

# Desenvolvimento de TÉCNICA de PREVISÃO da corrente do BRASIL na região SUDESTE

Figura 1: Operação  
UNITAS-LANT ,  
fonte: Poder Naval  
(<http://www.naval.com.br>).



*Leandro Calado*

Pesquisador Encarregado do Grupo de Sensoriamento Remoto do IEAPM  
Doutor em Oceanografia Física

*Ricardo Marques Domingues*

Pesquisador no National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA

*Wandrey Bortoli Watanabe*

Doutorando na Universidade de São Paulo

*Gabriel Serrato de Mendonça Silva*

Bolsista da FAPERJ no Grupo de Sensoriamento Remoto do IEAPM

*Eduardo Negri de Oliveira*

Professor Doutor na Universidade do Estado do Rio de Janeiro

*Leticia Vasques dos Reis Portella Nascimento*

Estagiária do Grupo de Sensoriamento Remoto do IEAPM

A circulação oceânica no litoral brasileiro pode ser considerada complexa e altamente dinâmica, pois as correntes oceânicas carregam as massas d'água em direções distintas e em diferentes camadas verticais. A principal corrente no sudeste brasileiro, a Corrente do Brasil (CB), evolui em seu caminho com uma intensa atividade de mesoescala, caracterizada por sua dinâmica meandrante que, eventualmente, pode evoluir para a formação de estruturas ciclônicas oceânicas denominadas vórtices. Na literatura é bem estabelecida a presença de pelo menos três sítios de recorrência de meandros e vórtices na costa brasileira, sendo estes nas regiões ao largo de Vitória, Cabo de São Tomé e Cabo Frio.

O entendimento do comportamento do sistema CB e sua atividade de mesoescala é de extrema importância, não apenas pela sua riqueza científica, mas pela importância econômica e estratégica no contexto do cenário operacional da Marinha do Brasil (Figura 1). A previsão desse comportamento tem melhorado significativamente nos últimos anos, especialmente devido aos avanços no processamento computacional que permitiram consideráveis melhoras no refinamento dos modelos numéricos hidrodinâmicos. No entanto, para que o resultado apresentado pelo modelo seja coerente com o que se propôs estudar é preciso que os dados oceânicos utilizados como condições iniciais sejam bem especificados, subsidiando o modelo para que represente fielmente as características reais da dinâmica oceânica.

Neste contexto, o Modelo Regional Orientado por Feições (MROF), desenvolvido por Gangopadhyay *et al.* (1997) e aprimorado para a região brasileira por Calado *et al.* (2008), aparece como uma alternativa interessante para complementar as avançadas técnicas de modelagem numérica existentes. Esta técnica utiliza-se de Modelos de Feição (MF), ou modelos paramétricos, para representar feições

oceânicas individuais, como correntes, vórtices e plumas de ressurgência. Essas feições são incorporadas a dados coletados preteritamente e a imagens de satélite para criar uma estrutura de temperatura e salinidade tridimensional realística do oceano, que pode ser utilizada como campo inicial para o modelo numérico.

Dentro do contexto do Projeto Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) foram utilizadas as ferramentas Modelo Regional Orientado por Feição (MROF) da CB e o modelo oceânico Regional Ocean Modeling System (ROMS) para desenvolver um sistema de previsão oceânica operacional.

Para validar os resultados obtidos pela previsão o algoritmo que detecta frentes termais oceânicas Single-Image Edge Detection (SIED) foi aplicado possibilitando comparar os resultados das simulações com as imagens termais obtidas por satélite.





## Os Dados Orbitais e o SIED

Os dados orbitais utilizados neste estudo foram adquiridos na página do Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST). Uma nova categoria de imagens de sensoriamento remoto denominada blended, resultado da união de sete diferentes sensores orbitais e dados "in situ" coletados por bóias oceanográficas, fornece imagens da temperatura da superfície do mar sendo invariavelmente geradas com 0% de nuvens. Dessa forma, essas imagens tornam-se ideais para a comparação com o resultado de modelagem numérica, especialmente para uma região com a presença permanente de nebulosidade, como é o caso do sudeste brasileiro.

As imagens foram obtidas com resolução espacial de, aproximadamente, 1 km e resolução temporal diária, com sua divulgação pelo GHRSSST ocorrendo com um atraso de dois dias. Os resultados do ROMS são apresentados com uma resolução espacial de 4 km. Assim, a comparação com a melhor resolução espacial das imagens orbitais seria equivocada devido ao método de detecção de frentes termais do SIED que depende diretamente da resolução espacial. Dessa forma, as imagens blended foram reamostradas para a mesma resolução do modelo, 4 km, e só depois trabalhadas dentro do contexto deste trabalho.

Para realizar uma comparação entre os resultados do ROMS e das imagens de satélite foi utilizada uma ferramenta objetiva baseada em histogramas e parâmetros estatísticos. Dessa forma, passou a ser viável a comparação entre os resultados, impedindo que classificações subjetivas a tornassem inválida (Cayulla & Cornillon, 1995). O algoritmo SIED, desenvolvido por Cayulla & Cornillon (1992), é considerado um dos mais robustos para a detecção de frentes oceânicas, sendo amplamente utilizado desde a década de 90, tendo ampla validação pela comunidade científica (Belkin et al., 2009).

O SIED trabalha em diferentes escalas, variando do local ao regional, de forma a identificar regiões onde exista uma frente termal. Uma frente termal pode ser descrita como uma mudança abrupta entre duas regiões que possuem temperaturas relati-

vamente uniformes e diferentes entre si (Belkin & O'Reilly, 2009). Dessa forma, o SIED busca, através de janelas de 32 por 32 pixels, regiões cujo histograma local se apresenta como bimodal. A região localizada entre os dois picos do histograma bimodal é considerada uma frente em potencial. Para garantir a qualidade das frentes identificadas, o algoritmo também analisa a coesão e distribuição das temperaturas encontradas para determinar se o comportamento bimodal do histograma se deve realmente à presença de uma frente, ou apenas a padrões erráticos de temperatura.

## Modelo Regional Orientado por Feições e a Previsão

A técnica do MROF pode ser considerada uma forma realística de construir a estrutura termohalina inicial para previsão oceânica. Sua filosofia consiste em construir uma estrutura tridimensional de feições conhecidas na costa brasileira, através de modelos paramétricos (Modelos de Feição), tendo como base os dados "in situ", climatológicos e orbitais. Modelos de Feições (MF) é a base do MROF e são representações numéricas das feições oceanográficas de maior relevância dinâmica, como correntes, vórtices e meandros.



A partir de dados de cruzeiros oceanográficos, dados climatológicos e imagens de satélites, procura-se construir os MF's determinando-se equações matemáticas capazes de descrever a estrutura termohalina tridimensional da feição (Calado *et. al.*, 2008). Dessa forma, o campo termohalino preliminar, utilizado para inicializar os modelos numéricos de previsão oceânica, é ajustado de acordo com as variabilidades de mesoescala observadas nas feições oceanográficas, que por sua vez, são delimitadas pelas imagens de satélites e capturas pelo algoritmo SIED. Diferente dos MF's baseados apenas em dados climatológicos, os MF's baseados em dados sinóticos coletados por plataformas orbi-

tais representam com maior fidelidade a estrutura dinâmica da feição oceanográfica. No IEAPM foram desenvolvidos MF's para a Corrente do Brasil (CB) em sua porção sudeste e para alguns vórtices associados à ela.

A Figura 2 ilustra o processo de construção do MROF, a aplicação do sistema de identificação de frentes oceânicas e as três fases do sistema: O MROF propriamente dito, que inclui dados orbitais, os MF's e o processo de interpolação das feições com a climatologia; a simulação numérica de previsão; e a Detecção de frentes via o algoritmo SIED, possibilitando comparações qualitativas entre os resultados das simulações e as imagens orbitais.

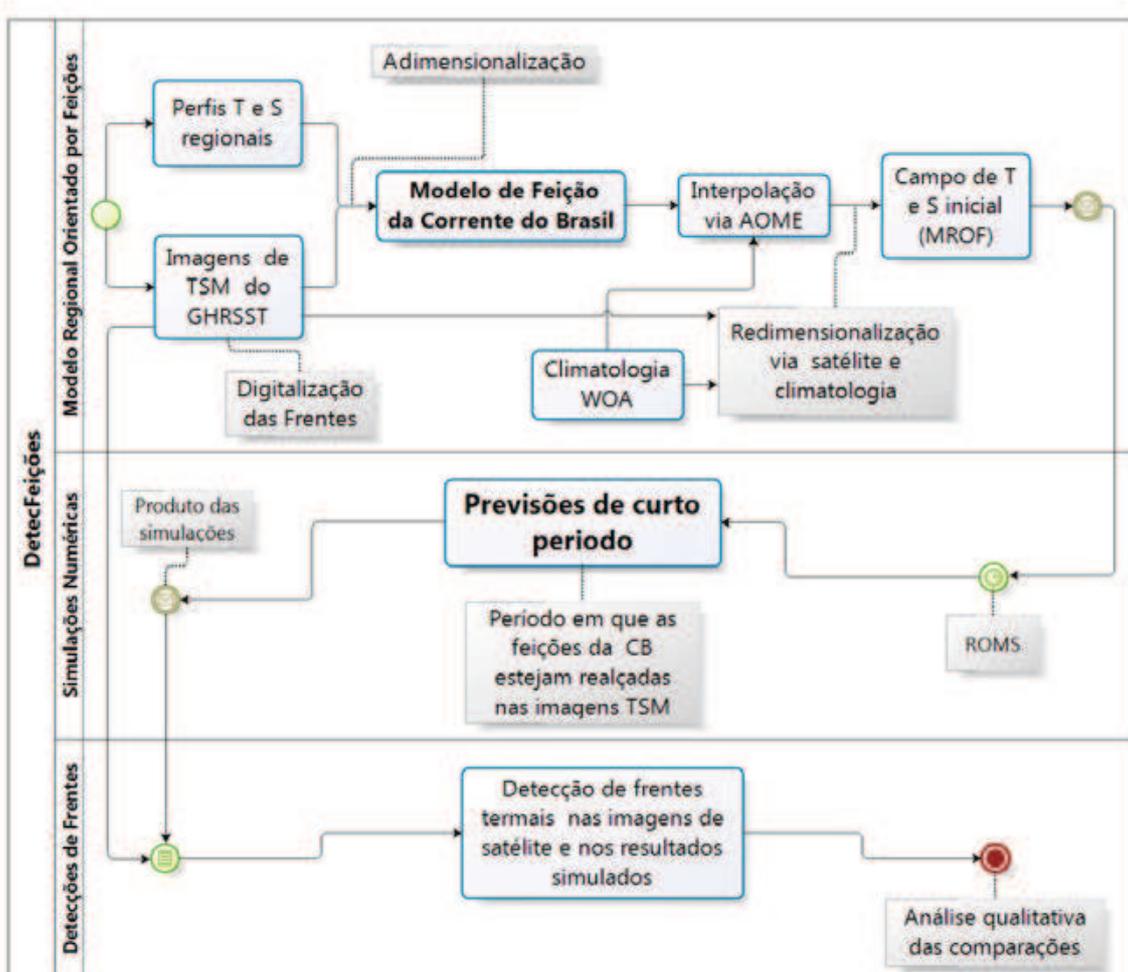


Figura 2: Metodologia do sistema de previsão de curto período da CB.



## Discussões

Os resultados do modelo ao longo dos dias da previsão foram comparados qualitativamente com as imagens de satélites dos dias correspondentes. Para isso, as frentes oceânicas detectadas pelo SIED, em ambos os casos, foram sobrepostas sobre a imagem de satélite para melhor visualização dos resultados. Para ilustrar a eficiência do processo de previsão, foi escolhido o período da primavera (19 a 24 de Outubro de 2010) pela presença quase contínua de um gradiente termal acentuado, que facilita o processo comparativo (Fig. 3).

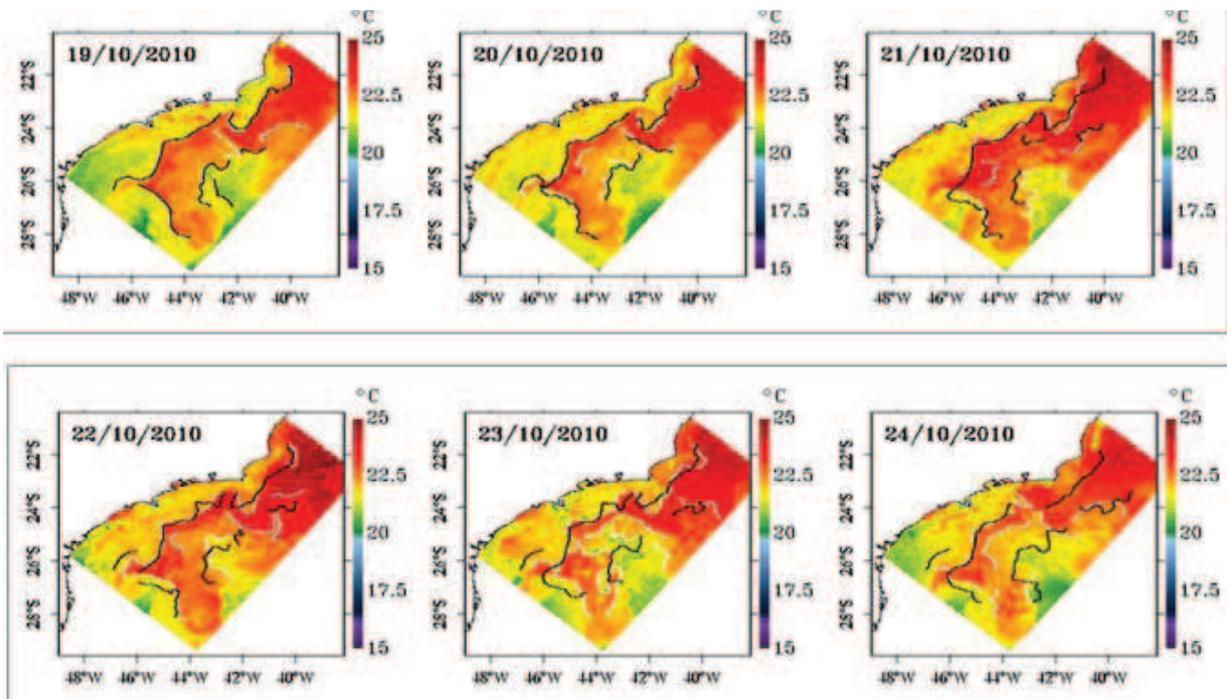


Figura 3: Sobreposição das frentes oceânicas detectadas pelo SIED na imagem de satélite (branco) e no resultado da previsão do modelo numérico (preto) nos dias 19 a 24 de Outubro de 2010.

Como era esperado, as frentes não são perfeitamente concordantes, mas o modelo se mostrou bastante coerente. No primeiro momento, no dia 19 (nowcast), as frentes são praticamente coincidentes, com pouca perda de detalhamento ocorrendo na simulação. Esse comportamento é esperado, pois o modelo se baseia, em parte, nesta mesma imagem de satélite. Nos três dias iniciais (19 a 21), o meandro associado ao Vórtice de Cabo Frio (23°S) é similar em ambas as frentes, com a maior perda de identificação ocor-

rendo no último dia.

Nos dias subsequentes as frentes não se encontram em perfeita sincronia, mas o comportamento geral pode ser considerado bastante coerente. Chega-se a esta conclusão, principalmente, porque, nas simulações pode ser vista uma identificação bastante boa do caminho da frente interna da CB, bem como do deslocamento de uma pluma quente que passa a ocorrer em 27°S, o que mostra que o modelo têm reproduzido, de forma geral, o comportamento da CB.

## Considerações Finais

É possível perceber que existe uma concordância entre as frentes oceânicas identificadas nas imagens de satélite e aquela detectadas nos resultados do modelo. Isso indica que os resultados do modelo são coerentes com o comportamento encontrado nos dias subsequentes à rodada do mesmo. Além disso, com o melhoramento do campo inicial, marcado aqui pela introdução da estrutura tridimensional do MROF, foi possível acompanhar com detalhamento a evolução de meandros e a formação de vórtices ao longo do caminho percorrido pela frente interna da CB.

Deve-se destacar o fato de que a ferramenta de previsão da CB encontra-se em contínuo aprimoramento, uma vez que melhoramentos no MROF e na qualidade dos dados orbitais são um dos principais objetivos da Divisão de Dinâmica dos Oceanos e do Grupo de Sensoriamento Remoto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELKIN, I. M.; CORNOLLON, P. C.; SHERMAN, K., 2009: Fronts in Large Marine Ecosystem. *Progress in Oceanography*, v.81, 223-236.

BELKIN, I. M.; O'REILLY, J., 2009: An Algorithm for Oceanic Front Detection in Chlorophyll and SST Satellite Imagery. *Journal of Marine Systems*, v.78, 319-326.

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.

CAYULA, J. F., CORNILLON, P., 1992, Edge Detection Algorithm for SST Images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 9(1), pp. 67-80.

CAYULLA, J. F.; CORNILLON, P., 1995: Multi-Image Edge Detection for SST Images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12, 821-829.

GANGOPADHYAY, A.; ROBINSON, A. R.; ARANGO, H. G., 1997. Circulation and dynamics of the western north Atlantic. I. Multiscale feature models. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 14(6), 1314-1332.

