

O USO DE DADOS ORBITAIS PARA A ESTIMATIVA DE GASES TRAÇOS E AEROSSÓIS PARA A AMÉRICA DO SUL

Gabriel Pereira¹, Saulo Ribeiro de Freitas¹, Elisabete Caria Moraes¹, Nelson Jesus Ferreira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos, São Paulo - SP, Bra. gabriel.bete@dsr.inpe.br; nelson,saulo.freitas@cptec.inpe.br.

RESUMO: O presente trabalho avalia o emprego da energia radiativa do fogo (ERF) para estimar as emissões de aerossóis carbonáceos (material particulado com diâmetro menor que $2,5\mu\text{m}$ – $\text{PM}_{2,5\mu\text{m}}$) e monóxido de carbono (CO) para o período de queimadas na América do Sul. Utilizaram-se os dados provenientes dos produtos do MODIS: MOD14/MYD14 e MOD04/MYD04; e o produto derivado do satélite GOES: WFABBA (*Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm*) para estimar os coeficientes de emissão baseados na ERF para o satélite GOES e para calcular o total de gases e aerossóis emitidos para a atmosfera. Através do modelo de transporte CCATT-BRAMS (*Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport model coupled to Brazilian Regional Atmospheric Modelling System*) simulou-se a emissão, transporte e deposição de CO e de $\text{PM}_{2,5\mu\text{m}}$ provenientes da queima de biomassa. Resultados do modelo foram comparados com os dados de campo obtidos nos experimentos do LBA (*Large Scale Biosphere-Atmosphere*) SMOCC (*Smoke, Aerosols, Clouds, rainfall, and Climate*) e RaCCI (*Radiation, Cloud, and Climate Interactions*).

ABSTRACT: The main objective of this work is to use the fire radiative energy (FRE) to estimate the carbonaceous aerosols (particulate matter with diameter less than $2.5\ \mu\text{m}$) and carbon monoxide emissions for the South America burning season. The MOD14/MYD14, MOD04/MYD04 from MODIS and WFABBA from GOES products were used to estimate the total amount of gases and aerosols emitted to the atmosphere. The FRE estimates of emission of gases and aerosols were modeled using CCATT-BRAMS and evaluated from LBA SMOCC/RaCCI field experiments.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Queimadas, Energia Radiativa do Fogo, Remote Sensing, Biomass Burning, Fire Radiative Energy.

1. INTRODUÇÃO

Freqüentes em todas as regiões do mundo as queimadas consomem grandes quantidades de biomassa e liberam enormes quantidades de gases traços e aerossóis para a atmosfera (ANDREAE e MERLET, 2001). A queima de biomassa, além de ser considerada uma das maiores fontes destes gases e de aerossóis troposféricos, modifica as características da superfície terrestre e, conseqüentemente, afeta o clima (MORAES et al., 2004). Dentre os principais fatores modificadores do clima destacam-se os impactos da energia liberada pelo fogo, os gases traços e aerossóis emitidos para a atmosfera, a alteração do albedo da superfície (ICHOKU e KAUFMAN, 2005), as modificações no balanço radiativo da atmosfera e nos ciclos hidrológicos causados principalmente pelos aerossóis (ANDREAE et al., 2004), além de provocar problemas de saúde nas populações situadas próximas as áreas de incidência de queimadas (SILVA e SILVA, 2006).

As informações obtidas por aeronaves, satélites e dados terrestres foram, por muito tempo, utilizadas apenas para indicar focos de queimadas e não apresentavam estimativas eficazes sobre a quantidade de vegetação queimada e as emissões liberadas no processo de combustão (WOOSTER et al., 2003). Kaufman et al. (1996) introduziram o conceito de energia radiativa do fogo (ERF), que permite gerar dados capazes de serem relacionados diretamente com a intensidade do fogo e com o total de vegetação consumida por unidade de tempo. A ERF pode ser definida como a parte da energia química liberada na queima de biomassa emitida como radiação no processo de combustão (WOOSTER et al., 2003).

O presente trabalho tem como objetivo principal utilizar a energia radiativa do fogo derivados do sensor MODIS e do GOES para estimar as emissões de CO e $\text{PM}_{2,5\mu\text{m}}$ para o período de queimadas de 2002 na América do Sul, e modelar o transporte e deposição destas emissões no modelo CCATT-BRAMS

2. METODOLOGIA

O CCATT, modelo de transporte Euleriano acoplado ao BRAMS, é um modelo numérico que simula e estuda os processos e transportes associados à emissão de queimadas. O transporte dos gases traço e aerossóis é feito simultaneamente com a evolução do estado atmosférico, utilizando o mesmo tempo de

simulação e a mesma dinâmica e parametrização física da simulação atmosférica. A equação de conservação de massa para o CO e para o $PM_{2,5\mu m}$ é calculada, sob a forma de equação de tendência, expressa pela seguinte equação (FREITAS et al., 2007):

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{adv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{PBL\ turb} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{Conv. Rasa} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{Conv. Prof.} + W_{PM_{2,5\mu m}} + R + Q \quad (1)$$

onde $\frac{\partial s}{\partial t}$ representa a tendência local, $\left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{adv}$ a advecção na escala da grade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{PBL\ turb}$ o transporte turbulento na camada limite planetária na sub-grade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{Conv. Rasa}$ o transporte em sub-grade associado com a convecção rasa de umidade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{Conv. Prof.}$ o transporte em sub-grade associado com a convecção profunda de umidade, $W_{PM_{2,5\mu m}}$ a remoção convectiva úmida para o material particulado, R o termo associado com a remoção seca genérica e/ou transformações químicas, Q a fonte de emissão associada com o processo de queimada (FREITAS et al., 2007).

Neste trabalho apenas o termo referente à fonte de emissão associada com o processo de queimada (Q) foi alterado. Neste caso a energia radiativa do fogo foi utilizada para estimar a quantidade de gases traços e aerossóis. Para avaliar o desempenho das simulações realizadas no CCATT-BRAMS, os resultados foram comparados com os dados de campo coletados na região de Rondônia e Mato Grosso descritos em Freitas et al. (2007). Estes dados fazem parte dos experimentos da LBA SMOCC/RaCCI medidos na região amazônica no período de queimadas de 2002. Obtiveram-se os dados em superfície de CO e de $PM_{2,5\mu m}$ na localidade de Ouro Preto do Oeste ($62,37^\circ$ O, $10,75^\circ$ S; RO) durante as campanhas ocorridas de 10/Set/2002 a 04/Nov/2002 (ANDREAE et al., 2004; FUZZI et al., 2007).

Os coeficientes de emissão baseados na ERF permitem calcular o total de $PM_{2,5\mu m}$ liberado para a atmosfera a partir da temperatura do fogo. Inicialmente esta metodologia foi desenvolvida por Ichoku e Kaufman (2005) para os produtos MOD14 e MYD14 da plataforma EOS. Neste trabalho, utilizaram-se as mesmas técnicas aplicadas aos dados do MODIS para gerar os coeficientes para os produtos WFABBA/GOES (PRINS et al. 1998). Estes foram separados de acordo com o tipo de cobertura vegetal predominante (Figura 1).

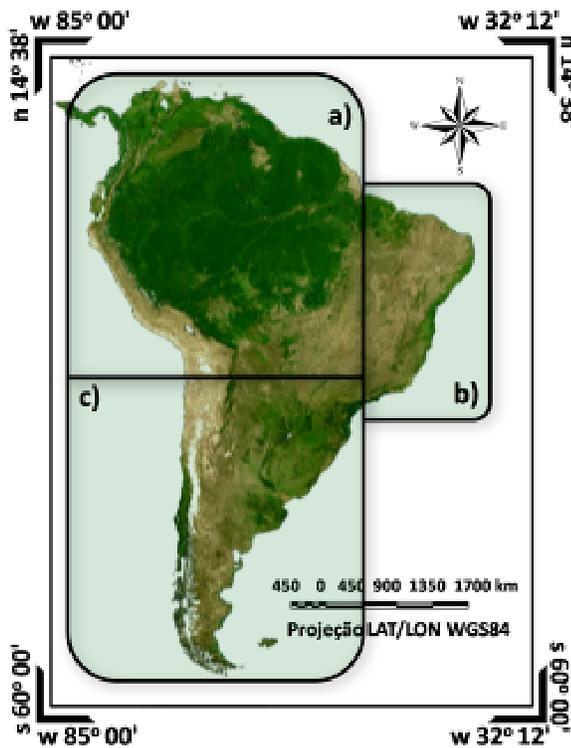


Figura 1: Localização da área de estudo e coeficientes de emissão baseados na ERF.

3. RESULTADOS

A Figura 2 mostra o mapa do total de $PM_{2,5\mu m}$ emitido para a atmosfera no período de 15/Jul/2002 a 15/Nov/2002, cuja simulação utilizou a ERF e os coeficientes de emissão baseados na ERF extraídos dos dados do MODIS (ICHOKU; KAUFMAN, 2005) e dos dados do GOES. Neste método os maiores valores de $PM_{2,5\mu m}$ localizam-se nos Estados Brasileiros do Mato Grosso, de Rondônia, do Pará e do Mato Grosso do Sul e na Bolívia e Paraguai. Nestes locais os valores totais acumulados de $PM_{2,5\mu m}$, emitidos durante todo o período acima, excederam $37.000 \mu g.m^{-3}$.

O uso da ERF e dos coeficientes de emissão para estimar o $PM_{2,5\mu m}$ emitido na queimada mostrou uma correlação de aproximadamente 86% entre os dados estimados e os dados utilizados como verdade terrestre. Os valores simulados foram subestimados em 23%, contudo, percebe-se uma melhora significativa entre os dias 15 a 24/Set/2002, onde são verificados valores elevados de $PM_{2,5\mu m}$ em Ouro Preto do Oeste / RO.

A principal vantagem deste método está na independência de uma base de dados de carbono disponível para a queima. Neste método a utilização da temperatura e da área queimada permite o cálculo da emissão de $PM_{2,5\mu m}$ e, possivelmente, possibilita uma melhor estimativa das emissões nas regiões abaixo do trópico de Capricórnio.

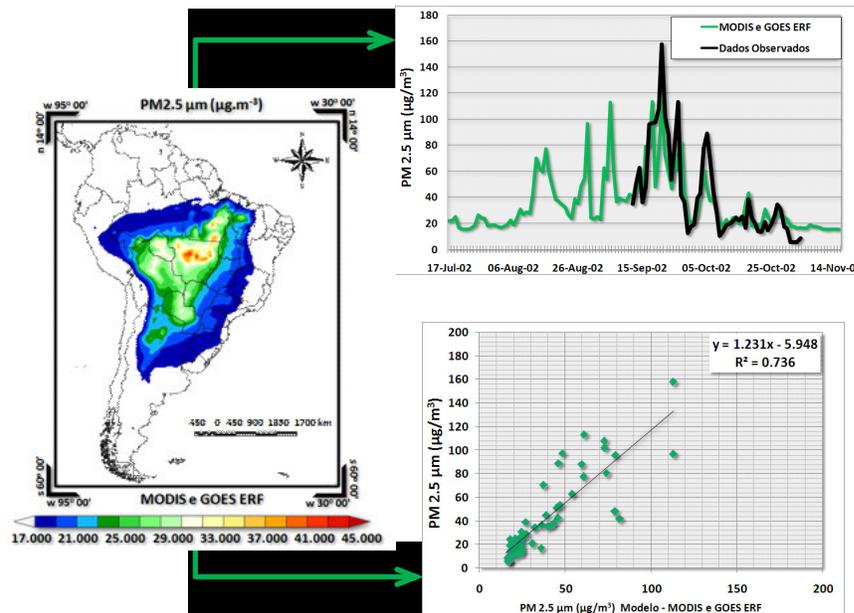


Figura 2 – Mapa da emissão total de $PM_{2,5\mu m}$ ($\mu g.m^{-3}$); Série temporal do $PM_{2,5\mu m}$ ($\mu g.m^{-3}$) observado (em preto) e o estimado pela ERF para o MODIS e GOES (em verde);

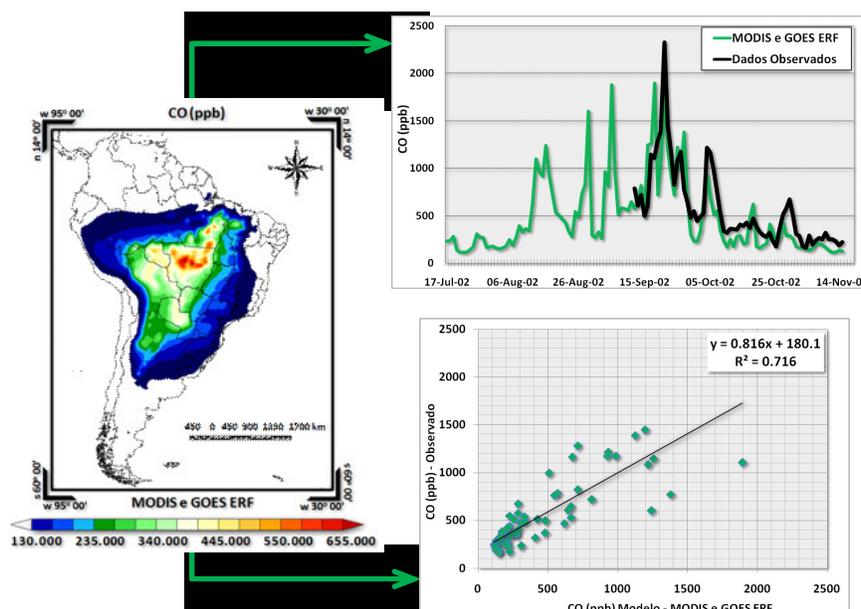


Figura 7.9 – Mapa da emissão total de CO (ppb); Série temporal do CO (ppb) observado (em preto) e o estimado pela ERF para o MODIS e GOES (em verde).

Para o mesmo período do ano modelou-se a emissão total de CO para a atmosfera através dos coeficientes de emissão baseados na ERF para os dados do MODIS (ICHOKU; KAUFMAN, 2005) e para os dados do GOES, como mostra a Figura 3. Neste método os maiores valores de CO foram localizados nos Estados Brasileiros do Mato Grosso, de Rondônia, do Pará e do Mato Grosso do Sul e na Bolívia e Paraguai, cujos valores acumulados de CO excedem 500.000 ppb.

Este método apresentou uma correlação de aproximadamente 85% entre os dados modelados e os dados observados, sendo superestimados em aproximadamente 18%. Entretanto, a série temporal mostra um melhor ajuste dos dados modelados com os dados observados entre as datas 15/Set/2002 a 24/Set/2002 e 02/Out/2002 a 07/Out/2002. Este método possui a característica de aumentar a emissão na maioria das regiões, inclusive na Bolívia, no Paraguai e na Argentina.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o método que utiliza a ERF do MODIS e GOES pode ser apontado com uma metodologia inovadora, pois mostrou uma boa correlação com os dados medidos em campo. Entre as principais vantagens deste método pode-se citar: a) a independência de uma base de dados de carbono disponível para a queima; b) a utilização da temperatura e da área queimada para calcular a emissão dos gases e aerossóis que são extraídos com uma boa confiabilidade; c) uma melhor estimativa das emissões nas regiões entre as latitudes 20° S e 45° S..

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, **Global Biogeochem. Cycles**, n. 15, v.4, p. 955-966, 10.1029/2000GB001382, 2001.

ANDREAE, M.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A.; FRANK, G.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon, **Science**, v. 303, p. 1342-1345, 2004.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; CHATFIELD, R.; DIAS, P. L. S.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M.; GRELL, G. A.; RODRIGUES, L.; 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. 8525-8569, 2007.

FUZZI, S.; DECESARI, S.; FACCHINI, M. C.; CAVALLI, F.; EMBLICO, L.; MIRCEA, M.; ANDREAE, M.; TREBS, I.; HOFFER, A.; GUYON, P.; ARTAXO, P.; RIZZO, L.; LARA, L.; PAULIQUEVIS, T.; MAENHAUT, W.; RAES, N.; CHI, X.; MAYOL-BRACERO, O.; SOTO-GARCÍA, L.; CLAEYS, M.; KOURTCHEV, I.; RISSLER, J.; SWIETLICKI, E.; EMILIO, T.; SCHKOLNIK, G.; FALKOVICH, A.; RUDICH, Y.; FISCH, G.; GATTI, L. Overview of the inorganic and organic composition of size-segregated aerosol in Rondônia, Brazil, from the biomass burning period to the onset of the wet season, **J. Geophys. Res.**, 112, D01201, doi:10.1029/2005JD006741, 2007.

ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

KAUFMAN, Y. J.; REMER, L.; OTTMAR, R.; WARD, D.; RONG-R, L.; KLEIDMAN, R.; FRASER, R.; FLYNN, L.; MCDUGAL, D.; SHELTON, G. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment. In: Levine, J. (Ed.), **Global biomass burning**, MA: MIT Press, p. 685-696, 1996.

MORAES, E. C.; FRANCHITO, S.H.; BRAHMANANDA RAO, V. Effects of biomass burning in Amazonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model, **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. D05109, p. 1-12, 2004.

PRINS, E. M.; FELZ, J. M.; MENZEL, W. P.; WARD, D. E. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America, **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24. p. 31821-31825, 1998.

WOOSTER, M. J.; ZHUKOV, B.; OERTEL, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, n. 86, p. 83-107, 2003.