

## CLIMATOLOGIAS DE TEMPERATURA E SALINIDADE SIMULADAS POR DIFERENTES VERSÕES DE UM MODELO OCEÂNICO

de Maria, P. H. S.<sup>1</sup>; Pezzi, L. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Rod. Presidente Dutra, KM 39 – Cachoeira Paulista, SP, Brasil – paulo.santiago@cptec.inpe.br

<sup>2</sup>Coordenação de Observação da Terra (OBT) - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Rod. Presidente Dutra, KM 39 – Cachoeira Paulista, SP, Brasil – luciano.pezzi@cptec.inpe.br

### RESUMO

Neste trabalho são documentadas as simulações globais de longo prazo com forçante datada, utilizando duas versões diferentes (4.0 e 4.1) do *Modular Ocean Model 4* (MOM4). São utilizados 49 anos de dados do projeto *Coordinated Ocean-ice Reference Experiments* versão 2 (CORE2) na caracterização dos fluxos superficiais. São feitas comparações dos resultados das simulações com três fontes distintas de dados oceânicos: o *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) versão 2.0.2, o *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 3, e a climatologia *World Ocean Atlas 2005* (WOA). As comparações revelam estimativas satisfatórias do clima oceânico pelo MOM4, ainda que possam ser verificados o viés frio no Pacífico equatorial e alguma dificuldade em determinar a variação da salinidade ao longo do ano. De maneira geral as distribuições de temperatura e salinidade da superfície do mar são bem estimadas, com desvios pequenos em relação às observações.

**Palavras chave:** modelo oceânico, simulações globais, longo prazo

### INTRODUÇÃO

Compreender o clima da Terra depende da compreensão do oceano. Com este propósito, os modelos numéricos desempenham um papel importante na produção de informações e reconstituição de cenários sobre esse complexo sistema. Embora a sofisticação dos computadores venha permitindo substanciais melhorias na elaboração dos modelos, alguns fatores limitam sua construção, implicando em restrições de uso e aplicação, e demandando criteriosas avaliações dos resultados obtidos com as integrações.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as climatologias de temperatura e salinidade calculadas para determinadas regiões a partir de simulações globais de longo prazo usando duas versões (4.0 e 4.1, respectivamente denominadas MOM4p0 e mom4p1) do *Modular Ocean Model 4*. A avaliação é feita mediante comparações com fontes observacionais de dados oceânicos, restringindo a análise às regiões de interesse, cujos detalhes são descritos na seção Material e Métodos.

### MATERIAIS E MÉTODOS

O *Modular Ocean Model 4* (MOM4) é uma representação numérica das equações hidrostáticas primitivas desenvolvida pelo *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL) do *National Ocean and Atmosphere Administration* (NOAA), com contribuição de pesquisadores de todo o mundo, projetado principalmente como uma ferramenta para estudos do sistema climático oceânico (GRIFFIES ET AL., 2005). Trata-se de um modelo euleriano, com sistema de coordenadas verticais cartesianas e com as variáveis dispostas na grade conforme o esquema B de Arakawa. Aqui são usadas as versões 4.0 (estável) e 4.1 (experimental).

A grade adotada tem domínio global com espaçamento horizontal de 1° exceto nas proximidades do equador, onde o espaçamento meridional é reduzido, compondo uma grade de 360 por 200 pontos. Verticalmente, são utilizados 50 pontos distribuídos irregularmente, dando maior detalhamento na região da termoclina. Nestes experimentos, o modelo conta ainda com acoplamento a um módulo de gelo oceânico (WINTON, 2001).

A condição inicial é provida por rodadas de *spin up* distintas, uma para cada versão do modelo. Para a versão 4.0 é feita uma rodada de 36 anos, enquanto para a versão 4.1 o *spin up* é de 41 anos. As duas rodadas de *spin up* têm como condições iniciais a climatologia de Levitus (1982), com a corrente partindo do repouso, e tensão superficial da climatologia de

Hellerman e Rosenstein (1983). Nas integrações com forçante datado, a superfície do oceano é forçada com fluxos hidrológicos, de momentum e de calor derivados da segunda versão do *Coordinated Ocean-ice Reference Experiments* (CORE2), uma combinação de reanálises atmosféricas com produtos de sensoriamento remoto cobrindo o período de 1958 a 2006 (GRIFFIES ET AL., 2009; LARGE, YEAGER, 2004).

A partir das simulações são geradas médias mensais para um período limitado pela disponibilidade dos dados do CORE2: 1958 a 2006. Esses resultados são comparados com diferentes fontes de dados oceânicos: o *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) versão 2.0.2, uma rodada feita com o MOM2 dotado de um sistema de assimilação de dados oceânicos que fornece diversos campos em três dimensões, dentre eles temperatura, salinidade, e corrente (CARTON ET AL., 2000a; CARTON ET AL., 2000b); o *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 3, que consiste na reconstrução, por meio de técnicas estatísticas, da temperatura da superfície do mar desde 1854 a partir de observações (SMITH; REYNOLDS, 2003); e a climatologia *World Ocean Atlas 2005* (WOA), composta por campos de temperatura e salinidade, dentre outros, em três dimensões, a partir de observações *in situ* (ANTONOV ET AL., 2006; LOCARNINI ET AL., 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em primeira análise, são feitas comparações das climatologias de temperatura da superfície do mar (TSM) e salinidade na superfície do mar (SSM) em regiões específicas: Atlântico Equatorial (entre 10E, 50W e 5N, 5S), Confluência Brasil-Malvinas (CBM; entre 50W, 60W e 30S, 45S) e Niño 3.4 (entre 120W, 170W e 5N, 5S), conforme mostrado nas Figuras 1 e 2.

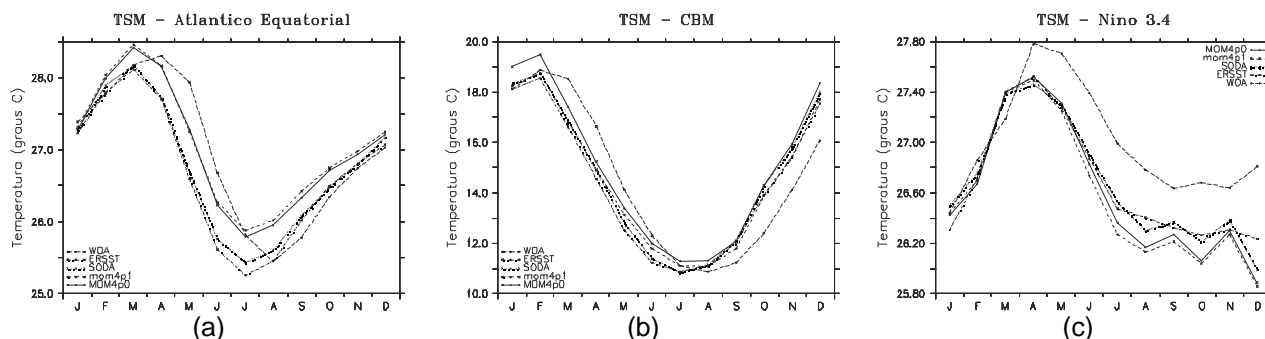


Figura 1: Climatologias de temperatura da superfície do mar (TSM) no (a) Atlântico equatorial, (b) na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e (c) na região de Niño 3.4.

De maneira geral, a variabilidade da temperatura é bem representada nas duas rodadas com MOM4. No Atlântico equatorial (Figura 1a), as rodadas fornecem climatologias quase idênticas de TSM, com temperaturas quase sempre 0,5°C acima das estimativas feitas com ERSST e SODA, que por sua vez apresentam muita semelhança entre si, enquanto o WOA aparece defasado em um mês em relação aos demais.

Para a região da Confluência Brasil-Malvinas, a Figura 1b mostra que o MOM4 fornece boas estimativas da variabilidade de TSM, em especial com a concordância do mom4p1 com o ERSST e SODA. Mais uma vez, o WOA apresenta defasagem, com a temperatura mínima em agosto enquanto as demais climatologias estimam a mínima em julho.

Na região de Niño 3.4 (Figura 1c) há pouca diferença entre as climatologias, exceto pelas estimativas do WOA. O MOM4p0, mom4p1 e o SODA apresentam o mesmo padrão de variabilidade nas freqüências mais altas, sendo as duas versões do MOM4 tendem a resfriar no segundo semestre, embora as diferenças não ultrapassem a margem de 0,5°C, em relação ao ERSST.

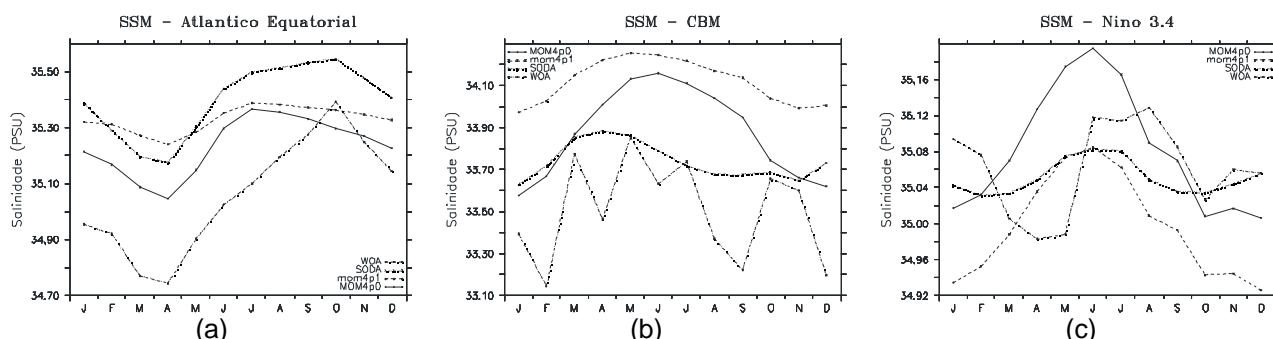


Figura 2: climatologias de salinidade da superfície do mar (SSM) no (a) Atlântico equatorial, (b) na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e (c) na região de Niño 3+4.

Embora as diferenças nas estimativas de salinidade da superfície do mar (SSM), mostradas na Figura 2, estejam na maioria dos casos dentro de uma margem de 0,5 PSU entre modelos e observações, é evidente que a variabilidade temporal dos modelos tende a divergir daquela fornecida pelas observações, embora sejam mais bem comportadas.

Para a região do Atlântico equatorial (Figura 2a), há uma razoável concordância entre os ciclos anuais, com a salinidade mínima ocorrendo em abril, antecedido por seis meses de declínio e sucedido por três meses de aumento da salinidade em todos os casos, ainda que não haja consenso para o mês onde se dá a máxima salinidade. O WOA apresenta uma amplitude maior e o mom4p1 tem uma amplitude mais tênue, enquanto o MOM4p0 e o SODA variam de forma semelhante.

Na região da CBM (Figura 2b), a rodada com mom4p1 apresenta maiores valores de salinidade para todo o ano, com uma variação semelhante, embora menos acentuada, que a climatologia estimada pelo MOM4p0. Com a remoção da variabilidade em maior frequência do WOA observa-se uma razoável concordância com as rodadas do MOM4 e do SODA no primeiro semestre, o mesmo não valendo para o restante do ano.

Dentre as três regiões analisadas, a do Niño 3.4 (Figura 2c) é aquela em que as variações ao longo do ano tendem a ser menores, com as maiores diferenças não chegando a 0,25 PSU. A variação obtida com uso de modelos (MOM4p0, mom4p1 e SODA) diferem substancialmente da variação dada pelo WOA no primeiro semestre. Exceto pelo viés, da ordem de 0,1 PSU, o MOM4 produz climatologias quase idênticas com as diferentes versões.

## CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados, fica evidente que o MOM4 é capaz reproduzir, de forma realista e satisfatória, determinadas características regionais do oceano. A variabilidade da TSM apresenta-se bem determinada em regiões distintas, mesmo com domínio diminuto, como é o caso da região da CBM. Considerando a dificuldade em se estimar valores de salinidade, nestas rodadas com forçante datado o MOM4 também se mostra capaz de calcular de forma satisfatória este campo, ainda que não tenha sido representada a variabilidade de maior frequência, atribuindo valores coerentes nas diferentes regiões.

## REFERÊNCIAS

- ANTONOV, J. I.; LOCARNINI, R. A.; BOYER, T. P.; MISHONOV, A. V.; GARCIA, H. E. 2006. World Ocean Atlas 2005, vol. 2, Salinity, **NOAA Atlas NESDIS**, vol. 62, edited by S. Levitus, 182 pp., NOAA, Silver Spring, Md.
- CARTON, J. A.; CHEPURIN, G.; CAO, X. 2000a. A Simple Ocean Data Assimilation Analysis of the Global Upper Ocean 1950–95. Part II: Results. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, n. 2, p. 311-326.
- CARTON, J. A.; CHEPURIN, G.; CAO, X.; GIESE, B. 2000b. A Simple Ocean Data Assimilation Analysis of the Global Upper Ocean 1950–95. Part I: Methodology. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, n. 2, p. 294-309.

- GRIFFIES, S. M.; GNANADESIKAN, A.; DIXON, K. W.; ET AL. 2005. Formulation of an ocean model for global climate simulations. ***Ocean Science Discussions***, Volume 2, Issue 3, 2005, pp.165-246, v. 2, p. 165-246.
- GRIFFIES, S. M.; BIASTOCH, A.; BÖNING, C.; ET AL. 2009. Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (COREs). ***Ocean Modelling***, v. 26, n. 1-2, p. 1-46. doi: 10.1016/j.ocemod.2008.08.007.
- HELLERMAN, S.; ROSENSTEIN, M. 1983. Normal Monthly Wind Stress Over the World Ocean with Error Estimates. ***Journal of Physical Oceanography***, v. 13, n. 7, p. 1093-1104.
- LARGE, W.; YEAGER, S. 2004. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: the data sets and flux climatologies. ***NCAR technical note: NCAR/TN-460+ STR, CGD division of the National Center for Atmospheric Research***. Available on the GFDL CORE web site, v. 25.
- LEVITUS, S. 1982. ***Climatological atlas of the world ocean***. United States Government Printing.
- LOCARNINI, R. A.; MISHONOV, A. V.; ANTONOV, J. I.; BOYER, T. P.; GARCIA, H. E. 2006. World Ocean Atlas 2005, vol. 1, Temperature, ***NOAA Atlas NESDIS***, vol. 61, edited by S. Levitus, 182 pp., NOAA, Silver Spring, Md.
- SMITH, T. M.; REYNOLDS, R. W. 2003. Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854–1997). ***Journal of Climate***, v. 16, n. 10, p. 1495-1510.
- WINTON, M. 2001. FMS sea ice simulator. ***GFDL Tech. Document***, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, NJ.