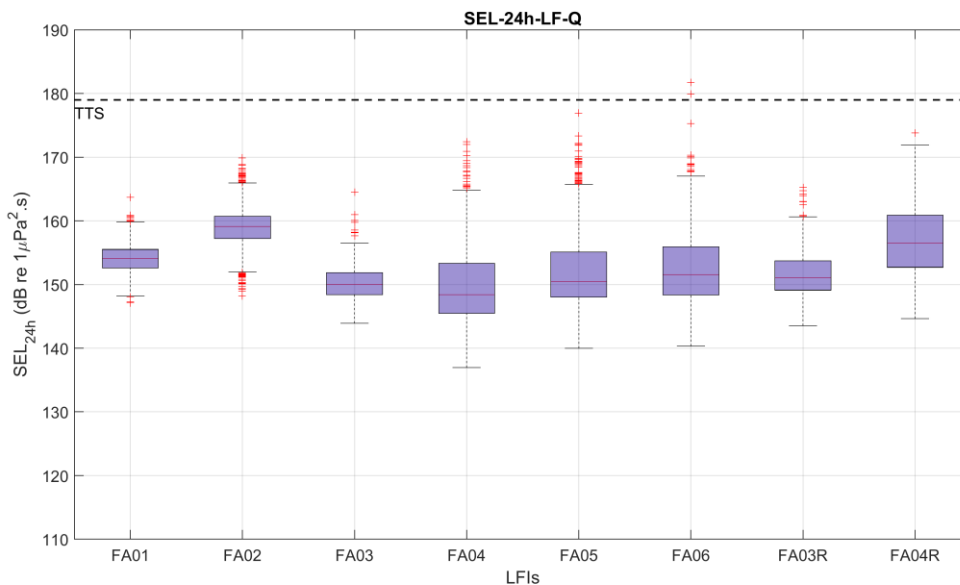


Figura III.1.2.1-3: Comparação entre o  $SEL_{24h-LF}$  para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

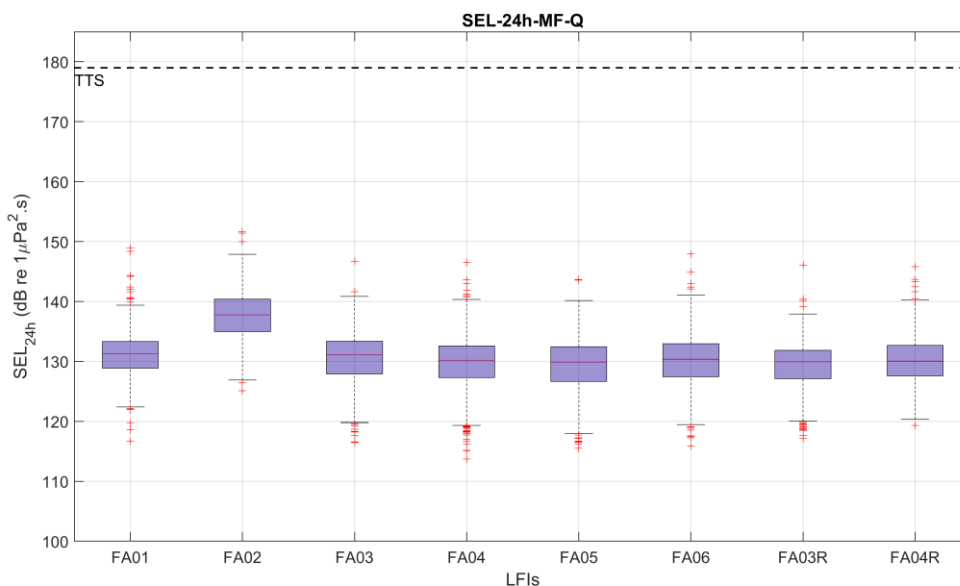


Figura III.1.2.1-4: Comparação entre o  $SEL_{24h-MF}$  para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

### **III.1.2.2      *Processamento dos Dados das LFIs do Segundo Ciclo do PMPAS-BS***

Os dados acústicos recebidos das linhas de fundeio instrumentadas no PMPAS-BS são processados para se obter parâmetros espectrais usados na caracterização da paisagem acústica na região. No processamento, são usadas as curvas de sensibilidade dos hidrofones empregados e as respostas de frequência dos amplificadores e do conversor analógico digital do gravador acústico, para converter os dados digitais dos arquivos de áudio em pressão acústica na face dos hidrofones. O objetivo final deste processamento é obter a pressão acústica no meio ambiente, permitindo que gravações realizadas por diferentes equipamentos possam ser combinadas nas análises.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, foram realizadas quatro campanhas, com as LFIs operadas pela FUGRO, até dezembro de 2024. Em cada campanha, foram lançadas três linhas, com dois equipamentos em cada uma delas. O equipamento utilizado nestas campanhas foi o modelo Sono.Vault, da empresa *Develogics Subsea Systems*, equipado com hidrofones modelo Sonar-T437 da empresa Neptune. A Tabela III.1.2.2-1 apresenta os equipamentos (com respectivos hidrofones) e profundidades de instalação das linhas, onde Fx indica a linha “x” e C0y indica a campanha “y”.

As informações necessárias para o processamento e análise destes dados ainda estão em fase de levantamento junto à empresa responsável pelas medições e ao fabricante dos equipamentos, incluindo características detalhadas dos hidrofones, fundos de escalas e resposta de frequência do gravador acústico. Baseado nas informações a serem disponibilizadas pelo fabricante, deverá ser consolidado o processo de avaliação de qualidade e processamento dos dados das LFIs neste ciclo.

Na ausência das curvas de sensibilidade corretas dos hidrofones usados, os dados gravados foram processados usando uma curva genérica, para permitir uma avaliação preliminar da qualidade dos sinais gravados, não sendo possível, no entanto, obter valores confiáveis da pressão acústica absoluta. A análise destes dados mostrou que alguns dos equipamentos tiveram problemas de gravação, inviabilizando seu uso no projeto. Nestes equipamentos, a gravação



ocorreu normalmente durante toda a campanha, mas foi gravado apenas ruído do circuito eletrônico. Apenas nove dos 24 equipamentos lançados nas quatro campanhas, destacados em cinza na tabela, gravaram dados considerados aproveitáveis para a obtenção do ruído ambiente. Destes, dois são da primeira campanha e dois da segunda. Nenhum equipamento gravou corretamente na terceira campanha, enquanto cinco operaram normalmente na quarta campanha.

Na primeira campanha, o equipamento FA-C01-500m foi inundado, não tendo feito nenhuma gravação. Os equipamentos FA-C01-950m, FB-C01-500m e FC1-C01-950m gravaram dados que não puderam ser aproveitados.

Na segunda campanha, os equipamentos FA-C02-950m, FB-C02-500m, FB-C02-950m e FC1-C02-950m gravaram dados que não puderam ser aproveitados.

Na terceira campanha, o equipamento FA-C03-500m gravou corretamente, mas por apenas 15 dias, dos 180 dias programados. Todos os outros equipamentos desta campanha gravaram dados que não puderam ser aproveitados.

Para a quarta campanha, os equipamentos passaram por uma avaliação antes do seu lançamento, sendo feitas correções no circuito eletrônico para tentar resolver o problema. Apenas o equipamento FB-C04-950m não gravou corretamente nesta campanha.

O processamento definitivo dos dados das linhas com dados aproveitáveis será feito assim que todas as informações necessárias sejam fornecidas pela empresa FUGRO. Simultaneamente ao esforço de levantamento destas informações, também estão sendo planejados e executados testes de avaliação da curva de sensibilidade em um Tanque Hidroacústico no IPqM, assim como o planejamento de testes comparativos das gravações feitas em um mesmo ambiente com equipamentos diferentes. Todos os esforços estão sendo conduzidos para que os dados das linhas de fundeio instrumentadas já estejam aptos a serem apresentados de forma adequada no décimo relatório técnico do PMPAS-BS.



*Tabela III.1.2.2-1: Números de série dos equipamentos SonoVault utilizados nas campanhas do segundo ciclo com números de série dos hidrofones e profundidade de instalação.*

| LFI       | Prof. (m) | Equipamento | Hidrofone |
|-----------|-----------|-------------|-----------|
| FA-C01*   | 500       | SN44011     | SN47638   |
| FA-C01**  | 950       | SN44015     | SN47640   |
| FB-C01**  | 500       | SN44012     | SN47645   |
| FB-C01    | 950       | SN44009     | SN47639   |
| FC1-C01   | 500       | SN44013     | SN47642   |
| FC1-C01** | 950       | SN44008     | SN47644   |
| FA-C02    | 500       | SN44010     | SN47641   |
| FA-C02**  | 950       | SN44014     | SN47643   |
| FB-C02**  | 500       | SN44012     | SN47645   |
| FB-C02**  | 950       | SN44009     | SN47639   |
| FC1-C02   | 500       | SN44013     | SN47642   |
| FC1-C02** | 950       | SN44008     | SN47644   |
| FA-C03*** | 500       | SN44010     | SN47641   |
| FA-C03**  | 950       | SN44014     | SN47643   |
| FB-C03**  | 500       | SN44012     | SN47645   |
| FB-C03**  | 950       | SN44009     | SN47639   |
| FC1-C03** | 500       | SN44013     | SN47642   |
| FC1-C03** | 950       | SN44008     | SN47644   |
| FA-C04    | 500       | SN44013     | SN47642   |
| FA-C04    | 950       | SN44008     | SN47644   |
| FB-C04    | 500       | SN44032     | SN50497   |
| FB-C04**  | 950       | SN44015     | SN51062   |
| FC2-C04   | 500       | SN44012     | SN47645   |
| FC2-C04   | 950       | SN44009     | SN47639   |

\* Equipamento inundado. Nenhum dado gravado.

\*\* Defeito no circuito eletrônico. Gravou normalmente, mas sem sinal aproveitável.

\*\*\* Gravou por apenas 15 dias, dos 180 programados.



*RSF*  
Coordenador da Equipe



*W. Bauf*  
Técnico Responsável

9º Relatório  
Técnico

Revisão 00  
08/2025

## **III.2 REGIÃO COSTEIRA – MONITORAMENTO FIXO – OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS**

No segundo ciclo do PMPAS-BS, o número de OSs usados foi reduzido de três para dois, com um deles permanecendo na entrada da Baía de Guanabara (OS1A) e o outro, chamado de “Observatório Submarino de Plataforma – OSP”, sendo movimentado na plataforma continental com lâmina d’água de até 100 m, para caracterizar o ruído ambiente em diferentes locais de interesse.

Na Seção III.2.1, são feitas comparações entre os níveis de ruído ambiente medidos nas diversas posições medidas pelos OSs, utilizando dados até dezembro de 2024. A Seção III.2.2, apresenta a comparação para os OSs instalados no entorno da Baía de Guanabara e a Seção III.2.3, para os OSs instalados próximos ao canal de São Sebastião.

### **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. 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 nas primeiras campanhas de monitoramento, iniciadas em 2017.

É possível constatar que, de uma maneira geral, os OSs instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4) são os mais ruidosos entre 10 e 300 Hz. Os OSs instalados na entrada da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A) são mais ruidosos acima de 2 kHz. A posição OS2R, a oeste da Ilha Grande, é a mais silenciosa até o filtro de 400 Hz e a posição OSP4, próximo à Baía de Guanabara, na profundidade local de 103 m, é mais silenciosa acima de 1 kHz, seguido da posição OSP3, na profundidade de 53 m. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, o OS2 seguido do OS1A são os mais ruidosos.

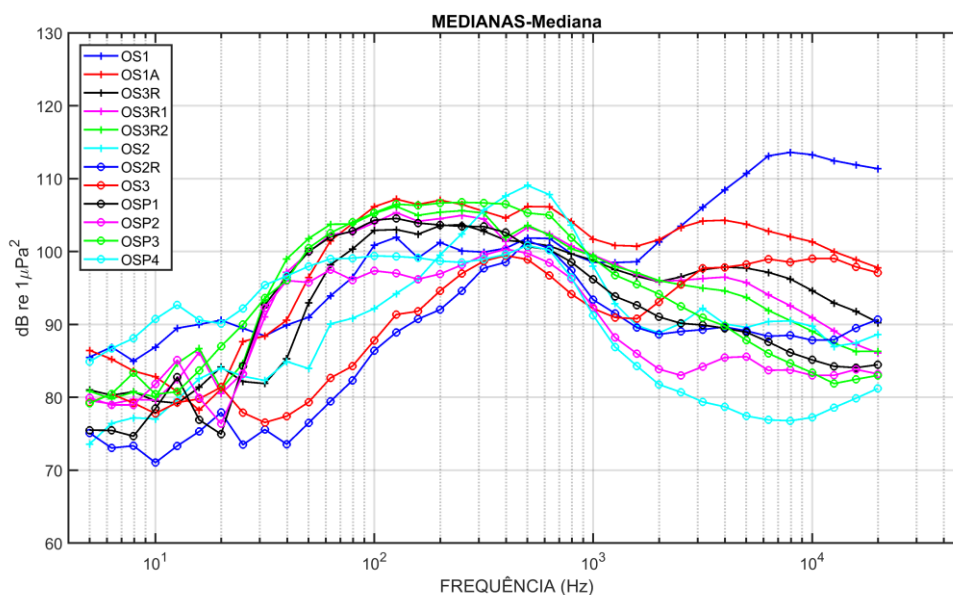
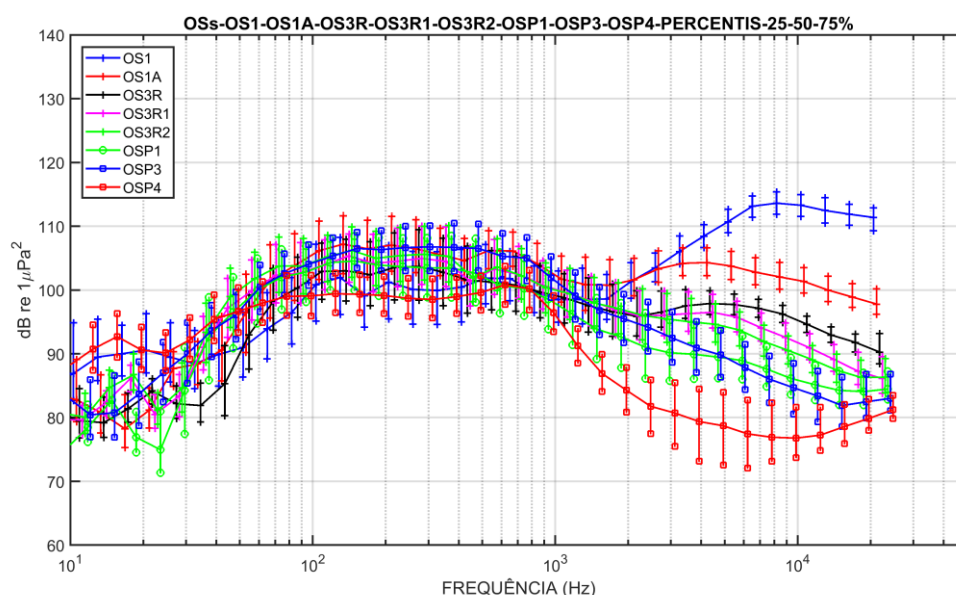


Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs.

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, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4), incluindo no gráfico os percentis de 25% e 75% em cada banda do espectro de 1/3 de oitava. Destaca-se nestes espectros o aumento de níveis no OSP4 e no OS1 na faixa de baixa frequência, abaixo de 30 Hz, e no OS1 e OS1A na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz. Acima de 1 kHz, o OSP4 é mais silencioso.

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, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4. 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 e OSP2), incluindo no gráfico os percentis de 25% e 75% em cada banda do espectro de 1/3 de oitava. A posição OS2 é mais ruidosa entre 200 Hz e 1.000 Hz. Abaixo de 200 Hz, a posição OSP2, no Canal de São Sebastião é mais ruidosa e a partir de 2.000 Hz, a posição OS3 é a mais ruidosa. A posição OS2R é mais silenciosa abaixo de 300 Hz e a posição OSP2 acima de 1.000 Hz.

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.

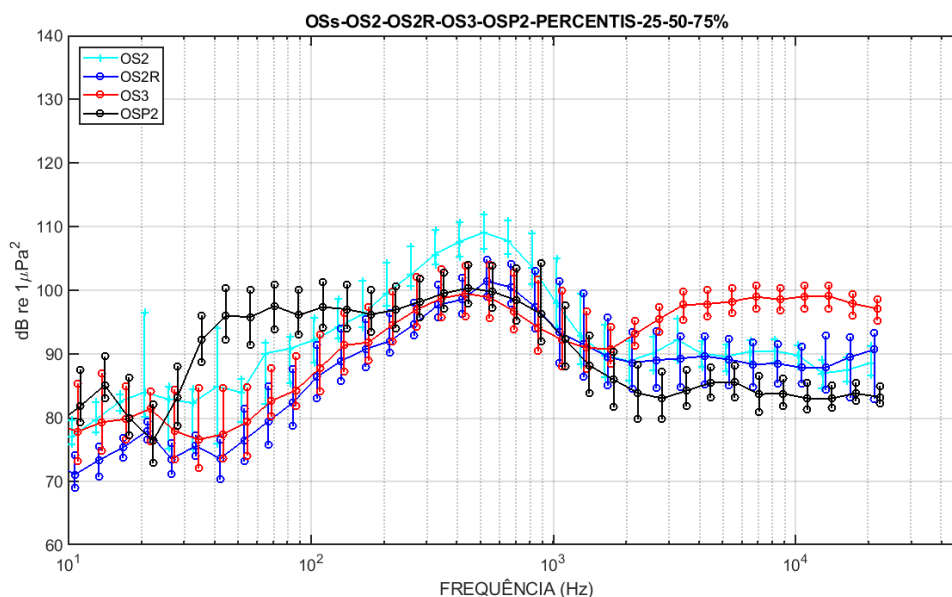


Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R, OS3 e OSP2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

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; STANLEY e JEFFS, 2014), que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local. Os espectros apresentados, também permitem observar que, apesar de diferentes, as assinaturas acústicas 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 e 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, provocadas 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; BUTLER e GAFF, 2017; COQUEREAU *et al.*, 2016; LILLIS e 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 e 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).

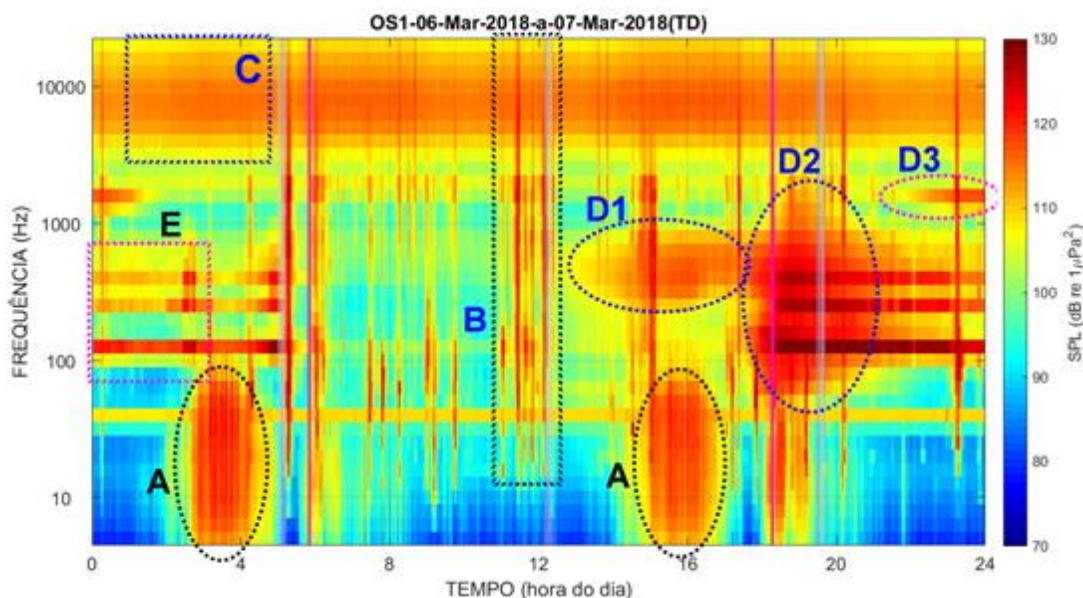


Figura III.2.1-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz).

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).

Mais características destes ruídos para todos os OSs são apresentadas em PETROBRAS/IPQM, (2022).

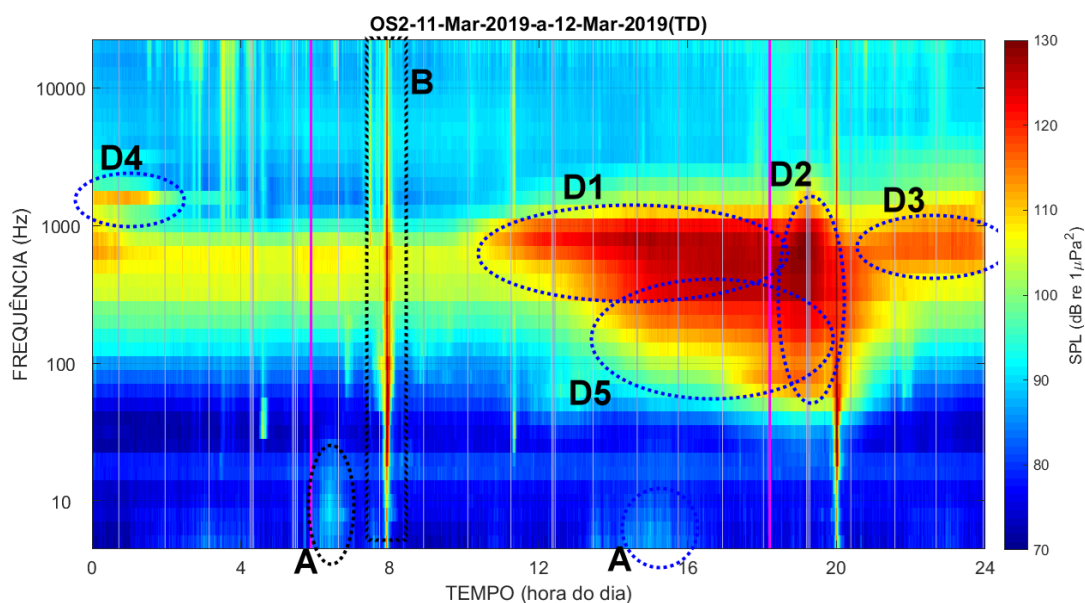


Figura III.2.1-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

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 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Na banda de 63 Hz (Figura III.2.1-6), os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4 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 OS3 e depois o OS2. 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. Uma análise mais detalhada nos dados gravados mostrou a passagem de um número pequeno de embarcações por dia, mas com níveis elevados de ruído devidos, provavelmente, ao grande porte destas embarcações e à proximidade de sua passagem pelos OSs.

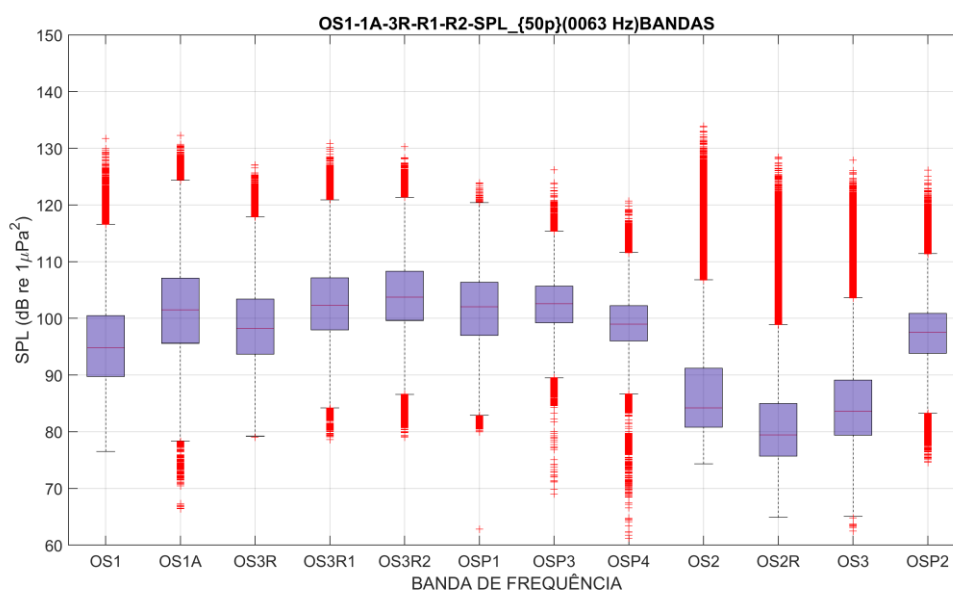


Figura III.2.1-6: Boxplots do  $SPL_{63Hz}$ , para as posições analisadas.

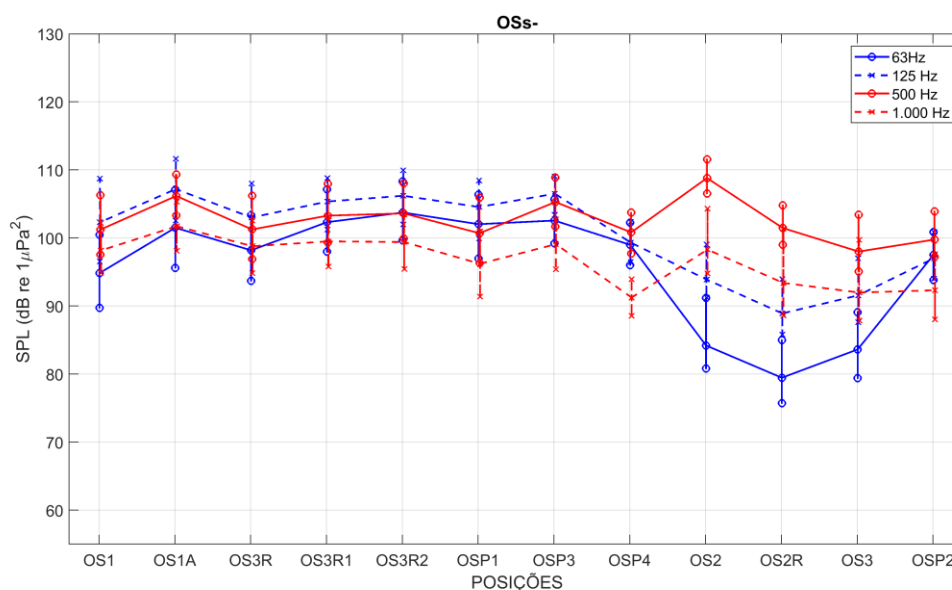


Figura III.2.1-7: Comparação entre os OSs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

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, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4. 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 ocorreram no OS2, seguido do OS1A. Os menores níveis ocorreram no OSP2.

Na banda de frequência de 1.000 Hz (Figura III.2.1-7), os níveis ficaram ainda mais próximos. Os maiores valores ocorreram no OS1A, seguido dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OS1. Os menores níveis ocorreram nos OSP4 e OSP2. Os níveis do OS2 ficaram próximos aos níveis dos OSs localizados na região da Baía de Guanabara.

Na Figura III.2.1-8 são mostrados *boxplots* do  $SEL_{24h}$  calculado para as doze 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 OSP4.

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 OSP4.

Já para os dados com a resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OSP4.

Nas três situações, os maiores níveis ficaram com o OS1, enquanto os menores ficaram com o OSP4.



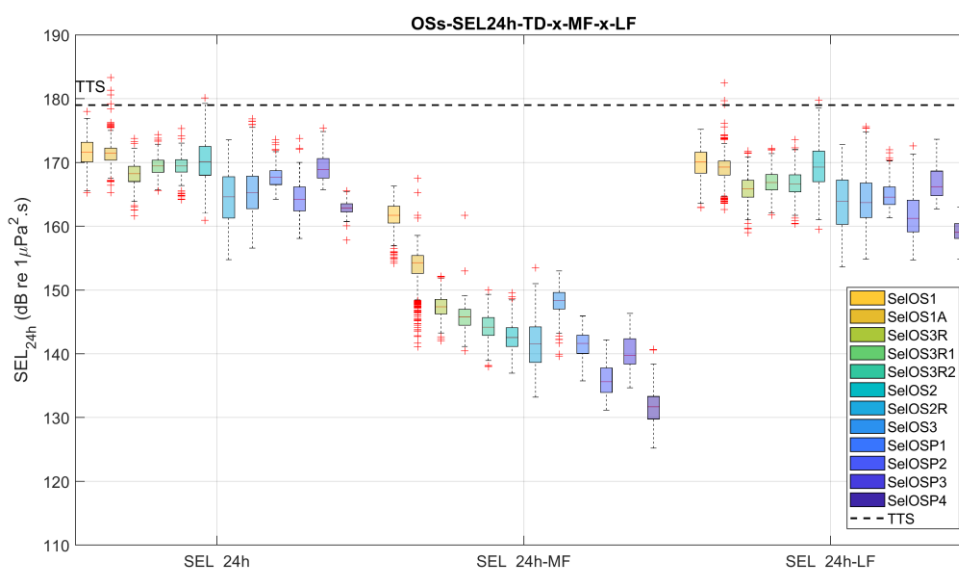


Figura III.2.1-8: Boxplots do  $SEL_{24h}$ ,  $SEL_{24h-MF}$  e  $SEL_{24h-LF}$ , para as posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o  $SEL_{24h}$  para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

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 Comparação Entre OSs Próximos à Baía de Guanabara

O observatório submarino de plataforma (OSP), usado no segundo ciclo do PMPAS-BS, foi lançado inicialmente na região das Ilhas Cagarras, como mostrado na Figura III.2.2-1, sendo nomeado OSP1, em uma profundidade local de 38 m. Posteriormente, ele foi posicionado mais para fora da entrada da Baía de Guanabara, nas posições OSP3 e OSP4, nas profundidades locais de 53 m e 103 m, respectivamente. A Figura III.2.2-2 mostra os níveis dos espectros de 1/3 de oitava medianos, comparando gravações feitas pelos OSP1, OSP3 e OSP4 com aquelas feitas pelos OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, que estão em diferentes

posições na região da Baía de Guanabara. A distância entre o OSP1 e os outros observatórios ficou entre 6,2 km, para o OS3R e 9,6 km, para o OS3R2. O OSP3 ficou a cerca de 6,8 km do OSP1 e o OSP4 a 23,7 km do OSP3. Os níveis do espectro para o OSP1 ficaram mais próximos dos OS3R1 e OS3R2 e acima do OS3R em baixas frequências e menores do que para as outras posições acima de 1 kHz. Os menores níveis acima de 100 Hz ficou com o OSP4, que foi mais ruidoso abaixo de 30 Hz. Os OSP1 e OSP3 ficaram abaixo dos OSs para frequências acima de 1 kHz, com exceção do OSP4, que foi o mais silencioso acima de 800 Hz.

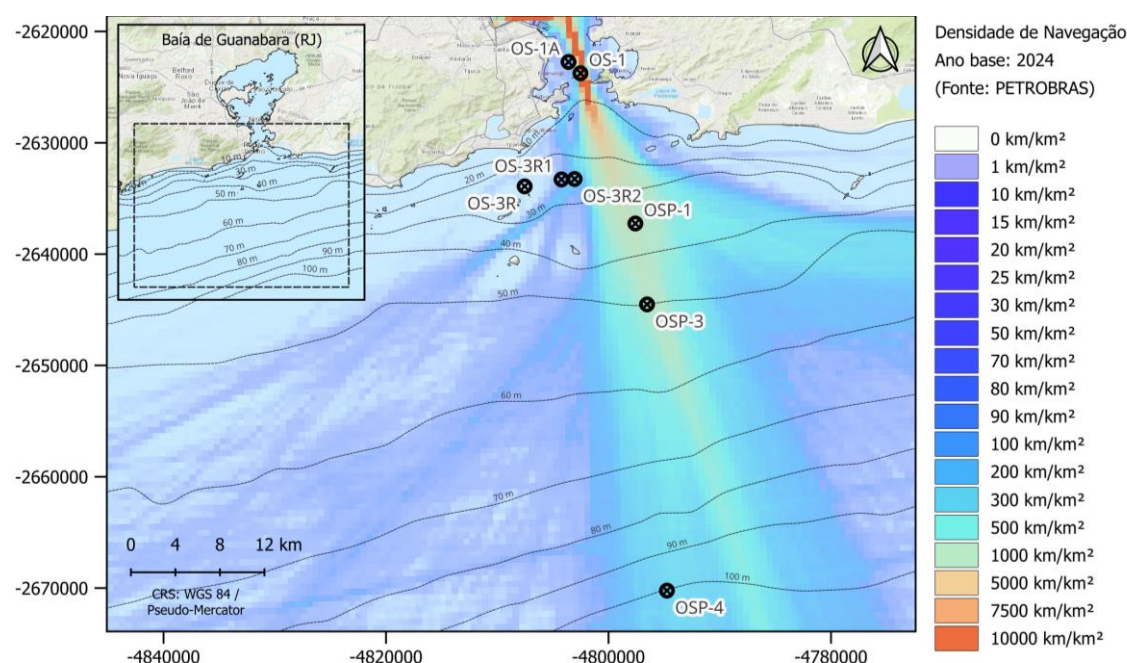


Figura III.2.2-1: Observatórios submarinos na região da Baía de Guanabara.

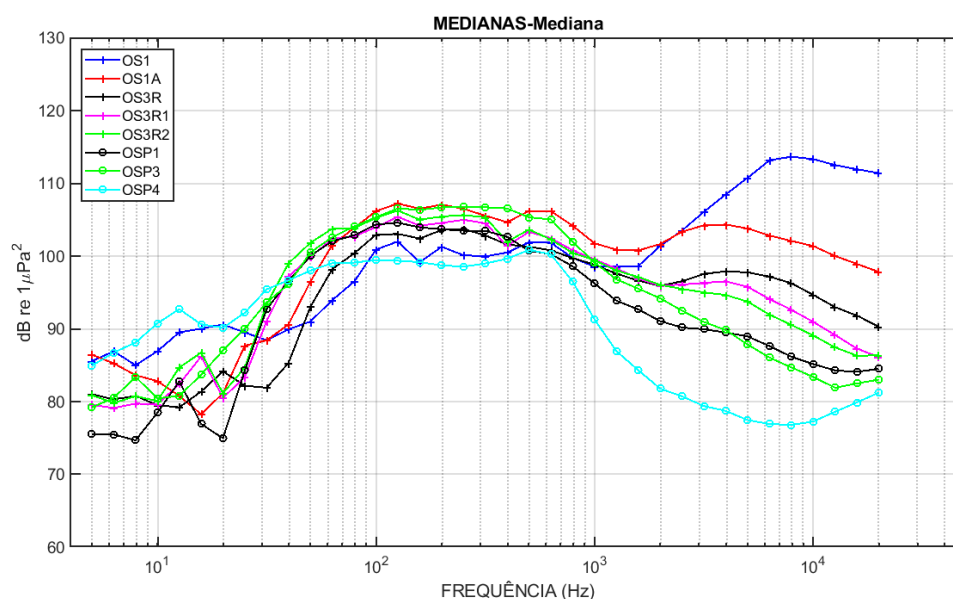


Figura III.2.2-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1, OSP3 e OSP4.

### III.2.3 Comparação Entre OSs Próximos ao Canal de São Sebastião

A segunda posição do observatório submarino de plataforma, OSP2, foi na entrada do Canal de São Sebastião, onde ele foi lançado depois de retirado da posição OSP1. Esta posição ficou cerca de 4,6 km mais a sudoeste da posição OS3, usada no primeiro ciclo do projeto, como mostrado na Figura III.2.3-1. Durante a primeira campanha nesta região, o observatório foi arrastado por uma rede de pesca, passando a gravar na posição OSP2-1 (23° 54' 19,476"S, 45° 27' 45,18" W, 13 m de profundidade, a cerca de 2 km de sua posição original).



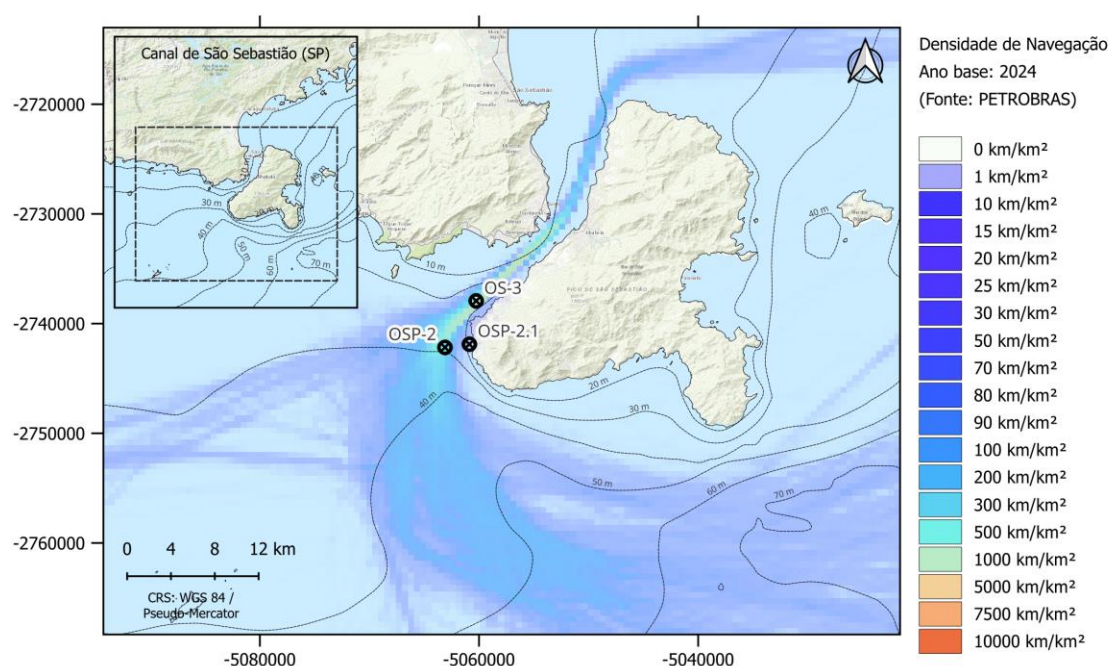


Figura III.2.3-1: Observatórios submarinos na região do canal de São Sebastião.

A Figura III.2.3-2 mostra os espectros de 1/3 de oitava medianos comparando os níveis de ruído nas três posições. Chama a atenção os diferentes níveis de ruído na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz, que devem estar associados aos ruídos de invertebrados, sendo mais ruidoso no OSP2-1, mais próximo dos costões da Ilhabela e mais silencioso no OSP2, mais afastado dos costões. Em baixas frequências, o OSP2 ficou mais ruidoso entre 20 Hz e 100 Hz, o que pode ser atribuído ao fato de ele estar mais perto das rotas de tráfego que passam ao largo da Ilhabela, sem entrar no canal.

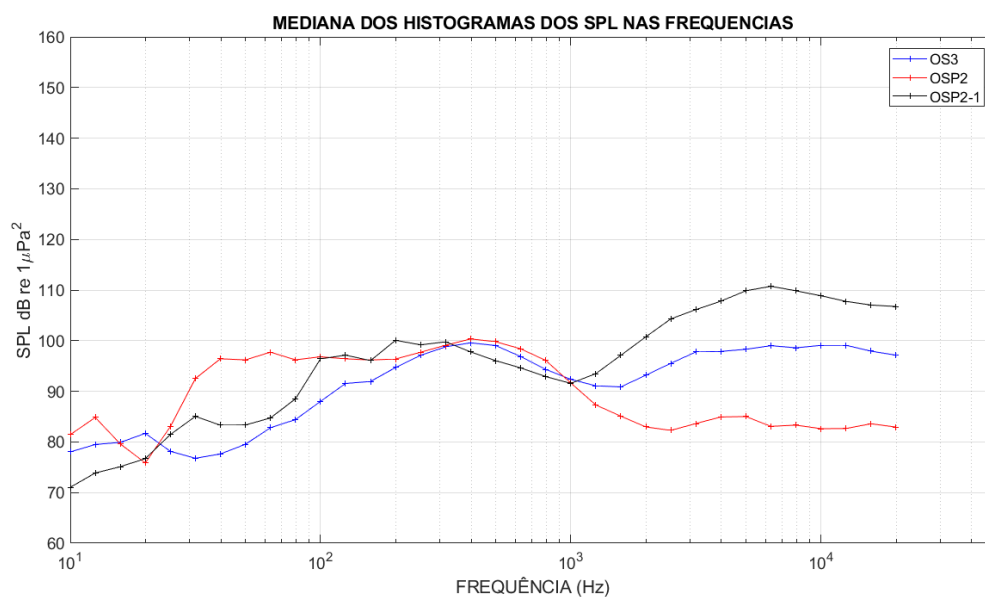


Figura III.2.3-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3, OSP2 e OSP2-1.





## IV SISTEMA DE MODELAGEM ACÚSTICA SUBMARINA - SIMAS

O Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS) é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina, mostrando a contribuição do ruído antropogênico gerado por embarcações e pelo ruído gerado pela agitação da superfície do mar devida à ação dos ventos. O sistema tem como entrada dados do sistema de identificação automática de navios (AIS) e a assinatura acústica destes navios, dados oceanográficos e dados geofísicos da região modelada. O SIMAS 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 apoiar o monitoramento contínuo do ruído submarino na região e subsidiar o planejamento de estratégias voltadas ao seu controle. Quando bem calibrado, o modelo permite reduzir a dependência de medições acústicas prolongadas em campo e possibilita a estimativa confiável dos níveis de ruído em áreas de difícil acesso ou com baixa viabilidade para coletas *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 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 na ausência das embarcações) nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63 Hz 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  $1/6^\circ$  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.

A validação do SIMAS foi feita usando dados medidos obtidos por *gliders* e perfiladores para avaliar a incerteza do modelo. Isto foi feito comparando os dados medidos e modelados ponto a ponto a partir das trajetórias dos equipamentos de medição na Bacia de Santos. Essa abordagem permitiu uma análise mais detalhada, pois foi possível observar variações entre os dados medidos e modelados nas posições e nos instantes mais próximos das medições realizadas.

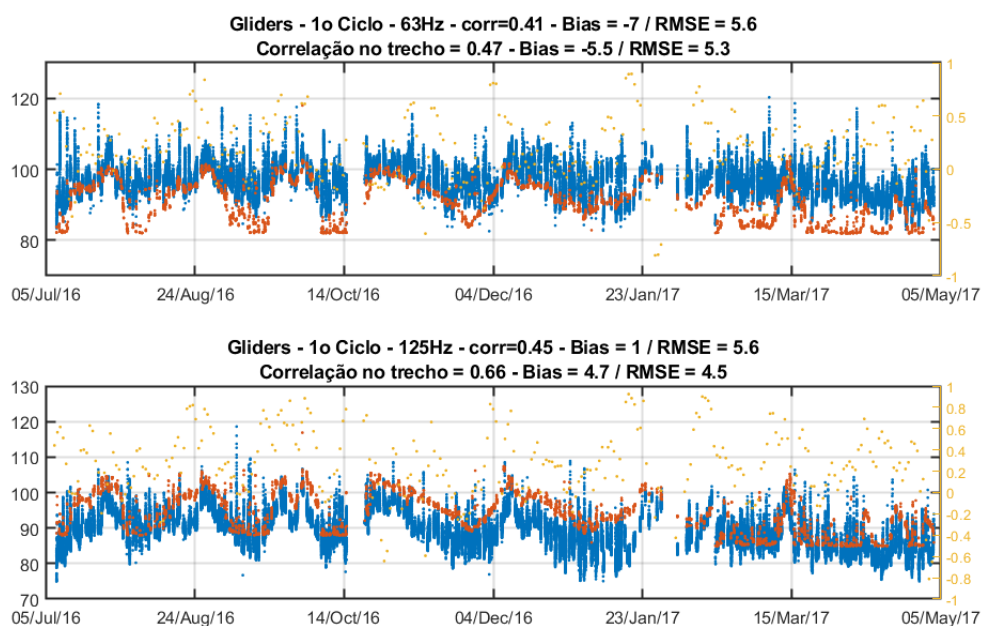
Para a validação, foram calculadas as diferenças entre os dados modelados e os dados observados para as mesmas posições. A partir desta diferença ( $\text{dif} = \text{SPL}_{\text{MOD}} - \text{SPL}_{\text{OBS}}$ ), foi calculada a tendência do modelo (*bias*), que é a média aritmética das diferenças, e a raiz do erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root Mean Square Error*), que é a raiz quadrada da média quadrática das diferenças. A tendência indica o quanto o modelo subestima ( $\text{bias} < 0$ ) ou superestima ( $\text{bias} > 0$ ) os dados medidos, e o RMSE quantifica a magnitude da incerteza do modelo, considerando de uma mesma maneira tanto diferenças positivas quanto negativas. Também foi calculada a correlação entre os dados modelados e medidos, indicando o quanto os dados modelados acompanharam as variações observadas nos dados medidos.

A Figura IV-1 mostra a comparação entre os dados modelados (pontos em vermelho) e os dados medidos (pontos em azul) de um trecho de medições com *glider* para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, realizado no primeiro ciclo do PMPAS-BS entre 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017. A validação foi feita calculando-se a diferença entre os níveis obtidos pelo modelo e aqueles calculados a partir dos dados medidos, para as mesmas posições.

Foi obtida uma correlação entre os dados medidos e modelados de 0,47 para 63 Hz, com um *bias* de -5,5 dB e um RMSE de 5,3 dB e 0,65 para 125 Hz, *bias* de 4,6 dB e RMSE de 5,3 dB no trecho entre os dias 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017. Para o trecho entre os dias 31 de dezembro de 2019 e 15 de abril de 2020, a correlação entre os dados foi de 0,46 para 63 Hz, com *bias* de -



4,5 dB e RMSE de 4,0 dB e 0,44 para 125 Hz, com *bias* de 3,5 dB e RMSE de 5,1 dB.



*Figura IV-1: Comparação entre os dados modelados (em vermelho, janelas de 2 horas, profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017 para 63 Hz e 125 Hz.*

Observa-se nas figuras que os dados modelados acompanham as tendências dos dados medidos em ambas as frequências. Essa correspondência entre os dados modelados e medidos é um indicativo de que o modelo está capturando adequadamente os padrões de ruído observados na região. Além disso, a comparação ponto a ponto permitiu identificar com maior precisão as variações e flutuações entre os dados, o que é útil para os ajustes e melhorias do modelo com o objetivo de obter resultados ainda mais próximos da realidade.

## IV.1 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 modelado. São apresentados mapas modelados em diferentes situações e feitas comparações dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4, descritas na Seção II.1.2. A Figura IV.1-1 mostra os *boxplots* da densidade de registros AIS nas Regiões R1, R2, R3 e R4, para os anos de 2016 a 2024. Os dados utilizados como entrada no SIMAS e usados para a preparação desta figura foram fornecidos pelo Programa de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos (PMTE-BS).

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 2023 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 e depois, de 2023 a 2024.

No SIMAS, os dados brutos de posicionamento são processados de forma a atender às 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.



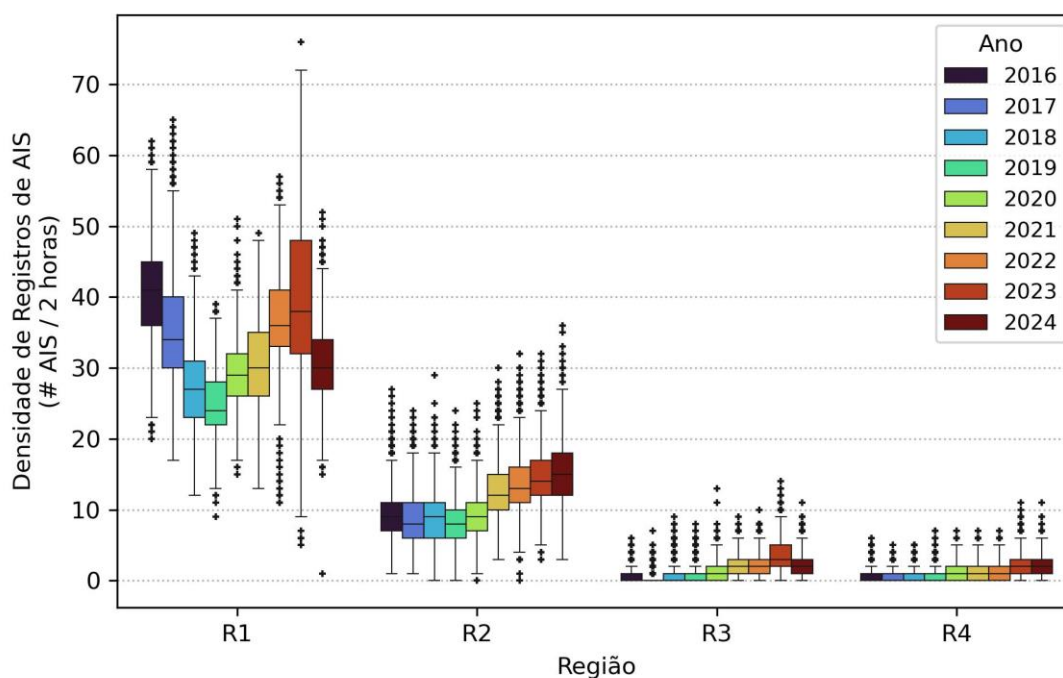
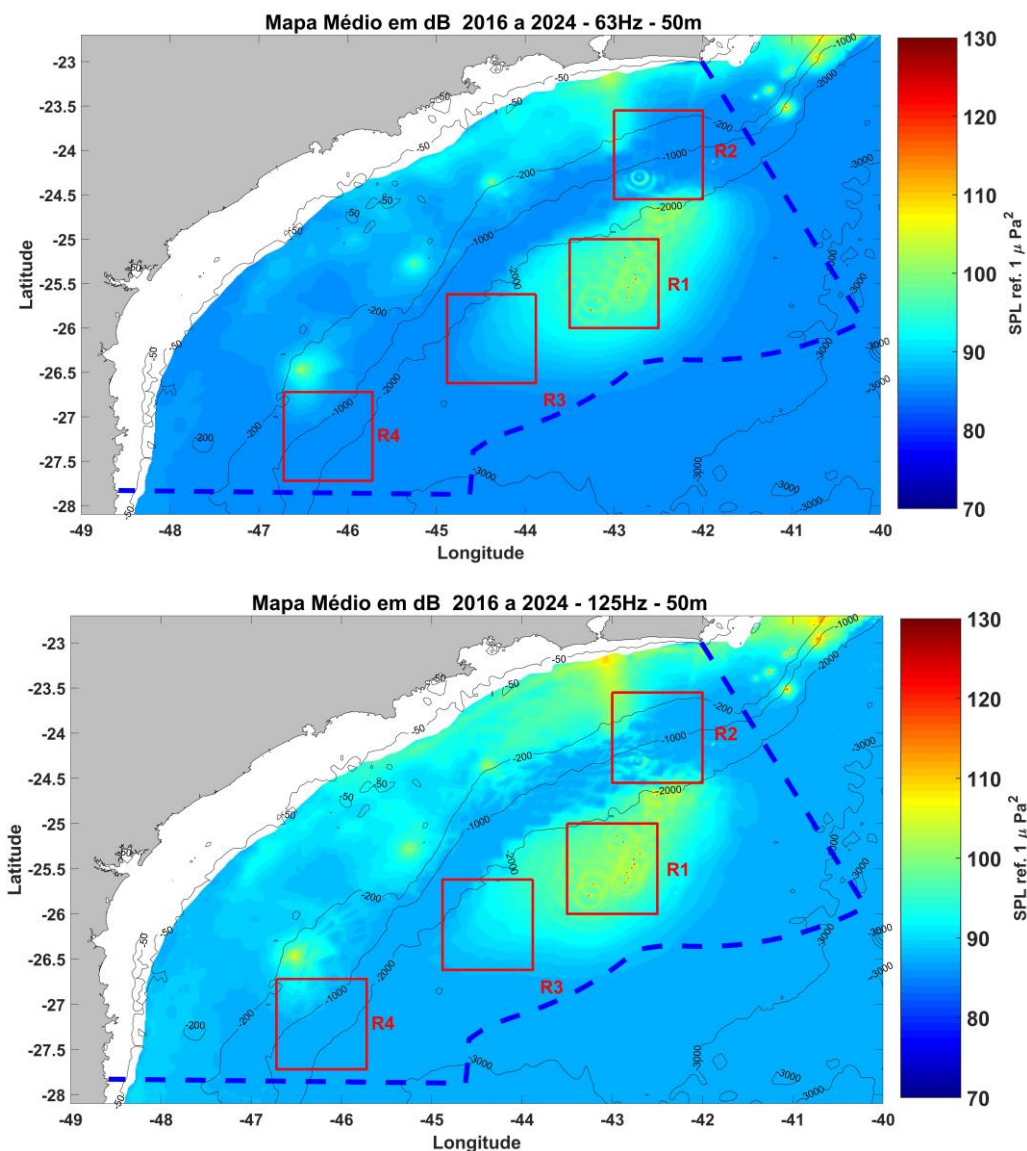


Figura IV.1-1: Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2024. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS).

#### IV.1.1 Ruído Médio e Desvio Padrão

Os mapas modelados foram usados para a visualização dos níveis de ruído médio ocorrido entre 2016 e 2024. A Figura IV.1.1-1 mostra a média do ruído para este período, na frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e para 125 Hz, embaixo, ambos na profundidade de 50 m. Estes mapas 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.



*Figura IV.1.1-1: Mapas do valor médio do SPL de 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.*

Junto dos mapas dos níveis de ruído médio, também foram calculados os de desvio padrão no mesmo período, mostrados na Figura IV.1.1-2 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e para 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m. As maiores variações nos níveis ocorreram mais próximo à costa, já na plataforma continental, provocadas, possivelmente, pela variação de tráfego nesta região.

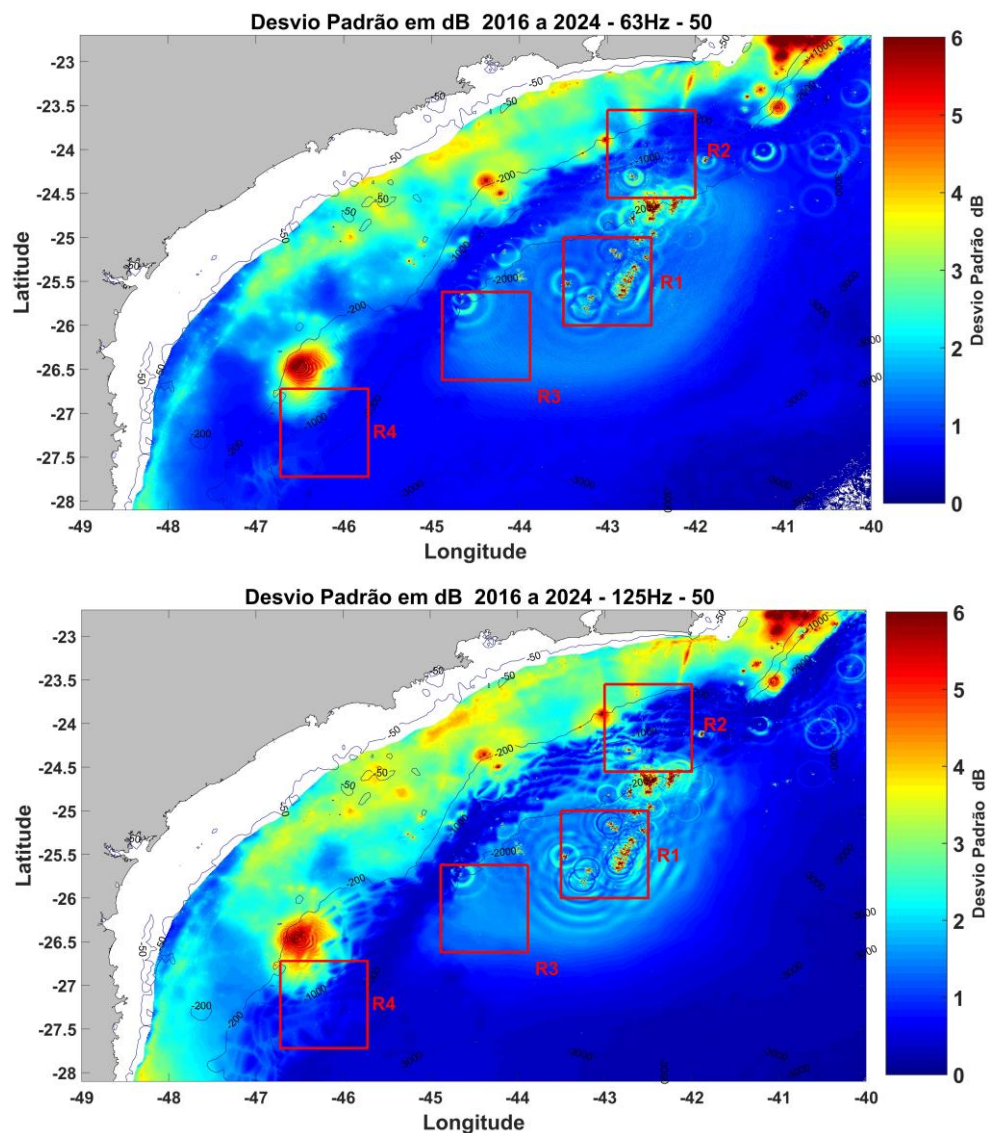


Figura IV.1.1-2: Mapas do desvio padrão do SPL de 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.

### IV.1.2 Sazonalidade

No período de 2016 – 2024 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).



*RSF*  
Coordenador da Equipe



*Ybauf*  
Técnico Responsável

9º Relatório  
Técnico

Revisão 00  
08/2025

A Figura IV.1.2-1 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 2024. A Figura IV.1.2-2 mostra os mapas equivalentes para a frequência de 125 Hz.

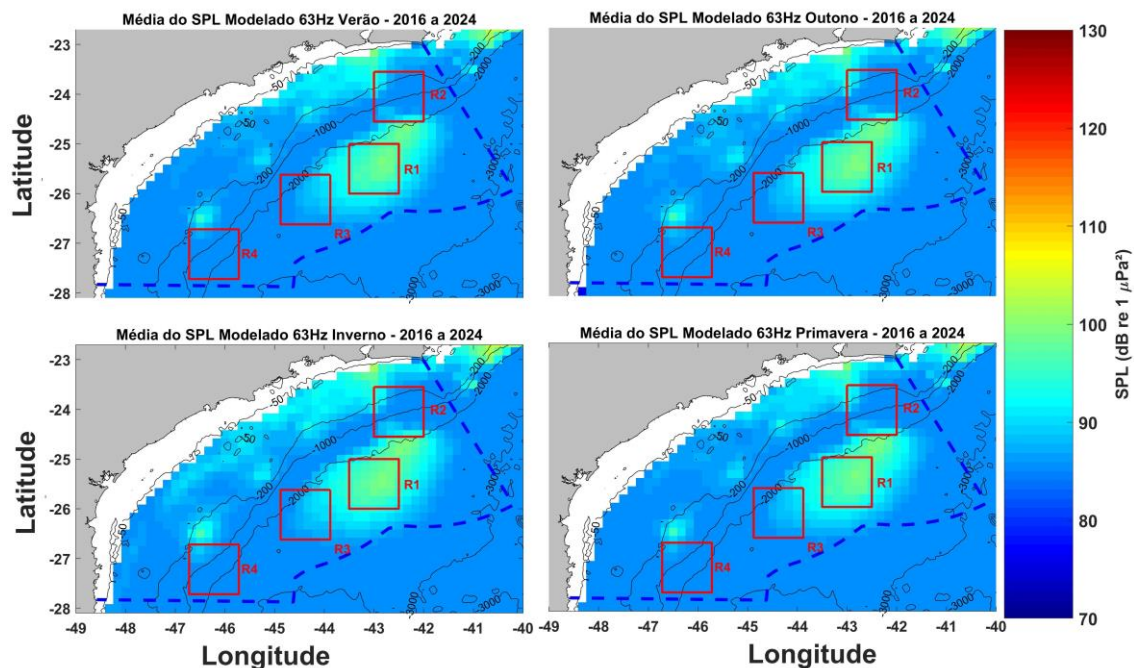


Figura IV.1.2-1: Mapa do SPL médio (dB re  $1\mu\text{Pa}^2$ ) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2024 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.

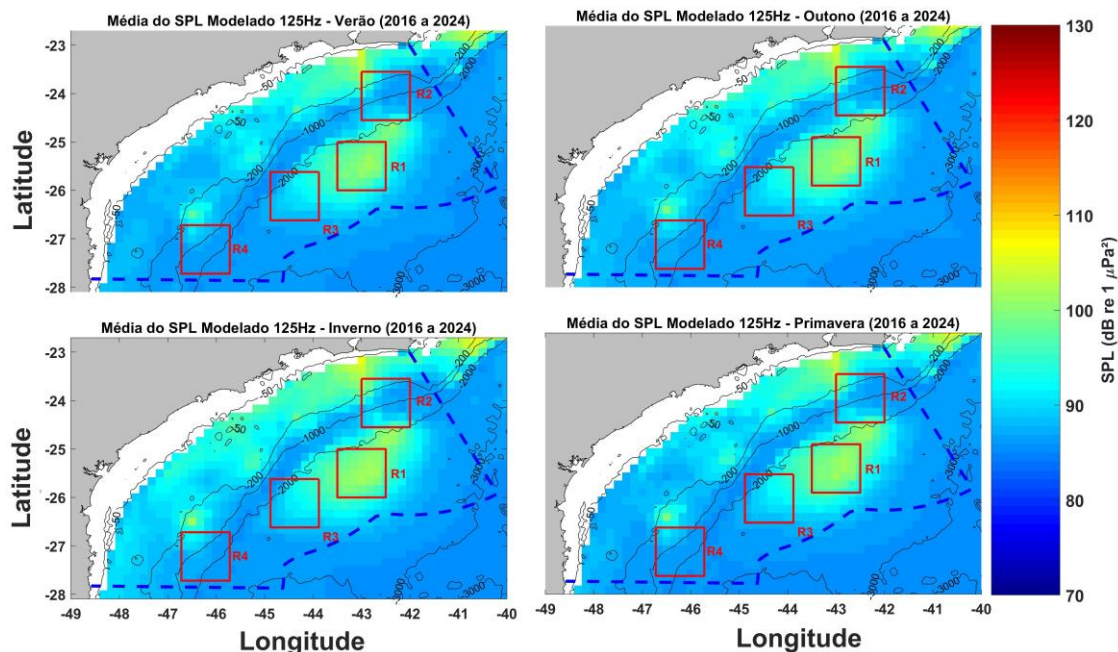


Figura IV.1.2-2: Mapa do SPL médio (dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2024 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.

Nos mapas, tanto para a frequência de 63 Hz quanto para 125 Hz não se observa diferenças significativas 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 outono e inverno, próximo ao litoral.

Para as frequências 63 Hz e 125 Hz foi examinada a evolução temporal do ruído ocorrida no período de 2016 a 2024, para as quatro regiões, R1 a R4. As Figuras IV.1.2-3 e IV.1.2-4 mostram as medianas do ruído modelado na profundidade de 50 m para cada mês do ano no período de 2016 a 2024 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 2024. Os resultados também mostram variações sazonais dentro das regiões selecionadas, sendo mais fracas para a frequência de 63 Hz e mais intensa na frequência de 125 Hz, com um aumento dos níveis em torno dos meses do inverno (junho a agosto), em todas as regiões.

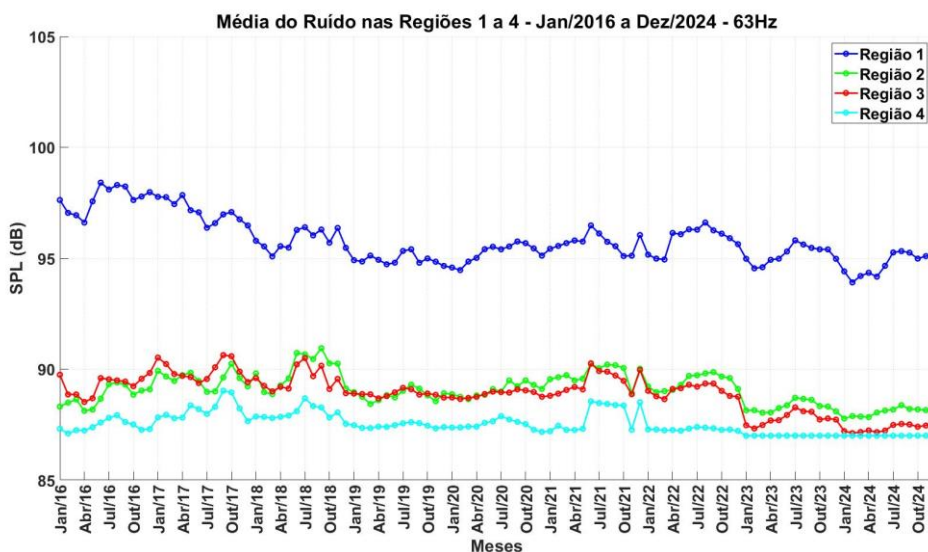


Figura IV.1.2-3: Distribuição do ruído modelado nos meses do ano, para os anos de 2016 a 2024, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz.

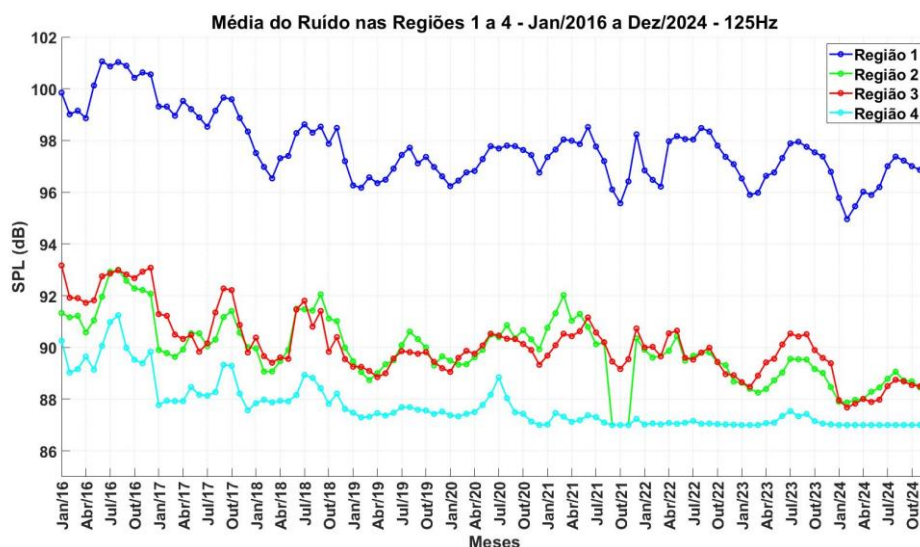


Figura IV.1.2-4: Distribuição do ruído modelado nos meses do ano, para os anos de 2016 a 2024, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz.

### IV.1.3 Diferenças Espaço-Temporais

Os mapas modelados foram usados para mostrar diferenças ocorridas entre períodos específicos escolhidos a partir das densidades de embarcações na região R1 apresentadas na Figura IV.1-1. As Figuras IV.1.3-1 e IV.1.3-2: mostram

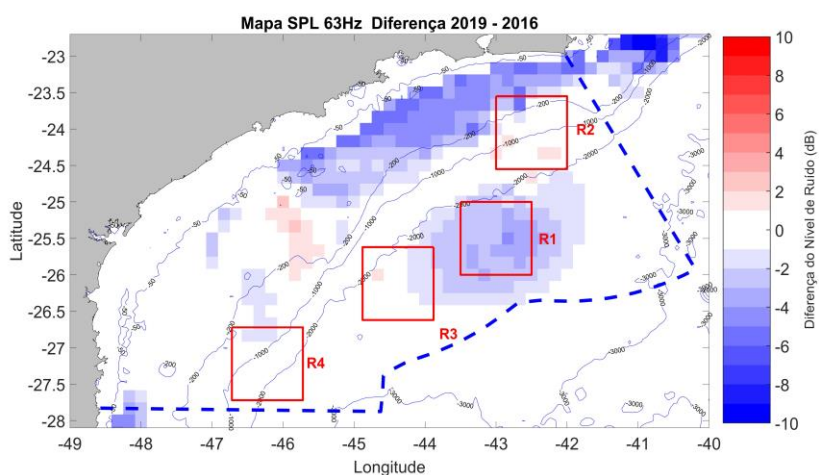


os mapas referentes às diferenças dos valores médios anuais do SPL entre os anos de 2016 e 2019; entre 2019 e 2023; e entre 2023 e 2024 na profundidade de 50 m para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente.

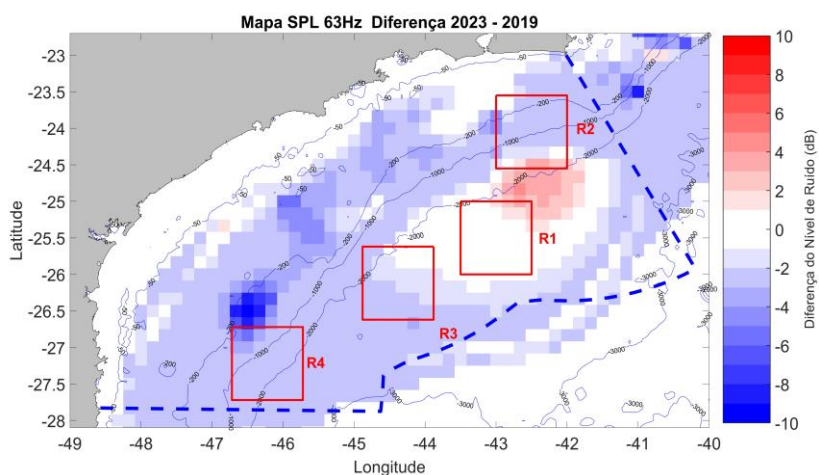
Na frequência de 63 Hz (Figura IV.1.3-1), nota-se uma redução nos níveis em boa parte da Bacia de Santos entre 2016 e 2019 e entre 2019 e 2023 e pouca variação entre 2023 e 2024. Ocorreram aumentos entre 2016 e 2019 na plataforma continental próximo às regiões R3 e R4 e entre 2019 e 2023 na região do polo pré-sal, próximo às regiões R1 e R2.

Para a frequência de 125 Hz (Figura IV.1.3-2), se observa uma redução nos níveis em boa parte da Bacia de Santos entre 2016 e 2019 e entre 2023 e 2024. Entre 2023 e 2019, ocorreram aumentos na região do pré-sal, próximo às regiões R1 e R2, e na plataforma continental, entre a região R4 e a costa.

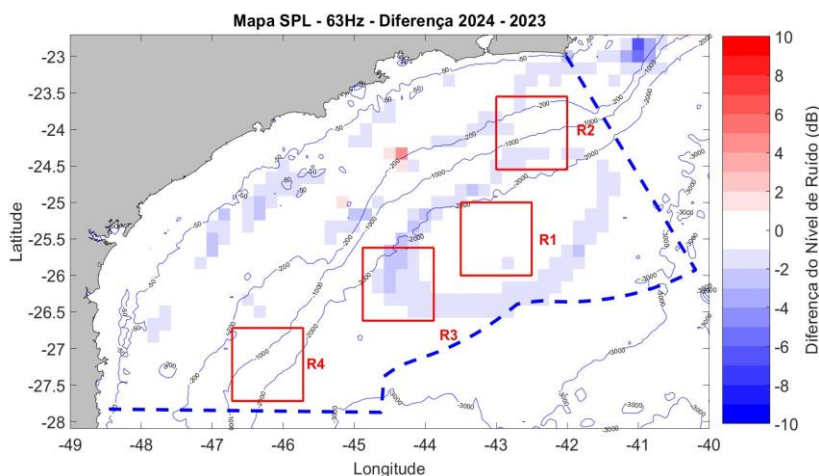




(a)



(b)



(c)

Figura IV.1.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de (a) 2019 e 2016; (b) 2023 e 2019; e (c) 2024 e 2023, para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

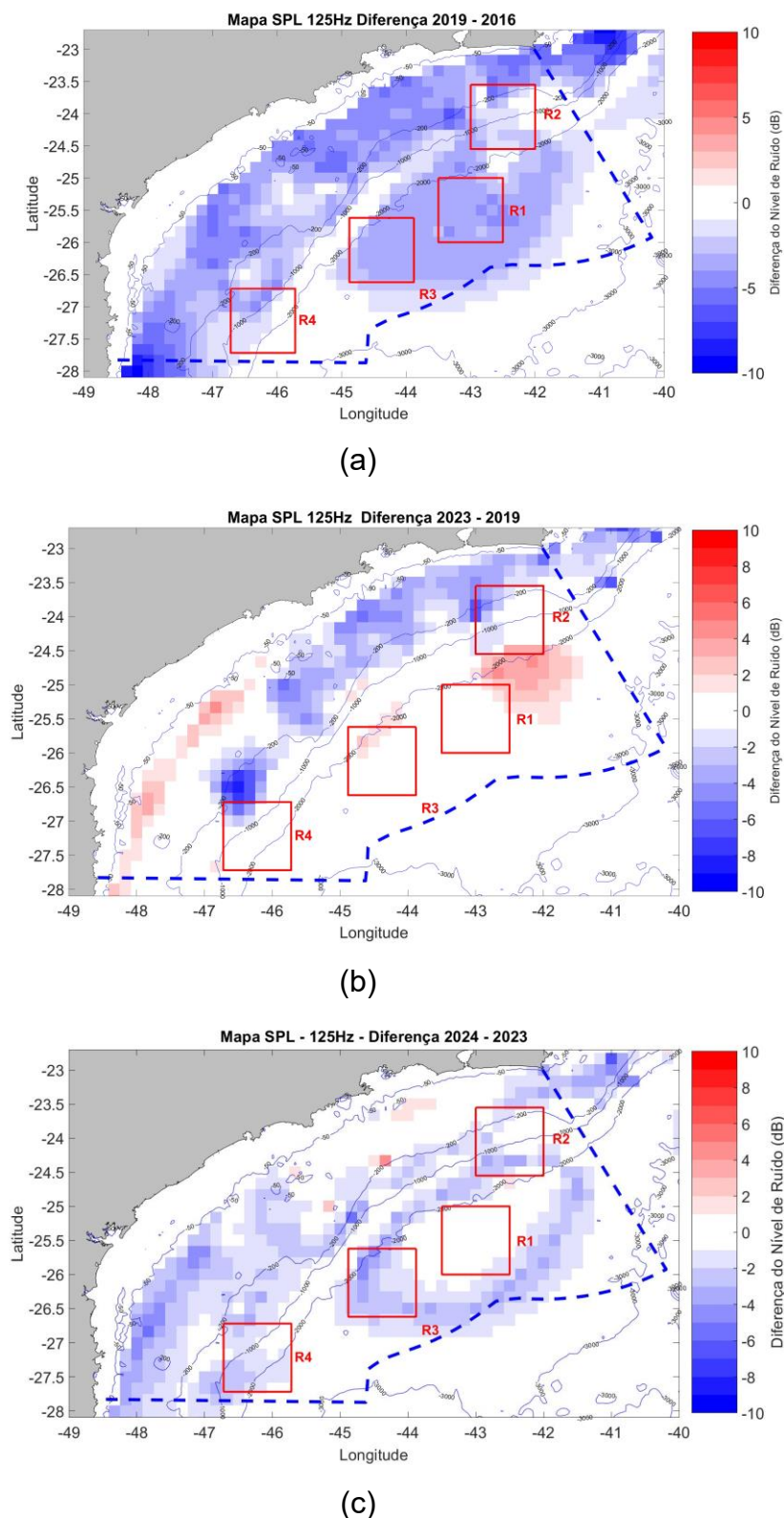


Figura IV.1.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de (a) 2019 e 2016; (b) 2023 e 2019; e (c) 2024 e 2023, para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

#### IV.1.4 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.1.4-1 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 utilizado na modelagem e, além disso, corresponde a uma estimativa média do ruído medido na região. A Classe 1 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 (SPL acima de 110 dB) referem-se a valores de SPL mais elevados, no entanto com cobertura espacial menor em relação às demais áreas.

*Tabela IV.1.4-1: Classes de Ruído*

| Classe          | SPL (dB re. 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------------------------------|
| <b>Classe 1</b> | 85 < SPL ≤ 92                         |
| <b>Classe 2</b> | 92 < SPL ≤ 98                         |
| <b>Classe 3</b> | 98 < SPL ≤ 104                        |
| <b>Classe 4</b> | 104 < SPL ≤ 110                       |
| <b>Classe 5</b> | SPL > 110                             |

As Figuras IV.1.4-1 e IV.1.4-2 mostram os mapas de ruído com a distribuição dessas classes. Os mapas correspondem à média do ruído mensal

entre os anos de 2016 e 2024, para a profundidade de 50 m. A faixa branca próximo à costa corresponde a regiões com profundidade local menor que 50 m e, portanto, não são modeladas nestes mapas.

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.

As Tabelas IV.1.4-2 e IV.1.4-3 mostram o percentual das coberturas de cada classe a cada ano, de 2016 a 2024, além do valor médio para todos os dados de 2016 a 2024, para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente, oferecendo uma visão sobre a distribuição das diferentes classes de ruído ao longo do tempo. 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 90,19% 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.

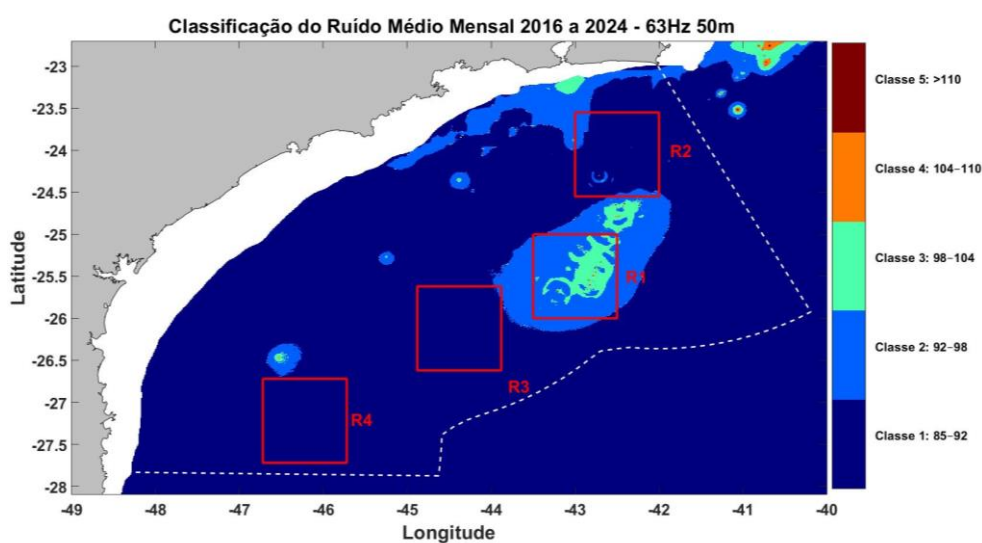


Figura IV.1.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.



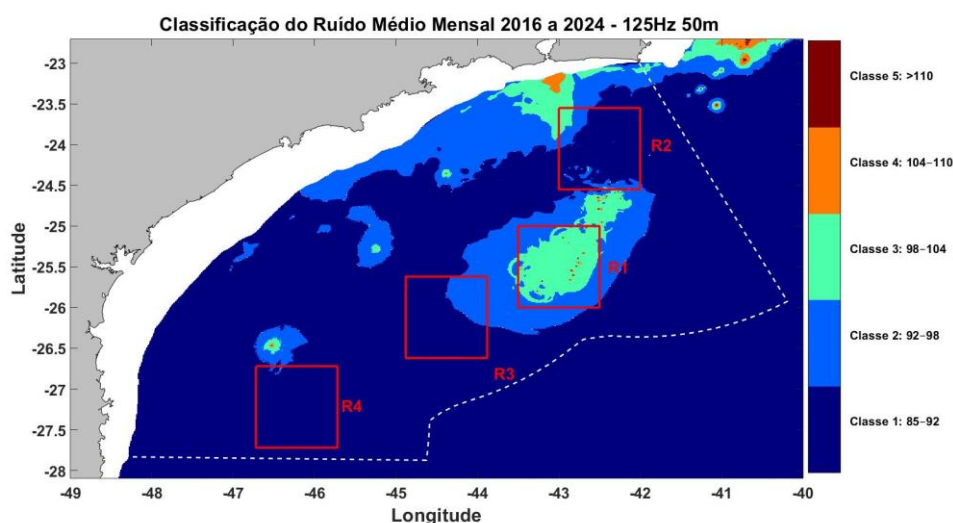


Figura IV.1.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

Ao comparar as proporções entre os anos, pode-se observar variações nas 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 queda para 88,05% em relação a 2018. O menor percentual foi obtido para o ano de 2024, com 86,83% da área modelada pertencendo à Classe 1.

Tabela IV.1.4-2: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 63 Hz.

| Ano          | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>2016</b>  | 89,35%   | 8,21%    | 1,95%    | 0,33%    | 0,16%    |
| <b>2017</b>  | 90,06%   | 7,67%    | 1,79%    | 0,36%    | 0,11%    |
| <b>2018</b>  | 93,15%   | 5,30%    | 1,24%    | 0,24%    | 0,07%    |
| <b>2019</b>  | 88,05%   | 9,21%    | 2,20%    | 0,35%    | 0,19%    |
| <b>2020</b>  | 88,08%   | 9,15%    | 2,14%    | 0,47%    | 0,15%    |
| <b>2021</b>  | 92,93%   | 5,53%    | 1,21%    | 0,26%    | 0,07%    |
| <b>2022</b>  | 92,15%   | 6,13%    | 1,43%    | 0,21%    | 0,08%    |
| <b>2023</b>  | 91,11%   | 6,81%    | 1,72%    | 0,25%    | 0,10%    |
| <b>2024</b>  | 86,83%   | 9,68%    | 2,82%    | 0,45%    | 0,20%    |
| <b>Média</b> | 90,19%   | 7,52%    | 1,83%    | 0,32%    | 0,12%    |

Para a frequência de 125 Hz, a análise é semelhante. A Classe 1 apresenta uma média de 82,88% 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, sendo que em 2019 apresentou o menor valor (77,07%), enquanto o maior valor foi registrado em 2023 (87,55%).

Tabela IV.1.4-3: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 125 Hz.

| 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%    |
| 2023  | 87,55%   | 9,12%    | 2,82%    | 0,37%    | 0,14%    |
| 2024  | 82,89%   | 12,32%   | 4,02%    | 0,60%    | 0,25%    |
| Média | 82,88%   | 11,87%   | 4,36%    | 0,73%    | 0,21%    |

Comparando as duas frequências, verifica-se que as porcentagens na Classe 1 são mais altas para 63 Hz em comparação com 125 Hz. Contudo, o padrão geral de oscilação é o mesmo.

A categorização do ruído estabelece um método padronizado de avaliação e comparação, o que facilita a compreensão e interpretação dos níveis de ruído. Essa classificação permite identificar padrões e tendências ao longo do tempo, ajudando a compreender a dinâmica da paisagem acústica e a identificar regiões caracterizadas por diferentes níveis de ruído.

## **IV.2 NOVAS FUNCIONALIDADES DO SIMAS**

### **IV.2.1 Mapas Verticais**

Esta funcionalidade cria um mapa vertical do ruído antropogênico em uma trajetória selecionada, usando as mesmas entradas utilizadas para a geração dos mapas horizontais, criados rotineiramente. Estes mapas possibilitam uma visão mais completa da distribuição do ruído antropogênico em função da profundidade e representa um avanço significativo em termos de complexidade e capacidade analítica, ao permitir a visualização do ruído antropogênico ao longo destas trajetórias.

Como exemplo de utilização dos mapas verticais, foram escolhidos três transectos mostrados na Figura IV.2.1-1. O mapa apresentado nesta figura representa o ruído modelado para o dia 01 de julho de 2024, às 12h. A Figura IV.2.1-2 mostra as posições dos registros AIS usados para criar o mapa. A linha A representa uma região com pouca atividade de E&P, sendo a navegação comercial a atividade antropogênica mais presente, a linha B mostra uma região com plena produção do polo Pré-Sal e a linha C mostra a região de Cabo Frio com atividade de navegação, bem mais intensa do que na região da linha A.

A visualização das três regiões com distintos níveis de atividades de E&P e navegação, mostra que há um incremento de ruído na região onde se concentra a maior parte das atividades da PETROBRAS como pode-se observar na Figura IV.2.1-4 e um nível de ruído bem menor nas regiões mais afastadas dos centros de exploração de petróleo e gás na Bacia de Santos como mostrado nos mapas cruzando o talude na região sul da Bacia de Santos, na Figura IV.2.1-3, e na região norte da bacia, na Figura IV.2.1-5.



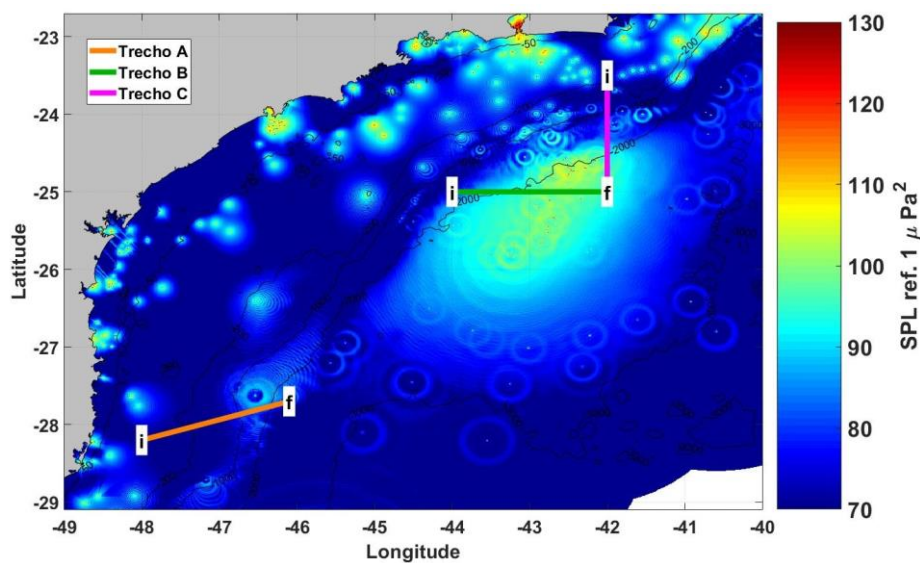


Figura IV.2.1-1: Mapa de ruído instantâneo para a frequência de 63Hz na profundidade de 50m para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00.

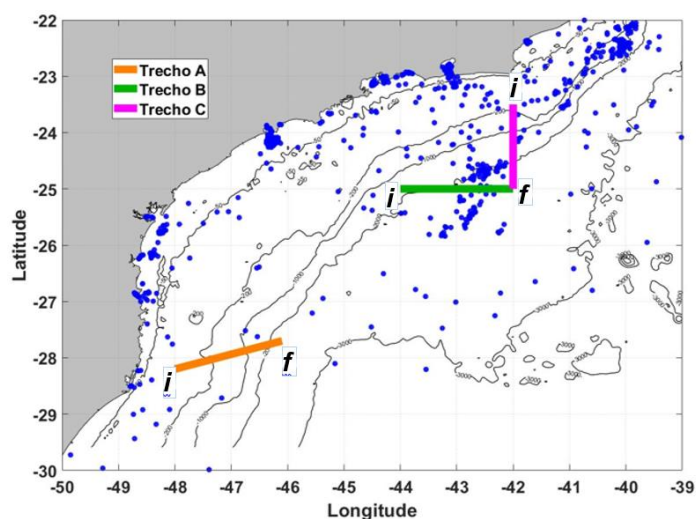


Figura IV.2.1-2: Mapa das fontes AIS para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00.

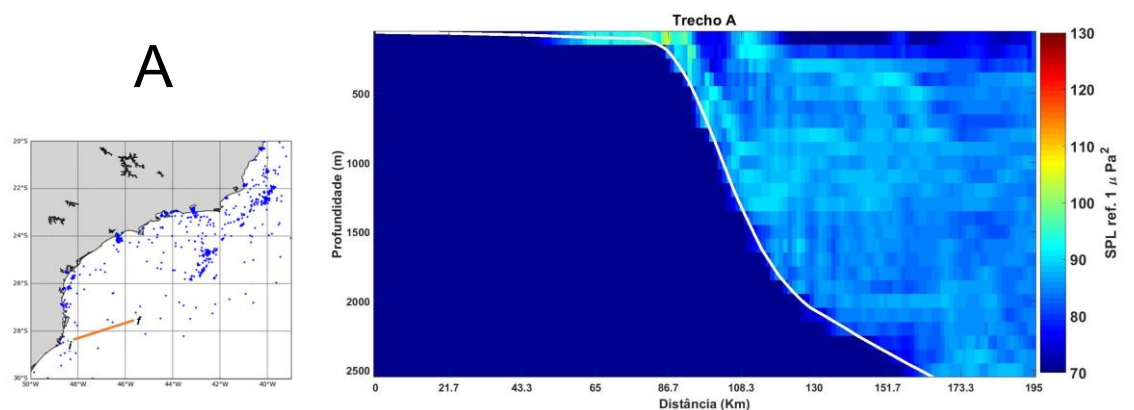


Figura IV.2.1-3: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-48; -28,2) e (-46,1; -27,7), distantes 195 Km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar.

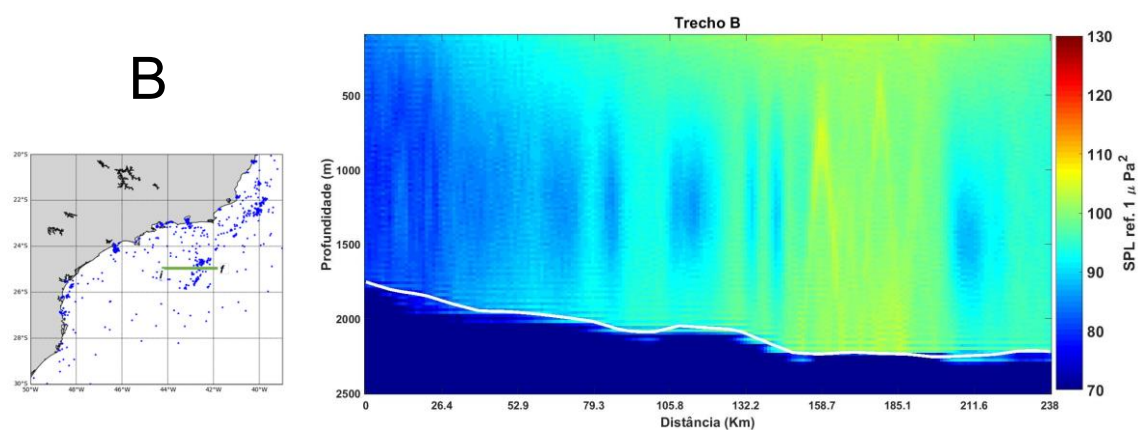


Figura IV.2.1-4: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-43,6; -26,2) e (-41,8; -24,8), distantes 238 km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar.

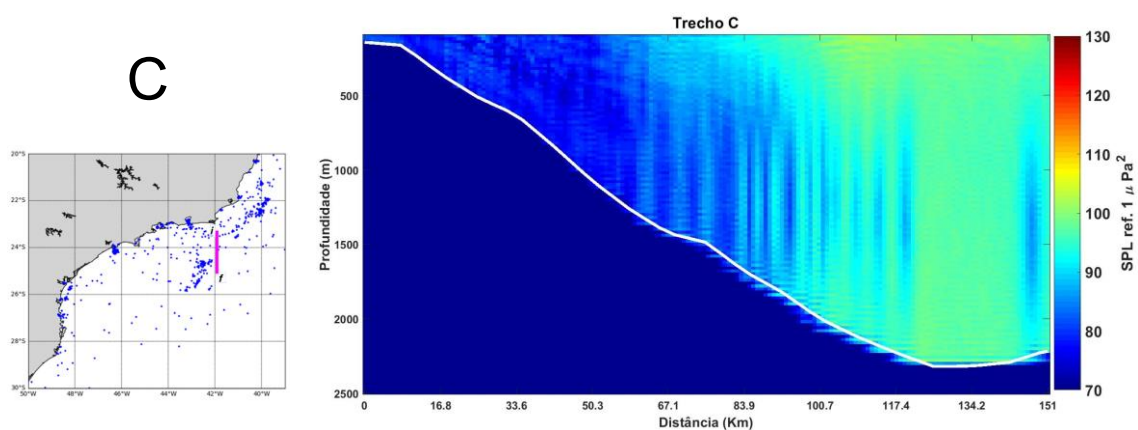


Figura IV.2.1-5: Mapa vertical para o dia 01 de julho de 2024 às 12:00, ligando os pontos (-41,5; -22,8) e (-40,5; -23,8), distantes 151 km. A linha branca corresponde à posição do fundo do mar.

### 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 2024 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 da incerteza 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. Embora ainda existam oportunidades de ajustes no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, os valores obtidos já demonstram desempenho alinhado à literatura para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Por exemplo, outras iniciativas de modelagem da paisagem acústica submarina também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto em Farcas *et al.*, (2020), onde o erro médio (RMSE) na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB.

As incertezas na modelagem da paisagem acústica submarina têm diversas origens, agrupadas em três categorias principais: ambientais (como variabilidade do perfil de velocidade do som e condições oceanográficas), relacionadas ao modelo numérico (como tipo de modelo e resolução) e ao cenário operacional (como posição e espectro da fonte sonora). Quantificar essas incertezas é desafiador devido à complexidade e dinamicidade do ambiente marinho. O *benchmarking* do projeto JOMOPANS (MACGILLIVRAY e DE JONG, 2021) mostrou que, com modelos bem configurados, a diferença no SPL médio pode ser mantida abaixo de 2 dB. No entanto, variações de até 5 dB foram observadas em



bandas de um terço de oitava, especialmente em baixas frequências, o que evidencia as limitações na redução completa das incertezas na modelagem acústica submarina.

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 (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 e outras formas de definição dos níveis de ruído irradiado pelas embarcações.

Os dados de ventos obtidos do sistema E.U. Copernicus Marine Service (CMEMS, 2025) são utilizados para a modelagem do ruído de fundo calculado pela equação empírica proposta por Heaney *et al.*, (2024) e serão somados aos mapas de ruído antrópico. Dessa forma, é possível quantificar a contribuição do vento, especialmente em regiões afastadas de fontes antrópicas onde o ruído de fundo pode ser uma parcela significativa do ruído total.

O segundo conjunto está relacionado à estimativa dos níveis de fonte (*Source Level* – SL) das embarcações, com base na metodologia adotada pelo projeto JOMOPANS (MACGILLIVRAY e DE JONG, 2021). Está em andamento o desenvolvimento da ampliação do banco de assinaturas acústicas por classes de navios. Para isso, além das informações disponíveis nos dados AIS, será incorporada a variável referente ao comprimento das embarcações, o que permitirá uma estimativa mais precisa do SL para diferentes tipos e portes de navio.



O uso de diferentes fontes para os dados de entrada usados atualmente pelo SIMAS tem sido investigado através de experimentos que avaliam o impacto de apenas um tipo de alteração de dados de entrada e seu respectivo efeito na representação dos mapas gerados, bem como os resultados gerados a partir de uma combinação de observações simultâneas.

Através da modelagem do ruído acústico submarino é possível simular, prever e fazer uma análise do panorama e dos impactos de um ou mais processos sejam eles naturais ou antropogênicos, em áreas de grande extensão, com a vantagem de obter a variação dos parâmetros de interesse com bastante clareza de modo que seja possível atuar para mitigar os efeitos negativos que porventura possam ocorrer neste meio.





## V ESTUDO DE DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS IN SITU EM CAMPOS DE EXPLORAÇÃO

A avaliação do decaimento sonoro, incluída no escopo do segundo 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. A Tabela V-1 apresenta informações sobre as prospecções sísmicas realizadas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, apresentadas neste relatório.

*Tabela V-1: Informações sobre as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, indicando o tempo do primeiro e último disparos de produção.*

| Campo        | 1º disparo | Último disparo | Licença      |
|--------------|------------|----------------|--------------|
| Tupi-Iracema | 19/12/2021 | 18/04/2023     | LPS 152/2021 |
| Itapu        | 28/10/2022 | 18/01/2023     | LPS 149/2022 |
| Aram         | 10/03/2023 | 08/07/2023     | LPS 153/2022 |
| Iara         | 23/05/2023 | 30/11/2023     | LPS 156/2023 |
| Sépia        | 29/01/2024 | 30/04/2024     | LPS 158/2023 |
| Búzios       | 15/09/2024 | 30/03/2025     | LPS 160/2024 |

Este capítulo analisa os resultados obtidos do processamento das gravações das dezenove primeiras campanhas de monitoramento realizadas por *gliders* de monitoramento específico, com acompanhamento das sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios. As campanhas de monitoramento específico apresentadas começaram em 18/06/2022, com a campanha ME\_C01 acompanhando a prospecção sísmica em Tupi-Iracema e terminaram em 20/10/2024, com a campanha ME\_C19, acompanhando a prospecção sísmica em Búzios. A Tabela V-2 mostra as datas de início e término das campanhas dos *gliders* e indica a sísmica acompanhada.



*Tabela V-2: Informações sobre as campanhas dos gliders de monitoramento específico.*

| <b>Campanha</b> | <b>Início</b> | <b>Término</b> | <b>Sísmica acompanhada</b> |
|-----------------|---------------|----------------|----------------------------|
| <b>ME_C01</b>   | 18/06/2022    | 21/07/2022     | Tupi-Iracema               |
| <b>ME_C02</b>   | 27/07/2022    | 04/09/2022     | Tupi-Iracema               |
| <b>ME_C03</b>   | 05/09/2022    | 08/10/2022     | Tupi-Iracema               |
| <b>ME_C04</b>   | 10/10/2022    | 09/11/2022     | Tupi-Iracema               |
| <b>ME_C05</b>   | 16/11/2022    | 10/12/2022     | Tupi-Iracema               |
| <b>ME_C06</b>   | 12/12/2022    | 11/01/2023     | Itapu                      |
| <b>ME_C07</b>   | 18/01/2023    | 16/02/2023     | Itapu                      |
| <b>ME_C08</b>   | 18/02/2023    | 25/03/2023     | Aram                       |
| <b>ME_C09</b>   | 27/03/2023    | 27/04/2023     | Tupi                       |
| <b>ME_C10</b>   | 29/04/2023    | 21/05/2023     | Iara                       |
| <b>ME_C11</b>   | 21/05/2023    | 20/06/2023     | Iara                       |
| <b>ME_C12</b>   | 20/06/2023    | 01/08/2023     | Iara                       |
| <b>ME_C13</b>   | 18/02/2024    | 19/03/2024     | Sépia                      |
| <b>ME_C14</b>   | 20/03/2024    | 24/04/2024     | Sépia                      |
| <b>ME_C15</b>   | 27/04/2024    | 02/06/2024     | Sépia                      |
| <b>ME_C16</b>   | 02/06/2024    | 12/07/2024     | Sépia                      |
| <b>ME_C17</b>   | 16/07/2024    | 27/07/2024     | Búzios                     |
| <b>ME_C18</b>   | 04/09/2024    | 12/10/2024     | Búzios                     |
| <b>ME_C19</b>   | 14/10/2024    | 20/10/2024     | Búzios                     |

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 dos decaimentos sonoros vertical e horizontal do sinal produzido pela fonte sísmica a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*.



  
Coordenador da Equipe



  
Técnico Responsável

**9º Relatório**  
**Técnico**

**Revisão 00**  
**08/2025**

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 na Bacia de Santos?

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**

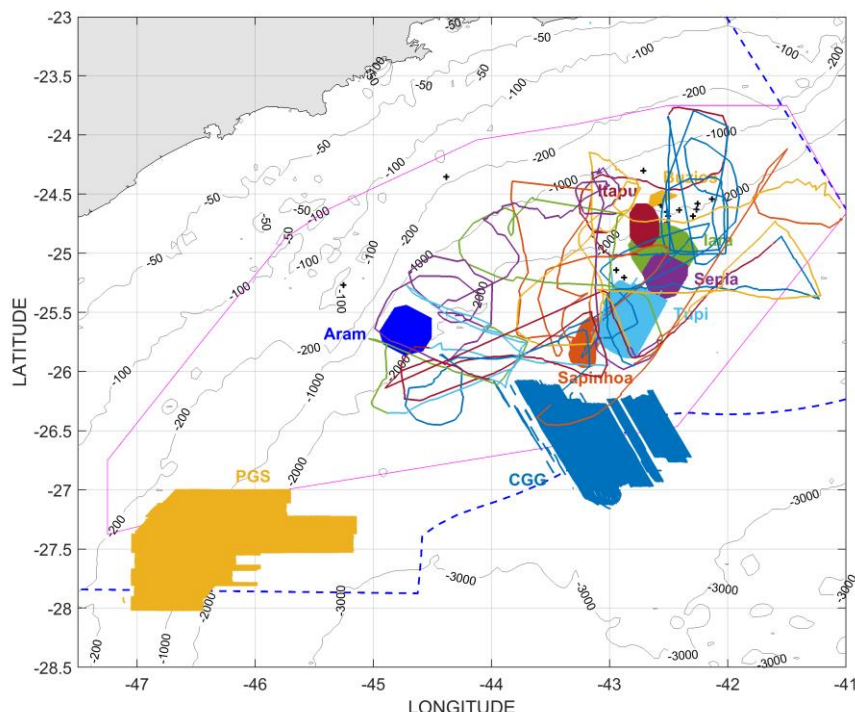
### **V.1.1 Medição de Dados Acústicos**

A Figura V.1.1-1 ilustra os disparos sísmicos realizados na Bacia de Santos e a rota dos *gliders* durante as doze campanhas analisadas entre 18/06/2022 e 20/10/2024. Além das sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, realizadas pela PETROBRAS, ocorreram, também, no mesmo período, campanha sísmica em Sapinhoá-Monitor, realizada pela PETROBRAS e campanhas das empresas CGG do Brasil Participações Ltda e PGS - *Petroleum Geo-Services*, mas que não foram acompanhadas pelos *gliders*.

A Figura V.1.1-2 mostra as linhas do tempo das dezenove campanhas de gravação acústica dos *gliders* de monitoramento específico e das posições dos disparos sísmicos realizados nas campanhas que tiveram alguma sobreposição com as gravações acústicas. Observa-se um intervalo de tempo entre 01/08/2023 e 18/02/2024 em que não foram realizadas gravações com os *gliders* de



monitoramento específico devido a problemas com estes equipamentos, o que demandou um período extenso de manutenção corretiva.



**Figura V.1.1-1:** Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico durante as campanhas C01 a C19 (linhas) e a localização dos disparos de campanhas realizadas pela PETROBRAS (Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sapinhoá-Monitor, Sépia e Búzios) e de campanhas sísmicas de terceiros (CGG e PGS).

A Figura V.1.1-3 apresenta a distância dos disparos nas campanhas sísmicas para a posição dos *gliders* durante as gravações acústicas. Na figura, observam-se dois trechos sem informação de distância: o primeiro, de 01/08/2023 a 18/02/2024, corresponde ao trecho, já descrito anteriormente, em que não ocorreram medições com os *gliders* de monitoramento específico devido a problemas técnicos. O segundo trecho, de 01/05/2024 a 05/09/2024, está entre o final da sísmica em Sépia e o início da sísmica em Búzios, em que não ocorreram campanhas sísmicas da PETROBRAS. Não existe informação da existência de sísmicas de terceiros para este período.

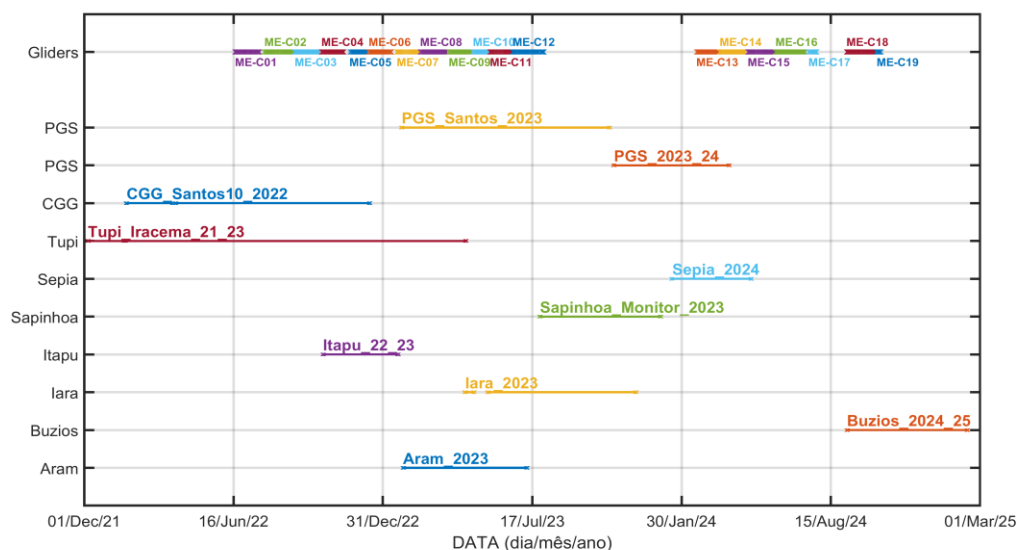


Figura V.1.1-2: Linhas do tempo das dezenove primeiras campanhas dos gliders de monitoramento específico e das campanhas sísmicas que tiveram algum tempo de execução comum com as campanhas dos gliders.

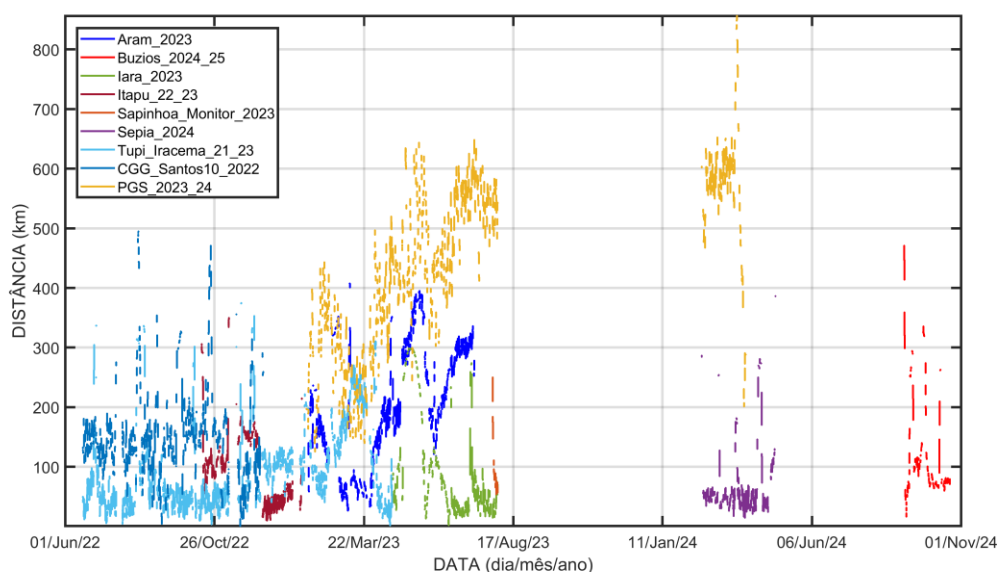


Figura V.1.1-3: Distâncias dos disparos efetuados nas campanhas sísmicas e os gliders de monitoramento específico, durante as gravações acústicas.

O *glider* do PMPAS-BS dedicado ao monitoramento da sísmica é equipado com um hidrofone de menor sensibilidade (-180 dB re 1 V/ $\mu$ 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.

Os arquivos de áudio recuperados dos *gliders* foram processados para estimativa dos parâmetros acústicos associados aos 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.

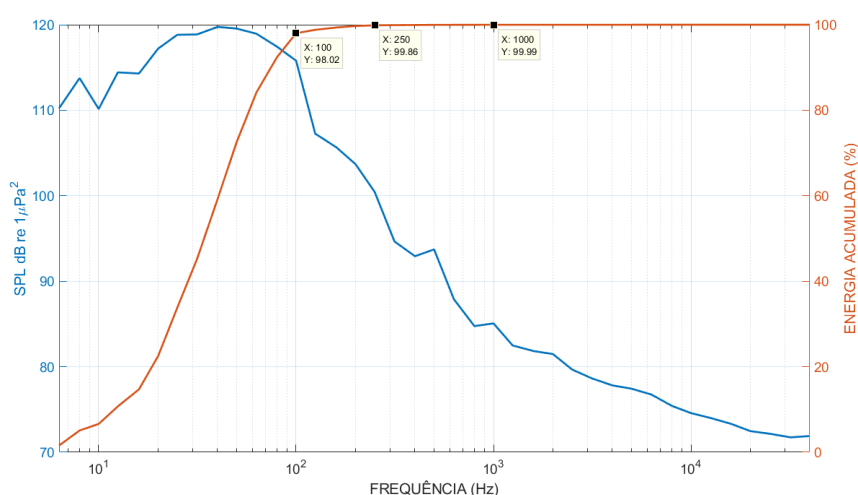


Figura V.1.2-1: Espectro de potência para um disparo de um arranjo de canhões de ar, mostrando a energia acumulada em função da frequência.



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. Foram fornecidas informações a cada dois minutos da posição da fonte sísmica, indicando se a fonte estava disparando ou não. No caso de a fonte estar disparando, é indicado se o disparo é de produção, de aumento gradual ou se corresponde a algum teste sendo efetuado com a fonte. Estas informações foram usadas para indicar o modo de operação e a distância do *glider* a cada fonte sísmica a cada minuto de gravação.

### V.1.3 Estatísticas Gerais

A Tabela V.1.3-1 apresenta estatísticas gerais da profundidade do *glider* e dos parâmetros acústicos obtidos a partir das gravações do *glider* de monitoramento específico do PMPAS-BS dedicado à sísmica durante as dezenove primeiras campanhas de monitoramento específico (ME\_C01 a ME\_C19). Estes dados cobrem um período de aproximadamente 32 meses, de 18/06/2022 a 20/10/2024. Em relação aos níveis de ruído medidos, foram analisados 163.957 trechos de um minuto de sinal, nos quais os valores de SPL variaram no intervalo de 87 a 128 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>.

Em relação à profundidade, as gravações acústicas cobrem o intervalo de 10 a 950 m de forma praticamente uniforme, isto é, com um número de registros acústicos igualmente distribuídos em diferentes faixas de profundidade. Tal uniformidade na distribuição de gravações ao longo da profundidade reflete a natureza de aquisição dos dados pelos *gliders*, que realiza gravações contínuas durante a descida (mergulho), e é benéfica para um diagnóstico estatisticamente consistente do decaimento sonoro vertical. A ausência de dados em profundidades entre 0 e 10 m é devida ao procedimento de qualificação que considerou que próximo à superfície o *glider* sofre a influência das ondas, o que provoca ruídos que não devem ser considerados como ruído ambiente.



*Tabela V.1.3-1: Estatísticas gerais da profundidade e dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider durante o período de 18/06/2022 a 20/10/2024 nas campanhas ME\_C01 a ME\_C19 de monitoramento específico do PMPAS-BS.*

|                      | Profundidade (m) | SPL<br>(dB re 1μPa²) |
|----------------------|------------------|----------------------|
| <b>Contagem</b>      | 163.957          | 163.957              |
| <b>Média</b>         | 482,0            | 112,3                |
| <b>Desvio Padrão</b> | 270,9            | 5,0                  |
| <b>Mínimo</b>        | 10,0             | 87,1                 |
| <b>Percentil 25%</b> | 248,5            | 108,3                |
| <b>Percentil 50%</b> | 482,4            | 112,2                |
| <b>Percentil 75%</b> | 718,1            | 116,2                |
| <b>Máximo</b>        | 948,6            | 128,0                |

A Tabela V.1.3-2 apresenta a estatística das distâncias das fontes sonoras de cada campanha sísmica aos *gliders*, nos tempos correspondentes a cada medição acústica, sendo obtido um valor médio variando entre 60 e 200 km, dependendo da campanha sísmica considerada. As menores distâncias ficaram um pouco acima de 1 km, em Tupi-Iracema e em Iara e as maiores distâncias foram em Aram e Búzios, com 407 km e 470 km, respectivamente. O maior número de medições foi feito em Tupi-Iracema, com 90.756 minutos de dados e o menor número foi em Sapinhoá-Monitor, com pouco mais de 1.400 minutos.

*Tabela V.1.3-2: Estatísticas gerais das distâncias das fontes sonoras de cada uma das sísmicas aos gliders para janelas de 1 minuto de sinal durante o período de 18/06/2022 a 20/10/2024 nas campanhas ME\_C01 a ME\_C19 de monitoramento específico do PMPAS-BS.*

|                      | Tupi-Iracema | Itapu  | Aram   | Iara   | Sapinhoá-Monitor | Sépie | Búzios |
|----------------------|--------------|--------|--------|--------|------------------|-------|--------|
| <b>Contagem</b>      | 90.756       | 26.410 | 45.588 | 28.440 | 1.448            | 9.088 | 12.735 |
| <b>Média</b>         | 92,4         | 100,7  | 205,8  | 93,9   | 100,7            | 63,6  | 128,7  |
| <b>Desvio Padrão</b> | 73,2         | 54,7   | 101,1  | 88,7   | 51,5             | 50,4  | 90,8   |
| <b>Mínimo</b>        | 1,3          | 9,9    | 26,2   | 1,7    | 54,6             | 14,5  | 16,8   |
| <b>Percentil 25%</b> | 41,5         | 48,5   | 125,5  | 30,6   | 69,4             | 41,7  | 71,5   |
| <b>Percentil 50%</b> | 64,9         | 102,2  | 199,5  | 54,4   | 80,5             | 50,7  | 83,8   |
| <b>Percentil 75%</b> | 117,2        | 143,5  | 296,7  | 107,6  | 104,8            | 57,1  | 137,7  |
| <b>Máximo</b>        | 374,9        | 305,8  | 407,4  | 298,5  | 245,5            | 386,3 | 469,9  |

A Figura V.1.3-1 apresenta as distribuições das distâncias entre as fontes sísmicas e os *gliders* para as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sapinhoá-Monitor, Sépie e Búzios. As distâncias das medições em Tupi-Iracema



se concentraram entre 10 e 120 km; em Itapu entre 20 e 180 km; em Aram entre 40 e 400 km; em Iara entre 20 e 120 km, em Sapinhoá-Monitor, entre 50 e 100 km, em Sépia, entre 30 e 70 km e em Búzios entre 50 e 120 km.

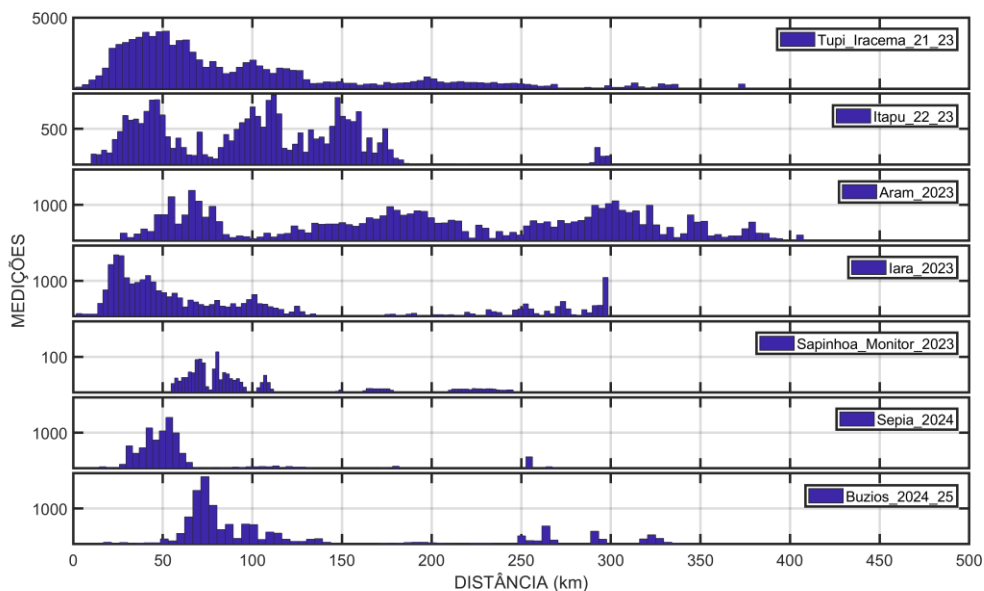


Figura V.1.3-1: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica para os campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sapinhoá-Monitor, Sépia e Búzios.

#### V.1.4 Ruído Ambiente

O ruído ambiente na Bacia de Santos foi avaliado usando-se as medições feitas pelos *gliders* para as quais não foram associados qualquer tipo de disparo, mas que ao mesmo tempo tenha sido possível obter uma distância para as fontes sísmicas. No caso de mais de uma campanha sísmica estar ocorrendo ao mesmo tempo, foi considerada a menor distância ao *glider* para a preparação do gráfico. A Figura V.1.4-1 apresenta as medianas, em função da distância e da profundidade, do ruído ambiente medido pelos *gliders* de monitoramento específico nas campanhas ME\_C01 a ME\_C19. Estas medianas foram calculadas usando-se todas as medições localizadas em regiões do espaço distância x profundidade com dimensões de 20 m na profundidade e de 5 km na distância.

Os resultados ilustrados na Figura V.1.4-1 denotam pouca variabilidade dos níveis de ruído ambiente em relação à profundidade. Em relação ao afastamento da fonte, observam-se alguns níveis mais baixos em diversos pontos que podem estar associados ao menor número de medições feitas com o *glider* a maiores



distâncias das sísmicas. Níveis mais altos isolados podem estar associados ao ruído irradiado por navios de apoio às atividades de aquisição sísmica e/ou de apoio às demais atividades e instalações de E&P e navegação que ocorrem nas regiões onde o *glider* passou.

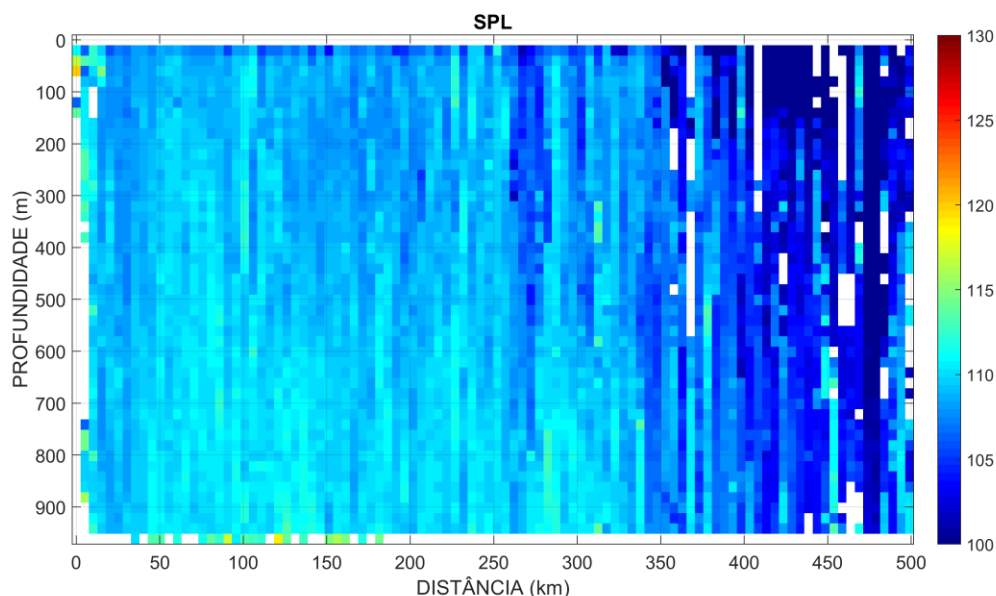
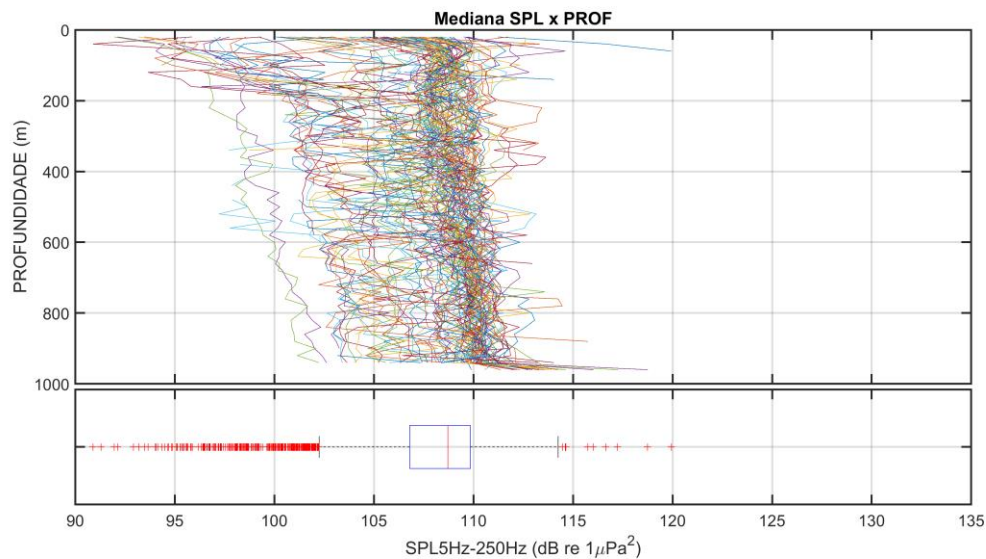


Figura V.1.4-1: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos (Ruído Ambiente).

Na Figura V.1.4-2, as medianas do ruído ambiente são apresentadas, no gráfico de cima, com todas as distâncias agrupadas, em função da profundidade. No gráfico de baixo, é apresentado um *boxplot* representando a estatística destes dados, onde a mediana é de 108,7 dB re 1uPa<sup>2</sup> e o intervalo entre os 25º e o 75º percentis é em torno de 3 dB. As cruzes vermelhas mostradas no *boxplot* correspondem a valores extremos devidos, possivelmente, ao ruído de navios passando próximo ao *glider* ou mesmo a pulsos sísmicos de outras sísmicas, para as quais não se tenha informações detalhadas sobre a situação das suas fontes sísmicas. A mediana ficou cerca de 3 dB abaixo do valor apresentado no 8º Relatório Técnico, de 31 de agosto de 2024 (PETROBRAS/IPQM, 2024) e é possível observar um aumento nos níveis com o aumento da profundidade. A redução dos níveis pode ser explicada pela forma como os dados estão sendo filtrados agora, removendo as medições em que se tem informação da ocorrência de disparos em alguma sísmica. No 8RT, o gráfico foi feito considerando a sísmica

de Tupi-Iracema e apenas observava se os canhões desta sísmica não estava disparando, sem levar em consideração a situação das outras sísmicas.



*Figura V.1.4-2: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos. No gráfico de cima, são apresentadas as medianas em função da profundidade mostradas na V.1.4-1. No gráfico de baixo, é mostrado o boxplot das medianas de cada célula apresentada no gráfico de cima.*

## V.2 DECAIMENTO SONORO

Esta seção apresenta os resultados do processamento dos dados dos *gliders* de monitoramento da atividade sísmica nos Campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, entre 18 de junho de 2022 e 20 de outubro de 2024. Não foram feitas análises para os dados gravados em Sapinhoá-Monitor devido ao pequeno número de medições feitas durante esta sísmica.

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 **Decaimento Sonoro Horizontal – Tupi-Iracema**

A Figura V.2.1-1 apresenta os valores de  $SPL_{1min}$  medidos pelos *gliders* em função do afastamento horizontal da fonte sísmica no campo de Tupi-Iracema. Os pontos apresentados correspondem aos disparos de produção, tendo sido removidos os disparos que tenham ocorrido ao mesmo tempo que os disparos informados em Itapu, Aram e Iara, sísmicas estas que tiveram algum tempo comum com a sísmica de Tupi. Uma equação de decaimento (curva verde) do tipo  $SPL(r) = SL - N * \log_{10} r$ , 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 150 km de distância e que concentram o maior número das medições.

Os valores de SPL decaem com a distância à fonte sísmica, refletindo uma natureza logarítmica desta relação. A equação de ajuste é dada por

$$SPL(r) = 224,7 - 21,4 \log_{10} r$$

onde os coeficientes calculados foram  $SL = 224,7$  dB re  $1\mu Pa^2.m$  e  $N = 21,4$ , apontando para um nível sonoro a 1 m de aproximadamente 224,7 dB re  $1\mu Pa^2$ . Estes valores foram apresentados no 8º Relatório Técnico, quando ainda não tinham sido disponibilizados os dados da situação das fontes para as sísmicas realizadas pelas empresas PGS e CGG, e que tiveram uma sobreposição de tempo com a sísmica de Tupi.

A Figura V.2.1-2 mostra a nova curva de decaimento, considerando apenas os pontos em que não havia disparos nas sísmicas em Itapu, Aram, Iara, PGS e CGG. Um número muito menor de pontos fica disponível para o cálculo do decaimento, fruto, principalmente, da inclusão das informações da sísmica da CGG, que ocorre praticamente no mesmo período de Tupi-Iracema. Os coeficientes calculados foram  $SL = 221,3$  e  $N = 20,7$ . Variações nos valores dos coeficientes do ajuste são esperados, uma vez que estes coeficientes dependem da minimização global do erro entre a equação proposta e a nuvem de pontos. O comportamento geral do decaimento observado, no entanto, permanece o mesmo.



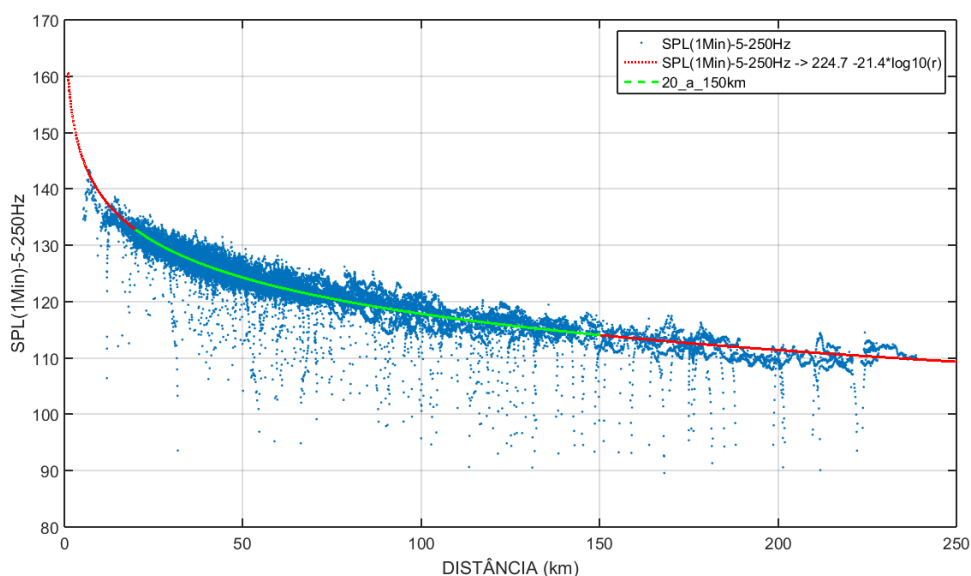


Figura V.2.1-1: Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL=224,7$  e  $N=21,4$  da curva de decaimento.

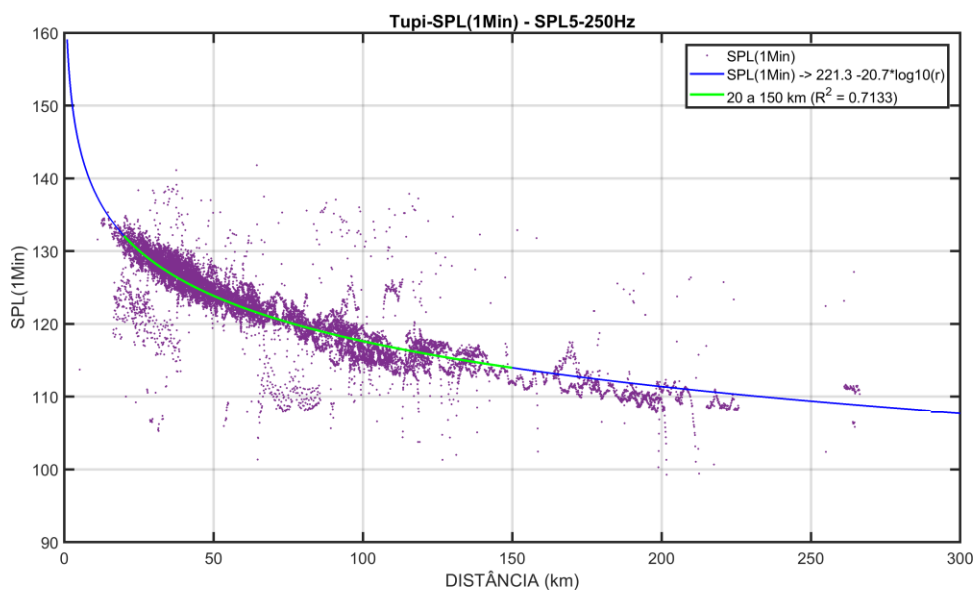


Figura V.2.1-2: Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL=221,3$  e  $N=20,7$  da curva de decaimento.

## V.2.2 **Decaimento Sonoro Horizontal – Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios**

O mesmo procedimento utilizado para o estudo do decaimento sonoro horizontal no campo de Tupi-Iracema foi aplicado aos campos de Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios. No entanto, existem diferenças que tornam os resultados menos precisos em comparação com a sísmica de Tupi-Iracema. As sísmicas em Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios tiveram um menor número de medições do que Tupi-Iracema. Em função disso, menos registros na ausência de disparos de outras sísmicas puderam ser aproveitados para o cálculo do decaimento sonoro nesses campos.

As Figuras V.2.2-1 a V.2.2-5 mostram as curvas de decaimento para as campanhas em Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, onde foram obtidos os resultados apresentados na Tabela V.2.2-1. Na tabela, foi incluído os dados referentes a Tupi-Iracema.

*Tabela V.2.2-1: Parâmetros das curvas de decaimento ajustadas para as campanhas sísmicas.*

| Campanha            | Curva de decaimento               | Coef. Regr. | Distâncias  |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Tupi-Iracema</b> | $SPL = 221,3 - 20,7 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,713$ | 20 a 150 km |
| <b>Itapu</b>        | $SPL = 218,4 - 20,3 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,545$ | 20 a 70 km  |
| <b>Aram</b>         | $SPL = 197,1 - 15,7 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,493$ | 20 a 250 km |
| <b>Iara</b>         | $SPL = 195,6 - 15,6 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,723$ | 20 a 150 km |
| <b>Sépia</b>        | $SPL = 210,2 - 18,3 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,263$ | 20 a 150 km |
| <b>Búzios</b>       | $SPL = 199,9 - 16,4 \log_{10}(r)$ | $R^2=0,057$ | 20 a 100 km |

As curvas de decaimento foram feitas nas campanhas em Iara e Sépia usando a mesma faixa de distância de 20 a 150 km usada em Tupi-Iracema. Acima de 150 km, os níveis medidos apresentaram uma maior variabilidade devido ao fato de estes níveis estarem cada vez mais contaminados pelo ruído ambiente do local da medição, podendo prejudicar a estimativa da curva de decaimento. Nas campanhas em Itapu e Búzios, a distância máxima teve que ser reduzida para 70 km e 100 km, respectivamente, pois foram observadas variações nos pontos acima destas distâncias que não pareciam seguir o comportamento normal de



uma curva de decaimento. Já na campanha de Aram, a distância máxima foi aumentada para 250 km, para permitir o uso de um maior número de medições, já que foram feitas poucas medições para menores distâncias.

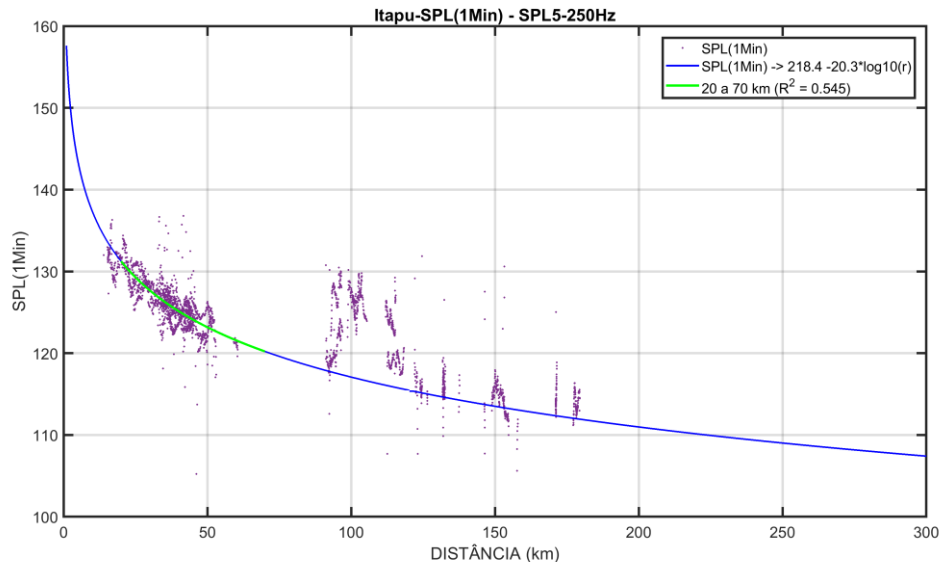


Figura V.2.2-1: Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Itapu, usando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de 20 a 70 km usado na estimativa dos parâmetros  $SL = 218,4$  e  $N = 20,3$  da curva de decaimento.

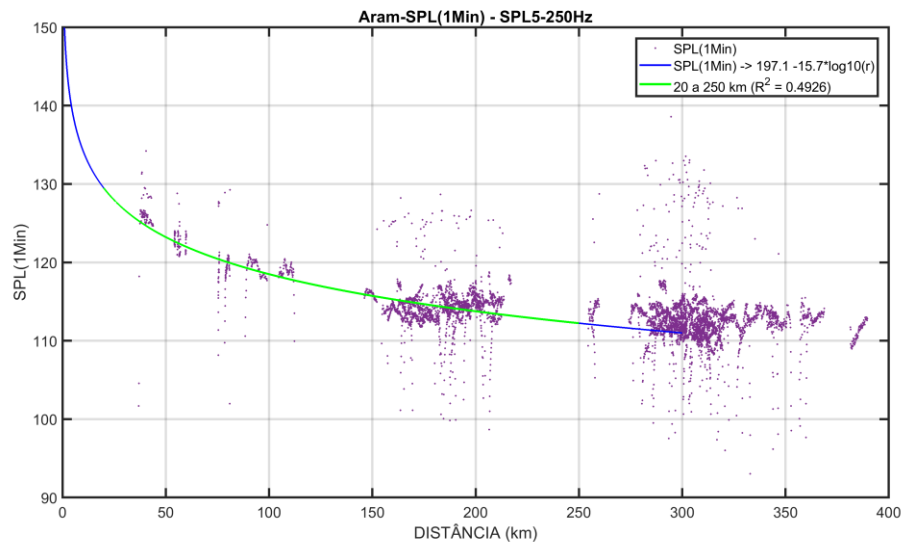
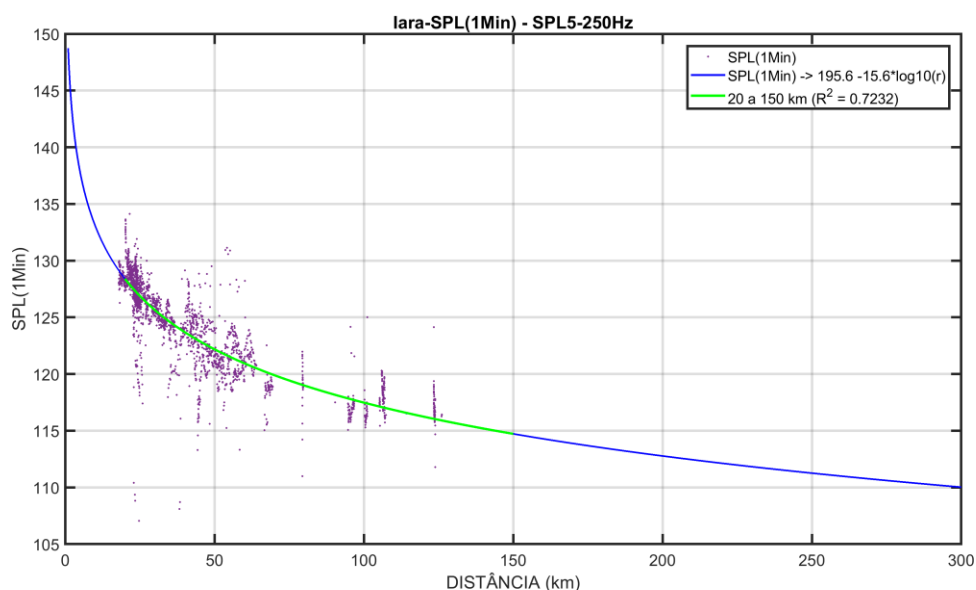
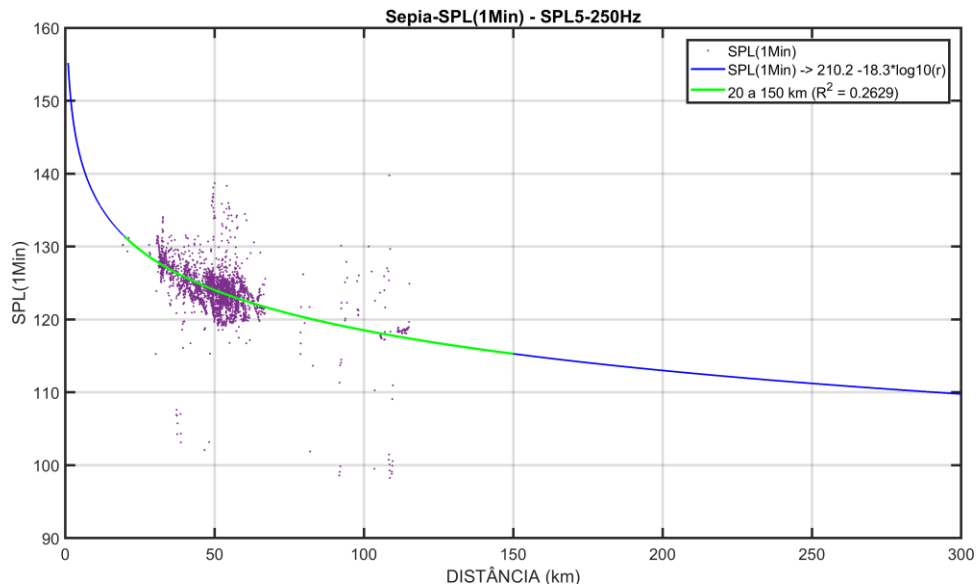


Figura V.2.2-2: Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Aram, usando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de 20 a 250 km usado na estimativa dos parâmetros  $SL = 197,1$  e  $N = 15,7$  a curva de decaimento.



**Figura V.2.2-3:** Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Iara, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL = 195,6$  e  $N = 15,6$  da curva de decaimento.



**Figura V.2.2-4:** Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Sépia, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL = 210,2$  e  $N = 18,3$  da curva de decaimento.

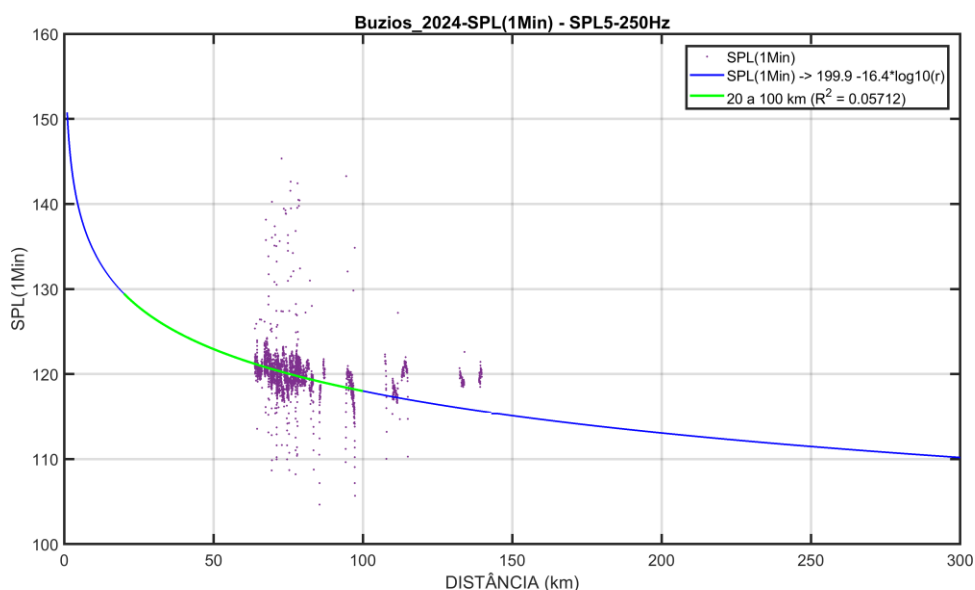
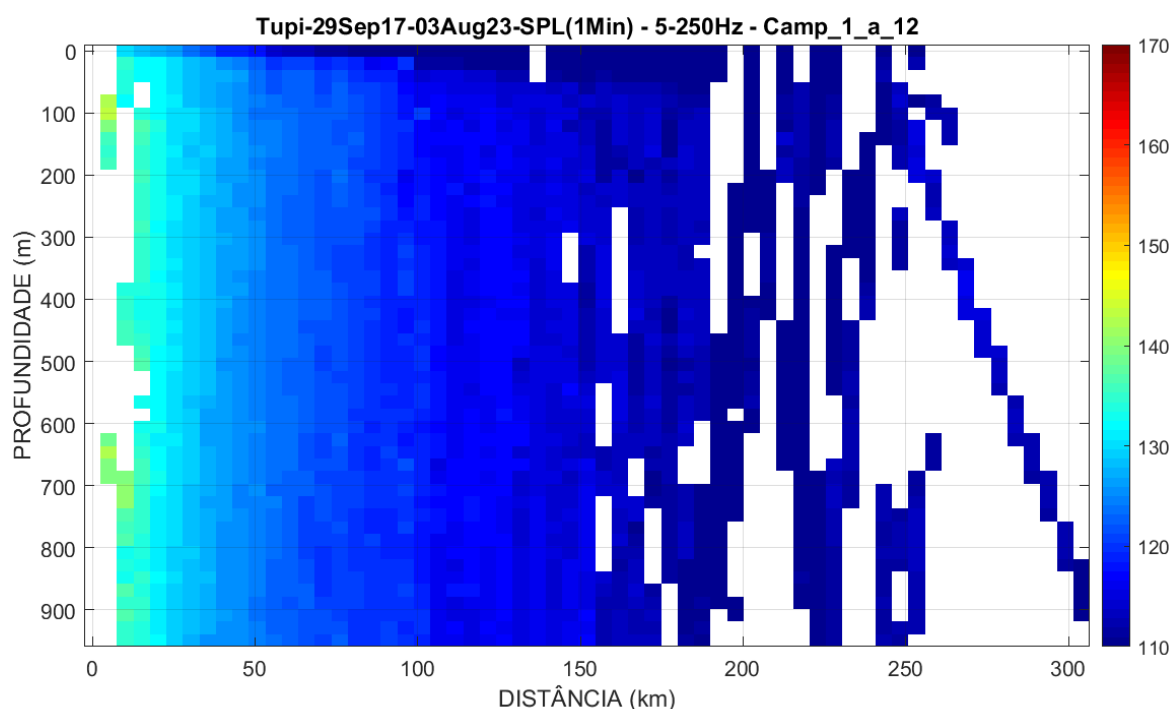


Figura V.2.2-5: Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$  para o campo de Búzios, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 100 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL = 199,9$  e  $N = 16,4$  da curva de decaimento.

Os parâmetros de decaimento  $SL$  e  $N$  são bastante semelhantes, especialmente entre as sísmicas de Tupi-Iracema, Itapu e Sépia. Esse aspecto pode estar relacionado ao fato de essas aquisições estarem concentradas na mesma área geográfica, na região do *cluster* Tupi e seu entorno. A curva de decaimento para Aram apresenta características um pouco distintas das demais, com valores de  $SL$  e taxa de decaimento  $N$  ligeiramente menores. Essa diferença pode estar associada a características de propagação específicas de Aram, localizada na região central da Bacia de Santos, próxima ao talude continental, e em uma área afastada das demais sísmicas analisadas. Uma diferença semelhante ocorre com os parâmetros de ajuste do decaimento sonoro em Iara. No entanto, Iara está próxima à borda norte de Tupi, de modo que as características de propagação nessa região devem ser semelhantes às observadas em Tupi. Novas análises devem ser realizadas para compreender o motivo dessas diferenças. Já em relação a Búzios, a curva de decaimento ajustada é menos confiável, como pode ser visto pelo valor baixo do coeficiente de regressão,  $R^2$ , de forma que não é possível se ter certeza sobre seu comportamento.

### V.2.3 Decaimento Sonoro Vertical

A Figura V.2.3-1 apresenta a mediana do SPL de 1 minuto para medições agrupadas em quadrículas delimitadas por intervalos de profundidade de 20 m (eixo vertical) e de distância de 2 km (eixo horizontal), considerando apenas as sísmicas da PETROBRAS, ou seja, sem levar em conta possíveis disparos simultâneos nas sísmicas realizadas pelas empresas PGS ou CGG. Os espaços em branco indicam ausência de medições para o intervalo de distância e profundidade considerados. A variação do ruído em função da distância e da profundidade indica um padrão de espalhamento vertical praticamente uniforme para todo o intervalo de distâncias considerado, com níveis sonoros reduzindo-se com a distância, mas sem variações significativas de ruído com a profundidade.



**Figura V.2.3-1:** 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), para o campo de Tupi-Iracema.

A Figura V.2.3-2 apresenta os valores de SL correspondentes às medianas mostradas na Figura V.2.3-1, usando-se a fórmula  $SL(n) = SPL(n) + 21,4 \log_{10}(r)$ , onde  $SPL(n)$  são os SPL de 1 minuto medidos, sendo considerado o decaimento  $N=21,4$  obtido a partir dos dados. A Figura V.2.3-3 apresenta as medianas da

Figura V.2.3-2 em função da profundidade para todas as distâncias consideradas. O valor mediano do SL ficou perto de 224 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>.m, e a variação entre o 25º e 75º percentis foi menor que 2 dB, indicando um bom ajuste das curvas.

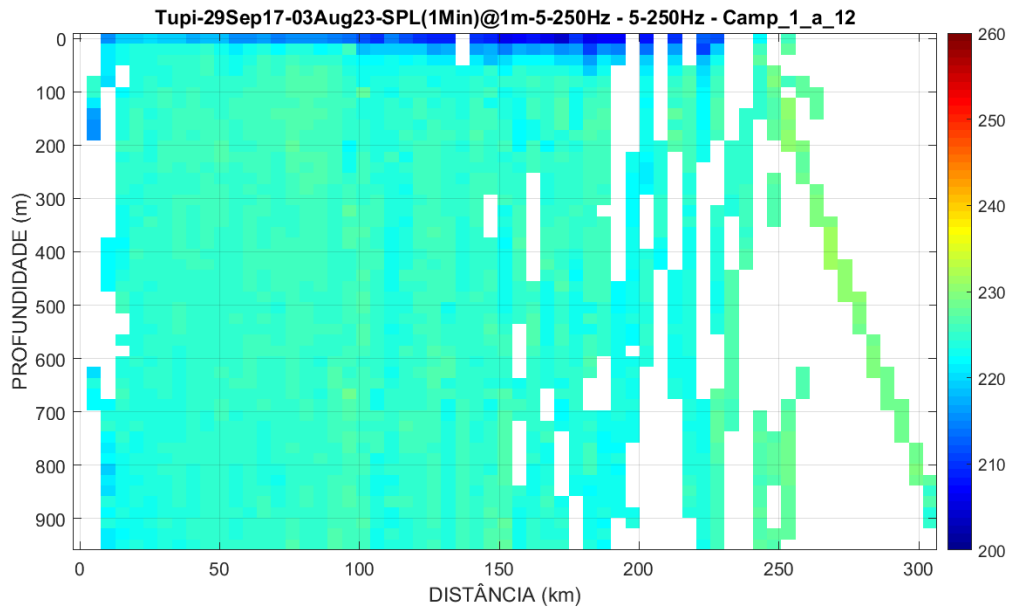


Figura V.2.3-2:  $SPL_{1min} @ 1m$  (SL), considerando um decaimento de  $21,4 \log_{10}(r)$ , incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema.

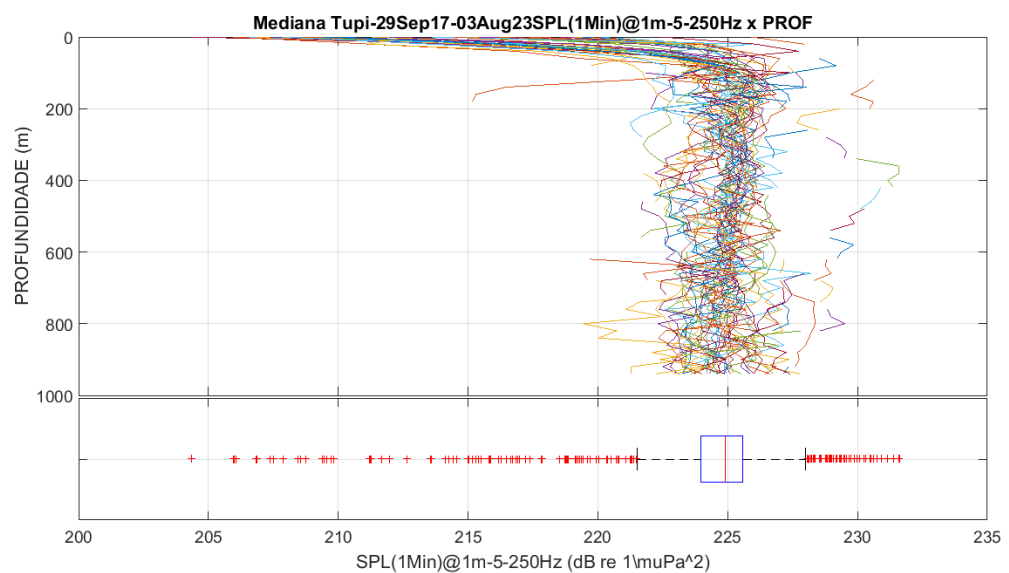
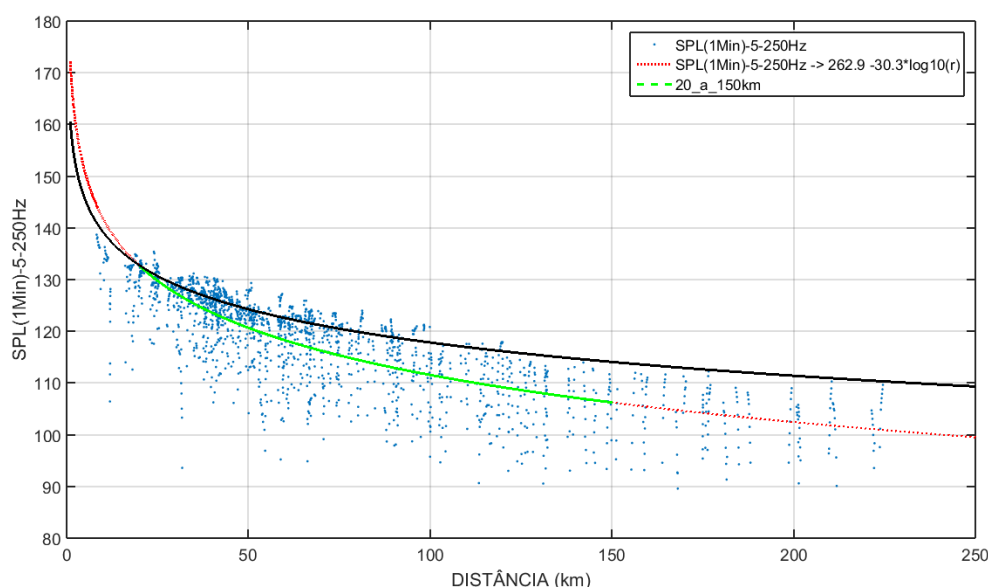


Figura V.2.3-3:  $SPL_{1min} @ 1m$  (SL), considerando um decaimento de  $21,4 \log_{10}(r)$ , incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema.

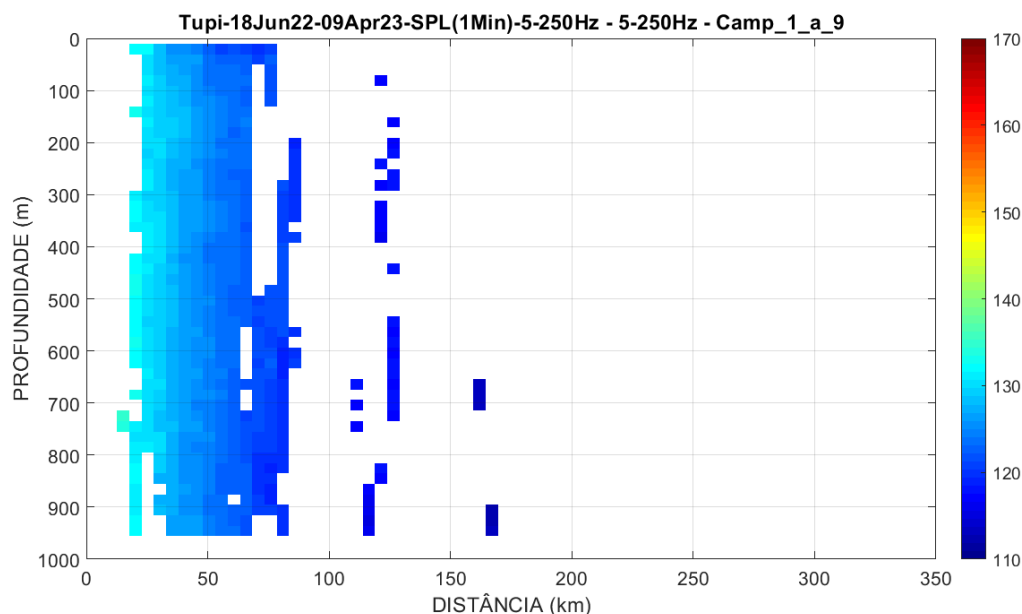
Tanto na Figura V.2.3-2, quanto na Figura V.2.3-3, observa-se que próximo à superfície os níveis de ruído ficam abaixo dos valores para profundidades maiores. É interessante notar que as regiões com valores menores ficam mais profundas a maiores distâncias da fonte, levando a se considerar a possibilidade desta faixa ser consequência de características de propagação do meio. Uma análise do decaimento sonoro utilizando apenas os níveis próximo à superfície, obtidos a menos de 50 m de profundidade e apresentados na Figura V.2.3-4, mostra um decaimento mais acentuado do que ao se considerar todos os dados, da ordem de  $30,3 \log_{10}(r)$ . Na figura, a curva preta corresponde ao decaimento obtido a partir de todos os dados, mostrando um decaimento menos acentuado.



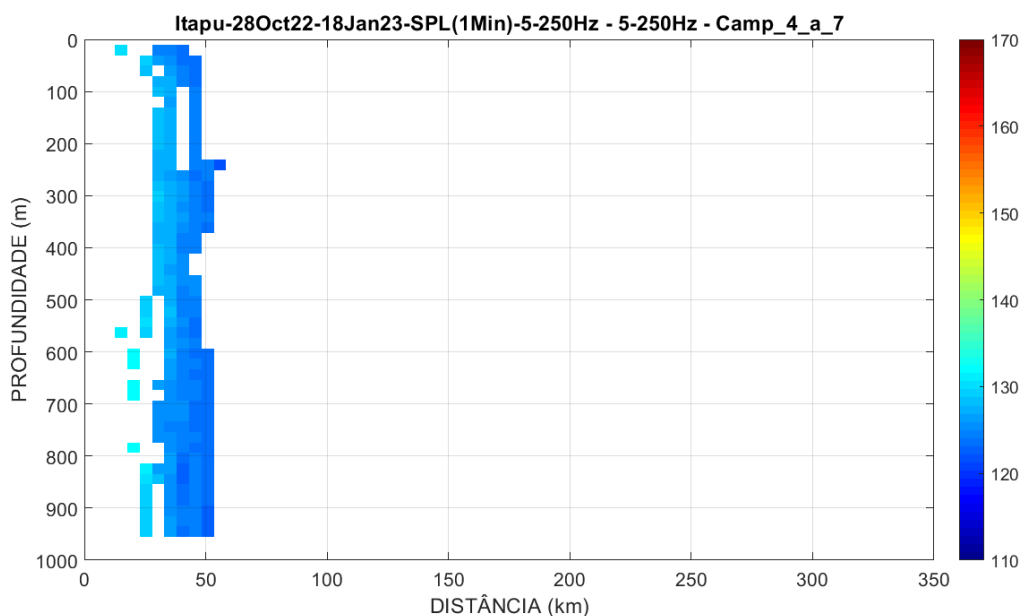
**Figura V.2.3-4:** Decaimento sonoro do  $SPL_{1min}$ , considerando apenas medições feitas próximo à superfície (<50 m), para o campo de Tupi-Iracema. A curva vermelha mostra o ajuste de uma função do tipo  $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$  para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros  $SL = 262,9$  e  $N = 30,3$  da curva de decaimento ( $R^2 = 0,62$ ). A curva preta mostra o decaimento considerando medições feitas em todas as profundidades.

A Figura V.2.3-5 apresenta o mesmo gráfico da Figura V.2.3-1, mas considerando, agora, a presença das sísmicas realizadas pelas empresas CGG e PGS. O número de disparos ocorrendo apenas em Tupi, agora, é bem menor, reduzindo bastante a área disponível para a análise.

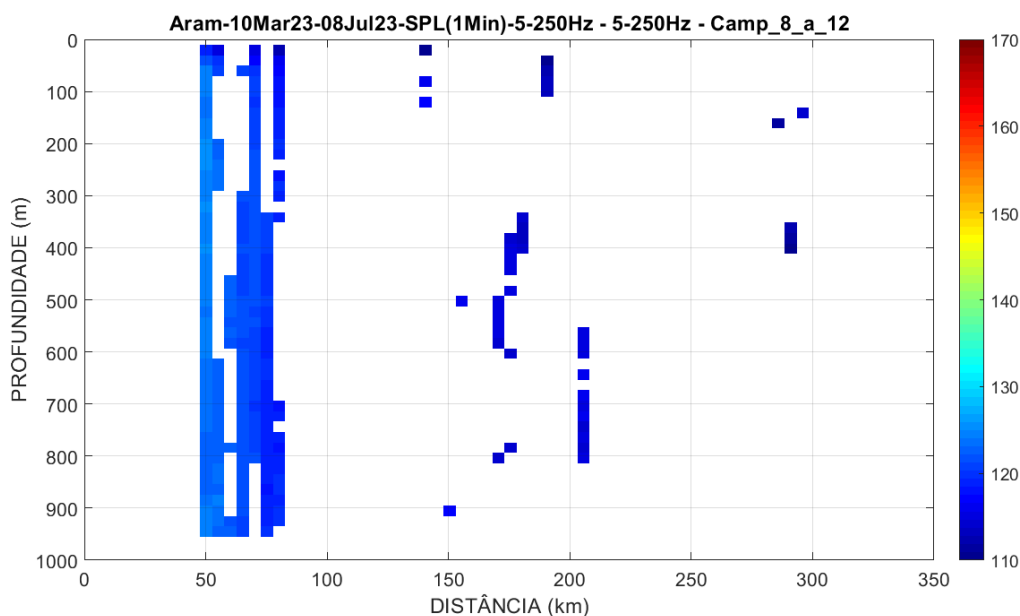
Os gráficos da V.2.3-6 a V.2.3-9 apresentam o decaimento vertical para as sísmicas de Itapu, Aram, Iara e Sépia. Todas apresentam um comportamento parecido com aquele observado para a sísmica de Tupi-Iracema, com variações pequenas do SPL com a profundidade.



*Figura V.2.3-5: 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), para o campo de Tupi-Iracema, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS.*



**Figura V.2.3-6:** 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), para o campo de Itapu, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS.



**Figura V.2.3-7:** 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), para o campo de Aram, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS.



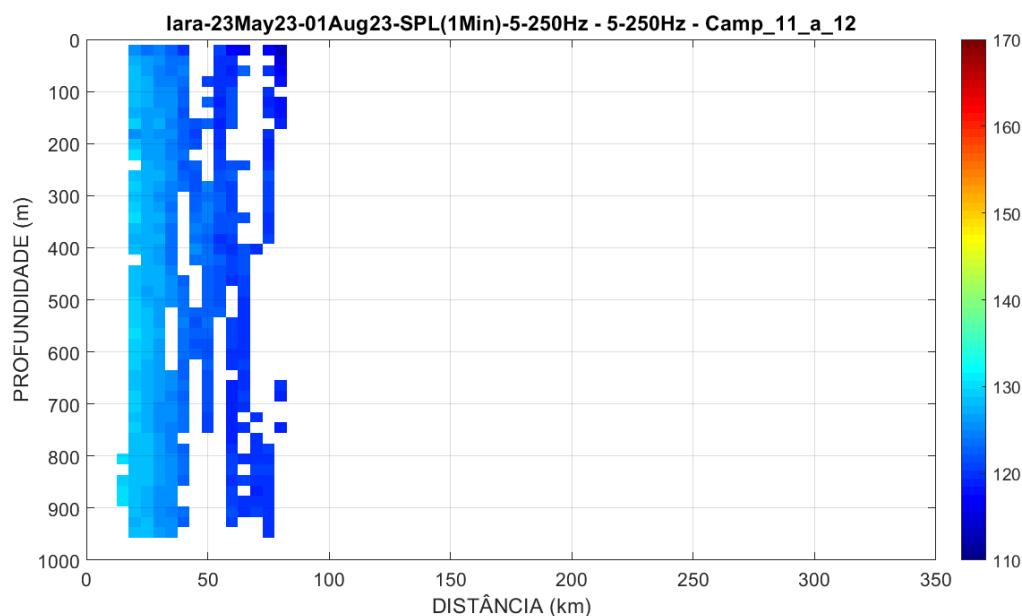


Figura V.2.3-8: Variação do SPL (dB re  $1\mu\text{Pa}^2$ ) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical), para o campo de lara, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS.

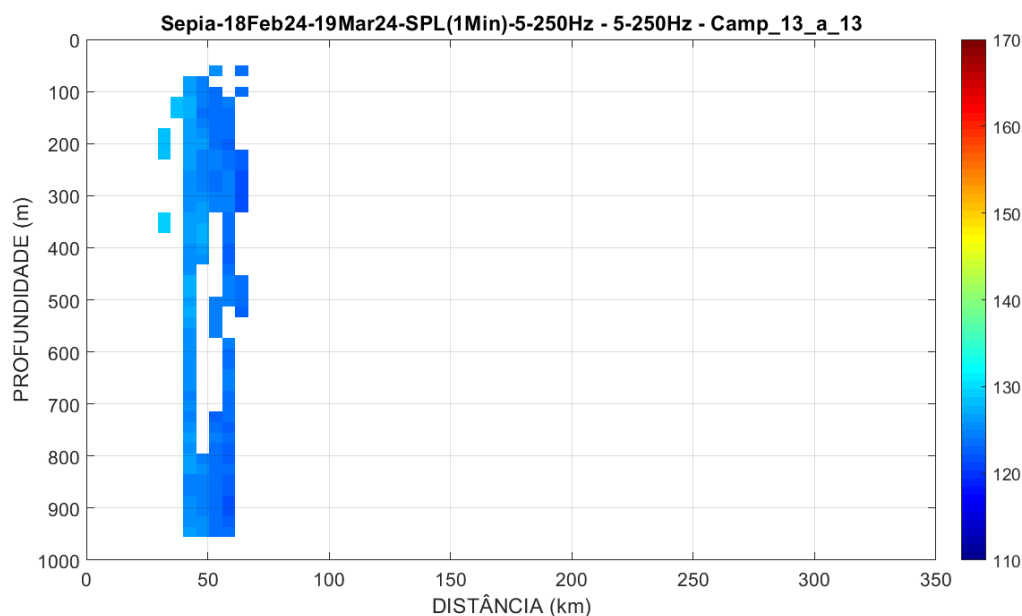


Figura V.2.3-9: Variação do SPL (dB re  $1\mu\text{Pa}^2$ ) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical), para o campo de Sêpia, considerando a presença das sísmicas realizadas pela CGG e pela PGS.

## V.2.4 **Discussão sobre o Decaimento Sonoro**

Os resultados do decaimento sonoro para uma fonte sísmica operando no campo de Tupi-Iracema mostraram um decaimento horizontal estimado para distâncias entre 20 e 150 km como sendo de  $21,4 \cdot \log_{10}(r)$  dB, onde  $r$  é a distância para a fonte sísmica. Valores semelhantes foram obtidos em Itapu, com  $N=20,3$  e em Sépia, com  $N=18,3$ . Para os campos de Aram e Iara, no entanto, os coeficientes indicando o decaimento horizontal foram menores, com valores de 15,7 e 15,6, respectivamente. Estes valores menores para o decaimento podem estar associados a características de propagação do meio ou ao menor número de medições realizadas e sua concentração em distâncias maiores, quando comparado com o campo de Tupi-Iracema. O decaimento obtido para o campo de Búzios, com  $N=16,4$ , é menos confiável devido ao menor número de medições disponíveis.

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, situação observada tanto no campo de Tupi-Iracema quanto nos campos de Itapu, Aram, Iara e Sépia. Observou-se, no entanto, um decaimento mais acentuado próximo à superfície, podendo estar associado às características de propagação no meio.

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 na região das Baías de *Baffin* e *Melville*, oeste da Groelândia. Para um dos fundeios acústicos em lâmina d'água de cerca de 400 m, os autores avaliaram o decaimento sonoro vertical não sendo 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.

Em outro estudo, Sidorovskaia e 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 1.500 m, com sensores distribuídos em profundidades distintas. Os níveis estimados através de diferentes métricas mostraram 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, indicando baixa variabilidade do ruído com a profundidade.

Estes resultados corroboram os padrões de decaimento obtidos a partir dos dados de *gliders* do monitoramento no Campo de Tupi-Iracema e nos outros campos, 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*.





## VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2024 para *gliders*; de novembro de 2015 a janeiro de 2022 para perfiladores; de setembro de 2017 a dezembro de 2024 para as LFI; e de março de 2017 até dezembro de 2024 para os OSs. Estas considerações finais abordam as questões levantadas no início 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 do ruído acústico na Bacia de Santos, 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 acústico.

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

A primeira questão aborda o esforço amostral do PMPAS-BS e como este atende 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 realizou 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. Nesse período, foram feitas 23 campanhas com 234 perfiladores, 52 campanhas com *gliders*, 10 campanhas com LFI (seis linhas com gravações em três profundidades) e 106 campanhas com OSs.

O segundo ciclo do PMPAS-BS apresentou resultados preliminares promissores. Este ciclo continuou a expandir a base de dados acústicos e aprimorou as metodologias de análise. As gravações adicionais dos *gliders* ajudaram a mapear com maior precisão a paisagem acústica submarina e a



identificar novas fontes de ruído subaquático, contribuindo para um entendimento mais aprofundado do ambiente acústico da região. Até o final de 2024, foram realizadas 71 campanhas com *gliders*, 4 campanhas com LFI (3 linhas com gravações nas profundidades de 500 m e 950 m) e 24 campanhas com OSs. No total, foram gravadas 203.258,6 horas de dados acústicos para *gliders*, OSs e LFI, enquanto os perfiladores analisaram 5.020,3 horas de sinal.

O monitoramento de longo prazo do PMPAS-BS tem permitido a geração de conhecimento sobre paisagem acústica em uma extensa região oceânica (as medições cobriram cerca de 251.000 km<sup>2</sup> dos 350.000 km<sup>2</sup> da Bacia de Santos), na qual as poucas medições acústicas oceânicas disponíveis até então, tinham finalidade militar e se concentravam em regiões de interesse da Marinha do Brasil, como Arraial do Cabo - RJ. As componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Oceânico e Monitoramento Fixo Costeiro têm proporcionado a coleta de um extenso acervo de dados, um dos maiores do mundo em termos de esforço amostral em uma região oceânica (LIMA *et al.*, 2024). Esse acervo torna possível a elaboração de mapas de ruído acústico em uma região geográfica cobrindo toda Bacia de Santos e a análise de pontos fixos específicos na faixa costeira (principais portos com finalidade de apoio à indústria *offshore* de Óleo e Gás (O&G) na Bacia de Santos e na região oceânica (pontos que cobrem locais com intensa atividade de E&P, desenvolvimento da produção, rotas de navegação e regiões pristinas). A componente de modelagem do ruído acústico tem permitido a geração de mapas do ruído acústico em uma grade oceânica pioneira no Oceano Atlântico Sul. Além disso, tais dados têm fomentado o desenvolvimento científico no país por meio de trabalhos acadêmicos, como artigos, dissertações e teses. Os resultados do monitoramento são discutidos nas próximas seções.


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

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



  
Coordenador da Equipe



  
Técnico Responsável

9º Relatório  
Técnico

Revisão 00  
08/2025

As contribuições dos monitoramentos móvel, fixo oceânico e fixo costeiro atenderam aos seus objetivos propostos no planejamento 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 22 dB entre os trechos mais silenciosos e os mais ruidosos, dependendo da faixa de frequência analisada.

A evolução dos níveis de ruído nos nove anos de medição (2016 a 2024) mostrou variações entre os anos que não indicam uma tendência de aumento do ruído com o tempo. 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 7 dB, 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 feitos no primeiro ciclo, para as seis linhas (FA01 a FA06) e mais a nova posição 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.

Foram calculados os  $SEL_{24h\_LF}$  e  $SEL_{24h\_MF}$  para cada linha. Suas distribuições ficaram abaixo do valor limiar do TTS para ruídos contínuos, definido em Finneran, (2016).

Para este relatório não foram utilizados os dados obtidos pelas linhas de fundeio FA, FB e FC1, pois ainda não foi possível fazer o seu processamento e sua qualificação, conforme descrito na Seção III.1.2.2.

### **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 doze 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, OS3R2 e OSP1, nas Ilhas Cagarras e OSP3 e OSP4 mais afastadas da entrada da Baía de Guanabara) são mais ruidosos na maior parte do espectro, particularmente entre 10 e 300 Hz, devido ao tráfego de embarcações e acima de 2 kHz, principalmente para as posições OS1 e OS1A, associado ao ruído produzido por invertebrados. 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 devido, provavelmente, ao ruído biológico de peixes e invertebrados.

O Observatório Submarino de Plataforma (OSP) foi instalado na região ao sul das Ilhas Cagarras (OSP1, OSP3 e OSP4) e na entrada sul do Canal de São Sebastião (OSP2), próximo ao OS3. No entorno da Baía de Guanabara, os níveis do ruído em baixa frequência no OSP1 ficaram próximos àqueles medidos nos OS3R1 e OS3R2, enquanto os níveis de ruído acima de 2kHz ficaram mais silenciosos nos OSP3 e OSP4, provavelmente devido à maior distância desses OSs dos costões em volta da entrada da Baía de Guanabara. Na região do canal



de São Sebastião, o OSP2, que está um pouco para fora do canal, apresentou níveis de ruído medidos em baixa frequência acima dos níveis medidos no OS3, que está mais para dentro do canal, devido, provavelmente, à maior proximidade do OSP2 das rotas de tráfego que passam próximo do canal, mas sem entrar nele.

Os níveis do SEL<sub>24-MF</sub> foram menores para o OS2 e o OS2R e maiores para o OS1. Os níveis do SEL<sub>24-LF</sub> foram menores para o OS2R e o OS3 e maiores para o OS1, o OS1A e o OS2. Em todas as posições, o SEL<sub>24h-MF</sub> ficou abaixo do TTS para ruídos contínuos, mas o SEL<sub>24h-LF</sub> cruzou aquele limiar para alguns pontos extremos nos OS1A, OS2 e OS3.

Um trabalho feito por Melo Júnior, (2023) comparou medições acústicas feitas no OS1, OS2, OS3 e na Ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo, no ano de 2018, e mostrou resultados que evidenciaram diferenças entre os pontos de amostragem em relação às análises espaço-temporais. Na referida tese é possível notar padrões acústicos provenientes de sons de peixes, invertebrados e antropogênicos, além da relação da paisagem acústica com os fatores ambientais (como temperatura, radiação solar, precipitação, entre outros). O autor observou, por exemplo, a influência da temperatura da água na variação dos sinais biológicos, o que representa um resultado relevante frente ao aumento da média global da temperatura dos oceanos. Por fim, o autor concluiu que as informações geradas pelo PMPAS-BS podem contribuir para estudos e ações relacionadas à manutenção da biodiversidade e dos estoques pesqueiros.

### **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 2024 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 uma estabilidade para as faixas de 63 e 125 Hz. Não se observa uma clara tendência nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões.

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 varia de menos que 2 dB nas regiões mais ruidosas a até 7 dB nas áreas mais silenciosas. Na região R1, os níveis nas quatro profundidades analisadas ficaram muito próximos entre si.

Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento 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, pelos OS3R/OS3R1/OS3R2/OSP1 e pelos OSP3/OSP4, 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.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, em particular os OS1 e OS1A, os OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1, e os OSP3 e OSP4, o comportamento espectral destes observatórios apresenta particularidades, principalmente no que se refere a faixas do espectro ligadas às



fontes de ruído bioacústico e ao ruído de embarcações. Tal aspecto sugere 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. Assim, o monitoramento continuado numa posição fixa por períodos 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.

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.

Os resultados apresentados neste relatório com dados do PMPAS-BS de novembro de 2015 até dezembro de 2024 (9 anos de dados acústicos medidos) fornecem uma base robusta para a definição dos principais aspectos e tendências da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos, 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 do ruído acústico, que vem evoluindo continuamente,



já oferece resultados de qualidade comparáveis às melhores iniciativas internacionais de modelagem do ruído acústico, e 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 do ruído acústico na Bacia de Santos, 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 do ruído acústico 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 acústico têm sido utilizados em diversos outros programas internacionais de monitoramento da paisagem acústica, conforme Dekeling *et al.*, (2014a).

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 5,5 dB abaixo do ruído medido na frequência de 63 Hz e 4,6 dB, acima 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.

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.

Examinando-se a evolução temporal dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4 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 2024 para todas as regiões. A redução é coerente com a redução no volume de tráfego observado a partir dos registros AIS.

A diferença entre os níveis de ruído na Bacia de Santos entre os anos de 2016 e 2019, entre 2019 e 2023 e entre 2023 e 2024 é mostrada com os dados modelados usando um mapa de diferenças entre estes anos, escolhidos por serem extremos na densidade de embarcações anuais na região R1. Os mapas mostram uma redução dos níveis de ruído entre estes anos nas frequências de 63 Hz e 125 Hz em boa parte da Bacia de Santos. Observam-se aumentos na região do polo pré-sal entre 2019 e 2023 nas duas frequências e próximo à costa entre 2016 e 2019 para a frequência de 63 Hz e entre 2019 e 2023 para 125 Hz.

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.

Foi implementada uma nova forma de visualizar os dados modelados, por meio de um mapa vertical do ruído acústico em um transecto, usando os mesmos dados usados para criar os mapas horizontais de ruído acústico. Estes mapas verticais ampliam as possibilidades de análise da paisagem acústica, ao permitir a visualização dos níveis do ruído para diferentes profundidades ao mesmo tempo.



As comparações realizadas entre os dados modelados e medidos evidenciaram a evolução do modelo SIMAS para simulação de cenários reais de paisagem acústica submarina. Atualmente, a versão do modelo permite que sua saída seja utilizada para inúmeras tarefas, tais como: mapeamento espacial e temporal; avaliação de tendências e mudanças; auxílio na mitigação de impactos; suporte à pesquisa científica; e monitoramento contínuo. Todas essas tarefas tornam o modelo uma ferramenta promissora para entender e gerenciar a paisagem acústica submarina, contribuindo para a preservação e conservação do ambiente marinho e a mitigação dos impactos da atividade humana nos oceanos.

O uso dos modelos de propagação de ruído traz uma série de contribuições ao monitoramento da paisagem acústica, tais como descrito por Dekeling *et al.*, (2014a):

- Redução do tempo requerido para a detecção de tendências de aumento do ruído por atividades antropogênicas em relação ao que seria necessário apenas com medições;
- Otimização no planejamento do posicionamento de equipamentos de medição, pois permite o conhecimento prévio com maior precisão dos locais mais críticos em relação ao ruído antropogênico ou mais preservados;
- Maior abrangência espaço-temporal dos resultados em relação ao que seria obtido apenas com medições;
- Possibilidade de identificação da contribuição de diferentes fontes sobre a paisagem acústica como, por exemplo, a influência individual de fatores ambientais (onda, vento etc.) ou das embarcações de apoio;
- Possibilidade de previsão de cenários futuros, de diagnóstico de cenário presente e de reconstrução de cenários históricos.

## **VI.5 DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS**

A quinta questão aborda os resultados das medições feitas com *gliders* nas proximidades de levantamentos sísmicos realizados na Bacia de Santos. É questionado como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte sísmica (decaimento horizontal e vertical) e como os níveis recebidos se comparam na presença e ausência dos disparos da fonte.



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 dados acústicos obtidos em dezenove campanhas de gravação com *glider*, no período de junho de 2022 a outubro de 2024. Foram feitas gravações com a distância do *glider* variando de menos de 10 km até quase 500 km da fonte. Por questão de segurança o *glider* é programado para evitar aproximação de menos de 5 km do polígono de aquisição da sísmica, embora tenham ocorrido algumas situações em que o *glider* se aproximou mais do que isto de uma fonte sísmica.

O parâmetro analisado foi o SPL na banda de frequência de 5 a 250Hz obtido em janelas de 1 minuto do sinal. Um estudo do ruído ambiente, sem disparo das fontes, medido a diferentes distâncias destas fontes, mostrou níveis medianos de 108,7 dB re 1uPa<sup>2</sup>.

Quando se considerou o decaimento sonoro com a distância para a fonte, verificou-se que no campo de Tupi-Iracema os dados seguem a curva de decaimento logarítmico  $SPL(r) = 221,3 - 20,7 \log_{10}(r)$ , onde  $r$  é a distância em metros entre o *glider* e a fonte sísmica. Nos campos de Itapu, Aram, Iara, Sépia e Búzios, os decaimentos obtidos foram de  $218,4 - 20,3 \log_{10}(r)$ ,  $197,1 - 15,7 \log_{10}(r)$ ,  $195,6 - 15,6 \log_{10}(r)$ ,  $210,2 - 18,3 \log_{10}(r)$  e  $199,9 - 16,4 \log_{10}(r)$ , respectivamente. A diferença destes decaimentos para aquele obtido em Tupi-Iracema pode ser devida ao menor número de disparos medidos ou aproveitados para estas campanhas, comparado com Tupi-Iracema e a diferenças nas faixas de distâncias em que os dados foram coletados para cada sísmica.

Na análise da variação do ruído com a profundidade, feita com os dados obtidos no campo de Tupi-Iracema, verificou-se que na faixa de distância dos dados, esta variação é pequena, corroborando com informações obtidas na literatura que mostram que variações maiores com a profundidade só ocorrem em distâncias menores entre a fonte e o receptor (MARTIN *et al.*, 2017; SIDOROVSKAIA e LI, 2022). Foi observado, no entanto, que o decaimento nas camadas mais próximas da superfície parece ser maior do que para regiões mais profundas, o que deve ser melhor investigado.



## 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 (GILLESPIE *et al.*, 2009) 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.



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. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas as tabelas de detecção de vocalização de 45 campanhas de monitoramento contínuo e 19 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Foi enviada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS,



principalmente, para o estudo de mysticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem 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 (PETROBRAS/SOCIOAMBIENTAL, 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 são apresentados no âmbito daquele projeto.

  
Coordenador da Equipe  
Técnico Responsável9º Relatório  
TécnicoRevisão 00  
08/2025



## VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D. C. DE. **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. Arraial do Cabo-RJ: Universidade Federal Fluminense, 2018.
- ANSI. **ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters**. Melville, NY: Acoustical Society of America, 2004.
- BASSETT, C.; THOMSON, J.; DAHL, P. H. e POLAGYE, B. Flow-noise and turbulence in two tidal channels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 4, p. 1764–1774, 2014.
- BOHNENSTIEHL, D. R.; LILLIS, A. e EGGLESTON, D. B. The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: Temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1–21, 2016.
- BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N.; CORRIAS, V.; FARINA, A.; FILICIOTTO, F.; MACCARRONE, V.; GRAMMAUTA, R.; CARUSO, F.; GIUSEPPE, A. e MAZZOLA, S. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific Reports**, v. 6, 28 set. 2016.
- BUTLER, J.; BUTLER, M. J. e GAFF, H. Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. **Ecological Indicators**, v. 77, p. 377–385, 2017.
- CMEMS. **Global Ocean Hourly Sea Surface Wind and Stress from Scatterometer and Model**, 2025.
- COCKREM, J. **Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals**. Final 2014 Report from ONR Marine Mammal Physiological Stress Response. **Anais...**2014.
- COQUEREAU, L.; GRALL, J.; CHAUVAUD, L.; GERVAISE, C.; CLAVIER, J.; JOLIVET, A. e DI IORIO, L. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, v. 163, n. 5, 1 maio 2016.



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.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part I - Executive Summary, JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014a.

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.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background information and annexes, JRC Scientific and Policy Report EUR 26556 EN**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014b.

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.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part II - Monitoring guidance specifications. JRC Scientific and Policy Report EUR 26555 EN**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 11 ago. 2014c.

ERBE, C.; VERMA, A.; MCCAULEY, R.; GAVRILOV, A. e PARNUM, I. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, v. 137, p. 38–51, set. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Report on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive COM(2020) 259 final**. Brussels: European Commission, 2020.



- FARCAS, A.; POWELL, C. F.; BROOKES, K. L. e MERCHANT, N. D. Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic. **Science of the Total Environment**, v. 735, 15 set. 2020.
- FINNERAN, J. J. **Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores. Technical Report 3026.** [s.l: s.n.].
- GEDAMKE, J. et al. **Ocean Noise Strategy RoadmapNOAA.** [s.l: s.n.].
- GILLESPIE, D.; MELLINGER, D. K.; GORDON, J.; MCLAREN, D.; REDMOND, P.; MCHUGH, R.; TRINDER, P.; DENG, X. e THODE, A. PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localization of cetaceans. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 4, p. 2547–2547, abr. 2009.
- HARRIS, S. A. e RADFORD, C. A. Marine Soundscape Ecology. p. 1–9, 2014.
- HAWKINS, A. D. e POPPER, A. N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. **ICES Journal of Marine Science**, v. 74, n. 3, p. 635–651, 1 mar. 2017.
- HEANEY, K. D.; AINSLIE, M.; MURRAY, J. J.; HEANEY, A. J.; MIKSIS-OLDS, J. e MARTIN, B. Regional soundscape modeling of the Atlantic Outer Continental Shelf. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 156, n. 1, p. 378–390, 1 jul. 2024.
- HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5–20, 2009.
- IMO MEPC.1/CIRC.833. IMO Guidelines for the reduction of underwater noise. **International Maritime Organization**, v. 44, n. April, 2014.
- IMO MEPC.1/CIRC.906. Revised Guidelines for the reduction of underwater radiated noise from shipping to address adverse impacts on marine life. **International Maritime Organization**, v. MEPC.1/Cir, n. October, p. 1–19, 2023.
- IPQM. **Influência da corrente oceânica no ruído próprio das linhas de fundeio instrumentadas.** Rio de Janeiro-RJ: IPqM, 2021.

- JENSEN, F. B.; KUPERMAN, W. A.; PORTER, M. B. e SCHMIDT, H. **Computational Ocean Acoustics**. New York, NY: Springer New York, 2011. v. 42
- LILLIS, A. e MOONEY, T. A. Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. **Coral Reefs**, v. 37, n. 2, p. 597–607, 2018.
- LIMA, F. M. DE; CORREA, C.; SOARES-FILHO, W.; GALOTTA, C.; LIMA, A. J. M. e PAULA, T. P. DE. **An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil**. International Conference on Underwater Acoustics. **Anais...**2020.
- 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. e STEIN, M. Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos ( PMPAS-BS ): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 95–119, 2022.
- LIMA, J. A. M.; SOARES FILHO, W.; DE PAULA, T. P.; SPENGLER, A.; PEREIRA, D. P. C.; DINIZ, P. M. e GALOTTA, C. Assessment of underwater soundscape in the southwestern Atlantic Ocean using free drifting acoustic profilers and gliders. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 157, n. 5, p. 3742–3755, 1 maio 2025.
- LIMA, J. A. M.; SOARES FILHO, W.; XAVIER, F. C.; PAULA, T. P. DE; SPENGLER, A.; ALMEIDA, F. G. DE; PEREIRA, D. P. C.; REGO, V. S.; GALOTTA, C.; CORRÊA JUNIOR, C. e BAZYL, A. The Brazilian Santos basin underwater soundscape monitoring project (PMPAS-BS). **Frontiers in Marine Science**, v. 11, 2024.
- MACGILLIVRAY, A. e DE JONG, C. A reference spectrum model for estimating source levels of marine shipping based on automated identification system data. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 4, 2021.
- MARTIN, S. B.; MATTHEWS, M.-N. R.; MACDONNELL, J. T. e BRÖKER, K. 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**, v. 142, n. 6, p. 3331–3346, 1 dez. 2017.
- MELO JÚNIOR, U. G. **Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha**. Arraial do Cabo-RJ: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/Universidade Federal Fluminense, 2023.
- MERCHANT, N. D.; BROOKES, K. L.; FAULKNER, R. C.; BICKNELL, A. W. J.; GODLEY, B. J. e WITT, M. J. Underwater noise levels in UK waters. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 10, 10 dez. 2016.
- MERCHANT, N. D.; PUTLAND, R. L.; ANDRÉ, M.; BAUDIN, E.; FELLI, M.; SLABBEKOORN, H. e DEKELING, R. A decade of underwater noise research in support of the European Marine Strategy Framework Directive. **Ocean and Coastal Management**, v. 228, n. July, 2022.
- MOREIRA, J. L. P.; VALDETARO, C.; GIL, J. A. e MACHADO, M. A. P. Bacia de Santos. **Boletim de Geociencias da Petrobras**, p. 531–549, 2007.
- NOAA. **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**. [s.l: s.n.].
- PETROBRAS. **Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos - PMTE-BS - Em elaboração**. Rio de Janeiro-RJ: PETROBRAS, 2023.
- PETROBRAS/IPQM. **6º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2021**. Rio de Janeiro-RJ: IPqM, 2022.
- PETROBRAS/IPQM. **8RT - Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS)**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].
- PETROBRAS/SOCIOAMBIENTAL. **PMC-BS - RA07 - Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos**. Florianópolis-SC: SocioAmbiental, 2023.
- PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; DUMYAHN, S. L.; FARINA, A.; KRAUSE, B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H. e PIERETTI, N. Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.




- RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A. e JEFFS, A. G. Adjacent coral reef habitats produce different underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 19–28, 2014.
- ROSS, D. **Mechanics of underwater noise**. Elmsford, NY: Pergamon Press, 1976.
- SIDOROVSKAIA, N. e LI, K. Marine compressed air source array primary acoustic field characterization from at-sea measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 151, n. 6, p. 3957–3978, 2022.
- VAN GEEL, N. C. F.; MERCHANT, N. D.; CULLOCH, R. M.; EDWARDS, E. W. J.; DAVIES, I. M.; O'HARA MURRAY, R. B. e BROOKES, K. L. Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 148, n. 2, p. 701–712, ago. 2020.
- VELLEMAN, P. F. e HOAGLIN, D. C. **Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis**. Boston: [s.n.].
- WENZ, G. M. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 34, n. 12, p. 1936–1956, 1 dez. 1962.
- WILLIAMS, R.; WRIGHT, A. J.; ASHE, E.; BLIGHT, L. K.; BRUINTJES, 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. e WALE, M. A. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean and Coastal Management**, v. 115, p. 17–24, 2015.
- XAVIER, F. C. **Assinatura bioacústica de costões rochosos: Caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas**. Arraial do Cabo-RJ: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira & Universidade Federal Fluminense, 2021.


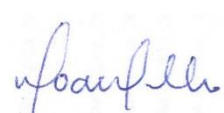


## VIII EQUIPE TÉCNICA

### VIII.1 PETROBRAS

|   |   |
|---|---|
| Profissional  | Thiago Pires de Paula   |
| Unidade de Negócios   | CENPES/PDIDP/ESUP/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)

|  |  |
|--|--|
| <b>Profissional</b>  | <b>Rodrigo Freitas</b>   |
| <b>Unidade de Negócios</b>   | IPqM   |
| <b>Registro no Conselho de Classe</b>  |  |
| <b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b> | 8928386  |
| <b>Responsável pela(s) Seção(ões)</b>  | Todas  |
| <b>Assinatura</b>  |     |
| <b>Profissional</b>  | <b>William Soares Filho</b>  |
| <b>Unidade de Negócios</b>   | IPqM   |
| <b>Registro no Conselho de Classe</b>  | CREA-RJ – 50.138-D   |
| <b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b> | 355491   |
| <b>Responsável pela(s) Seção(ões)</b>  | Todas  |
| <b>Assinatura</b>  |  |



## APÊNDICE A Produção Científica

A Tabela A-1 apresenta uma lista das publicações científicas feitas usando dados e informações do PMPAS-BS. Foram listados 43 trabalhos, sendo 5 artigos publicados em jornais ou revistas, 35 artigos apresentados em simpósios e congressos, uma tese de doutorado defendida e duas teses de doutorado em desenvolvimento.

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

| ANO  | TÍTULO  | AUTORES   | LOCAL   |
|------|---|---|---|
| 2016 | <i>Investigating flow noise on underwater gliders acoustic data</i>   | Santos, F., Oliveira, A., Barmak, R., São Thiago, P., Lima, J.A, Paula, T.P., Almeida, F.G.   | 5th joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016. Havaí, Estados Unidos |
| 2016 | Análise do ruído interno e hidrodinâmico ( <i>flow-noise</i> ) nos registros acústicos coletados por <i>gliders</i> submarinos                                    | Santos, F., Oliveira, A., Barmak, R., São Thiago, P., Lapagesse, R., Kluver, R., Lima, J.A., Paula, T. P., Almeida, F. G.                               | XII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XII ETAS), Anais do XII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2016      |
| 2017 | <i>Evaluation of data measured by acoustic profilers on the Southeast Brazilian continental slope.</i>  | Soares-Filho, W., Barreira, L. M., Lima, J. A. M., Paula, T. P., Almeida, F. G.   | Rio Acoustics, 2017, Rio de Janeiro, RJ.  |
| 2018 | <i>Development and characterization of an autonomous underwater acoustic recording system.</i>  | 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.                                |
| 2018 | Análise Experimental da Influência 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   |
| 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.  |



| ANO  | TÍTULO   | AUTORES   | LOCAL  |
|------|--|---|--|
| 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 Moraes, Carlos Alberto Fortulan   | XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018. |
| 2018 | Fabricação de Cerâmicas Piezoelétricas Semiesféricas por Prensagem Isostática e Usinagem a Verde, para Aplicação em Hidrofones.                                      | Mateus Mota Moraes, 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. |
| 2018 | 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. |
| 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. |
| 2018 | 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                        |
| 2018 | 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                        |
| 2018 | 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                        |
| 2018 | Resultados experimentais da influência acústica do vaso do sistema autônomo de aquisição de sinais submarinos (SAASS) sobre a resposta do hidrofone de monitoramento | Orlando Jesus Ribeiro Afonso, Fernando Luiz de Magalhães  | XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ                        |

| ANO  | TÍTULO   | AUTORES  | LOCAL   |
|------|--|--|---|
| 2018 | Estudo da propagação acústica submarina na região do talude continental utilizando o modelo de modos normais KRAKEN      | Carlos Correa Junior, Fabiano Marcos, Boris Flegr, Sidney Espirito Santo   | XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ                   |
| 2018 | Identificação e priorização das causas de perdas de dados acústicos submarinos   | Gabriel Martins Soares   | XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ                   |
| 2019 | Avaliação Termodinâmica de Elastômeros Poliuretanos  | Lemos, M. F., Cunha, R. H., Santos, J. F., Lima, R. C.   | 15o Congresso Brasileiro de Polímeros. 27 a 31 de outubro de 2019. Bento Gonçalves, RS.                   |
| 2019 | Avaliação de Poliuretanos para Encapsulamento de Transdutores Hidroacústicos   | Lima, R. C, Lemos, M. F., Cunha, R. H.   | 15o Congresso Brasileiro de Polímeros. 27 a 31 de outubro de 2019. Bento Gonçalves, RS.                   |
| 2019 | 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. 4 a 8 de novembro de 2019. Mar del Plata, Argentina. |
| 2019 | <i>Influence of Polarization Times and Temperature on the Piezoelectric Properties of Complex Geometry PZT Ceramics.</i> | 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  |
| 2020 | <i>An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil</i>   | 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. 9 de setembro de 2020. Southampton, Reino Unido.        |
| 2020 | <i>Developing an Autonomous Underwater Acoustic Recorder in Brazil</i>   | Buchman, R. M.; Bernsmüller, E.  | Revista Sea Technology. Edição de OUT2020.  |
| 2020 | 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. 20 a 23 de outubro de 2020. Foz do Iguaçu, PR.            |



| ANO  | TÍTULO   | AUTORES  | LOCAL   |
|------|--|--|---|
| 2021 | <i>An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil</i>   | 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). 1º de fevereiro de 2021. |
| 2021 | Gerenciamento de risco de baleias na Bacia de Santos através de um método acústico passivo                                   | Espirito Santo, S., Soares-Filho, W., Galotta, C., Calado, L., Xavier, F.C.  | II Simpósio de Biotecnologia Marinha, 2ª edição, 14-15 de dezembro de 2021.   |
| 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. 4 de novembro a 14 de dezembro de 2021. Formato virtual                    |
| 2022 | 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. 28 a 31AGO2022. Florianópolis, SC.  |
| 2022 | A utilização de um sistema de modelagem acústica submarina na Bacia de Santos  | 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. 28 a 31AGO2022. Florianópolis, SC.  |
| 2022 | 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. 10 a 15SET2022. Mata de São João, BA.    |
| 2022 | <i>Recent records of blue whales (Balaenoptera musculus) in south and southeastern oceanic waters of Brazil, SW Atlantic</i> | 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. 10 a 15SET2022. Mata de São João, BA.    |
| 2022 | <i>Using an autonomous vehicle (seaglider) reveals the seasonality of cetaceans in the Santos Basin, Brazil</i>              | 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. 10 a 15SET2022. Mata de São João, BA.    |

| ANO  | TÍTULO   | AUTORES   | LOCAL   |
|------|--|---|---|
| 2022 | 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, Cristian Perrini Bodart, Marcela Stein | Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.2, 095-119 (2022)  |
| 2022 | <i>"Playing the beat": Occurrence of Bio-duck calls in Santos Basin (Brazil) reveals a complex acoustic behaviour for the Antarctic minke whale (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  |
| 2022 | Os Desafios das 115 Manutenções dos Observatórios Submarinos do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos                                     | Rafael Mazza Buchmann, Eduardo Bernsmüller, Alexandre Soares Alves, Renato Maia Moreira, Cassiano Osório de Araujo Villares, Rodrigo Emanuel de B. Andrade Barros   | XIV ETAS – Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina – 10 a 11 de novembro de 2022.  |
| 2022 | Ocorrência de baleias na Bacia de Santos entre 2015 e 2021 – através de um método acústico passivo   | Sidney Espirito Santo, William Soares Filho, Catia Galotta, Fabiano Marcos de Lima, Carlos Côrrea Junior  | XIV ETAS – Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina – 10 a 11 de novembro de 2022.  |
| 2023 | Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha   | Ubirajara Gonçalves de Melo Júnior  | Tese de doutorado defendida em 26 de outubro de 2023, no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira / Universidade Federal Fluminense, em Arraial do Cabo. |
| 2023 | <i>Influence of Polarization Time and Temperature on the Piezoelectric Properties of Complex Geometry PZT Ceramics</i>   | Foluke Salgado de Assis Roberto da Costa Lima Jairo Moura de Melo Rubens Lincon Santana Blazutti Marçal Priscila Simões Teixeira Amaral   | XXI B-MRS Meeting, 1-5 October 2023, Maceió, AL   |



| ANO  | TÍTULO   | AUTORES  | LOCAL   |
|------|--|--|---|
| 2024 | <i>An initiative for whale detection in the Santos Basin, Brazil, through passive acoustic methods</i>                           | Sidney Espírito Santo; Fábio Xavier; William Soares-Filho; Alexandre Bazyl; Fabiano Lima e Leandro Calado  | Detection, Classification, Localisation and Density Estimation (DCLDE) Workshop, Rotterdam, 3-7 June 2024.  |
| 2024 | <i>The Brazilian Santos basin underwater soundscape monitoring project (PMPAS-BS)</i>  | Jose Antonio Moreira Lima, William Soares Filho, Fabio C. Xavier, Thiago Pires de Paula, Angela Spengler, Fernando Goncalves de Almeida, Diogo Peregrino Correa Pereira, Valeria Souza Rego, Catia Galotta, Carlos Correa Junior and Alexandre Bazyl | Frontiers in Marine Science, doi: 10.3389/fmars.2024.1416590.   |
| 2025 | <i>Assessment of underwater soundscape in the southwestern Atlantic Ocean using free drifting acoustic profilers and gliders</i> | Lima, J. A. M., Soares Filho, W., de Paula, T. P., Spengler, A., Pereira, D. P. C., Diniz, P. M., Galotta, C.  | The Journal of the Acoustical Society of America, 157(5), 3742–3755.<br><a href="https://doi.org/10.1121/10.0036724">https://doi.org/10.1121/10.0036724</a> |
| 2025 | <i>Enhancing Underwater Acoustic Propagation Models Using Machine Learning</i>   | Yasin Mghazli, Fabiano Lima, Carlos Correa Junior, Sidney Espírito Santo, William Soares-Filho   | Aquatic Noise 2025, Praga, 29 June – 04 July 2025   |
| 2025 | <i>A decade monitoring underwater noise and cetaceans in the South Atlantic Ocean</i>  | Angela Spengler, Diogo Peregrino Correa Pereira, Carlos Abraham de Knegt Miranda, Fábio Soares da Cruz   | Aquatic Noise 2025, Praga, 29 June – 04 July 2025   |
| 2025 | <i>IARA: An underwater acoustic database</i>   | Fábio Oliveira, Júlio Fernandes, William Soares-Filho, João Baptista, Ângela Spengler, Natanael Júnior   | IEEE Access, Vol. 13, 2025, 120293-120306   |
| 2025 | 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   |
| 2025 | Síntese de sinais acústicos com machine learning.  | Fábio Oliveira Baptista da Silva   | Tese de doutorado em desenvolvimento no Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ   |



## 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 informações estatísticas das distribuições são mostradas graficamente, facilitando a comparação (VELLEMAN e 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 verticalmente 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. 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 usa a Análise de Variância (ANOVA) e o teste pos-hoc Tukey, testando a hipótese nula de que as distribuições são iguais. No exemplo dos dados da Figura B.1-1, a análise ANOVA mostrou que os três grupos são significativamente diferentes entre eles ( $F = 25.228$ ,  $p=0,0000$ ).

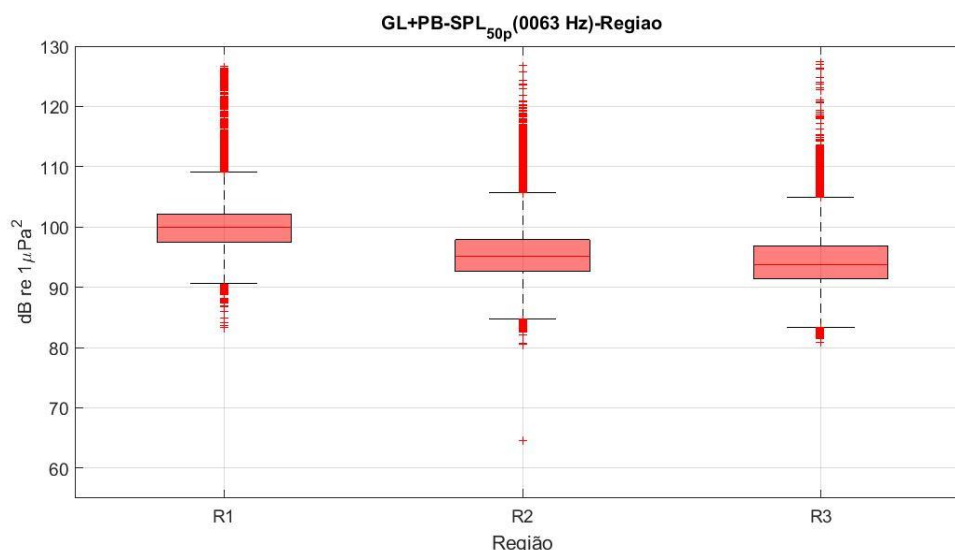


Figura B.1-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

## 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%, o nível RMS e a média 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 todas as diferenças entre as regiões podem ser consideradas estatisticamente significativas.

*Tabela B.2.1.1-1: SPL no 25°, 50° (mediano), 75° e 90° percentis, nível RMS e média 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<br>(ANOVA)         | Região | Nº de<br>Medições | 25%    | 50%    | 75%    | 90%    | RMS    | Média  |
|-------------------------------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 63 Hz<br>(F=36.733,9,<br>p=0) | R1     | 84.202            | 96,86  | 99,13  | 101,68 | 103,91 | 100,90 | 99,36  |
|                               | R2     | 43.813            | 93,00  | 95,61  | 98,28  | 101,11 | 98,58  | 95,82  |
|                               | R3     | 42.675            | 91,02  | 93,07  | 95,57  | 98,78  | 95,94  | 93,48  |
|                               | R4     | 9.772             | 86,38  | 88,88  | 90,94  | 93,76  | 91,95  | 88,66  |
| 125 Hz<br>(F=48.708,1<br>p=0) | R1     | 84.202            | 92,61  | 95,03  | 97,82  | 100,78 | 97,21  | 95,37  |
|                               | R2     | 43.813            | 87,53  | 90,78  | 93,79  | 96,96  | 93,98  | 90,85  |
|                               | R3     | 42.675            | 85,30  | 87,59  | 89,92  | 92,26  | 90,32  | 87,70  |
|                               | R4     | 9.772             | 80,62  | 83,46  | 85,59  | 87,59  | 85,35  | 82,78  |
| 500 Hz<br>(F=11.188,3<br>p=0) | R1     | 84.202            | 84,09  | 87,13  | 90,28  | 93,91  | 91,10  | 87,38  |
|                               | R2     | 43.813            | 80,19  | 83,78  | 86,71  | 89,90  | 88,26  | 83,51  |
|                               | R3     | 42.675            | 79,30  | 83,01  | 86,76  | 89,28  | 86,77  | 82,62  |
|                               | R4     | 9.772             | 75,67  | 81,01  | 84,97  | 87,15  | 84,80  | 79,93  |
| 1000 Hz<br>(F=7.493,2<br>p=0) | R1     | 84.202            | 83,49  | 86,49  | 89,51  | 93,40  | 90,81  | 86,65  |
|                               | R2     | 43.813            | 79,46  | 83,52  | 86,32  | 88,97  | 87,77  | 82,79  |
|                               | R3     | 42.675            | 79,84  | 84,11  | 87,34  | 90,16  | 86,76  | 82,93  |
|                               | R4     | 9.772             | 76,50  | 81,27  | 85,50  | 87,83  | 84,19  | 80,37  |
| 10kHz<br>(F=20.776,6<br>p=0)  | R1     | 84.202            | 108,62 | 110,70 | 113,08 | 115,34 | 112,31 | 110,96 |
|                               | R2     | 43.813            | 106,97 | 108,98 | 111,00 | 112,87 | 110,58 | 109,02 |
|                               | R3     | 42.675            | 104,82 | 107,00 | 109,30 | 112,93 | 109,54 | 107,30 |
|                               | R4     | 9.772             | 101,19 | 103,30 | 105,48 | 107,52 | 105,08 | 103,12 |

### 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 2024, 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 2017, 2019 e 2021; entre 2018 e 2023; entre 2019, 2020 e 2021; entre 2019 e 2022; e entre 2020 e 2022 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2022; entre 2018, 2019 e 2020; entre 2019, 2020 e 2021 para a região R2; entre os anos de 2016 e 2023; entre 2017, 2018 e 2020; entre 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, para a região R3; e entre os anos de 2016, 2017, 2022 e 2024; e entre 2017, 2018, 2020, 2021, 2022 e 2024 para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, F=3.386,1, 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, 2020 e 2022; entre 2017 e 2024; entre 2018, 2019 e 2021; e entre 2019, 2021 e 2023, para a região R1; entre os anos de 2017 e 2022; entre 2018, 2020 e 2021; e entre 2019 e 2020; e entre 2019 e 2023, para a região R2; entre 2016, 2020, 2021 e 2022; e entre 2017, 2018 e 2019, para a região R3; e entre os anos de 2017, 2020 e 2021; entre 2017 e 2024; entre 2019, 2021; e entre 2021, 2023 e 2024, para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA,  $F=5.039,4$ ,  $p=0$ ).

Para a frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016, 2017 e 2020; e entre 2019, 2021, 2023, 2024, para a região R1; entre os anos de 2016 e 2021; entre 2016 e 2022; entre 2017 e 2021; entre 2019 e 2024; e entre 2020 e 2022, para a região R2; 2016 e 2021; entre 2018, 2019 e 2020; e entre 2018, 2020 e 2024, para a região R3; e entre os anos de 2026 e 2018; entre 2017, 2020, 2021 e 2022; entre 2017, 2019, 2021, 2022 e 2023; e entre 2018, 2019 e 2021, para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA,  $F=1.203,7$ ,  $p=0$ ).

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 2016, 2017 e 2022; entre 2016, 2020 e 2022; entre 2018, 2019 e 2021; e entre 2023 e 2024, para a região R1; entre os anos de 2016, 2018 e 2023; entre 2017 e 2019; entre 2020 e 2022; e entre 2021, 2024, para a região R2; entre os anos de 2016 e 2018; entre 2018 e 2020; e entre 2019, 2020 e 2024, para a região R4. As diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes ( $F=842.1$ ,  $p=0$ ).

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 2017, 2018, 2020 e 2021; entre 2019, 2020 e 2021; e entre 2022 e 2023, para a região R1; entre os anos de 2016, 2017, 2018 e 2024; e entre 2019, 2021, para a região R2; entre os anos de 2018, 2022 e 2023; e entre 2019, 2020 e 2021 para a região R3; e entre os anos de 2016, 2022 e 2023; entre 2016 e 2024; entre 2017, 2018 e 2019; e



entre 2018, 2020 e 2021, para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA,  $F=2.500,7$ ,  $p=0$ ).

*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 2024.*

| Região | Ano  | Nº de Medições | 63 Hz  | 125 Hz | 500 Hz | 1,000 Hz | 10Hz-10kHz |
|--------|------|----------------|--------|--------|--------|----------|------------|
| R1     | 2016 | 22.339         | 100,29 | 95,76  | 87,53  | 87,00    | 112,19     |
|        | 2017 | 15.823         | 98,83  | 94,75  | 87,06  | 86,49    | 110,31     |
|        | 2018 | 5.251          | 98,46  | 93,83  | 84,54  | 84,32    | 109,76     |
|        | 2019 | 1.479          | 98,93  | 93,65  | 86,45  | 85,43    | 110,98     |
|        | 2020 | 10.262         | 98,92  | 94,62  | 87,83  | 87,30    | 110,47     |
|        | 2021 | 2.043          | 98,52  | 93,47  | 86,37  | 85,77    | 110,40     |
|        | 2022 | 7.453          | 99,39  | 95,73  | 87,88  | 86,86    | 109,34     |
|        | 2023 | 12.143         | 98,53  | 94,11  | 86,58  | 85,91    | 109,73     |
|        | 2024 | 5.165          | 97,83  | 94,95  | 86,40  | 86,01    | 110,25     |
| R2     | 2016 | 6.857          | 95,09  | 88,83  | 82,52  | 83,25    | 109,05     |
|        | 2017 | 2.731          | 93,99  | 87,52  | 83,89  | 85,37    | 108,71     |
|        | 2018 | 17.442         | 95,28  | 90,51  | 84,37  | 84,20    | 108,81     |
|        | 2019 | 1.192          | 96,24  | 92,36  | 85,92  | 85,42    | 107,69     |
|        | 2020 | 487            | 95,45  | 90,64  | 81,17  | 79,51    | 109,40     |
|        | 2021 | 2.679          | 95,94  | 91,14  | 83,59  | 82,21    | 107,92     |
|        | 2022 | 413            | 94,29  | 87,75  | 83,58  | 82,59    | 106,25     |
|        | 2023 | 2.165          | 98,45  | 95,28  | 85,83  | 83,71    | 109,45     |
|        | 2024 | 2.846          | 98,09  | 94,94  | 84,31  | 82,17    | 108,83     |
| R3     | 2016 | 5.986          | 94,18  | 86,69  | 80,60  | 82,54    | 110,03     |
|        | 2017 | 11.265         | 93,11  | 88,60  | 83,33  | 84,50    | 108,23     |
|        | 2018 | 893            | 93,22  | 89,15  | 82,21  | 81,54    | 106,90     |
|        | 2019 | 1.198          | 92,94  | 88,02  | 83,56  | 83,59    | 105,33     |
|        | 2020 | 868            | 92,60  | 87,17  | 82,49  | 82,15    | 106,23     |
|        | 2021 | 1.043          | 92,81  | 85,95  | 80,00  | 79,29    | 105,85     |
|        | 2022 | 6.182          | 92,80  | 86,66  | 86,16  | 87,01    | 107,32     |
|        | 2023 | 4.303          | 94,53  | 91,94  | 86,40  | 85,73    | 107,34     |
|        | 2024 | 10.134         | 92,63  | 86,93  | 82,26  | 83,23    | 105,03     |
| R4     | 2016 | 527            | 88,08  | 81,22  | 77,44  | 78,10    | 102,43     |
|        | 2017 | 648            | 88,53  | 83,91  | 80,52  | 79,94    | 103,69     |
|        | 2018 | 105            | 89,69  | 88,29  | 79,50  | 78,36    | 104,12     |
|        | 2019 | 635            | 89,73  | 85,28  | 79,93  | 80,40    | 103,40     |
|        | 2020 | 1.970          | 89,35  | 83,56  | 81,78  | 82,03    | 106,02     |
|        | 2021 | 119            | 90,17  | 83,53  | 81,08  | 81,18    | 105,61     |
|        | 2022 | 629            | 87,58  | 79,48  | 80,83  | 80,92    | 102,41     |
|        | 2023 | 2.048          | 87,85  | 83,11  | 78,78  | 79,57    | 103,00     |
|        | 2024 | 3.066          | 89,21  | 84,02  | 82,92  | 83,40    | 102,18     |



### 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 e 950 m para a região R1. As demais diferenças entre as distribuições em cada região são estatisticamente significativas (ANOVA,  $F=6.325,8$ ,  $p=0$ ).

Para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m, 500 m e 950 m para a região R1. As demais distribuições em cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA,  $F=8.351,0$ ,  $p=0$ ).

Para a frequência de 500 Hz, não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 500 m, para a região R1; entre 50 m e 500 m; e entre 200 m e 500 m, para a região R2; entre 50 m e 200 m; e entre 500 m e 950 m, na região R3; e entre 500 m e 950 m, na região R4. Entretanto, as demais distribuições em cada região são diferentes (ANOVA,  $F=1.890,6$ ,  $p=0$ ).

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 e 500 m para a região R2; entre 50 m, 200 m e 950 m; e entre 500 m e 950 m, para a região R3; e entre 500 m e 950 m, na região R4. Todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA,  $F=1.306,5$ ,  $p=0$ ).

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,  $3.673,7$ ,  $p=0$ ).



*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    | 11.711         | 98,82 | 95,24  | 88,08  | 87,69    | 110,40     |
|        | 200m   | 17.673         | 99,37 | 95,41  | 87,10  | 86,36    | 110,61     |
|        | 500m   | 21.980         | 99,10 | 94,97  | 86,85  | 86,34    | 110,62     |
|        | 950m   | 9.763          | 99,24 | 95,03  | 87,17  | 86,39    | 111,00     |
| R2     | 50m    | 8.319          | 94,40 | 89,39  | 84,01  | 83,99    | 108,20     |
|        | 200m   | 10.424         | 95,04 | 90,03  | 83,51  | 83,02    | 108,74     |
|        | 500m   | 11.003         | 95,66 | 90,70  | 83,48  | 83,26    | 109,06     |
|        | 950m   | 4.295          | 96,47 | 92,32  | 84,27  | 83,87    | 109,64     |
| R3     | 50m    | 5.711          | 92,16 | 86,32  | 83,16  | 84,23    | 106,14     |
|        | 200m   | 9.131          | 92,22 | 86,63  | 82,55  | 83,80    | 106,02     |
|        | 500m   | 11.381         | 92,64 | 87,26  | 82,97  | 84,22    | 106,48     |
|        | 950m   | 5.215          | 93,94 | 88,55  | 83,01  | 83,56    | 107,79     |
| R4     | 50m    | 1.608          | 84,61 | 77,86  | 77,67  | 78,29    | 100,51     |
|        | 200m   | 2.129          | 87,42 | 82,17  | 80,13  | 80,70    | 102,47     |
|        | 500m   | 2.369          | 88,58 | 83,54  | 81,59  | 81,96    | 102,77     |
|        | 950m   | 1.254          | 90,36 | 84,93  | 81,71  | 81,87    | 104,98     |

### **B.2.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas**

#### **Comparação entre as LFIs - SPL**

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. Todas as 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 LFI's 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<br>(F=128.030, p=0)   | 125 Hz<br>(F=259.465, p=0) | 500 Hz<br>(F=215.022, p=0) | 1000 Hz<br>(F=131.605, p=0) |
| FA01  | 101,40                      | 97,13                      | 88,43                      | 86,71                       |
| FA02  | 101,87                      | 99,53                      | 95,85                      | 94,35                       |
| FA03  | 97,12                       | 90,32                      | 83,17                      | 83,80                       |
| FA04  | 89,18                       | 84,12                      | 81,04                      | 81,96                       |
| FA05  | 94,31                       | 87,51                      | 81,58                      | 82,57                       |
| FA06  | 94,78                       | 86,71                      | 83,06                      | 83,16                       |
| FA03R | 96,71                       | 90,78                      | 83,65                      | 82,59                       |
| FA04R | 95,93                       | 90,20                      | 83,94                      | 83,34                       |

### Comparação entre as LFI's – SEL24h

Na Tabela B.2.1.2-2 são apresentadas as medianas para o SEL24h calculado com filtros considerando a faixa de audição de baixa frequência (SEL24h-LF) e de média frequência (SEL24h-MF) dos cetáceos. O teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as posições FA03 e FA04; e entre FA05, FA06 e FA03R, para o SEL24h-LF; e entre FA01 e FA03; entre FA03, FA06 e FA04R; entre FA04 e FA06; entre FA04, FA03R e FA04R; e entre FA05, FA03R e FA04R, para o SEL24. As demais distribuições em cada grupo de SEL24h são estatisticamente diferentes.

*Tabela B.2.1.2-2: Medianas para os dados do SEL24h das LFI's com e sem uso de pesos MF e LF.*

| LFI   | SEL24h-MF      |                |
|-------|----------------|----------------|
|       | (F=714,3, p=0) | (F=612,3, p=0) |
| FA01  | 131.24         | 154.05         |
| FA02  | 137.78         | 159.13         |
| FA03  | 131.13         | 150.00         |
| FA04  | 130.20         | 148.40         |
| FA05  | 129.88         | 150.49         |
| FA06  | 130.36         | 151.57         |
| FA03R | 129.91         | 151.09         |
| FA04R | 130.04         | 156.47         |



## B.2.2 Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos

### B.2.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos

SPL dos espectros de 1/3 de oitava medianos para os OSs

Tabela B.2.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências indicadas.

| Freq. | OS1   | OS1A  | OS3R  | OS3R1 | OS3R2 | OSP1  | OSP3  | OSP4 | OS2   | OS2R  | OS3   | OSP2  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 5     | 85,5  | 86,5  | 81,0  | 79,5  | 80,9  | 73,6  | 75,1  | 79,3 | 75,5  | 80,0  | 79,2  | 84,9  |
| 6     | 86,9  | 85,2  | 80,3  | 79,1  | 79,8  | 76,4  | 73,1  | 80,5 | 75,5  | 79,0  | 80,5  | 86,7  |
| 8     | 85,0  | 83,6  | 80,8  | 79,7  | 80,7  | 77,2  | 73,4  | 79,2 | 74,7  | 79,0  | 83,4  | 88,1  |
| 10    | 86,9  | 82,8  | 79,5  | 79,6  | 80,1  | 77,0  | 71,0  | 77,8 | 78,5  | 81,8  | 80,4  | 90,7  |
| 12    | 89,5  | 80,8  | 79,2  | 82,4  | 84,7  | 79,7  | 73,3  | 79,3 | 82,8  | 85,1  | 80,8  | 92,7  |
| 16    | 90,0  | 78,2  | 81,4  | 86,2  | 86,7  | 82,5  | 75,3  | 79,8 | 76,9  | 80,0  | 83,7  | 90,6  |
| 20    | 90,6  | 81,1  | 84,2  | 80,5  | 81,1  | 84,0  | 77,9  | 81,4 | 75,0  | 76,4  | 87,0  | 90,1  |
| 25    | 89,5  | 87,7  | 82,2  | 83,4  | 84,7  | 82,9  | 73,5  | 77,9 | 84,3  | 83,2  | 90,0  | 92,2  |
| 32    | 88,4  | 88,4  | 81,9  | 91,1  | 93,4  | 82,3  | 75,6  | 76,6 | 92,7  | 92,3  | 93,6  | 95,4  |
| 40    | 89,9  | 90,6  | 85,3  | 97,2  | 99,0  | 84,9  | 73,6  | 77,4 | 96,5  | 96,0  | 96,1  | 96,6  |
| 50    | 91,0  | 96,5  | 93,0  | 99,9  | 101,8 | 84,0  | 76,5  | 79,3 | 100,0 | 95,8  | 100,5 | 98,0  |
| 63    | 93,9  | 101,5 | 98,2  | 102,3 | 103,7 | 90,1  | 79,5  | 82,7 | 102,0 | 97,5  | 102,6 | 99,0  |
| 80    | 96,5  | 103,8 | 100,3 | 102,7 | 103,8 | 90,8  | 82,3  | 84,3 | 102,8 | 96,1  | 104,0 | 99,1  |
| 100   | 100,9 | 106,1 | 102,9 | 103,9 | 105,2 | 92,2  | 86,4  | 87,8 | 104,3 | 97,4  | 105,3 | 99,4  |
| 125   | 102,0 | 107,2 | 103,0 | 105,4 | 106,2 | 94,2  | 88,9  | 91,4 | 104,5 | 97,0  | 106,5 | 99,3  |
| 160   | 99,1  | 106,5 | 102,4 | 104,2 | 105,0 | 96,2  | 90,7  | 91,8 | 103,9 | 96,2  | 106,3 | 99,1  |
| 200   | 101,2 | 107,0 | 103,5 | 104,5 | 105,4 | 99,5  | 92,0  | 94,6 | 103,6 | 96,9  | 106,6 | 98,7  |
| 250   | 100,1 | 106,5 | 103,7 | 105,0 | 105,6 | 102,4 | 94,6  | 97,0 | 103,5 | 98,2  | 106,8 | 98,5  |
| 320   | 99,9  | 105,5 | 102,8 | 104,5 | 105,3 | 105,7 | 97,7  | 98,7 | 103,4 | 99,5  | 106,7 | 99,0  |
| 400   | 100,5 | 104,6 | 101,5 | 101,4 | 101,9 | 107,6 | 98,5  | 99,5 | 102,6 | 100,3 | 106,5 | 99,6  |
| 500   | 101,8 | 106,2 | 101,2 | 103,3 | 103,6 | 109,1 | 101,5 | 98,9 | 100,7 | 99,8  | 105,3 | 100,8 |
| 630   | 101,8 | 106,1 | 100,8 | 102,4 | 102,2 | 107,8 | 100,4 | 96,7 | 100,2 | 98,4  | 105,0 | 100,2 |
| 800   | 99,7  | 104,1 | 99,7  | 100,8 | 100,4 | 103,6 | 97,4  | 94,2 | 98,6  | 96,3  | 101,9 | 96,4  |
| 1000  | 98,5  | 101,7 | 98,8  | 99,5  | 99,4  | 98,0  | 93,4  | 92,2 | 96,2  | 92,3  | 99,1  | 91,2  |
| 1250  | 98,5  | 100,8 | 97,5  | 98,3  | 98,0  | 92,9  | 91,5  | 91,0 | 93,8  | 88,2  | 96,8  | 86,9  |
| 1600  | 98,6  | 100,7 | 96,6  | 96,9  | 97,1  | 89,8  | 89,6  | 90,8 | 92,6  | 86,0  | 95,5  | 84,3  |
| 2000  | 101,3 | 101,6 | 95,9  | 95,9  | 96,0  | 88,9  | 88,7  | 93,1 | 91,0  | 83,9  | 94,2  | 81,8  |
| 2500  | 103,5 | 103,3 | 96,5  | 96,1  | 95,5  | 90,1  | 89,0  | 95,5 | 90,2  | 83,0  | 92,5  | 80,7  |
| 3200  | 106,0 | 104,2 | 97,5  | 96,3  | 95,0  | 92,2  | 89,3  | 97,7 | 89,9  | 84,2  | 90,9  | 79,4  |
| 4000  | 108,4 | 104,3 | 97,9  | 96,5  | 94,6  | 90,1  | 89,7  | 97,8 | 89,5  | 85,5  | 89,8  | 78,7  |
| 5000  | 110,7 | 103,8 | 97,7  | 95,7  | 93,7  | 89,6  | 89,1  | 98,2 | 88,9  | 85,6  | 87,8  | 77,4  |
| 6300  | 113,1 | 102,8 | 97,2  | 94,1  | 91,9  | 90,4  | 88,4  | 99,0 | 87,6  | 83,7  | 86,0  | 76,9  |
| 8000  | 113,6 | 102,0 | 96,2  | 92,6  | 90,5  | 90,5  | 88,5  | 98,6 | 86,1  | 83,8  | 84,7  | 76,8  |
| 10000 | 113,3 | 101,3 | 94,6  | 90,9  | 89,1  | 89,8  | 87,8  | 99,0 | 85,1  | 83,0  | 83,4  | 77,2  |
| 12500 | 112,5 | 100,0 | 93,0  | 89,1  | 87,4  | 87,0  | 87,9  | 99,1 | 84,3  | 83,0  | 81,9  | 78,6  |
| 16000 | 111,9 | 98,9  | 91,8  | 87,3  | 86,3  | 87,5  | 89,5  | 97,9 | 84,1  | 83,8  | 82,5  | 79,9  |
| 20000 | 111,4 | 97,8  | 90,3  | 86,1  | 86,3  | 88,6  | 90,7  | 97,1 | 84,5  | 83,2  | 83,0  | 81,2  |



### Comparação entre os OSs – SPL

Na Tabela B.2.2.1-2 são apresentadas as medianas das distribuições para cada OS e em cada banda. O teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as posições OSP1 e OSP2 para a frequência de 500 Hz; e entre OS1 e OS3R, para a frequência de 1.000 Hz; Todas as outras distribuições em cada frequência apresentam diferenças significativas.

*Tabela B.2.2.1-2: 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<br>(F=625.699) | 125 Hz<br>(F=463.978) | 500 Hz<br>(F=104.816) | 1,000 Hz<br>(F=88.174) |
|-------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| OS1   | 655.504        | 94,83                | 102,30                | 101,22                | 98,16                  |
| OS1A  | 1.447.950      | 101,50               | 107,18                | 106,17                | 101,72                 |
| OS3R  | 367.641        | 98,19                | 103,01                | 101,25                | 98,78                  |
| OS3R1 | 237.201        | 102,31               | 105,35                | 103,28                | 99,50                  |
| OS3R2 | 311.594        | 103,74               | 106,20                | 103,61                | 99,40                  |
| OSP1  | 105.763        | 102,02               | 104,55                | 100,69                | 96,20                  |
| OSP3  | 99.300         | 102,56               | 106,51                | 105,29                | 99,09                  |
| OSP4  | 82.343         | 98,99                | 99,32                 | 100,82                | 91,24                  |
| OS2   | 430.392        | 84,20                | 93,90                 | 108,81                | 98,29                  |
| OS2R  | 819.135        | 79,45                | 88,91                 | 101,45                | 93,39                  |
| OS3   | 721.133        | 83,62                | 91,56                 | 98,00                 | 91,98                  |
| OSP2  | 104.225        | 97,52                | 97,02                 | 99,76                 | 92,31                  |

### Comparação entre os OSs – SEL24h

Na Tabela B.2.1.2-2 são apresentadas as medianas para o SEL24h calculado sem filtros (SEL24h) e com filtros considerando a faixa de audição de baixa frequência (SEL24h-LF) e de média frequência (SEL24h-MF) dos cetáceos. O teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as posições OS1 e OS1A; entre OS3R, OSP1 e OSP3; entre OS3R1, OS3R2 e OSP3; entre OS3R1, OS2 e OSP3; entre OS2R e OSP2; entre OS3 e OSP2; entre OSP1 e OSP3; e entre OSP2 e OSP4, para o SEL24h; entre OS2R e OSP1; e entre OSP1 e OSP3, para o SEL24h-MF; entre OS1 e OS2; entre OS1A e OS2; entre OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP3; entre OS3R, OSP1; e entre OS2R, OS3 e OSP1, para o SEL24h-LF. As demais distribuições em cada grupo de SEL24h são estatisticamente diferentes (ANOVA,  $F=5.946,9$ ,  $p=0$ ).

Tabela B.2.2.1-3: Medianas para os dados do SEL24h dos OSs com e sem uso de pesos MF e LF.

| LFI   | SEL24h | SEL24h-MF | SEL24h-LF |
|-------|--------|-----------|-----------|
| OS1   | 171,59 | 161,71    | 170,09    |
| OS1A  | 171,42 | 154,26    | 169,28    |
| OS3R  | 168,22 | 147,37    | 165,84    |
| OS3R1 | 169,42 | 145,79    | 166,83    |
| OS3R2 | 169,45 | 144,18    | 166,64    |
| OS2   | 170,11 | 142,55    | 169,27    |
| OS2R  | 164,62 | 141,56    | 163,93    |
| OS3   | 165,24 | 148,37    | 163,71    |
| OSP1  | 167,65 | 141,62    | 164,54    |
| OSP2  | 164,20 | 135,63    | 161,22    |
| OSP3  | 168,88 | 139,72    | 166,20    |
| OSP4  | 162,82 | 131,69    | 159,01    |





## APÊNDICE C Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados

### C.1 Monitoramento Móvel

#### C.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. Os dados acústicos adquiridos em cada janela são descartados após o processamento, não sendo transmitidos por satélite.

#### C.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, **Conductivity, Temperature, Depth**). Os *gliders* também conduzem equipamento para monitoramento acústico passivo (**PAM**, do inglês **Passive Acoustic Monitoring**), que é programado para adquirir os dados acústicos recebidos por hidrofone e sistema de aquisição. 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 entre 30 e 45 dias, 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 a partir de uma análise do sinal acústico. Ainda nesta etapa, são separados, também, os trechos onde o ruído de fluxo devido ao movimento do *glider* possa ter afetado o sinal gravado, além de outros trechos com ruídos produzidos pelo sistema eletrônico do *glider*.

O processamento dos sinais acústicos dos *gliders* é feito seguindo procedimentos semelhantes aos realizados pelos perfiladores em seu processamento interno dos sinais acústicos coletados, possibilitando o uso conjunto destes dados para a análise da paisagem acústica.



## **C.2 Monitoramento Fixo**

### **C.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, a caracterização da paisagem acústica nestas regiões e 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. 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.

### **C.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, 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 em torno de um minuto de sinal a cada 10 ou 15 minutos. O período 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 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 usados nas fases subsequentes do processamento.

### **C.2.3 Dados Ambientais**

Parâmetros ambientais, como o vento e a altura significativa de onda podem ser utilizados para verificar possíveis correlações entre os dados coletados pelos sensores acústicos e parâmetros abióticos. 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.



### **C.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.

### **C.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. Nas análises realizadas, são consideradas as profundidades nominais de instalação dos gravadores acústicos.

### **C.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.



## C.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.

## C.7 Processamento e Arquivamento dos Dados

### C.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 LFI), 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.

### **C.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 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz) foram escolhidas atendendo às recomendações dos guias internacionais para monitoramento da paisagem acústica submarina (DEKELING *et al.*, 2014c; JENSEN *et al.*, 2011). A seleção das bandas de 63 Hz e 125 Hz foi feita considerando que é nessas bandas onde ocorre a assinatura típica do ruído de embarcações (DEKELING *et al.*, 2014 b, 2014 c). As bandas de 500 Hz 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  $SPL_{1000Hz}$ ).

No processamento das séries temporais registradas pelos *gliders*, LFI e OSs, para cada janela acústica de um minuto de gravação foram calculados 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%.

### **C.7.3 Apresentação dos Dados e Resultados**

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

#### **C.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  $1\mu Pa^2$ , 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.

### C.7.3.2 Resolução Espacial Vertical

As medições foram classificadas em quatro faixas de profundidades: de 0 a 100 m, 150 a 300 m 350 a 650 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, 500 m e 950 m.

### C.7.3.3 Resolução Espectral

A resolução espectral adotada é a de 1/3 de oitava, usando a base 2. As bandas de 1/3 de oitava e suas frequências centrais consideradas são apresentadas na Tabela C.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 C.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 | #Banda | Freq. Central | #Banda | Freq. Central | #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        |



### **C.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 LFI, são feitas gravações pulsadas, com a aquisição de 60 a 85 segundos de sinal a cada 10 a 15 minutos. As LFI 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 LFI, são usados 60 segundos por gravação para a obtenção dos parâmetros acústicos.

### **C.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 C.7.3.5-1 mostra um exemplo desta apresentação. A escala de cores corresponde ao número de medições válidas realizadas em cada quadrado, 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)).



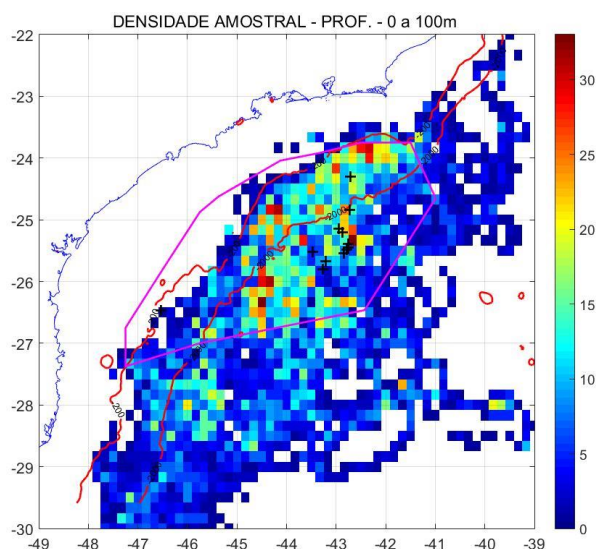


Figura C.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.

### C.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 C.7.3.6-1 mostra um exemplo desta apresentação.

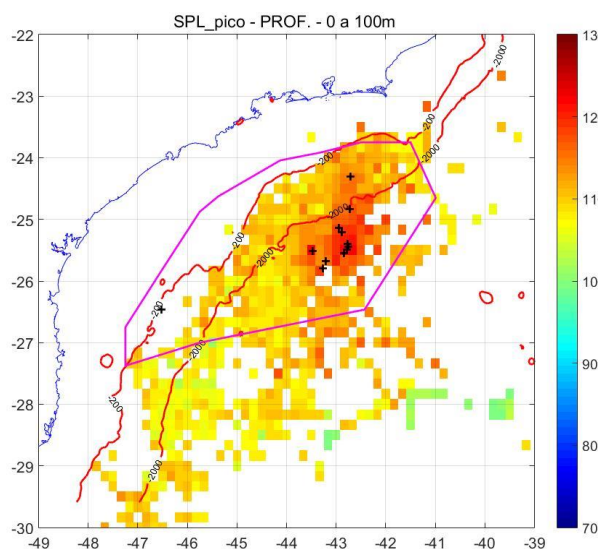


Figura C.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

### C.7.3.7 Nível da Pressão Sonora Temporal

Esta representação 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 C.7.3.7-1 mostra um exemplo desta apresentação.

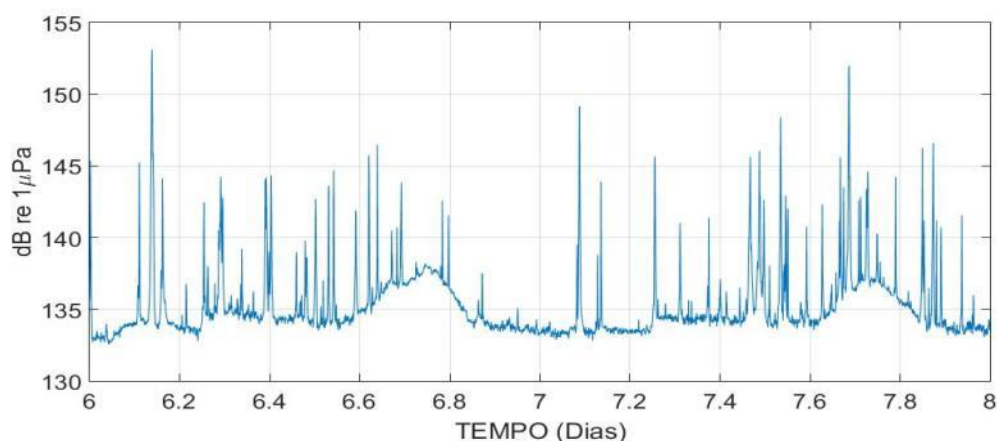


Figura C.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.

### C.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 C.7.3.8-1 mostra um exemplo de espectro de 1/3 de oitava de um sinal gravado num OS.

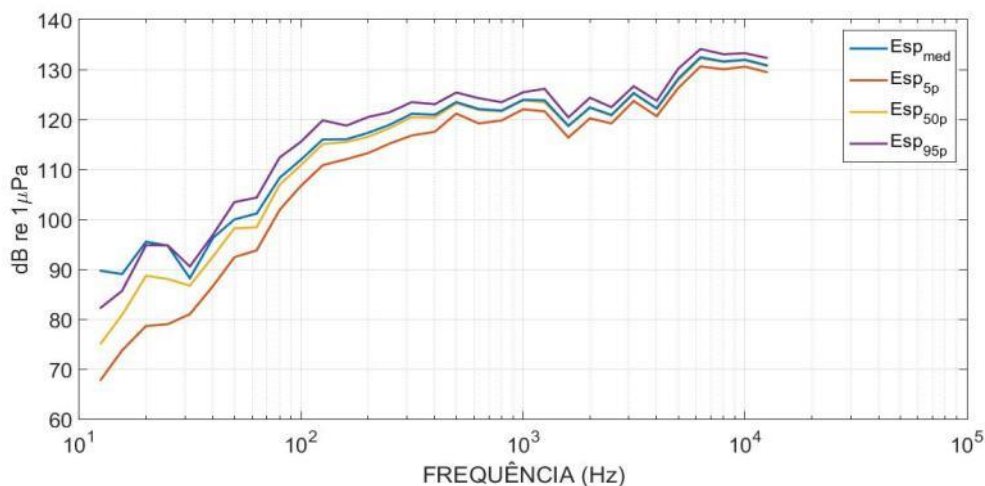
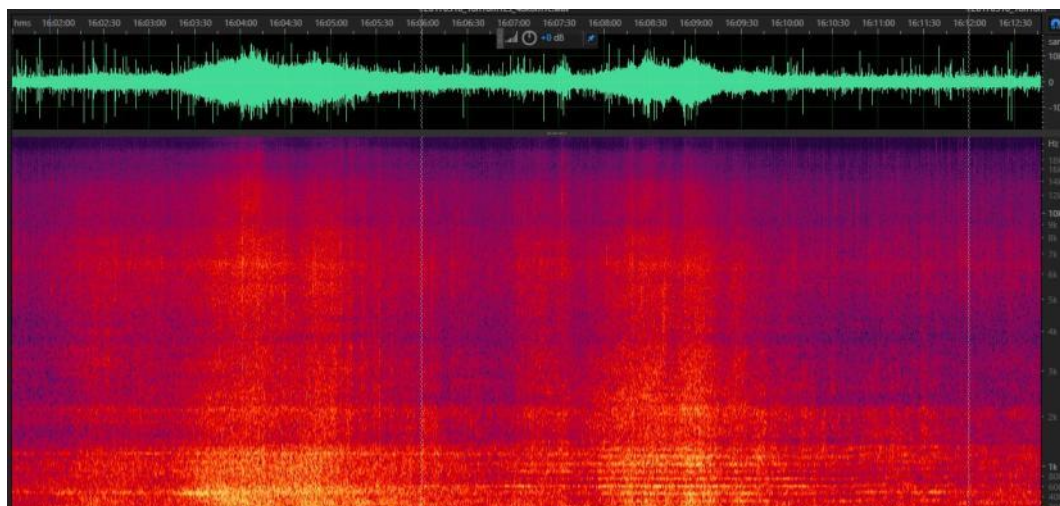


Figura C.7.3.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.

### C.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 C.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 C.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.*

### **C.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):

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

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 C.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 C.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  $1\mu Pa^2.s$  e para  $SPL_{pico}$  em dB re  $1\mu Pa^2$ . A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a Equação C.7.3.10-1. No cálculo do  $SPL_{pico}$  não é feita a ponderação (Fonte: (FINNERAN, 2016)).*

| Parâmetros da<br>Equação (C.7.3.10-1) |     |   |             |             |        | Não impulsivo  |                | Impulsivo      |                             |                |                             |
|---------------------------------------|-----|---|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
|                                       |     |   |             |             |        | Limiar<br>TTS  | Limiar<br>PTS  | Limiar<br>TTS  |                             | Limiar<br>PTS  |                             |
| Grupo                                 | a   | b | f1<br>(kHz) | f2<br>(kHz) | C (dB) | SEL<br>(pond.) | SEL<br>(pond.) | SEL<br>(pond.) | $SPL_{pico}$<br>(não pond.) | SEL<br>(pond.) | $SPL_{pico}$<br>(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 C.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.

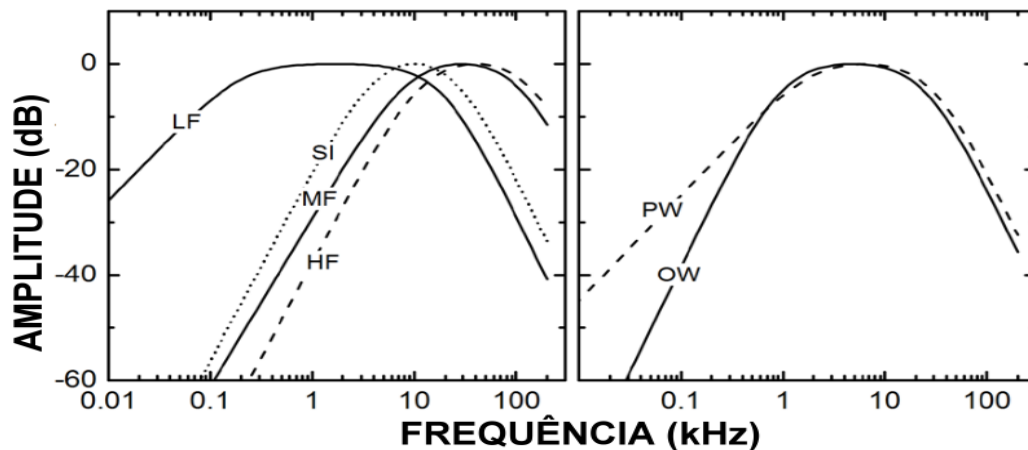


Figura C.7.3.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela C.7.3.10-1 (Fonte: (FINNERAN, 2016)).



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

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

