

A INFLUÊNCIA DA FRENTE TÉRMICA DA RESSURGÊNCIA COSTEIRA DE CABO FRIO NA PERDA DO SINAL ACÚSTICO: UM ESTUDO NUMÉRICO**Codato¹, G.A.S.; Watanabe¹, W.B.; Calado¹, L.; Ramos¹, A.E.A.**

¹ *Marinha do Brasil - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto, 253 - Praia dos Anjos, Arraial do Cabo – RJ, CEP 28930-000
(22) 2622-9026 - gabrielcodato@gmail.com*

RESUMO

Este trabalho avaliou a perda do sinal acústico em função do gradiente térmico formado pela ressurgência costeira de Cabo Frio – RJ. Para tanto, utilizou-se de um modelo numérico hidrodinâmico para construir a estrutura termohalina da ressurgência. Essa estrutura foi implementada como parâmetro de entrada em um modelo acústico e utilizada como base de propagação do som. Após este procedimento, foram simulados sinais acústicos em dois cenários distintos, um deles representando uma situação de ressurgência intensa, e outro na qual a ascensão da água de fundo não ocorria. A comparação entre esses dois cenários mostrou que a pluma de ressurgência atua como uma barreira à propagação do som, visto que no cenário sem ressurgência um mesmo sinal acústico alcançou distâncias maiores. Neste sentido, especula-se que o gradiente térmico promovido pela ressurgência costeira possa prejudicar a detecção de alvos submarinos.

Palavras chave: Ressurgência Costeira, Modelagem Numérica, Oceanografia Acústica

INTRODUÇÃO

A estrutura da ressurgência costeira de Cabo Frio - RJ tem uma grande influência no ambiente costeiro adjacente, seja na distribuição da temperatura da água na costa, na definição do ambiente físico-biológico ou no ambiente acústico submarino. O conhecimento da evolução e dinâmica da ressurgência costeira é fundamental para subsidiar estudos que envolvam este contexto. A modelagem numérica hidrodinâmica é uma das ferramentas que traduz de forma espaço-temporal toda a estrutura tridimensional termohalina e dinâmica do movimento do oceano, propiciando a investigação de fenômenos como a ressurgência costeira.

A região oceânica ao largo de Cabo Frio apresenta características oceanográficas e hidrodinâmicas peculiares (CALADO *et al.*, 2008). Dentre os fenômenos que tornam esta região um domínio complexo, destaca-se a ocorrência de processos de ressurgência (CARRIERE *et al.*, 2010). A ressurgência costeira em Cabo Frio é resultado de uma combinação entre a própria configuração da costa e a persistência de ventos de quadrante nordeste – que ao soprar por vários dias consecutivos, acarreta no afastamento das águas costeiras através da dinâmica de Ekman. Esse mecanismo promove o afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que ascende além da quebra da plataforma continental

com temperaturas abaixo de 18°C, podendo aflorar em superfície próximo a costa (CALADO *et al.*, 2010). Em contrapartida, a camada superficial que abrange essa região do talude é geralmente ocupada pela Corrente do Brasil (CB), composta por águas com temperaturas mais elevadas – em torno de 25°C a 27°C durante o verão e de 22°C a 24°C durante o inverno. Nesse processo de interação entre as águas da CB e a ressurgência pode ser desenvolvido um gradiente térmico de até 10°C (RODRIGUES E LORIZZENTTI, 2001).

O gradiente térmico formado entre a pluma de ressurgência e as águas mais quentes da CB tem a capacidade de modificar o alcance dos sinais acústicos e a velocidade de propagação do som na água do mar. A acústica submarina vem sendo utilizada em diversas atividades, tanto militares quanto civis, que visam à exploração dos oceanos. Os principais campos de aplicação estão relacionados à detecção e localização de alvos, à prospecção de recursos naturais marinhos, aos levantamentos batimétricos, à pesca e à navegação (XAVIER, 2005).

A propagação dos sinais acústicos na água do mar depende essencialmente da estrutura termohalina e sua relativa estratificação, sendo esta regida pelos padrões de densidade. Neste contexto, as condições de temperatura e salinidade podem influenciar na propagação e alcance dos equipamentos sonares. Todavia, a temperatura é o parâmetro mais importante, influenciando diretamente na velocidade de propagação do som. Neste sentido, o presente trabalho buscou investigar a perda na transmissão do sinal acústico em função do gradiente termohalino ocasionado pela ressurgência costeira de Cabo Frio.

METODOLOGIA

O embasamento metodológico deste trabalho foi fundamentado em técnicas de modelagem numérica hidrodinâmica e acústica, de forma a estabelecer uma compreensão sinótica da propagação de sinais sonoros ao longo do gradiente térmico provocado pela ressurgência de Cabo Frio. Para tanto, foi necessário a utilização de um modelo numérico, para a construção da estrutura termohalina de propagação do som, e de um modelo acústico, que efetivamente simulou a transmissão dos sinais sonoros.

O modelo numérico utilizado foi o *Regional Ocean Modeling System* - ROMS (SHCHEPETKIN & MCWILLIAMS, 2005), no qual foi empregada uma técnica conhecida como aninhamento (do inglês, *nesting*), que consiste em utilizar resultados de uma simulação numérica como forçantes iniciais ou como condição de contorno para outra simulação, com maior resolução espacial e temporal. A simulação de menor resolução apresenta uma grade de resolução espacial de aproximadamente 2 km, com limites 22S-24S de latitude e 44W-41W de longitude. Nesse experimento, a única forçante utilizada foi a tensão de cisalhamento do vento, extraída do NCEP (resolução temporal de 6 horas). Já no experimento de maior resolução, além da tensão de cisalhamento do vento, também foi utilizada a forçante de maré, extraída do modelo de previsão de maré TPXO. A grade possui limites 22,86S-23,1S de latitude e 42,19W-42,89W de longitude, com resolução espacial de 300m. Ambos os experimentos foram realizados para o período de um mês (Janeiro/2001).

Dos resultados desta simulação, foram selecionados dois cenários distintos, sendo um deles representativo da ressurgência costeira e outro de uma situação onde a

ressurgência não ocorria. Estes cenários foram utilizados como base para a construção da estrutura termohalina, posteriormente implementada em um modelo acústico para se estudar a propagação acústica submarina.

A propagação dos sinais acústicos foi realizada através do modelo acústico BELLHOP (PORTER & BUCKER, 1986), um eficiente programa de traçado de feixes, desenvolvido em linguagem Fortran como parte do *software* Acoustic Toolbox. Este modelo foi projetado para executar o traçamento bidimensional de raios acústicos em um determinado perfil de velocidade do som. A velocidade do som foi calculada com base no algoritmo da UNESCO (FOFONOFF & MILLARD, 1983), e a propagação dos feixes foi realizada a partir de 10 m de profundidade, em ângulos de -45° a 45° , com frequência de 1500 Hz. A análise da atenuação dos sinais foi feita a partir do cálculo do parâmetro de Perdas na Propagação, conhecido por *Transmission Loss* (TL).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados numéricos conduzidos com o ROMS caracterizaram de modo satisfatório a ressurgência costeira de Cabo Frio. Através da Figura 1, no mapa de temperatura da superfície do mar (TSM) próximo a costa, é possível identificar um evento de forte ressurgência costeira, referente ao dia 25 de Janeiro de 2001. Ainda nesta figura, é nitidamente reconhecido um evento onde a ascensão da água de fundo não ocorria, referente ao dia 05 de Janeiro 2001.

O resultado dos experimentos realizados com o BELLHOP mostrou que a pluma de ressurgência atua como uma barreira à propagação do som, visto que no cenário sem ressurgência um mesmo sinal acústico alcançou distâncias maiores. Ou seja, o primeiro experimento mostrou que quando não há pluma de ressurgência o sinal sonoro se propaga por mais de 4 km, enquanto que na ocorrência do fenômeno o sinal da fonte sonora é extinto a cerca de 2 km de distância (Figura 1).

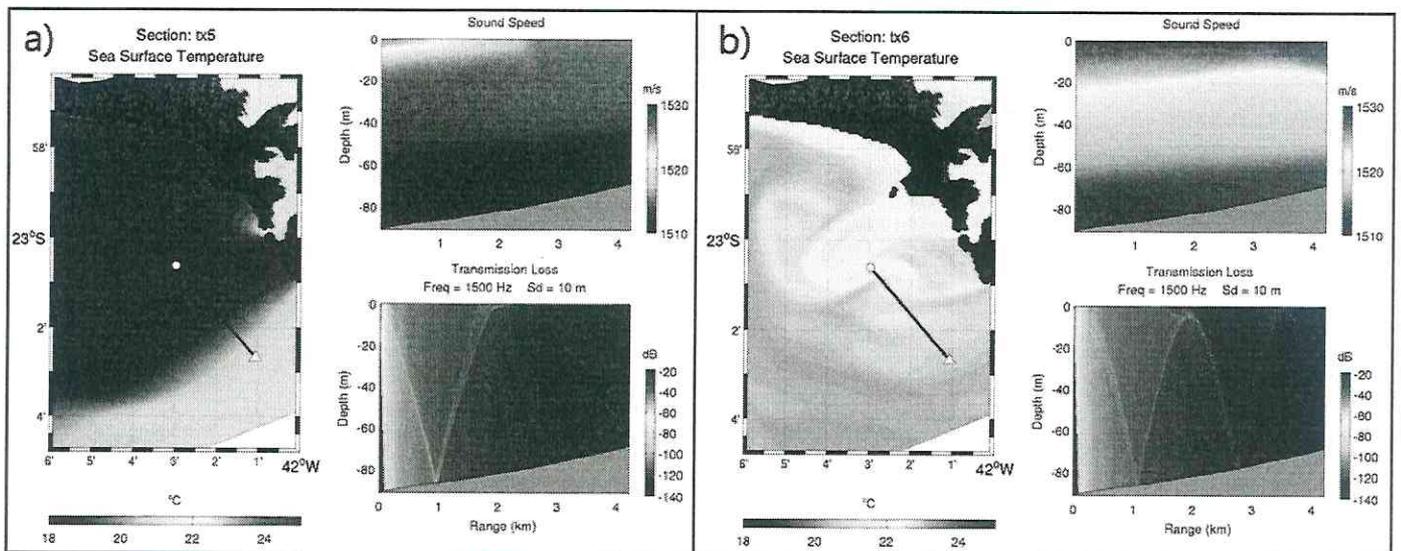


Figura 1: Seção vertical de atenuação do sinal acústico para o cenário com ressurgência (a) e para a situação sem ressurgência costeira (b).

Essa atenuação dos sinais é provocada pelo forte gradiente térmico, que acaba funcionando como um mecanismo de perda da intensidade acústica da onda sonora ao longo da sua trajetória. Uma implicação prática do fenômeno observado seria a diminuição da probabilidade de detecção de um alvo posicionado além da frente térmica da ressurgência costeira.

CONCLUSÕES

Os resultados ilustram de forma qualitativa a influência das frentes de densidade na propagação de um sinal acústico. Assim, foi possível perceber que a interação do processo de ressurgência costeira com o ambiente acústico pode impactar a propagação dos sinais sonoros de forma significativa, muito provavelmente prejudicando atividades práticas da acústica submarina, como por exemplo a detecção de alvos submarinos. Espera-se futuramente analisar este problema de forma quantitativa, no caso, determinando a probabilidade de detecção de alvos nos mesmos cenários aqui analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALADO, L.; SILVEIRA, I.C.A.; GANGOPADHYAY, A.; CASTRO, B.M. 2008. Feature-Oriented Regional Modeling and Simulations (FORMS) for the Western South Atlantic: Southeastern Brazil Region. *Ocean Modelling*, v.25, pp. 48-64.
- CALADO, L.; SILVEIRA, I.C.A.; GANGOPADHYAY, A.; CASTRO, B.M. 2010. Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). *Continental Shelf Research*, 30: 1181-1188.
- CARRIÈRE, O.; HERMAND, J.P.; CALADO, L.; DE PAULA, A.C.; SILVEIRA, I.C.A. 2010. Range-dependent acoustic tomography by oceanic feature modeling for the monitoring of upwelling (Cabo Frio, Brazil). *Institute of Electronics Engineers, Oceanic Engineering Society, IEEE*.
- FOFONOFF, P; MILLARD, R.C. JR. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *Unesco Tech. Pap. In Mar. Sci.*, n. 44.
- RODRIGUES, R.R.; LORENZZETTI, J. A. 2001. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research*, 21: 371- 394.
- SHCHEPETKIN, A. & MCWILLIAMS, J. 2005. The regional oceanic modeling system (roms): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347–404.
- XAVIER, B.C. 2005. **Modelos de Propagação Acústica em Águas Rasas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica).