

Previsões Globais de Mudanças Climáticas com o Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global

Henrique M. J. Barbosa¹, I.F.A. Cavalcanti², J.C.S. Chagas² e S.N. Figueroa²

¹IF – USP, Rua do Matão, Travessa R, 187, 05508-900, São Paulo, SP, hbarbosa@if.usp.br

²CPTEC – INPE, Rodovia Presidente Dutra, Km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista, SP

ABSTRACT: New developments in the Brazilian Model of the Global Climate System (MBSCG), e.g. the implementation of new parameterizations for radiation, micro physics, trace gases and aerosols, finally allow using it for climate change studies. A great advantage of this model is the reasonable representation of the South American monsoon. As a proof of concept, we forced the atmospheric component with sea surface temperature fields prognosticated by some of the coupled models used in IPCC-AR4 to do the first climate change forecasts with the MBSCG. The integrations started in 1870 and finished in 2100 with resolution of T42 L18. The preliminary results show the model's sensitivity to an increase in the CO₂ to be 1°C per 100 ppmv of CO₂. Our results also indicate an intensification of the global hydrological cycle. Global mean precipitation would increase by 3.8-6.0% under scenario A2 and by 2.7-4.1% under B2, in 2090-2100 in comparison to 1870-1900. For 2m temperature the increase would be 3.1-3.5°C and 1.9-2.2°C respectively.

Palavras-chave: MBSCG, Mudanças climáticas, gases de efeito estufa

1 – INTRODUÇÃO

O Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global (MBSCG) é um modelo global acoplado oceano-atmosfera-biosfera, fruto do esforço da comunidade científica brasileira, que deverá ser usado para estudos de clima e mudanças climáticas. Tendo como ponto de partida o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera CPTEC e a experiência adquirida no CPTEC-INPE na última década e meia, conta atualmente com a contribuição de diversos grupos de pesquisa espalhados pelo país os quais estão continuamente aperfeiçoando a descrição dos processos físicos para melhor representar o clima sobre a América do Sul.

Dentre os importantes desenvolvimentos nos últimos anos está a implantação de uma moderna parametrização para tratar a absorção e o espalhamento da radiação de ondas curtas e longas na atmosfera. O esquema de Edwards and Slingo (1996), o mesmo utilizado pelos modelos globais e regionais do Hadley Centre-UK, foi implementado no MBSCG (Chagas e Barbosa, 2008). Para isso foi necessário incluir também uma microfísica simplificada (Kiehl, 1994), para diagnosticar o raio efetivo das gotículas e cristais, e um campo de aerossóis climatológicos (Cusack et al, 1998), para fechar o balanço radiativo globalmente. Entretanto ainda deve-se considerar, por exemplo: a variação temporal e espacial dos gases de efeito estufa e melhorar a descrição das nuvens (Barbosa e Chagas, 2009).

Neste trabalho, o MBSCG foi modificado para considerar a variação temporal da concentração dos gases de efeito estufa segundo os cenários produzidos para o IPCC-AR4, permitindo assim o uso do modelo para previsões de mudanças climáticas. Como uma prova de conceito, forçamos a componente atmosférica do MBSCG com os campos de temperatura da superfície do mar (TSM) prognosticados por alguns dos modelos acoplados utilizados no IPCC-AR4 e assim realizamos as primeiras previsões de mudanças climáticas feitas com o MBSCG. Na seção 2 entramos em detalhes sobre o novo desenvolvimento e como as simulações foram realizadas. Na seção 3 apresentamos os resultados das simulações e discutimos os resultados. Por fim, na seção 4 apresentamos as conclusões finais do trabalho.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera foi assumida como espacialmente uniforme e a variação temporal dos valores observados para o século 20 e dos previstos para o século 21 para os gases CO₂, CH₄, N₂O, CFC-11, CFC-12, CFC-113, HCFC-22, HFC-125A e HFC-134A foram retirados do trabalho de Johns et al. (2003). São as mesmas especificações de gases utilizadas nos modelos do Hadley Centre. A figura abaixo mostra a concentração dos gases para os cenários A2 e B1.

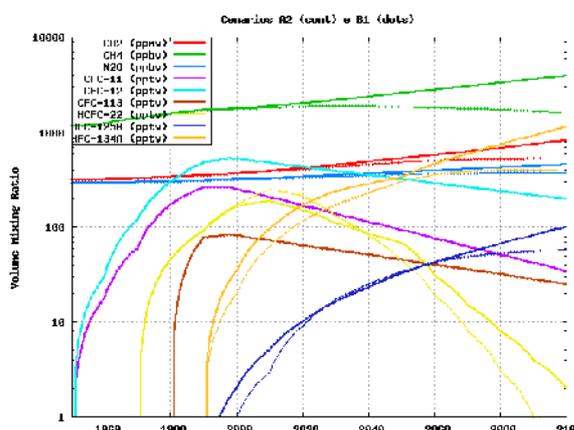


Figura 1 – Concentração dos gases de efeito estufa a partir de 1950 segundo Johns et al. (2003). Linhas contínuas: cenário A2, pontilhadas: cenário B1. Valores de CO₂ em ppmv, CH₄ e N₂O em ppbv, e CFCs em pptv.

Esta implementação permitiu realizar um interessante exercício de validação e verificação do modelo: as primeiras simulações de mudanças climáticas com o MBSCG. Neste teste de conceito, apenas a componente atmosférica foi usada e considerou-se a temperatura da superfície do mar (TSM) como uma forçante externa, isto é, não há um feedback da atmosfera para o oceano. Foram feitas diversas simulações entre 1870 e 2100, usando diferentes TSMs, com resolução T42 L18.

As TSMs produzidas por todos os modelos acoplados utilizados no IPCC-AR4 foram analisadas por Barbosa e Marengo (2008) que selecionaram os três modelos que melhor representaram a TSM observada do século XX: GFDL-CM2.1, MPI-ECHAM5, MetOffice-HadCM3. Foram então utilizadas como forçantes do nosso modelo atmosférico as TSMs prognosticadas por estes três modelos para o século XXI segundo os cenários A2 e B1, além da TSM simulada para o século XX. Todos estes dados foram obtidos do *WCRP CMIP3 multi-model database* (Meehl et al. 2007) dos experimentos A2, B1 e 20C3M respectivamente. Para servir de controle, o MBSCG também foi forçado com a TSM observada *Extended Reconstruct Sea Surface Temperature* (ERSST, Smith et al., 2007) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), disponível de 1854 a 2006. Na seção seguinte, os resultados indicados por “OBS” correspondem a esta simulação forçada pela TSM observada.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito radiativo direto do aumento dos gases de efeito estufa é uma maior absorção da radiação de ondas curtas na atmosfera, como pode ser visto na figura 2a, que mostra a resposta do nosso modelo a esta mudança na concentração dos gases. A figura 3a mostra a sensibilidade do modelo à alteração na forçante, isto é, quantos W/m² são absorvidos na atmosfera em função da concentração de CO₂. Como pode ser visto a resposta é linear e a tendência é a mesma independente da TSM usada como forçante. Um ajuste linear usando

todos os pontos indica um acréscimo de 1 W/m^2 para cada 100 ppmv de acréscimo na concentração de CO_2 . A contribuição maior para o aquecimento, entretanto, provém da absorção pelos gases, das ondas longas emitidas pela Terra e reemitidas de volta.

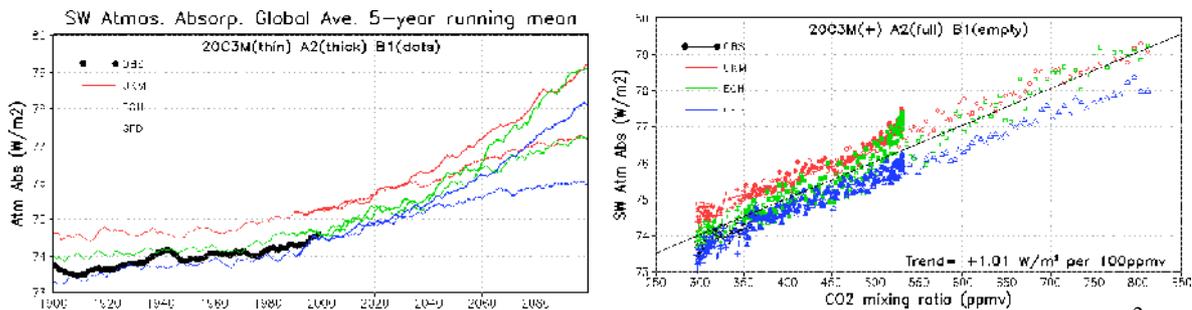


Figura 2 – Média global da radiação de ondas curtas absorvida na atmosfera (W/m^2) em função do tempo (esquerda) e da concentração de CO_2 (direita) entre 1900 e 2100. Os resultados para o modelo global forçado pela TSM observada (OBS) e pela TSM dos modelos UKM, ECH e GFD nos cenários 20C3M, A2 e B1 são apresentados. Uma média corrida de 5 anos foi usada para filtrar parte da variabilidade interanual e facilitar a visualização.

A figura 3a mostra o aumento da temperatura devido ao aumento antrópico de CO_2 e demais gases de efeito estufa. Pode-se perceber que as simulações com a TSM do ECHAM5 e do GFDL são mais próximas daquela com TSM observada durante o século XX. No entanto o aumento de temperatura com o ECHAM é mais rápido e, em 2100, a temperatura já é parecida com as aquelas simuladas com o UKMO. Devido ao viés existente nas TSMs o importante é olhar para as variações de temperatura, tomando como referência o período de 1870 a 1900. As simulações segundo o cenário A2 indicam um aumento de $3,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e segundo B1 de $2,0 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Com o aumento da temperatura e da água precipitável (fig. não apresentada) na atmosfera o ciclo hidrológico ficará mais intenso com um aumento da evaporação e da precipitação, como mostrado na figura 3b. Coerentemente com o resultado de aumento da temperatura, o modelo indica um aumento médio de $(5,3 \pm 1,1)\%$ na precipitação segundo o cenário A2 e de $(3,2 \pm 0,8)\%$ segundo B1 em 2100.

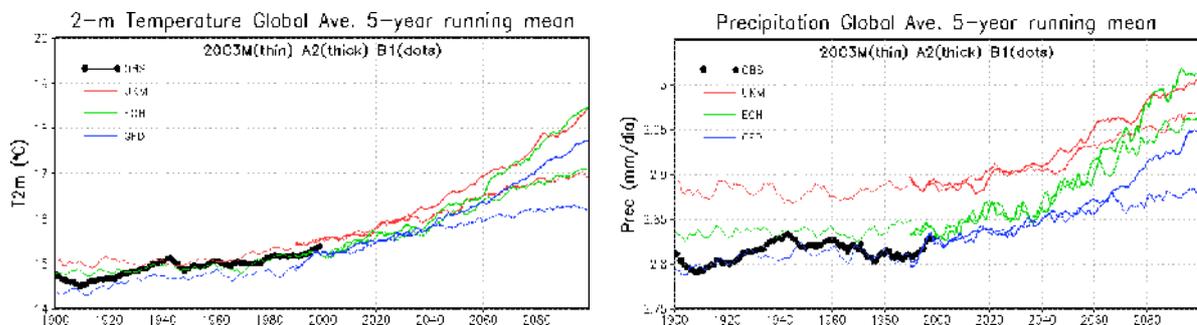


Figura 3 – Média global da temperatura a 2 metros ($^\circ\text{C}$, esquerda) e da precipitação (mm/dia, direita) entre 1900 e 2100. Os resultados para o modelo global forçado pela TSM observada (OBS) e forçado pela TSM dos modelos UKM, ECHAM e GFDL nos cenários 20C3M, A2 e B1 são apresentados. Uma média corrida de 5 anos foi usada para filtrar parte da variabilidade interanual e facilitar a visualização.

Esse aumento, entretanto, não é uniforme em todo o globo. A figura 4 mostra as variações de precipitação e temperatura para o final do século XXI segundo as simulações dos cenários A2, pois os resultados para o cenário B1 são qualitativamente semelhantes, apenas as variações são menos intensas.

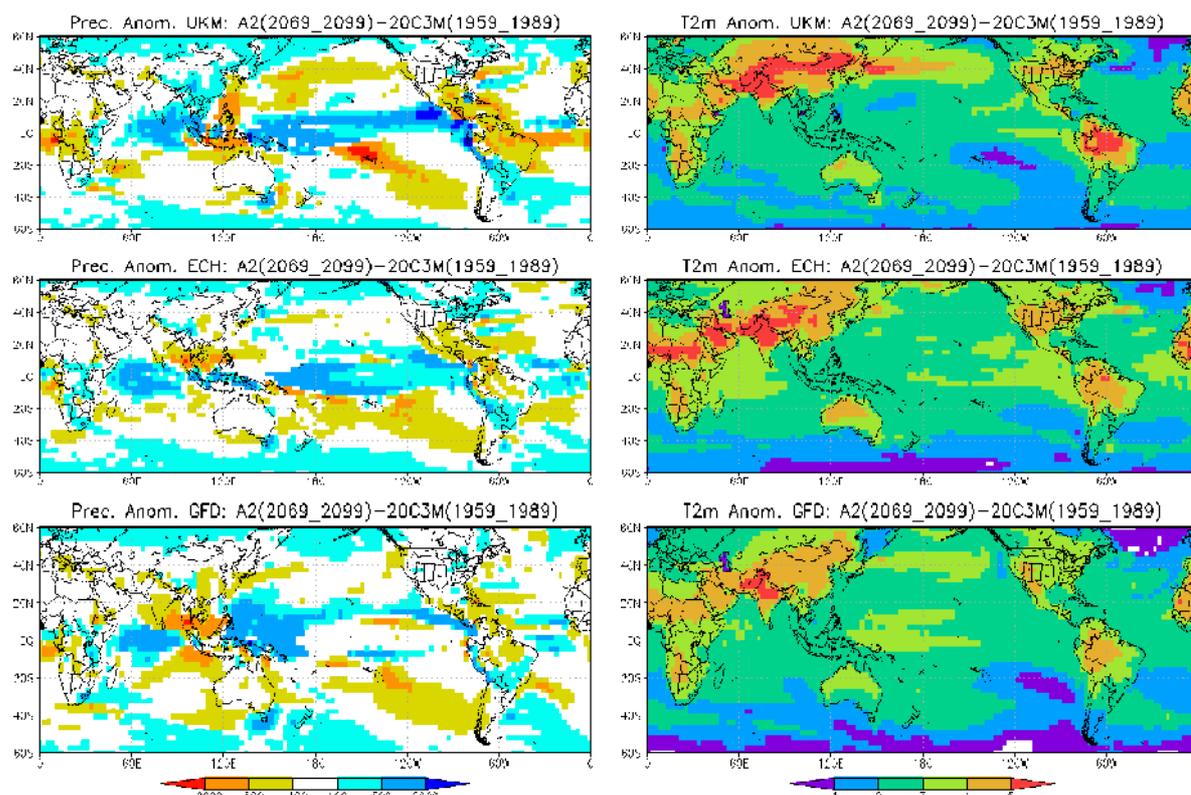


Figura 4 – Variação de precipitação (mm/ano, esquerda) e temperatura a 2m ($^{\circ}\text{C}$, direita) para as TSMs UKM (cima), ECHAM (centro) e GFDL (baixo) segundo o cenário A2. A variação foi calculada como a média de 2070-99 menos a média de 1959-89. As diferenças apresentadas são estatisticamente significativas com 99% de confiança.

Para a precipitação, os resultados com TSMs do ECHAM e GFDL mostram um aumento na ZCIT do Atlântico enquanto com TSM do UKM mostra a ZCIT mais fraca e deslocada para norte. Essa redução de precipitação no Atlântico se estende sobre o Brasil afetando as regiões centro-oeste, nordeste e norte. Nos resultados com TSM do ECHAM e GFDL há uma diminuição apenas sobre a região norte. Os três concordam em um aumento da precipitação no noroeste da Argentina e sul do Brasil. No Pacífico também há uma maior concordância entre os resultados: uma intensificação da ZCIT e uma redução da ZCPS e do *Pacific warm pool*. Para a temperatura há uma concordância grande entre os vários resultados. Os maiores aumentos são projetados para a Amazônia e para uma faixa que se estende desde a China, passando pela Índia, Oriente Médio e a África setentrional subtropical. Sobre a Amazônia, no cenário A2, o modelo indica um aumento de temperatura de mais de 5°C quando forçado pelo UKM e de 4 a 5°C quando forçado pelo ECHAM ou GFDL. Já no cenário B1, UKM e ECHAM mostram um aumento de 3 a 4°C e GFDL de 2 a 3°C .

A figura 4 mostra ainda que as mudanças climáticas na região amazônica ($75-47\text{W}$ $12\text{S}-4\text{N}$) poderão ser importantes, pelo menos em termos de precipitação e temperatura. Entretanto nossos resultados para esta região (ver figura 5) indicam para uma mudança menos significativa do que aquelas previstas pelos modelos originais GFDL, ECHAM5 e HadCM3. Por exemplo, o modelo do Hadley Centre prevê uma redução das chuvas de 1.5 mm/dia em 2100 no cenário A2, enquanto que nosso modelo forçado pela TSM UKM-A2 prevê uma redução de 1 mm/dia. É interessante notar na figura 5 que as diferenças entre as anomalias de precipitação dos 3 modelos, considerando a climatologia de 1870 a 1900, é maior do que as diferenças entre as anomalias para os dois cenários de um mesmo modelo. Já para a temperatura, o HadCM3 prevê um aumento de mais que 8°C , enquanto nosso modelo forçado

por sua TSM prevê apenas 5.5°C. É interessante notar que o MBSCG prevê o mesmo aumento de 5.5°C para todas as TSMs do cenário A2, e de 3.5°C no cenário B1 em 2100. Estes resultados, no entanto devem ser considerados com muita cautela devido à baixa resolução.

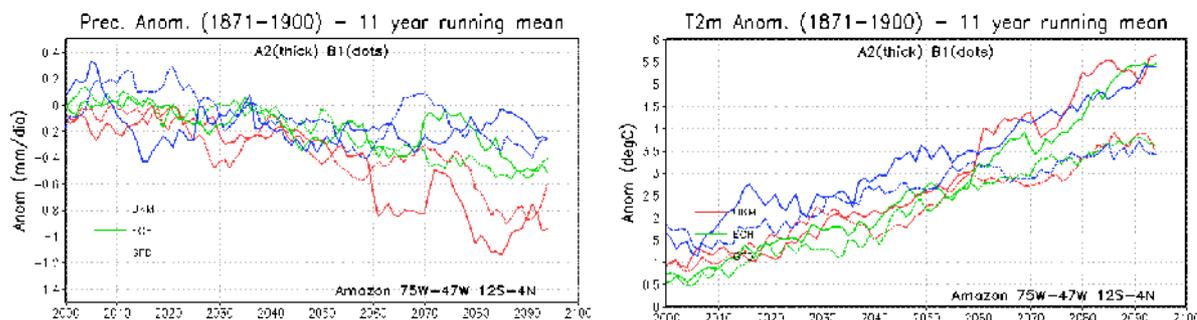


Figura 5 – Anomalias de precipitação (esquerda) e temperatura a 2 metros (direita) para o século XXI em relação à climatologia de 1871-1900.

4 – CONCLUSÕES

Determinamos que a sensibilidade do MBSCG ao aumento na concentração de CO₂ é de 1°C por 100 ppmv de CO₂, independente do cenário ou da TSM forçante. Nossos resultados mostraram ainda uma intensificação do ciclo hidrológico global, com um aumento de (5,3±1,1)% na precipitação média global segundo o cenário A2 e de (3,2±0,8)% segundo B1 em 2100 em relação ao período base de 1870-1900. No mesmo período, o aumento de temperatura indicado pelo modelo é de 3,5±0,2°C (A2) a 2,0±0,3°C (B1).

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, H. M. J. e MARENGO, J.A. 2008: Análise Preliminar da TSM dos Modelos Acoplados Utilizados no IPCC-AR4. In: XV CBMET, São Paulo. Anais do XV CBMET
- BARBOSA, H. M. J. ; CHAGAS, J. C. S. 2009: The Cloud Radiative Forcing simulated by the CPTEC GCM with the UK Met Office radiation scheme. In: Proc. Of Int. Rad. Symposium, 2008, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 517-520.
- CHAGAS, J.C.S. e BARBOSA, H.M.J., 2008: Incorporation of the UK Met Office's radiation scheme into CPTEC's global model. São José dos Campos, INPE-15393-NTC/376, 86 p.
- CUSACK, S. et al. (1998), The radiative impact of a simple aerosol climatology on the Hadley Centre atmospheric GCM, Q. J. R. Meteorol. Soc., 124, 2517-2526.
- EDWARDS, J. M.; SLINGO, A. Studies with a flexible new radiation code. I: Choosing a configuration for a large-scale model. Q. J. Roy. Meteorol. Soc., v. 122, p. 689-719, 1996.
- KIEHL, J.T., 1994: Clouds and their effects on the climate system. Phys.Today, 47, p36
- MEEHL, G. A., et al, 2007: A new era in climate change research. BAMS, p1383-1394
- SMITH, T.M. et al, 2007: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). J. Clim, in press.