

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

A utilização de um Sistema de Modelagem de Acústica Submarina na Bacia de Santos.

Lima F. M.¹, Junior C. C.², Soares Filho W.³, Galotta C.⁴, Espirito Santo S. R. G. S.⁶, Paula T. P.⁵,
Mansur W. J.⁷, Vera-Tudela C. A. R.⁸

^{1,2,3,4,5} Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, {catia.galotta, correa.jr, william.soares}@marinha.mil.br, sidneyrafaelgomes@gmail.com - ⁶ Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovação Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, thiago.pdpaula@petrobras.com.br - ^{1,7} Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEC/COPPE, Rio de Janeiro, RJ Brasil, {webe, fabiano.lima}@coc.ufrj.br - ⁸ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil, candres@ufrj.br

Resumo

O ruído produzido por embarcações é considerado a principal fonte de poluição sonora no ambiente marinho. Trabalhos de simulação computacional da propagação acústica submarina com a combinação de diversas fontes sonoras (embarcações e plataformas), são desenvolvidos em alguns países da Europa. Entretanto, no Brasil, essa abordagem ainda é pouco explorada. Nesse contexto, o Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) tem atuado significativamente ampliando as contribuições nessa linha de pesquisa. A realização do PMPAS-BS é uma condicionante exigida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para o licenciamento ambiental federal das atividades de produção e escoamento de óleo e gás da Petrobras na Bacia de Santos. Este trabalho, objetiva apresentar um panorama da paisagem acústica submarina através de simulações computacionais realizadas pelo Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS) para Bacia de Santos e proximidades. O SIMAS gera mapas de ruídos subaquáticos gerados por fontes antrópicas com a aplicação de um modelo baseado na teoria dos modos normais (Kraken). As fontes acústicas são definidas pelos dados do *Automatic Identification System (AIS)* nos limites da região estudada. O campo acústico é determinado pela frequência e pelos parâmetros ambientais tais como: salinidade, temperatura e batimetria. Os resultados são apresentados em mapas de superfície de ruído com o *Sound Pressure Level (SPL ref. 1 μ Pa)* médio acumulado mensalmente no ano de 2016, frequência de 63Hz e profundidade de 50 m. Observa-se a variação de ruído acumulado ao longo do ano, sendo janeiro o mês mais ruidoso. Nota-se uma concentração característica de ruído em regiões costeiras e em locais de atividades de exploração e produção de óleo e gás.

Palavras-chave: Modelagem, acústica submarina, Bacia de Santos, propagação de ruído, paisagem acústica..

PACS: 43.30.-k, 43.30.Zk, 43.30.Bp, 43.30.Nb.

A Use of an Underwater Acoustics Modeling System in the Santos Basin.

Abstract

The noise produced by vessels is considered the primary source of noise pollution in the marine environment. Computer simulation work on underwater acoustic propagation with the combination of different sound sources (ships and platforms) is developing in some European countries. However, in Brazil, this approach is still little explored. In this context, the Santos Basin Underwater Acoustic Landscape Monitoring Project (PMPAS-BS) has significantly increased contributions in this line of research. Completing the PMPAS-BS is required by the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) for the federal environmental licensing of Petrobras' oil and gas production and distribution activities in the Santos Basin. This work aims to present an overview of the underwater acoustic landscape through computer simulations carried out by the Underwater Acoustic Modeling System (SIMAS) for the Santos Basin and its surroundings. SIMAS generates maps of underwater noise generated by anthropic sources with the application of a model based on the theory of normal modes (Kraken). Acoustic sources are from the *Automatic Identification System (AIS)* data at the limits of the studied region. The acoustic field is determined by the frequency and environmental parameters such as salinity, temperature, and bathymetry. The results are noise surface maps with the average *Sound Pressure Level (SPL ref. 1 μ Pa)* monthly accumulated in 2016, frequency of 63Hz, and depth of 50 m. There is a variation in accumulated noise throughout the year, with January being the noisiest month. There is a characteristic concentration of noise in coastal regions and places of oil and gas exploration and production activities.

Keywords: Modeling, underwater acoustics, Santos Basin, noise propagation, acoustic landscape.



1. INTRODUÇÃO

Estudos sobre paisagem acústica começaram a surgir no final da década de 60 com o trabalho de Southworth [1] que foi um dos primeiros a utilizar esse termo. 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, com a criação do *World Soundscape Project (WSP)*, liderado por Raymond Murray Schafer, da *Simon Fraser University*, no Canadá, o termo paisagem acústica surgiu como uma tentativa de chamar a atenção para o aumento da poluição sonora em Vancouver. Como resultado de estudos feitos pelo *WSP*, Schafer [2] reconheceu que os sons são propriedades ecológicas da paisagem, afirmando que as características acústicas de uma área podem refletir seus processos naturais. Dez anos depois, Krause [3] dirigiu seu olhar para a descrição da complexa combinação dos sons biológicos [4] com os outros sons do ambiente, introduzindo o termo *biofonia* para retratar os ruídos oriundos de organismos vivos e *geofonia* para os sons de origem não biológica. Já o termo *antropofonia*, refere-se aos ruídos de origem antropogênica (gerado pelo homem) sendo este um dos principais componentes da paisagem acústica como ilustra a Figura 1 utilizada para descrever a composição dos variados tipos de fontes destacando a *biofonia*, *geofonia* e *antropofonia* que atuam na composição de uma paisagem acústica submarina [5, 6].

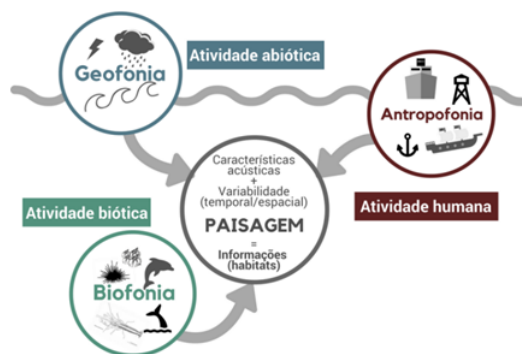


Figura 1: O conceito de Paisagem Acústica Submarina.

(Fonte: Adaptada de Campbell[5].)

A interferência humana no ambiente marinho nos últimos anos causou um aumento significativo no nível de ruído oceânico, levantando preocupa-

ções quanto ao seu impacto na vida marinha. O tráfego marítimo é considerado o principal contribuinte na escala global [7]. O ruído irradiado pelos navios pode se propagar por dezenas ou centenas de quilômetros e é gerado de várias formas durante a operação de um navio, sobretudo por meio da cavitação dos hélices, onde a maioria do conteúdo espectral se encontra num intervalo de frequências abaixo de 1 kHz. A medição direta de ruído de embarcações envolve elevados custos além de diversos esforços logísticos. Outros desafios são encontrados na padronização, manutenção e operação de equipamentos de medição acústica. Outro ponto a ser considerado é a necessidades de cobertura espacial e temporal demandadas para esse tipo de estudo, visto que, as ações para gerar um panorama acústico poderão abranger áreas de grande extensão regional ao longo diversos meses ou anos de observação e medição. A modelagem do ruído submarino vem sendo utilizada como forma de prever panoramas acústicos de um modo sistemático a custos significativamente menores [8]. Os modelos têm a vantagem de permitir extrapolar eventuais medidas pontuais a zonas no espaço e no tempo, de outra maneira inacessíveis. Nesse contexto, o Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) além de contribuir com vastas campanhas de coleta de dados acústicos submarinos, também atua no desenvolvimento do Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS). A realização do PMPAS-BS é uma condicionante exigida pelo licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA [9–11].

2. METODOLOGIA

O SIMAS é um sistema que possui diversas ferramentas utilizadas para a simulação da propagação do ruído submarina por meio da aplicação de modelos matemáticos e computacionais integrados a um único sistema gerenciador. O Sistema tem a capacidade de simular a propagação do ruído de fontes acústicas antrópicas, tais como navios e plataformas de petróleo. O efeito aditivo de diversos fatores tem que ser levado em consideração, como forma de gerar o campo acústico do ruído no interior do oceano. A Figura 2 mostra um esquema simplificado do funcionamento do SIMAS.



Figura 2: Esquema ilustrativo do Sistema de Modelagem Acústica Submarino.

O gerenciamento e a geração dos resultados (mapas de ruído submarino) no SIMAS, são realizados através da inserção de dados de entrada com os parâmetros ambientais e antrópicos. Os dados de entradas são classificados como:

2.1 Dados de Entrada: Parâmetros Ambientais

Os parâmetros ambientais são utilizados para criar uma descrição do ambiente onde será feita a simulação da propagação do ruído. Em outras palavras, fornecem as condições de contorno necessárias para a solução numérica dos modelos. Os parâmetros ambientais inseridos no SIMAS são:

- Batimetria;
- Temperatura e salinidade;
- Parâmetros geo-acústicos;
- Ruído de fundo (ruído ambiente).

A batimetria define os limites geográficos da região oceânica e a profundidade da região de estudo. O contorno geográfico introduzindo no SIMAS tem limites entre as latitudes 20° S e 30° S, longitude 39° O e 50° O e a linha de costa sul-sudeste brasileira abrangendo assim toda a Bacia de Santos. A Bacia de Santos é uma das maiores bacias conhecidas no Brasil. Situada na região sudeste da margem continental brasileira, sua extensão abrange os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina ocupando cerca de 350.000 km² e sua cota batimétrica atinge cerca de 4.500 m de profundidade [12, 13]. A Figura 3 mostra a extensão da variação batimétrica de toda área de estudo.

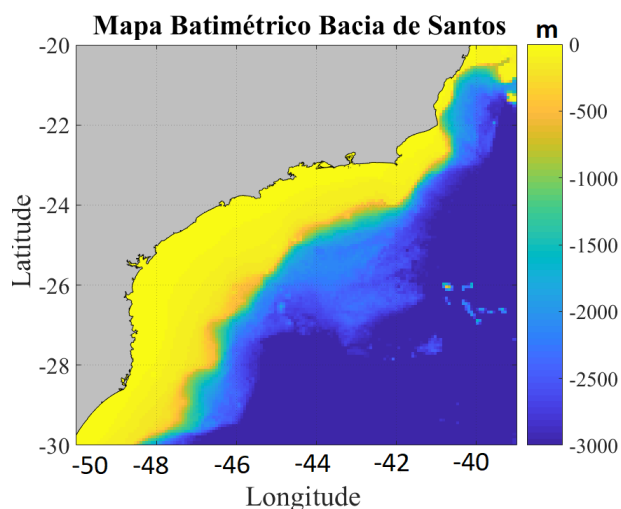


Figura 3: Batimetria da região de estudo utilizada nas simulações do SIMAS

A temperatura e salinidade (TS) da água correspondem aos dados que fornecem os parâmetros de formação do perfil de temperatura necessários para determinar a velocidade de propagação do ruído na região em uma determinada profundidade [14, 15]. Esses parâmetros foram obtidos da base de dados oriundos da *Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS)* [16] com resolução espacial de 1/12° e 50 camadas de profundidade;

Os parâmetros geo-acústicos são dados do fundo que fornecem a composição do leito marinho e as propriedades acústicas das camadas de sedimentos. São distribuídos em toda região de estudo sendo parametrizados pela velocidade de compressão (valores entre 1540 e 1700 m/s), densidade (valores entre 1,45 e 1,90 g/cm³), coeficiente de atenuação (valores entre 0,20 e 0,55 dB/λ) e altura do sedimento de vinte metros de profundidade

O ruído de fundo (do inglês *background noise*) é associado à contribuição do ruído de todo ambiente. É o ruído resultante da soma da contribuição das fontes de ruídos abióticos (*geofonia*), biológicos (*biofonia*) e do tráfego de navios distantes ao local da realização das simulações¹. Para as simulações com frequência de 63 Hz, o SIMAS utiliza como ruído de fundo o nível de 82 dB ref.

¹Não são considerados as contribuições dos ruídos gerados por vento, chuva e ondas (estado de mar) pois estes não contribuem significativamente para o ruído em frequências abaixo de 500 Hz [17]



$1\mu Pa$. Essa estimativa do foi realizada com base nas curvas de Wenz [17] considerando a frequência central de 63 Hz em 1/3 de oitava e a largura de banda.

2.2 Dados de Entrada: Parâmetros Antropogênicos

O principal parâmetro antropogênico associado ao ruído submarino é o ruído produzido pro navios e embarcações. Os informações dos dados das fontes utilizada pelo SIMAS (latitude, longitude, data, hora, tipo de navio e calado) são obtidas através dos dados do *Automatic Identification System* (AIS) ². Os parâmetros adquiridos pelos registros dos dados do AIS fornecem informações das posições das fontes acústicas, assumindo que a cavitação do hélice é a principal fonte de ruído. Esses dados são organizados por janelas temporais onde considera-se que cada registro de navio identificado apareça apenas uma vez em cada janela, sendo sua posição final obtida pela média de seu deslocamento. Dessa forma, os dados do AIS passam por um pré processamento onde são separados em arquivos com divisão temporal (janela de hora ou *snapshot*) contendo a posição (latitude e longitude) de cada fonte. Todo o arquivos de fontes é associado a uma configuração espacial determinada dentro da janela de hora que sendo fixada até o instante seguinte, onde será obtida outra configuração de fontes através da janela hora subsequente. Os navios (fonte) indigñificados dentro da janela são associados a altura estimada para o calado o que corresponde à profundidade da fonte. Logo em seguida as fontes são associadas à uma determinada classe de navios e após sua classificação, é atribuído um nível sonoro (do inglês *Source Level*) para cada fonte fornecendo potência acústica (ref. $1\mu Pa^2$) do sinal em uma frequência em banda de um terço de oitava [7].

A Figura 4 apresenta um exemplo de de janela de hora com o gráfico da configuração espacial das fontes utilizado no SIMAS para simulação de um mapa de ruído. A configuração apresentada na figura mostra a distribuição espacial das fontes (pontos azuis) obtidas pela média do deslocamento de cada fonte (registro do dado AIS) dentro do intervalo de tempo denominado a janela

temporal. Tal exemplo corresponde ao período entre 0h00 e 02h00 do dia sete de dezembro de 2016. Esse processo se repete para todo intervalo de duas horas abrangendo o período de 00h00 janeiro até 22h00 de dezembro de 2016 totalizando cerca de 4.400 janelas de duas horas.

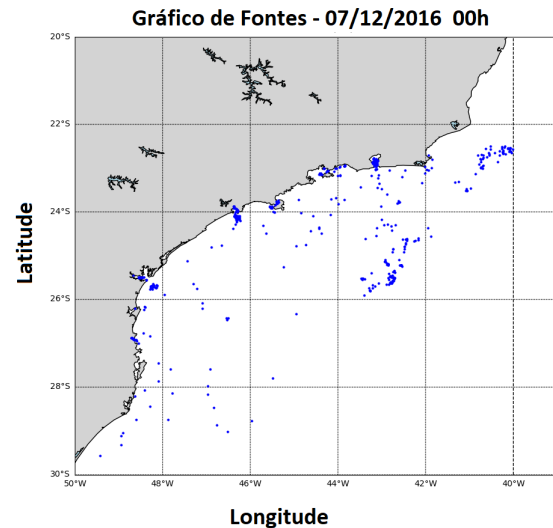


Figura 4: Gráfico de da configuração espacial das fontes em 07 de dezembro de 2016 - posição média entre 00h00 e 02h00.

A Figura 5 representa a densidade (contagem de fontes por área) de embarcações no mês de janeiro de 2016 que emitiram dados ao AIS.

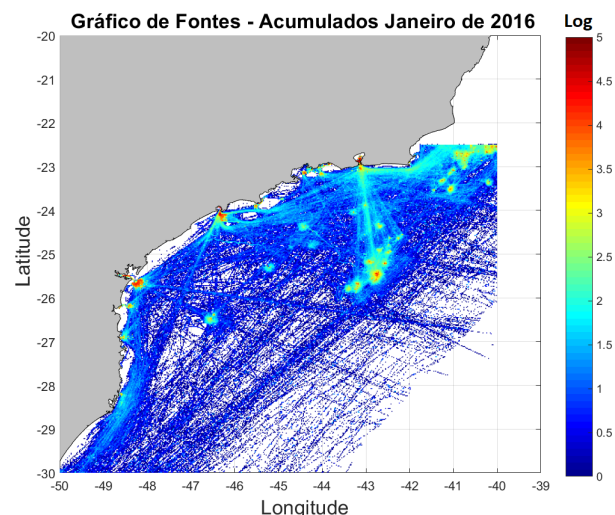


Figura 5: Gráfico de Densidade de Fontes Janeiro de 2016 -Dados do AIS em Escala Logarítma.

As Figuras 4 e 5 mostram uma maior concretização de fontes nas regiões costeiras sobretudo nos portos de Santos, Itajaí e Rio de Janeiro. Isso é

²O *Automatic Identification System* (AIS) é um sistema de monitoração de tráfego de embarcações.

observado também nas principais rotas de navegação e nas regiões dos campos de produção de óleo e gás com a Bacias de Campos e Santos.

2.3 CÁLCULO DO CAMPO ACÚSTICO

A perda na transmissão do sinal (do inglês *Transmission Loss* - TL) é obtida através do modelo Kraken. O modelo Kraken [18], desenvolvido em 1980 por Michael B. Porter é baseado na teoria dos modos normais. O modelo soluciona numericamente a equação de Helmholtz (equação da onda no domínio da frequência) de uma forma mais robusta e além disso, permite a inclusão de parâmetros como tipo de fundo marinho. O SIMAS gerencia a modelagem do campo acústico em duas principais fases:

- O cálculo da perdas na transmissão em toda a extensão da região de estudo feito pelo modelo *Kraken*;
- A integração do campo acústico feita pelo modelo *Field* [19].

Após o cálculo das perdas de transmissão, o ruído modelado para cada fonte é calculado considerando parâmetros em forma de um círculo cujo o centro desse círculo coincide com a posição da na fonte com um determinado raio de propagação. Os parâmetros do círculo como o raio e passo de cálculo são determinados nas configurações do sistema. A Figura 6 apresenta um círculo com o SPL do ruído calculado a 100 metros de profundidade. O raio círculo é de 100 km, a frequência do sinal é de 63 Hz e profundidade da fonte é de 8 m.

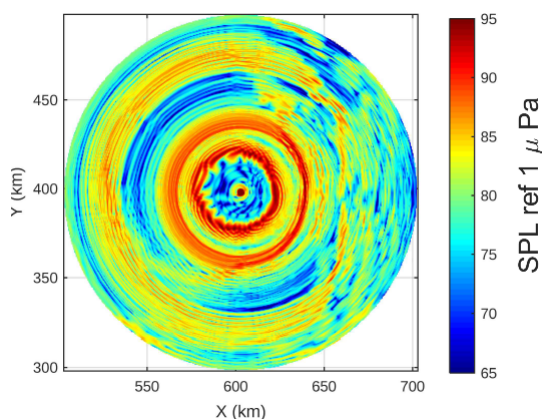


Figura 6: Exemplo de um círculo com o SPL modelado para uma fonte na frequência de 63 Hz.

Após os cálculos de cada círculo, o SIMAS *Field* realiza a sobreposições com a contribuição do SPL de cada fonte criando um mapa de ruído da região de estudo.

3. RESULTADOS

Os resultados produzidos pelo SIMAS são mapas de ruído instantâneos caracterizando *snapshots* com o ruído representado pelo o SPL ref. $1 \mu Pa$ em um determinado intervalo de tempo, profundidade e frequência. Os mapas de ruídos aqui apresentados, correspondem aos dados do ano de 2016. Os dados de TS e AIS compreendem o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2016 considerando a divisão temporal dos dados em janelas com intervalo de duas horas. A Figura 7 mostra um exemplo de um mapa modelado. O mapa apresentado corresponde ao dia primeiro de janeiro. A posição final das fontes consideradas na modelagem é a média do descolamento entre a posição inicial e final dos dados encontrados nos AIS conforme ilustrado na Figura 4 apresentados na seção 2.2. Dessa forma, considerando a divisão temporal com janelas de duas horas, o SIMAS é capaz de produzir 12 mapas por dia, 372 mapas por mês (360 mapas em meses com 30 dias) e até 4380 mapas por ano.

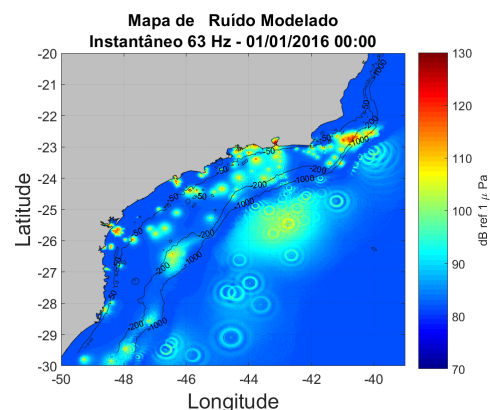


Figura 7: Mapa de ruído modelado instantâneo - 01/01/2016 janela 00h00 a 01h59.

Os mapas instantâneos podem ser apresentados em mapas acumulados com a média do SPL mensal, trimestral (estações do ano) e anual. A Figura 8 apresenta um mapa de ruído acumulado com a média mensal do SPL no mês de janeiro de 2016, 50 m de profundidade e 63 Hz. As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 mostram os mapas de ruído acumulado com a média trimestral do SPL nas estações verão



(janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro), primavera (outubro, novembro e dezembro) e a média anual de 2016 respectivamente.

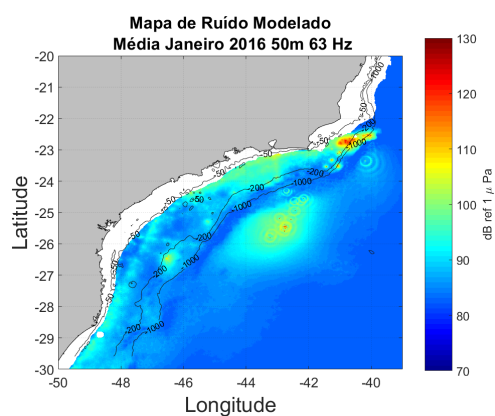


Figura 8: Mapa de ruído modelado com a média de SPL no mês de janeiro 2016, 50m 63 Hz.

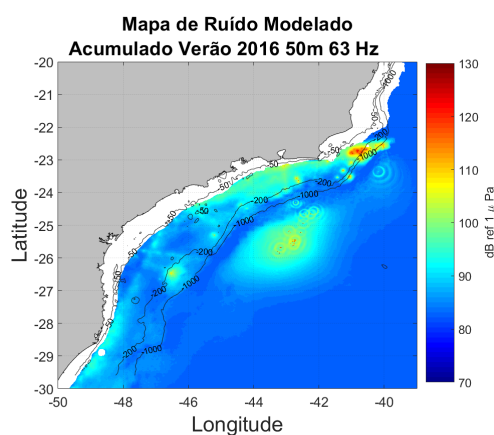


Figura 9: Mapa de ruído modelado com a média de SPL acumulado no verão de 2016, 50m 63 Hz.

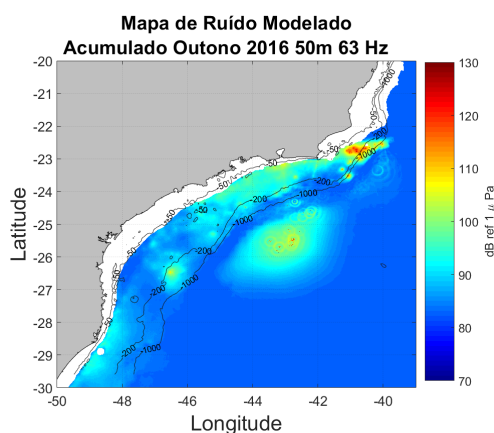


Figura 10: Mapa de ruído modelado com a média de SPL no outono de 2016, 50m 63 Hz.

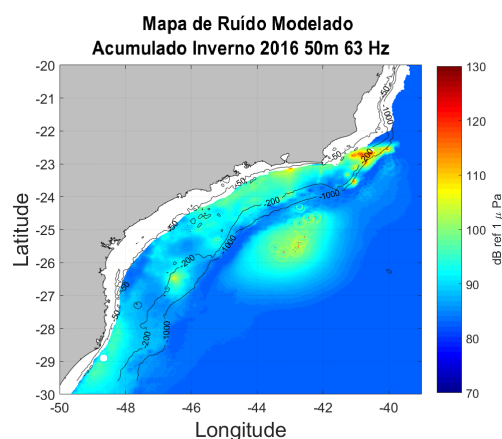


Figura 11: Mapa de ruído modelado com a média de SPL no inverno de 2016, 50m 63 Hz.

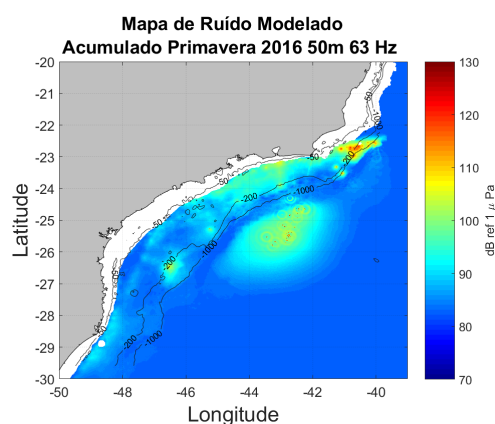


Figura 12: Mapa de ruído modelado com a média de SPL na primavera de 2016, 50m 63 Hz.

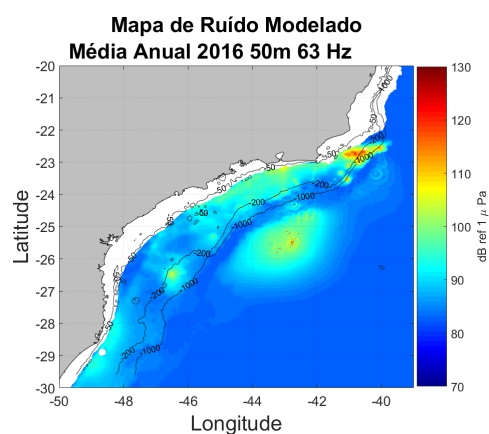


Figura 13: Mapa de ruído modelado com a média de SPL anual de 2016, 50m 63 Hz.

As Figuras 8 a 13 mostram que as regiões mais ruidosas estão concentradas nas regiões costeiras, regiões com atividades de Exploração e Produção (E&P) e em locais com as principais rotas

de navegação. Os resultados modelados apontam que as regiões mais ruidosas estão associadas aos locais com maior concentração de fontes, ou seja, as áreas mais ruidosas correspondem às áreas com maior densidade de fontes como pode ser observado no exemplo da Figura 5.

3.1 Comparação de Resultados

O mapa mostrado na Figura 8 apresenta resolução espacial de 500 m tanto para o sentido longitudinal quanto para o latitudinal obtido por meio da configuração do passo de cálculo pré estabelecida no sistema. Para fins de comparação e análise de resultados modelados, foi realizado um pós processamento no que tange à resolução espacial (longitudinal e latitudinal) de forma a converter os dados dos mapas de ruído para a resolução de 1/6 (cerca de 18,5 km). A conversão espacial para adequação à grade de 1/6 foi obtida através do cálculo da mediana entre cada ponto vizinho cujo o dado modelado estivesse contido dentro de um intervalo de 1/6 em cada ponto. A Figura 14 mostra o mapa com o SPL médio no mês de janeiro 2016 grade espacial 1/6.

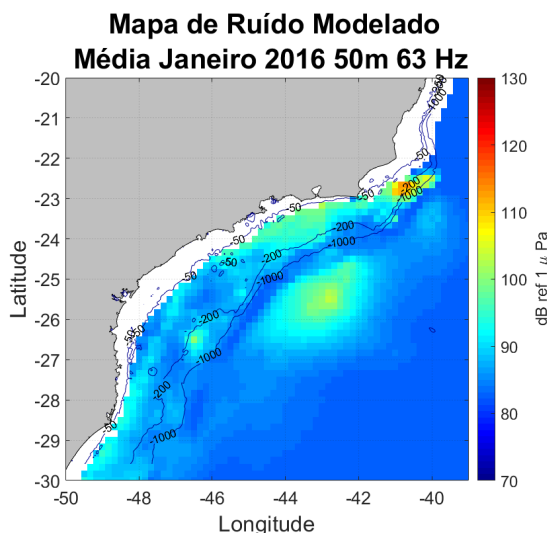


Figura 14: Mapa de ruído modelado com a média do SPL acumulado no mês de janeiro 2016, 50m 63Hz - res. 1/6.

Dessa forma foi realizada a comparação inicial entre os mapas modelados do ano de 2016 e foi observado que o mês de janeiro na Figura 14 foi o mês mais ruidoso enquanto maio foi o mês menos ruidoso. Para essa comparação, foi considerados as características da distribuição espacial do ruído em cada mapa como regiões de costeiras e de

E&P. A Figura 15 mostra a distribuição do ruído no mês de maio. Apesar do mapa modelado de ruído para o mês de maio apresentar as regiões costeiras e em locais de produção de E&P como regiões ruidosas assim como o mês de janeiro, ao comparar ambos os mapas, observa-se que janeiro apresenta maior distribuição espacial de ruídos e é mais ruidoso principalmente na região sudoeste conforme mostram as Figuras 15 14.

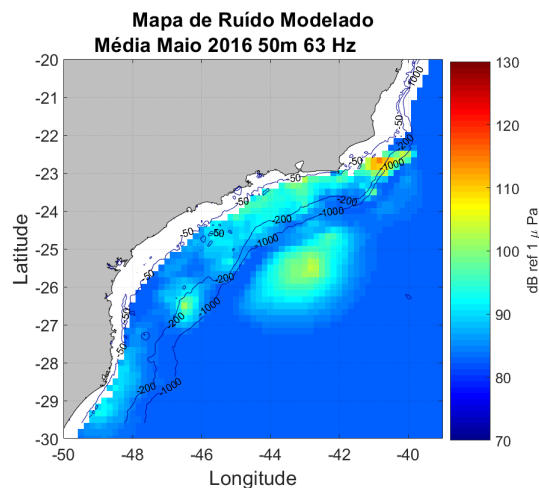


Figura 15: Mapa de ruído modelado com a média do SPL acumulado no mês de maio 2016, 50 m 63Hz - res. 1/6.

No interior da área de estudo, foram selecionadas quatro regiões contidas no dentro do contorno que delimita a Bacia de Santos. O critério de escolha das regiões foi feito a partir de suas características ambientais e densidade de atividade humana. Dessa forma, as regiões incluem áreas de pouca atividade antrópica, rota de navegação e até mesmo o Polo Pré-Sal. As quatro regiões se destacam pelas seguintes características:

A região 1 (R1) corresponde à região caracterizada por forte atividade de E&P localizada no centro da região do Pré-Sal da Bacia de Santos, possui limites geográficos de longitudes 42,5° O até 43,5° O e latitudes 25° O até 26° O;

A região 2 (R2) contém uma das principais rotas de navegação para o Pré-Sal tendo como origem a Baía de Guanabara. Está compreendida nos limites geográficos de longitudes 42° O até 43° O e latitudes 23,55° S até 24,55° S;

A região 3 (R3) corresponde à área com pouca atividade antrópica, localizada fora das áreas de atividade de E&P e navegação. Está localizada den-



tro dos limites geográficos de longitudes $43,88^{\circ}$ W até $44,88^{\circ}$ O e latitudes $25,62^{\circ}$ S até $26,62^{\circ}$ S;

A região 4 (R4) corresponde a área escassas atividades antrópica e localizada fora das áreas de E&P. Está compreendida nos limites geográficos de longitudes $45,7^{\circ}$ W até $46,7^{\circ}$ W e latitudes $26,7^{\circ}$ S até $27,7^{\circ}$ S.

A Figura 16 ilustra o contorno da Bacia de Santos e as regiões R1, R2, R3 e R4.

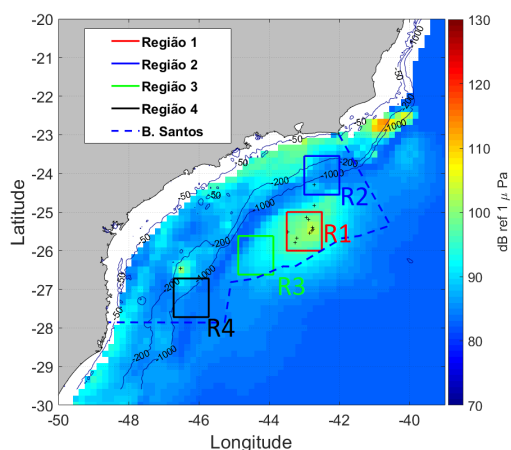


Figura 16: Ilustração de um mapa de ruído modelado com o contorno da Bacia de Santos e regiões R1 a R4.

A Figura 17 apresenta a diferença do ruído dos meses de janeiro e maio de 2016 mapa de ruído com 50 m de profundidade.

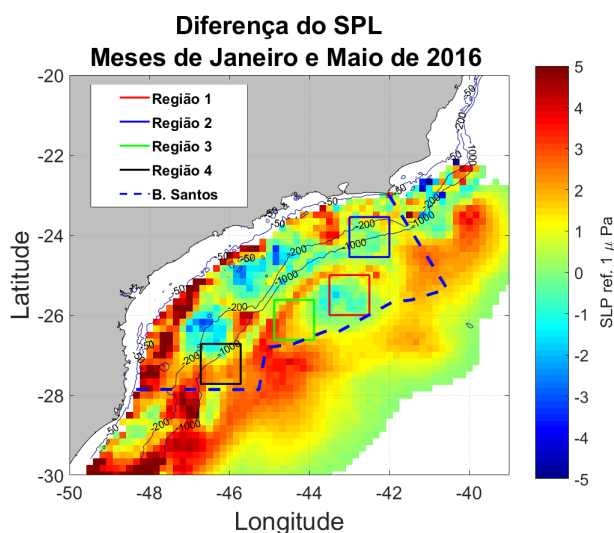


Figura 17: Diferença do SPL Modelado Janeiro e Maio 2016- Res. 1/6.

Nota-se que nas regiões costeiras e na porção su-

doeste da área de estudo, que em geral são regiões de navegação comercial e turismo, a Figura 17 mostra que a diferença do ruído modelado apresenta valores positivos indicando que os níveis de ruído no mês de janeiro estão mais elevados que o de maio nessas regiões. O motivo pode estar relacionado à variação do número de registro de AIS ao longo do tempo e espaço em cada um dos meses. No ano de 2016, somente na região R1, foram computados em média cerca de 11.000 registro de AIS para o mês de janeiro enquanto para o mês de maio a contagem atingiu a marca média de 8.400 registros de unidades. Já na região R4, a média de registros encontrados foi de 145 unidade para o mês de janeiro e 55 unidades para o mês de maio. O fato variação entre as diferenças de ruído desses dois meses pode estar associado à dinâmica das atividades de E&P que são mais estáveis ao longo do tempo em regiões com a R1 tornado uma região de acúmulo de fontes e, dessa forma contribuindo para que a diferença do ruído modelo nessa região entre esses dois meses se aproxime de zero. Já em regiões onde não são observados estabilidade de atividades de E&P ao longo do tempo, como regiões costeiras e a região R4 por exemplo, o ruído modelado fica mais suscetível às variações levando em conta a flutuação no número e a distribuição espacial dos registros em cada região e para cada um meses.

A Figura 18 mostra uma comparação entre a distribuição do ruído com o SPL médio acumulado no ano de 2016 nas quatro regiões e a Tabela 1 apresenta o resumo do SPL modelado em cada região. Observa-se tanto na Figura 18 quanto na Tabela 1 que a região R1 apresentou níveis de ruídos mais elevados que todas as outras regiões tendo a maior diferença em torno de 14 dB re. $1\mu Pa$ em comparação ao máximo de R4. Já para os valores médios e mínimos a diferença entre a região R1 e as demais regiões tem uma amplitude menor porém, ainda assim, o SPL mínimo modelado para a região é superior ao SPL máximo modelado das demais regiões. Apesar da região R2 contemplar uma das principais rotas de navegação para o Polo Pré-Sal, os resultados modelados não apresentaram essa região como uma região muito ruidosa. Esse fato pode estar associado que nem toda área contida na região R2 é acessada por tráfego de navios enquanto a região R1 além de possui tráfego mais intenso

também possui navios fundeados

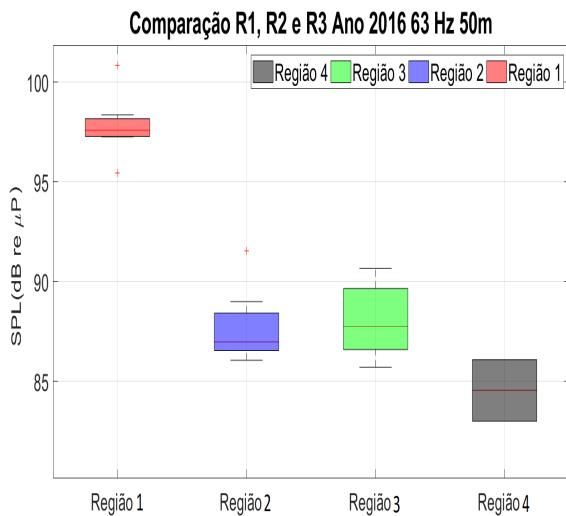


Figura 18: Distribuição de SPL modelado médio ano de 2016 R1, R2, R3 e R4.

Tabela 1: Resumo do SPL modelado R1 a R4-2016

SPL	R1	R2	R3	R4
Máximo	100,8	91,5	90,6	86,0
Médio	97,8	87,6	88,0	84,5
Mínimo	95,4	86,0	85,7	83,0

Quanto à evolução temporal ao longo dos meses de 2016, a Figura 19 mostra o SPL modelado médio mensal do ruído nas quatro regiões.

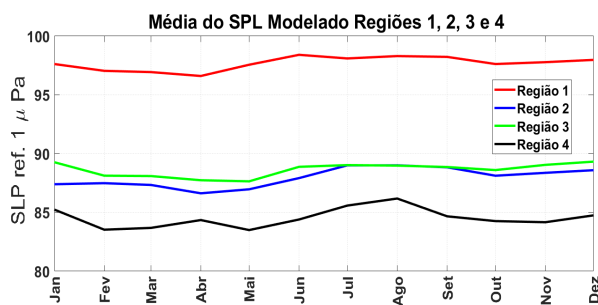


Figura 19: Curva comparação da média do SPL modelado acumulado mensal R1, R2, R3 e R4.

A Figura 19 mostra que, ao longo do ano de 2016, a região R1 apresentou-se com a região mais ruidosa enquanto a região 4 a região menos ruidosa. Essa característica está associada ao fato da região R1 apresentar altas concentrações de atividades de E&P, elevando assim o número de registros AIS e consequentemente o nível de ruído. A maior parcela de ruído encontrado dentro dos limites da

região R3 ocorre devido à contribuição do ruído irradiado da região R1. Já a região R2, apesar de conter uma das principais rotas de navegação para o Polo Pré-Sal, como não possui estabilidade de atividades de E&P ao longo do tempo, apresentou níveis de ruído semelhantes ao da região R3. Vale destacar que Figura 19 é uma forma de avaliação complementar do ruído modelado e deve ser levado em conta a variação da distribuição espacial dos mapas de ruído a contagem de fontes particular de cada um dos meses.

4. CONCLUSÃO

O procedimento adotado para a modelagem do ruído produzido pelos navios e plataformas mostrou ser uma ferramenta útil para mapear o ruído de forma a permitir o recorte de trechos de interesse. Esses trechos podem ser usados por especialistas de diversas áreas para uma análise específica ou estudos sobre paisagem acústica submarina. Os resultados obtidos com o desenvolvimento das ferramentas computacionais para modelagem do ruído acústico na região da Bacia de Santos e adjacências, apresentados no SIMAS, são promissores. Os dados modelados permitem a avaliação espacial e temporal do ruído ocasionado por diversas fontes antrópicas (navios a serviço de atividades de E&P, navios mercantes, plataformas, etc.) com uma extensa cobertura regional e já são utilizados em diversos outros programas internacionais de monitoramento da paisagem acústica, conforme Dekeling *et al.*[20].

O conjunto de resultados gerados pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS para do ano de 2016 oferece uma visão abrangente da variabilidade de um estudo no domínio espaço-temporal da modelagem do ruído na Bacia de Santos. O sistema foi capaz de realizar a modelagem do ruído levando em conta as características particulares de cada região. Os resultados apresentaram acúmulo de ruído modelado em regiões com maiores densidade de dados AIS e, consequentemente áreas de intensas atividades antrópicas como navegação, e locais de E&P. Já demais regiões não se apresentaram tão ruidosa devido a baixas densidades de dados AIS em relação a R1. A utilização de modelagem para o levantamento e mapeamento da paisagem acústica submarina da Bacia do Santos através do SIMAS permitiu analisar temporal



e especialmente todas as áreas da Bacia Santos. Nesse contexto, o SIMAS pode contribuir e reforçar significativamente para o uso da modelagem em estudos de paisagem a acústica submarina uma vez que a metodologia aplicada é adaptável estendendo sua aplicação para diversas áreas de um estudo da paisagem acústica submarina.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS e ao Instituto de Pesquisas da Marinha – IPqM, que são partícipes do Termo de Cooperação para execução do monitoramento fixo costeiro e processamento e análise de dados no âmbito do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos (PMPAS-BS). Este projeto é condição para licenciamento ambiental operacional exigido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

REFERÊNCIAS

- [1] Adams, Mags D; Bruce, Neil S; Davies, William J; Cain, Rebecca; Jennings, Paul; Carlyle, Angus; Cusack, Peter; Hume, Ken; Plack, C *et al.* *Soundwalking as a methodology for understanding soundscapes*. 2008.
- [2] Schafer, R Murray. *The soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world*. Simon and Schuster, 1993.
- [3] Krause, Bernie. *Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance*. *Whole Earth Review*, 57(472): 14–18, 1987.
- [4] Au, Whitlow WL e Hastings, Mardi C. *Principles of marine bioacoustics*. Springer, 2008. volume 510.
- [5] Campbell, D.A. *Estudo da paisagem acústica submarina na região do arraial do cabo, rio de janeiro*. dissertação de mestrado, programa associado de biotecnologia marinha, 2008.
- [6] Pijanowski, Bryan C; Villanueva-Rivera, Luis J; Dumyahn, Sarah L; Farina, Almo; Krause, Bernie L; Napoletano, Brian M; Gage, Stuart H e Pieretti, Nadia. *Soundscape ecology: the science of sound in the landscape*. *BioScience*, 61(3):203–216, 2011.
- [7] McKenna, Megan F; Ross, Donald; Wiggins, Sean M e Hildebrand, John A. *Underwater radiated noise from modern commercial ships*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1):92–103, 2012.
- [8] Soares, Cristiano; Zabel, Friedrich e Jesus, SM. *A shipping noise prediction tool*, oceans 2015–genova, 2015.
- [9] Santos, Projeto. *PMPAS-BS*. <https://www.comunicabaciadesantos.com.br/programa-ambiental/projeto-de-monitoramento-da-paisagem-acustica-submarina-pmpas.html>, 2022. [Online; Acesso em 015/03/2022].
- [10] De Lima, Fabiano Marcos; Junior, Carlos Correa; Filho, William Soares; Galottas, Catia; Lima, José Antonio Moreira e Paula, Thiago Pires. *An underwater acoustic modelling framework for santos basin, brazil*. *Em Proceedings of Meetings on Acoustics ICUA, volume 40, pág. 070020*. Acoustical Society of America, 2020.
- [11] Lima, Jose Antonio M; Paula, Thiago Pires; Soares Filho, William; Spengler, Angela; Almeida, Fernando Gonçalves; Pereira, Diogo Peregrino Correa; Galotta, Cátia; Junior, Carlos Corrêa; Bodart, Cristiani Perrini e Stein, Marcela. *Monitoramento da paisagem acústica submarina da bacia de santos (pmpas-bs): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico*. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 10(2), 2022.
- [12] Moreira, Jobel Lourenço Pinheiro; Madeira, Cláudio Valdetaro; Gil, João Alexandre; Machado, Marco Antonio Pinheiro *et al.* *bacia de santos*. *Boletim de Geociencias da PETROBRAS*, 15(2):531–549, 2007.
- [13] Chang, Hung Kiang; Assine, Mario Luis; Corrêa, Fernando Santos; Tinen, Julio Setsuo; Vidal, Alexandre Campana e Koike, Luzia. *Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na bacia de santos*. *Brazilian Journal of Geology*, 38(2):29–46, 2008.
- [14] Urick, Robert J. *Principles of underwater sound-2*. 1975.
- [15] Medwin, Herman; Clay, Clarence S e Stanton, Timothy K. *Fundamentals of acoustical oceanography*, 1999.
- [16] Service, Copernicus Marine Environmental Monitoring. CMEMS. <https://www.copernicus.eu/en>, 2022. [Online; Acesso em 02/02/2022].
- [17] Wenz, Gordon M. *Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12):1936–1956, 1962.
- [18] Porter, Michael B. *The kraken normal mode program*. Technical report, Naval Research Lab Washington DC, 1992.
- [19] Porter, Michael e Reiss, Edward L. *A numerical method for ocean-acoustic normal modes*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(1):244–252, 1984.
- [20] Dekeling, RPA; Tasker, ML; Graaf, AJ; Ainslie, MA; Andersson, MH; André, M; Borsani, JF; Brensing, K; Castellote, M; Cronin, D *et al.* *Monitoring guidance for underwater noise in european seas, part ii: Monitoring guidance specifications. a guidance document within the common implementation strategy for the marine strategy framework directive by msfd technical subgroup on underwater noise*. 2014.