

MUDANÇAS NA PRECIPITAÇÃO DAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL A PARTIR DO RESFRIAMENTO DO ATLÂNTICO NORTE

JEFERSON P. MACHADO¹, DIONIS M. P. BLANK², FLÁVIO JUSTINO³

¹ Bel. em Meteorologia, Pós-Graduando em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG, Fone: (0 xx 31) 38993465, jefpmac@gmail.com

² Mestre em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, UFPel, Pelotas – RS.

³ Dr. em Meteorologia, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – Belo Horizonte – MG

RESUMO: Baseado em simulações numéricas conduzidas com um modelo de complexidade intermediária, LOVECLIM, demonstrou-se que um aumento de água doce no Oceano Atlântico Norte leva a mudanças nos padrões de precipitação das regiões Norte e Nordeste do Brasil. As análises foram realizadas pela diferença entre a simulação do tempo presente (simulação controle) e duas simulações hipotéticas, nas quais foi acrescentada 0,4 Sv e 1 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de água doce no Oceano Atlântico Norte. Os resultados obtidos indicam um aumento na precipitação para a parte sul das regiões Norte e Nordeste do Brasil, enquanto que os setores central e norte das regiões Norte e Nordeste mostram uma redução na precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Circulação Termohalina e mudanças climáticas.

CHANGES IN RAINFALL IN THE NORTH AND NORTHEAST REGIONS OF BRAZIL RESULTING FROM THE NORTH ATLANTIC COOLING

ABSTRACT: Based upon climate simulations performed with a coupled climate model, LOVECLIM, is demonstrated that increasing freshwater FLUX into North Atlantic leads to changes in patterns of rainfall in the north and northeast parts of Brazil. The investigation is based upon the difference between the present day climate simulation, and two anomalous simulations in which 0,4 Sv and 1 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) was added in the North Atlantic Ocean between 50N and 70N. The results indicate an increase in rainfall for the south part of North and Northeast regions of Brazil, while the central and northern sectors of the North and Northeast regions show a reduction in rainfall.

KEYWORDS: Thermohaline circulation and climate change.

INTRODUÇÃO: A Circulação Termohalina Global (CTG), também denominada de Corrente Transportadora (do inglês Conveyor Belt), consiste no deslocamento de massas oceânicas associado a diferenças na densidade da água do mar em função de variações de temperatura e salinidade (Stewart, 2007). A formação de água profunda é extremamente sensível à pequenas

alterações que envolvem a salinidade. Conforme Rahmstorf (1995), um aumento de 0,1 Sverdrup (Sv) ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de fluxo de água doce no Atlântico Norte pode interromper o processo de formação de água profunda. Em consequência, aproximadamente 1 Petawatt (PW) ($1 \text{ PW} = 10^{15}$ Watts) de calor deixa de ser transportado. Weaver e Hillaire-Marcel (2004) lembram que a completa interrupção da CTG é pouco provável, embora caso aconteça parcialmente, levaria a um clima mais frio na Europa, mas não um novo período glacial, devido às maiores concentrações de CO_2 na atmosfera. Recentemente, Bryden et al. (2005), baseados em medições feitas por navios transatlânticos ao longo da latitude de 25°N , indicaram que a CTG enfraqueceu cerca de 30%, principalmente entre os anos de 1957 e 2004. De acordo com Dahl et al. (2005), as condições extremamente frias no Atlântico Norte ligadas ao enfraquecimento da CTG levam a um deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Desta forma, os ventos alísios de nordeste se intensificam e os padrões de precipitação em todo o Atlântico tropical são alterados. Em particular, a precipitação no Nordeste do Brasil muda significativamente. Como discutido, a partir das variações da CTG, mudanças de temperatura e conseqüentemente do ciclo hidrológico, devem trazer impactos para as atividades agrícolas, devido às mudanças nos regimes de precipitação e circulação atmosférica. É importante salientar que simulações numéricas sob condições de aquecimento global também mostram reduções na CTG (IPCC, 2007). Diante do exposto, o trabalho tem por objetivo analisar as mudanças na precipitação das regiões Norte e Nordeste do Brasil baseado em simulações numéricas que demonstram o enfraquecimento da CTG e o conseqüente resfriamento do Atlântico Norte.

MATERIAL E MÉTODOS: Para a execução deste estudo foi utilizado o Loch-Vecode-Ecbilt-CLio-agIsm Model (LOVECLIM). O componente atmosférico do modelo acoplado LOVECLIM, denominado de ECBILT (Opsteegh et al., 1998), é um modelo de 3 níveis na vertical (800, 500 e 200 hPa) com um núcleo adiabático quase-geostrófico (baseado no equilíbrio geostrófico mas com condições ageostróficas com o intuito de uma melhor representação da célula de Hadley), atrelado a parametrizações físicas para o ciclo hidrológico, e um código simplificado para a radiação. O ECBILT é um modelo espectral que funciona em um truncamento T21 triangular, onde T refere-se ao tipo de truncamento espectral utilizado, denominado triangular, de 21 ondas na coordenada horizontal. Isto corresponde a uma resolução horizontal aproximada de $5,625^\circ$ de latitude e longitude. O componente oceânico do LOVECLIM é o modelo Clio. Este último é baseado nas equações primitivas e emprega uma superfície livre com parametrizações termodinâmicas/dinâmicas para o componente do gelo marinho. Também são empregadas parametrizações para difusividade vertical, o que constitui em uma simplificação do Esquema de Turbulência de Mellor e Yamada (Mellor & Yamada, 1982). O modelo oceânico também inclui processos de difusão ao longo das isopícnais (superfícies com densidade constante) para representar o efeito dos vórtices turbulentos de mesoescala (eddies) no transporte oceânico (Gent e McWilliams, 1990). A resolução horizontal do modelo Clio é de aproximadamente 3° de latitude e longitude, com 20 níveis verticais desigualmente espaçados. Para o modelo LOVECLIM, o enfraquecimento da CTG teve como base a simulação descrita em Stouffer et al. (2006), de forma que foram realizados três experimentos de sensibilidade climática. O primeiro consistiu na realização da simulação controle, denominada de CTR, que foi rodada por 500 anos, os quais foram considerados como controle a climatologia pré-industrial, onde a concentração de CO_2 foi fixada em 288ppm. As outras duas simulações foram realizadas através da adição de 0,4 Sv e de 1 Sv de água doce no Oceano Atlântico Norte, entre 50°N e 70°N , durante 500 anos (do ano 1 ao 500), sendo que o modelo foi rodado por 1000 anos. É importante destacar que a

quantidade de 0,4 Sv de água doce é capaz de enfraquecer a CTG em aproximadamente 70%, enquanto que a adição de 1 Sv é suficiente para provocar uma interrupção total da CTG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A avaliação da simulação CTR realizada através do modelo LOVECLIM é feita a partir da comparação com dados de reanálise provenientes do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) (Kalnay et al., 1996). Através da Figura 1 é possível observar que o LOVECLIM subestima a precipitação para as partes sul e norte da região da Amazônia. Entretanto, para a região Nordeste do Brasil os valores de precipitação simulados pelo LOVECLIM são um pouco maiores do que a climatologia do NCEP. Quando analisa-se a média zonal global da precipitação (Figura 2a), nota-se que o LOVECLIM apresenta uma razoável reprodução. Em decorrência da representação deficiente associada aos processos convectivos, observa-se que condições de secas são simuladas para ambos os hemisférios ao longo de 45°S e 45°N. Entretanto, modelos de maior complexidade também apresentam problemas em simular a precipitação na zona equatorial. Com relação à temperatura média zonal, o LOVECLIM reproduz satisfatoriamente os padrões observados. A maior diferença entre o modelo e as observações está localizada ao norte de 65°N (Figura 2b). As anomalias negativas de temperatura podem ser explicadas, em grande parte, devido à tendência do LOVECLIM em superestimar a espessura do gelo marinho, o que isola a atmosfera e corta o fluxo de calor sensível do oceano abaixo. A Figura 3a mostra a diferença entre os valores de precipitação para a simulação de 0,4 Sv e a simulação CTR. Observa-se que devido ao enfraquecimento de 70% da CTG a ZCIT se desloca mais para o sul. Deste modo, nota-se um aumento da precipitação para a região central e sul da Amazônia de até 20 cm/ano. Para os estados da região Nordeste do Brasil, o aumento na precipitação é cerca de 40 cm/ano. Entretanto, o enfraquecimento da CTG induz anomalias negativas na parte norte da Amazônia de até 50 cm/ano. Quanto a CTG é totalmente interrompida através da adição de 1 Sv de água doce (Figura 3b), percebe-se que a ZCIT se desloca mais para o sul quando comparado com a simulação de 0,4 Sv. Deste modo, tem-se anomalias positivas de precipitação de até 50 cm/ano para a região sul da Amazônia e para o sul da região nordeste (sul da Bahia). Entretanto, a redução na precipitação é observada para as regiões central e norte da Amazônia e para o setor norte da região Nordeste, com valores de até 60 cm/ano.

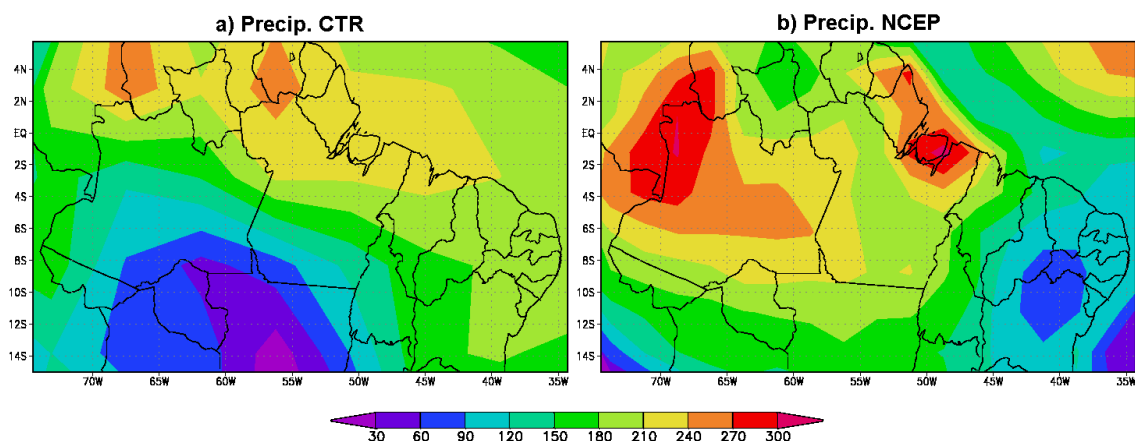


Figura 1: Valores de precipitação (cm/ano) encontrados para: a) simulação CTR e b) Reanálise do NCEP

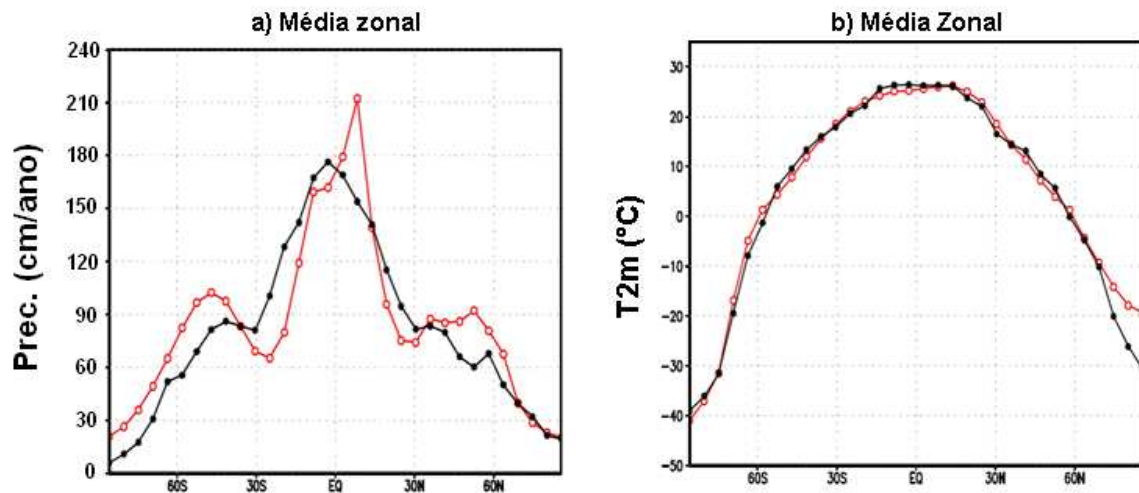


Figura 2: Média zonal global: a) precipitação (cm/ano) e b) temperatura do ar a 2 metros (°C). Linha preta: média zonal do LOVECLIM, linha vermelha: média zonal da reanálise do NCEP.

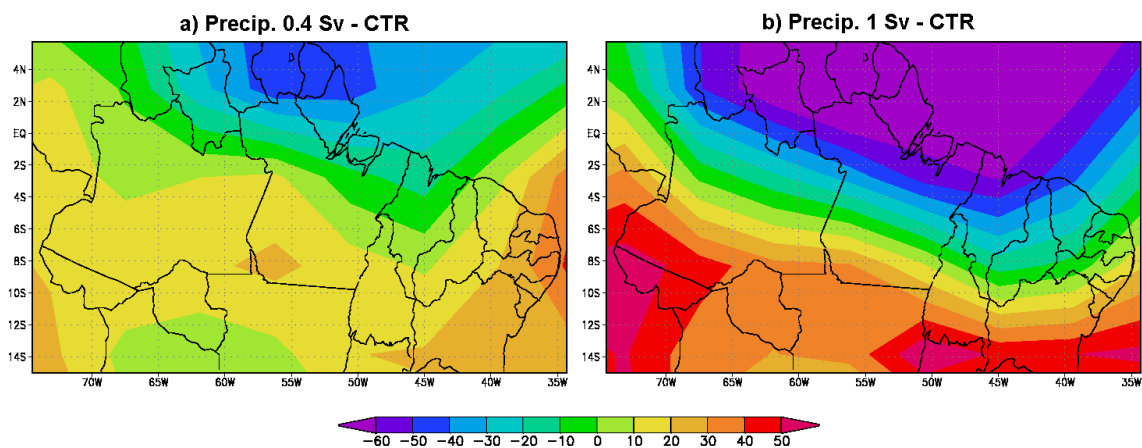


Figura 3: Anomalias de precipitação (cm/ano): a) 0,4 Sv - CTR e b) 1 Sv - CTR.

CONCLUSÃO: Simulações numéricas conduzidas com um aumento de água doce no Oceano Atlântico Norte revelaram que o enfraquecimento da circulação termohalina global induz anomalias de precipitação para as regiões norte e nordeste do Brasil, devido ao deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical. Observou-se que quando a circulação termohalina foi totalmente interrompida, as anomalias de precipitação foram maiores quando comparadas com a simulação de 0,4 Sv, com destaque para o aumento na precipitação para a parte sul e redução nas partes central e norte das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRYDEN, H. L., LONGWORTH, H. R., CUNNINGHAM, S. A. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25°N. **Nature**, v. 438, p. 655–657, 2005.
- DAHL, K. A., BROCCOLI, A. J., STOUFFER, R. J. Assessing the role of North Atlantic freshwater forcing in millennial scale climate variability: a tropical Atlantic perspective. **Climate Dynamics**, v. 24(4), p. 325-346, 2005.
- GENT, P., MCWILLIAMS, J. Isopycnal mixing in ocean general circulation model. **Journal of Physical Oceanography**, v. 20, p. 150-155, 1990.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), **Climate Change: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp., 2007.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOLLEN, J., ZHU, Y., LETMAN, A., REYNOLDS, R., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., JENNE, R., JOSEPF, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 437-471, 1996.
- MELLOR, G., YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, p. 851–875, 1982.
- OPSTEEGH, J., HAARSMA, R., SELTEN, F., KATTENBERG, A. ECBILT: A dynamic alternative to mixed boundary conditions in ocean models. **Tellus**, v. 50A, p. 348–367, 1998.
- RAHMSTORF, S. Bifurcations of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle. **Nature**, v. 378: p. 145–149, 1995.
- STEWART, R. H. Introduction to Physical Oceanography. PDF version, 353pp, 2007.
- STOUFFER, R. J., YIN, J., GREGORY, J. M., DIXON, K. W., SPELMAN, M. J., ET AL. Investigating the Causes of the Response of the Thermohaline Circulation to Past and Future Climate Changes. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1365-1387, 2006.
- WEAVER, A. J., HILLAIRES-MARCEL, C. Global Warming and the Next Ice Age. **Science**, v. 304 (5669), p. 400–402, 2004.