

Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico

José Antonio Moreira Lima^{1*}, Thiago Pires de Paula², William Soares Filho³, Angela Spengler⁴,
Fernando Gonçalves de Almeida⁴, Diogo Peregrino Correa Pereira⁴, Cátia Galotta³
Carlos Corrêa Junior³, Cristiani Perrini Bodart³, Marcela Stein³

¹ Laboratório de Mecânica Computacional e Sistemas Offshore (LAMCSO), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil. (*Autor correspondente: jamlima@lamcsu.coppe.ufrj.br)

² Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez Mello (CENPES), Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Brasil.

³ Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Marinha do Brasil (MB), Brasil.

⁴ Licenciamento e Conformidade Ambiental, Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 08/12/2021 – Revisado em: 11/03/2022 – Aceito em: 03/04/2022

RESUMO

Este artigo apresenta o Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), exigência no processo de licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, dos projetos de produção e escoamento de petróleo e gás da Bacia de Santos. O projeto tem por objetivos principais quantificar e caracterizar os ruídos hidroacústicos de origem antropogênica associados às atividades de Exploração e Produção (E&P) da PETROBRAS na região. O escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS compreende três componentes principais: monitoramento móvel, realizado através de equipamentos autônomos como *gliders* e perfiladores acústicos de livre deriva; monitoramento fixo costeiro, realizado através de observatórios submarinos (OS) rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos; e monitoramento fixo oceânico, realizado através de linhas de fundeio instrumentadas (LFI) próximas a unidades de produção, rotas de navegação e em áreas com menor intensidade de atividades de E&P. Foi incluída também uma componente de modelagem numérica do ruído acústico submarino, muito utilizada em diversos países do mundo, e que após validada, permitirá complementar e substituir parte do esforço amostral. O PMPAS-BS tem uma magnitude de medições acústicas oceânicas que é pioneira na América Latina e com poucos similares no mundo, sendo feito o monitoramento de uma extensa área (36.000 km²) por meio de diversos equipamentos com distintos métodos e sensores de aquisição acústica. Seus resultados permitem estabelecer os atuais níveis de ruído acústico submarino em extensa região do Oceano Atlântico Sul, tanto em regiões prístinas como impactadas por atividades antropogênicas (navegação e indústria de óleo e gás).

Palavras-Chaves: Acústica submarina, Monitoramento acústico passivo, Medições acústica, Modelagem de ruídos acústicos.

Project of Underwater Soundscape Monitoring of Santos Basin (PMPAS-BS): a Brazilian initiative on oceanic noise monitoring program

ABSTRACT

This paper describes the Project of Underwater Soundscape Monitoring of Santos Basin (PMPAS-BS), a requirement in the federal environmental licensing process conducted by IBAMA for oil and gas production systems operating in Santos Basin. The main objective of the project is to quantify and evaluate the hydroacoustic noise of anthropogenic origin associated with exploration and production (E&P) activities of the Brazilian state company PETROBRAS in the region. The project has three components: mobile monitoring based on gliders and acoustic drifting profilers, shallow water monitoring based on acoustic measurements at coastal stations nearby marine traffic associated with E&P activity in Santos Basin, and fixed oceanic monitoring based on deep water mooring lines equipped with passive autonomous acoustic recorders near production units, navigation routes and areas with lower intensity of E&P activities (pristine locations). A component of numerical modeling of underwater acoustic noise was also included. This modeling is an approach commonly used in ocean noise monitoring programs worldwide and reduces the need for future extensive measurements.

Lima, J. A. M., Paula, T. P., Soares Filho, W., Spengler, A., Almeida, F. G., Pereira, D. P. C., Galotta, C., Corrêa Jr, C., Bodart, C. P., Stein, M. (2022). Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. v.10, n.2, p.95-119.



The PMPAS-BS has a magnitude of underwater acoustic noise measurements that is unique in Latin America and with few similar in the world, covering a region of more than 36,000 km² using several equipment with different methods and sensors for acoustic acquisition. Its results provide current levels of underwater acoustic noise in a very extensive region of the western South Atlantic Ocean, both in pristine regions and areas affected by anthropogenic activities (navigation and oil&gas production).

Keywords: Underwater acoustics, Passive acoustic monitoring, Acoustic measurements, Acoustic propagation modeling

1. Introdução

Este artigo aborda o ruído acústico no meio ambiente marinho, um dos temas atuais de pesquisa sobre poluição sonora de origem antropogênica (provocada por tráfego marítimo, atividades industriais, etc) com impactos ambientais. O som propaga-se no oceano ou atmosfera através de ondas de pressão (Urlick, 1983), que são captadas pelos sistemas auditivos da biota. O impacto no meio ambiente oceânico do incremento de ruído causa efeitos negativos na biota marinha (Cockrem, 2014). O monitoramento acústico passivo é a disciplina voltada para a medição do ruído acústico provocado por suas diversas fontes antropogênicas, ambientais e biológicas. Nas últimas décadas, os estudos na área de monitoramento passivo acústico submarino têm crescido significativamente e se tornado mais difundidos, porém essa área tem sido investigada desde o século XV. Em 1490, o cientista Leonardo Da Vinci, relatou em suas anotações o que seria o primeiro método de escuta submarina passiva (Urlick, 1983). Três séculos após Da Vinci, os cientistas Jean-Daniel Colladon e Charles-François Sturm realizaram a primeira tentativa registrada para determinar a velocidade do som na água em 1827 no Lake Geneva. Eles montaram um experimento para estimar a velocidade do som de um sino submerso naquele meio (Medwin & Clay, 1998). No entanto, o início mais efetivo de pesquisas nessa área ocorreu no Século XX, período marcado pelo naufrágio do navio Titanic, duas guerras mundiais e a invenção do computador. Assim, devido às necessidades relacionadas à segurança e com o aumento da capacidade de cálculos matemáticos complexos, as pesquisas e desenvolvimento em Acústica Submarina ganharam força e começaram a ser incentivadas.

Estudos com mais recursos experimentais sobre acústica submarina tiveram ímpeto na década de 60, com o advento da Guerra Fria. Como exemplo, citamos o trabalho pioneiro de Wenz (1962) do *U.S. Navy Electronics Laboratory* que avaliou o ambiente acústico oceânico usando técnicas de análise espectral e investigação de suas diversas fontes, incluindo o tráfego marítimo. Além de diferenças quanto a sua natureza e origem, as variadas fontes de ruído que compõem a paisagem sonora submarina possuem assinaturas acústicas típicas, o que permite identificar, em alguns casos, a contribuição de cada tipo de fonte ao ruído ambiente. As curvas de Wenz foram revisadas e testadas empiricamente por décadas, incluindo a contribuição de diversos autores (Hildebrand, 2009; McDonald, Hildebrand, & Wiggins, 2006). Estas curvas levam em consideração especificamente a contribuição global de variadas fontes sonoras, fornecendo uma estimativa da distribuição em frequência e da contribuição de energia para o nível de ruído ambiente oceânico. Como as fontes de baixa frequência experimentam pouca atenuação, elas têm um potencial significativo para propagação de longo alcance. O campo de ruído ambiente de baixa frequência, portanto, pode ser um somatório de ruído em toda uma bacia oceânica (Hildebrand, 2009).

Southworth (1969) foi um dos primeiros a utilizar o termo paisagem acústica. O autor abordou a percepção das pessoas em relação aos sons produzidos no ambiente urbano e as atividades que ocorrem dentro das cidades. Mais tarde, a criação do *World Soundscape Project* (WSP), liderado por Raymond Murray Schafer, da *Simon Fraser University*, no Canadá, surgiu como uma tentativa de chamar a atenção para o aumento da poluição sonora em Vancouver. Como resultado de estudos feitos pelo WSP, Schafer (1977) reconheceu que os sons são propriedades ecológicas da paisagem, afirmando que as características acústicas de uma área podem refletir seus processos naturais. Krause (1987) dirigiu seu olhar para a descrição da complexa combinação dos sons biológicos com os outros sons do ambiente, introduzindo o termo “biofonia” para retratar os sons oriundos de organismos e “geofonia” para os sons de origem não biológica. Pijanowski et al. (2011) introduziram o termo “antropofonia” referindo-se aos sons de origem antropogênica. Desta forma,

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

Em particular, os Estados Unidos da América (EUA) e a Comunidade Europeia possuem grandes pesquisas nessa área com avanços significativos. Nos EUA, a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) possui um programa de acústica submarina com diversos projetos na área de paisagem acústica submarina, desde modelagem da PAS e diversidade de mamíferos marinhos ao monitoramento acústico passivo contínuo e controle do ruído submarino. Além disso, como fruto desses projetos, a NOAA publicou o “*Ocean Noise Strategy Roadmap*”, documento que reúne informações significativas sobre os efeitos do ruído antropogênico na vida marinha (Gedamke et al., 2016). Já a Comunidade Europeia (*European Commission, 2010*), estabeleceu uma lista de 11 itens (*Commission Decision 2010/477/EU*) que caracterizam a situação (status) do ambiente. Nessa publicação, dois indicadores foram descritos para a área de ruído e energia acústica: sons impulsivos de baixa e média frequência; e sons contínuos em baixas frequências. Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Tal documento é dividido em três partes: sumário executivo e recomendações; especificações do guia de monitoramento; e anexos/fundamentos teóricos (Dekeling et al., 2014a,b,c). As orientações europeias enfatizam o monitoramento do ruído submarino nas bandas de frequência de 63 Hz e 125 Hz do espectro de 1/3 de oitava, pois representam de forma inequívoca a contribuição de fontes antropogênicas (tráfego leve e pesado de embarcações e outras atividades industriais).

É importante citar um estudo de monitoramento da paisagem acústica específico para a atividade de exploração offshore de óleo e gás que foi realizado no *Chukchi Sea*, Alasca, por sucessivos anos (Delarue et al., 2015), denominado *Chukchi Sea Environmental Science Program* (CSESP), inicialmente executado pelo *Bioacoustics Research Program* (BRP) da *Cornell University* e posteriormente pela empresa canadense *JASCO Applied Sciences Ltd*. Este estudo tinha uma visão integrada de estudar a paisagem acústica submarina e vocalizações da abundante biota de cetáceos nesta região oceânica.

No Brasil, os estudos de acústica submarina sempre tiveram forte contribuição de instituições militares de pesquisa, tais como o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) e Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). A Marinha tem o histórico de enviar oficiais para serem capacitados em centros no exterior, tais como o *Underwater Sound Laboratory* da *US Navy*, que traziam este conhecimento para uso militar e posterior disseminação na comunidade científica através de parcerias e cursos com universidades brasileiras. É destacada a atuação de Parente Ribeiro (1982, 1986), um dos mais produtivos pesquisadores e orientador de dissertações em acústica submarina no nosso país, ainda em plena atuação.

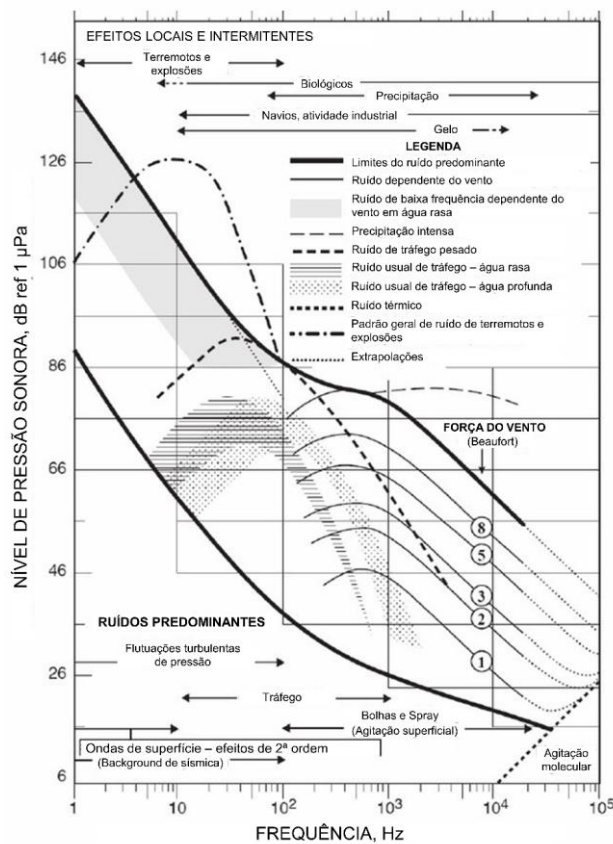
Este artigo descreve o planejamento, execução e resultados do primeiro ciclo do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), que foi concebido a partir de uma demanda do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) à PETROBRAS para cumprimento de condicionante ambiental no processo de licenciamento ambiental federal dos sistemas de produção do Pré-Sal da Bacia de Santos, com o objetivo de caracterizar a paisagem acústica submarina e monitorar eventuais impactos decorrentes dos incrementos das atividades antropogênicas da empresa na região. Nas próximas seções são apresentadas algumas considerações adicionais sobre Paisagem

Acústica Submarina e Planejamento do PMPAS-BS, os Equipamentos e Métodos usados para medições e modelagem acústica, os Resultados e Discussão das suas diversas componentes, e resume com Conclusões baseadas nos dados e resultados auferidos.

2. Considerações sobre Paisagem Acústica Submarina e Planejamento do PMPAS-BS

Conforme abordado na introdução, as curvas propostas por Wenz (1962) com os níveis de pressão sonora distribuídos em diversas bandas de frequência foram revisadas e aprimoradas por diversos autores. A Figura 1 apresenta uma atualização das curvas de Wenz. Observa-se que a maior parte do ruído antropogênico se concentra na faixa do espectro inferior a 1000 Hz, com maior concentração de energia próximo às bandas de 63 e 125 Hz. O ruído geofônico associado a onda, vento e precipitações se concentra na banda de 500 Hz a 10 kHz, enquanto os ruídos de origem biológica podem ser encontrados em uma faixa bastante ampla do espectro. Por este motivo, os níveis de intensidade sonora (dB ref 1 μ Pa²) nas bandas de 63 e 125 Hz do espectro de 1/3 de oitava são utilizados para monitorar tendências relacionadas ao ruído antropogênico, de acordo com as recomendações das diretrizes internacionais para monitoramento da paisagem acústica (Dekeling et al., 2014a; Jensen et al., 2011). Já as bandas de 500 e 1.000 Hz ajudam a caracterizar a influência do ruído geofônico pois tendem a ser mais impactadas por estas fontes (Jensen et al., 2011; Ross, 1976).

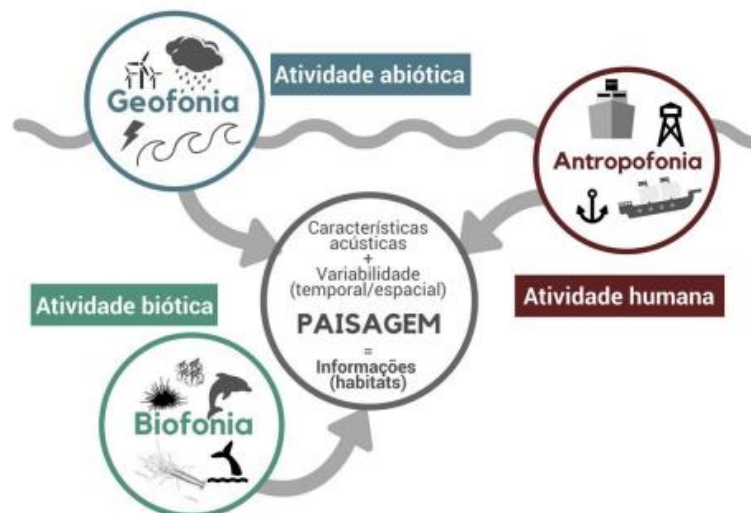
Figura 1 – Curvas de Wenz: distribuição em frequência das diferentes fontes de ruído hidroacústico.



Fonte: Adaptada de Kuperman & Roux (2007).

Uma boa conceituação sobre paisagem acústica submarina é feita por Andrade (2018) em sua dissertação de mestrado. A Figura 2, reproduzida de Andrade (2018), ilustra as três componentes da paisagem acústica submarina: as fontes de origem ambiental (Geofonia, tais como ruído provocado pela ação do vento soprando sobre a superfície do oceano, ondas de gravidade, chuva), origem biológica (Biofonia, tais como cliques e grunhidos da biota marinha) e origem antropogênica (Antropofonia, tais como tráfego marítimo, atividades de exploração e produção *offshore*, atividades de pesca).

Figura 2 – O conceito de Paisagem Acústica Submarina.



Fonte: Reproduzida de Andrade (2018)

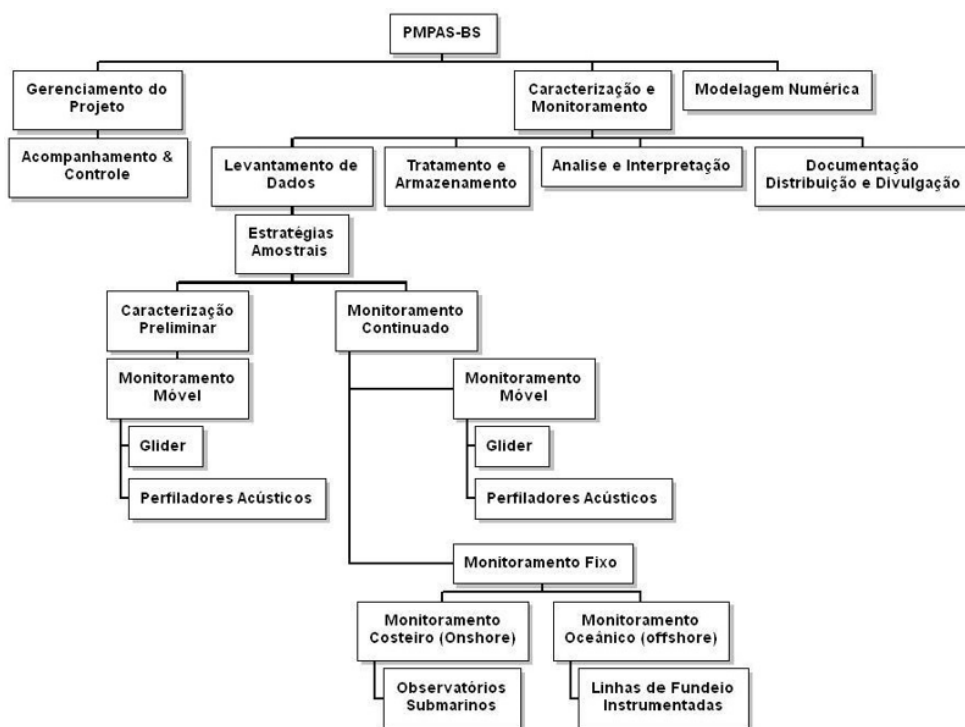
O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) foi planejado para medir e avaliar o ruído oceânico em uma extensa região oceânica do Oceano Atlântico Sul com base no conhecimento auferido até o momento em diversos estudos e programas internacionais de monitoramento passivo acústico, além do conhecimento local da Marinha do Brasil (MB) que possui a disciplina de acústica submarina como uma das suas especialidades.

A componente de modelagem do ruído acústico no oceano é uma importante contribuição do PMPAS-BS para o estudo da PAS. Os modelos de propagação usados na estimativa do ruído acústico estão devidamente consolidados (Etter, 2012; Siderius & Porter, 2008) e são usados para diversas aplicações civis e militares. De acordo com os documentos *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas – Part I Executive Summary* (Dekeling et al., 2014a) e *Part II: Monitoring Guidance Specifications* (Dekeling et al., 2014b), um projeto de monitoramento acústico eficiente requer uma combinação adequada entre medições e modelagem, uma vez que o uso dos modelos de ruído acústico no oceano pode contribuir direta e efetivamente para a avaliação e o monitoramento do ruído ambiente. Desta forma, um número limitado de medições seria suficiente para caracterizar as tendências de alteração do ruído por atividades antropogênicas e seria utilizado diretamente na calibração dos modelos que, uma vez validados, podem fornecer resultados de maior abrangência espaço-temporal e variadas possibilidades de análise. Há inúmeros exemplos na literatura do uso bem-sucedido da modelagem para fins de monitoramento da paisagem acústica no oceano, tais como citados em Dekeling et al. (2014c) para aplicações europeias. Macgillivray et al. (2014) utilizam o modelo de modos normais ORCA para gerar mapas de ruído instantâneo na costa nordeste da Austrália e compará-los com dados medidos *in-situ*. Em Soares, Zabel, & Jesus (2015) foi feita a estimativa do ruído acústico usando um modelo de propagação acústica do tipo modos normais, para produzir mapas sazonais e instantâneos de intensidade de ruído na costa sudoeste de Portugal, a partir de dados de posicionamento AIS das embarcações. Uma ferramenta de

modelagem baseada neste sistema foi desenvolvida pelo PMPAS-BS para as regiões oceânicas das Bacias de Santos.

Deste modo, o PMPAS-BS foi planejado para atender à solicitação do IBAMA sobre a caracterização do ruído oceânico submarino na Bacia de Santos, incluindo um conjunto amplo de medições acústicas, e o desenvolvimento e validação de um modelo de ruído acústico para uma região que englobe os limites da bacia, conforme diagrama esquemático da Figura 3. Foi estabelecido um primeiro ciclo de quatro anos para as atividades do projeto que, ao seu final, deve ser avaliado e a proposta de um segundo ciclo encaminhada, baseada nos conhecimentos auferidos pelos resultados e problemas do primeiro ciclo. Após as etapas de especificação e licitação dos serviços, o início efetivo do monitoramento aconteceu em novembro de 2015 com a execução da primeira campanha de lançamento do glider e dos perfiladores acústicos. Por ter escopo mais complexo, o início efetivo do monitoramento fixo costeiro ocorreu em março de 2017 e do monitoramento fixo oceânico em setembro de 2017.

Figura 3 – Diagrama esquemático das diversas atividades do 1º ciclo do PMPAS-BS



Fonte: Compilação dos autores.

O primeiro ciclo de medições acústicas do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) representa um dos maiores esforços amostrais de acústica passiva submarina do mundo. A Tabela 1 apresenta um levantamento de vários projetos internacionais de monitoramento acústico (IPqM/PETROBRAS, 2020), com países responsáveis por sua execução, duração, equipamentos utilizados e respectivas magnitudes. Para a avaliação da magnitude destes projetos foram definidos seis indicadores (área total abrangida, duração do projeto, diversidade de equipamentos, abrangência acústica, número de equipamentos dedicados e singularidade), compondo uma matriz para estimar um valor de magnitude. Cada um dos projetos foi classificado com as notas Alta, Média e Baixa, tendo por base informações presentes nos

sites dos projetos, artigos e relatórios disponíveis. Devido à sua magnitude e extensão, o projeto da NOAA (*Ocean Acoustic Program*) foi considerado como referência para a aplicação comparativa das notas, tendo obtido nota Alta em todos os indicadores.

Tabela 1 – Principais projetos na área de monitoramento acústico passivo no mundo (pesquisa em 2020).

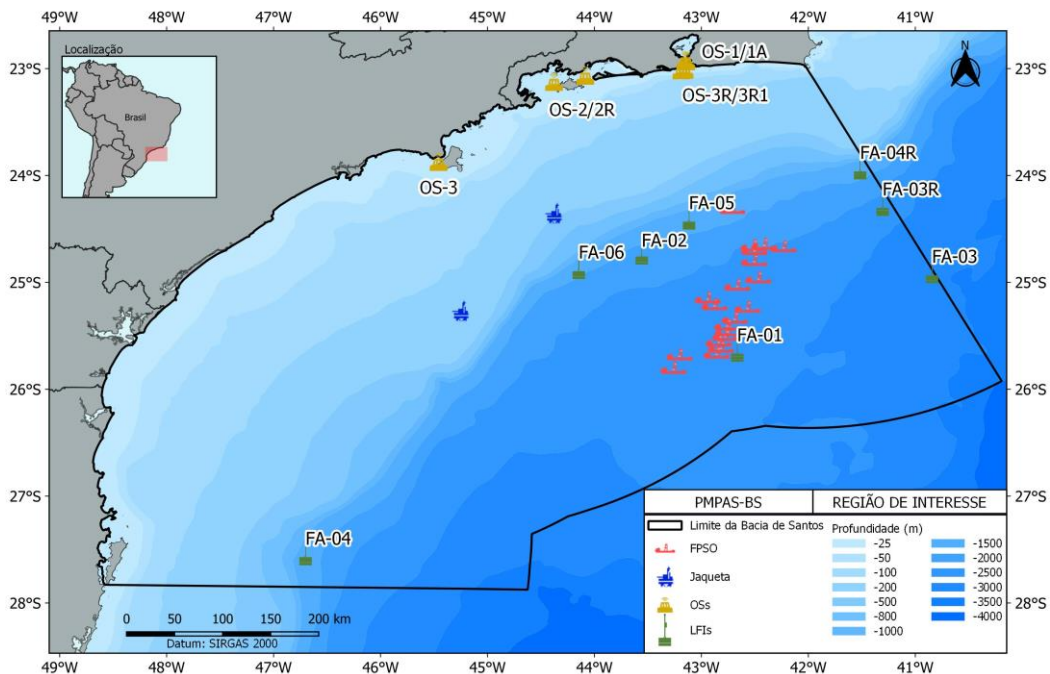
Projeto	País(es)	Duração	Principais equipamentos	Magnitude
PMPAS-BS	Brasil	2015-atual*	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
<i>NOAA's Ocean Acoustics Program</i>	EUA	2011-atual*	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos), linhas de fundeio, observatórios visuais (foto e vídeo).	Alta
<i>Assessment and Monitoring of Ocean Noise in Irish Waters</i>	Irlanda	2012-2014	Observatórios submarinos (costeiros)	Média
<i>SAVE WHALES 2019</i>	Grécia, Portugal	2019-2022	Observatórios submarinos (costeiros)	Média
JONAS	Irlanda, Reino Unido, Espanha, França, Portugal	2019-2022	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos), Monitoramento móvel (<i>waveglider</i>)	Alta
<i>Interreg Italy-Croatia Soundscape</i>	Itália e Croácia	2019-2021	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos)	Média
CALME	França	2015-2018**	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
<i>Large-scale underwater acoustic monitoring program across eastern Canadian waters</i>	Canadá	2015-2017	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
<i>Long-term soundscape monitoring from Curtin University</i>	Austrália	2014-2018	Observatórios submarinos (costeiros)	Média

Com base nesta avaliação comparativa com outros projetos internacionais de monitoramento acústico, o PMPAS-BS obteve o grau de alta magnitude para os diversos indicadores avaliados, com exceção dos indicadores “Área abrangida” e “Abrangência acústica”, em que o projeto obteve grau de média magnitude.

3. Equipamentos e Métodos

Os equipamentos e métodos utilizados no desenvolvimento do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) são descritos para suas respectivas componentes (monitoramento móvel, monitoramento fixo costeiro, monitoramento fixo oceânico e modelagem de propagação acústica). A região oceânica da margem continental sul-sudeste brasileira, objeto do monitoramento acústico oceânico, é apresentada na Figura 4 com as respectivas posições dos pontos fixos de medição acústica.

Figura 4 – Mapa da Bacia de Santos com as posições de sistemas de produção da PETROBRAS (FPSOs e jaquetas), as 6 linhas de fundeio instrumentadas FA (ícones verdes) e os 3 observatórios submarinos rasos OS (símbolos amarelos) em escala regional. As linhas FA-03 e FA-04 foram reposicionadas (letra R) durante o 1º ciclo, assim como os OSs. A linha preta demarca os limites geográficos da Bacia de Santos.



Fonte: Compilação dos autores.

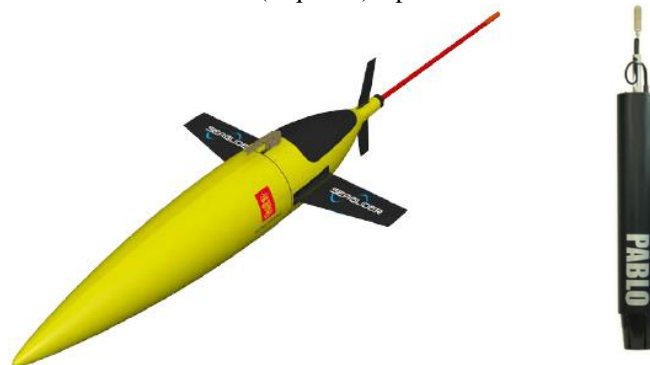
3.1 Componente Móvel

A componente móvel do PMPAS-BS foi planejada para permitir medições acústicas regionais com equipamentos deslocando-se no plano horizontal em toda Bacia de Santos e no plano vertical até 1000 m de profundidade (limites de medição dos equipamentos disponíveis). Desta forma, optou-se por selecionar equipamentos autônomos que pudessem deslocar-se livremente após serem lançados no oceano. Foram utilizados equipamentos denominados *gliders* de navegação controlada e perfiladores de deriva completamente independentes, cuja trajetória é determinada exclusivamente pela ação das correntes marinhas. A Figura 5 apresenta os dois tipos de equipamentos utilizados, ambos possuindo sensores para monitoramento acústico passivo (do inglês *Passive Acoustic Monitoring-PAM*).

Os *gliders* são veículos submersíveis autônomos (*AUV – Autonomous Underwater Vehicles*), controlados remotamente por satélite quando retornam à superfície do oceano, sendo capazes de mergulhar a

profundidades de até 1.000 metros e de seguir rotas programadas pelo usuário. Foi utilizado o SeaGlider™, fabricado pela empresa Kongsberg, que permite também a coleta contínua de dados oceanográficos de temperatura, condutividade e profundidade, usando um sensor de CTD (do inglês, *Conductivity, Temperature, Depth*). O SeaGlider™ também possui sensor para monitoramento acústico passivo, que é programado para adquirir os dados acústicos recebidos por hidrofone e sistema de aquisição, operando de forma contínua. O PAM permanece ligado durante todo o período de descida e encerra sua gravação ao fim da descida (o PAM permanece desligado durante a subida do equipamento). Ao atingir a superfície, o glider transmite via satélite as informações de navegação do mergulho e os dados do CTD.

Figura 5 – Equipamento autônomo SeaGlider™ (esquerda) e perfilador acústico PABLO™ (direita).



Fonte: Compilação dos autores.

Ao final da missão do glider, com duração associada à capacidade das baterias e memória, uma embarcação vai ao seu encontro no ponto monitorado de emergência e realiza a sua recuperação. Os arquivos de áudio são armazenados internamente com duração de até 500 horas por campanha e só são disponíveis para leitura e processamento após sua recuperação.

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

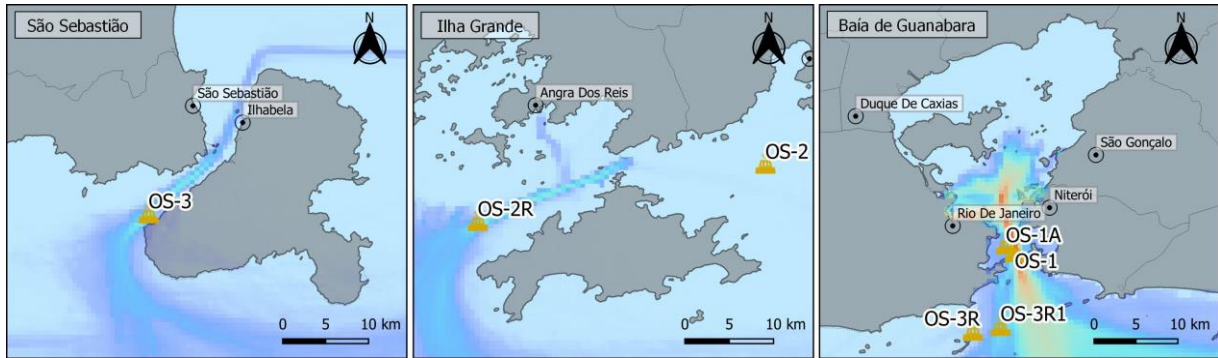
Para cada janela acústica realizada nas profundidades programadas, o sistema de aquisição presente no perfilador obtém um minuto de gravação. O próprio equipamento processa as séries temporais das janelas acústicas e gera os parâmetros acústicos e espectros que são enviados por satélite a cada emergência, porém, as gravações dos sinais acústicos não são recuperadas. Os dados recebidos dos perfiladores são analisados para se obter informações da operação do equipamento, incluindo seu tempo de vida e tempos entre janelas acústicas medidas.

3.2 Componente Fixa Costeira

A componente fixa costeira foi planejada para monitorar de forma contínua alguns locais com tráfego intenso de embarcações de apoio às atividades de E&P da Baía de Santos. Foram inicialmente selecionados três locais: entrada da Baía de Guanabara (RJ), entrada leste da Baía de Ilha Grande e Sepetiba (RJ) e posteriormente no canal oeste, e entrada sul do Canal de São Sebastião (SP). Os Observatórios Submarinos (OSs) rasos são sistemas de gravação de sinais acústicos instalados junto ao fundo, operados pelo IPqM. O objetivo dos OSs é, principalmente, a obtenção do ruído de embarcações, para uso no Sistema de Modelagem

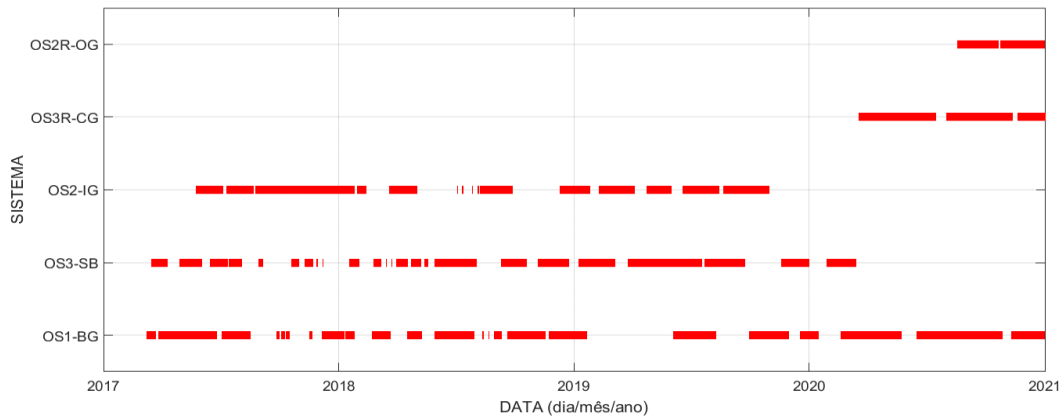
Acústica desenvolvido para o PMPAS-BS. As Figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, os locais e linhas de tempo com os períodos de medição dos OSs.

Figura 6 – Mapa com as posições de instalação dos OSs na Baía de Guanabara e imediações do Monumento Natural Arquipélago das Ilhas Cagarras (direita), entradas da Baía de Ilha Grande (centro) e Canal de São Sebastião (esquerda). As cores mais quentes indicam maior densidade de navegação



Fonte: Compilação dos autores.

Figura 7 – Linhas de tempo com períodos de medição dos OSs em cada local de instalação.



Fonte: Compilação dos autores.

Nos OSs são instalados gravadores autônomos programados para gravar o sinal acústico de forma contínua. Estes gravadores são equipados com hidrofones, pré-amplificadores e processadores que recebem e armazenam o ruído acústico produzido pelo meio submarino, e por fontes sonoras como embarcações e animais marinhos. Diferentes equipamentos foram usados para a aquisição do sinal acústico nos OSs. A Figura 8 ilustra um equipamento denominado SAASS desenvolvido pelo IPqM e seu esquema de instalação no fundo. Os equipamentos são programados para gravação contínua ou pulsada dos sinais acústicos. A sua recuperação ou troca é realizada por mergulhadores, em intervalos da ordem de 45 a 60 dias.

Figura 8 – Gravador acústico autônomo SAASS™ (esquerda) e layout do observatório submarino raso (direita)



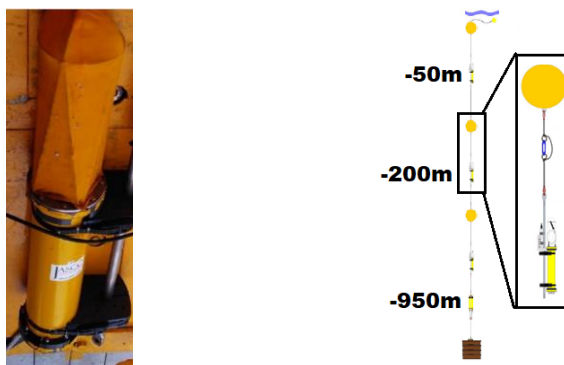
Fonte: Compilação dos autores.

3.3 Componente Fixa Oceânica

A componente fixa oceânica foi planejada para monitoramento do ruído acústico em regiões profundas da Bacia de Santos (profundidades na faixa de 1100 m até 2850 m) através de gravadores acústicos instalados em seis linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs) tendo por objetivo contemplar medições acústicas em região com diferentes tipos de uso na Bacia de Santos.

A LFI consiste em uma linha de fundeio composta de seções de cabos náuticos, presa por um liberador acústico a uma poita e terminando em uma boia submersa de flutuação, um pouco mais rasa que 50 m de profundidade. Nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. A Figura 9 apresenta o gravador acústico utilizado nas LFIs e seu layout de instalação. O equipamento usado para a gravação dos sinais acústicos é o gravador autônomo AMAR-G3, fabricado pela empresa JASCO. A Figura 10 apresenta as linhas de tempo com períodos de medição em cada posição. O período planejado de recuperação das linhas é da ordem de seis meses após seu lançamento, sendo o lançamento e recuperação realizados por navios especializados com suficiente espaço de convés para manuseio dos cabos, equipamentos e poita.

Figura 9 – Gravador acústico autônomo AMAR™ (esquerda) e layout da linha de fundeio profunda (direita)



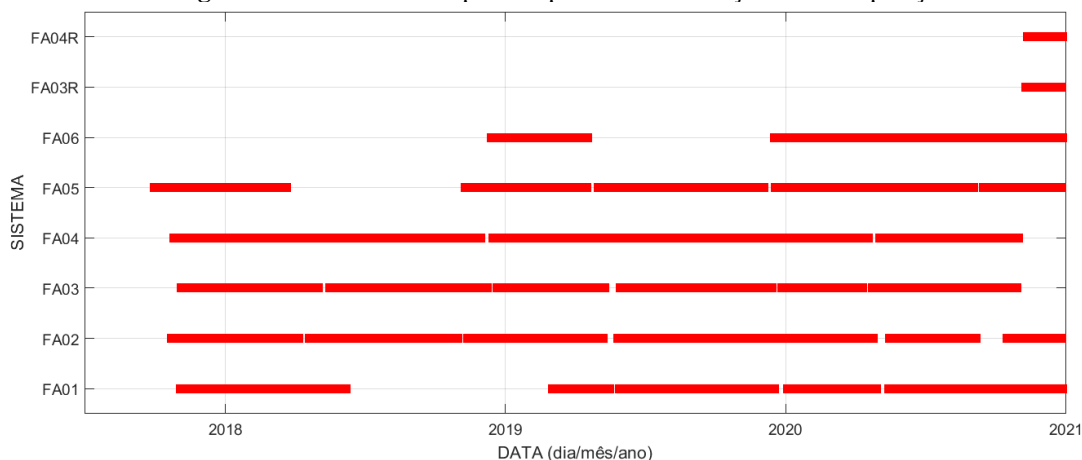
Fonte: Compilação dos autores.

Ao término do período de aquisição dos dados dos gravadores acústicos das LFIs, uma embarcação próxima emite um sinal para o liberador acústico soltar a linha da poita. Sua extremidade superior emerge devido à flutuação das boias instaladas ao longo da linha de fundeio, permitindo a sua recuperação para troca de equipamentos e recuperação dos dados.

O posicionamento das linhas foi definido pela PETROBRAS, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo IBAMA de monitorar regiões com atividades de produção (FA-01), em desenvolvimento da produção (FA-02), sem atividades de E&P (FA-03 e FA-04) e com tráfego marítimo intenso para E&P (FA-05 e FA-06). As duas linhas em áreas prístinas foram realocadas ao final do primeiro ciclo para as posições FA-03R e FA-04R apresentadas na Figura 4.

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

Figura 10 – Linhas de tempo com períodos de medição em cada posição das LFIs



Fonte: Compilação dos autores.

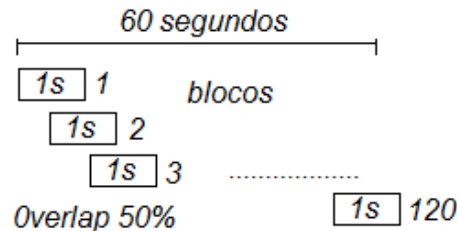
3.4 Processamento dos Sinais Acústicos

Os sinais gravados por *glider*, LFI e OS são processados pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), conforme descrito nos relatórios IPqM/PETROBRAS (2017, 2018, 2019, 2020, 2021), para a obtenção de parâmetros acústicos a cada trecho de um minuto de sinal. Estes trechos são subdivididos em 120 blocos, como mostrado na Figura 11, e para cada um destes blocos é obtido o espectro de 1/3 de oitava. Estes espectros são usados para calcular os espectros de 1/3 de oitava nos percentis de 5%, 50% (ou mediana) e 95%, além do espectro médio. Neste trabalho, o espectro de 1/3 de oitava mediano (no percentil de 50%) é usado para representar os níveis do ruído acústico.

Nos perfiladores, o processamento do sinal acústico é feito internamente pelo equipamento, e a única diferença no processo apresentado acima é o número de blocos usados para dividir cada minuto de sinal, que nos perfiladores é de 351. Para cada um destes minutos, os parâmetros acústicos passam por um processo de qualificação antes de serem inseridos no banco de dados do projeto e no sistema de acesso às informações coletadas. Na primeira etapa de qualificação são identificados e separados os trechos contaminados pelo ruído próprio da plataforma de aquisição, como na atuação de bombas e motores internos dos *gliders*. Ainda nesta

etapa, são separados, também, os trechos onde o ruído provocado pelo fluxo de água passando pelo equipamento possa ter afetado o sinal gravado.

Figura 11 – Divisão do áudio para cálculo dos parâmetros acústicos dos *gliders*, OS e LFI.



Fonte: Compilação dos autores.

3.4 Componente de Modelagem Acústica Submarina

A componente de modelagem acústica submarina foi planejada para complementar as medições acústicas, conforme preconizado nas orientações europeias para monitoramento acústico oceânicos (Dekeling et al., 2014a,b,c), utilizando ferramentas computacionais para a estimativa do ruído acústico na coluna de água resolvendo modelos numéricos desenvolvidos com este objetivo.

O PMPAS-BS desenvolveu o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), como iniciativa do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) em colaboração com pesquisadores portugueses (Soares, Zabel, & Jesus, 2015). O SIMAS é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina que utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais, tendo como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), assinatura acústica dos navios, dados oceanográficos e geofísicos. A solução por modos normais foi usada para fornecer uma representação 2D, considerando o oceano estratificado e assumindo variação das propriedades do meio apenas com a profundidade e a distância. A representação 3D final obtida utiliza uma técnica de modelagem Nx2D, onde o problema 3D é resolvido utilizando N radiais centradas na posição da fonte em modo 2D. Este sistema está sendo ajustado e validado com dados acústicos obtidos em campo, e tem por objetivo auxiliar no acompanhamento do ruído na região e apoio no gerenciamento das estratégias que visem o controle deste ruído.

O domínio de modelagem proposto abrange a região da Baía de Santos. Para computar os campos de pressão sonora é necessário fornecer aos modelos acústicos condições ambientais iniciais e de contorno. Estas informações podem ser obtidas tanto de bases de dados coletados em campo como oriundos de modelos de circulação oceânica e atmosférica. A modelagem do ruído ambiental de base serve para computar os efeitos das fontes de ruído ambiental na propagação de ruído oceânico e a alteração no comportamento de reflexão e dispersão do som na superfície. De modo geral, quanto mais intenso o vento e maior a altura significativa de ondas (H_s), maiores as perdas durante a reflexão do som na interface ar-mar, assim como o ruído ambiental gerado (Etter, 2012).

Os produtos do SIMAS são mapas do ruído oceânico, com resolução horizontal de $1/6^\circ$, produzidos por fontes antrópicas (navios, plataformas, etc.) e ambientais (ondas, ventos) nas faixas de 63 Hz e 125 Hz das bandas de $1/3$ de oitava, com caracterização mensal, anual e sazonal do nível de intensidade sonora – SPL (dB re $1 \mu\text{Pa}^2$).

4. Resultados e Discussão

O esforço amostral do PMPAS-BS foi muito intenso com o levantamento de uma quantidade significativa de dados brutos de gravação acústica que foram processados pelo Instituto de Pesquisas da

Marinha (IPqM). Durante o primeiro ciclo até dezembro de 2020 (março de 2021 para os OSs) foram medidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- Perfiladores: um total de 232.646 janelas acústicas de um minuto (3.877,4 horas) foram medidas, das quais 205.802 (3.430,0 horas) foram aceitas no processo de qualificação (88%), no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2020, sendo lançados 195 perfiladores em 19 ciclos de lançamento, dos quais 183 forneceram dados. Das janelas acústicas qualificadas, 90.274 foram realizadas dentro da Bacia de Santos (44%) e 115.528 fora dela (56%);
- *Gliders*: um total de 491.011 janelas acústicas de um minuto (8.183,5 horas) foram gravadas, das quais 233.706 (3.895,1 horas) foram aceitas no processo de qualificação (48%), no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2020, sendo realizadas 46 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*. Dos minutos aceitos, 229.239 foram medidos dentro da Bacia de Santos (98%) e 4.467 fora dela (2%);
- Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs): um total de 2.197.165 janelas acústicas de um minuto (36.619,4 horas) foram gravadas, sendo 640.047 minutos (10.667,5 horas) aceitos no processo de qualificação (29%), no período entre outubro de 2017 e dezembro de 2020, durante o qual foram realizadas 6 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs. Os dados das LFIs foram qualificados usando-se dados de corrente oceânica medidos junto aos sensores;
- Observatórios Submarinos (OSs): um total de 4.042.150 janelas acústicas de um minuto (67.369,2 horas) foram gravadas, sendo 3.581.133 janelas (59.685,6 horas) aceitas no processo de qualificação (89%), no período entre março de 2017 e maio de 2021, durante o qual foram realizadas 86 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs.

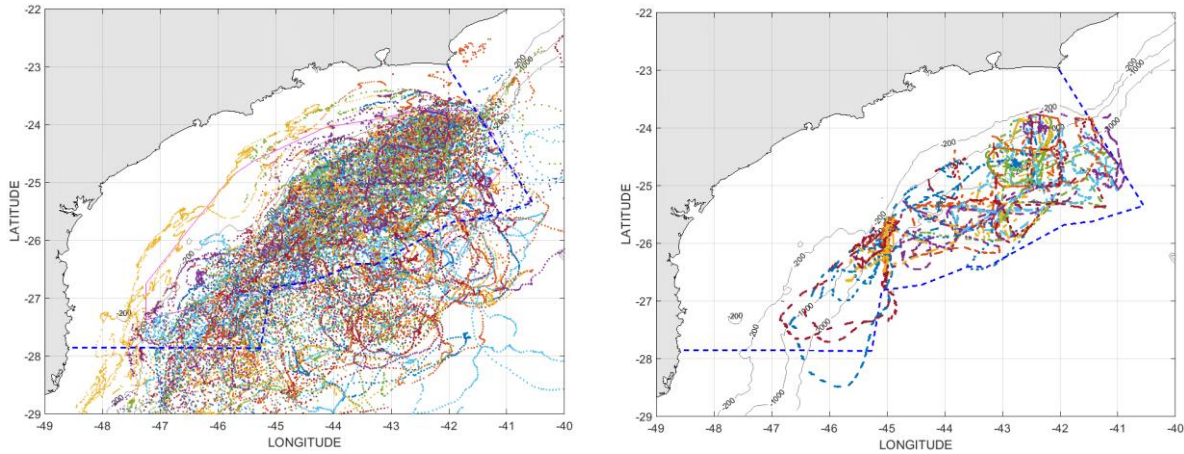
Iniciando a apresentação e discussão de resultados pela componente móvel, os perfiladores permitiram a maior cobertura espacial dentre os modais de medição na Bacia de Santos em função do grande quantitativo de equipamentos lançados. Cobriram uma extensa área do Oceano Atlântico Sul por derivarem livremente com as correntes marinhas, conforme observado nas trajetórias de 195 perfiladores apresentadas na Figura 12 (painel esquerdo). No talude continental, os equipamentos se deslocam sob efeito das correntes de contorno oeste (Corrente do Brasil da superfície até em torno de 400 m de profundidade, e Contra-Corrente Intermediária entre 400 m e 1000m) e no Platô de São Paulo, região da Bacia de Santos entre as isóbatas de 2000 e 3000 m de profundidade, sofrem os efeitos de vórtices oceânicos. Desta forma, suas trajetórias apresentam grande variabilidade espacial permitindo cobrir toda região profunda da Bacia de Santos, e após saírem da bacia continuam medindo ao longo da região sul brasileira.

Os *gliders* possuem trajetórias mais controladas e foram navegados para permanecerem próximos das plataformas de produção da região Pré-Sal da Bacia de Santos e para realizarem outras missões dentro da área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS). A Figura 12 (painel direito) ilustra as trajetórias nas 46 campanhas (ou ciclos) de medição realizadas com os *gliders* acústicos no PMPAS-BS cobrindo o período de novembro de 2015 até dezembro de 2020. Observa-se claramente que suas trajetórias permaneceram na Bacia de Santos, região de interesse principal deste estudo por ser condicionante de licença para sistemas de produção nesta bacia.

Após a qualificação dos dados da componente móvel é possível montar mapas espaciais com estatísticas dos Níveis de Pressão Sonora (SPL) utilizando as medições dos perfiladores e *gliders*. A Figura 13 apresenta as variações espaciais do percentil de 50% do SPL (SPL_{50p}) para as bandas de frequência de 63 Hz e 125 Hz do filtro de 1/3 de oitava, utilizando os dados medidos em todos os níveis de profundidade disponíveis desde a superfície até 1000 m. Estas frequências são representativas das bandas com maior contribuição de ruído de fontes antropogênicas no oceano (Dekeling et al, 2014a,b,c). A área que possui os maiores valores de SPL_{50p}

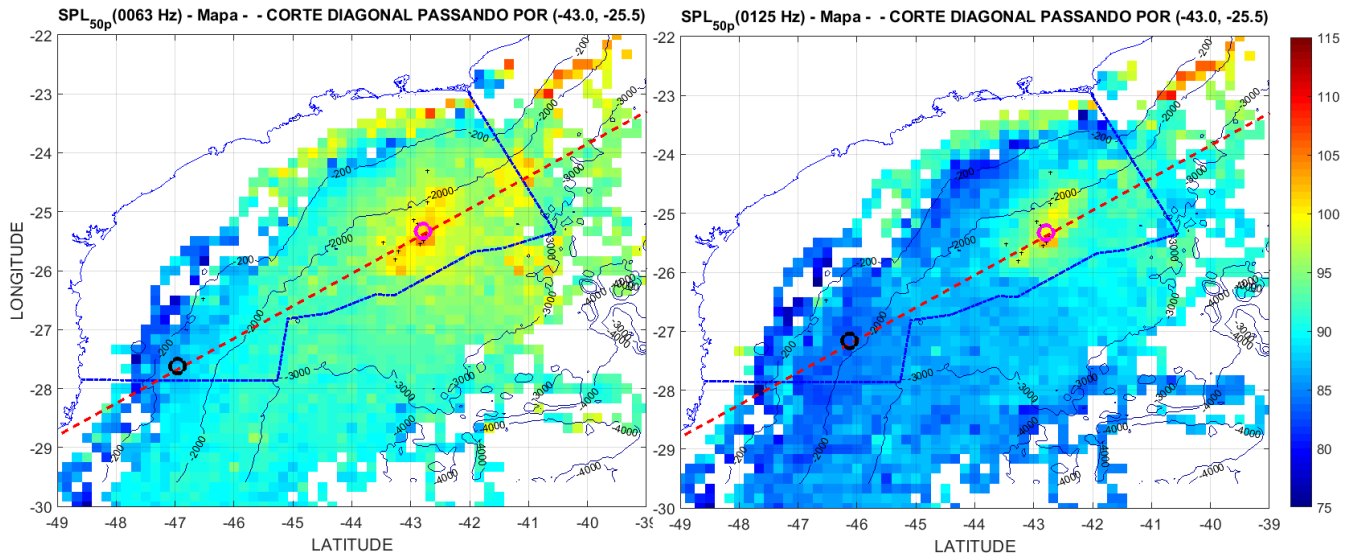
está entre 25°S e 26°S de latitude e 42°O e 44°O de longitude, devido à maior concentração de atividades de E&P nesta região.

Figura 12 – Trajetórias da deriva de 195 perfiladores lançados de novembro de 2015 até dezembro de 2020 (painel esquerdo) e dos *gliders* em 46 campanhas de medição de novembro de 2015 até dezembro de 2020 (painel direito)



Fonte: Compilação dos autores.

Figura 13 – Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz (esquerda) e 125 Hz (direita). A linha diagonal tracejada vermelha identifica a seção que será usada para a comparação dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam, respectivamente, as posições dos valores de SPL mínimo e máximo obtidos ao longo desta linha.



Fonte: Compilação dos autores.

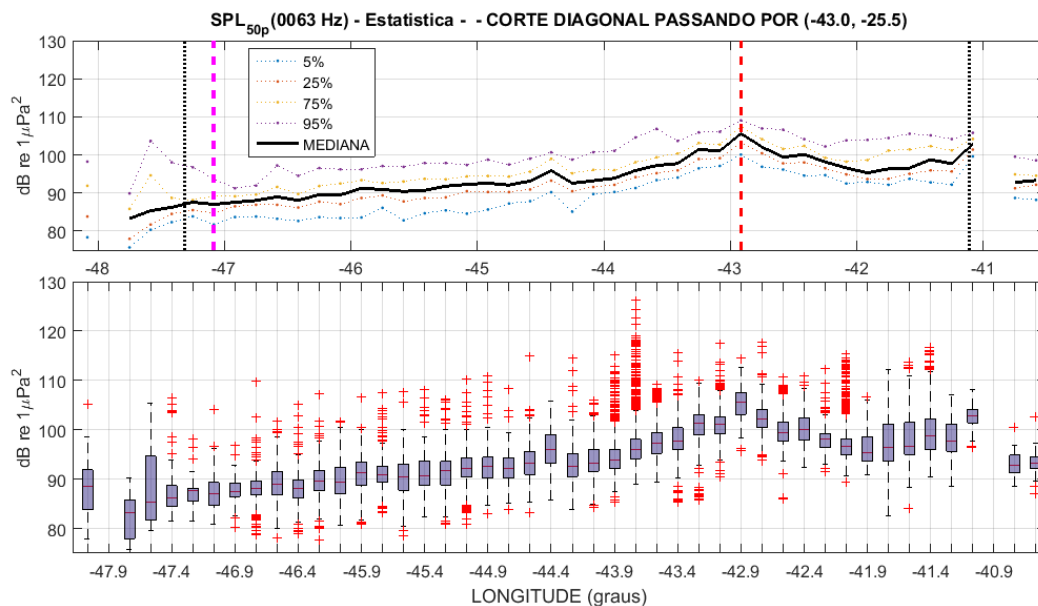
A linha tracejada vermelha passando pela região central da Bacia de Santos indica a seção usada para avaliação da variabilidade do SPL na Bacia de Santos. Esta linha foi selecionada por passar em diversas áreas onde os níveis sonoros variam de valores mais baixos (região prístina) até mais elevados (região impactada). Os círculos magenta e preto indicados no mapa identificam os pontos nesta linha onde foram encontrados

respectivamente os valores máximo e mínimo de SPL nesta secção.

A Figura 14 apresenta a variabilidade do SPL ao longo desta linha. No painel superior são apresentados os percentis de 5%, 25%, 50% (mediana), 75% e 95%. No painel inferior são apresentados *boxplots* para as distribuições das medições ao longo da secção. Nos *boxplots*, o retângulo marca a posição dos percentis 25% e 75% (distância interquartil - IQR), a linha central representa a mediana (50%), as barras acima e abaixo do retângulo correspondem a uma distância de 1,5 vezes a altura do retângulo (1,5 IQR) a partir dos seus limites superior e inferior. O valor de 1,5 IQR corresponde a uma cobertura de 99,3% dos dados, se eles tiverem uma distribuição normal. Os pontos acima ou abaixo das barras superior e inferior são representados por cruces vermelhas.

Observa-se uma variação de quase 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 105,6 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ no centro da bacia (-25,45°S, -42,92°W) e um mínimo de 87,0 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ no extremo sudoeste da região (-27,75°S, -47,08°W). Mais abaixo do limite sul da Bacia de Santos (linha pontilhada preta na esquerda do gráfico), ocorrem valores de SPL menores. No entanto, o número de medições nesta região é menor do que dentro dos limites da bacia, tornando estes valores menos precisos. Observa-se que na região central aparecem muitos valores extremos (cruces vermelhas no *boxplot*), que neste contexto não significam valores espúrios, tendo em vista que estes dados foram qualificados, mas sim valores próximos à cauda da distribuição e que ocorrem com menor frequência.

Figura 14 – Painel superior: Percentis do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada na Figura 13, a linha tracejada vermelha indica a posição do SPL máximo e a linha magenta a posição do SPL mínimo, considerando apenas medições dentro dos limites S e N da Bacia de Santos (linhas pontilhadas pretas). Painel inferior: *boxplot* para medições feitas ao longo da linha.



Fonte: Compilação dos autores.

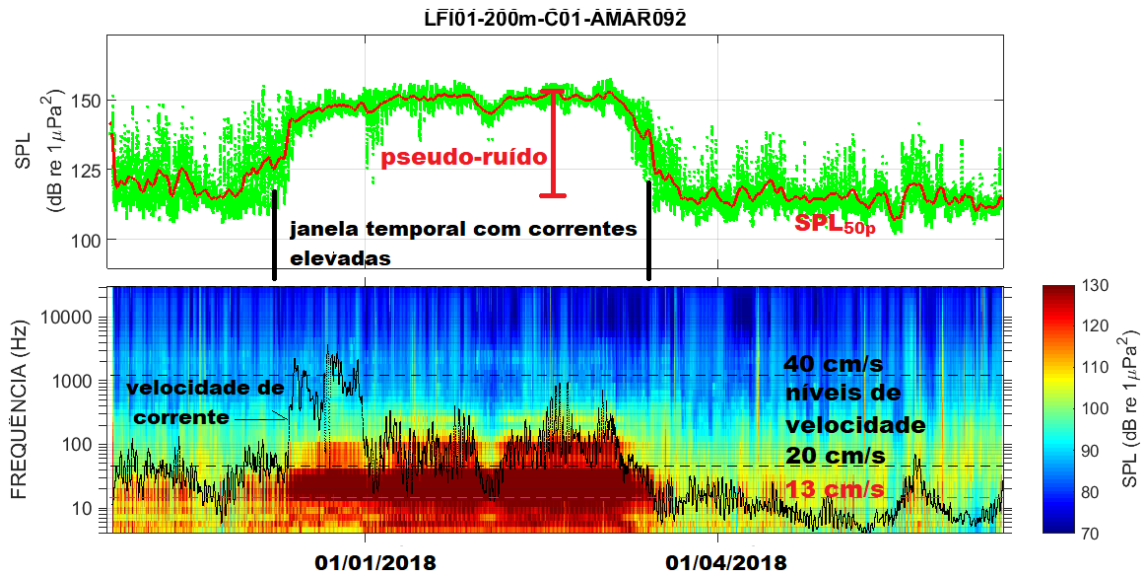
O número de pontos usados na criação dos *boxplots* variou ao longo da linha, ficando acima de 3.000 medições na região central da bacia, diminuindo até valores em torno de 10 medições nas extremidades da linha. A maior amostragem nas regiões com maior energia faz parte da estratégia adotada no projeto PMPAS-BS, visando uma melhor caracterização da região onde se concentram as atividades de E&P. O maior número de medições realizadas na região central pode ser um dos possíveis motivos para o surgimento dos valores

extremos, junto ao fato desta ser uma região com uma intensidade maior de tráfego de embarcações, aumentando a chance destas embarcações passarem perto dos *gliders* e perfiladores, com um consequente aumento temporário dos níveis recebidos.

Com relação às medições da componente fixa oceânica, os dados acústicos medidos pelos gravadores acústicos das LFI's estão sujeitos ao ruído causado pelo fluxo de correntes marinhas (denominado “*flow noise*” em inglês), o que pode causar diversos problemas na qualificação para cálculo dos parâmetros estatísticos acústicos. A passagem do fluxo de água pelo hidrofone provoca flutuações de pressão, como descrito por Strasberg & Taylor (1979) e Erbe et al. (2015). Estas flutuações são captadas pelo sensor, mas têm uma origem não acústica, não fazendo parte do ambiente acústico, sendo chamada de pseudo-ruído em português. O maior problema deste efeito de pseudo-ruído é uma intensificação dos níveis de ruído acústico, amplificando os valores medidos principalmente em baixas frequências, o que invalida as medições para uso metroológico.

A Figura 15 apresenta no painel superior a série temporal do percentil de 50% do SPL calculado com as gravações do equipamento acústico instalado em 200 m de profundidade na linha FA-01 durante uma janela de tempo de sua 1ª campanha. O painel inferior apresenta o espectrograma do sinal acústico (tempo no eixo X e frequência no eixo Y) em escalas de cores (dB re 1 μPa^2), além da série temporal das velocidades medidas de corrente marinha (em cm/s) com os níveis de referência de 40 cm/s, 20 cm/s e 13 cm/s indicados por linhas tracejadas. Observa-se claramente o efeito de incremento do ruído causado pela intensificação das velocidades de corrente em uma janela temporal que se estendeu por praticamente todo primeiro semestre de 2018.

Figura 15 – Painel superior: Série temporal do percentil de 50% do SPL (SPL_{50p}) com efeito do pseudo-ruído. Painel inferior: espectrograma do sinal acústico (tempo no eixo das abcissas e frequência nas ordenadas), velocidade de corrente (linha preta contínua) e níveis de referências de 40, 20 e 13 cm/s (linhas tracejadas)



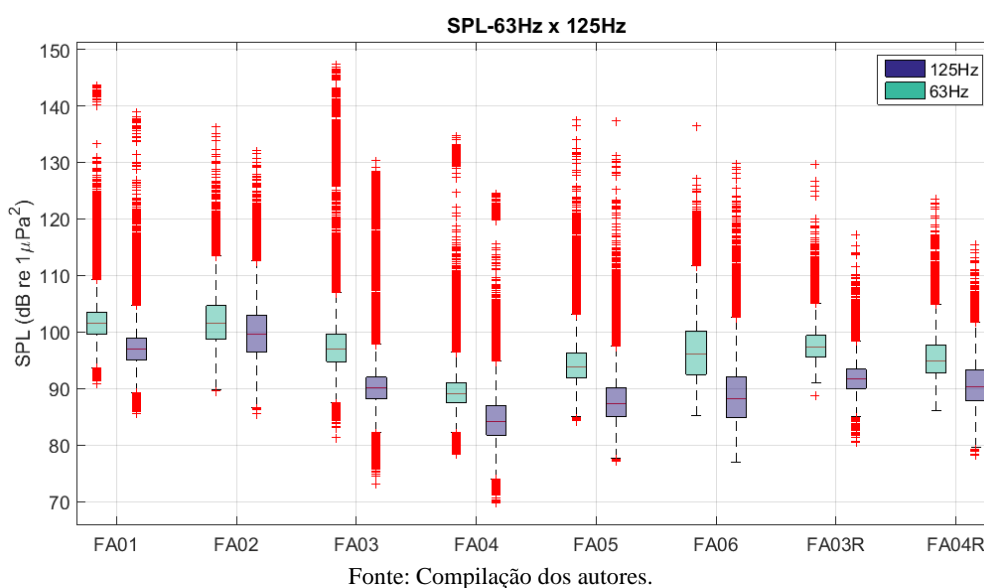
Fonte: Compilação dos autores.

A avaliação da influência das correntes marinhas nas medições das LFI's foi feita pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) calculando a correlação entre as velocidades de correntes e os níveis SPL medidos nos hidrofones, ficando óbvio o efeito adverso das correntes sobre as medições acústicas. Foram usados diversos recursos nas linhas de fundeio para reduzir o efeito direto das correntes sobre os sensores, tais como a instalação de uma capa protetora na estrutura de suporte do hidrofone (conforme pode ser observado na foto do equipamento AMAR™ na Figura 5), isolamento dos conectores com fitas para redução da vibração, entre outros detalhes. No entanto, o efeito adverso das correntes marinhas elevadas persistiu, e após diversas

avaliações feitas pelo IPQM foi concluído que a velocidade de 13 cm/s seria o limite superior para considerar a medição como livre do efeito de pseudo-ruído. Este valor é compatível com o obtido no artigo de dos Santos et al. (2016), onde o pseudo-ruído foi avaliado na velocidade de deriva dos *gliders*. Ou seja, só foram considerados dados acústicos válidos se a velocidade de corrente fosse igual ou inferior a 13 cm/s, e como a Baía de Santos possui a influência direta da Corrente do Brasil e vórtices no Platô de São Paulo, este limiar é facilmente excedido, o que justifica o baixo aproveitamento dos dados acústicos gravados nas LFI (10.667,5 horas válidas de um total de 36.619,4 horas gravadas, o que equivale a 29,13%), onde menos de 1/3 dos dados foram considerados válidos para uso metrológico.

A Figura 16 apresenta *boxplots* comparativos com dados acústicos válidos de todas as LFI aplicando-se o filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, por serem representativas da contribuição de fontes antropogênicas de ruído no oceano (Dekeling et al., 2014a,b,c).

Figura 16 – Comparação entre as LFI para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz (retângulos azuis) e 125 Hz (retângulos lilás)



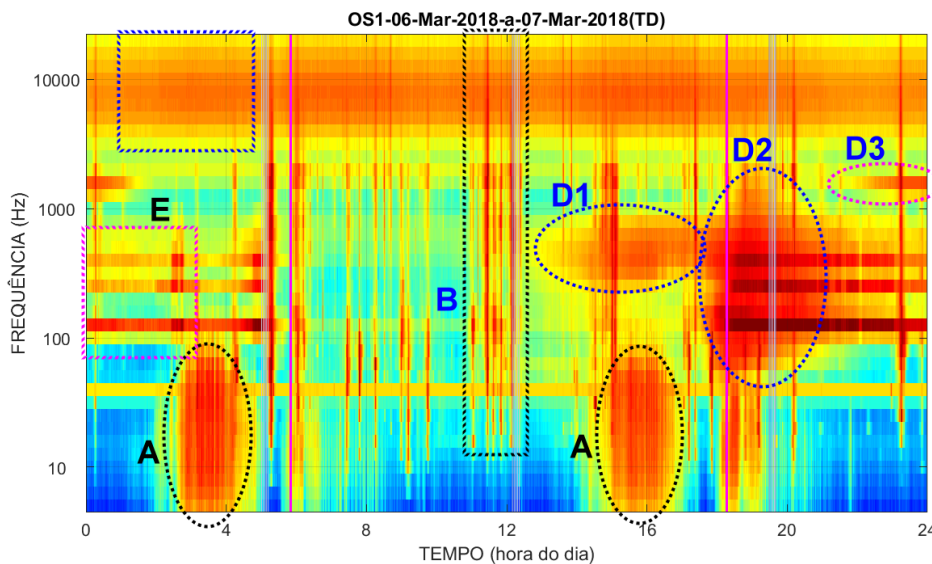
Observa-se na Figura 16 o mesmo padrão dos mapas de ruído compilados pelos dados da componente móvel (Figura 14), com valores superiores de SPL na banda de frequência 63 Hz em relação à 125 Hz. As linhas FA-01 e FA-02 instaladas em regiões com atividades de produção apresentaram valores medianos superiores às linhas FA-03 e FA-04 em regiões sem atividades de E&P e às linhas FA-05 e FA-06 em áreas de maior densidade de tráfego de embarcações. Os valores extremos observados nos *boxplots* (cruzes vermelhas) podem ter sido causados pela passagem de embarcações próximo às linhas ou outras perturbações no ruído oceânico nestas bandas de frequência. Em trabalhos de pesquisa posteriores serão realizados estudos estatísticos para avaliação mais detalhada dos sinais medidos nas LFI.

A componente de monitoramento fixo da parte rasa do PMPAS-BS foi feita utilizando-se Observatórios Submarinos em três regiões costeiras de baixa profundidade, na entrada da Baía de Guanabara (OS-1), na Baía de Ilha Grande (OS-2) e inicialmente no Canal de São Sebastião (OS-3), conforme descrito na seção 2.2 deste artigo. Esta componente teve como principal finalidade monitorar o ruído em entrada de portos com atividade de navegação de E&P relacionada com a Baía de Santos, além de permitir capturar as assinaturas acústicas de navios que poderão ser usadas como fontes de ruído na componente de modelagem descrita na seção 2.4. O principal porto de serviços para o Pré-Sal fica na cidade do Rio de Janeiro, onde concentra-se também o

maior tráfego marítimo entre os 3 locais selecionados. Na Baía de Guanabara, os ruídos observados correspondem ao tráfego de embarcações e a coros de peixes. Em frequências muito baixas, abaixo de 40 Hz, aparece um aumento de energia provocado pelo fluxo de corrente associado às marés. Este ruído não corresponde a uma componente sonora efetiva no meio, sendo chamada de pseudo-ruído, uma vez que é uma componente local decorrente da interação da água em movimento com o sistema de medição, ficando restrita a curtas distâncias do sensor. Este é um problema similar ao descrito anteriormente para a LFIs.

A Figura 17 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 06 de março de 2018, na posição do OS1, entrada da Baía de Guanabara.

Figura 17 – Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados do dia 06 de março de 2018 do OS1. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125Hz)



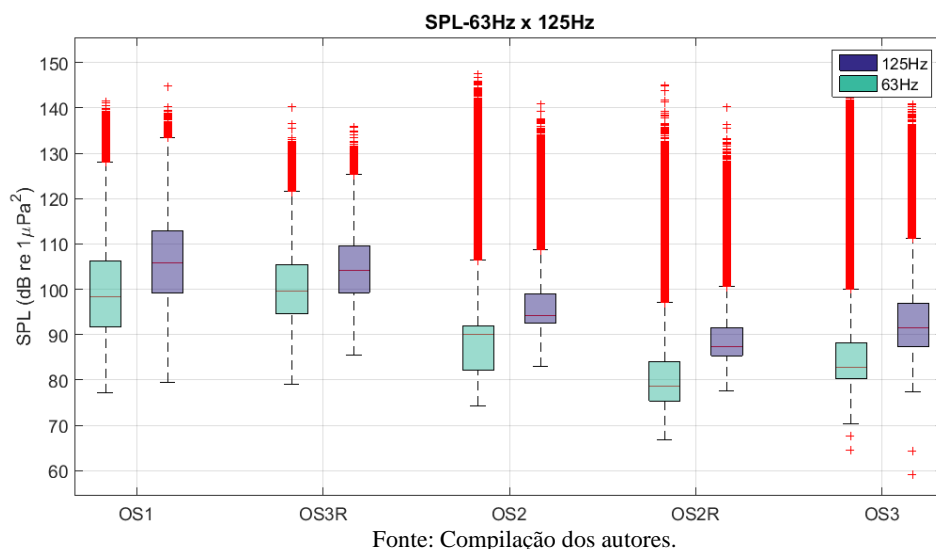
A riqueza de padrões formados pelo ruído de diversas fontes sonoras pode ser observada nas diversas regiões rotuladas por letras no espectrograma, conforme características e possíveis origens descritas abaixo:

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

A Figura 18 apresenta *boxplots* comparativos com dados acústicos válidos de todos os OSs aplicando-se o filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. Na banda de 63 Hz, os OS1, OS1A, OS3R e OS3R1 (Baía de Guanabara e Ilhas Cagarras) são mais ruidosos, com o OS1A e OS3R1 sendo os de

maior nível medido.

Figura 18 – Comparação entre os OSs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz (retângulos azuis) e 125 Hz (retângulos lilás)

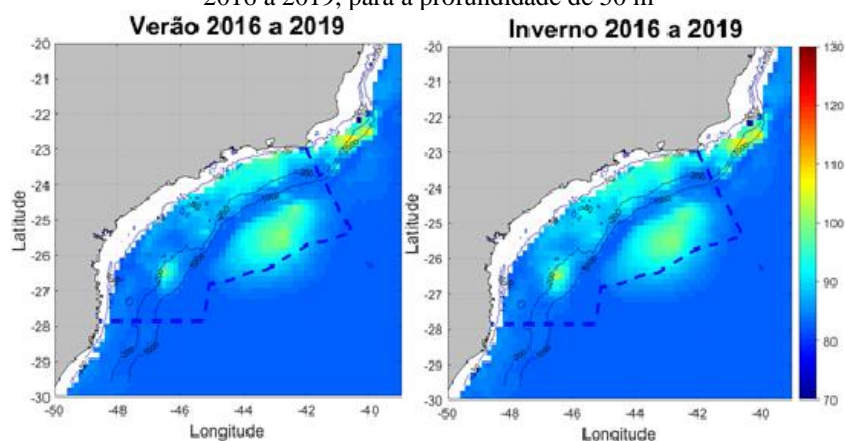


Nesta faixa de frequência, o OS2R é o mais silencioso (entrada oeste da Baía de Ilha Grande), seguido pelo OS3 (entrada sul do Canal de São Sebastião) e depois o OS2 (entrada leste da Baía de Ilha Grande). É interessante notar o elevado número de valores fora da faixa de 1,5 vezes o intervalo interquartil para o OS2, OS2R e OS3, o que pode indicar a existência de algum processo intermitente nestas localidades, como por exemplo a passagem de embarcações e a intensificação das correntes, os quais elevam os níveis de ruído para valores bem acima do ruído ambiente médio. Para a banda centrada em 125 Hz, os resultados são semelhantes aos obtidos para a banda de 63 Hz.

Com relação à componente de modelagem acústica submarina, o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS) foi desenvolvido com a capacidade de simular a contribuição de diversas fontes de ruído de embarcações e plataformas (fornecidas por suas posições AIS), além da contribuição de fontes ambientais (ventos e ondas de superfície). O parâmetro AIS fornece a posição e a hora das fontes acústicas de embarcações, considerando a cavitação do hélice como a principal fonte de ruído.

Como exemplo de resultados do modelo, a Figura 19 apresenta mapas sazonais de ruído médio para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m na Bacia de Santos nas estações de Verão e Inverno usando dados do período de 2016 até 2019. Pode-se observar um pequeno incremento de ruído na plataforma continental no Inverno, que pode estar associado a maior ocorrência de ondas e ventos elevados nesta estação, sendo sua manifestação intensificada na plataforma devido à menor profundidade. Metodologias de avaliação dos resultados dos modelos com dados medidos de perfiladores e *gliders* estão sendo desenvolvidas com bons resultados, conforme resultados apresentados em (Lima et al., 2020). Esforços estão sendo investidos no aprimoramento dos parâmetros e dados de entrada do modelo SIMAS com o objetivo final de aumentar sua aderência com a realidade física dos dados acústicos medidos, de forma a gradativamente transformar o modelo em uma ferramenta computacional para diagnóstico de cenários acústicos na região do PMPAS-BS, assim como ferramenta preditiva para situações em que se deseje simular cenários com mais embarcações ou plataformas.

Figura 19 – Mapas de ruído com o SPL_{63Hz} médio na Bacia de Santos para as estações do ano, combinando dados de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m



Fonte: Compilação dos autores.

5. Conclusão

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) foi responsável por um conjunto sem precedentes de medições de acústica submarina passiva da região oceânica sudoeste do Oceano Atlântico Sul, onde fica localizada a Bacia de Santos. Foram utilizados de forma complementar diversos equipamentos e metodologias de aquisição de dados, para a avaliação metrológica do ruído submarino na região, tendo contribuição das fontes antropogênicas, ambientais e biota. Os resultados do primeiro ciclo do projeto estão pormenorizadamente detalhados nos relatórios anuais (IPqM/PETROBRAS, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021).

Com base na experiência e resultados auferidos em todas as componentes do primeiro ciclo do PMPAS-BS foi proposta e submetida para aprovação do IBAMA sua continuidade em um segundo ciclo de quatro anos, conforme condicionante de licenças ambientais dos sistemas de produção da PETROBRAS na Bacia de Santos. O principal objetivo deste segundo ciclo será dar continuidade às principais linhas de atuação e metas do projeto de monitoramento da paisagem acústica submarina, procurando otimizar seus resultados reforçando os pontos positivos, e reavaliando os pontos cuja contribuição foi considerada finalizada ou com problemas operacionais que os tornaram negativos (baixos resultados):

- **Perfiladores:** a proposta técnica para o segundo ciclo foi descontinuar o uso de perfiladores, considerando que estes equipamentos já contribuíram para a caracterização do *background* da paisagem acústica regional da Bacia de Santos e que não permitem a recuperação de suas gravações, não colaborando por exemplo para a detecção de eventuais vocalizações de cetáceos;
- **Gliders:** a proposta foi a ampliação da estratégia de medições com *gliders* acústicos no segundo ciclo do projeto, levando-se em conta o aumento da confiabilidade no uso e operação desses equipamentos, por não apresentarem limitações inerentes às aquisições com perfiladores e fundeios, pela sua flexibilidade na detecção de vocalizações de cetáceos e contribuição para validação dos resultados dos modelos numéricos de propagação acústica. Dessa forma, serão utilizados dois equipamentos de forma contínua e um terceiro para monitoramento de atividades específicas, como sísmica e perfuração, de forma que o monitoramento móvel será feito por até três *gliders* de forma paralela operando na Bacia de Santos;
- **LFIs:** considerando as limitações dos dados coletados devidas ao pseudo-ruído e o elevado número de linhas de fundeio empregado por região geográfica, quando comparado com outros estudos de acústica submarina (Haver et al., 2018), foi proposta uma redução do número de LFIs para o segundo ciclo,

além da medição passar a ser feita apenas em profundidades menos afetadas pela velocidade das correntes (500 e 950 m). Assim, serão mantidas três LFIs, sendo a primeira para o monitoramento de uma área com intensa atividade de E&P da PETROBRAS, a segunda em uma região com alta intensidade de tráfego de embarcações e a terceira em uma região mais prístina, afastada das atividades da E&P e de navegação;

- OSs: ao se analisar os resultados obtidos pelos OSs mantidos no Canal de São Sebastião e na Baía de Ilha Grande, concluiu-se que os dados foram suficientes para a caracterização da paisagem acústica submarina nessas regiões, de forma que o monitoramento contínuo poderia ser descontinuado. O OS da Baía de Guanabara necessita ter continuidade no próximo ciclo, para permitir o alcance dos objetivos do projeto referentes ao ruído de embarcações. Deste modo no segundo ciclo, além da manutenção do OS da Baía de Guanabara, será utilizado um OS itinerante para que diferentes regiões da plataforma costeira (até 100 m) da Bacia de Santos possam ser caracterizadas, contribuindo assim com a validação dos resultados da modelagem acústica do ruído na plataforma. Este OS itinerante também poderá ser utilizado para o monitoramento das regiões anteriormente monitoradas;
- Modelagem numérica: os estudos de modelagem serão continuados, de forma que os resultados se tornem ainda mais robustos e fidedignos com os dados medidos *in situ*. A modelagem também passará a ser feita de forma 3D, considerando assim outros níveis ao longo da coluna d'água.

Os resultados apresentados neste artigo e as propostas acima para um segundo ciclo do projeto refletem toda experiência auferida com o primeiro ciclo do PMPAS-BS, um projeto de Meio Ambiente pioneiro de monitoramento acústico passivo na América Latina e talvez um dos maiores projetos internacionais de acústica passiva, conforme índice de magnitude da Tabela 1. Pesquisas científicas e trabalhos acadêmicos estão sendo desenvolvidos com os dados obtidos por este projeto, e sua interface com outro projeto de grande porte associado ao monitoramento de cetáceos na Bacia de Santos também deverá ser uma das grandes contribuições científicas e tecnológicas do segundo ciclo do PMPAS-BS nos próximos anos.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) pelo financiamento do projeto PMPAS-BS, incluindo seu planejamento, supervisão e execução, ao Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) pela disponibilização de uma equipe técnica de excelente qualidade para acompanhamento e colaboração com as metas do projeto, ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA) pela avaliação e aprovação das demandas do projeto, e às empresas de serviço oceanográfico ProOceano e OceanPact Geo pelo empenho no atendimento aos requisitos do projeto. O primeiro autor agradece também à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela bolsa de Pesquisador Visitante do PRH-9.1. Agradecemos todos os profissionais que colaboram com este projeto, que por limitação de espaço na redação deste artigo não podem ser textualmente citados nesta seção.

7. Referências

Andrade, D. C. de. (2018). **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, RJ.

Bassett, C.; Thomson, J.; Dahl, P. H.; & Polagye, B. (2014). Flow-noise and turbulence in two tidal channels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 135(4), 1764–1774. <https://doi.org/10.1121/1.4867360>

Butler, J.; Butler, M. J.; & Gaff, H. (2017). Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. **Ecological Indicators**, 77, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.041>

Cockrem, J. (2014). Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals. **Final 2014 Report from ONR Marine Mammal Physiological Stress Response**, 1–6.

Coquereau, L.;Grall, J.;Chauvaud, L.;Gervaise, C.;Clavier, J.;Jolivet, A.;& Di Iorio, L. (2016). Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, 163(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2902-2>

Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A, Andersson, M.H., 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. (2014a) **Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part I:Executive Summary**, JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN, Publications Office of the European Union,Luxembourg, doi: 10.2788/29293

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. (2014b) **Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part II:Monitoring Guidance Specifications**, JRC Scientific and Policy Report EUR 26555 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2788/27158

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. (2014c) **Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part III: Background Information and Annexes**, JRC Scientific and Policy Report EUR 26556 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2788/2808

Delarue, J., J. MacDonnell, K. Kowarski, B. Martin, X. Mouy, and D. Hannay (2015). **Northeastern Chukchi Sea Joint Acoustic Monitoring Program 2013–2014**. JASCO Document #01023. Technical report by JASCO Applied Sciences for Shell Exploration & Production Company and ConocoPhillips Company.

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. (2016). Investigating flow noise on underwater gliders acoustic data. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 140(4), 3409–3409. <https://doi.org/10.1121/1.4970954>

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

Etter, P. C. (2012). **Advances in Acoustics and Vibration**, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/214839>

European Commission. (2010). Commission decision of 1 Sep 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters. **Official Journal of the European Union**, 232, 14–24

Gedamke, J.;Harrison, J.;Hatch, L.;Angliss, R.;Barlow, J.;Berchok, C.;Caldow, C.;Castellote, M.;Cholewiak, D.;Deangelis, M. L.;Dziak, R.;Garland, E.;Guan, S.;Hastings, S.;Holt, M.;Laws, B.;Mellinger, D.;Moore, S.;Moore, T. J.;Oleson, E.;Pearson-Meyer, J.;Piniak, W.;Redfern, J.;Rowles, T.;Scholik-Schlomer, A.;Smith, A.;Soldevilla, M.;Stadler, J.;Parijs, S. Van;& Wahle, C. (2016). **Ocean Noise Strategy Roadmap**. In Noaa. <http://cetsound.noaa.gov/ons>

Harris, S. A., Radford, C. A. (2014) Marine Soundscape Ecology, in: **INTERNOISE 2014 - 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control**,

Melbourne, Australia.

Haver, S. M.;Gedamke, J.;Hatch, L. T.;Dziak, R. P.;Van Parijs, S.;McKenna, M. F.;Barlow, J.;Berchok, C.;DiDonato, E.;Hanson, B.;Haxel, J.;Holt, M.;Lipski, D.;Matsumoto, H.;Meinig, C.;Mellinger, D. K.;Moore, S. E.;Oleson, E. M.;Soldevilla, M. S.;& Klinck, H. (2018). Monitoring long-term soundscape trends in U.S. Waters: The NOAA/NPS Ocean Noise Reference Station Network. **Marine Policy**, 90(February), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023>

Hawkins, A. D.;& Popper, A. N. (2017). A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. **ICES Journal of Marine Science**, 74(3), 635–651. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>

Hildebrand, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>

IPqM/PETROBRAS. (2017). **1º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2016**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/sites/default/files/1o_Relatorio_Tecnico_PMPAS.pdf>. Acessado em 29/11/2021.

IPqM/PETROBRAS. (2018). **2º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2017**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/sites/default/files/2o_Relatorio_Tecnico_PMPAS.pdf>. Acessado em 29/11/2021.

IPqM/PETROBRAS. (2019). **3º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2018**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/sites/default/files/3o_Relatorio_Tecnico_PMPAS.pdf>. Acessado em 29/11/2021

IPqM/PETROBRAS. (2020). **4º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2019**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/sites/default/files/4o_Relatorio_Tecnico_PMPAS.pdf>. Acessado em 29/11/2021

IPqM/PETROBRAS. (2021). **5º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2020**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/sites/default/files/5o_Relatorio_Tecnico_PMPAS.pdf>. Acessado em 29/11/2021

Jensen, F. B.;Kuperman, W. A.;Porter, M. B.;& Schmidt, H. (2011). **Computational Ocean Acoustics**. In NASPA Journal (Vol. 42, Issue 4).New York, Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-8678-8>

Krause, B. L. (1987). Bioacoustic habitat ambience & ecological balance. **Whole Earth**, 57, 142p.

Kuperman, W., Roux, P. (2007) **Underwater Acoustics**. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0755-7>

Lillis, A.;& Mooney, T. A. (2018). Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. **Coral Reefs**, 37(2), 597–607. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1684-z>

Lima, F.M., Correa Junior, C., Soares Filho, W., Galotta, C., Lima, J.A.M., Paula, T.P. (2021) An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil. **Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 40, 070020. Acoustical Society of America**. Doi : 10.1121/2.0001347

MacGillivray, A., McPherson, C., McPherson, G., Izett, J., Gosselin, J., Li, Z., Hannay, D., (2014). Modelling

underwater shipping noise in the great barrier reef marine park using AIS vessel track data, in: **INTERNOISE 2014 - 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control**, Melbourne, Australia.

McDonald, M. A.;Hildebrand, J. A.;& Wiggins, S. M. (2006). Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 120(2), 711–718. <https://doi.org/10.1121/1.2216565>

Medwin, H.;& Clay, C. S. (1998). **Fundamentals of acoustics oceanography**. San Diego, Academic Press..

Parente Ribeiro, C. E. (1982). Estação de Acústica Submarina. In: Iº Simpósio Naval de Sonar. **Anais do Iº Simpósio Naval de Sonar**, Arraial do Cabo, Brasil.

Parente Ribeiro, C. E. (1986) . Ruído Irrradiado por Navios. **Revista Portos e Navios**, vol. 17 maio 1986, Rio de Janeiro, Brasil.

Pijanowski, B. C.;Villanueva-Rivera, L. J.;Dumyahn, S. L.;Farina, A.;Krause, B. L.;Napoletano, B. M.;Gage, S. H.;& Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. **BioScience**, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>

Ross, D. (1976). **Mechanics of underwater noise**. Pergamon Press.

Schafer, R. M. (1977). **The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world..**

Siderius, M.;& Porter, M. B. (2008). Modeling broadband ocean acoustic transmissions with time-varying sea surfaces. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 124(1), 137–150. <https://doi.org/10.1121/1.2920959>

Soares, C.;Zabel, F.;& Jesus, S. M. (2015). A shipping noise prediction tool. **MTS/IEEE OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World**, February. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271539>

Southworth, M. (1969). The Sonic Environment of Cities. **Environment and Behavior**, 1(1), 49–70. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001391656900100104>

Strasberg, M.;& Taylor, D. W. (1979). Nonacoustic noise interference in measurements of infrasonic ambient noise. **Journal of the Acoustical Society of America**, 66(5), 1487–1493. <https://doi.org/10.1121/1.383543>

Urlick, R. J. (1983) **Principles of Underwater Sound** (3^a ed.). New York: McGraw-Hill Book Company.

Van Geel, N. C. F.;Merchant, N. D.;Culloch, R. M.;Edwards, E. W. J.;Davies, I. M.;O’Hara Murray, R. B.;& Brookes, K. L. (2020). Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 148(2), 701–712. <https://doi.org/10.1121/10.0001704>

Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 34(12), 1936–1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>

Williams, R.;Wright, A. J.;Ashe, E.;Blight, L. K.;Bruintjes, R.;Canessa, R.;Clark, C. W.;Cullis-Suzuki, S.;Dakin, D. T.;Erbe, C.;Hammond, P. S.;Merchant, N. D.;O’Hara, P. D.;Purser, J.;Radford, A. N.;Simpson, S. D.;Thomas, L.;& Wale, M. A. (2015). Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean and Coastal Management**, 115(October), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021>