

CARACTERIZAÇÃO OCEÂNICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE DO BRASIL: RESULTADOS PRELIMINARES PARA UM ESTUDO DE DISPERSÃO DE OVOS E LARVAS DA SARDINHA-VERDADEIRA (*Sardinella brasiliensis*)

Daniela Faggiani DIAS¹, Luciano Ponzi PEZZI¹, Douglas Francisco Marcolino GHERARDI¹
INPE/DSR – São José dos Campos – {faggiani,luciano,douglas}@dsr.inpe.br

RESUMO: Resultados de um experimento hidrodinâmico com o *Regional Ocean Modelling System* (ROMS) de 16 anos, com resolução espacial de 1/12° são apresentados aqui. Séries temporais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e Altura da Superfície do Mar (ASM), além de mapas instantâneos com médias mensais indicam que as soluções numéricas do modelo estão estáveis e que os resultados apresentam as principais feições oceanográficas da área de estudo, além de representar sua variabilidade sazonal. Estes resultados serão futuramente utilizados como forçantes físicas de um experimento de dispersão de ovos e larvas da sardinha-verdadeira.

ABSTRACT: Results of first experiment with ROMS are presented here. Time series of SST and SSH, as well as maps with average monthly snapshots indicate that the numerical solutions of the model are stable. The results show the main oceanographic features of the study area and reliably represent its seasonal variability. Model outputs will be used as physical forcing of an experiment of ichthyoplankton dispersal for the Brazilian sardine.

1. INTRODUÇÃO

A sardinha-verdadeira é uma espécie de peixe pelágico de pequeno porte e de hábitos costeiros, sendo a espécie mais abundante nas águas costeiras brasileiras e o recurso pesqueiro mais importante para o país (KATSURAGAWA et al., 2006). A captura interanual dessa espécie tem sofrido diversas flutuações, que podem estar relacionadas a padrões climáticos estabelecidos através da interação entre o oceano e a atmosfera (GIGLIOTTI et al., 2010, SOARES et al., 2011). Esses padrões influenciam nas condições de desenvolvimento do ictioplâncton e, conseqüentemente, na sobrevivência dos peixes na vida adulta.

A investigação da influência das condições oceânicas e atmosféricas sobre o ictioplâncton pode ser feita por meio de modelos físico-biológicos, destacando-se os modelos baseados em indivíduo (*Individual Based Models – IBMs*). Esses modelos levam em consideração características de cada indivíduo para prever sua trajetória e as condições físico-químicas do meio em que este se desloca. Um ponto importante a ser destacado com relação aos IBMs é a confiança nos modelos hidrodinâmicos. É de extrema importância que esses modelos resolvam os processos físicos em escalas que permitam que os processos biológicos sejam expressos, uma vez que estes normalmente ocorrem em escalas menores que os físicos. Os modelos numéricos regionais capazes

de representar processos físicos de mesoescala são uma boa opção para serem utilizados junto aos IBMs. Esses modelos têm sido cada vez mais acoplados com IBMs no estudo da dinâmica dos primeiros estágios de vida de espécies marinhas, particularmente pequenos pelágicos (LETT et al., 2008).

Um exemplo de modelo regional é o *Regional Ocean Modelling System* (ROMS, Shchepetkin and McWilliams, 2005), que tem sido utilizado para estudar fenômenos oceânicos de mesoescala e suas relações com processos biológicos, por meio de IBMs. O ROMS foi previamente adaptado a diferentes regiões oceânicas e comparações realizadas com dados observacionais constataram que o modelo é capaz de resolver os processos de mesoescala de forma bem acurada, incluindo frentes, meandramentos e ressurgências (HAIDVOGEL et al., 2000; LUTJEHARMS et al., 2003; MALANOTTE-RIZZOLI et al., 2000; PENVEN et al., 2001; SHE e KLINCK, 2000; SILVA et al., 2009).

A relação entre os processos oceânicos de mesoescala e a dispersão dos ovos da sardinha-verdadeira é pouco conhecida e esta pode ser reproduzida com confiança por meio de IBMs aliados a modelos hidrodinâmicos regionais. Assim, este trabalho apresenta resultados preliminares do modelo hidrodinâmico para ser aplicado como forçante de um IBM.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado é o *Regional Oceanic Modelling System* (ROMS), um modelo tridimensional, de superfície livre, que resolve as equações de Navier-Stokes utilizando a média de Reynolds e assumindo as aproximações de Boussineq e hidrostática. Detalhes das formulações matemáticas utilizadas pelo ROMS podem ser encontrados em Shchepetkin e McWilliams (2005) e em Haivogel et al. (2008). A grade utilizada possui resolução horizontal de $1/12^\circ$, cujo domínio corresponde às latitudes 20°S até 30°S e longitudes de 40°W até 50°W . A discretização vertical foi feita por meio de coordenadas sigma em 30 níveis. A informação sobre a linha de costa utilizada para a grade foi extraída do banco de dados *World Coast Line*, da NOAA, disponível no endereço eletrônico <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast/>>. A batimetria é proveniente do banco de dados *SRTM30_plus*, que está disponível no endereço eletrônico <http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_srtm30.cgi>. Essa base de dados é composta por dados de topografia, com resolução de 1 km e de batimetria oceânica, com resolução de 30 segundos de arco. Os dados de contornos oceânicos e as forçantes atmosféricas utilizadas são provenientes, respectivamente, das bases de dados de reanálises do SODA (*Simple Ocean Data Assimilation*) e do NCEP-CFSR (*National Center for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis*). Ambas possuem resolução espacial de $1/2^\circ$ e são produtos de assimilação de dados que utilizam dados observacionais coletados de diferentes maneiras (dados de satélite, medidas de navios, perfis hidrográficos provenientes de CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*), estações hidrográficas, bóias oceanográficas e resultados de modelos).

O experimento realizado teve duração de 16 anos, de janeiro de 1980 a janeiro de 1996, e objetivou o equilíbrio das soluções do modelo sob as forçantes utilizadas (spin up). Para a análise, foram extraídas séries temporais com médias mensais de TSM e ASM, em nove pontos distribuídos ao longo da grade (Figura 1). Além disso, mapas instantâneos de TSM foram plotados para o verão e o inverno do último ano do experimento, objetivando identificar feições oceânicas típicas da região, para a verificação da estabilidade do modelo.

Após essa etapa, serão realizados experimentos hidrodinâmicos que serão utilizados como forçantes físicas do IBM para a verificação do padrão de dispersão do ictioplâncton da sardinha-verdadeira. O IBM a ser utilizado é o Ichthyop (LETT et al., 2008), uma ferramenta livre, disponível no endereço eletrônico <<http://www.ur097.ird.fr/projects/ichthyop/>>.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

As Figuras 2 e 3 apresentam as séries temporais de médias mensais de TSM e de ASM do spin up para nove pontos distribuídos ao longo da área do domínio. Pode-se observar que não há tendência de aumento ou diminuição dos valores médios, indicando o equilíbrio das soluções. Além disso, as séries de TSM representam claramente a variabilidade típica do balanço térmico sazonal do oceano.

Através dos mapas instantâneos de TSM para o verão e o inverno (Figuras 4A e B) é possível observar a expressão espacial da variabilidade sazonal, com temperaturas mais elevadas no verão e mais baixas no inverno. Além disso, os resultados apresentados representaram os principais processos oceanográficos presentes sobre a região estudada. A ressurgência costeira de Cabo Frio (RJ) é consequência do padrão de ventos e da geometria da costa, que causam o afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Devido ao campo de ventos no verão ser tipicamente de NE, a ressurgência torna-se mais intensa nessa época. TSMs menores que 20°C são um bom indicador para esse processo, pois esta é a característica típica da ACAS (SILVEIRA et al., 2000). Corroborando com essas informações, os resultados do modelo apresentaram uma ressurgência para o mês de janeiro de 1995 e uma diminuição desta para o mês de julho. A posição da corrente do Brasil nas proximidades da quebra de plataforma continental e sua intensificação para os meses de verão também foi detectada pela simulação (CASTRO et al. 2006). Além disso, para o inverno, foi detectada a intrusão de águas mais frias ao Norte do Cabo de Santa Marta.

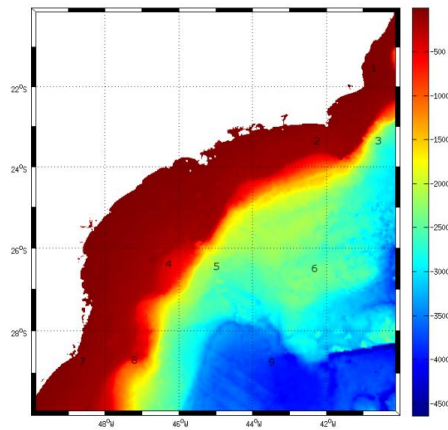


Figura 1: Batimetria (em metros) da área de estudo com os pontos (numerados de 1 a 9) selecionados para a análise.

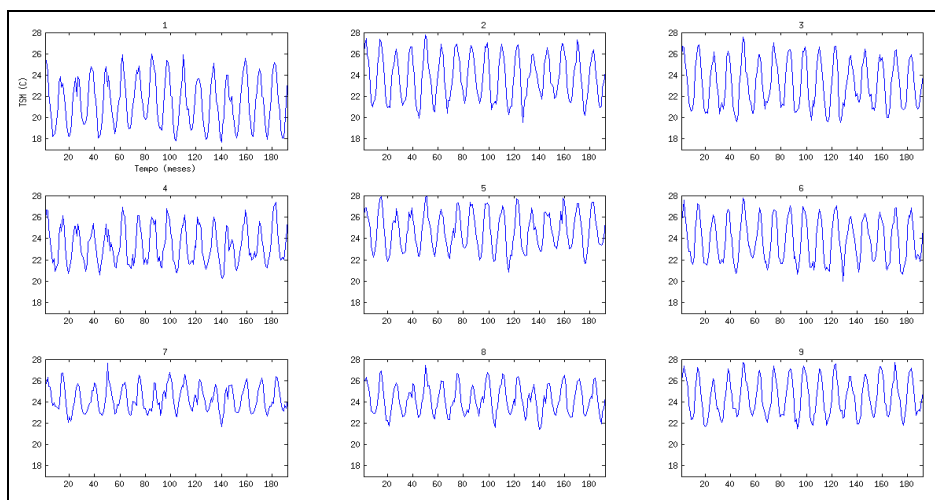


Figura 2: Séries temporais da temperatura superficial do mar (TSM) nos pontos de análise indicados na Figura 1. O ciclo sazonal da TSM aparece de forma clara em todos os pontos.

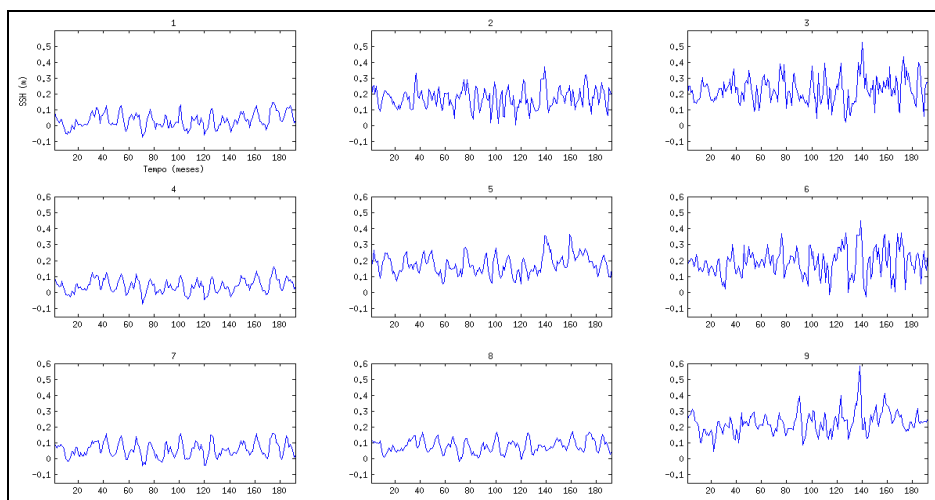


Figura 3: Séries temporais da altura da superfície do mar (ASM) nos pontos de análise indicados na Figura 1. Note a maior variabilidade da ASM em locais com predomínio da atividade de mesoescala próximo a Cabo Frio (2 e 3).

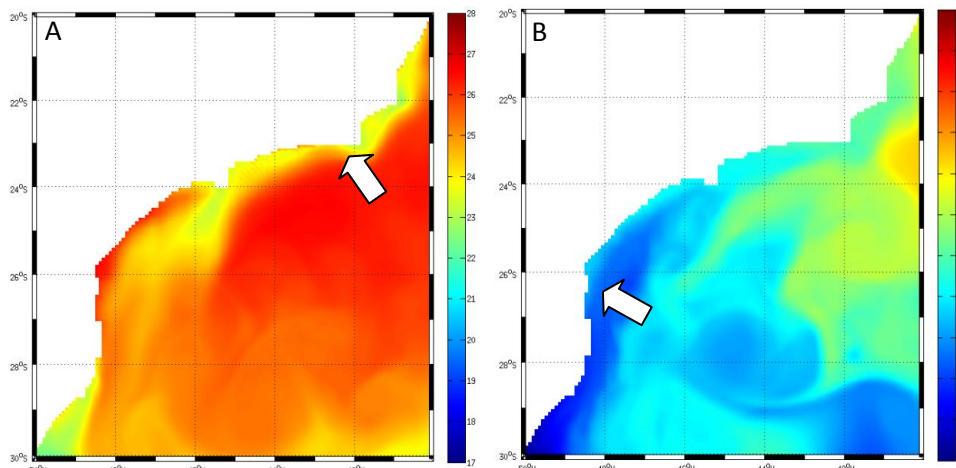


Figura 4: Média mensal da temperatura da superfície do mar (°C) para os meses de janeiro (A) e julho (B) de 1995. Note a presença da ressurgência de Cabo Frio no mapa A (seta) e a presença da Contra Corrente Costeira no mapa B (seta).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui apresentados sugerem que as soluções numéricas do modelo estão estáveis, podendo os resultados do modelo, portanto, serem utilizados como as forçantes físicas para os experimentos com o *Ichthyop*. Através destes, espera-se averiguar como as características físicas da PCSE e a mudança nas áreas de desova influenciam no padrão de dispersão e agregação dos ovos e larvas da sardinha-verdadeira. Além disso, espera-se identificar as escalas que ocorrem os principais processos relacionados ao icteoplâncton, para nortear futuros cruzeiros de pesquisa. Por fim, espera-se averiguar como esses processos influenciam na captura dessa espécie, pela comparação dos resultados do modelo com valores de desembarque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTRO, B. M.; LORENZETTI, J.A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B., 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. S. O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo: **Edusp – Editora da Universidade de São Paulo**. 472 p. ISBN 85-314-0948-9.
- GIGLIOTTI, E. S.; GHERARDI D. F. M.; PAES, E. T.; SOUZA, R. B.; e KATSURAGAWA, M., 2010. Spatial analysis of egg distribution and geographic changes in the spawning habitat of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Journal of Fisheries Biology**, doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02802.x.
- HAIVOGEL et al., 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. **Journal of Computational Physics**, v. 227, p. 3595–3624.
- LETT, C., 2008. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. **Environmental Modelling and Software**, v. 23, p. 1210-1214.
- SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y., 2000. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183.
- SOARES, H. C.; PEZZI, L. P.; GHERARDI, D. F. M.; PAES, E. T., 2011. Oceanic and atmospheric patterns during spawning periods prior to extreme catches of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) in the southwest Atlantic. *Scientia Marina*, v. 75, n. 4, p. 665-677.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, v. 9, p. 347–404.