

# **Modelagem do impacto das mudanças no uso da terra e aumento dos gases de efeito estufa (GEE) no balanço de água na Bacia Amazônica**

Francis Wagner Silva Correia<sup>1</sup>; Vinícius Machado Rocha<sup>2</sup>; Antônio Ocimar Manzi<sup>2</sup>,  
Saulo Ribeiro Freitas<sup>3</sup>; Demerval Soares Moreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Amazonas – UEA. Av Darcy Vargas 1200 – Parque 10, Manaus – Amazonas, email: fcorreia@uea.edu.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

<sup>3</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE

## **ABSTRACT**

The Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS), coupled to the dynamic vegetation model - General Energy and Mass Transfer Model (GEMTM) was used to determine the effects of land-use change and increased CO<sub>2</sub> concentrations on the hydrological cycle of the Amazon basin for two scenarios: (i) Land-use cover Amazon Basin for the year 2000 and current climate initialized and driven by boundary conductions from the Community Climate System Model (CCSM3) atmospheric-ocean model and (ii) Predicted land-use cover for the year 2050 and emission scenario (SRES A2) for 2050 by CCSM3. The combined effect of deforestation and increased CO<sub>2</sub> concentrations, including the interaction among the processes, is an increase in the temperature of 3 to 4 degrees C and a decrease in the basin-average precipitation of 30%. A Positive Feedback Mechanism (PFM) on the hydrological cycle was observed, in which, changes in the regional circulation (moisture convergence) and evapotranspiration led to the decrease in precipitation in Amazon Basin. This mechanism is worrying because it can produce instability in the system and consequently, lead to changes in natural ecosystems of the Amazon. This is particularly relevant since the natural ecosystems do not exhibit great adaptability to the magnitude of climate change on such short time scales.

Palabras-chave: Amazônia, Desflorestamento, BRAMS

## **1. Introdução**

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida do mundo com uma área total de aproximadamente 7 milhões de km<sup>2</sup>, com cerca de 5 milhões em território brasileiro, o que representa 56% das florestas tropicais da Terra. A Amazônia está posicionada nos trópicos, onde as trocas de energia, umidade e massa entre a superfície continental e a atmosfera são bastante intensas, fornecendo uma série de serviços ambientais onde se incluem: a manutenção da biodiversidade, o armazenamento e absorção do excesso de carbono da atmosfera, a ciclagem de água e o fornecimento de umidade para outras regiões do país; e dessa forma, contribuindo para manutenção do clima em escalas regional e global (Fearnside, 2005). Devido a sua grande extensão, a floresta amazônica desempenha papel importante nos balanços globais de carbono e água entre a superfície e a atmosfera (Cox et al., 2004). No presente, a bacia amazônica comporta-se como um sumidouro de umidade da atmosfera, recebendo vapor d'água tanto da floresta tropical por meio da intensa reciclagem de água, quanto do transporte de umidade proveniente do oceano Atlântico tropical (Marengo, 2006). No contexto da circulação regional, a floresta amazônica constitui-se uma fonte de umidade para as regiões central e sudeste do Brasil, desempenhando papel importante na precipitação sobre essas regiões (Vera et al. 2006). No entanto, a Amazônia é sensível às variabilidades e mudanças no sistema climático, devido tanto às variações naturais, inerentes ao próprio sistema climático (interações não lineares), quanto às antropogênicas; tais como: o aumento na concentração dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera e as mudanças no uso da terra, por exemplo: desflorestamento, atividades agrícolas e urbanização (Correia et al., 2007;

Nobre et al., 2009). Diante dessas questões ambientais, avaliaram-se nesse estudo os impactos no balanço de umidade decorrentes das mudanças no uso da terra na Amazônia e das mudanças no clima global devido ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, utilizando o modelo de área limitada – modelo regional GEMBRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS 4.2 acoplado ao modelo de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model - GEMTM) e cenários, atual e futuro, de mudanças no uso da terra e de aumento dos gases de efeito estufa.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 – Descrição do Modelo Atmosférico

Nesse estudo utilizou-se o modelo de área limitada GEMBRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS 4.2) (Freitas et al., 2007) acoplado ao esquema de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model – GEMTM (Pitman e Narisma, 2005) do MASTER/IAG/USP. O BRAMS baseia-se no conjunto completo de equações primitivas que governam a evolução do estado atmosférico, fundamentadas nas leis de movimento de Newton e na termodinâmica de um fluido, incluindo parametrizações dos diversos processos físicos presentes nestas equações. O modelo foi desenvolvido dentro do formalismo de diferenças finitas na vertical, horizontal e no tempo, estando escrito quase exclusivamente na Linguagem Fortran 90. A versão utilizada apresenta uma única grade com resolução espacial de 40 km (150x170) e 32 níveis na vertical. A parametrização de Grell and Devenyi (2002) é o esquema de convecção profunda. Os fluxos de energia, momentum e massa entre a superfície e a camada mais baixa do modelo são determinados pelo esquema de superfície LEAF (Land Ecosystem Atmosphere Feedbacks).

### 2.3 – Estratégia de Simulação Numérica

Foram realizados dois experimentos numéricos denominados: CNTRL e CA2D50. No experimento CNTRL representou-se a cobertura vegetal na Amazônia Legal elaborada pelo projeto ProVeg (Sestini et al, 2002) considerando dados de desflorestamento para o ano base de 2000. Dados do Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia – PRODES-DIGITAL foram utilizados para incluir as alterações decorrentes da ação antropogênica (desflorestamento) na região Amazônica. Também nesse experimento, utilizou-se cenário atual de emissão de gases do efeito estufa, proveniente das condições inicial e de contorno do modelo de circulação geral da atmosfera Community Climate System Model – CCSM3 (T85L26) do National Center for Atmospheric Research (NCAR) (ver Tabela 1). No experimento CA2D50, utilizou-se o cenário de desflorestamento da Amazônia Legal projetado para o ano de 2050, elaborado pelo modelo de dinâmica de vegetação DINAMICA e também o cenário de emissão de gases do efeito estufa (A2) referente ao ano de 2050 proveniente do CCSM3. O GEMBRAMS assimilou as análises do modelo atmosférico CCSM3 a cada 6 horas de integração, através do processo de *downscaling dinâmico*. Utilizou-se a temperatura da superfície do mar (TSM) climatológica nos dois experimentos numéricos.

TABELA 1 – Características das integrações para cada experimento utilizando o modelo regional GEMBRAMS e cenários de desflorestamento e emissões de GEE

Experimento	Integração	C.I e C.C*	Cenários de Emissões CCSM3	Cenários Desflorestamento
CNTRL	13 Meses	CCSM3/GCM	369 ppmv	2000 – PROVEG
CA2D50	13 Meses	CCSM3/GCM	532 ppm	2050 – DINÂMICA
Experimento	Início	Domínio Espacial		Resolução Espacial
CNTRL	01/11/1999	15N-50S e 25W-90W (AS)		40 km (150 x 170)

### 3. Resultados e Discussões

Os impactos no balanço de umidade decorrentes das mudanças no uso da terra na Amazônia e das mudanças no clima global devido ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera foram avaliados através da diferença entre as simulações CA2D50 e CNTRL. O primeiro mês de integração não foi contabilizado durante as análises. As mudanças mais significativas nos balanços de energia e água e na temperatura ocorreram na estação chuvosa. Nessa estação a temperatura da superfície apresentou anomalias positivas em toda a América do Sul, com valores mais intensos, variando de 5°C a 7°C na Bacia Amazônica, principalmente na porção central-oeste da região (Figura 1). Esse aumento na temperatura está diretamente e exclusivamente associado a um acréscimo na disponibilidade de energia a superfície decorrente, por sua vez, do aumento nos fluxos radiativos de onda curta (solar) e longa (termal) descendentes. O efeito combinado do desflorestamento e do aumento dos gases do efeito estufa na atmosfera, incluindo as interações entre os processos, conduziu a um aumento da temperatura à superfície mais intenso em relação ao efeito somente do cenário de desflorestamento. Em outras palavras, o desflorestamento e o aumento no CO<sub>2</sub> agiram no mesmo sentido para aumentar a temperatura da superfície sobre a bacia Amazônica conduzindo a um aumento médio de 3,4°C (Tabela 2). No cenário CA2D50, o *Mecanismo de Retroalimentação Positivo (MRP)* foi estabelecido, no qual, às alterações na circulação regional (convergência de umidade) e na evapotranspiração agiram concomitantemente para a redução no regime de precipitação na Bacia Amazônica (-30%). O mecanismo de retroalimentação positivo observado nessa simulação configura-se um cenário preocupante, uma vez que produz certa instabilidade no sistema. Tal instabilidade pode desencadear alterações significativas nos ecossistemas naturais da Amazônia, já que os mesmos não apresentam grande capacidade de adaptação à magnitude das mudanças no clima, sobretudo se estas ocorrerem em um curto intervalo de tempo (Salazar et al., 2007). Mudanças na precipitação são observadas em quase todo o continente com intensas anomalias negativas na porção centro-leste da bacia Amazônica (-1 a -4 mm dia<sup>-1</sup>). O aumento na pressão reduzida ao nível do mar (PNM) na porção central-leste da Amazônia, conduzindo a alterações no padrão da circulação e na divergência de umidade, contribuiu para a redução na precipitação sobre a bacia. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também se apresentou menos intensa e deslocada ao norte de sua posição climatológica no Atlântico Tropical, conduzindo também a menos precipitação na Amazônia. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ficou definida pouco a abaixo de sua região climatológica e com anomalias positivas variando de 2 a 4 mm dia<sup>-1</sup>. Na região sul do Brasil e em algumas partes da região sudeste se observou aumento significativo da precipitação (+3,5 mm dia<sup>-1</sup>). Na região do Jato de Baixos Níveis (SALLJ), observa-se uma intensificação do transporte de umidade na parte oeste (próximo aos Andes) e redução no leste originando, desta forma, um corredor de confluência (convergência) de umidade que se estende até as regiões subtropicais da América do Sul. Ainda na região do SALLJ, as temperaturas mais altas no cenário CA2D50 intensificaram a baixa sobre o continente (na estação de chuvosa), conduzindo a uma aceleração do jato de baixos níveis, aumentando a convergência de umidade na saída do jato e, conseqüentemente, contribuindo para o acréscimo de precipitação no Sul e Sudeste do Brasil. De forma geral, as modificações no padrão de transporte de vapor d'água no cenário de aumento de gases do efeito estufa e desflorestamento explicam as anomalias negativas e positivas de precipitação na região Amazônica e no sul-sudeste do Brasil, respectivamente.

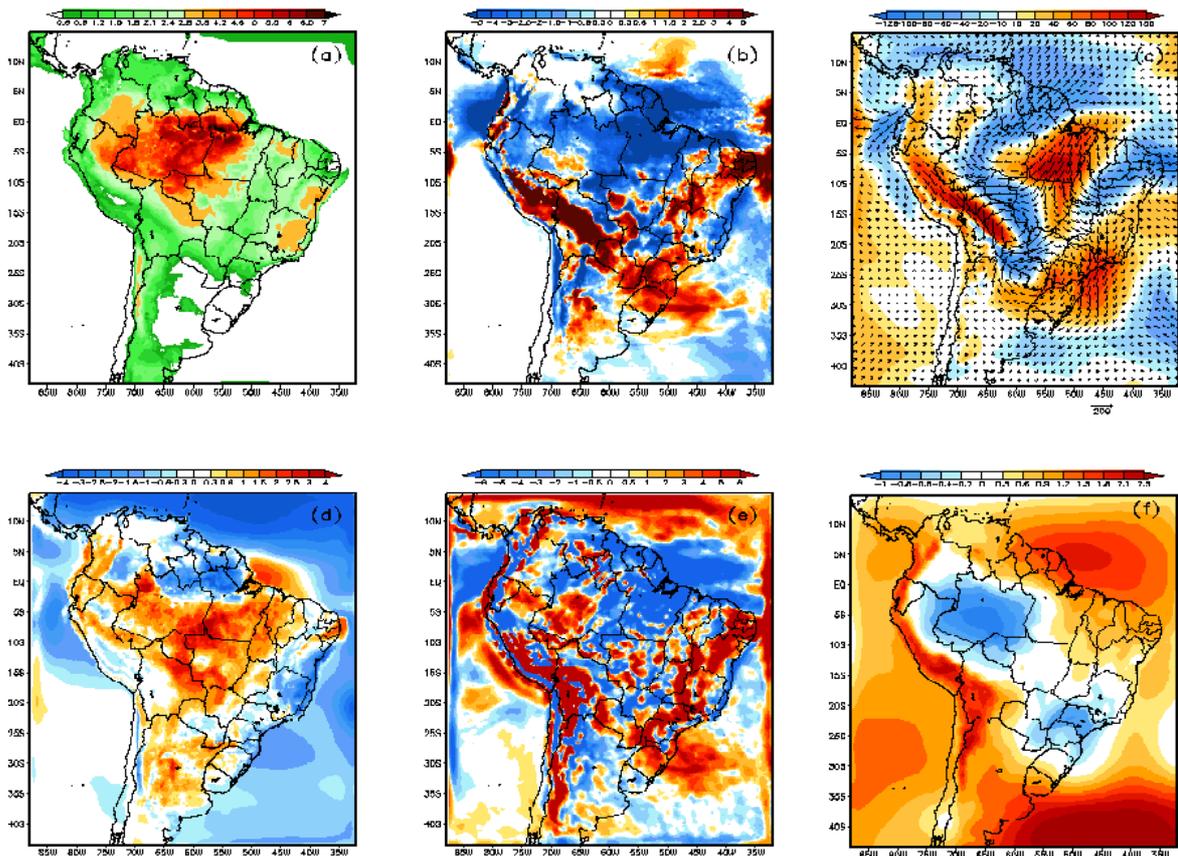


Figura 1 – Média para a estação úmida da diferença entre as simulações CA2D50 e CNTRL utilizando o modelo regional GEMBRAMS: (a) Temperatura da superfície (°C); (b) Precipitação (mm dia<sup>-1</sup>); (c) Fluxo de umidade integrado verticalmente (kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>); (d) Evapotranspiração (mm dia<sup>-1</sup>); (e) Convergência de umidade (mm dia<sup>-1</sup>); (f) Pressão atmosférica (mb).

TABELA 2 – Impactos regionais do cenário CA2D50-CNTRL (Estação Úmida). Ts: Temperatura da superfície (°C); T(850mb): Temperatura em 850mb (°C); U.R.: Umidade relativa (%); Rn: Saldo de radiação (Wm<sup>2</sup>); PNM: Pressão ao nível médio do mar (mb); P: Precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>); E: Evapotranspiração (mm.dia<sup>-1</sup>); C: Convergência de umidade (mm.dia<sup>-1</sup>); R: Escoamento superficial “runoff” (mm.dia<sup>-1</sup>).

Estação Úmida (DJF)				
	CNTRL	CA2D50	CA2D50-CNTRL	%
Ts	25,7	29,1	3,4	
T(850mb)	25,3	28,5	3,2	12,6
U.R.	76,1	63,9	-12,2	-16,0
Rn	113,7	155,1	41,4	36,4
PNM	992,7	992,7	0,1	0,0
P	10,6	7,5	-3,1	-29,2
E	3,8	4,3	0,5	13,2
C	7,2	3,7	-3,5	-48,6
R	6,8	3,2	-3,6	-52,9

#### 4. Conclusão

O estudo de modelagem numérica utilizando um modelo de área limitada – modelo regional GEMBRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS 4.2 acoplado ao modelo de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model - GEMTM) para avaliar os impactos no balanço de umidade decorrentes das mudanças no uso da terra na Amazônia e das mudanças no clima global devido ao aumento na concentração de gases de

efeito estufa (GEE) na atmosfera, considerou dois diferentes cenários: a) CNTR (cobertura vegetal com desflorestamento para o ano de 2000 e cenário atual de GEE proveniente do modelo climático Community Climate System Model - CCSM3 e CA2D50 (cenário de emissão de gases do efeito estufa A2 para o ano de 2050 e cobertura vegetal com projeção de desflorestamento para o ano de 2050). O mecanismo de retroalimentação positivo foi estabelecido, no qual, às alterações na circulação regional (convergência de umidade) e na evapotranspiração, conduziram a redução no regime de precipitação na Amazônia. Esse mecanismo configura-se um cenário preocupante, uma vez que, produz uma instabilidade no sistema, e conseqüentemente, pode conduzir a alterações nos ecossistemas naturais da Amazônia, uma vez que, não apresentam grande capacidade de adaptação à magnitude das mudanças no clima se estas ocorrerem no curto intervalo de tempo.

## 5. Referências bibliográficas

Correia, F. W. S., Manzi, A. O., Cândido, L. A., Santos, R. M. N., Pauliquevis, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Mudanças Climáticas/Artigos*, p. 39-43, 2007.

Cox, P. M., Betts, R. A., Collins, M., Harris, P. P., Huntingford, C., Jones, C. D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 78, p. 137-156, 2004.

Fearnside, P. M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology* 19, p. 680-688, 2005.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Silva Dias, M. A. F.; Chatfield, R.; Silva Dias, P. L.; Artaxo, P.; Andreae, M. O.; Grell, G.; Rodrigues, L. F.; Fazenda, A.; Panetta, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, v. 7, p. 8571-8595, 2007.

Grell, G. and Devenyi, D.: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques, *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), doi:10.1029/2002GL015311, 2002.

Nobre, P.; Malagutti, M.; Urbano, D. F.; D'Almeida, R. A. F.; Giarolla, E. Amazon Deforestation and Climate Change in a Coupled Model Simulation. *Journal of Climate*, v. 22, pp. 5686-5697, 2009.

Pitman, A; Narisma, G. The role of land surface processes in regional climate change: a case study of future land cover change over south western Australia. *Meteorol Atmos Phys* v. 89, p. 235-249, 2005.

Salazar, L. F., Nobre, C. A., Oyama, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-6, 2007.

Sestini, M. F. *Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos*. São José dos Campos: INPE, 2002. 64p.

Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emanuel, C. B., Orsini, J. A. M., Meitin, J., Nicolini, M., Nogue Paegles, J., Paegle, J., Penalba, O., Salio, P., Saulo, C., Silva Dias, M. A. F., Silva Dias, P., Zipser, E. The South American Low Level Jet Experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86, 1, 63-77, 2006.