

# Efeito dos aerossóis de queimadas e das mudanças de uso da terra no ciclo hidrológico e nos fluxos de superfície no período de 2007 a 2030 na Amazônia simulados com o CCATT-BRAMS

Ricardo A. Siqueira<sup>1</sup>, Saulo R. Freitas<sup>2</sup>, Karla M. Longo<sup>1</sup>, Cláudio M. S. Silva<sup>5</sup>, José Guilherme M. Santos<sup>1</sup>, Judith Hoelzemann<sup>1</sup>, Daniela A. França<sup>3</sup>, Rafael S. S. Lima<sup>2</sup>, Rafael M. Fonseca<sup>2</sup>, Aline A. Castro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST),

<sup>2</sup> Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC),

<sup>3</sup> Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR),

<sup>4</sup> Divisão de Geofísica Espacial (DGE),

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

<sup>5</sup> Departamento de Física Teórica e Experimental,  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

email: ricardo.siqueira@inpe.br

**RESUMO:** Foram realizadas simulações numéricas com o modelo CCATT-BRAMS com o objetivo de se avaliar o impacto de diferentes cenários de emissões de aerossóis de queimadas e de uso da terra no ciclo hidrológico, na temperatura e nos fluxos de superfície sobre o Brasil, com ênfase na região Amazônica. As simulações englobaram o período de 2007 a 2030 e foram utilizados os dados do cenário A1B do IPCC como condição inicial e de contorno. Os cenários foram construídos com dados de balanço de carbono e de uso da terra obtidos durante a realização do estudo *Brazil Low Carbon* pelo Banco Mundial. Os resultados mostraram que o emprego de um cenário com baixas emissões de aerossóis de queimadas ocasionou um aumento de 15 a 30% na precipitação e de uma diminuição na temperatura da região Amazônica por causa da diminuição do fluxo de calor sensível.

**ABSTRACT:** Numerical simulations with CCATT-BRAMS model was performed with objective of evaluating the impact of projected scenarios of biomass burning aerosols and land cover and land use changes on hydrological cycle, thermodynamical properties and surface fluxes over Brazil, focusing on the Amazon region. The IPCC A1B scenario data, correspondent to the years 2007 to 2030, was used as boundary and initial conditions to the model. The scenarios were based on carbon balance and land cover-land use change data obtained during the World Bank study Brazil Low Carbon. The results showed that the use of a scenario with low emissions of biomass burning aerosols caused an increase of 15 to 30% of precipitation and a reduction of the near surface temperature in the Amazon region associated with a reduction in the sensible heat flux.

**Palavras Chave:** Aerossóis, queimadas, ciclo hidrológico

## 1. INTRODUÇÃO

Na América do Sul, durante os meses de inverno, ocorrem centenas de milhares de focos de incêndio principalmente em ecossistemas de cerrado e floresta. Estas queimadas ocorrem primariamente nas regiões Amazônica e do Brasil Central, porém, através do transporte atmosférico de suas emissões, produzem uma distribuição espacial de fumaça sobre uma extensa área, ao redor de 4-5 milhões de km<sup>2</sup>, em muito superior a área onde estão concentradas (Freitas et al, 2005).

Em escalas regional e global, estas emissões de queimadas alteram o balanço radiativo da atmosfera, através dos efeitos diretos das partículas de aerossóis ao refletir e espalhar a

radiação solar de volta para o espaço, reduzindo a quantidade absorvida pela superfície terrestre, e ao absorver radiação solar, aquecendo a atmosfera. O balanço de radiação e o ciclo hidrológico também podem ser afetados indiretamente pelas emissões de queimadas, via alterações na microfísica e na dinâmica de formação de nuvens, em função de uma maior disponibilidade de núcleos de condensação de nuvem (NCN) e gelo na atmosfera, os quais promovem mudanças no espectro de gotas de nuvem (Koren et al., 2004).

Por outro lado, mudanças no uso da terra provocam alterações no balanço de energia, água e de *momentum* na superfície devido às correspondentes mudanças no albedo da superfície, capacidade de evapotranspiração associada à cobertura vegetal e sua estrutura espacial. Em particular, a substituição de áreas florestadas com sistema radicular profundo por áreas de pastagens implica em aumento no albedo e baixa acessibilidade a solos profundos com alto armazenamento de água. Esta mudança leva, em geral, a uma inversão na razão de Bowen, produzindo camadas limite planetárias mais secas, quentes e profundas, principalmente durante a estação seca. Desta forma, mudanças no uso da terra são por si só, indutoras de alteração no padrão do ciclo hidrológico e estas alterações podem ser avaliadas com o uso de modelos numéricos e de cenários de ocupação da terra.

Os objetivos deste trabalho foram os de gerar estimativas de emissões de aerossóis de queimadas em cenários projetados, avaliar os efeitos das mudanças do uso e cobertura do solo nos fluxos de superfície e, finalmente, avaliar como estas mudanças afetaram o ciclo hidrológico no Brasil, em especial da Amazônia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas simulações numéricas utilizando o modelo de emissão, reatividade química, transporte e deposição de gases e aerossóis CCATT (*Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport*) acoplado ao modelo atmosférico BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System*) (Freitas et al., 2005; Longo et al., 2007). Dados de uso da terra e de emissão de queimadas foram inseridos no modelo para avaliar o impacto destes no balanço de radiação, na precipitação, na temperatura de superfície e nos fluxos de calor latente e de calor sensível sobre o Brasil.

As simulações englobaram o período de 2007 a 2030 e foram realizadas com resolução espacial de 50 km, com resultados gerados a cada 6 horas. Os dados usados para a condição inicial e de contorno do modelo foram produzidos no Centro Hadley, no Reino Unido, e correspondem ao cenário *A1B* utilizado pelos estudos climáticos do IPCC.

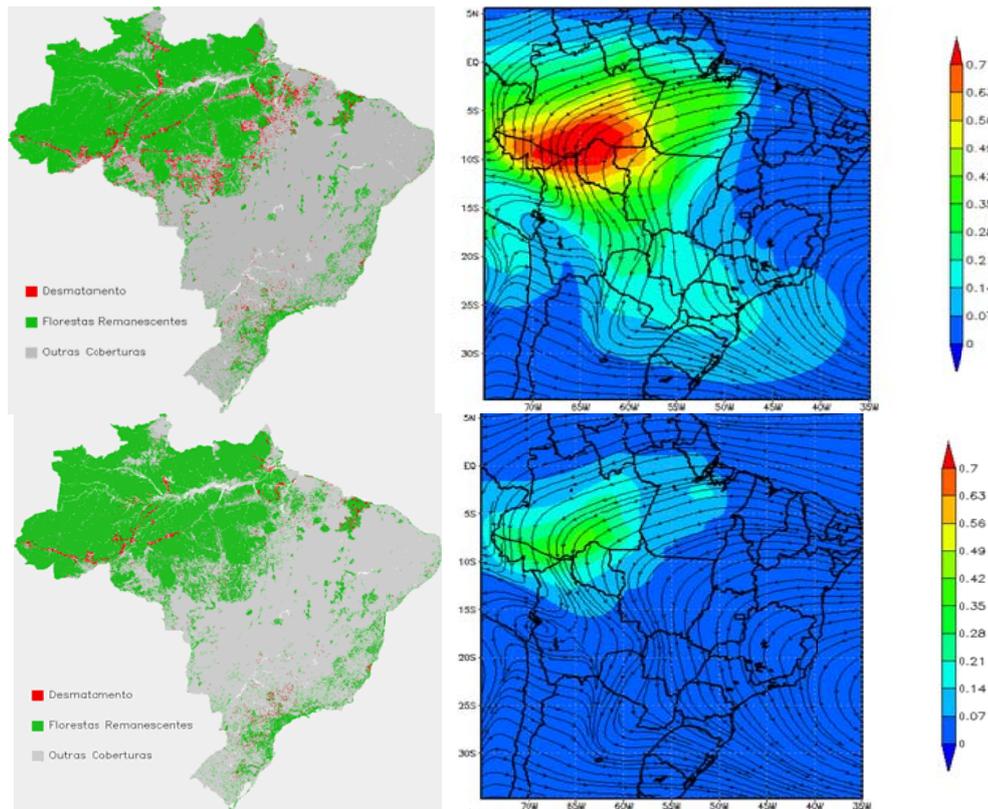
O impacto nas variáveis analisadas foi observado em relação à diferença nos resultados gerados pelo modelo para dois cenários diferentes de uso da terra e de emissão de queimadas. Um cenário dito de *referência* (mais desmatamentos florestais e emissão de carbono) e um cenário de baixa emissão de carbono, ou simplesmente, *baixo carbono*. Os dois cenários foram construídos a partir de critérios econômicos de projeção de uso da terra para o estudo *Brazil Low Carbon* desenvolvido pelo Banco Mundial (World Bank Group, 2009). Os dados de uso da terra e de balanço de carbono obtidos deste estudo foram processados para a sua inclusão no CCATT-BRAMS.

As emissões de aerossóis de queimadas foram assumidas como proveniente da combustão de biomassa gerada pelo desmatamento de áreas de florestas e que foram convertidas para outros usos. A localização específica destes pontos de emissão foi realizada com os dados de uso da terra. A estimativa da quantidade de aerossóis emitidos foi realizada a partir dos dados de balanço de carbono, assumindo que 85% deste valor é associado à combustão. Valores de fatores de emissão do dióxido de carbono e de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) foram utilizados para se estimar a fração dos aerossóis emitidos em relação ao dióxido de carbono emitido.

Os efeitos direto e indireto dos aerossóis foram considerados de forma conjunta pelo modelo. No caso do efeito indireto, uma microfísica de nuvens com esquema de autoconversão dependente do número de núcleos de condensação de nuvens (NCN) (Berry, 1968) foi inserida na atual parametrização convectiva do CCATT-BRAMS. A quantidade de *NCN* é determinada a partir dos valores de profundidade óptica do aerossol (*AOT*) retornados pelo modelo, seguindo as relações empíricas entre *AOT* e *NCN* obtidas de estudo realizado por Andreae, (2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra a distribuição espacial das emissões de aerossóis sobre o país nos dois cenários. A diferença na distribuição espacial entre os cenários de referência e de baixo carbono se deve principalmente à diferença de intensidade no ritmo de desmatamento sobre as regiões. No cenário de referência, principalmente nas áreas de transição para a floresta Amazônica, ocorre uma intensa conversão de áreas de florestas para pastagens, o que causa um aumento de áreas de emissão neste cenário. A área de expansão de pastagens sobre o Brasil aumentou de  $2,6 \times 10^6$  para  $2,8 \times 10^6$  km<sup>2</sup> no cenário de referência. A mesma figura mostra a carga de aerossóis simulada pelo modelo CCATT-BRAMS nos dois cenários, representada pela profundidade óptica do aerossol, ilustrando o resultado obtido com a entrada dos valores de emissão de queimadas no modelo.

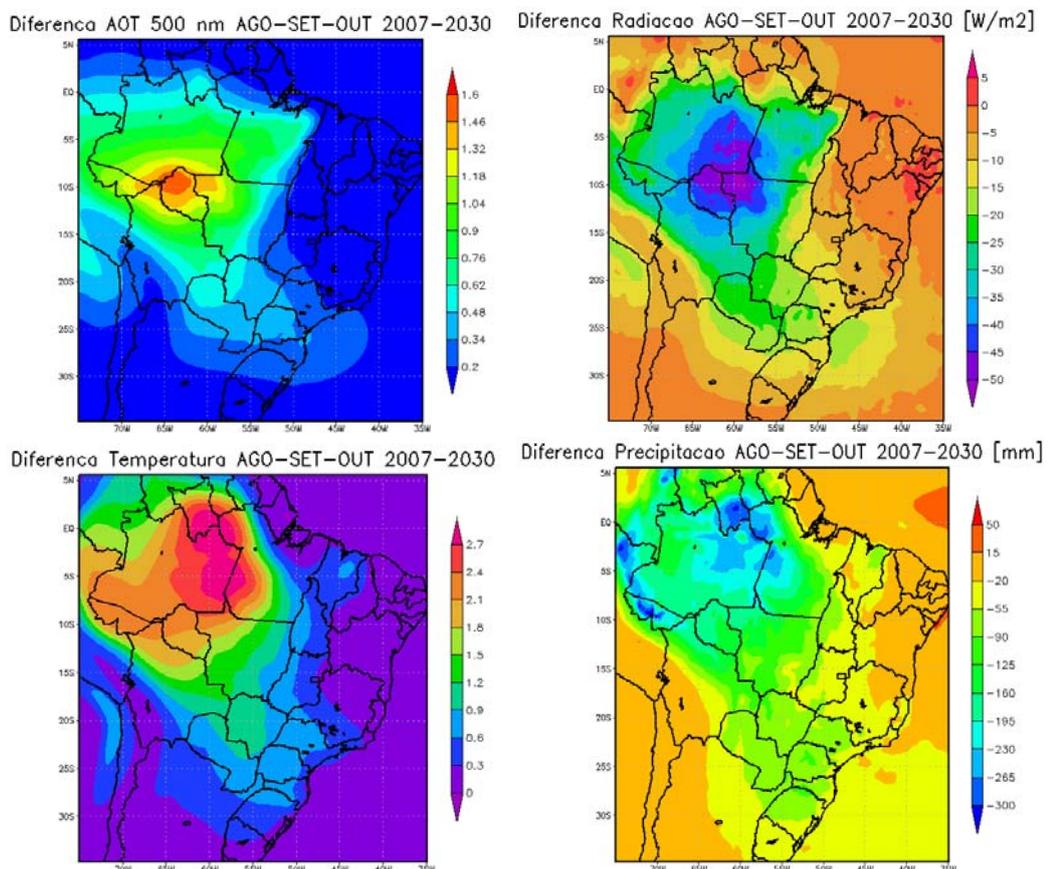


**Figura 1:** As figuras à esquerda ilustram as localizações dos pontos de desmatamento (em vermelho), no período de 2007 a 2030, nos cenários de referência (acima) e de baixo carbono (abaixo). Também são exibidas as regiões de floresta remanescentes no período (em verde). As figuras à direita exibem a profundidade óptica do aerossol médio no mesmo período para o cenário de referência (acima) e o de baixo carbono (abaixo) onde as linhas de corrente representam o campo de vento médio sobre o Brasil. Particularmente, é possível notar o transporte da pluma de queimadas pelos jatos de baixos níveis, principalmente no cenário de referência (acima) que possui maiores emissões.

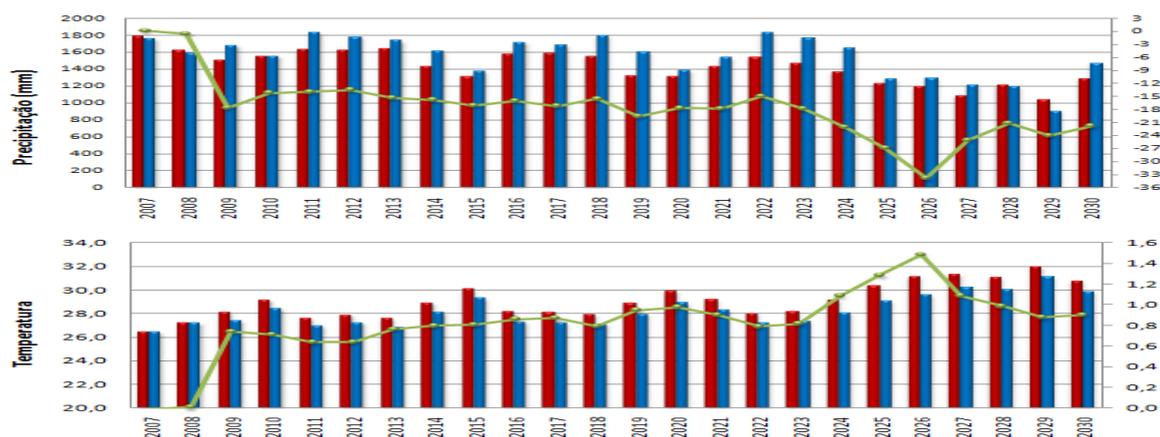
O impacto no balanço líquido de radiação, devido à diferença de carga de aerossol entre os dois cenários, pode ser visto na figura 2. Propositadamente, a figura exibe o comportamento médio no trimestre agosto, setembro e outubro quando as emissões são maiores. Na região entre Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, onde há intensa queima de biomassa, a diferença média no período de 2007 a 2030 pode ser da ordem de  $-50 \text{ Wm}^{-2}$ . Já regiões distantes dos focos de emissão, mas influenciadas pelo transporte de material particulado, exibem diferenças mais modestas de  $-15$  a  $-25 \text{ Wm}^{-2}$ .

No caso da temperatura, quando se comparou as temperaturas obtidas entre os dois cenários uma particularidade apareceu. Embora no cenário de referência ocorra uma menor penetração de radiação da radiação solar devido à maior quantidade de material particulado presente neste cenário, os resultados mostraram que suas temperaturas foram mais altas do que no cenário de baixo carbono. Este fato ocorreu por causa da modificação da fração do que é emitido em termos de calor latente e de calor sensível pela superfície. O cenário de referência possui maior quantidade de energia emitida via calor sensível, fato este que acabou compensando a perda radiativa incidente e que acabou resultando em maiores temperaturas. A diferença na temperatura entre os dois cenários pode chegar a quase 3 graus, como no leste do estado do Amazonas, conforme a figura 2.

O efeito indireto dos aerossóis na precipitação também pode ser visto na figura 2. A diferença média na precipitação entre os dois cenários pode ser da ordem de  $-300 \text{ mm}$  embora estes valores permanecessem entre  $-20$  e  $160 \text{ mm}$  na maior parte do Brasil. Como se trata apenas da média de um período de três meses, este impacto devido aos aerossóis é significativo.



**Figura 2:** Diferença na profundidade óptica em 500 nm (AOT 500), na radiação líquida ( $\text{Wm}^{-2}$ ), na temperatura de superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ) e na precipitação ( $\text{mm}$ ) entre o cenário de referência e o de baixo carbono. Trata-se de valores médios do trimestre agosto, setembro e outubro considerando o período de 2007 a 2030.



**Figura 3:** Precipitação e temperatura de superfície média anual na região do arco do desmatamento na Amazônia para os cenários de referência (vermelho) e de baixo carbono (azul) nos anos de 2007 a 2030 (gráfico de barras eixo esquerdo). Também é mostrada a diferença entre o cenário de referência e de baixo carbono (gráfico de linha eixo direito). O tipo de comportamento exibido na figura foi também observado nas outras regiões do Brasil influenciadas por transporte de aerossóis, contudo, estas tendências foram mais brandas.

Ambos os cenários exibiram uma tendência de redução na precipitação no período 2007-2030, conforme figura 3, devido ao gradual aumento na emissão de material particulado no período. Enquanto chovia por volta de 1800 mm em 2007, no ano de 2029 este valor chegou a ser de 1200 mm. A diferença percentual entre os dois cenários chega a passar dos 30% sendo que na maioria dos anos este percentual ficou por volta de 15 a 20%. No caso da temperatura o comportamento foi o inverso, exibindo um aumento no período 2007-2030. O aumento da temperatura é correlacionado com o aumento do calor sensível simulado no período (não mostrado) devido à menor precipitação que proporcionam solos mais secos. Enquanto a temperatura estava entre 26 e 27 graus em 2007, no ano de 2030 seu valor médio chega a passar dos 30 graus.

#### 4. CONCLUSÕES

O emprego de um cenário de baixas emissões de material particulado e com menor conversão de áreas verdes para pastagem resultou em um aumento na precipitação de 15 a 30% na região Amazônica. Também foi observada uma redução na temperatura que pode passar de 1 grau em termos anuais (figura 3), a despeito da maior incidência de radiação no cenário de baixo carbono, por causa do menor fluxo de calor sensível. O comportamento anual no período de 2007 a 2030 exibiu tendência de aumento na temperatura ( $\pm 3$  graus) e de redução na precipitação ( $\pm 35\%$ ) independente do cenário analisado.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREAE, M. O. Correlation between cloud condensation nuclei concentration and aerosol optical thickness in remote and polluted regions, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 543-556, 2009.
- BERRY, E. X., Modification of the warm rain process, *Proc. First. Natl. Conf. Weather Modification*, Ed. American Meteorological Society, State University of New York, Albany, pp. 81- 88, 1968.
- FREITAS, S. R et al. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 2005, 5 (1-2), 135 – 167 p.
- KAUFMAN, Y. J. Remote Sensing of Direct and Indirect Aerosol Forcing. *Aerosol Forcing of Climate*. Ed. by R. J. Charlson and J. Heintzenberg, John Wiley & Sons Ltd., 1995.
- WORLD BANK GROUP; Brazil Low Carbon Country Case Study: Quality Report, Draft June 6, 2009