

**Impactos da utilização de uma grade de alta resolução horizontal na
componente oceânica do modelo brasileiro do sistema terrestre
(BESM)**

**RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Andyara Oliveira Callegare (UFSCar, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: andyara.callegare@cptec.inpe.br

Dr. Emanuel Giarolla (DMD/CPTEC/INPE, Orientador)
E-mails: emanuel.giarolla@cptec.inpe.br,
egiarolla@yahoo.com.br (de preferência)

Julho de 2015



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

PROJETO

**Impactos da utilização de uma grade de alta resolução horizontal na
componente oceânica do modelo brasileiro do sistema terrestre
(BESM)**

PROCESSO: 127703/2014-4

Relatório elaborado por ANDYARA OLIVEIRA CALLEGARE relativo
ao período de agosto de 2014 a julho de 2015

Andyara Oliveira Callegare - Bolsista PIBIC/CNPq
E-mail: andyara.callegare@cptec.inpe.br

Dr. Emanuel Giarolla - Orientador
E-mails: emanuel.giarolla@cptec.inpe.br,
egiarolla@yahoo.com.br (de preferência)

Julho de 2015

RESUMO

Este projeto iniciado em março de 2014 visa avaliar a grade horizontal de $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ do MOM4p1 (“Modular Ocean Model” versão 4p1, do “Geophysical Fluid Dynamics Laboratory”), que também é a componente oceânica do modelo brasileiro do sistema terrestre (BESM). Esta resolução foi recentemente comprometida a ser utilizada quando o BESM participar do projeto CMIP6, que é o protocolo padrão de estudos climáticos baseados em saídas de modelos de circulação geral (CGMs). Na fase anterior já haviam sido integralizados 30 anos de simulações com forçantes climatológicas, que chamamos de "spin-up", utilizadas em diversas análises. Algumas melhorias na circulação oceânica foram observadas, em relação à grade de baixa resolução, quando comparadas com dados observacionais, porém alguns erros sistemáticos da grade anterior ainda persistem, como por exemplo o esparsamento da Subcorrente Equatorial Atlântica (EUC). Depois do "spin-up", passamos a forçar o modelo com dados observados (reanálises), porém, como não havia sido feita nenhum tipo de correção prévia da topografia da grade global, algumas regiões continentais com porções de água, como por exemplo grandes lagos, também estavam sendo interpretadas pelo modelo como regiões oceânicas. Um destes lagos estava gerando marés altíssimas e isso impedia o modelo de continuar. Para resolver este problema foi necessário editar os pontos da grade, retirando tais lagos e, com essa nova grade, foi preciso reiniciar o processo novamente. As simulações com essas correções foram realizadas e demonstraram maior estabilidade do que a sua contraparte sem correções (i.e. com lagos) apesar da simulação com dados observacionais continuar instável, abortando a execução com frequência. Também foi criada e feita uma simulação de curta duração com uma grade com mais níveis verticais para o estudo do esparsamento da EUC. As análises das saídas dos experimentos foram da temperatura da TSM e EUC.

ABSTRACT

This project, started in March 2014, aims to evaluate the results of a grid with horizontal resolution $\frac{1}{4}^\circ$ latitude x $\frac{1}{4}$ longitude of MOM4p1 ("Modular Ocean Model" version 4p1, the "Geophysical Fluid Dynamics Laboratory"), which is also the oceanic component of the Brazilian Earth System Model (BESM). This resolution will be used by BESM in the CMIP6 project, which is phase 6 of the standard protocol for climate studies based on general circulation models outputs (GCMs). In the previous developments, 30 years of simulations with climatic forcing, which we call "spin-up", were made, and the results were used in many analyses. Some improvements in the ocean circulation were observed in relation to the low-resolution grid, when compared with observational data, however, some systematic errors of the previous grid remain, such as the flattening of the Atlantic Equatorial Undercurrent (EUC). After the "spin-up" process, the model is forced with observed data (reanalysis). But the topography correction of the grid had not been done. The model was interpreting some continental regions with bodies of water, such as large lakes, as oceanic regions. One of these lakes was generating extremely high surface height values, and this instability was prevented the model to successfully conclude a simulation. To solve this problem the grid had to be edited, removing such lakes, with all the spin-up process being done again. Simulations with this corrected grid were made and demonstrated more stability than its counterpart without corrections (i.e. with lakes), despite the fact that simulations with observational data were still unstable, even with the corrected grid, frequently aborting the program execution. A short simulation with a grid with more vertical levels was also performed, for the study of causes of the flattening of the EUC. The output variables of the experiments, analysed in the study, were the SST and EUC.

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1 – Lagos aterrados.....	3
Figura 2 - TSM (°C) no Atlântico Tropical	5
Figura 3 - TSM (°C) no sul da América do Sul.....	6
Figura 4 - TSM (°C) no sul da África	7
Figura 5 - Velocidade Zonal (cm/s) da EUC em 23°W	8

SUMÁRIO

	Pag
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 METODOLOGIA.....	2
3 ANÁLISES E RESULTADOS.....	4
3.1 TSM	
3.2 EUC	
3 CONCLUSÕES FINAIS.....	9
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9

1 INTRODUÇÃO

O estudo do clima sofreu um grande avanço com o desenvolvimento dos modelos numéricos de circulação atmosférica. Depois dos modelos atmosféricos, vieram os modelos oceânicos de circulação e hoje temos os modelos climáticos, que consistem no acoplamento dos modelos atmosférico e oceânico, juntamente com outros modelos do sistema terrestre (modelos de gelo marinho, vegetação, hidrológicos, de química da atmosfera, de ondas oceânicas geradas pelo vento, de gelo continental, etc). Pela complexidade destes modelos climáticos e pelo esforço computacional envolvido, são poucos os centros de estudos climáticos no mundo que podem desenvolver projetos deste porte. O Brasil, graças ao esforço de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entrou para esta comunidade internacional de modeladores do clima em 2012 (Nobre et al., 2012), com o modelo acoplado oceano-atmosfera desenvolvido no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), que agora também é a base do “modelo brasileiro do sistema terrestre” (“BESM”, de “Brazilian Earth System Model”), desenvolvido em parceria com outras instituições.

Os artigos (Nobre et al., 2012, 2013) apresentaram à comunidade a versão acoplada oceano-atmosfera (OA2.3) do modelo BESM. Bottino (2013) alterou o esquema de cobertura de nuvens e coeficientes de propriedades óticas da componente atmosférica, gerando uma versão mais recente e estável, BESM-OA2.3.1.

O modelo oceânico é o MOM4p1 (“Modular Ocean Model” versão 4p1, do “Geophysical Fluid Dynamics Laboratory” – GFDL). A grade horizontal atual não é constante em todas as partes do globo, o espaçamento é de 1° longitude x $\frac{1}{4}^\circ$ latitude nos trópicos, decrescendo uniformemente para 1° longitude x 2° latitude à medida que se aproxima dos polos. A escolha da resolução horizontal de constantes $\frac{1}{4}^\circ$ latitude x $\frac{1}{4}^\circ$ longitude é crítica para a reprodução dos fenômenos turbulentos do oceano. Tal resolução recentemente foi comprometida a ser utilizada quando o BESM participar do projeto CMIP6, dependendo de apenas mais recursos computacionais para sua utilização.

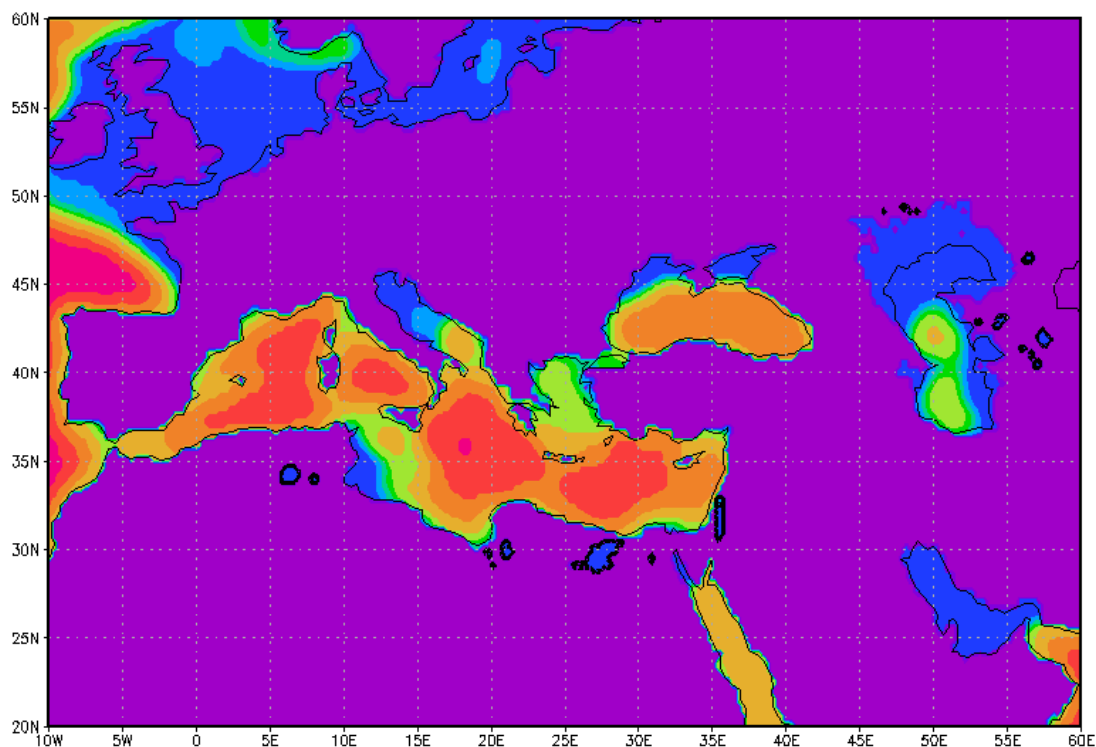
2 METODOLOGIA

O Modelo de Circulação Geral Oceânico (MCGO) utilizado é o “Modular Oceanic Model” versão 4P1 (MOM4p1) do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), instalado no Centro Brasileiro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) como a componente oceânica do BESM. Desde o início deste projeto foram realizados 3 experimentos: t126, g0.25_n, e higher_dz. O experimento referido como CMIP também faz parte do BESM.

Simulação “spin-up” são aquelas na qual no estado inicial do oceano as correntes estão em repouso e a estrutura de temperatura e salinidade são climatológicas de Levitus (1994), e as forçantes atmosféricas são de dados climatológicos mensais. Depois do “spin-up”, passamos a forçar o modelo com dados observados, também chamada de simulação “reanálise”.

No caso do experimento t126 não havia sido feita nenhum tipo de correção prévia da topografia da grade global, algumas regiões continentais com porções de água, como por exemplo grandes lagos, também estavam sendo interpretadas pelo modelo como regiões oceânicas. Um destes lagos estava gerando marés altíssimas e isso impedia o modelo de continuar. Para resolver este problema foi necessário editar os pontos da grade, retirando tais lagos e, com essa nova grade, foi preciso reiniciar o processo novamente.

A correção topográfica da grade inclui aterrar lagos, abrir canais, etc. Esta tarefa foi realizada manualmente utilizando-se 2 ferramentas: uma feita em linguagem *python* (programa ‘Gridgen’, desenvolvido por um antigo membro do grupo de modelagem acoplada do CPTEC/INPE) e outro em linguagem *GrADS*. O do *GrADS* corrigia até 60N, enquanto que o Gridgen as regiões acima de 60N. A figura 1 mostra alguns dos lagos aterrados no norte da África e próximo ao mar Cáspio.



GrADS: COLA/IGES

2016-07-10-06:48

Figura 1- Lagos aterrados (regiões azuis, com contorno preto, nos continentes representados na cor violeta).

Estes programas geraram arquivos com os pontos topograficamente ajustados, ou seja com latitude e longitude e quantidade de níveis (0 para terra, e até 50 para o oceano). Para inserir estes ajustes na grade foram utilizados um conjunto de scripts do MOM4 que permitiam a criação de novas grades, criando assim a grade de alta resolução horizontal corrigida g0.25_n.

No relatório anterior foi estudado a subcorrente do equatorial atlântico, e como a mesma apresentou um esparsamento em relação aos dados observados foram realizados testes de calibração dos coeficientes de mistura e difusão vertical, que não resultaram na diminuição desta característica, no entanto foi sugerido que uma grade com mais níveis verticais pudesse resolver este problema. Para tal fim então foi criada um grade com

102 níveis verticais, variando 10m nos 500m superiores, aumentando gradualmente com a profundidade até 182m, tal experimento foi chamado de higher_dz e seu “spin-up” possui 5 anos.

A tabela 1 apresenta as características das grades horizontais e verticais, e o tempo de simulação dos experimentos realizados (t126, g0.25_n, e higher_dz) e utilizados (CMIP).

Experimento	Grade Horizontal	Grade Vertical	Duração da simulação forçada	Duração da simulação interanual
t126	1/4° latitude x 1/4° longitude	50 níveis. Variando 10 m nos 220 metros superiores, aumentando gradualmente com a profundidade até 370m.	30 anos	2 anos
g0.25_n	1/4° latitude x 1/4° longitude	50 níveis. Variando 10 m nos 220 metros superiores, aumentando gradualmente com a profundidade até 370m.	30 anos	6 anos
higher_dz	1/4° latitude x 1° longitude na região tropical, aumentando gradualmente para 2° latitude x 1° longitude nos polos	102 níveis. Variando 10 m nos 500m superiores, aumentando gradualmente com a profundidade até 182m	5 anos	-
CMIP	1/4° latitude x 1° longitude na região tropical, aumentando gradualmente para 2° latitude x 1° longitude nos polos	50 níveis. Variando 10 m nos 220 metros superiores, aumentando gradualmente com a profundidade até 370m.	30 anos	6 anos

Tabela 1- Experimentos utilizados

Para a criação das grades é necessário utilizar vários scripts em C-shell que fazem parte do MOM4. Nestes scripts é possível determinar o espaçamento as grades verticais e horizontais, inserir correções topográficas, e gerar os arquivos auxiliares para inicialização da simulação.

Um relatório técnico foi elaborado, sobre como gerar grades no MOM4, este foi disponibilizado para o grupo BESM, bem como a monitoria do treinamento BESM 2.6 em Cachoeira Paulista - SP em junho de 2015 sobre o assunto.

3 ANALISES E RESULTADOS

Ao longo deste projeto foram realizadas várias análises, que nem sempre focaram nos impactos da utilização de uma grade de alta resolução horizontal para auxiliar as atividades do grupo BESM, portanto não foram inseridas neste relatório. As análises estatísticas não foram realizadas devido às dificuldades em estabilizar a simulação com dados de reanálise, mesmo após sua correção topográfica. Assim, as análises focaram

nas grades criadas, a temperatura da superfície do mar para g0.25_n e Subcorrente do equatorial Atlântico para higher_dz.

3.1 TSM

As análises da temperatura da superfície do mar (TSM) comparam os experimentos CMIP e g0.25_n nos meses de janeiro e julho do sexto ano de simulação de reanálise em alguns segmentos selecionados, a temperatura está representada em °C.

SEA SURFACE TEMPERATURE

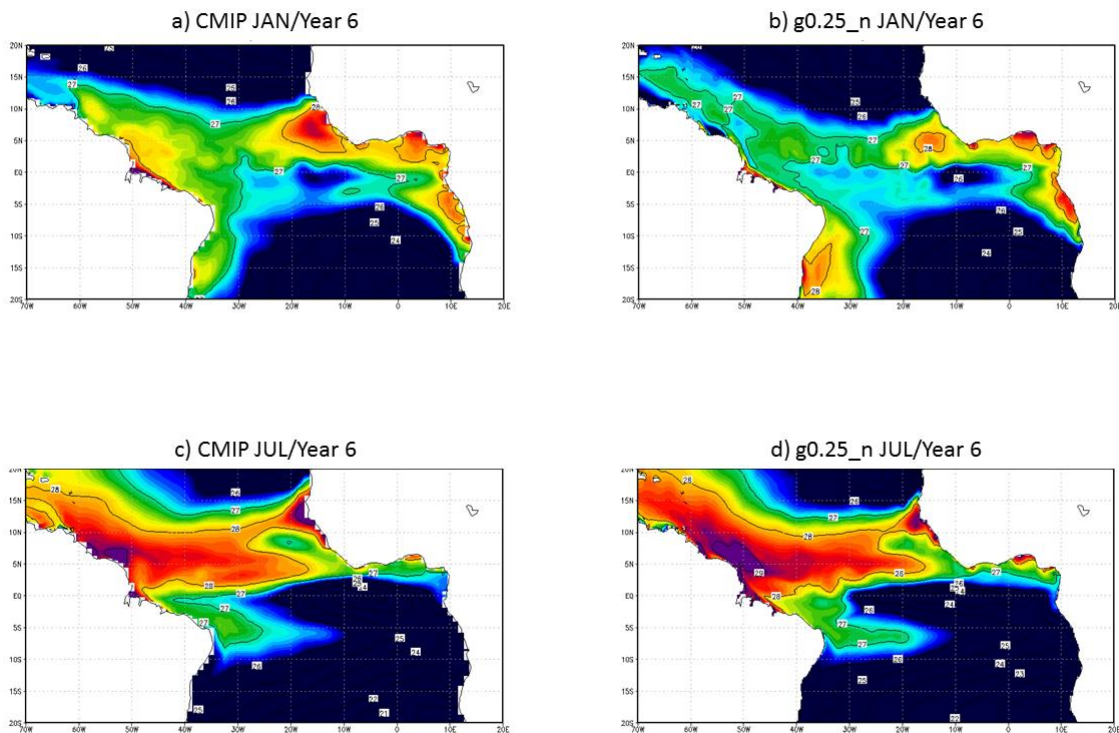


Figura 2- TSM (°C), nos meses de janeiro e julho do sexto ano de simulação de reanálise, no Atlântico Tropical

Na região tropical atlântica (figura 2), as mudanças não são drásticas devido a grade CMIP possuir $1/4^\circ$ latitude x 1° longitude na região tropical, no entanto, na figura 2 é perceptível a melhora no contorno dos continentes.

SEA SURFACE TEMPERATURE

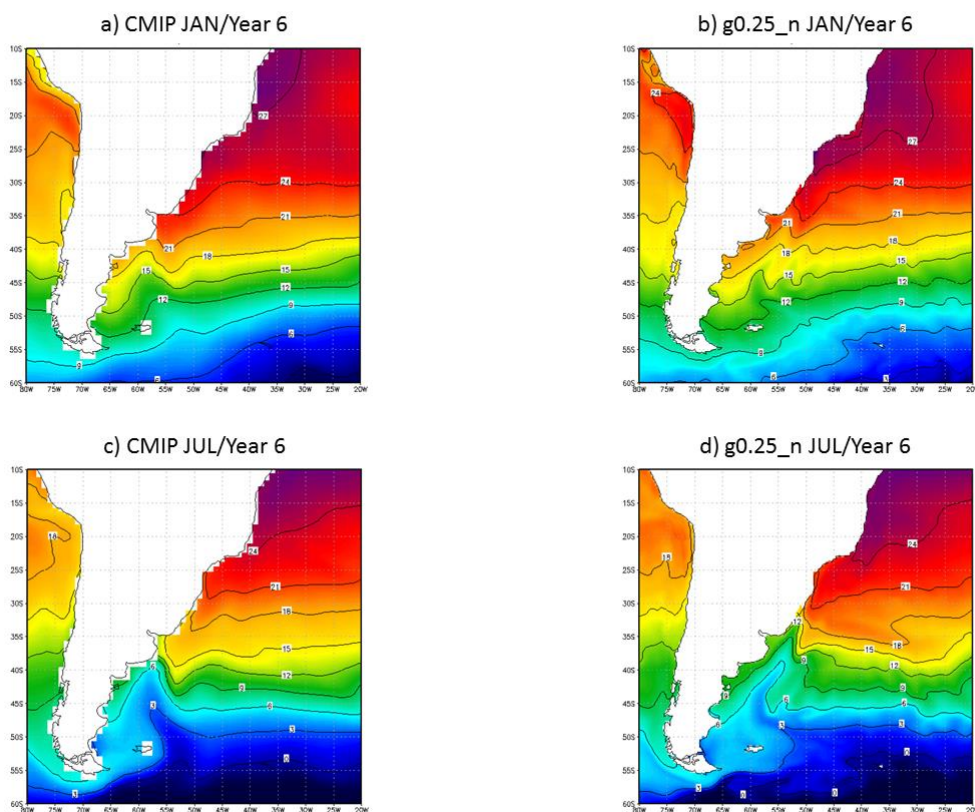


Figura 3- TSM ($^\circ\text{C}$), nos meses de janeiro e julho do sexto ano de simulação de reanálise, no sul da América do Sul

Na figura 3 as diferenças entre as duas grades já ficam mais perceptíveis, pois na grade CMIP a resolução nestas regiões começa a se degradar entre cerca de 1-1,5 graus. No sul da América do Sul (figura 3) é possível notar a melhora na representação da região de confluência das correntes do Brasil e Malvinas, em julho a água fria em g0.25_n chega a latitudes mais baixas que no CMIP. Também é notável a capacidade da grade de alta resolução em resolver meandros.

SEA SURFACE TEMPERATURE

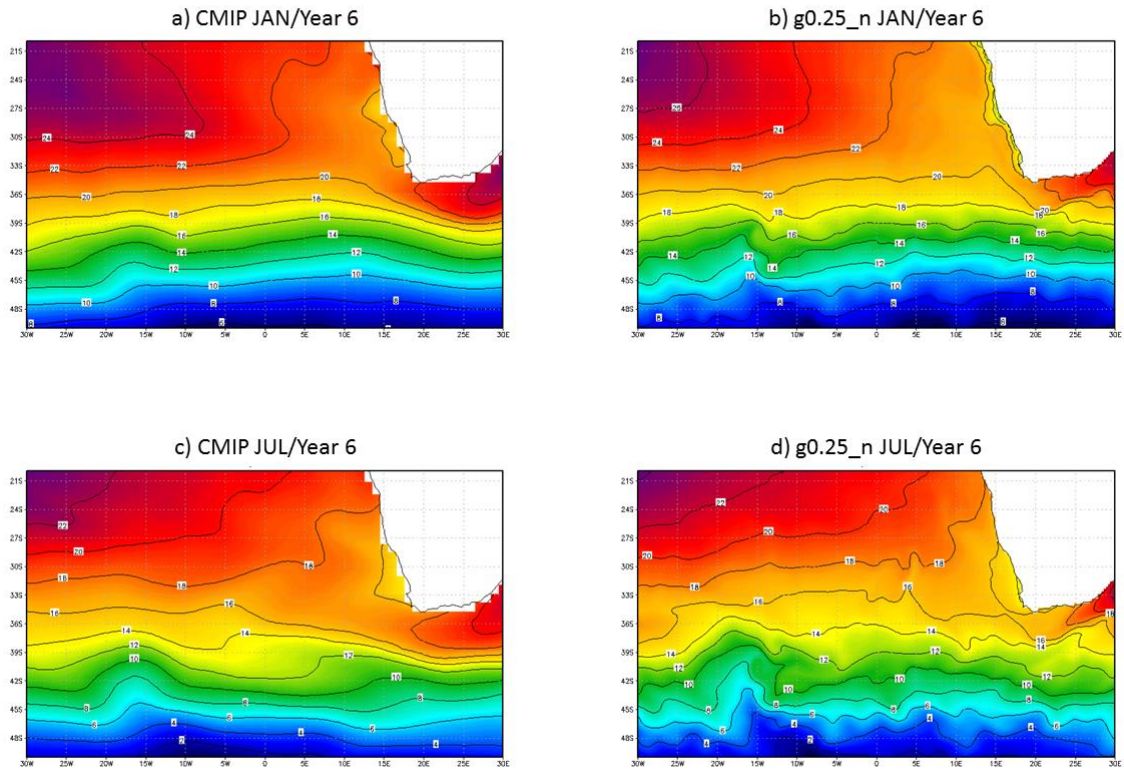


Figura 4- TSM (°C), nos meses de janeiro e julho do sexto ano de simulação de reanalise, no sul da África

No Sul da África (figura 4) os campos médios permanecem parecidos, mas a grade de alta resolução consegue resolver os meandros oceânicos.

3.2 EUC

Na fase anterior foi detectado o esparsamento da EUC nos MCGs, e para resolver esta característica foram realizados testes de calibração com os coeficientes de difusão e mistura vertical. Estes testes não apresentaram divergências significativas no perfil de velocidade zonal quando comparados com a simulação com os coeficientes originais. Foi sugerido então que o aumento do número de níveis mais próximos à superfície do

oceano poderia resolver este problema, razão pela qual foi criada a grade higher_dz descrita anteriormente.

EUC 23°W

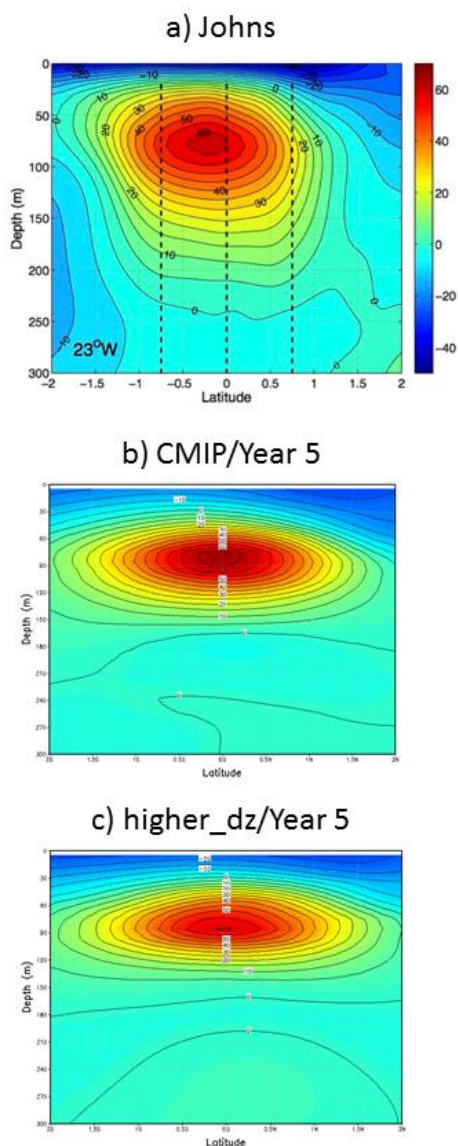


Figura 5- Velocidade Zonal (cm/s) da EUC em 23°W. (a) dados ADCP do período entre Outubro de 2007 à Maio de 2011 (Johns et al., 2014), e média do quinto anos dos experimentos (b) CMIP e (c) higher_dz.

A análise compara a velocidade zonal em na seção transversal em 23°W com a média dos dados ADCP do período entre Outubro de 2007 à Maio de 2011 descritas por Johns et al (2014) com a média do quinto anos dos experimentos CMIP e higher_dz, conforme a figura 5.

O higher_dz não diminuiu os esparsamento e representou o núcleo da subcorrente com menos intensidade que o CMIP.

3 CONCLUSÕES

As dificuldades para conseguir uma simulação de longa duração com forçantes de reanalise levaram à tão necessária correção topográfica da grade de alta resolução horizontal. Mesmo com estas mudanças a execução do modelo continuou abortando, devido à geração de correntes altíssimas e instáveis em alguns pontos, acima de 20 m/s, assunto que deverá ser investigado o mais rápido possível.

A análise da TSM mostrou que a grade consegue resolver meandros, e representar melhor processos turbulentos, que ficariam ainda mais evidentes se a saída de resultados fosse diária em vez de mensal.

A descoberta do esparsamento da EUC nos MCGs foi detectada na fase anterior do projeto, e exposta no Congresso Brasileiro de Oceanografia, porém os testes executados desde então, mudança dos coeficientes de difusão e mistura vertical e a criação de uma grade com mais níveis verticais próximos a superfície, não conseguiram resolver esta característica. Como este problema também ocorre em outros modelos externos ao INPE, como por exemplo o modelo acoplado americano CCSM4 (vide trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Oceanografia), talvez seja um erro da física utilizada nos MCGs em geral.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bottino, M. J., 2013: Impacto da parametrização de propriedades de nuvens na simulação do clima na região do Atlântico com o modelo acoplado oceano-atmosfera de INPE/CPTEC. Tese de doutorado em meteorologia, Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 102 pp.
<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E2L5B5>

Giarolla, E., Nobre, P., Malagutti, M. and Pezzi, L.P. (2005). The Atlantic Equatorial Undercurrent: PIRATA observations and simulations with GFDL Modular Ocean Model at CPTEC. *Geophysical Research Letters* 32: doi: 10.1029/2004GL022206. issn: 0094-8276.

Johns, W. E., Brandt, P., Boulès, B., Tantet, A., Papapostolou, A e A. Houk, 2014: Zonal structure and seasonal variability of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-014-2136-2

Levitus, S., T.P. Boyer. *World Ocean Atlas 1994 Volume 4: Temperature*, number 4, 1994.

Nobre, P., et al., Coupled ocean-atmosphere variations over the South Atlantic ocean. *J. Climate*, 2012. 25(18): p. 6349-6358.

Nobre, P. e Coauthors, 2013: Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. *J. Climate*, 26, 6716–6732. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00580.1>