

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

1º Relatório Técnico - Novembro/2015 a Dezembro/2016

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2017**



E&P

ÍNDICE GERAL

I – APRESENTAÇÃO.....	1/62
II – EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS	3/62
II.1 – PERFILADORES LAGRANGEANOS (PABLO).....	3/62
II.1.1 – Princípios de Operação.....	3/62
II.1.2 – Informações sobre os Ciclos de Lançamento	4/62
II.2 – GLIDERS.....	7/62
II.2.1 – Princípios de Operação.....	7/62
II.2.2 – Informações sobre os Ciclos de Medição	11/62
II.2.3 – Curvas de Sensibilidade – Hidrofone e Pré-Amplificador.....	11/62
II.2.4 – Trajetória dos Gliders nas Campanhas Executadas	12/62
III – DADOS ACÚSTICOS.....	14/62
III.1 – PERFILADORES.....	14/62
III.1.1 – Parâmetros acústicos fornecidos pelo equipamento.....	14/62
III.2 – GLIDERS.....	18/62
III.2.1 – Parâmetros Acústicos Calculados.....	18/62
IV – QUALIFICAÇÃO DOS DADOS.....	20/62
IV.1 – METODOLOGIA	20/62
IV.1.1 – Avaliação dos Dados dos Perfiladores	20/62
IV.1.2 – Avaliação dos Dados do Glider	23/62
V – MAPAS COM DADOS ACÚSTICOS MEDIDOS.....	29/62
V.1 – PERFILADORES	30/62
V.1.1 – Mapas com Dados de Todos os Ciclos de Medição	30/62
V.2 – GLIDERS	33/62




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

V.2.1 – Mapas com Dados de Todas as Campanhas de Medição	33/62
V.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MAPAS ACÚSTICOS	36/62
VI – ANÁLISE DOS DADOS ACÚSTICOS	38/62
VI.1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA E DISCUSSÃO	38/62
VI.1.1 – Considerações Iniciais	38/62
VI.1.2 – Considerações sobre Ruídos de Origens Antropogênica e Ambiental	42/62
VI.1.3 – Análise da Influência das Variáveis Ambientais e Antropogências no Ruído Medido	46/62
VI.1.4 – Análise de Sazonalidade do Ruído Medido.....	49/62
VI.1.5 – Análise do Ruído em Distintas Profundidades de Interesse.....	51/62
VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS	55/62
VIII – BIBLIOGRAFIA.....	58/62
IX – EQUIPE TÉCNICA	60/62
IX.1 – Equipe do Instituto de Pesquisas da Marinha	60/62
IX.2 – Equipe da Petrobras	61/62




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

FIGURAS

Figura II.1.1-1 – Representação de um ciclo de mergulho do PABLO (Fonte: ProOceano, 2017).....	4/62
Figura II.1.2-1 – Pontos planejados de lançamento dos PABLO. Para cada um dos cinco ciclos, foi escolhida uma cor distinta. O tamanho dos pontos de cada campanha foi diferenciado de forma a permitir a visualização de PABLO lançados no mesmo ponto. A área sombreada corresponde à AGBS e as cruzes representam as plataformas (Fonte: ProOceano, 2017).....	5/62
Figura II.1.2-2 – Linha de tempo dos 48 perfiladores operacionais dos cinco primeiros ciclos de lançamento.....	6/62
Figura II.1.2-3 – Trajetórias dos 48 perfiladores lançados desde o início do projeto até o dia 31/12/2016.....	7/62
Figura II.2.1-1 – Representação esquemática dos mecanismos de controle de fluabilidade, arfagem e rolagem do Seaglider. (Fonte: Retirado de Rochinha, 2015 apud ProOceano, 2017).....	8/62
Figura II.2.1-2 – Equipe de campo realizando o lançamento do glider SG618 (à esquerda) e glider na superfície prestes a realizar o primeiro mergulho (à direita). (Fonte: ProOceano, 2017).....	9/62
Figura II.2.1-3 – Diagrama dos subsistemas que compõem o PAM, desde a recepção de um sinal acústico até o seu armazenamento (Fonte: ProOceano, 2017).....	10/62
Figura II.2.1-4 – Diagrama esquemático das conexões envolvidas no sistema PAM do glider. Dentro da caixa estanque encontram-se o pré-amplificador, o conversor digital de sinais e o cartão de armazenamento (Fonte: ProOceano, 2017).....	10/62
Figura II.2.2-1 – Diagrama esquemático apresentando as etapas de um mergulho do glider (Fonte: ProOceano, 2017).....	11/62
Figura II.2.3-1 – Curvas de resposta do PAM do Glider SG612. A parte azul do gráfico corresponde aos dados aferidos pelo fabricante e a porção cinza da curva são dados de referência do fabricante. (Fonte: ProOceano, 2017).....	12/62
Figura II.2.4-1 – Trajetória de cada campanha de glider desde o início do projeto. A área sombreada corresponde à AGBS. As cruzes pretas representam algumas plataformas de produção da região (FPSOs e Jaquetas) (Fonte: ProOceano, 2017).	13/62
Figura III.1.1-1 – Divisão do áudio obtido pelos PABLOS para cálculo dos parâmetros acústicos (Fonte: ProOceano, 2017).....	14/62
Figura III.1.1-2 – Curva de sensibilidade do hidrofone do perfilador PABLO P010101 (Fonte: ProOceano, 2017).....	15/62
Figura III.1.1-3 – Parâmetros SPL para cada janela acústica medida pelo perfilador PABLO_P010401.....	17/62
Figura III.1.1-4 – Ampliação de um trecho da Figura III.1.1-3.....	18/62



Figura IV.1.1-1 – Diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p}	20/62
Figura IV.1.1-2 – Histogramas para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p}	21/62
Figura IV.1.1-3 – Histogramas das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalização pelo desvio absoluto mediano.	22/62
Figura IV.1.1-4 – Distribuição acumulada das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalizados pelo desvio absoluto mediano.....	23/62
Figura IV.1.2-1 – Espectrograma dos ruídos próprios produzidos pelo glider. Os pulsos retangulares menores são relativos aos motores de atitude do glider e o pulso no final, de maior amplitude e duração, é relativo à bomba hidráulica. (Fonte: ProOceano, 2017).	24/62
Figura IV.1.2-2 – Detecção de ruído próprio em um mergulho do glider. O nível "0" corresponde a um trecho sem ruído próprio, o nível "1" ao ruído do motor e o nível "2" ao ruído da bomba hidráulica.....	24/62
Figura IV.1.2-3 – Distribuição acumulada dos tempos de gravação contínua, sem interferência de ruído próprio.	25/62
Figura IV.1.2-4 – Histogramas para as diferenças, em dB, entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p}	26/62
Figura IV.1.2-5 – Histogramas das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalização pelo desvio absoluto mediano.	27/62
Figura IV.1.2-6 – Distribuição acumulada das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalizados pelo desvio absoluto mediano.....	28/62
Figura V.1.1-1 – Densidade amostral nas faixas de profundidades entre 0 e 100m (quadro esquerdo), 150 e 300m (quadro central), 900 e 1000m (quadro direito).....	31/62
Figura V.1.1-2 – SPL_{pico} e $SPL_{RMS} P_{50}$ nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).....	31/62
Figura V.1.1-3 – SPL_{RMS} para as frequências de 63Hz e 125 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).....	32/62
Figura V.1.1-4 – SPL_{RMS} para as frequências de 500 Hz e 1000 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).....	33/62
Figura V.2.1-1 – Densidade amostral nas profundidades entre 0 e 100m (quadro esquerdo), 150 e 300m (quadro central), 900 e 1000m (quadro direito).	33/62
Figura V.2.1-2 – SPL pico e $SPL_{RMS} p_{50}$ nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).....	34/62




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

Figura V.2.1-3 – SPLRMS para as frequências de 63Hz e 125 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros esquerdos), 900 e 1000m (quadros direitos).....	35/62
Figura V.2.1-4 – SPLRMS para as frequências de 500 Hz e 1000 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais)), 900 e 1000m (quadros direitos).....	36/62
Figura VI.1.1-1 – Posições de embarcações e unidades marítimas a serviço da Petrobras (janela superior) e de terceiros (janela inferior) obtidas por AIS para o período de dezembro de 2015 a dezembro de 2016. As posições estão representadas pelos pontos amarelos e foram plotados todos os registros presentes em cada hora cheia mais ou menos uma margem de 10 minutos.....	39/62
Figura VI.1.1-2 – Pontos com medições dos perfiladores PABLO para o período de dezembro de 2015 a dezembro de 2016.....	40/62
Figura VI.1.1-3 – Estimativa do nível de intensidade sonora recebida, para diferentes frequências, em função da distância da fonte para um ruído com intensidade sonora equivalente à sensibilidade do PABLO se propagando no oceano.....	41/62
Figura VI.1.2-1 – Níveis espectrais estimados de ruído causados por fontes antropogênicas e ambientais. As linhas vermelhas indicam as frequências de 63 Hz e 125 Hz, usadas como referências para ruído antropogênico. (Fonte: Jensen et al, 2011).....	43/62
Figura VI.1.2-2 – Curvas de percentual de 50% ocorrência (mediana) de ventos na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Climate Forecast System (CFSv2).....	44/62
Figura VI.1.2-3 – Curvas de percentual de 90% ocorrência de ventos na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Climate Forecast System (CFSv2).....	45/62
Figura VI.1.2-4 – Curvas de percentual de 50% ocorrência (mediana) de ondas na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Wave Watch III (WW3).....	45/62
Figura VI.1.2-5 – Curvas de percentual de 90% ocorrência de ondas na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Wave Watch III (WW3).....	46/62
Figura VI.1.3-1 – Gráficos de dispersão dos valores de SPL em diferentes bandas do espectro de 1/3 de oitava e as variáveis número de embarcações em um raio de 10 km (NEMB), altura significativa de onda (HS) e vento (WIND).....	47/62
Figura VI.1.5-1 – Box-plots dos valores de SPL para cada banda de interesse do espectro de 1/3 de oitava por profundidade analisada.....	52/62



TABELAS

Tabela IV.1.1-1 – Valores da média, mediana, desvio padrão e desvio absoluto mediano para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL _{esp_50p}	21/62
Tabela IV.1.2-1 – Valores da média, mediana, desvio padrão e desvio absoluto mediano para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL _{esp_50p}	27/62
Tabela VI.1.3-1 – Coeficientes de correlação de Spearman considerando todo o conjunto de dados amostrais (todas as regiões). Valores significativos ao nível de significância de 0,05 (5%) são marcados em vermelho.....	48/62
Tabela VI.1.4-1 – Médias amostrais dos valores de SPL por estação do ano para os dados da região de interesse em 50 m. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.....	50/62
Tabela VI.1.4-2 – Medianas amostrais dos valores de SPL por estação do ano para os dados da região de interesse em 50 m. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.....	50/62
Tabela VI.1.4-3 – Resultados da análise de variância pelo teste Kruskal-Wallis com nível de significância de 0,05 (5%) para identificação de diferenças sazonais. Os valores de p foram truncados a partir da quarta casa decimal.....	51/62
Tabela VI.1.5-1 – Médias amostrais dos valores de SPL por profundidade de interesse. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.....	53/62
Tabela VI.1.5-2 – Medianas amostrais dos valores de SPL por profundidade de interesse. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela..	53/62
Tabela VI.1.5-3 – Resultados do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para análise de grupos homogêneos entre os valores de SPL (dB ref 1µPa) nas três faixas de profundidades por frequência de interesse ao nível de significância de 0,05.....	54/62




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

I – APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta o primeiro Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos (PMPAS-BS), compreendendo o período de novembro de 2015 a dezembro de 2016. O PMPAS-BS foi elaborado e proposto para atender às solicitações do Termo de Referência 002/2013, emitido pela CGPEG/DILIC/IBAMA, no âmbito do processo de licenciamento ambiental dos Projetos de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2.

O projeto tem como objetivo a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos e nas rotas de navegação preferenciais que servem a região. O propósito 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. Como uma de suas possíveis aplicações, estas medições poderão também subsidiar estudos e pesquisas de impactos sobre a biota marinha.

O escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS compreende:

- Monitoramento Móvel: realizado através de equipamento de navegação autônoma do tipo *glider* e perfiladores acústicos de livre deriva;
- Monitoramento Fixo Costeiro: realizado através de observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos;
- Monitoramento Fixo Oceânico: realizado com a instalação de linhas de fundeio instrumentadas próximas a unidades de produção e rotas de navegação.

Este relatório descreve os resultados obtidos com as medições acústicas usando o monitoramento móvel com *gliders* e perfiladores. No período de abrangência deste relatório, foram realizados cinco ciclos de lançamento dos perfiladores e *gliders* e nove campanhas de recuperação e relançamento deste.

Dados acústicos medidos no oceano por sensores passivos estão sujeitos a diversas interferências e fontes de erros relacionadas com os equipamentos de medição, tais como variações na tensão de alimentação elétrica do sistema de aquisição gerando perturbações nos sinais medidos, ruídos causados pelo próprio

equipamento (como exemplo, o ruído gerado pelo acionamento do motor interno dos *gliders*), entre outros, gerando valores espúrios (denominados “outliers”). O principal foco deste primeiro relatório foi estabelecer metodologias de tratamento e processamento de dados de modo a garantir que medições espúrias (contendo eventuais desvios) dos perfiladores e *gliders* fossem devidamente identificadas para não contaminar as amostras com medições sem problemas. Este processo é denominado genericamente de qualificação dos dados e absorveu um significativo trabalho da equipe de processamento de dados acústicos do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).

O projeto PMPAS-BS tem uma magnitude de medições acústicas oceânicas que é pioneiro na América Latina, e com muito poucos similares no mundo, pois são usados diversos equipamentos com distintos métodos e sensores de aquisição acústica. O maior desafio desta etapa inicial do projeto é garantir a qualidade dos dados medidos pelos diversos equipamentos, para que em uma próxima etapa possam ser realizados estudos abrangentes com a integração dos resultados dos dados medidos pelos distintos componentes (Monitoramento Móvel, Fixo Oceânico e Fixo Costeiro). Este foi o motivo pelo qual se priorizou neste relatório a qualificação adequada dos dados medidos pelos perfiladores e *gliders*, como forma de garantir a confiabilidade e comparabilidade com os futuros resultados do projeto, quando todos componentes estiverem ativos coletando dados.

Os resultados aqui apresentados seguem a metodologia de validação e processamento desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), descrita nos próximos itens, que foi criada especialmente para estes conjuntos de dados provenientes do Monitoramento Móvel (Soares Filho et al, 2017). Estes resultados devem ser considerados como um primeiro passo consistente até que se tenham dados e conhecimentos suficientes para permitir uma validação adequada dos procedimentos desenvolvidos e posterior análise integrada de todos resultados acústicos auferidos no escopo do projeto.

II – EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

II.1 – PERFILADORES LAGRANGEANOS (PABLO)

II.1.1 – Princípios de Operação

O sistema PABLO (do inglês, *Profiling Acoustic Buoyant Lagrangian Observing system float*) é um perfilador oceânico concebido para adquirir dados acústicos em profundidades de até 1000 m. Ao longo de sua operação, é possível alterar diversos parâmetros dentre os quais a profundidade de estacionamento (do inglês, *parking depth*, referente à profundidade de deriva do PABLO), as profundidades nas quais ocorrerá o levantamento acústico (janelas acústicas) e o número de ciclos realizados por dia.

Sua operação consiste em ciclos de descida, deriva submersa na profundidade de estacionamento, subida realizando janelas acústicas e transmissão de dados. Durante um ciclo de mergulho, até cinco profundidades são amostradas, como representado na Figura II.1.1-1.

Em cada profundidade de aquisição de dados, o PABLO coleta, além dos dados acústicos, os valores de pressão e de temperatura. Ao fim do mergulho, o equipamento chega à superfície e sua localização é determinada através de um GPS. Por último, os dados armazenados são transmitidos pelo sistema de satélites Iridium.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

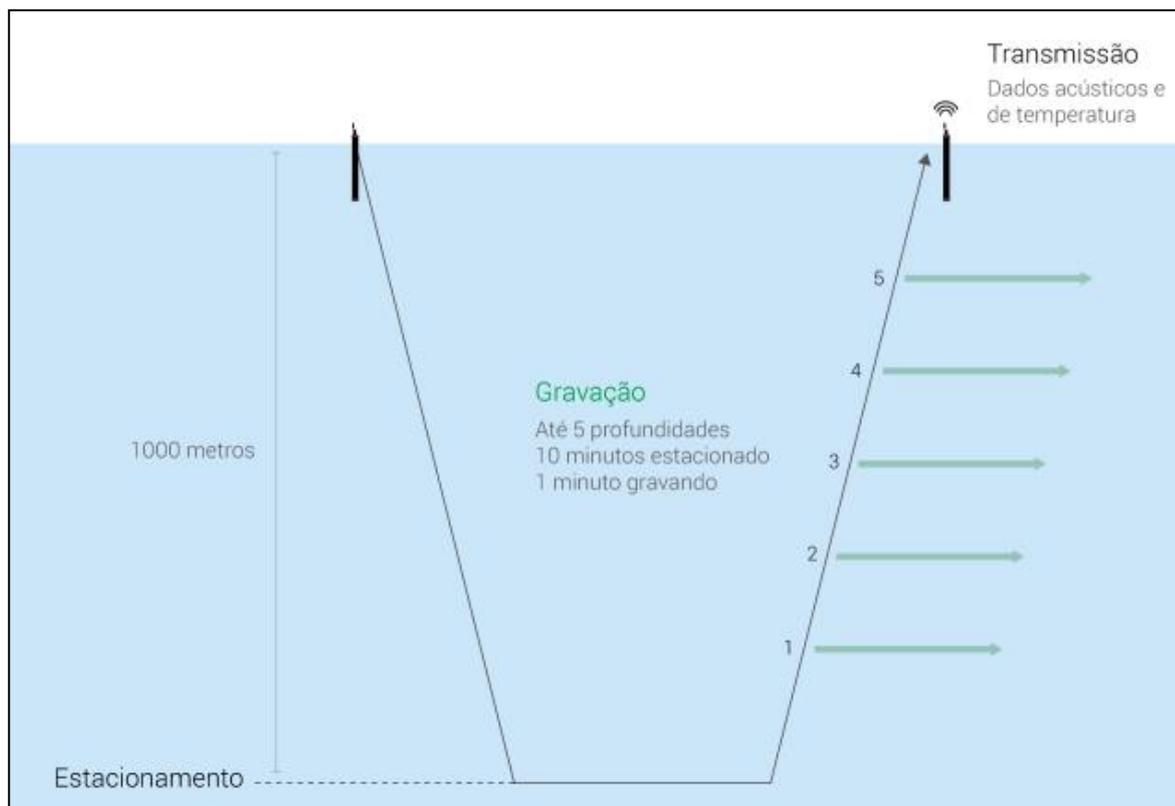


Figura II.1.1-1 – Representação de um ciclo de mergulho do PABLO (Fonte: ProOceano, 2017).

II.1.2 – Informações sobre os Ciclos de Lançamento

No período de abrangência desse relatório, ocorreram cinco ciclos de lançamento de perfiladores. O período de lançamento dos PABLO está compreendido entre as datas de 01/11/2015 e 22/10/2016. Os pontos planejados de lançamento de cada ciclo são mostrados na Figura II.1.2-1.

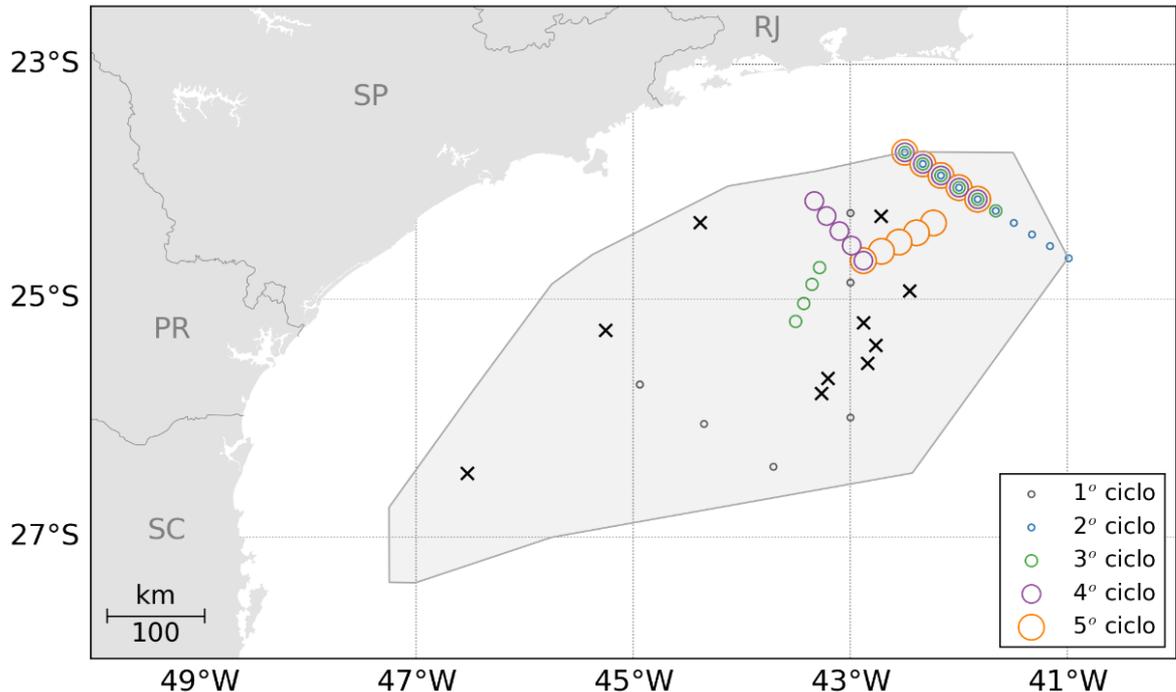


Figura II.1.2-1 – Pontos planejados de lançamento dos PABLO. Para cada um dos cinco ciclos, foi escolhida uma cor distinta. O tamanho dos pontos de cada campanha foi diferenciado de forma a permitir a visualização de PABLO lançados no mesmo ponto. A área sombreada corresponde à AGBS e as cruzes representam as plataformas (Fonte: ProOceano, 2017).

Em cada ciclo, foram lançados 10 perfiladores, num total de 50. Entretanto, dois perfiladores do 3º ciclo apresentaram problemas logo após o lançamento e não retornaram do primeiro mergulho. O tempo de vida destes perfiladores variou significativamente. A Figura II.1.2-2 apresenta a linha do tempo dos 48 perfiladores dos cinco primeiros ciclos. Estas linhas do tempo foram construídas ligando-se os tempos correspondentes às primeiras e últimas medições recebidas de cada perfilador. A linha tracejada azul indica até onde estão os dados utilizados neste relatório, correspondendo ao final de 2016.

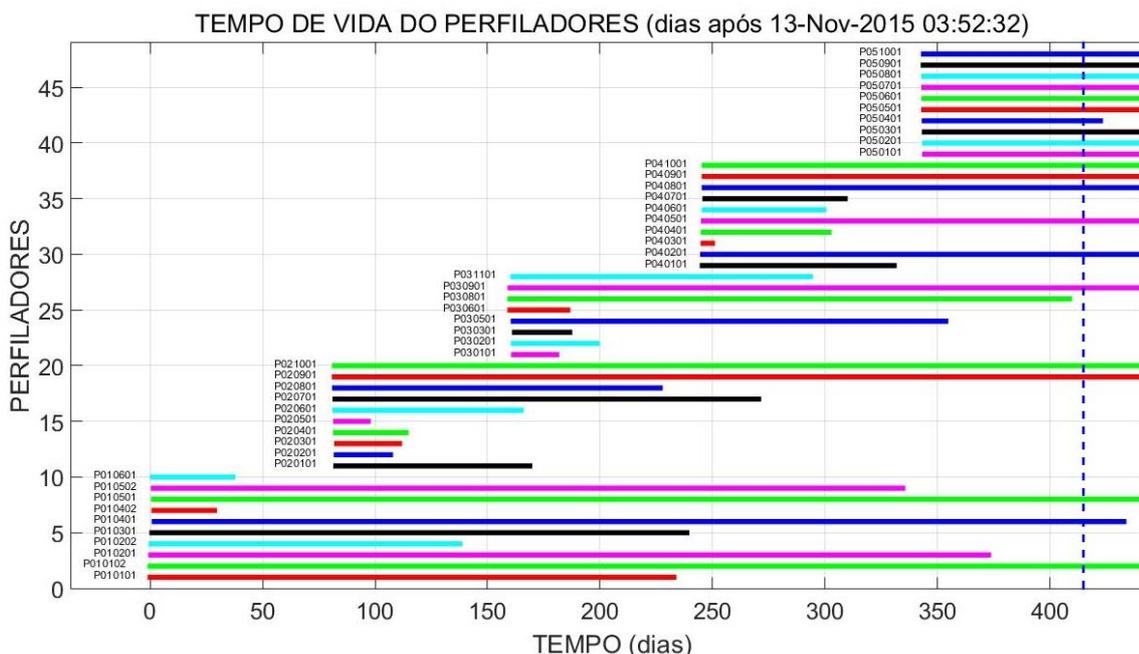


Figura II.1.2-2 – Linha de tempo dos 48 perfiladores operacionais dos cinco primeiros ciclos de lançamento.

As trajetórias dos 48 perfiladores acústicos com dados disponíveis para o período de análise deste relatório são apresentadas na Figura II.1.2-3. De uma maneira geral, os perfiladores lançados nos pontos definidos na Figura II.1.2-1 derivaram com o passar do tempo para a região sul do país. Dependendo do ponto de lançamento e da profundidade de estacionamento configurada no equipamento, pode ser possível manter o equipamento dentro da área de medição desejada por mais tempo.

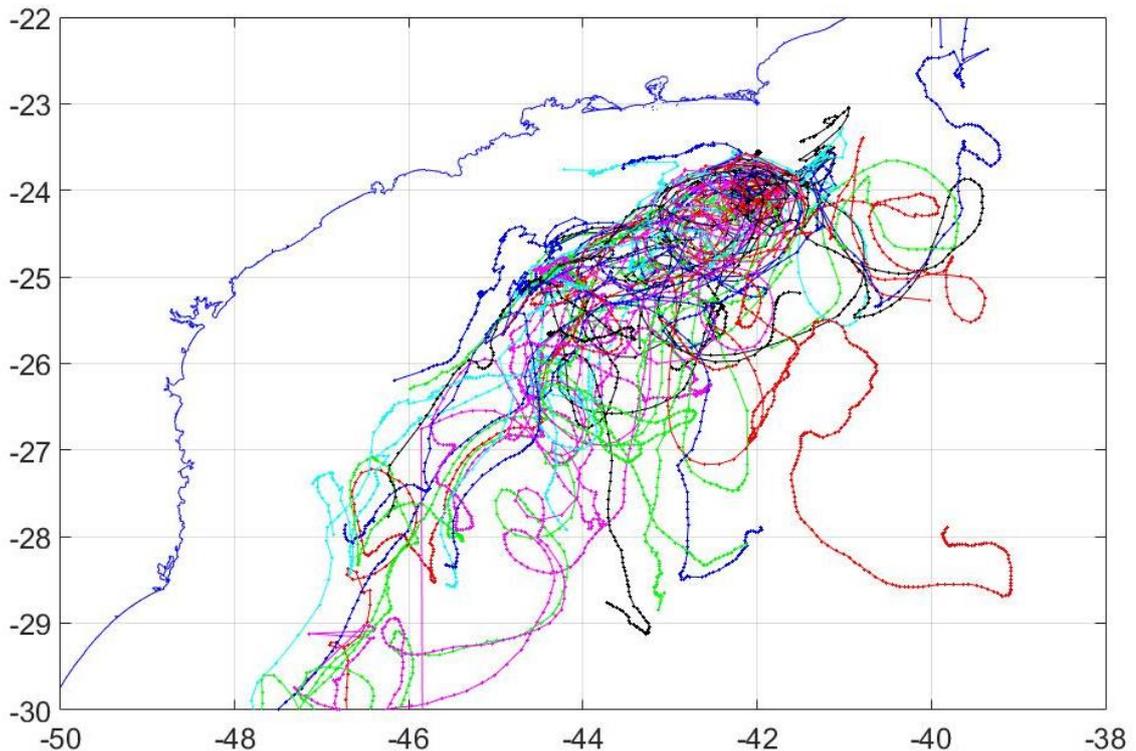


Figura II.1.2-3 – Trajetórias dos 48 perfiladores lançados desde o início do projeto até o dia 31/12/2016.

II.2 – GLIDERS

II.2.1 – Princípios de Operação

Gliders são veículos submersíveis autônomos (AUV – *Autonomous Underwater Vehicles*) controlados remotamente por satélite, sendo capazes de mergulhar a profundidades de até 1000 metros e seguir rotas programadas pelo usuário, com coleta contínua de dados oceanográficos. A navegação do *glider* é feita usando sua capacidade de converter seu movimento vertical em deslocamento horizontal. O equipamento maneja sua trajetória na água alterando sua flutuabilidade, sua hidrodinâmica e controlando sua rolagem (*roll*) e arfagem (*pitch*), como mostrado na Figura II.2.1-1.

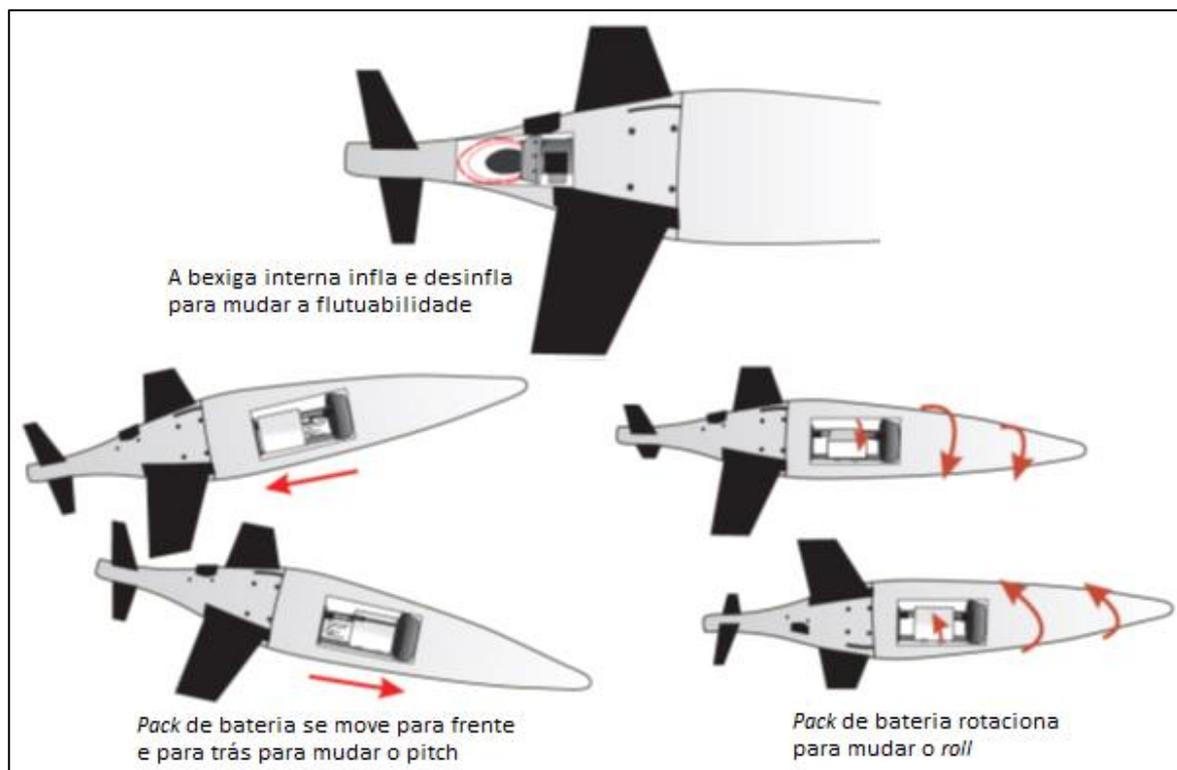


Figura II.2.1-1 – Representação esquemática dos mecanismos de controle de flutuabilidade, arfagem e rolagem do Seaglider. (Fonte: Retirado de Rochinha, 2015 apud ProOceano, 2017).

Ao final de cada mergulho, o *glider* retorna à superfície e se comunica com sua base em terra via satélite, transmitindo os dados oceanográficos coletados e recebendo novos comandos de operação. Os registros acústicos são armazenados em cartões de memória dentro do *glider*. Na Figura II.2.1-2, é mostrado o lançamento de um *glider*.

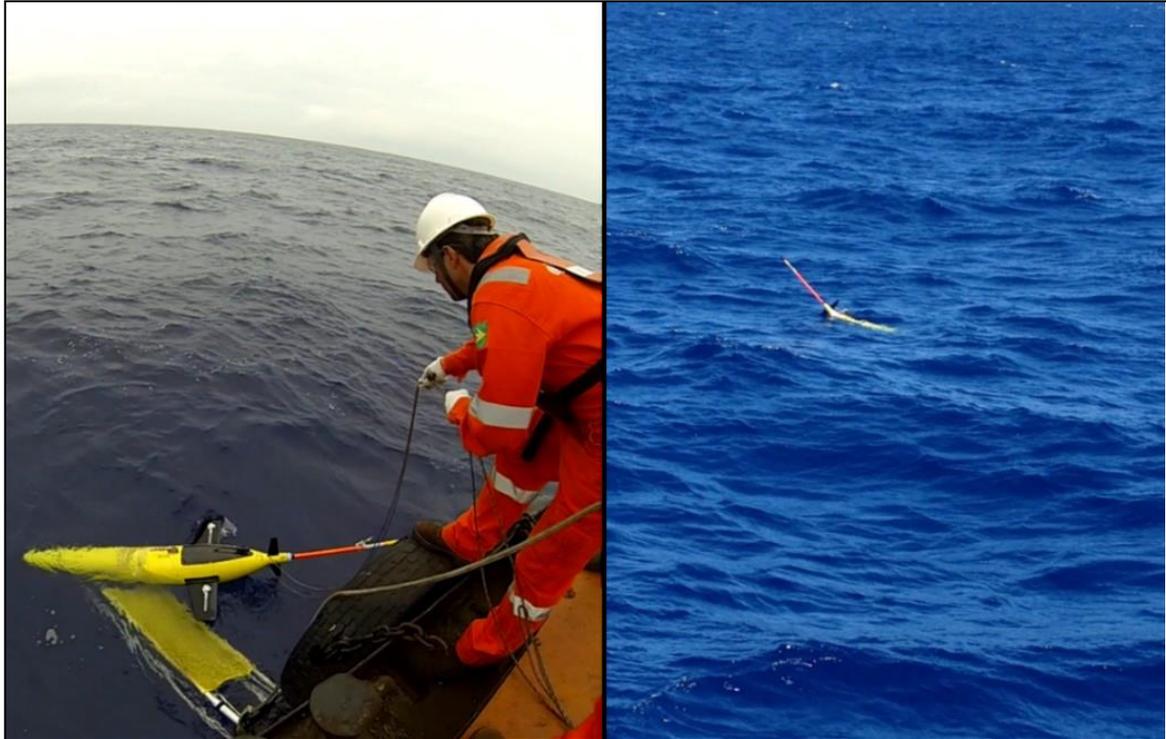


Figura II.2.1-2 – Equipe de campo realizando o lançamento do glider SG618 (à esquerda) e glider na superfície prestes a realizar o primeiro mergulho (à direita). (Fonte: ProOceano, 2017).

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2016, foram utilizadas duas unidades do modelo Seaglider, fabricado pela empresa Kongsberg, identificadas como SG612 e SG618. Cada unidade é equipada com um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*), e um pacote de monitoramento acústico passivo (PAM – *Passive Acoustic Monitoring*). A Figura II.2.1-3 mostra o percurso do sinal acústico captado pelo hidrofone. Foi utilizado o hidrofone modelo HTI-92-WB, fabricado pela empresa HTI. O sinal captado pelo hidrofone é amplificado pelo pré-amplificador modelo HM1 da empresa EOS. A seguir, o sinal é digitalizado pelo conversor analógico-digital (ADC – *Analog-to-Digital Converter*). O sinal digitalizado é armazenado em um cartão de memória do tipo *Compact Flash* (CF) através de um processador digital de sinais (DSP – *Digital Signal Processor*) modelo Blackfin, fabricado pela empresa Analog Devices.

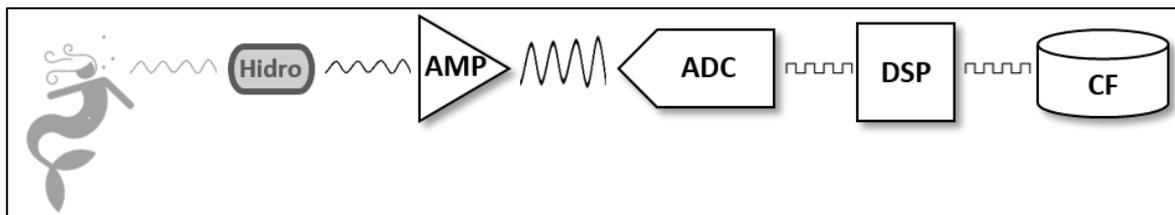


Figura II.2.1-3 – Diagrama dos subsistemas que compõem o PAM, desde a recepção de um sinal acústico até o seu armazenamento (Fonte: ProOceano, 2017).

O circuito do ADC utilizado no PAM está montado no módulo WISPR, também fabricado pela empresa EOS. O conversor pode ser configurado para resoluções de 24 ou 16 bits, com uma banda passante de 5Hz a 62,5kHz. A taxa de amostragem do conversor foi fixada em 125 kHz. Todos os componentes do PAM, com exceção do hidrofone, são acondicionados em uma caixa estanque, com portas de comunicação com o *glider* e conectores para alimentação e com um terminal externo para conexão de um computador, como mostrado na Figura II.2.1-4.

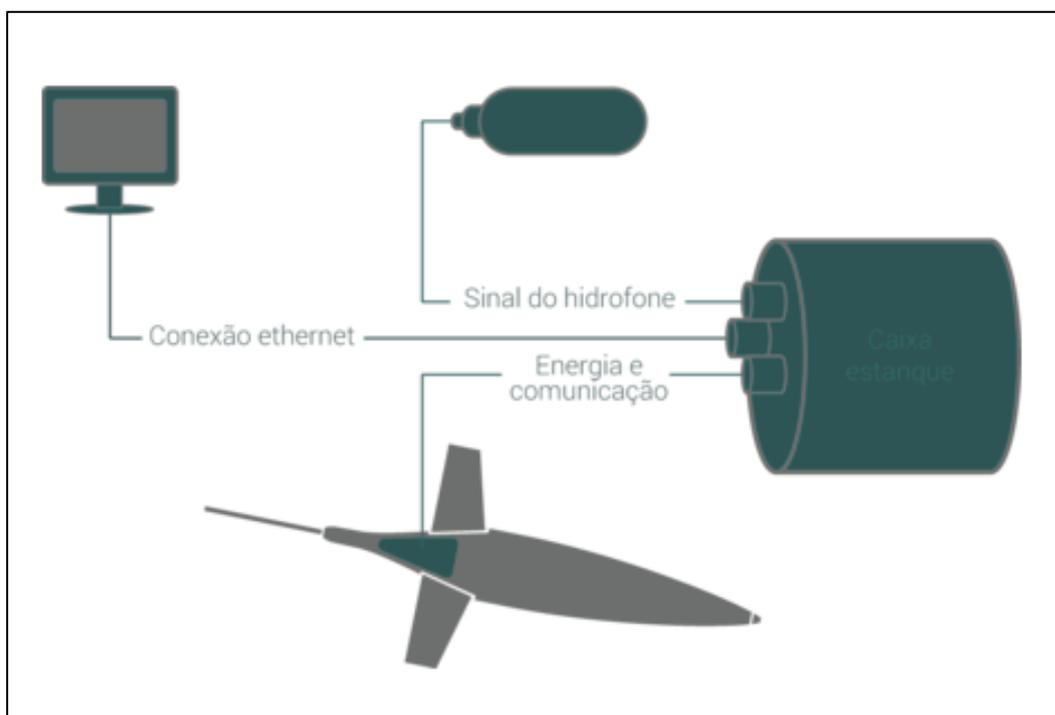


Figura II.2.1-4 – Diagrama esquemático das conexões envolvidas no sistema PAM do glider. Dentro da caixa estanque encontram-se o pré-amplificador, o conversor digital de sinais e o cartão de armazenamento (Fonte: ProOceano, 2017).

II.2.2 – Informações sobre os Ciclos de Medição

A Figura II.2.2-1 apresenta, de forma esquemática, um mergulho do *glider* da forma como ele foi configurado para atuação no projeto PMPAS-BS. Nos primeiros instantes do mergulho, o sistema PAM grava uma pequena amostra de sinal, com duração de poucos milissegundos (*snippet*). O PAM permanece ligado durante todo o período de descida, registrando em torno de 3 horas contínuas ao longo de um mergulho a 1000 m. O registro é encerrado ao fim da descida e o PAM permanece desligado durante a subida do equipamento. Ao atingir a superfície, o *glider* transmite para o satélite as informações de navegação do mergulho, os dados do CTD e o *snippet*. Os arquivos de áudio são armazenados internamente e recuperados apenas ao final da campanha.

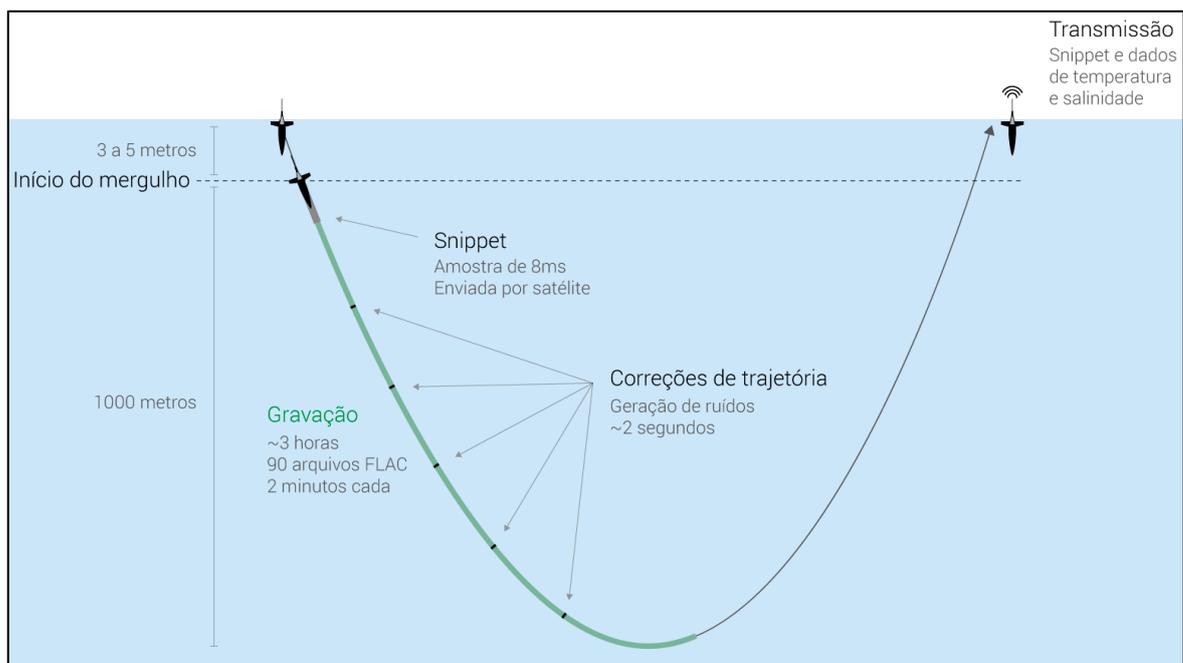


Figura II.2.2-1 – Diagrama esquemático apresentando as etapas de um mergulho do glider (Fonte: ProOceano, 2017).

II.2.3 – Curvas de Sensibilidade – Hidrofone e Pré-Amplificador

Na Figura II.2.3-1 são apresentadas as curvas de resposta em frequência (função de transferência) do hidrofone, do pré-amplificador e a resposta combinada do sistema para o *glider* SG612. Os trechos em azul das curvas de resposta dos

sistemas representam as frequências calibradas em cada unidade, os trechos em cinza representam as frequências calibradas em uma unidade de referência e assumidas como válidas para as unidades em uso no projeto.

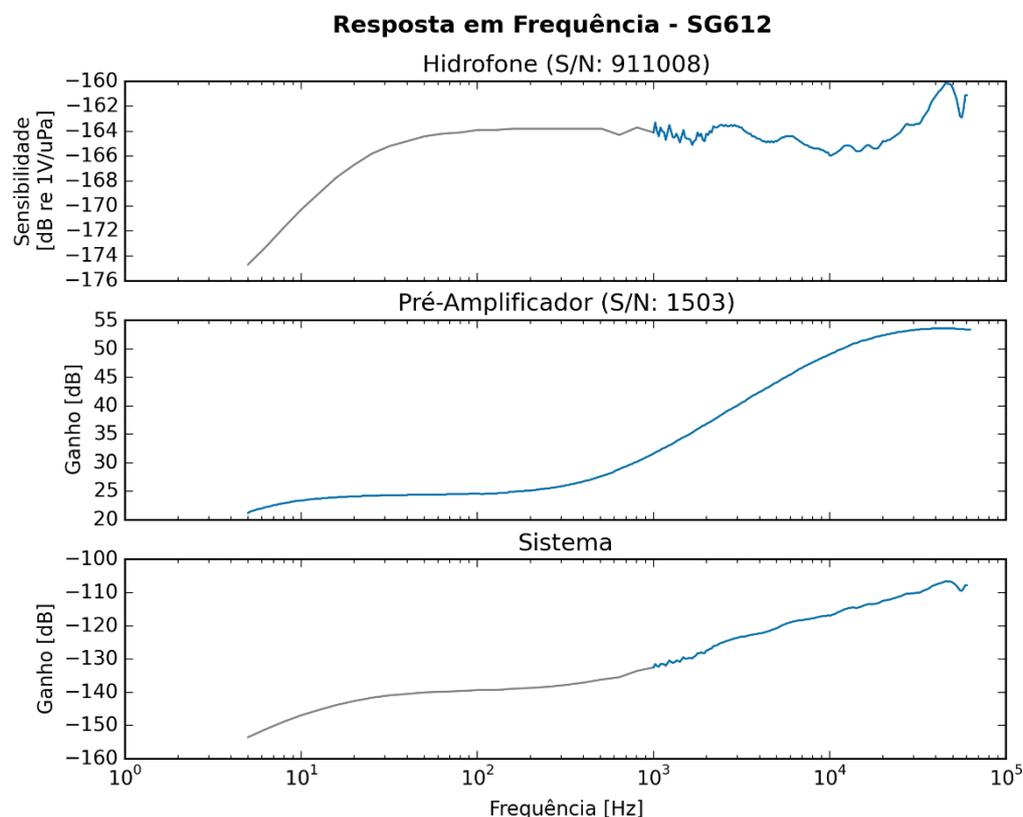


Figura II.2.3-1 – Curvas de resposta do PAM do Glider SG612. A parte azul do gráfico corresponde aos dados aferidos pelo fabricante e a porção cinza da curva são dados de referência do fabricante. (Fonte: ProOceano, 2017).

II.2.4 – Trajetória dos Gliders nas Campanhas Executadas

A Figura II.2.4-1 apresenta a trajetória dos dois *gliders*, durante as nove campanhas realizadas no período de referência deste relatório. A posição geográfica dos *gliders* é obtida antes do início dos mergulhos e assim que retornam à superfície. As estratégias amostrais adotadas alternaram as prioridades entre áreas de baixa intensidade de uso, áreas com alta densidade de tráfego e áreas do Polo Pré-Sal. A trajetória dos *gliders* era alterada a cada três meses (a cada novo ciclo de lançamento dos perfiladores), de forma a abranger áreas com diferentes usos na Bacia de Santos.

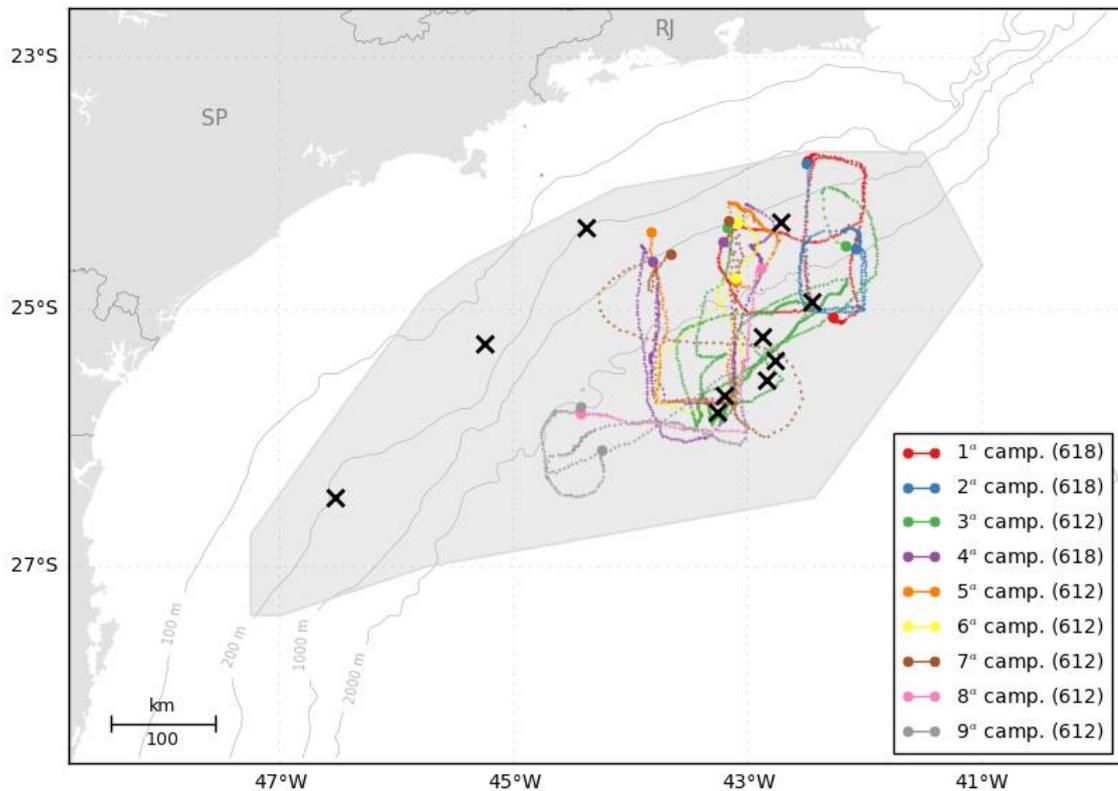


Figura II.2.4-1 – Trajetória de cada campanha de glider desde o início do projeto. A área sombreada corresponde à AGBS. As cruzes pretas representam algumas plataformas de produção da região (FPSOs e Jaquetas) (Fonte: ProOceano, 2017).

III – DADOS ACÚSTICOS

III.1 – PERFILADORES

III.1.1 – Parâmetros acústicos fornecidos pelo equipamento

Para cada janela acústica realizada nos perfiladores, o hidrofone presente no PABLO obtém **1 minuto** de gravação. O próprio equipamento processa os dados e gera os parâmetros acústicos a serem enviados por satélite. Esse processamento consiste em dividir o 1 minuto de gravação em 351 blocos de 170,7 ms, conforme a Figura III.1.1-1.

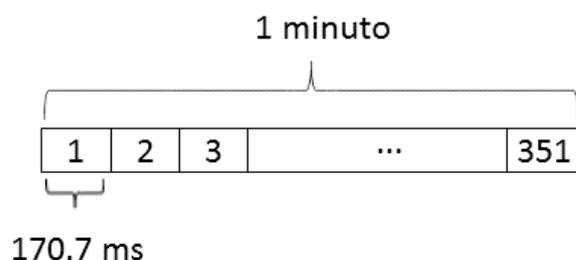


Figura III.1.1-1 – Divisão do áudio obtido pelos PABLOs para cálculo dos parâmetros acústicos (Fonte: ProOceano, 2017).

Em cada bloco, a pressão RMS (do inglês, *Root Mean Square* - valores médios quadráticos) e um espectro de 1/3 de oitava são calculados. O conversor analógico digital dos PABLO tem uma resolução de 24 bits e taxa de amostragem de 24 kHz, logo, em cada bloco de 170,7 ms são obtidas 4096 amostras (24000 amostras/segundo * 0,1707 segundos = 4096 amostras). Os perfiladores não executam verificações de dados espúrios nos valores calculados.

O elemento de transdução de pressão acústica dos PABLO, fabricado pela empresa Geospectrum, apresenta uma sensibilidade de aproximadamente -200 dB re 1V/ μ Pa que é conectado a um pré-amplificador de ganho fixo de 35 dB resultando em uma sensibilidade total de -165 dB re 1V/ μ Pa para a faixa de amostragem do ADC. Ilustrativamente, na Figura III.1.1-2, é exibida a curva de sensibilidade do PABLO P010101.

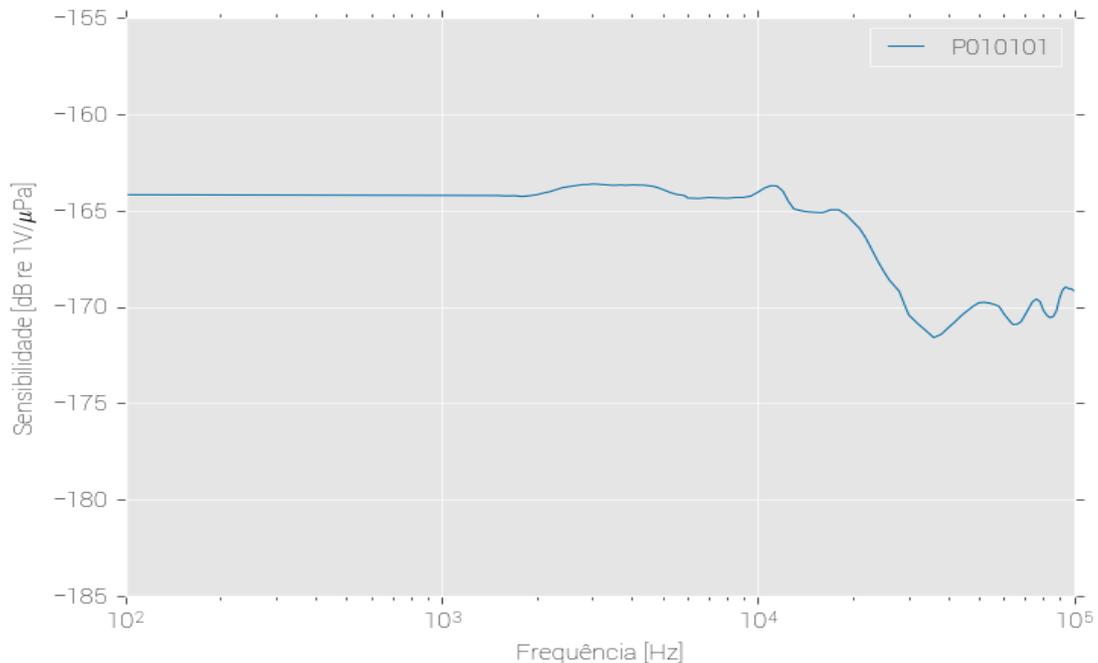


Figura III.1.1-2 – Curva de sensibilidade do hidrofone do perfilador PABLO P010101 (Fonte: ProOceano, 2017).

Os parâmetros calculados e enviados pelos PABLOs estão relacionados ao nível de pressão sonora (do inglês, *Sound Pressure Level* – SPL):

- SPL_{RMS} médio (*average SPL*): Média dos valores de RMS dos 351 blocos, convertida para dB;
- SPL_{Max} (*maximum SPL*): O maior dos valores de RMS dos 351 blocos, convertido para dB;
- SPL_{pico-a-pico} (*peak-to-peak pressure level*): Diferença entre o maior (mais positivo) e o menor (mais negativo) valor da pressão acústica observada na janela, convertida para dB;
- Espectros de 1/3 de oitava dos percentis de 5%, 50% e 95%: Esses espectros são obtidos a partir dos espectros de 1/3 de oitava do conjunto dos 351 blocos e indicam o valor de SPL_{RMS}, para cada banda, que não é ultrapassado X% do tempo, onde X = [5, 50 ou 95] %.
- Espectros de 1/3 de oitava médios: Esses espectros são obtidos a partir dos espectros do conjunto dos 351 blocos e indicam o valor de SPL_{RMS} médio para cada banda de 1/3 de oitava.

Para facilitar a comparação entre os parâmetros das letras a, b e c com aqueles apresentados nas letras d e e, calculou-se, para cada espectro de potência apresentado, o valor RMS total correspondente, usando-se a equação:

$$SPL_{total} = 10 \log 10 \left(\sum 10^{SPL_{esp}(i)/10} \right), i = 1, \dots, 30$$

onde SPL_{total} é o SPL total para o espectro. Usando-se esta fórmula, foram calculados parâmetros de SPL totais para os espectros das letras d e e. A análise dos dados, assim, consistiu em verificar o comportamento dos seguintes parâmetros:

- SPL_{medio} : obtido como descrito na letra a;
- SPL_{Max} : obtido como descrito na letra b;
- $SPL_{pico-a-pico}$: obtido como descrito na letra c;
- SPL_{esp_5p} : obtidos dos espectros do percentil de 5% da letra d;
- SPL_{esp_50p} : obtidos dos espectros do percentil de 50% da letra d;
- SPL_{esp_95p} : obtidos dos espectros do percentil de 95% da letra d;
- SPL_{esp_med} : obtidos dos espectros médios da letra e;

A Figura III.1.1-3 mostra estes sete parâmetros de SPL para cada janela acústica medida pelo perfilador correspondente ao arquivo PABLO_P010401.nc, em função do tempo, em dias.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

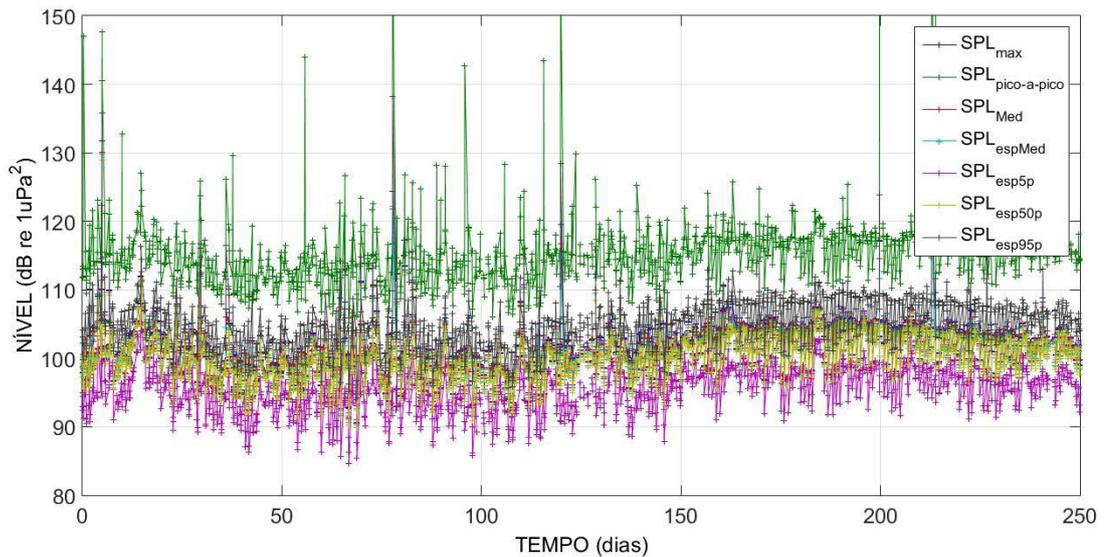


Figura III.1.1-3 – Parâmetros SPL para cada janela acústica medida pelo perfilador PABLO_P010401.

A Figura III.1.1-4 mostra uma ampliação de um trecho da figura anterior, apresentando os valores dos sete parâmetros de SPL para o trecho. Esta figura apresenta um período de cinco dias de coleta de dados, sendo que as marcas nas linhas correspondem a medições realizadas nas janelas acústicas. É interessante notar que os parâmetros têm um comportamento parecido na variação de seus níveis, embora em alguns momentos um ou mais deles apresentem variações diferentes, como pode ser visto um pouco antes do dia 85 em relação ao parâmetro $SPL_{\text{pico-a-pico}}$. Uma análise criteriosa destas variações pode permitir avaliar a qualidade da medição a partir da detecção destes valores espúrios dos dados.

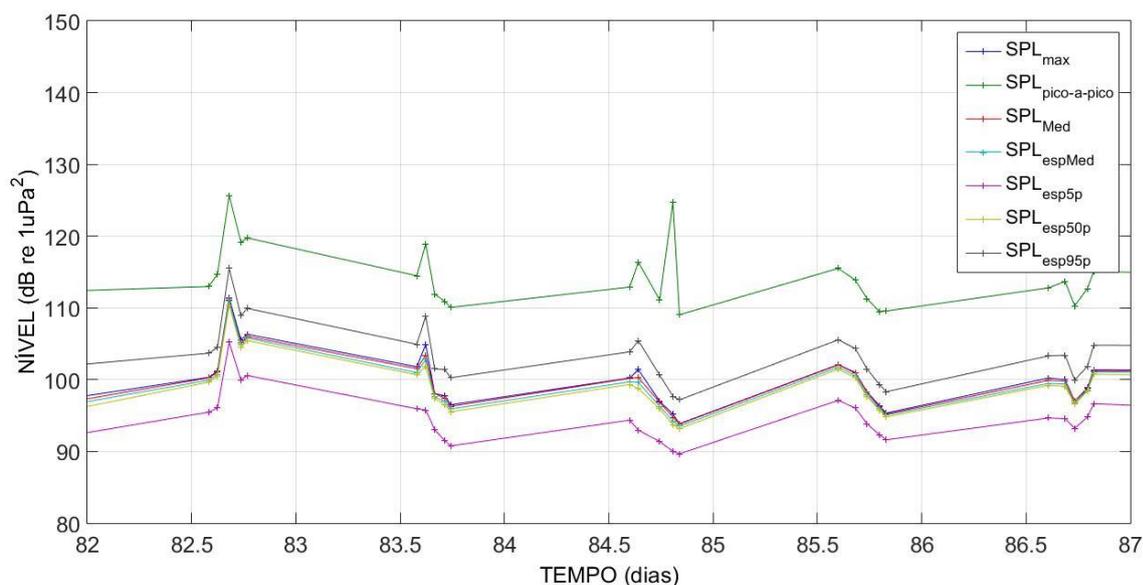


Figura III.1.1-4 – Ampliação de um trecho da Figura III.1.1-3.

III.2 – GLIDERS

III.2.1 – Parâmetros Acústicos Calculados

A análise dos sinais acústicos dos *gliders* foi feita seguindo os mesmos procedimentos realizados pelos perfiladores PABLO em seu processamento interno dos sinais acústicos coletados. Os sinais gravados foram divididos em janelas de 1 minuto e cada janela foi subdividida em 351 blocos de 170,7 ms, e processados como descrito para os perfiladores para obter os parâmetros SPL:

- SPL_{medio};
- SPL_{pico};
- SPL_{pico-a-pico};
- SPL_{esp_5p};
- SPL_{esp_50p};
- SPL_{esp_95p};
- SPL_{esp_med};

Além destes parâmetros acústicos, também foram calculados, para cada minuto de sinal, os seguintes espectros:




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

- Espectros de 1/3 de oitava dos percentis de 5%, 50% e 95%, obtidos a partir dos espectros de 1/3 de oitava do conjunto dos 351 blocos, indicando o valor de SPL_{RMS} , para cada banda, que não é ultrapassado X% do tempo, onde $X = [5, 50 \text{ ou } 95]\%$;
- Espectros de 1/3 de oitava médios, obtidos a partir dos espectros do conjunto dos 351 blocos, indicando o valor de SPL_{RMS} médio para cada banda de 1/3 de oitava.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

IV – QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

IV.1 – METODOLOGIA

IV.1.1 – Avaliação dos Dados dos Perfiladores

Como nos perfiladores o sinal acústico não é gravado, a qualificação dos dados só pode ser feita a partir dos parâmetros de SPL e dos espectros de 1/3 de oitava disponibilizados. Dos sete parâmetros de SPL calculados, o SPL_{esp_50p} é o mais robusto à presença de interferências, uma vez que ele corresponde ao valor de SPL calculado usando as medianas de cada banda do espectro de 1/3 de oitava. A mediana é uma estimativa do valor médio, robusta à presença de valores extremos, chamados *outliers*.

A verificação do comportamento dos parâmetros foi feita baseado em sua comparação com o parâmetro SPL_{esp_50p} . A Figura IV.1.1-1 mostra as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} , em dB. A expectativa é que seja possível detectar valores extremos (*outliers*) a partir da análise destas diferenças.

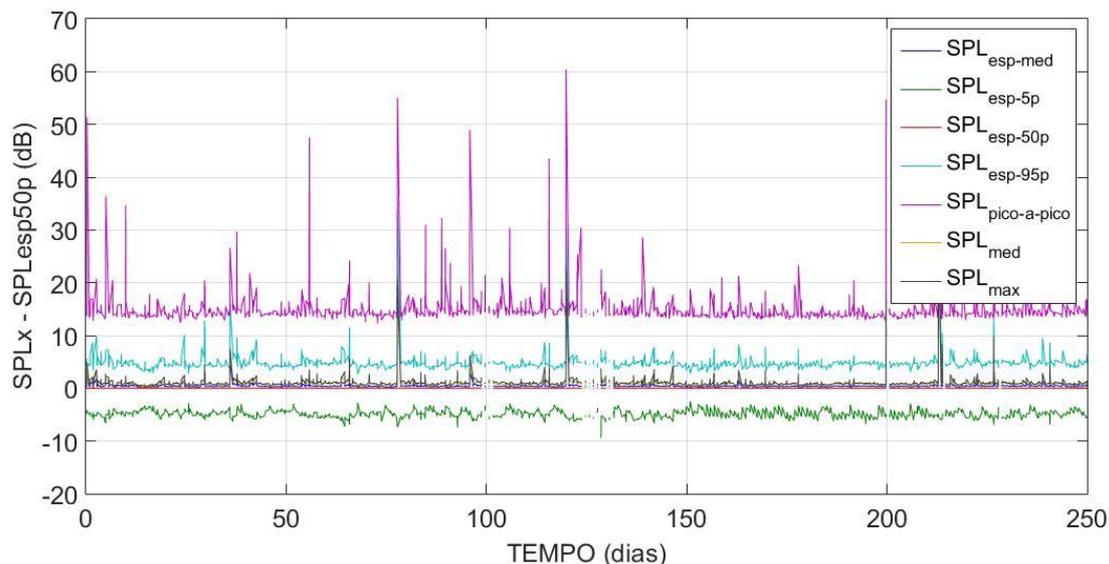


Figura IV.1.1-1 – Diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} .

A Figura IV.1.1-2 mostra os histogramas para as diferenças dos parâmetros de SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} . Foram usados todos os dados de todos os

perfiladores disponíveis. Nota-se que todos os histogramas são unimodais. Este fato facilita a identificação de *outliers* definindo-se limiares em torno das distribuições, além dos quais, o parâmetro será considerado como *outlier* e será descartado.

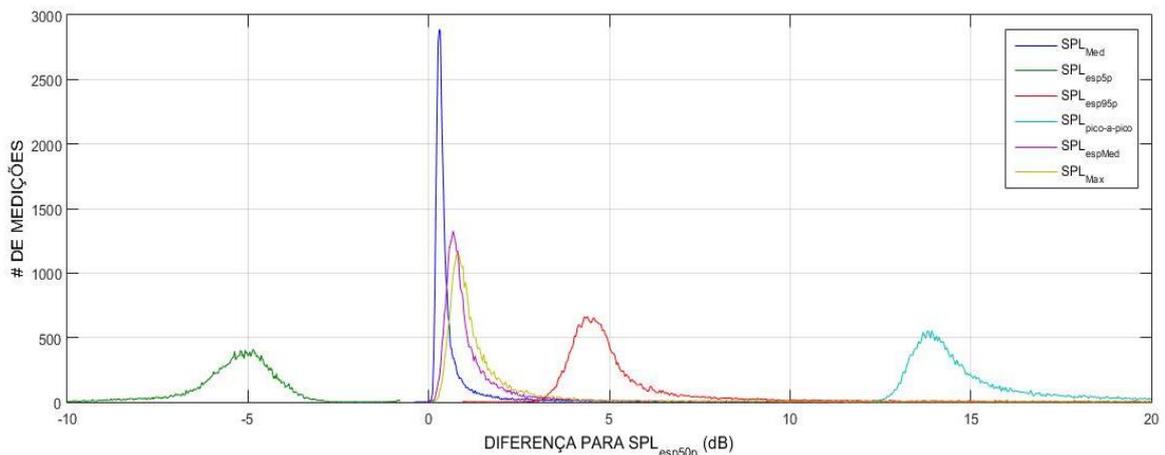


Figura IV.1.1-2 – Histogramas para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} .

A Tabela IV.1.1-1 mostra a média e a mediana do desvio absoluto mediano (MAD = *median absolute deviation*) para as seis distribuições apresentadas, onde o desvio absoluto mediano é uma estimativa do desvio padrão, mais robusta à presença de *outliers*, dada por Croux (2014).

$$MAD = 1,4826 * mediana(abs(x - mediana(x)))$$

Tabela IV.1.1-1 – Valores da média, mediana, desvio padrão e desvio absoluto mediano para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} .

SPL	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mediana do Desvio Absoluto (MAD)
SPL_{esp_med}	0,9165	0,3694	2,3899	0,1169
SPL_{esp_5p}	-5,5181	-5,1917	2,3404	0,5800
SPL_{esp_95p}	5,8800	4,7404	4,0745	0,5800
$SPL_{pico-a-pico}$	16,9229	14,5055	6,8344	0,9282
SPL_{medio}	1,4952	0,8487	2,6886	0,2806
SPL_{pico}	1,7988	1,0478	3,0402	0,3476

De posse dos valores das medianas e dos desvios absolutos medianos, os valores das diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} foram centrados cada um em sua mediana e em seguida foram divididos por seu desvio absoluto mediano:

$$\text{SPLxxx_norm} = (\text{SPLxxx} - \text{Medianaxxx}) / \text{MADxxx}$$

A Figura IV.1.1-3 mostra os histogramas dos parâmetros SPL_{xxx_norm}. O histograma para o parâmetro SPL_{esp_50p} foi invertido, uma vez que sua mediana é negativa.

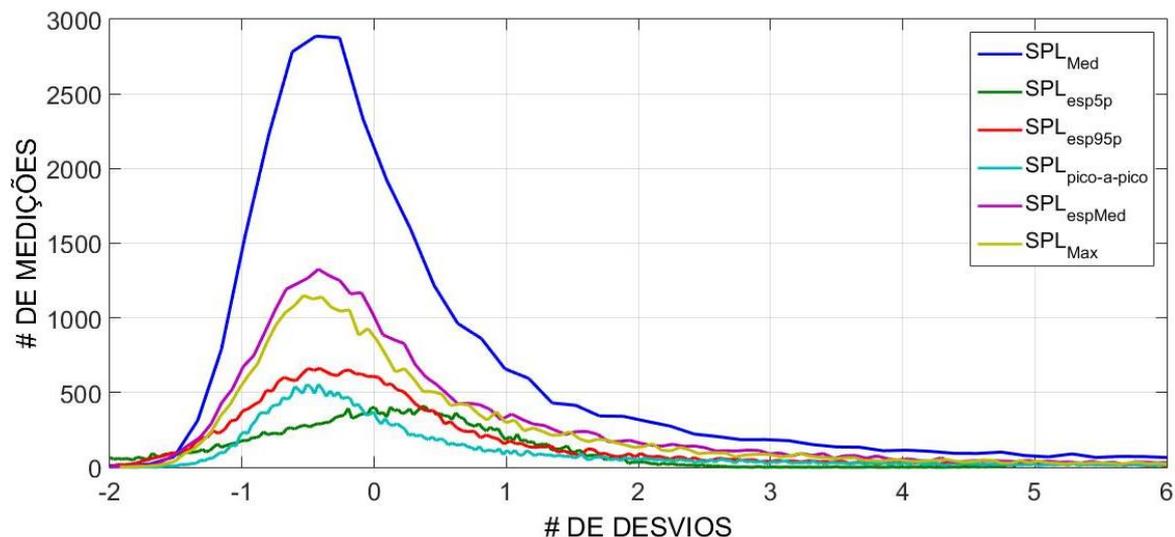


Figura IV.1.1-3 – Histogramas das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalização pelo desvio absoluto mediano.

A Figura IV.1.1-4 mostra a distribuição acumulada dos parâmetros após remoção da mediana de cada um deles e normalização pela mediana do desvio absoluto, podendo ser usada para a rejeição de dados espúrios. Um limiar pode ser escolhido a partir desta distribuição acumulada, definindo-se um percentual de dados que se considere adequado descartar.

No presente trabalho, considerou-se adequado aceitar 95% dos dados, permitindo descartar 5% das medições como uma forma de remover possíveis dados espúrios. Neste caso, foi escolhido o limiar de 20 desvios MAD em torno da mediana, a partir do qual as medições serão descartadas.

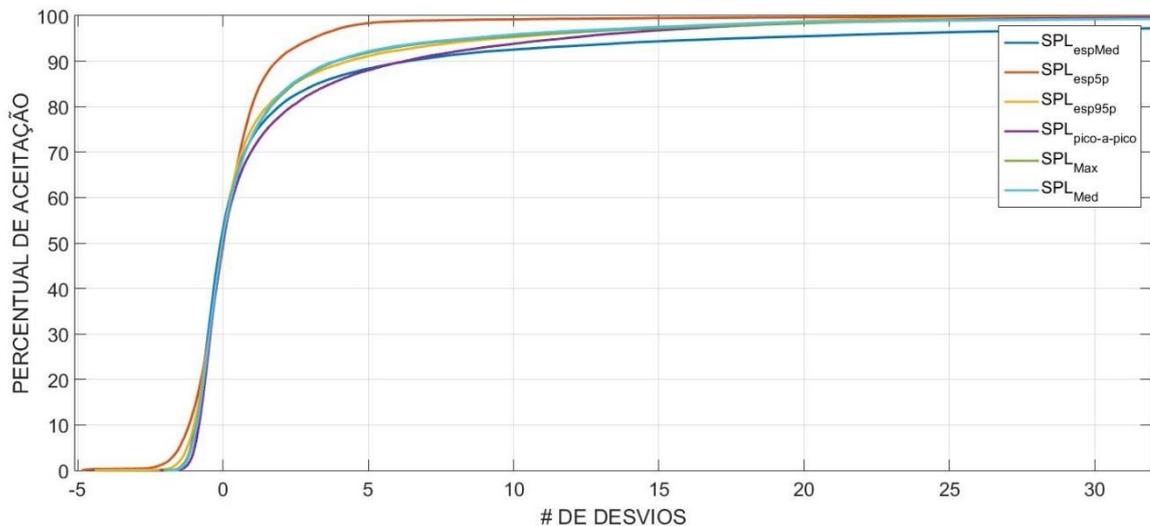


Figura IV.1.1-4 – Distribuição acumulada das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalizados pelo desvio absoluto mediano.

IV.1.2 – Avaliação dos Dados do Glider

A definição da qualidade dos dados medidos pelo *glider* foi feita considerando a presença de ruído de seu motor e de sua bomba hidráulica (ruído próprio), a contribuição do ruído de fluxo hidrodinâmico devido à velocidade de descida do equipamento e a qualificação dos dados usando os parâmetros espectrais calculados a partir dos sinais acústicos.

IV.1.2.1 – Ruído Próprio

O *glider*, durante sua operação, aciona de tempos em tempos os motores de controle de atitude (rolamento e arfagem) e a bomba hidráulica usada no enchimento e esvaziamento de sua bexiga de flutuabilidade. Na Figura IV.1.2-1, são mostrados exemplos dos espectros dos ruídos mencionados.

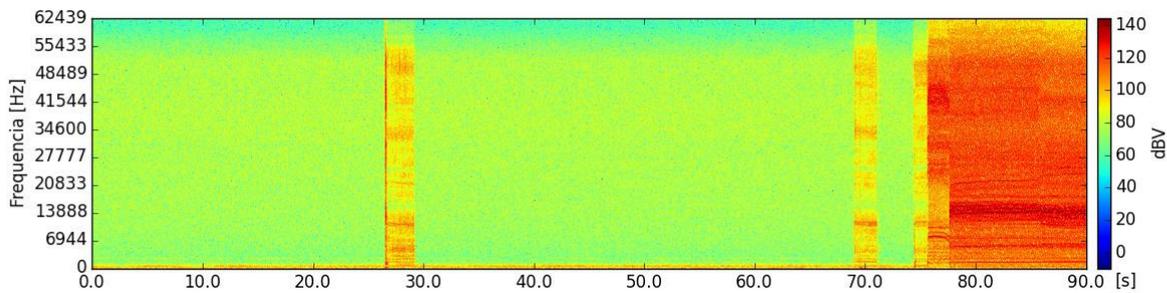


Figura IV.1.2-1 – Espectrograma dos ruídos próprios produzidos pelo glider. Os pulsos retangulares menores são relativos aos motores de atitude do glider e o pulso no final, de maior amplitude e duração, é relativo à bomba hidráulica. (Fonte: ProOceano, 2017).

A presença de ruído próprio nas medições foi detectada usando-se um algoritmo de classificação de ruídos desenvolvido pela empresa Kongsberg, fabricante do *glider* (PROOCEANO, 2017a). Uma preocupação inicial diz respeito a como as gravações são comprometidas pela presença deste ruído. A Figura IV.1.2-2 mostra as detecções obtidas durante um dado mergulho da 1ª Campanha. Na figura, pode-se ver que as gravações são contaminadas, de tempos em tempos, pelo ruído próprio. Para este mergulho, com duração um pouco maior que 2000 segundos, o motor foi acionado 14 vezes, sendo que o maior trecho contínuo sem ruído próprio tem duração em torno de 1000 segundos.

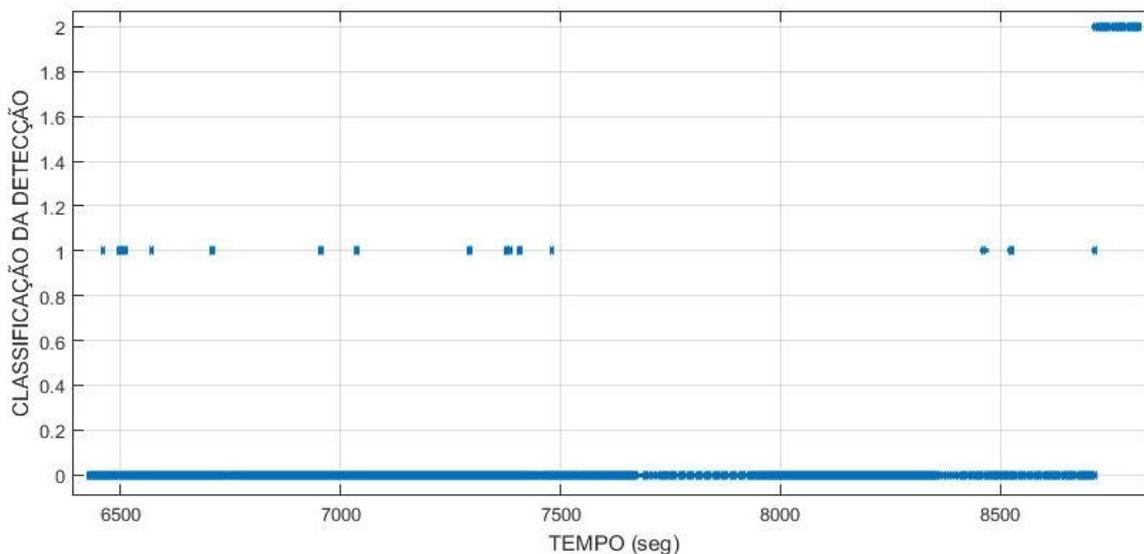


Figura IV.1.2-2 – Detecção de ruído próprio em um mergulho do glider. O nível "0" corresponde a um trecho sem ruído próprio, o nível "1" ao ruído do motor e o nível "2" ao ruído da bomba hidráulica.

A Figura IV.1.2-3 mostra uma distribuição acumulada dos tempos de gravação contínua disponíveis na 1ª Campanha. Perto de 60 por cento dos trechos de gravação contínua disponíveis têm menos de 100 segundos de duração.



Figura IV.1.2-3 – Distribuição acumulada dos tempos de gravação contínua, sem interferência de ruído próprio.

O processamento realizado nos dados dos *gliders* considera trechos de 1 minuto de sinal. Para cada um destes trechos, usou-se o resultado da detecção de ruído próprio para indicar se neste trecho ocorreu o acionamento do motor e/ou da bomba hidráulica. Numa primeira abordagem, os trechos em que se detectou este acionamento foram descartados da apresentação final no mapa de SPL. Numa etapa posterior, pode-se avaliar a utilização dos trechos com detecção de ruído próprio, removendo-se este ruído se sua duração for pequena considerando a duração total do trecho.

IV.1.2.2 – Ruído de Fluxo

Durante as campanhas de coleta de dados com os *gliders*, foram realizados testes para verificar a influência do ruído de fluxo no ruído medido devido ao movimento do *glider*. Para isto, foram realizadas medições acústicas com diferentes velocidades de descida, incluindo trechos onde o *glider* mantinha a profundidade constante (velocidade vertical zero) por algum tempo. Em análises realizadas tanto

pela ProOceano quanto pelo IPqM, chegou-se à conclusão que o *glider* deveria ser operado com a velocidade vertical ajustada para 10 cm/s.

Assim, nos mapas apresentados neste relatório, foram consideradas apenas as medições em que o *glider* tinha velocidade vertical ajustada para 10 cm/s (velocidades verticais < 13 cm/s, levando em consideração a distribuição em torno de 10 cm/s), nas quais não foi detectada a presença de ruído próprio. Estas medições foram, então, avaliadas usando os parâmetros espectrais, sendo eliminadas aquelas que foram consideradas como *outliers*.

IV.1.2.3 – Procedimento de Qualificação dos Dados

O procedimento de qualificação dos dados do *glider* foi feita seguindo-se o mesmo procedimento realizado nos perfiladores. A Figura IV.1.2-4 mostra os histogramas para os parâmetros de SPL normalizados pelo SPL_{esp_50p} . Nesta análise inicial dos parâmetros, foram usados os dados da 1ª Campanha. O histograma correspondente ao parâmetro SPL_{esp_5p} teve sua escala horizontal invertida, para seguir o comportamento dos outros parâmetros.

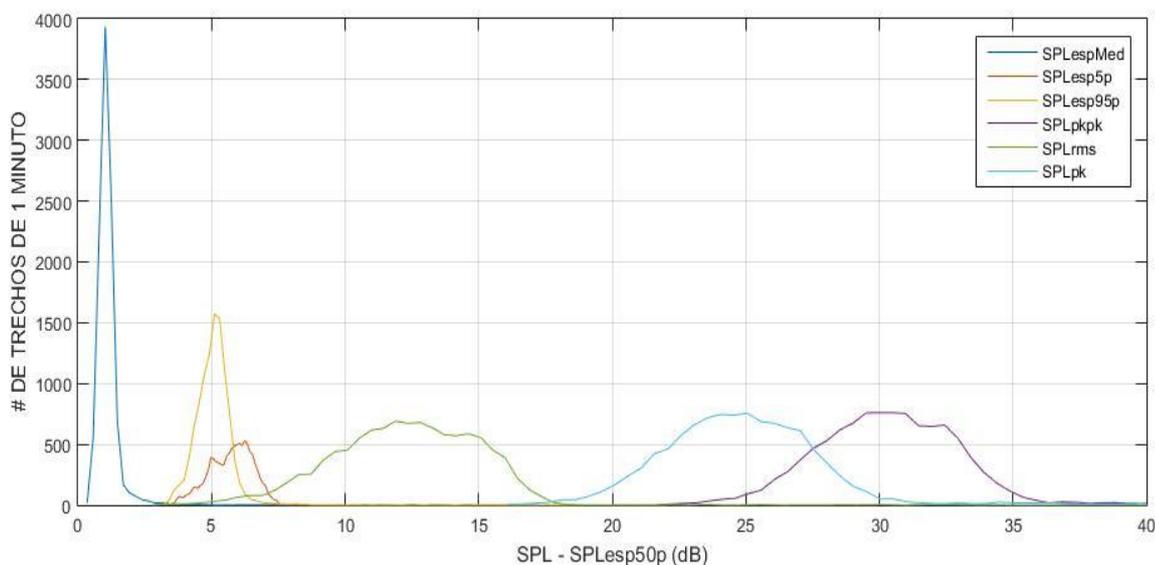


Figura IV.1.2-4 – Histogramas para as diferenças, em dB, entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} .

A Tabela IV.1.2-1 mostra a média, a mediana e a mediana do desvio absoluto mediano (MAD = *median absolute deviation*) para as seis distribuições apresentadas.

Tabela IV.1.2-1 – Valores da média, mediana, desvio padrão e desvio absoluto mediano para as diferenças entre os parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p}.

SPL	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mediana do Desvio Absoluto (MAD)
SPL _{esp_med}	1,165	1,058	1,000	0,238
SPL _{esp_5p}	-5,737	-5,822	0,816	0,856
SPL _{esp_95p}	5,061	5,082	0,659	0,535
SPL _{pico-a-pico}	30,373	30,373	3,869	2,686
SPL _{medio}	12,330	12,374	2,910	2,810
SPL _{RMSpk}	25,135	24,754	4,079	2,727

A Figura IV.1.2-5 mostra os histogramas dos parâmetros após a remoção da mediana de cada um deles e com a amplitude normalizada pela mediana do desvio absoluto (escala horizontal).

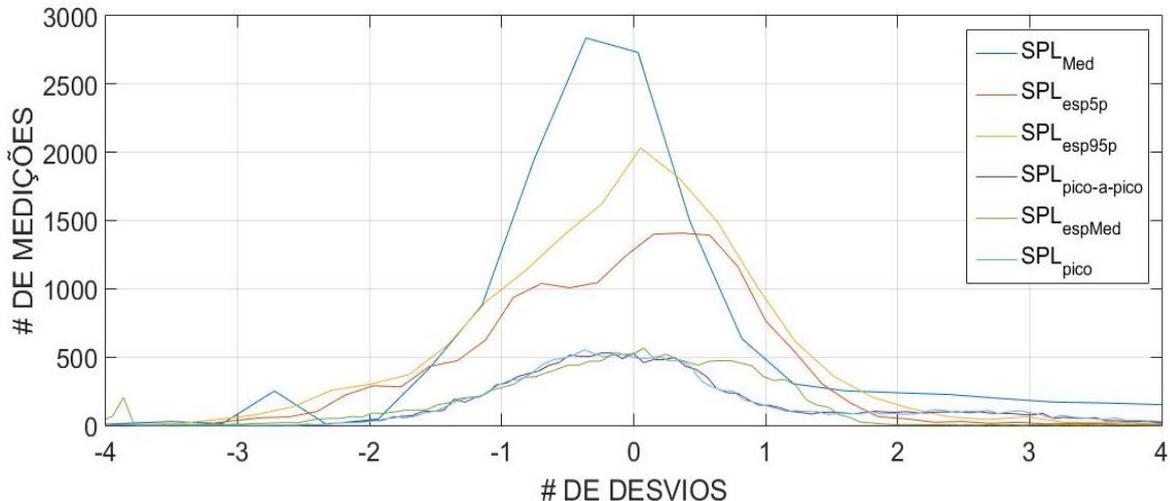


Figura IV.1.2-5 – Histogramas das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalização pelo desvio absoluto mediano.

A Figura IV.1.2-6 mostra a distribuição acumulada dos parâmetros após remoção da mediana de cada um deles e normalização pela mediana do desvio absoluto. A escala horizontal representa a amplitude normalizada pelo MAD.

Seguindo o mesmo procedimento adotado para os perfiladores, considerou-se adequado aceitar 95% dos espectros, descartando 5% deles. Neste caso, foi selecionado um limiar de 2 desvios MAD em torno da mediana para os parâmetros normalizados.

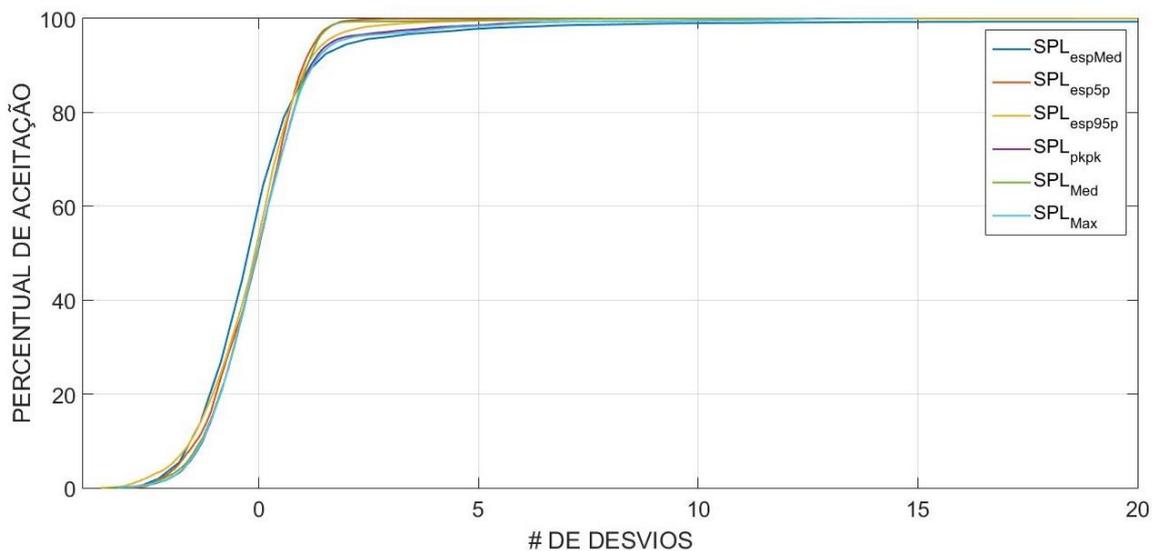


Figura IV.1.2-6 – Distribuição acumulada das diferenças dos parâmetros SPL e o parâmetro SPL_{esp_50p} após a remoção da mediana e normalizados pelo desvio absoluto mediano.

V – MAPAS COM DADOS ACÚSTICOS MEDIDOS

A partir dos dados analisados e validados (remoção de *outliers*, de ruído próprio e de ruído de fluxo) utilizando os procedimentos descritos nas seções anteriores, foram gerados mapas geográficos dos níveis de pressão sonora (SPL = *Sound Pressure Level*), em dB re 1 μ Pa, com uma resolução espacial de 1/6 de grau (quadrados com cerca de 18,5 km de lado), onde foi apresentada, em cada quadrado, a mediana dos valores de SPL obtidos com as medições acústicas realizadas naquela região, dentro da faixa de profundidade e de datas selecionadas. 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, para os quais se busca uma integração de produtos e resultados.

Só foram considerados para este relatório os quadrados que tiveram **cinco ou mais medições validas** para o cálculo da mediana, de forma a obter um panorama mais representativo da paisagem acústica ambiente, reduzindo o risco de que eventos isolados sejam considerados para caracterizar a paisagem acústica. Para cada combinação de faixa de profundidade e data, foi apresentado um mapa geográfico com o número de medições realizadas em cada quadrado do mapa (densidade amostral).

Foram escolhidas quatro bandas de frequência (63, 125, 500 e 1000 Hz), atendendo às recomendações dos *guidelines* internacionais para monitoramento da paisagem acústica submarina. A seleção das bandas de 63 e 125 Hz foi feita considerando que é nessas bandas onde ocorre a assinatura típica do ruído de embarcações (Dekeling et al., 2014a, b). As bandas de 500 e 1000 Hz foram selecionadas por serem impactadas por fontes de ruídos ambientais (Jensen et al., 2011; Ross, 1976).

A escolha das profundidades a serem consideradas foi feita baseada nas profundidades de instalação dos hidrofones nas linhas de fundeio instrumentada (LFI), 50, 200 e 1000 m. Porém, no caso do monitoramento móvel a definição mais adequada é considerando faixas de profundidade. Assim, as faixas de profundidade utilizadas foram: 0 a 100 m, 150 a 300 m e 900 a 1100 m.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

A apresentação dos dados foi feita considerando todo o período amostrado (novembro de 2015 a dezembro de 2016) para os resultados separados dos perfiladores e *gliders*. Neste primeiro relatório está priorizando-se a avaliação da qualidade dos dados medidos pelos dois equipamentos utilizados (perfiladores e *gliders*), de forma que mapas distintos permitirão uma avaliação comparativa das feições observados pelos distintos equipamentos.

Em relação aos parâmetros SPL, foram elaborados mapas representativos dos seguintes dados:

- a) SPL_{pico} – maior valor absoluto do sinal acústico obtido em uma janela de 1 minuto, apresentado em dB $[20 \cdot \log_{10}(\max(\text{abs}(x)))]$. Como os perfiladores não fornecem este valor, foi utilizado, tanto para os perfiladores como para os *gliders*, o valor de $SPL_{pico} = SPL_{pico-a-pico} - 6\text{dB}$;
- b) SPL_{50p} – valor do SPL calculado a partir da energia total do espectro do percentil de 50%, para a banda de frequência de 10Hz a 10kHz;
- c) $SPL_{63\text{Hz}}$ – valor do espectro do percentil de 50% na frequência de 63Hz;
- d) $SPL_{125\text{Hz}}$ – valor do espectro do percentil de 50% na frequência de 125Hz;
- e) $SPL_{500\text{Hz}}$ – valor do espectro do percentil de 50% na frequência de 500Hz;
- f) $SPL_{1000\text{Hz}}$ – valor do espectro do percentil de 50% na frequência de 1000Hz.

V.1 – PERFILADORES

V.1.1 – Mapas com Dados de Todos os Ciclos de Medição

A Figura V.1.1-1 apresenta a densidade amostral nas três faixas de profundidades selecionadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

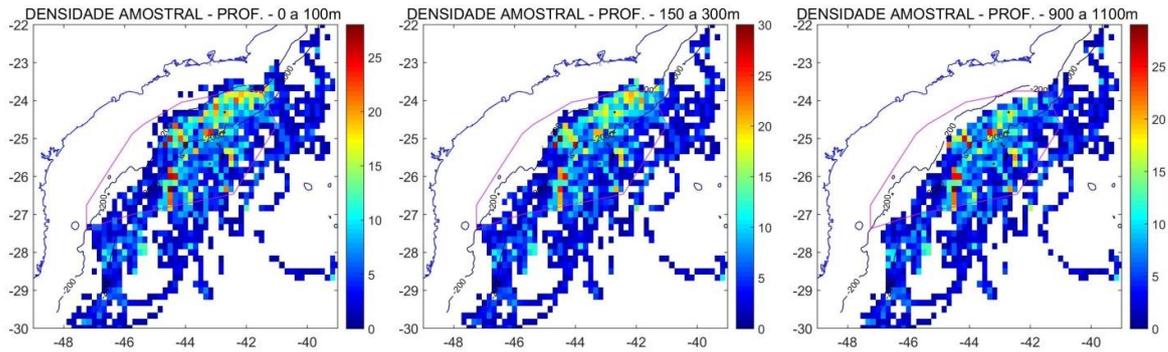


Figura V.1.1-1 – Densidade amostral nas faixas de profundidades entre 0 e 100m (quadro esquerdo), 150 e 300m (quadro central), 900 e 1000m (quadro direito).

A primeira linha da Figura V.1.1-2 apresenta o SPL pico e a segunda linha apresenta o SPL_{RMS p50} nas três faixas de profundidades selecionadas.

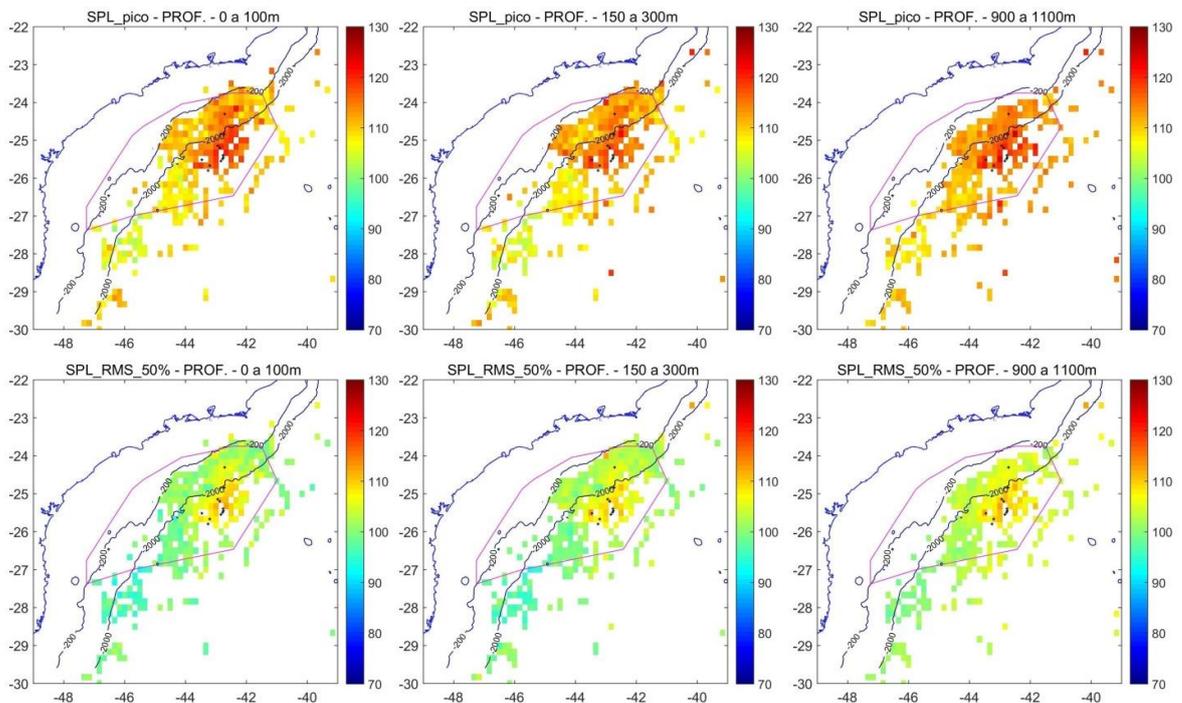


Figura V.1.1-2 – SPL_{pico} e SPL_{RMS p50} nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).

A primeira linha da Figura V.1.1-3 apresenta o SPL_{RMS} para a frequência de 63 Hz e a segunda linha o SPL_{RMS} para a frequência de 125 Hz. Em todos os casos, são apresentados os SPL_{RMS} nas três faixas de profundidades selecionadas.

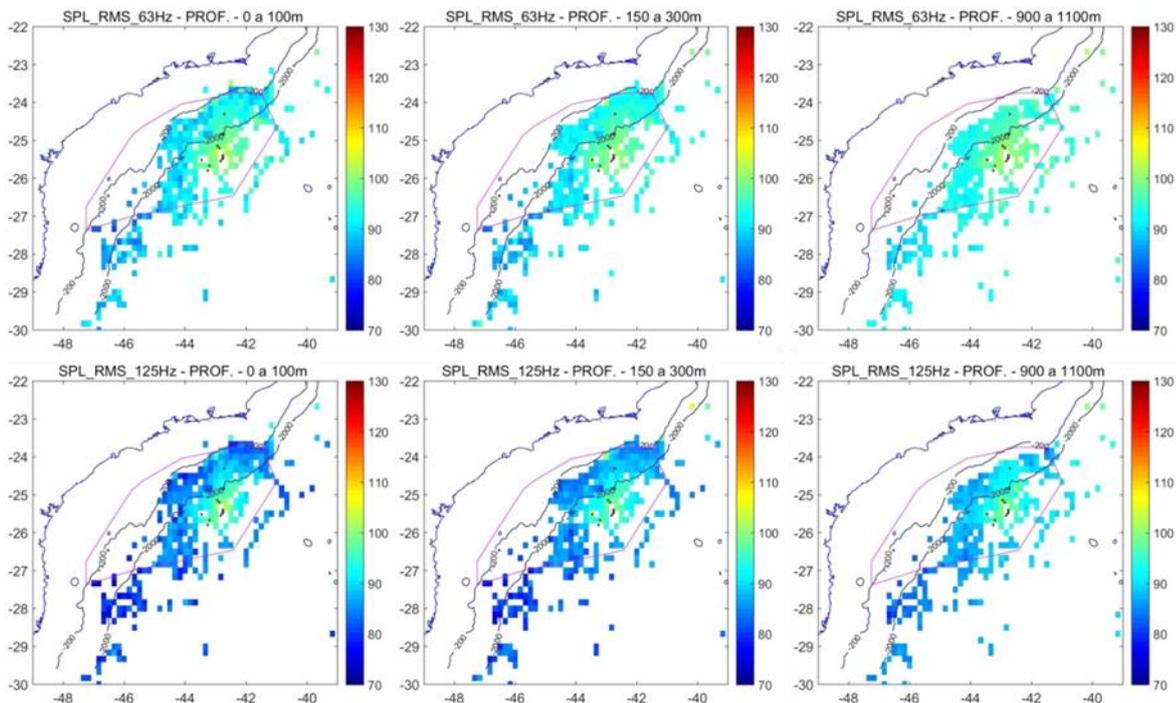


Figura V.1.1-3 – SPL_{RMS} para as frequências de 63Hz e 125 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).

A primeira linha da Figura V.1.1-4 apresenta o SPL_{RMS} para a frequência de 500 Hz e a segunda linha o SPL_{RMS} para a frequência de 1000 Hz. Nos dois casos, são apresentados os SPL_{RMS} nas três faixas de profundidades selecionadas.

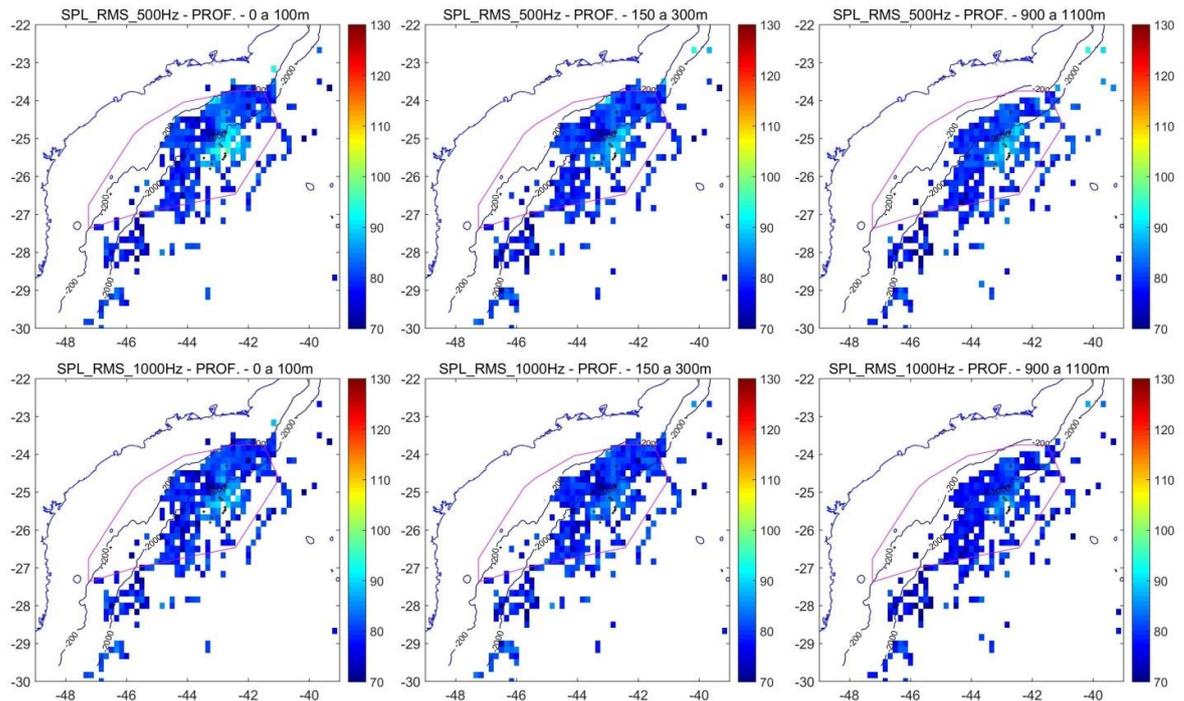


Figura V.1.1-4 – SPL_{RMS} para as frequências de 500 Hz e 1000 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).

V.2 – GLIDERS

V.2.1 – Mapas com Dados de Todas as Campanhas de Medição

A Figura V.2.1-1 apresenta a densidade amostral nas três faixas de profundidades selecionadas.

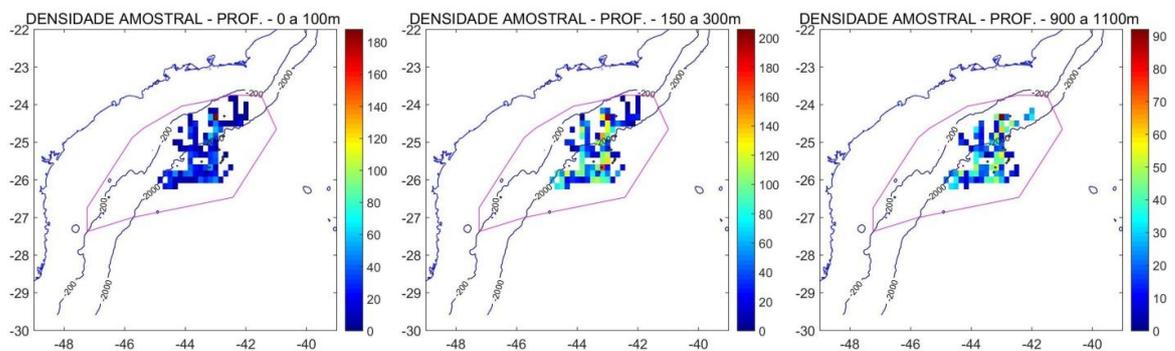


Figura V.2.1-1 – Densidade amostral nas profundidades entre 0 e 100m (quadro esquerdo), 150 e 300m (quadro central), 900 e 1000m (quadro direito).

A primeira linha da Figura V.2.1-2 apresenta o SPL_{pico} e a segunda linha apresenta o $SPL_{RMS\ p50}$ nas três faixas de profundidades selecionadas.

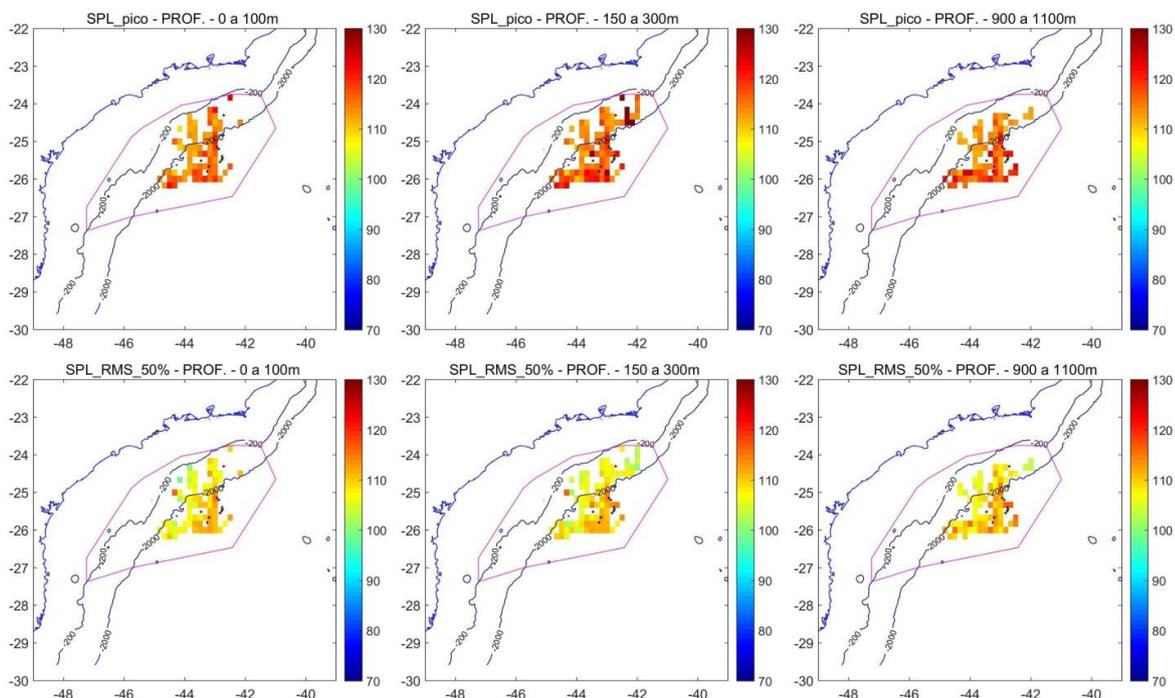


Figura V.2.1-2 – SPL_{pico} e $SPL_{RMS\ p50}$ nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).

A primeira linha da Figura V.2.1-3 apresenta o SPL_{RMS} para a frequência de 63 Hz e a segunda linha o SPL_{RMS} para a frequência de 125 Hz. Em todos os casos, são apresentados os SPL_{RMS} nas três faixas de profundidades selecionadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

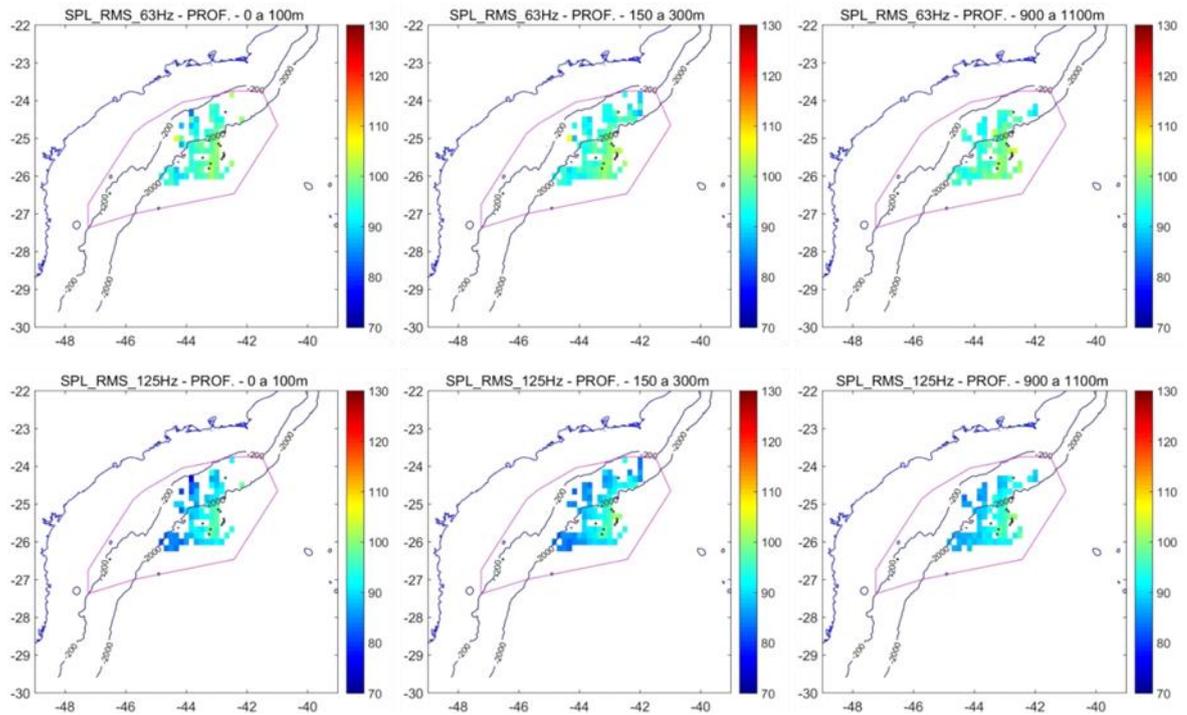


Figura V.2.1-3 – SPL_{RMS} para as frequências de 63Hz e 125 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros esquerdos), 900 e 1000m (quadros direitos).

A primeira linha da Figura V.2.1-4 apresenta o SPL_{RMS} para a frequência de 500 Hz e a segunda linha o SPL_{RMS} para a frequência de 1000 Hz. Nos dois casos, são apresentados os SPL_{RMS} nas três faixas de profundidades selecionadas.

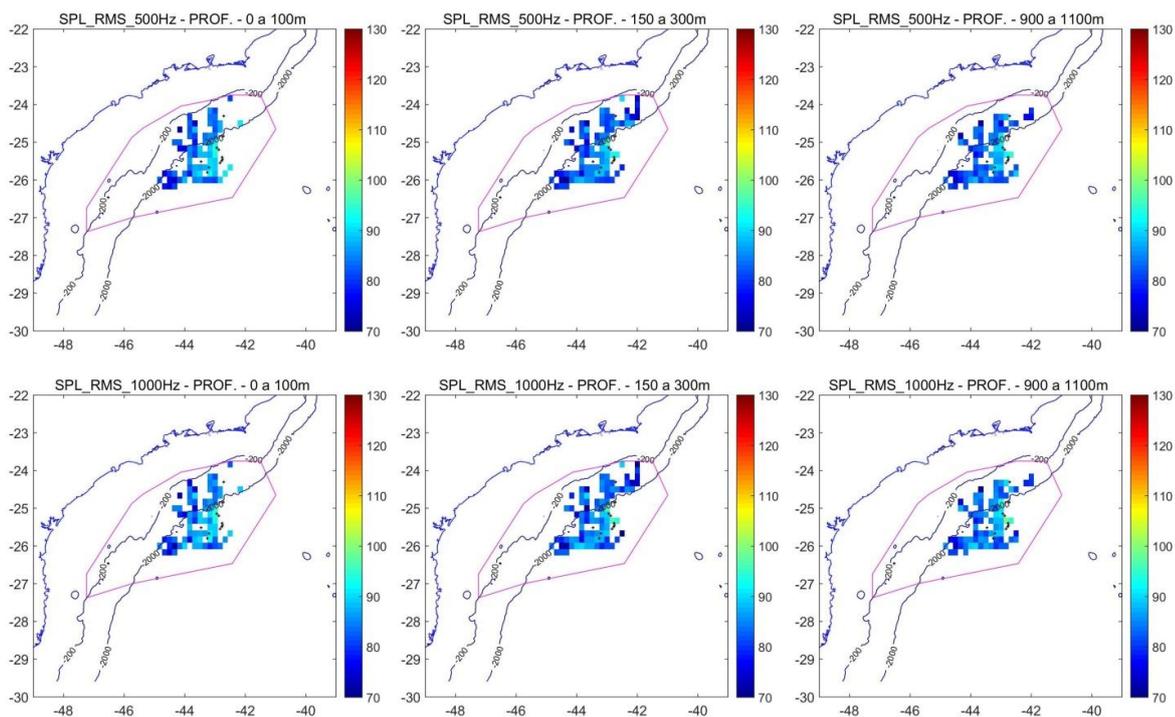


Figura V.2.1-4 – SPL_{RMS} para as frequências de 500 Hz e 1000 Hz nas profundidades entre 0 e 100m (quadros esquerdos), 150 e 300m (quadros centrais), 900 e 1000m (quadros direitos).

V.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MAPAS ACÚSTICOS

Os mapas apresentados nos itens anteriores mostram os resultados obtidos no período de Novembro de 2015 até Dezembro de 2016, totalizando mais de um ano de coleta de dados, com o monitoramento móvel usando perfiladores e *gliders*.

Nos mapas, é possível se ter uma visão preliminar da distribuição dos níveis de ruído na AGBS, com a utilização de diversos parâmetros representando os níveis de pressão sonora (SPL) em diferentes frequências. Nota-se, em praticamente todos os gráficos, um aumento nos níveis de pressão sonora nas regiões onde se concentram a maior atividade de E&P.

A maior região coberta pelos mapas com resultados dos perfiladores representa a dispersão espacial destes equipamentos, que podem tomar quaisquer trajetórias após seu lançamento em função das correntes marinhas dominantes. No entanto, é importante observar que devido a esta mesma característica, não é possível garantir trajetórias para estes perfiladores que possam repetir trajetos ou rotas pré-selecionadas, cobrindo mais intensamente algumas regiões de maior interesse.

Os mapas regionais obtidos com dados dos *gliders* cobrem uma menor região espacial, no entanto, garantem uma maior amostragem na região de maior atuação da indústria de óleo e gás, com repetidos mergulhos e trajetórias nas proximidades de plataformas e rotas de navegação.

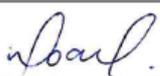
Em futuros relatórios serão gerados mapas verticais da distribuição do ruído que podem ser melhor obtidos com os *gliders*, pois estes equipamentos possuem estratégia de medição contínua desde o início do mergulho na superfície até atingir seu ponto mais profundo em torno dos 1000 m de profundidade (na região do Canal SOFAR). Os dados dos *gliders* também permitirão avaliar parâmetros como o *Sound Exposure Level* (SEL), devido a sua amostragem contínua durante os mergulhos, o que não é possível com os perfiladores.

A conclusão desta seção é que perfiladores e *gliders* tem função complementar, e que a tendência é que os dados dos *gliders* passem a ter maior significância com as sucessivas campanhas e trajetórias selecionadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

VI – ANÁLISE DOS DADOS ACÚSTICOS

VI.1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA E DISCUSSÃO

VI.1.1 – Considerações Iniciais

Nesta seção serão realizadas análises estatísticas com os dados acústicos medidos pelos perfiladores para avaliação de algumas questões que permitam um melhor entendimento a respeito da dinâmica do ruído ambiente na Bacia de Santos, visando subsidiar melhorias no processo de aquisição e análise dos dados acústicos coletados no âmbito do PMPAS. Estas questões serão abordadas com a metodologia de testes de hipóteses, que é a ferramenta mais usualmente utilizada para inferência estatística.

Inicialmente, no âmbito deste primeiro relatório, foram abordados os seguintes temas:

- Qual a relação entre as diferentes fontes de ruído (antropogênico, ambiental) e a intensidade sonora das diferentes bandas de frequência de interesse?
- Existe sazonalidade na variação do ruído ambiente nas bandas selecionadas?
- Existem diferenças nos valores de ruído médio em distintas profundidades de amostragem (níveis centrados em 50 m, 200 m e 950 m)?

Foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Wilcoxon-Mann-Whitney (Montgomery & Runger, 2003), com nível de significância de 0,05 (5%), para análise de variâncias e comparação de medianas amostrais, além do coeficiente de Spearman para análise de correlações.

A amostragem dos dados utilizados nesta análise foi feita na região do principal *cluster* de produção do Pré-sal da Bacia de Santos. Esta área, de aproximadamente 12.000 km² (quadrado de 1º de latitude por 1º de longitude), foi delimitada considerando a geração de ruídos de fontes antropogênica e ambiental bem como a disponibilidade de medições acústicas pelos perfiladores.

A Figura VI.1.1-1 mostra a área de amostragem selecionada tendo como fundo de imagem a nuvem de registros horários de embarcações e unidades marítimas da Petrobras (janela superior) e terceiros (janela inferior) no período avaliado. A

Figura VI.1.1-2 ilustra a cobertura amostral dos dados dos perfiladores PABLO para o mesmo período.

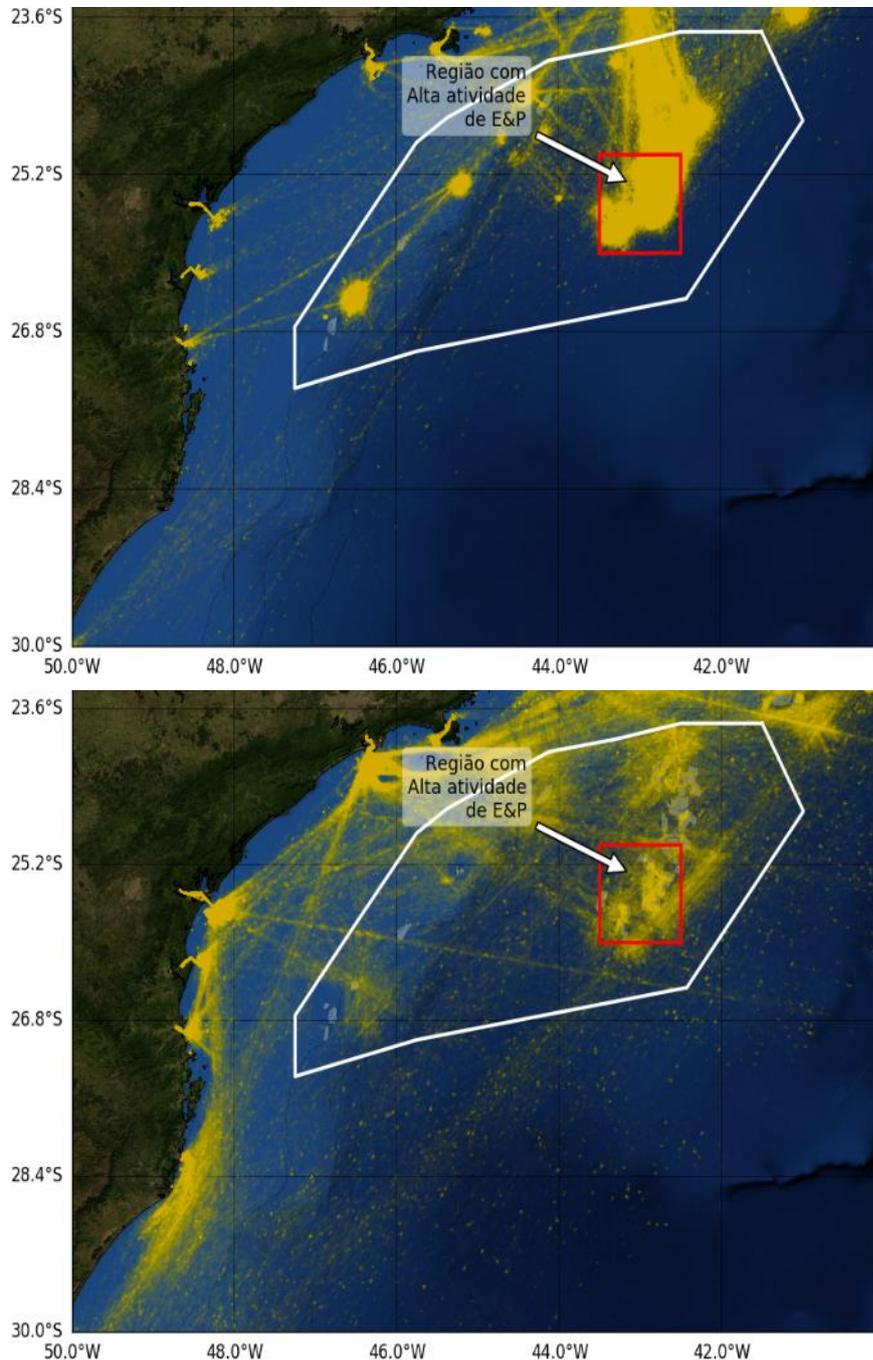


Figura VI.1.1-1 – Posições de embarcações a serviço da Petrobras (janela superior) e de terceiros (janela inferior) obtidas por AIS para o período de dezembro de 2015 a dezembro de 2016. As posições estão representadas pelos pontos amarelos e foram plotados todos os registros presentes em cada hora cheia mais ou menos uma margem de 10 minutos. O polígono em vermelho indica área de estudo selecionada, o qual abrange a área de produção do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos.

É importante ressaltar que na região avaliada existem atividades antropogênicas que não estão relacionadas às atividades exclusivas da Petrobras, o que pode ser verificado na janela inferior da Figura VI.1.1-1. Estas atividades estão em sua maioria relacionadas à navegação comercial ou operação por terceiros de blocos exploratórios.

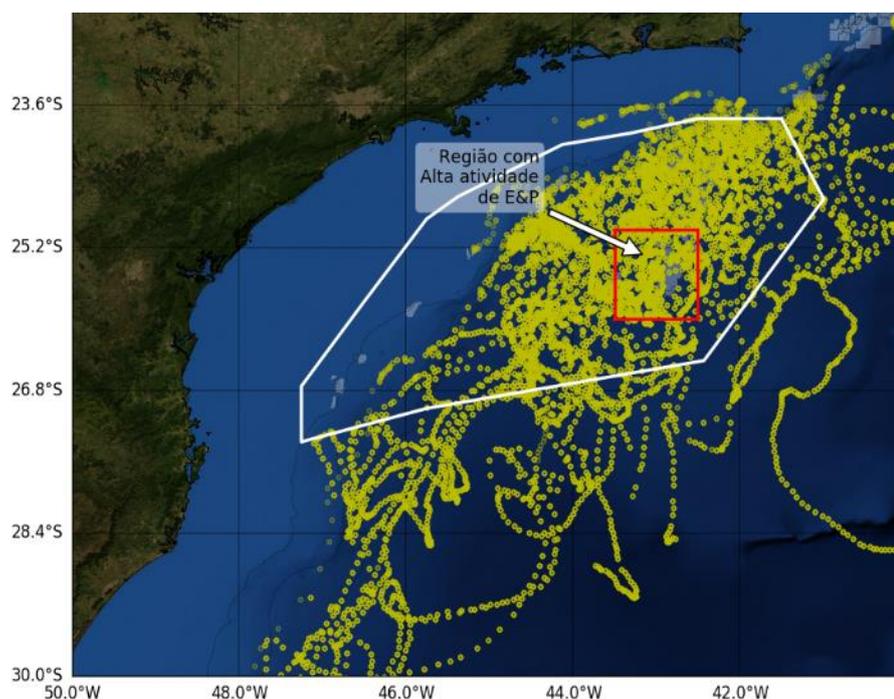


Figura VI.1.1-2 – Pontos com medições dos perfiladores PABLO para o período de dezembro de 2015 a dezembro de 2016.

O parâmetro utilizado em todas as análises foi o *Sound Pressure Level* (SPL) percentil 50% do espectro de 1/3 de oitava para as bandas de 63, 125, 500 e 1000 Hz medidos nas profundidades de 50, 200 e 950 m. Esta seleção, que está de acordo com o que preconizam os principais *guidelines* internacionais para monitoramento da paisagem acústica submarina (Dekeling et al. 2014a, b), tem por objetivo avaliar tanto a influência de fontes de ruídos gerados localmente e próximos à superfície quanto ruídos com origem remota cuja propagação em longas distâncias ocorre no canal SOFAR (*Sound Fixing and Ranging Channel*).

O conjunto de amostras existentes na região de interesse no período analisado abrange um total de 751 medições que se distribuem de maneira mais ou menos uniforme ao longo de todo o período do ano.

Em conjunto com os dados dos PABLO, para cada medição foram selecionados dados de vento e de altura significativa de onda próximos aos pontos e instantes de medição acústica, bem como o número de embarcações e unidades marítimas em um raio de 10 km.

Os dados de vento com resolução de 20 km e campos horários foram extraídos do modelo global *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2) disponibilizado pelo serviço meteorológico norte americano *National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory* (NCEP) e os dados de onda foram extraídos do modelo *Wave Watch III* deste mesmo instituto com campos de três em três horas e resolução espacial de 50 km.

O raio de influência para contagem de embarcações foi definido a partir da estimativa do nível de intensidade sonora recebido em função da distância da fonte para um sinal acústico se propagando no oceano conforme mostrado na Figura VI.1.1-3. A distância na qual um ruído com intensidade inicial igual à sensibilidade do hidrofone do PABLO se reduz a valores próximos aos níveis médios medidos foi considerada como uma distância de influência adequada. Considerando que os valores médios de SPL para o conjunto de dados utilizados na análise variaram de 83 a 98 dB dependendo da frequência, foi escolhido o valor de 10 km como raio de influência.

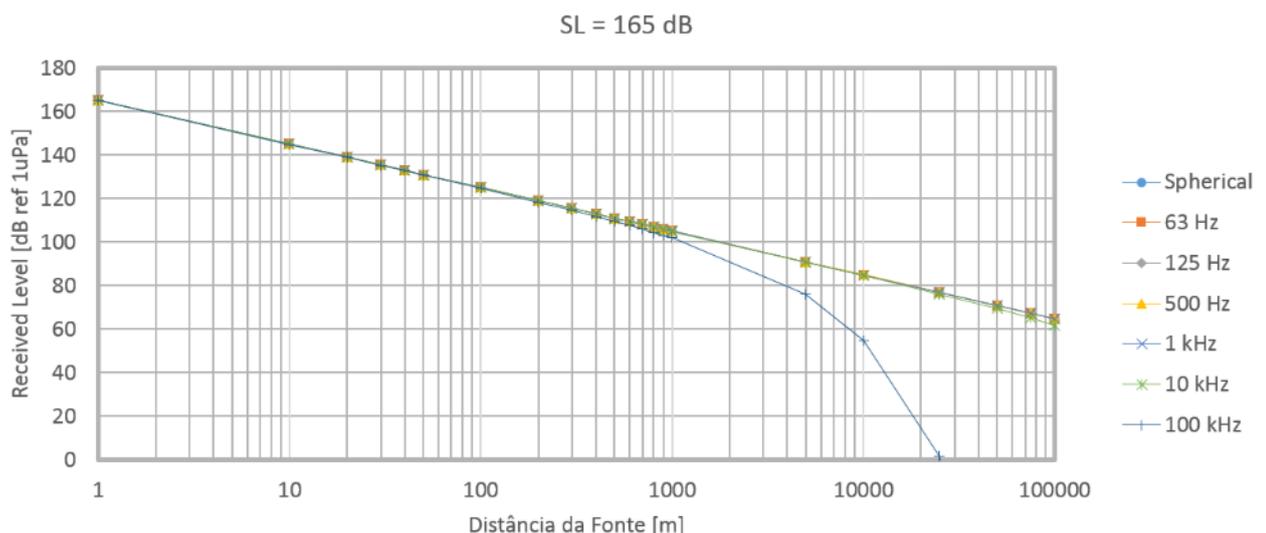


Figura VI.1.1-3 – Estimativa do nível de intensidade sonora recebida, para diferentes frequências, em função da distância da fonte para um ruído com intensidade sonora equivalente à sensibilidade do PABLO se propagando no oceano.

VI.1.2 – Considerações sobre Ruídos de Origens Antropogênica e Ambiental

Existem diversas fontes de ruído acústico no oceano (Jensen et al, 2011; Ross, 1976). Como abordado em Jensen et al (2011), as duas principais são de natureza antropogênica (geradas pelo homem) e naturais (aqui denominadas ambientais). As fontes de ruído antropogênico estão relacionadas com navegação (*shipping noise*), atividades industriais oceânicas (tais como exploração de óleo e gás, geração eólica de energia, etc.), e são dominantes na banda de 10 Hz até 300 Hz. As fontes de ruído ambiental estão relacionadas com a ação do vento soprando sobre o oceano, ondas de gravidade, chuva intensa, e outras fontes naturais, que são dominantes em frequências muito baixas (inferiores a 10 Hz) e superiores a 300 Hz.

A Figura VI.1.2-1 apresenta os níveis espectrais estimados de ruídos causados por fontes ambientais (vento segundo escala de Beaufort, chuva, etc.) e fontes antropogênicas (*shipping noise*). Estas curvas são usualmente denominadas Curvas de Wenz (*Wenz curves*) devido ao trabalho original desenvolvido por G.M Wenz em 1962 (*apud* Jensen et al., 2011). Trabalhos mais recentes (McDonald et al., 2006) indicam que as curvas associadas ao ruído devido ao tráfego de navios são limites inferiores, pois houve um acentuado aumento da navegação mundial desde a década de 1960 até os dias atuais, gerando um possível incremento do nível de ruído em até 12 dB para baixas frequências com relação as curvas originalmente estimadas.

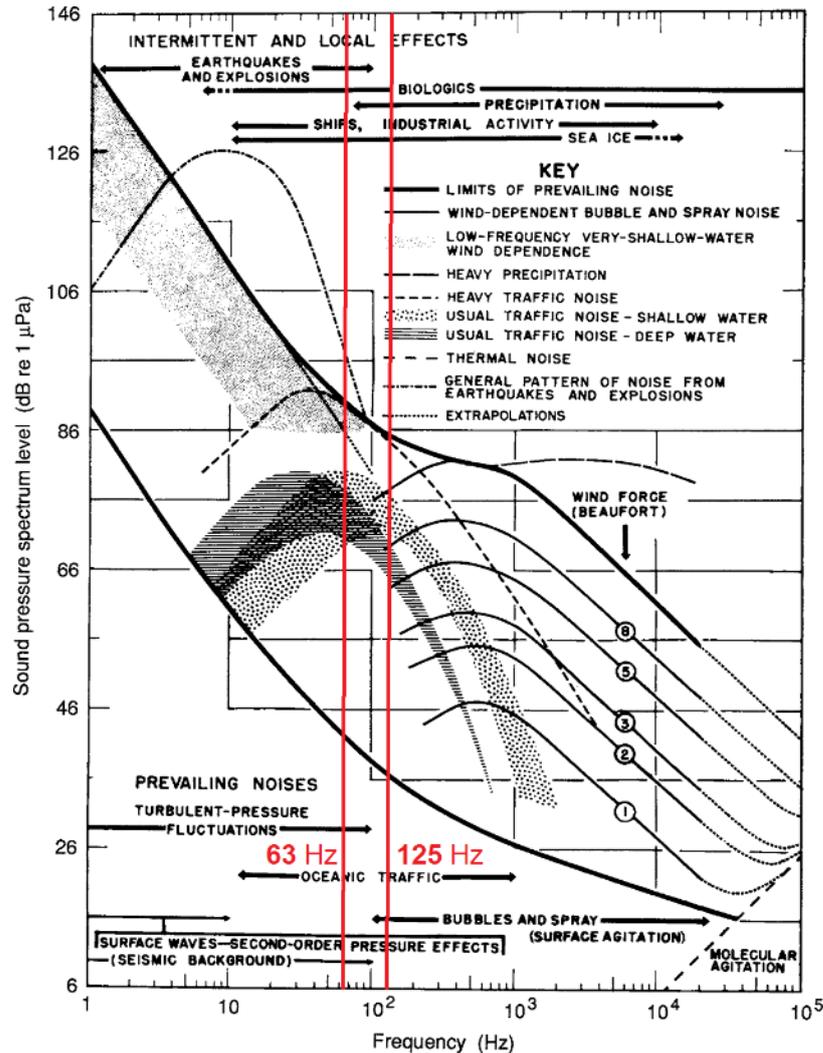


Figura VI.1.2-1 – Níveis espectrais estimados de ruído causados por fontes antropogênicas e ambientais. As linhas vermelhas indicam as frequências de 63 Hz e 125 Hz, usadas como referências para ruído antropogênico. (Fonte: Jensen et al, 2011).

Orientações bem recentes para monitoramento do ruído oceânico para a Comunidade Europeia foram propostas por um capacitado grupo de trabalho de pesquisadores em Acústica Submarina (Dekeling et al., 2014a, b). Estas referências preconizam explicitamente que o monitoramento do nível de ruído por atividades antropogênicas seja focado em medições nas bandas de 63 Hz e de 125 Hz do espectro de 1/3 de oitava. Estas frequências estão exatamente na região dominada pelo tráfego de navios e atividades industriais, conforme curvas vermelhas plotadas na Figura VI.1.1-1.

Com relação aos forçantes de ruídos ambientais na região, a Figura VI.1.2-2 e a Figura VI.1.2-3 apresentam condições de ventos na Bacia de Santos, através dos percentis de 50% (mediana) e de 90% do vento médio a 10 metros de elevação obtidas do modelo *Climate Forecast System (CFSv2)*, e a Figura VI.1.2-4 e Figura VI.1.2-5 ilustram as condições de onda (altura significativa – H_s) obtidas do modelo de ondas *Wave Watch III (WW3)*.

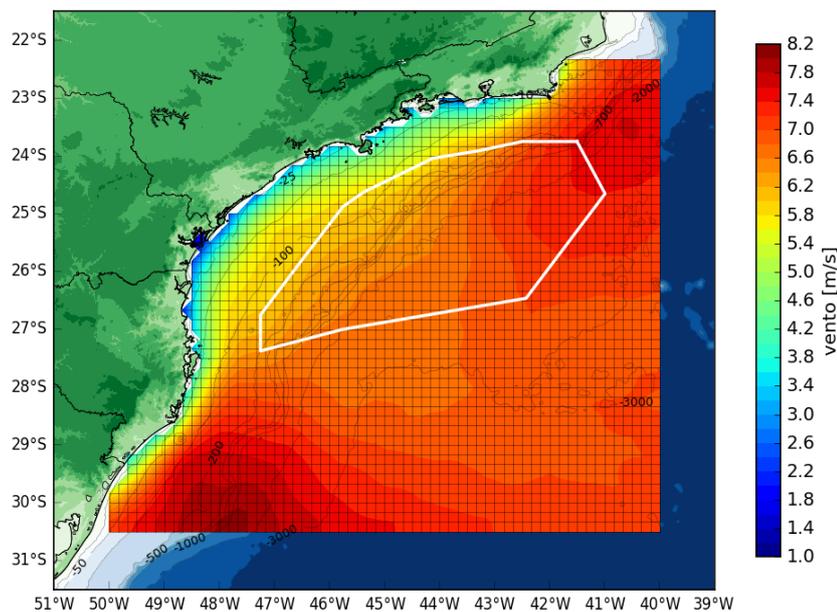


Figura VI.1.2-2 – Curvas de percentual de 50% ocorrência (mediana) de ventos na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo *Climate Forecast System (CFSv2)*.

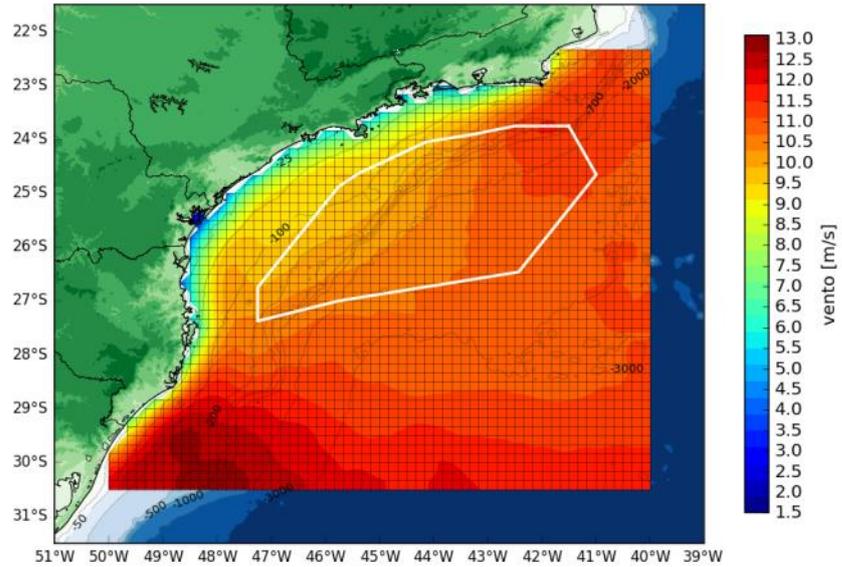


Figura VI.1.2-3 – Curvas de percentual de 90% ocorrência de ventos na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Climate Forecast System (CFSv2).

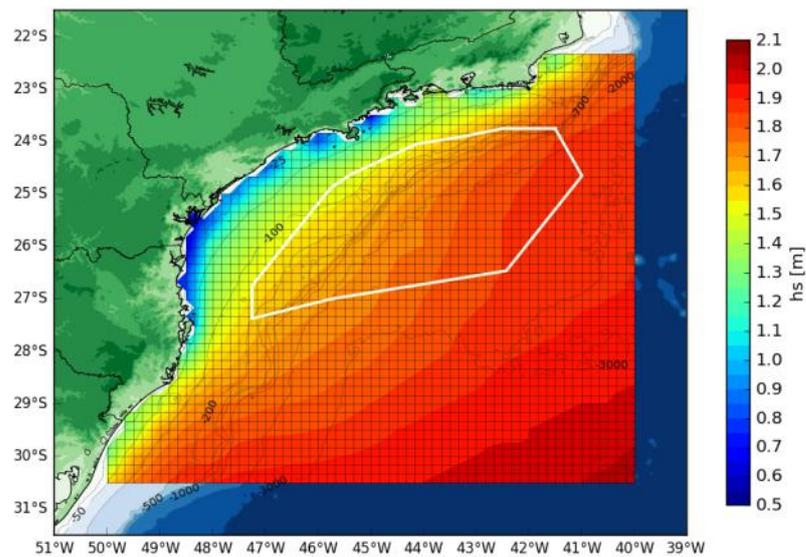


Figura VI.1.2-4 – Curvas de percentual de 50% ocorrência (mediana) de ondas na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Wave Watch III (WW3).

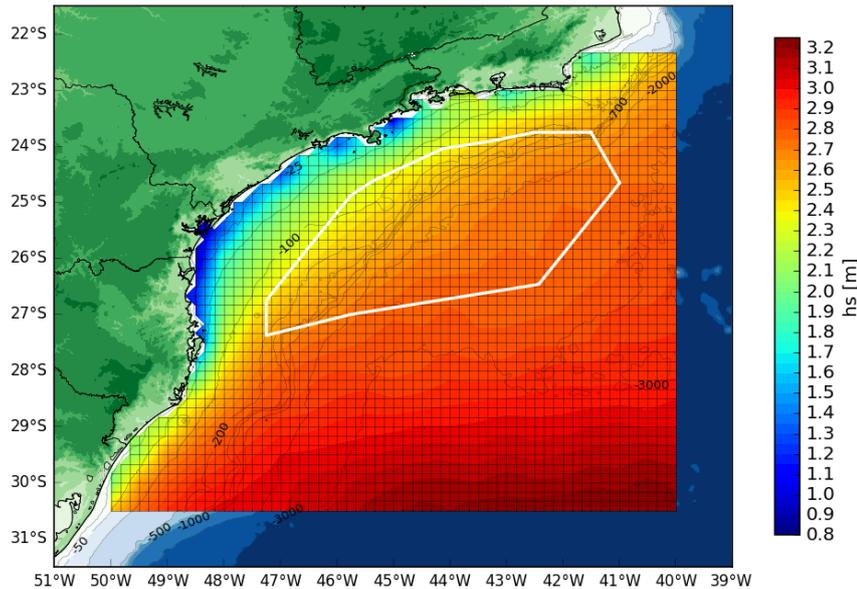


Figura VI.1.2-5 – Curvas de percentual de 90% ocorrência de ondas na região da Bacia de Santos. Fonte: modelo Wave Watch III (WW3).

Existe claramente uma intensificação do regime de ventos e ondas à medida que se desloca do Rio de Janeiro para a região do Pré-Sal da Bacia de Santos. Particularmente, as regiões Leste (E) e Leste-Sudeste (ESE) da bacia apresentam valores intensos de ventos (persistência de velocidades acima de 8 a 10 m/s), com valores da ordem de 10,2 m/s ou superiores. Desta forma, a contribuição do vento para o ruído ambiental passa a ser significativa em frequências superiores a 300 Hz na região Pré-Sal da Bacia de Santos.

As ondas também são responsáveis pela geração de ruído acústico ambiental no oceano, devido ao efeito de bolhas e mistura causados pela arrebentação das cristas na superfície (*white capping*). As figuras acima indicam estados de mar superiores a altura significativa de 2,6 metros na região Leste-Sudeste da bacia.

VI.1.3 – Análise da Influência das Variáveis Ambientais e Antropogênicas no Ruído Medido

A Figura VI.1.3-1 a seguir apresenta os gráficos de dispersão entre os dados de contagem de embarcações próximas, onda e vento com os respectivos valores de SPL nas bandas de interesse. Em cada um dos gráficos é plotada uma linha de tendência linear. Neste caso, foram utilizados dados além da área delimitada e

apresentada na Figura VI.1.1-1 com o objetivo de aumentar a amostragem e a significância das correlações calculadas.

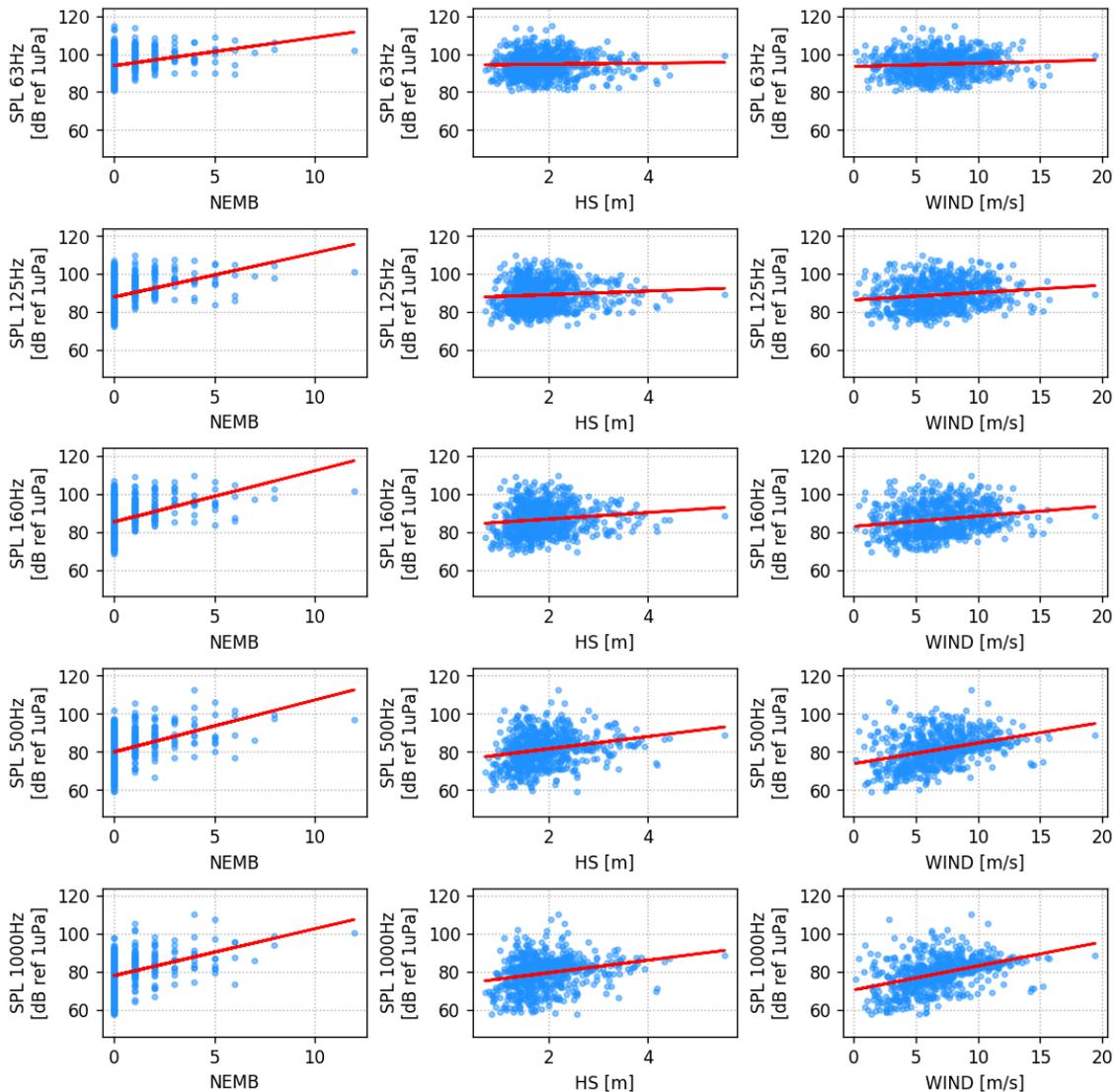


Figura VI.1.3-1 – Gráficos de dispersão dos valores de SPL em diferentes bandas do espectro de 1/3 de oitava e as variáveis número de embarcações em um raio de 10 km (NEMB), altura significativa de onda (HS) e vento (WIND).

A dispersão dos dados de onda e vento mostra que existe uma correlação crescente com o ruído conforme se aumenta a banda do espectro analisada, sendo mais significativa nas frequências de 500 e 1000 Hz.

De fato, estas contribuições de ruído por fontes ambientais afetam significativa banda do espectro de ruído oceânico, conforme discutido no item anterior. Estas fontes incluem o vento soprando sobre a superfície do mar, o movimento orbital das partículas de ondas (particularmente quando as ondas estão arrebentando, condição típica de estados de mar de vagas ou sea na Bacia de Santos) e a chuva sobre regiões oceânicas.

Já a correlação entre o número de embarcações ocorre, aparentemente nas cinco bandas do espectro avaliadas. Este ruído usualmente se concentra nas bandas de 50 a 500 Hz (Jensen et al., 2011), tem origem geralmente nos efeitos de cavitação devido ao movimento de propulsores e da vibração de motores.

A tendência geral entre o ruído e todos os fatores analisados é de crescimento. Porém, esta variação não é perfeitamente linear.

De modo a quantificar esta tendência foram calculados os coeficientes de Spearman para o conjunto integral dos dados coletados. Os resultados são apresentados na Tabela VI.1.3-1 para cada par de variáveis dependentes (SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1000 Hz) e independentes (altura significativa de onda – HS, intensidade do vento – WIND, e número de embarcações – NEMB). As correlações marcadas em vermelho foram consideradas significativas ao nível de significância de 5%.

Tabela VI.1.3-1 – Coeficientes de correlação de Spearman considerando todo o conjunto de dados amostrais (todas as regiões). Valores significativos ao nível de significância de 0,05 (5%) são marcados em vermelho.

	SPL 63Hz (dB)	SPL 125Hz (dB)	SPL 500Hz (dB)	SPL 1000Hz (dB)
HS	0,07	0,11	0,27	0,29
WIND	0,11	0,17	0,40	0,49
NEMB	0,35	0,45	0,43	0,36

É possível observar que nas frequências mais baixas de 63 e 125 Hz há uma correlação dominante entre o ruído e o número de embarcações e unidades marítimas próximas (células de cor verde), que é duas à três vezes maior do que a correlação com o vento e onda para estas mesmas bandas de frequência. A frequência de 63 Hz forneceu valor de correlação com a presença de embarcações um pouco inferior a de 125 Hz por estar associada ao ruído de navios de maior porte bruto. Nesta região predominam navios de apoio a operações *offshore*.

Já nas bandas de 500 e 1000 Hz, apesar da presença de embarcações apresentar correlação significativa (células de cor azul), existe uma correlação de mesma magnitude ou maior com as fontes de ruído ambiental (células de cor amarela), especialmente no caso da banda de 1000 Hz.

O coeficiente de correlação mais elevado calculado ocorreu entre o vento e o SPL na banda de 1000 Hz (0,49), e as menores correlações consideradas significativas ocorreram entre o vento e o ruído em 63 Hz e entre onda e o ruído em 125 Hz (0,11).

Estes resultados reforçam que o monitoramento do ruído gerado pelo tráfego marítimo e a atividade de E&P (objeto principal do PMPAS-BS) deve ser concentrado nas faixas de frequência abaixo de 300 Hz, tendo em vista que em frequências iguais ou superiores a esta a contribuição do ruído ambiental (ventos, ondas, etc.) é tão ou mais relevante do que o ruído antropogênico (Figura VI.1.2-1), tornando difícil dissociar a origem das fontes de ruído de forma assertiva.

VI.1.4 – Análise de Sazonalidade do Ruído Medido

Tendo em vista que o ruído gerado por fontes ambientais (ventos e ondas) é marcante em uma extensa faixa do espectro, e que existe uma acentuada sazonalidade nas condições meteo-oceanográficas locais, foi executado um teste de hipótese para avaliar se existe diferença no ruído médio medido ao longo das diferentes estações do ano. Em outras palavras, foi avaliado se os efeitos de sazonalidade são estatisticamente significativos.

Os dados amostrais na profundidade de 50 m foram agrupados em quatro categorias de acordo com o período do ano, resultando em amostras para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro). As médias e medianas do SPL por banda de frequência por estação do ano são apresentadas na Tabela VI.1.4-1 e na Tabela VI.1.4-2.

Tabela VI.1.4-1 – Médias amostrais dos valores de SPL por estação do ano para os dados da região de interesse em 50 m. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.

	Médias Amostrais			
	Inverno	Outono	Primavera	Verão
63 Hz	100,12	99,27	97,79	98,80
125 Hz	96,83	95,64	94,87	94,83
500 Hz	91,79	85,61	85,46	80,74
1000 Hz	88,38	82,59	81,75	78,16

Tabela VI.1.4-2 – Medianas amostrais dos valores de SPL por estação do ano para os dados da região de interesse em 50 m. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.

	Medianas Amostrais			
	Inverno	Outono	Primavera	Verão
63 Hz	99,45	98,97	98,09	98,10
125 Hz	96,27	95,05	96,01	95,39
500 Hz	91,84	84,59	85,93	81,33
1000 Hz	87,70	83,10	82,20	80,08

É possível observar que as maiores diferenças nas médias ocorrem para as bandas de 500 e 1000 Hz, indicando uma possível sazonalidade no ruído nestas faixas de frequência. Para as demais bandas as diferenças são de magnitude baixa de modo que a aparente variação entre as médias por estação do ano pode estar ocorrendo em função da própria variabilidade dos dados. O mesmo comportamento ocorre para as medianas, porém, as variações são menores porque este parâmetro estatístico é menos sensível a valores extremos do que a média.

Para identificar se as diferenças observadas nas médias e medianas sazonais são significativas foi executada uma análise de variâncias neste conjunto amostral. Como a distribuição dos valores amostrais não se ajusta perfeitamente à distribuição normal, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para dar mais robustez aos resultados.

As conclusões obtidas a partir dos resultados do teste são apresentadas de forma resumida na Tabela VI.1.4-3.

Tabela VI.1.4-3 – Resultados da análise de variância pelo teste Kruskal-Wallis com nível de significância de 0,05 (5%) para identificação de diferenças sazonais. Os valores de p foram truncados a partir da quarta casa decimal.

	Kruskal-Wallis (não paramétrico)	
	valor p	Existe diferença sazonal?
63 Hz	0,091	Não
125 Hz	0,153	Não
500 Hz	0,000	Sim
1000 Hz	0,000	Sim

Para as frequências de 63 e 125 Hz não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre as medianas amostrais para as distintas estações do ano.

Já para as frequências de 500 e 1000 Hz, a existência de diferenças significativas nas medianas amostrais é evidenciada pelo baixo valor da estatística p dos testes. Isso implica em uma alta probabilidade de que exista sazonalidade para o ruído nestas duas bandas de frequência, como resposta ao regime sazonal de vento e onda que existe na Bacia de Santos.

Desta maneira, verifica-se que para as bandas de baixa frequência de maior interesse para o PMPAS-BS (63 e 125 Hz) não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre as distintas estações do ano.

VI.1.5 – Análise do Ruído em Distintas Profundidades de Interesse

A Figura VI.1.5-1 mostrada a seguir apresenta a distribuição dos valores de SPL em cada banda de frequência de interesse por profundidade na forma de gráficos do tipo *box-plot*. Nesta forma de apresentação os percentis 25, 50 e 75% das distribuições são representados pelas linhas horizontais do box, os valores mínimos e máximos pelas linhas verticais abaixo e acima do box, respectivamente, e os valores com mais ou menos 1,5 vezes o intervalo inter-quartil (que corresponde à altura total do box) são apresentados com círculos pretos. Os círculos azuis distribuídos no gráfico correspondem a cada um dos valores amostrais.

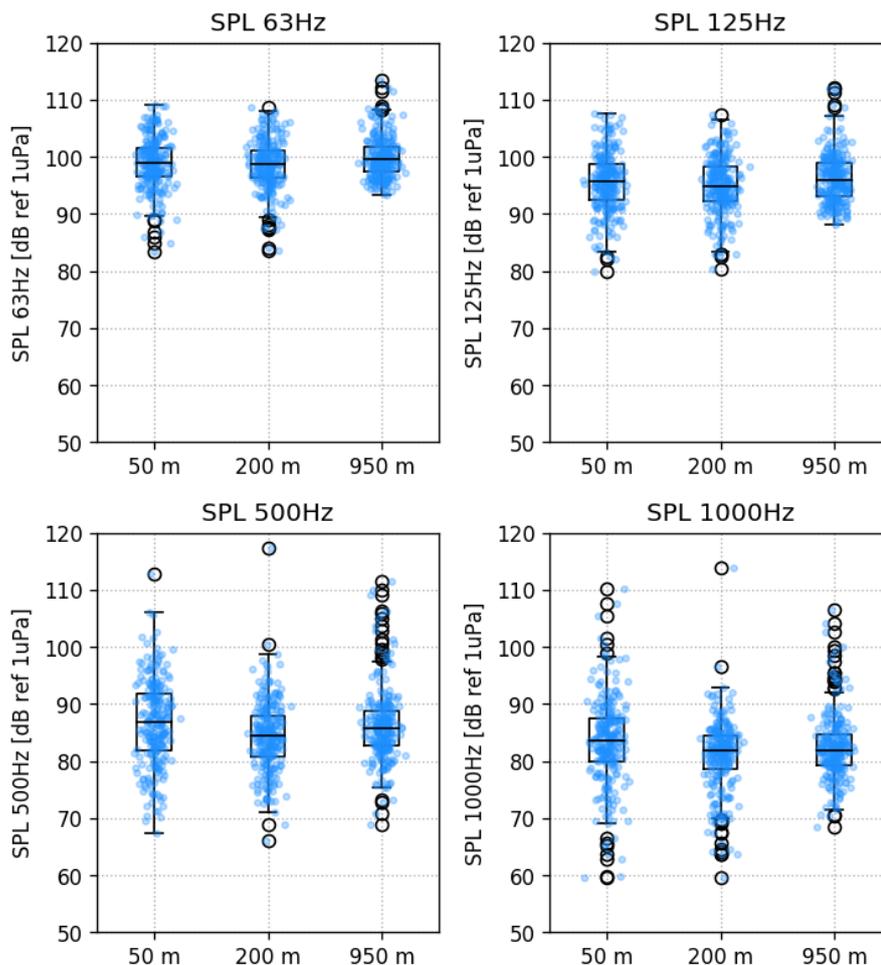


Figura VI.1.5-1 – Box-plots dos valores de SPL para cada banda de interesse do espectro de 1/3 de oitava por profundidade analisada.

Os gráficos mostram que o ruído nas frequências de 63 e 125 Hz apresentam uma dispersão menor do que aquele nas frequências de 500 e 1000 Hz. Os valores das medianas nestas duas primeiras bandas são também superiores àqueles das frequências mais altas.

O valor das médias e medianas do SPL são detalhados na Tabela VI.1.5-1 e na Tabela VI.1.5-2 a seguir.

Tabela VI.1.5-1 – Médias amostrais dos valores de SPL por profundidade de interesse. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.

	Médias Amostrais		
	50 m	200 m	950 m
63 Hz	98,97	98,77	99,93
125 Hz	95,62	95,09	96,26
500 Hz	86,69	84,29	86,14
1000 Hz	83,39	81,02	82,41

Tabela VI.1.5-2 – Medianas amostrais dos valores de SPL por profundidade de interesse. O intervalo de tamanho das barras está vinculado ao menor e maior valor da tabela.

	Medianas Amostrais		
	50 m	200 m	950 m
63 Hz	98,93	98,81	99,48
125 Hz	95,75	94,89	95,85
500 Hz	86,91	84,41	85,76
1000 Hz	83,53	81,83	81,96

Para as frequências de 63 e 125 Hz as médias e medianas são ligeiramente diferentes entre as distintas profundidades, com diferenças inferiores a 2 dB. Já para as frequências de 500 e 1000 Hz, as diferenças são um pouco maiores, com variações inferiores a 3 dB.

Para confirmar se estas diferenças possuem significância estatística e não são produto apenas da variabilidade intrínseca do ruído ambiente, sobretudo para as frequências de 63 e 125 Hz em que a diferença é menor, foi executado o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para diagnóstico de grupos estatísticos homogêneos. Os resultados do teste são sintetizados na Tabela VI.1.5-3.

Tabela VI.1.5-3 – Resultados do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para análise de grupos homogêneos entre os valores de SPL (dB ref 1 μ Pa) nas três faixas de profundidades por frequência de interesse ao nível de significância de 0,05.

	Wilcoxon_Mann-Whitney		
	50 m	200 m	950 m
63 Hz	a	a	b
125 Hz	c	d	c
500 Hz	e	f	e
1000 Hz	g	h	h

O teste foi capaz de identificar grupos distintos para o ruído ambiente em todas as quatro frequências de interesse. Para a frequência de 63 Hz as medianas dos valores nas profundidades de 50 e 200 m (células de cor amarela) podem ser consideradas estatisticamente equivalentes e inferiores àquela da profundidade de 950 m (célula de cor verde), indicando que podem existir contribuições de fontes remotas ao ruído local nesta banda. De fato, o ruído em baixas frequências se propaga por distância superior ao ruído de alta frequência (Ross, 1976), de modo que é esperada uma diferença maior entre o SPL no canal SOFAR e nas camadas mais superficiais nestas bandas.

Já para as frequências de 125 e 500 Hz, o ruído em 200 m (células verdes) é estatisticamente inferior àqueles nas profundidades de 50 e 950 m (células amarelas). Isto pode indicar que nas frequências de 125 e 500 Hz, as contribuições locais do vento e ondas (menores em 125 Hz do que em 500 Hz) e a presença de embarcações na região de amostragem se tornam próximas àquelas de origem remota, dada a equivalência estatística entre os valores medianos na camada mais superficial e do canal SOFAR.

Finalmente, para a frequência de 1000 Hz, as medianas dos valores de SPL em 200 e 950 m (células verdes) são estatisticamente equivalentes e inferiores ao da camada mais superficial (célula amarela), onde a influência predominante do ruído ambiental (vento) é mais marcante nesta banda do espectro.

VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresentou resultados obtidos com o monitoramento móvel usando *gliders* e perfiladores no período de novembro de 2015 até o final de dezembro de 2016. Foram apresentadas as metodologias para a coleta dos dados e para o seu processamento, incluindo a verificação da qualidade dos parâmetros obtidos. Os resultados apresentados devem ser considerados como preliminares até que se tenham dados suficientes para permitir uma validação adequada dos procedimentos desenvolvidos.

A partir dos parâmetros considerados válidos, obtidos com a remoção de ruídos próprios e de *outliers*, foram criados mapas geográficos com resolução de 1/6 de grau contendo a mediana dos níveis de pressão sonora (SPL) que caem em um mesmo quadrado, para as faixas de profundidade de 0-100m, 150-300m e 900-1100m.

Os dados dos perfiladores e dos *gliders* foram apresentados separadamente considerando todo o período de abrangência deste relatório, como forma de permitir uma avaliação inicial das feições sonoras identificadas pelos distintos equipamentos. Em futuros relatórios será feita a integração dos dados das diversas componentes de medição acústica.

Os valores do percentil 50% do SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1000 Hz do espectro de 1/3 de oitava foram avaliados em conjunto com as condições ambientais (vento e onda) e com o número de embarcações próximas de cada medição acústica. Estes dados foram avaliados quanto à: correlação entre as variáveis ambientais, antropogênicas e o ruído nas diferentes bandas; e a sazonalidade do ruído ambiente. Foram utilizadas ferramentas de análise estatística, tais como o coeficiente de correlação de Spearman e testes de hipótese apropriados.

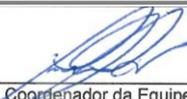
Os principais resultados das análises foram:

- A correlação entre o ruído ambiente e o número de embarcações nas proximidades das medições ocorrem em todas as bandas avaliadas, sendo maior nas frequências de 63 e 125 Hz. Para as frequências de 500 e principalmente 1000 Hz, a correlação com o vento é alta, de modo que o monitoramento do ruído nestas últimas bandas apresenta contribuições




Coordenador da Equipe




Coordenador da Equipe

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

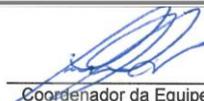
significativas tanto de fontes antropogênicas quanto de fontes ambientais, tornando difícil a dissociação entre as mesmas. Estes resultados estão de acordo com as recomendações dos *guidelines* internacionais para monitoramento da paisagem acústica e com a literatura científica que recomendam o monitoramento do ruído antropogênico nas bandas de 63 e 125 Hz (Dekeling et al., 2014);

- A análise de variâncias para os valores de ruído agrupados em diferentes estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) aponta a existência de uma sazonalidade marcante nas frequências de 500 e 1000 Hz, que respondem ao comportamento das condições meteorológicas na Bacia de Santos;
- Os valores medianos do ruído ambiente nas três profundidades de interesse foram objeto de um teste de hipótese revelando que existe uma possível influência de fontes remotas de ruído nas bandas de 63, 125 e 500 Hz, de modo que a profundidade 200 m apresentou valores inferiores àqueles em 50 m e na região do canal SOFAR (950 m). Para a banda de 1000 Hz, a influência do vento local sobre os níveis de intensidade sonora tornou-se evidente, de modo que os valores do SPL em 50 m são estatisticamente superiores àqueles em 200 e 950 m.

A principal conclusão das análises estatísticas realizadas foi corroborar o que está preconizado nos *guidelines* europeus de monitoramento acústico (Dekeling et al, 2014), ou seja, o levantamento da paisagem acústica submarina na Bacia de Santos (projeto PMPAS-BS) deve priorizar as medições nas bandas de frequência de 63 Hz e 125 Hz do espectro de 1/3 de oitava, onde estão concentrados os maiores efeitos da contribuição antropogênica ao ruído medido. Isto vem ao encontro do apresentado em livros de acústica submarina (Jensen et al, 2011; Ross, 1976) que enfatizam que a principal contribuição ao ruído de origem antropogênica no oceano está centrada na banda de 10 Hz até 300 Hz. Bandas de frequência superiores a 300 Hz possuem contribuições de outras fontes ambientais de ruído (ventos, ondas, chuva, etc.) que dificultam a individualização das respectivas contribuições. Para as bandas de baixa frequência, impactadas pelos ruídos advindos da atividade de E&P e navegação, não foram identificadas diferenças sazonais com significância estatística.


Coordenador da Equipe
Coordenador da Equipe1º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2017

É importante ressaltar o curto período de tempo para que a equipe envolvida no processamento e análise destes dados acústicos fosse capaz de auferir conhecimentos e desenvolver metodologias para processar dados dos diversos equipamentos e sensores contemplados pelo escopo do PMPAS-BS. A equipe de processamento acústico do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) é a mais capacitada no Brasil em processamento de dados acústicos, e mesmo esta experiente equipe teve que passar por uma curva de aprendizado para qualificar os distintos dados medidos pelos diversos equipamentos. Com o gradual conhecimento auferido, espera-se que os próximos relatórios técnicos possam se aprofundar nos diversos aspectos envolvidos com o cenário acústico submarino da Bacia de Santos. Este relatório técnico deve ser visto como o primeiro degrau de uma escada que será subida com o esforço de toda uma extensa equipe de profissionais responsáveis pela aquisição, processamento e análise destes dados.


Coordenador da Equipe
Coordenador da Equipe1º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2017

VIII – BIBLIOGRAFIA

ANSI, 2004. Specification for Octave-Band and Fractional Octave-Band Analog and Digital Filters, American National Standards and Information (ANSI), Standard ANSI S1.11-2004.

CROUX, C. & DEHON, C., 2013. Robust Estimation of Location and Scale, in **Encyclopedia of Environmetrics**.

Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A, Andersson, M.H., André, 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., Wittekind, D., Young, J.V., 2014, Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part I: Executive Summary, JRC Scientific and Policy Report.

Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A, Andersson, M.H., André, 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., Wittekind, D., Young, J.V., 2014, Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part II: Monitoring Guidance Specifications, JRC Scientific and Policy Report.

DOS SANTOS, F.A., SÃO THIAGO, P.M., DE OLIVEIRA, A.L.S, BARMAK, R., LIMA, J.A.M, DE ALMEIDA, F.G. & PAULA, T.P, 2016a. A Análise do Ruído Interno e Hidrodinâmico (flow-noise) nos Registros Acústicos Coletados por Gliders Submarinos, **XII ETAS**, Rio de Janeiro – Brasil.

IPQM. 2017a., William Soares Filho, Relatório Técnico – **Qualificação de Dados – PABLO**, IPqM-RT-A2-002.

ISO 1996-1:2003(E), Acoustics – Description, Measurement, and Assessment of Environmental Noise – Part 1. Basic Quantities and Assessment Procedures, **International Organization for Standardization**, Geneva, 2003.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

Jensen, F.B, Kuperman, W.A., Porter, M.B., Schmidt, H., 2011, Computational Ocean Acoustics. Springer, 793 pags.

McDonald, M., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M., 2006, Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. Journal of Acoustical Society of America. Vol. 120 (2), pag 711-718.

Montgomery, D. C., Runger, G. C., 2003, "Applied Statistics And Probability for Engineers. Third Edition", John Wiley & Sons, Inc.

NOAA, 2013, "Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammals", Technical Report, 83 pags.

PROOCEANO, 2017a. Relatório Técnico – **Monitoramento Móvel por Meio de Gliders e Perfiladores Acústicos**, Rev.00.

PROOCEANO, 2017b. Relatório Técnico – Análise de Flow Noise nos Dados Acústicos Coletados por Gliders, Rev.01.

ROCHINHA, A.C.B. 2015. Análise de dados oceanográficos oriundos do Projeto Azul obtidos em uma radial no norte da Bacia de Santos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

Ross, D., 1976, Mechanics of Underwater Noise. Pergamon Press, 382 pags.

Soares Filho, W., Barreira, L.M., Lima, J.A.M., Paula, T.P., Almeida, F.G. 2017. Evaluation of Data Measured by Acoustic Profilers on the Southeast Brazilian Continental Slope. Proceedings of the Rio Acoustics 2017 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium, Rio de Janeiro, Brasil. 4 pags.

Yau, C., 2013, "R Tutorial with Bayesian Statistics. Using OpenBUGS". E-book digital. Disponível em: <http://www.r-tutor.com>.




Coordenador da Equipe



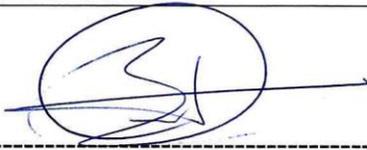

Técnico Responsável

1º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2017

IX – EQUIPE TÉCNICA

IX.1 – EQUIPE DO INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA

Profissional	Leonardo Martins Barreira
Empresa	IPqM
Registro no Conselho de Classe	NA
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	*
Responsável pela(s) Seção(ões)	II, III, IV, V e VII
Assinatura	

* A inscrição no CTF/AIDA, no caso de pessoas físicas, é limitada na forma do seu art. 22 e Anexo II da IN nº 10/2013. Considerando que a profissão Hidrógrafo não consta nos termos dessa IN, não há obrigatoriedade ou exigência de inscrição do Responsável Técnico acima no CTF/AIDA.

Profissional	William Soares Filho
Empresa	IPqM
Registro no Conselho de Classe	CREA-RJ – 50,138-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	355491
Responsável pela(s) Seção(ões)	II, III, IV, V e VII
Assinatura	

IX.2 – EQUIPE DA PETROBRAS

Profissional	Fernando Gonçalves de Almeida
Unidade de Negócios	UO-BS/SMS
Registro no Conselho de Classe	NA
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	*
Responsável pela(s) Seção(ões)	I e VII
Assinatura	

Profissional	Ângela Spengler
Unidade de Negócios	UO-BS/SMS/MA
Registro no Conselho de Classe	NA
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	*
Responsável pela(s) Seção(ões)	I e VII
Assinatura	

* A inscrição no CTF/AIDA, no caso de pessoas físicas, é limitada na forma do seu art. 22 e Anexo II da IN nº 10/2013. Considerando que a profissão Oceanógrafo não consta nos termos dessa IN, não há obrigatoriedade ou exigência de inscrição do Responsável Técnico acima no CTF/AIDA.

Profissional	José Antonio Moreira Lima
Unidade de Negócios	CENPES/PDDP/TEO
Registro no Conselho de Classe	CREA/BA 16.501-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6963083
Responsável pela(s) Seção(ões)	VI e VII
Assinatura	

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