

Sensibilidade do background de aerossóis do sistema de modelagem CCATT-BRAMS na previsão de curto prazo

Sensitivity of the aerosol background of the CCATT-BRAMS modelling system in the short-term forecast

Gonzalo Andrés Guajardo Ferrada¹ e Lianet Hernández Pardo¹

¹Meteorologista, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Cachoeira Paulista, SP, Brasil.

gonzalo.ferrada@cptec.inpe.br; lianet.pardo@cptec.inpe.br

Resumo

Estudou-se a diferença entre duas rodadas com diferente configuração inicial do modelo CCATT-BRAMS na radiação de onda curta descendente em superfície e nebulosidade para a zona correspondente ao estado de Rondônia, nos dias 1 e 2 de setembro de 2010, mês em que observaram-se a maior quantidade de focos de queimadas na região amazônica. A diferença na configuração inicial do modelo, radicou em ativar a opção de background de aerossóis em uma das rodadas e desligando essa opção na outra. Observaram-se diferenças pouco significativas nos campos das ambas variáveis analisadas e não muita relação em dependência da quantidade de material particulado presente na atmosfera. Isto foi comprovado com o cálculo da correlação entre os aerossóis e as mudanças das variáveis de uma rodada a outra, apresentando valores baixos (~0.2) nas 48 horas de rodada.

Palavras-chave: Aerossóis, modelagem numérica, queimadas.

Abstract

The difference between two simulations with different initial conditions in the CCATT-BRAMS modelling system in downward shortwave radiation at surface and cloudiness was studied for the zone corresponding to the state of Rondonia, on September 1 and 2, 2010, month in which was observed the greatest amount of fire outbreaks in the Amazon region. The difference in the initial configuration of the model was settled in activating aerosol background option in one of the simulations and turning it off in the other. No major differences in the fields of both analyzed variables and not much dependence with the amount of particulate matter in the atmosphere were observed. This was proved by calculating the correlation between aerosols and the changes of the variables in both simulations, showing low values (~0.2) within 48 hours studied.

Keywords: Aerosols, numerical modeling, biomass burning.

1 Introdução

Na América do Sul, as queimadas antropogênicas acontecem principalmente entre os meses de julho e outubro, coincidindo com a estação seca da Amazônia e do Cerrado brasileiro. No processo de combustão, são liberadas aproximadamente 30 Tg de aerossóis e gases à atmosfera (Andreae, 1991). As partículas liberadas pelas queimadas podem permanecer na atmosfera por vários dias e até semanas (Kaufman, 1995) e viajar distâncias de milhares de quilômetros (Freitas et al., 2005) até iniciar o processo de deposição.

Os aerossóis modificam o estado da atmosfera devido à sua interação com a radiação e a seu papel como núcleos de condensação. Eles afetam a dinâmica, a microestrutura e as propriedades ópticas das nuvens, incrementando seu albedo, por causa do aumento da concentração de gotas pequenas (Cotton e Pielke, 2007; Rosenfeld, 1999). O forçamento radiativo induzido pelos aerossóis é de uma ordem de magnitude maior ou igual que o forçamento dos gases de efeito estufa (Kondratyev et al., 2006). Muitos estudos têm sido realizados em relação a este tema, mais ainda o nível de incerteza implícito é alto.

Em modelagem atmosférica, a quantidade e natureza das partículas em suspensão influenciam os campos que se prognosticam. Os fenômenos associados ao efeito dos aerossóis são inclusos nos modelos por meio de parametrizações, devido a que sua escala é inferior à aquela usada para resolver numericamente as equações. Stensrud (2007), aborda os principais esquemas de parametrizações usados pela maioria dos modelos numéricos disponíveis.

Tendo em conta as particularidades da geração de aerossóis na Amazônia, suas características e interação com os escoamentos regionais, neste estudo é usado o sistema de modelagem CCATT-BRAMS (Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System, Freitas et al. 2009; Longo et al., 2010, 2013). O BRAMS foi feito a partir de modificações nas aplicações e parametrizações do modelo Regional Atmospheric Modeling System (RAMS, Walko,

et al., 2000) para representar numericamente os processos físicos que acontecem nas regiões tropicais e subtropicais; enquanto o CCATT é um modelo euleriano acoplado que simula o transporte, a dispersão e as transformações químicas associadas aos gases e aerossóis.

Este trabalho foi feito sobre a hipóteses de que o conteúdo de partículas em suspensão na atmosfera irá modificar apreciavelmente os campos das variáveis de estado do ar previstas pelo modelo CCATT-BRAMS. Para avaliar a influência dos aerossóis atmosféricos, se experimentou com rodadas feitas negligenciando-os e incluindo-os.

2 Metodologia

As simulações numéricas foram feitas para a região compreendida entre as latitudes 14° N e 18° S e longitudes 32°W e 85° W. Porém, as análises foram estudadas para área da zona centro-sul da Amazônia, centrado no estado de Rondônia, especificamente entre as latitudes 7° S e 15° S e longitudes 58° W e 68° W. Nesta região, localizam-se os principais focos de queimadas antropogênicas no final da estação seca de cada ano (Freitas et al., 2005). Ela é caracterizada por apresentar terrenos baixos de menos de 400 m.s.n.m. e topografia sem grandes acidentes geográficos. A cobertura do solo é alternada por zonas de floresta tropical e zonas de pastagem.

2.1 Configurações do modelo

Para o estudo foi utilizado o modelo CCATT-BRAMS (Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System). Este é um modelo de transporte e interações químicas na atmosfera (CCATT) acoplado de forma "on-line" com um modelo atmosférico regional (BRAMS). BRAMS resolve as equações completas, compressíveis e não hidrostáticas que descreveram Tripoli e Cotton (1982) e usa um sistema de múltiplos domínios aninhados e diversas parametrizações físicas para simular processos como intercâmbios superfície-ar, turbulência, convecção, radiação e microfísica das nuvens. No BRAMS foram introduzidas modificações como um esquema de cúmulos profundos e rasos baseado no enfoque do fluxo

de massa de Grell e Dévényi (2002). Outros detalhes com relação às características do BRAMS podem ser encontrados em Freitas et al., (2009).

Tabela 1. Principais parâmetros e parametrizações usados no modelo CCATT-BRAMS em este estudo.

Condições de fronteira	TQ0382L064 (resolução horizontal ~35 km e 64 níveis na vertical)
Resolução Horizontal	20 km
Pontos in X	310
Pontos in Y	210
Pontos in Z	48
Pontos ao nível do solo	7
Passo temporal	30 s
Centro do domínio	59° W, 3.2°S
Domínio em nudging	Lateral: 900 s (15 pontos) Centro: 43200 s Topo: 10800 s (acima de 15 km)
Convecção (profunda / rasa)	Grell & Dezzo Devenyi (2002) / Souza (1999)
Radiação	CARMA (Toon et al., 1988)
Coordenada vertical	Sigma-z
Equações básicas	Não hidrostáticas
Esquema de topografia	Orografia média
Difusão turbulenta	Mellor & Yamada (Mellor & Yamada, 1982)
Microfísica	Complexidade nível 3 (Flatau et al., 1989)
Mapa de topografia	USGS (1 km resolução) (Gesch et al., 1999)
SST	Média semanal da NCEP (111 km resolução) (Reynolds et al., 2002)
Mapa do uso do solo	OGE (fora do Brasil) (1 km resolução) (Olson, 1994) IBGE/INPE (dentro do Brasil) (1 km resolução) (Sestini et al., 2003)
Tipo de solo	FAO-INPE (55 km resolução) (Zobler, 1999; Rossato et al., 1998)
NDVI	Do MODIS (1 km resolução)
Umidade do solo	CPTEC/INPE (28 km resolução) (Gevaerd & Freitas, 2006)
Frequência de saídas	1 h
Tempo de integração	48 h (2 dias)
Número de processadores	360

CCATT foi desenhado para simular e estudar o transporte e os processos associados às emissões de queimadas de biomassa usando um enfoque Euleriano. Estas simulações são feitas ao mesmo tempo (“on-line”) que as da evolução do estado atmosférico (BRAMS), utilizando o mesmo passo temporal e as mesmas parametrizações. Seu funcionamento é baseado na resolução da equação geral de continuidade de massa descrita por Freitas et al. (2009), incluindo um módulo de química da fase gasosa (Longo, et al., 2013).

Segundo Freitas et al. (2009), o modelo considera, para os aerossóis de fumaça, uma partícula genérica com densidade de massa média de 1.35 g cm^{-3} (Reid, et al., 1998) e propriedades óticas espectrais definidas na

climatologia feita por Procopio et al. (2003). A deposição úmida é associada com convecção profunda e acoplada ao esquema de cúmulos segundo Berge (1993), enquanto a deposição seca é simulada usando o enfoque de Wesley (1989) e Seinfeld e Pandis (1998) (Tabela 1). Maior informação sobre os principais parâmetros e parametrizações usados no CCATT-BRAMS pode ser encontrada no artigo de Moreira et al. (2013). Em este estudo, usou-se a versão 4.2 do CCATT-BRAMS e, primeiramente, foi feita uma rodada desligando a opção de background de aerossóis ($\text{pmr}=0$) na radiação CARMA (Moreira et al., 2013). Na segunda rodada, deixou-se essa opção ativada, de maneira que o modelo considera os aerossóis presentes na atmosfera.

2.2 Comparação das rodadas

Se analisaram campos de radiação de onda curta descendente em superfície, concentração de material particulado menor a 2.5 micrones (PM2.5) na coluna unitária e quantidade de água condensada, ambas na coluna unitária de ar, para as 12:00 e 15:00 hora local de Rondônia (16 e 19 UTC, respectivamente) em ambas rodadas. O meio-dia, devido a que é a hora em que chega a maior quantidade de radiação solar e as 3 da tarde, devido a que é a hora em que a quantidade dos focos das queimadas e emissão de aerossóis é maior (Freitas et al., 2005).

Logo disto, foram analisados os campos de radiação de onda curta descendente em superfície e nebulosidade às 10:00 da manhã hora local (14 UTC) em ambos dias, com a finalidade de negligenciar o efeito das nuvens sobre a radiação, e assim, obter uma relação maior entre a quantidade de aerossóis na atmosfera e seu efeito na radiação.

Finalmente, calculou-se a correlação entre o conteúdo de aerossóis e as diferenças achadas nos campos radiação de onda curta descendente em superfície e nebulosidade, respectivamente, para determinar quantitativamente a magnitude da influência dos aerossóis nas mudanças na previsão feita pelo modelo. Esse cálculo, foi feito cada hora das rodadas (48 horas em total por cada).

3 Resultados e discussões

3.1 Aerossóis liberados à atmosfera

Na rodada feita considerando aerossóis no CCATT-BRAMS, e usando o domínio completo da rodada, observou-se que a maior quantidade de aerossóis liberados à atmosfera é na região do arco de desmatamento, que compreende a região sul de Amazônia, apresentando valores maiores a 40 mg/m^2 (Fig. 1). Isto, verifica a pertinência da região escolhida para este estudo (Rondônia), para analisar a influência desse componente sobre outros campos previstos pelo modelo

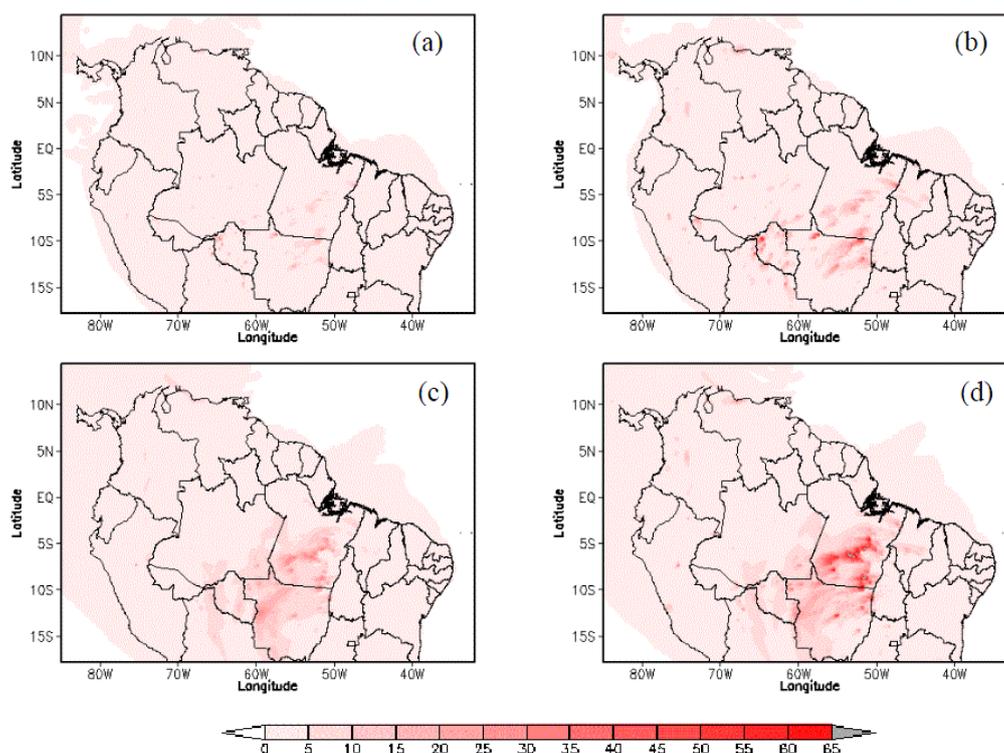


Figura 1. Material particulado PM2.5 na coluna unitária [mg m^{-3}] às (a) 16 UTC do 1 de setembro, (b) 16 UTC do 2 de setembro, (c) 19 UTC do 1 de setembro e (d) 19 UTC do 2 de setembro.

O horário do dia em que a maior quantidade de material particulado é liberado à atmosfera é a metade da tarde (Fig. 1c, d), perto das 15:00 hora local de Rondônia (UTC-4), que coincide com a maior quantidade de focos de queimadas observado por diversos autores na literatura. Por este motivo, foi escolhido esse horário para as análises. Também, apreciam-se maior quantidade de aerossóis presentes na atmosfera no segundo dia de integração (Fig. 1, b, d), correspondente ao dia 2 de setembro de 2010, do que no primeiro dia. Isto é por causa do efeito acumulativo e persistente dos aerossóis na atmosfera.

3.2 Diferenças entre as rodadas

Tendo em conta que o elemento que muda a definição das rodadas utilizadas neste estudo é a inclusão (ou não) de aerossóis, pareceria obvio que eles causassem mudanças em campos em que tivessem influência direta, como no caso da radiação de onda curta descendente em superfície e do total de água condensada na coluna unitária (nebulosidade), mas a comprovação dessa hipótese não é simples. Uma

maneira de fazê-lo, é calcular as diferenças entre as duas rodadas.

Com relação à variável de radiação de onda curta descendente em superfície, tem-se diferenças que podem ser muito grandes. São observados valores de até 500 W/m^2 em alguns locais (Fig. 2). Mesmo sendo diferenças significativas, não pode-se concluir que é devido somente ao efeito dos aerossóis, já que também essas diferenças podem ser devido aos gases da atmosfera e como eles interagem com a radiação. No campo de total de água condensada na coluna unitária, considerada como nuvem, tem-se diferenças de magnitude $>2000 \text{ g/m}^2$ na zona próxima à cordilheira dos Andes (Fig. 3a). Avaliando que a quantidade de água na coluna em cada rodada pode atingir valores de até 22.000 g/m^2 no domínio da rodada original (norte da América do Sul), essas diferenças representam menos do 10% do total. Embora, os resultados nessa zona não são confiáveis por causa da incapacidade do modelo de assimilar a irregularidade da superfície. Afastado do local de topografia acidentada, observam-se diferenças de $\sim 250 \text{ g/m}^2$ de água condensada na coluna unitária (Fig. 3), que correspondem à variação em torno de 1% dos valores observados no estado de Rondônia e vizinhança.

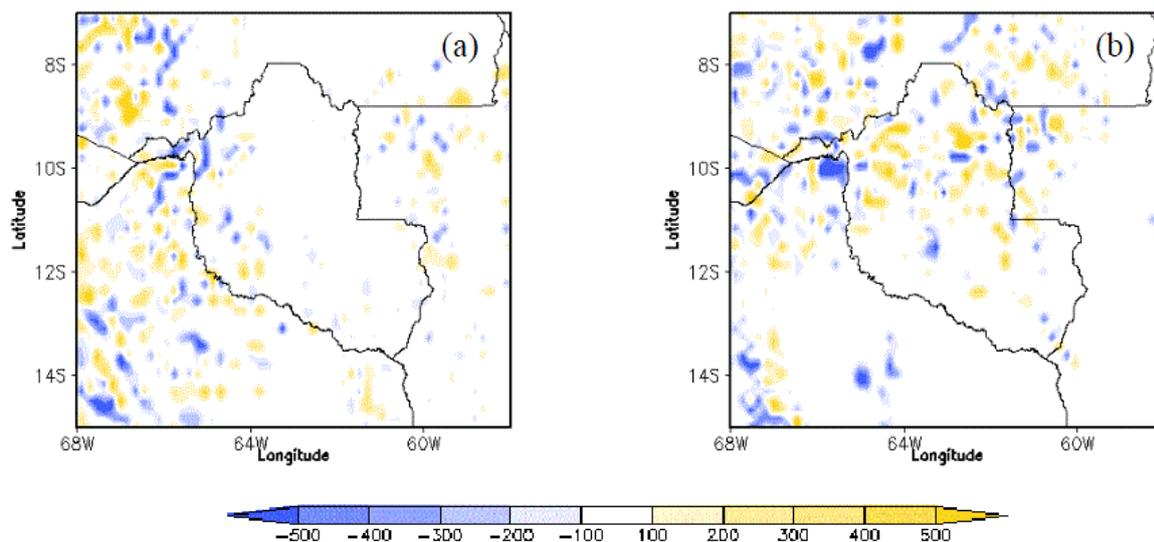


Figura 2. Diferenças entre a rodada que considera aerossóis e a que não os considera no campo de radiação de onda curta descendente em superfície [W m^{-2}] às 19 UTC (15:00 hora local) dos dias (a) 1 de setembro e (b) 2 de setembro de 2010.

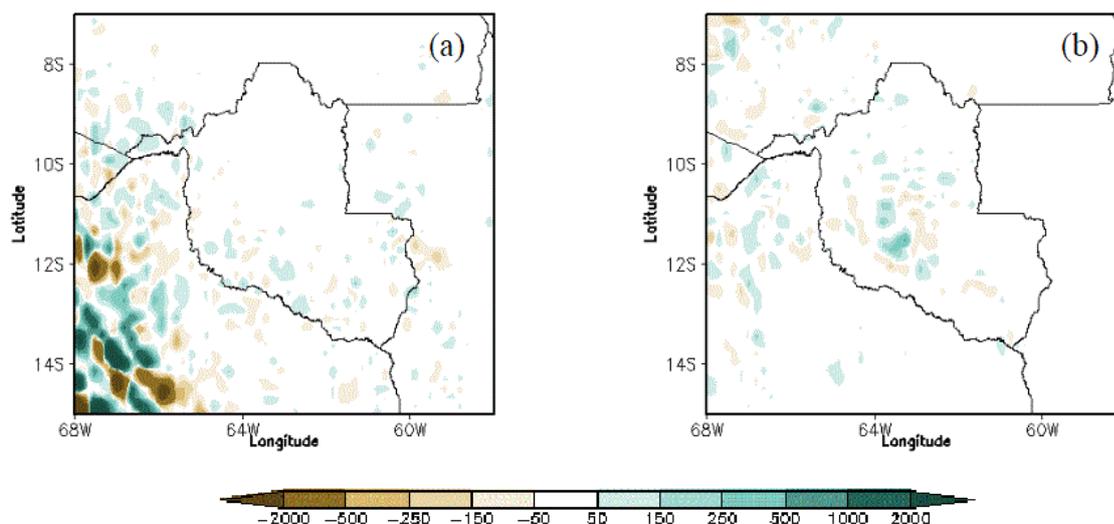


Figura 3. Diferenças entre a rodada que considera aerossóis e a que não os considera no campo de quantidade total de água condensada na coluna unitária [g m^{-2}] às 19 UTC (15:00 hora local) dos dias (a) 1 de setembro e (b) 2 de setembro de 2010.

3.3 Influência dos aerossóis sobre as diferenças encontradas

Entre todos os elementos existe um complexo sistema de interações e devem ser escolhidas as situações que permitam isolar os fatores na medida do possível. Assim, por exemplo, para analisar a influência dos aerossóis sobre a radiação, o horário da manhã seria melhor, já

que que pode-se descartar parcialmente o efeito das nuvens convectivas que se desenvolvem principalmente entre o meio-dia e a tarde. Embora nesse horário as diferenças sejam menores, elas têm maior probabilidade de responder com maior clareza ao conteúdo de aerossóis. Por isto, geraram-se representações dos campos de aerossóis e diferenças das variáveis analisadas às 10:00 da manhã hora local.

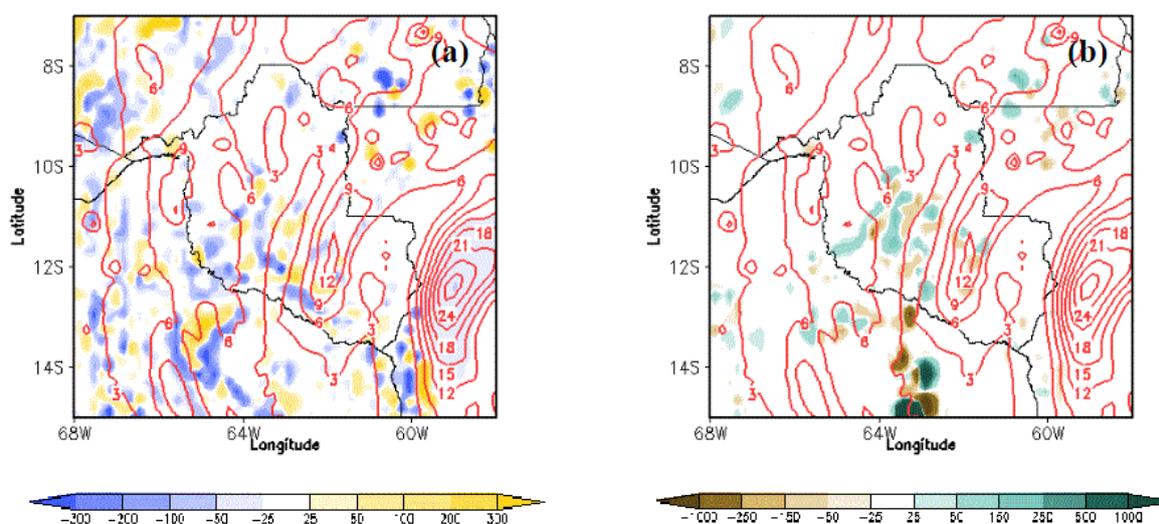


Figura 4. Material particulado $\text{PM}_{2.5}$ na coluna unitária [mg m^{-2}] (contornos) e diferenças entre rodada com aerossóis e rodada sem eles para o dia 2 de setembro de 2010 às 14 UTC (10:00 hora local) do (a) campo radiação de onda curta descendente em superfície [W m^{-2}] (sombreado) e (b) campo quantidade total de água condensada na coluna unitária [g m^{-2}] (sombreado).

No primeiro dia (1 de setembro), acharam-se pequenas variações nos campos de radiação de onda curta descendente em superfície e no campo de nebulosidade (Fig. 4). Isto pode ser devido ao efeito *spin-up* do modelo em suas primeiras horas de simulação. No dia seguinte, o modelo parece se equilibrar, mostrando maiores diferenças em ambas variáveis (Fig. 4). Embora, não se percebem relações significativas entre a quantidade de material particulado na atmosfera e a quantidade de radiação de onda curta que

3.4 Correlação entre aerossóis e as variáveis analisadas

Em nenhum dos casos analisados foi possível distinguir rasgos gerais de coincidências espaciais entre as diferenças apresentadas pelos campos das variáveis e a quantidade de aerossóis. Foi calculada a correlação entre eles para todas as saídas (cada uma hora) e os valores são baixos (Fig. 5). Em geral, as correlações tendem a aumentar em módulo e ser mais

chega à superfície nem no campo de nebulosidade. Com esse tipo de resultados, seria melhor pesquisar um dado quantitativo para comprovar a relação que têm os aerossóis com a diferença entre ambas rodadas nos campos de radiação de onda curta descendente em superfície, como também a diferença de nebulosidade observada.

estáveis com o tempo. O fato de que elas sejam tanto positivas como negativas, mostra que existe pouca definição no efeito causado pelos aerossóis sobre as variáveis analisadas. No final da integração, o comportamento é relativamente mais estável (mantem-se o sinal por mais tempo) e os valores são maiores (~ 0.2), talvez a influência dos aerossóis seja mais evidente para integrações mais prolongadas (provavelmente climáticas), se essa tendência se mantiver.

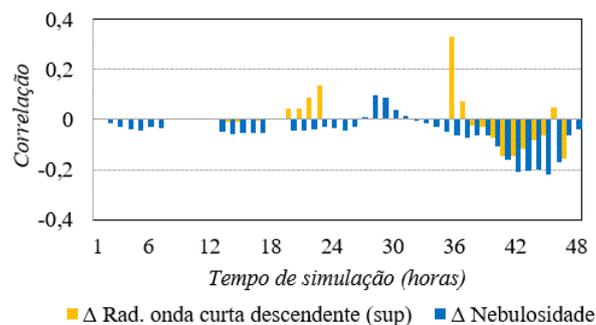


Figura 5. Evolução temporal das correlações entre aerossóis e diferenças achadas nos campos de radiação de onda curta em superfície (azul) e quantidade total de água condensada na coluna unitária (amarelo).

4. Conclusões

Durante o período de estudo, os dias 1 e 2 de setembro de 2010, foram liberadas grandes quantidades de material particulado PM_{2.5} (aerossóis) à atmosfera, principalmente nas horas da tarde, devido à queima de biomassa antropogênica característica da época do ano.

As diferenças nos campos de radiação de onda curta descendente em superfície e de quantidade de água condensada na coluna unitária (nebulosidade) entre as duas rodadas feitas com o modelo CCATT-BRAMS são, em geral, muito

pequenas em relação aos valores tipicamente observados (menor ao 10% no caso da nebulosidade e menor ao 35% no caso da radiação de onda curta). Essas diferenças entre ambas rodadas são quase nulas nas primeiras horas de integração feita pelo modelo, provavelmente devido ao efeito *spin-up* dele.

As correlações instantâneas apresentadas entre os aerossóis e ambas variáveis são muito baixas (menores a 0.1) no primeiro dia de integração e instáveis, mudando de sinal continuamente. Elas são um pouco maiores no segundo dia (~0.2), talvez porque o modelo consegue maior equilíbrio. Devido aos baixos valores das correlações nas primeiras 48 horas de integração, pode-se dizer que o efeito dos aerossóis para previsão de tempo poderia se desprezar, já que não gera muita diferença se eles são considerados ou não. Embora, seria adequado estudar se existe uma relação em tempos maiores de integração.

Atendendo ao efeito acumulativo que têm os aerossóis na atmosfera, se esperaria que o modelo apresentara diferenças maiores com uma integração no tempo maior de semanas ou meses, como é o caso da previsão climática. Assim, também a correlação entre o material particulado com os campos de radiação de onda curta descendente em superfície e nebulosidade deveria ser maior, mas nunca igual a 1, devido a que não só os aerossóis interagem com a radiação. Nesses processos estão também envolvidos os gases da atmosfera e deveria se considerar todas as componentes do balanço radiativo e não somente a radiação de onda curta descendente em superfície.

Agradecimentos

Este trabalho foi feito por estudantes de mestrado, bolsistas da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Também, agradecemos ao Dr. Julio Paulo Reyes Fernández e o Dr. Saulo R. Freitas, ambos servidores do INPE, pela colaboração deles no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Andreae, M. O. (1991). Biomass burning: its history, use and distribution and its impact on environmental. *Global Biomass Burning: Atmospheric*, 3-21.
- Berge, E. (1993). Coupling of wet scavenging of sulphur to clouds in a numerical weather prediction model. *Tellus B*, 45(1), 1-22.
- Cotton, W. R., & Pielke, R. A. (2007). *Human Impacts on weather and climate*. Cambridge University Press.
- Freitas, S. R., Longo, K. M., Dias, M. A., Dias, P. L., Chatfield, R., Prins, E., . . . Recuero, F. S. (2005). Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 5(1-2), 135-167.
- Freitas, S. R., Longo, K. M., Silva Dias, M. A., Chatfield, R., Silva Dias, P., Artaxo, P., & Panetta, J. (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. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(8), 2843-2861.
- Grell, G. A., & Dévényi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, 29(14), 38-1.
- Kaufman, Y. J. (1995). Remote sensing of direct and indirect aerosol forcing. *Aerosol Forcing of Climate*, 297-332.
- Kondratyev, K., Ivlev, L., Krapivin, V., & Varostos, C. (2006). *Atmospheric Aerosol Properties: Formation, Processes and Impacts*. Moscow: Springer Science & Business Media.
- Longo, K. M., Freitas, S. R., Pirre, M., Marécal, V., Rodrigues, L. F., Panetta, J., . . . Bela, M. (2013). The chemistry CATT-BRAMS model (CATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. *Model Dev. Discuss*, 6, 1173-1222.
- Longo, K. M., Freitas, S. R., Setzer, A., Prins, E., Artaxo, P., & Andreae, M. O. (2010). The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional

Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS)? Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 7(3), 8571-8595.

Moreira, D. S., Freitas, S. R., Bonatti, J. P., Mercado, L. M., Rosário, N. M., Longo, K. M., . . . Gatti, L. V. (2013). Coupling between the JULES land-surface scheme and the CCATT-BRAMS atmospheric chemistry model (JULES-CCATT-BRAMS1. 0): applications to numerical weather forecasting and the CO₂ budget in South America. *Geoscientific Model Development*, 6(4), 1243-1259.

Procopio, A. S., Remer, L. A., Artaxo, P., Kaufman, Y. J., & Holben, B. N. (2003). Modeled spectral optical properties for smoke aerosols in Amazonia. *Geophysical Research Letters*, 30(24).

Reid, J. S., Hobbs, P. V., Ferek, R. J., Blake, D. R., Martins, J. V., Dunlap, M. R., & Lioussé, C. (1998). Physical, chemical and optical properties of regional hazes dominated by smoke in Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24).

Rosenfeld, D. (1999). TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting. *Geophysical research letters*, 26(20), 3105-3108.

Seinfeld, J., & Pandis, S. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics - from Air Pollution to Climate Change* (2nd Edition ed.). New York: John Wiley & Sons.

Stensrud, D. (2007). *Parameterization Schemes: Keys to Understanding Numerical Weather Prediction Models*. Cambridge University Press.

Tripoli, G. J., & Cotton, W. R. (1982). The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model-1982. Part II: An ice phase parameterization. *J. Rech. Atmos.*, 16(4), 295-320.

Walko, R. L., Band, L. E., Baron, J., Kittel, T. G., Lammers, R., Lee, T. J., . . . Vidale, P. L. (2000). Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. *Journal of applied meteorology*, 39(6), 931-944.

Wesly, M. L. (1989). Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment*, 23(6), 1293-1304.