

# MODELAGEM DO IMPACTO DAS QUEIMADAS E DA VEGETAÇÃO SOBRE A PRECIPITAÇÃO USANDO UM MODELO ATMOSFÉRICO COM VEGETAÇÃO DINÂMICA

Éder Paulo Vendrasco<sup>1</sup> ; Pedro Leite da Silva Dias<sup>2,3</sup> ; Demerval S. Moreira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (CPTEC/INPE) – Rodovia Presidente Dutra, km 39 – Cachoeira Paulista - São Paulo – Brasil. Email: [eder.vendrasco@cptec.inpe.br](mailto:eder.vendrasco@cptec.inpe.br)

<sup>2</sup>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/USP)–São Paulo–São Paulo/Brasil.

<sup>3</sup>Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)–Petrópolis–Rio de Janeiro/Brasil.

<sup>4</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)–Cachoeira Paulista–São Paulo/Brasil.

**Palavras-chave:** Modelagem, Aerossól, Queimada, Precipitação, Vegetação Dinâmica

**ABSTRACT** - Four 3-months long simulations were performed in the Amazon region using the Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) and the dynamic vegetation model GEMTM (General Energy and Mass Transport Model). The objective was to study the effect of biomass burning aerosol on precipitation together with the use of a dynamic vegetation model for understanding the response of vegetation in this dynamic system. We applied the method of factor separation to identify the impact of aerosol and dynamic vegetation separately, as well as the effect of the nonlinear interaction between these factors. It was observed that the aerosol decreased the total precipitation as well as the effect of vegetation on a smaller scale, however, the interaction between the two factors was positive, i.e, the precipitation increased.

1. **INTRODUÇÃO** - O clima da Terra é, em parte, controlado pelos fluxos de energia, água e momento na baixa atmosfera. Sobre os oceanos, a troca de energia e água com a atmosfera depende principalmente da temperatura superficial do mar. Fluxos sobre a terra, por outro lado, são controladas por um conjunto mais complexo de atributos, incluindo o estado da cobertura vegetal, tipo de solo e a umidade do solo. Mudanças na vegetação, seja por motivos climáticos ou atividades humanas, pode alterar substancialmente as características físicas da superfície terrestre, podendo levar a processos de retroalimentação de grande porte sobre a atmosfera (Foley et al., 1998). Portanto, mudanças em parâmetros de superfície devem ser consideradas ao longo de uma simulação numérica de tempo ou clima.

Durante a estação seca, distante das grandes cidades, a queima de biomassa é certamente a principal fonte de aerossóis atmosféricos na América do Sul, em especial na Amazônia. Por outro lado, durante o período chuvoso as concentrações atmosféricas de aerossóis por queima de biomassa diminui e é dominado por aerossóis biogênicos e poeira suspensa do solo (Echalar et al., 1998). Estudos de modelagem têm indicado o potencial impacto da queima de biomassa na precipitação (Freitas et al., 2005), no entanto, apesar das evidências físicas associadas ao efeito radiativo direto (estabilização termodinâmica na baixa troposfera) sobre a precipitação, nem todos os resultados por modelos atmosféricos estão de acordo sobre o sinal do impacto (Vendrasco et al., 2009). Alguns estudos observacionais sobre o regime de precipitação na China sugerem que as

emissões de aerossóis pela queima de biomassa podem afetar significativamente o padrão de precipitação na região (Xu, 2001).

Durante o pico da época de queima na América Central e América do Sul (entre julho e outubro) o número de partículas no ar varia até uma ordem de grandeza dos valores durante o resto do ano. A radiação solar, em especial a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), atingindo a superfície é reduzida em cerca de 10-30%, reduzindo a temperatura da superfície e da luz disponível para o crescimento da planta (Schafer et al., 2002). Por outro lado, ocorre aumento da radiação difusa, também muito importante para a vegetação (Yamasoe et al., 2006).

2. **METODOLOGIA** - Os experimentos numéricos foram realizados com o modelo BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* - [www.cptec.inpe.br/brams](http://www.cptec.inpe.br/brams)), além dos modelos GEMTM (*General Energy and Mass Transport Model*; Chen e Coughenour, 2004) e CATT (*Coupled Aerosol and Tracer Transport model*; Freitas et al., 2009). Além disso, um complexo modelo de transferência radiativa para resolver os processos radiativos associados aos aerossóis (CARMA; Toon et al. 1988) foi acoplado ao BRAMS (Freitas et al., 2005). Neste trabalho, apenas o efeito radiativo causado pelo aerossol é tratado, considerando-se as partículas em suspensão como uma partícula de *black carbon*. Uma das características principais do GEMBRAMS (o sistema de modelagem acoplada BRAMS e GEMTM) (Moreira et al., 2004) é que a atmosfera e a biosfera interagem de forma dinâmica através da superfície e o balanço energético do dossel.

A interpretação dos resultados é baseada na análise de separação de fatores (Stein e Alpert, 1993). O método consiste na realização de  $2^k$  simulações (onde  $k$  é a quantidade de fatores), ou seja, para uma análise de dois fatores são necessárias quatro simulações, onde na primeira são desligadas todas as contribuições dos fatores ( $f_0$ ), na segunda apenas o primeiro fator é levado em conta ( $f_1$ ), na terceira somente o segundo fator é levado em conta ( $f_2$ ) e, finalmente, os dois fatores são levados em conta ( $f_{12}$ ). Portanto, considerando como fator 1 a emissão de aerossóis, como fator 2 a vegetação dinâmica e como variável de interesse a precipitação, obtém-se então a precipitação induzida pela emissão de aerossóis ( $F_1$ ), a precipitação induzida pela mudança na vegetação ( $F_2$ ), e a precipitação gerada pela interação das emissões de aerossóis e da mudança na vegetação ( $F_{12}$ ), além da precipitação não relacionada nem à emissão de aerossóis nem à alteração na vegetação ( $F_0$ ). A contribuição de cada fator em uma determinada variável ( $F$ ), e a interação entre elas é dada por:

$$F_0 = f_0 \quad \text{Eq. 1}$$

$$F_1 = f_1 - f_0 \quad \text{Eq. 2}$$

$$F_2 = f_2 - f_0 \quad \text{Eq. 3}$$

$$F_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0 \quad \text{Eq. 4}$$

O experimento consistiu em avaliar o papel do aerossol de queimada e da mudança dos parâmetros físicos que controlam a troca de energia entre superfície e a atmosfera através da vegetação (usando o GEMTM) na precipitação. A integração numérica foi realizada com uma grade de 20 km de resolução horizontal durante um período de 3 meses, desde 01/08/2007 00UTC até 01/11/2007 00UTC. O domínio numérico deste experimentos é mostrado na Figura 1.

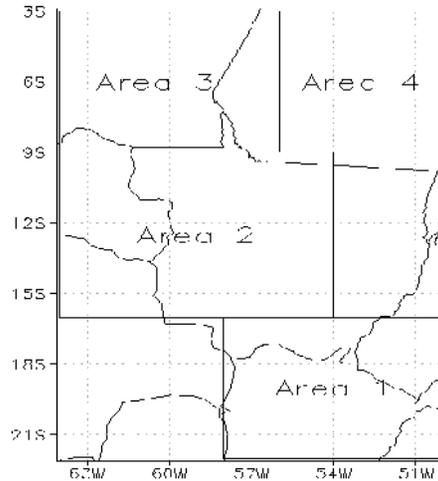


Figura 1: Localização geográfica do experimento 2 e o limite de cada área de estudo.

3. **RESULTADOS** - Na figura 2a são apresentadas as séries temporais de material particulado integrado na vertical. Observa-se grande quantidade de aerossol suspenso na atmosfera, principalmente na Área 2, com pico no final de setembro e início de outubro.

Os valores de precipitação para cada simulação e área são apresentados na figura 2b. É possível notar que, no geral, os valores da simulação de controle (vermelho) são maiores, porém existem situações onde isso não ocorre. Um motivo foi explorado em Vendrasco et al. (2009), onde é mostrado que a influência, positiva ou negativa, do aerossol na precipitação está condicionada à quantidade de aerossol na atmosfera e à formação de células convectivas locais. Nota-se também que ao incluir a vegetação dinâmica no modelo existe um pequeno decréscimo de precipitação (azul). É plausível explicar este comportamento através da disputa por água pelas plantas. Foi observado no gráfico de fluxo máximo de calor latente (não mostrado) que existe redução com relação à simulação controle, mostrando uma diminuição da disponibilidade de água no solo e conseqüente redução da evapotranspiração. Portanto, estes fatores podem provocar menor precipitação na simulação com vegetação dinâmica. O papel do aerossol foi de reduzir significativamente a precipitação, provavelmente pela estabilização da atmosfera, como descrito em Vendrasco et al., (2009).

Conforme descrito na Metodologia, foi empregada a técnica de separação de fatores aos dados de precipitação acumulada obtida do experimento 2. O objetivo foi avaliar a contribuição de cada fator, inclusão do aerossol e da vegetação dinâmica, na precipitação acumulada em todo o período. Esta análise considera como fator 1 o impacto da inclusão da vegetação dinâmica no total de precipitação e como fator 2 o impacto da inclusão da emissão de aerossóis de queimada no total de precipitação. Além disso, também é extraída a informação referente ao efeito não linear da interação entre os fatores 1 e 2. Na figura 2 observa-se que o fator 2 contribui negativamente e de forma bem acentuada no total de precipitação. Este resultado indica que ao incluir a emissão de aerossóis ocorre grande redução nos valores de precipitação, principalmente sobre a floresta, área 3. Por outro lado, seu efeito é menor na região mais ao sul do domínio estudado, área 1. Este sinal de redução na precipitação já era, de certa forma, esperado. Resultados similares obteve-se no experimento 1. Em menor escala, porém com mesmo sinal, o fator 1 também contribui para diminuição no total de precipitação.

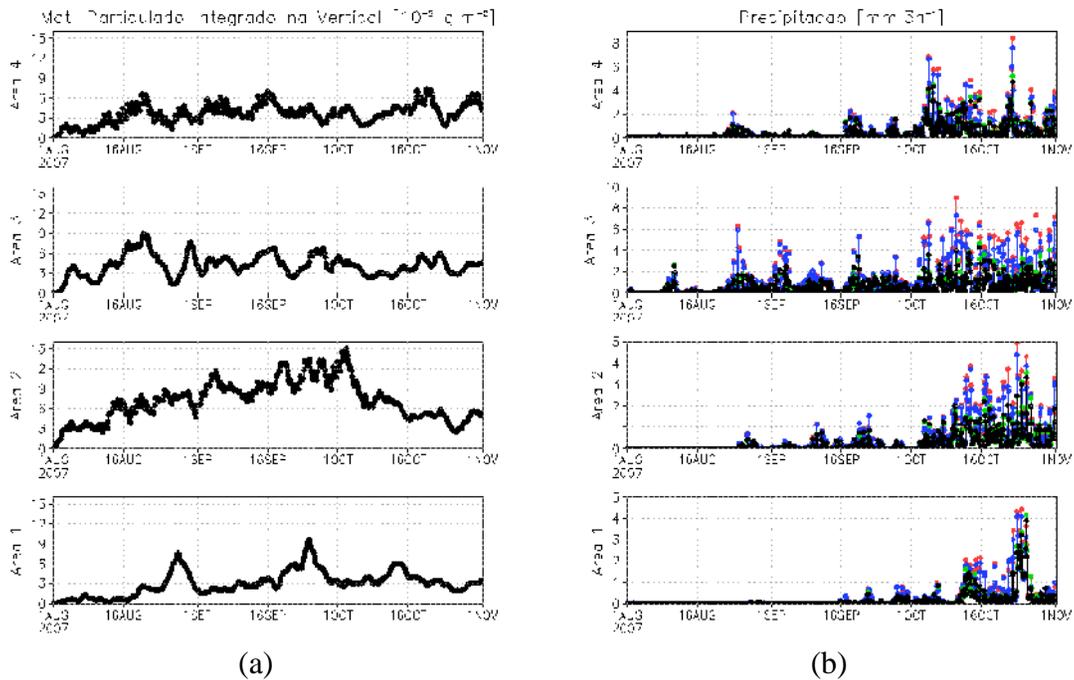


Figura 2 – Material particulado integrado na vertical (a) e Precipitação acumulada em 3 horas para as 4 simulações: i) simulação controle (vermelho); ii) simulação com vegetação dinâmica (azul); iii) simulação com emissão de aerossol (verde); simulação com vegetação dinâmica e emissão de aerossol (preto). Os quadros refere-se às 4 áreas especificadas na figura 1.

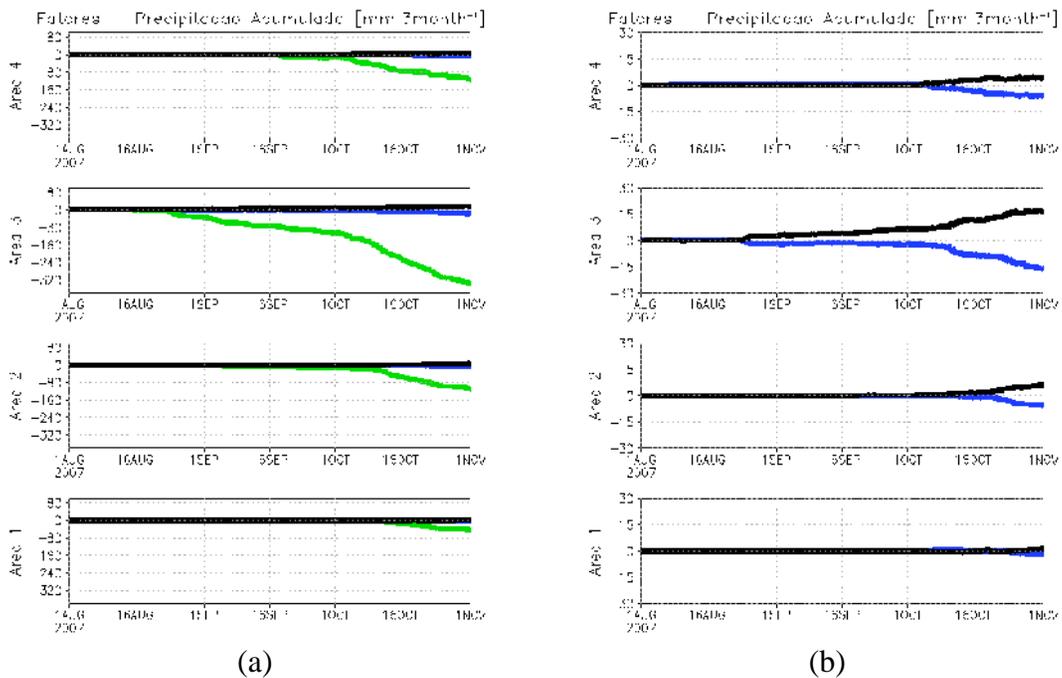


Figura 3 - Fatores provenientes da separação de fatores descrita pelas equações 1-4 para a precipitação acumulada em todo o período de simulação. Sendo: i) Fator 1, ou seja, contribuição na precipitação acumulada da inclusão da vegetação dinâmica no modelo (azul); ii) Fator 2, ou seja, contribuição na precipitação acumulada da emissão de aerossol no modelo (verde) e iii) Fator de interação, que representa a contribuição da interação entre os fatores 1 e 2 na precipitação acumulada (preto) (a) e apenas os fatores 1 e de interação (b).

efeito é menor na região mais ao sul do domínio estudado, área 1. Este sinal de redução na precipitação já era, de certa forma, esperado. Resultados similares obteve-se no experimento 1. Em menor escala, porém com mesmo sinal, o fator 1 também contribui para diminuição no total de precipitação.

Um efeito relevante está no fator de interação entre os fatores 1 e 2 que, apesar dos fatores 1 e 2 serem negativos, a interação entre eles é positiva (figura 8). Este resultado é surpreendente. Desta análise, observa-se que apesar da emissão de aerossóis e da vegetação dinâmica terem contribuído para redução da precipitação individualmente, quando estas duas situações estão presentes ao mesmo tempo o resultado é um terceiro componente que exerce o papel inverso, ou seja, tende a aumentar a precipitação. Quando somado ao resultado individual, a resultante é menor redução na precipitação comparada à simulação controle. Portanto, ao incluir 2 fatores distintos no modelo, a resultante é uma combinação não-linear destes 2 fatores.

4. **CONCLUSÕES** - Foram realizadas 4 simulações para estudar o efeito da emissão de aerossóis e da vegetação dinâmica no regime de precipitação e concluiu-se que a inclusão da vegetação dinâmica no modelo gera pequena diminuição na precipitação, assim como quando ocorre a inclusão do aerossol. Este com efeito bem maior que aquele. Contudo, ao considerar os dois efeitos e usando a análise de separação de fatores foi possível observar efeitos não-lineares com tendências a reduzir o efeito que o aerossol e a vegetação dinâmica têm na precipitação, ou seja, o efeito não linear tende a aumentar a precipitação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen D-X, Coughenour MB (2004): Photosynthesis, transpiration, and primary productivity: scaling up from leaves to canopies and regions using process models and remotely sensed data, *Global Biogeochem. Cycles* 18, p. GB4033.
- Echalar F, Artaxo PE, Martins JV, et al. (1998): Long-term monitoring of atmospheric aerosols in the Amazon Basin: Source identification and apportionment. *J. Geophys. Res.*, 103, 31849-31864.
- Foley JA, Levis S, Prentice IC et al. (1998): Coupling dynamic models of climate and vegetation. *Global Climate Biology*, 4, 561-579.
- Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF et al. (2005): Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environ. Fluid. Mech.*, 5, 135-167.
- Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF et al. (2009): 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.*, 9, 2843-2861.
- Moreira, D. S., Silva Dias PL, Beltran-Przekurat A., Pielke RA. Dry to Wet Transition Simulation with Dynamic Vegetation. In: 3 Conferência Científica do LBA, 2004, Brasília.
- Schafer J, Holben B, Eck T, Yamasoe MA, Artaxo PE, (2002): Atmospheric effects on insolation in the Brazilian Amazon: Observed modification of solar radiation by clouds and smoke and derived single scattering albedo of fire aerosols. *J. Geophys. Res.*, 107, 41-1-41-15.
- Stein U, Alpert P (1993): Factor separation in numerical simulations. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2107-2115.
- Toon OB, Turco RP, Westphal D, Malone R, Liu RS, (1988): A multidimensional model for aerosols: Descriptions of computational analogs. *J. Atmos. Sci.*, 45, 2123-2143.
- Vendrasco EP, Silva Dias PL, Freitas ED (2009): A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon. *Atmos. Research* 94, pp. 409-421
- Xu Q (2001): Abrupt change of the mid-summer climate in central East China by the influence of atmospheric pollution. *Atmos. Environ.*, 35, 5029-5040.
- Yamasoe, M. A.; C. Von Randow; A. O. Manzi et al. (2006) Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 1645-1656.