

Análise de Sensibilidade das Simulações de Precipitação Convectiva do Modelo BRAMS às Melhorias na Parametrização de Cumulus

Ariane F. dos Santos¹, Eduardo F. P. Luz³, Saulo R. Freitas¹, Georg Grell², Haroldo F. de Campos Velho³, Manoel A. Gan¹

1-Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, Brasil, email: ariane.frassoni@cptec.inpe.br

2- Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global System Division, Boulder, CO, Estados Unidos

3- Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract

The model simulation of a case of South Atlantic Convergence Zone (SACZ) occurred on 21-24 March 2004 using the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) was performed. The convective parameterization scheme of Grell and Dévényi was used to represent clouds and their interaction with the large scale environment. The Grell-Dévényi's method considers an ensemble of several methodologies of cloud parameterizations. The model was run 6 times with different choice of parameterizations, and five experiments were used with only one type of parameterization, providing five different responses for the rainfall and the 6th experiment ran with all parameterizations that generated a precipitation field computed by an average among the members of the ensemble. The purpose of this work was to generate a set of weights to weighting the members of the ensemble of cumulus parameterization. This is a kind of inverse problem of parameter estimation, computed as an optimization problem, where the objective function was computed with the quadratic difference between the five simulated fields and observation. The precipitation field estimated by the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite was used as observed data. A field of weights was obtained by the Firefly optimization algorithm and it was included in the cumulus parameterization code to simulate again the precipitation field. The results were compared with the 6th experiment as well as with the TRMM precipitation field. The results indicated the better skill of the model with the new methodology compared with the old ensemble mean cumulus parameterization.

Palavras-chave: Parametrização de cumulus, BRAMS, Precipitação

1. Introdução

Ocorrência ou não de chuva constitui normalmente uma das principais preocupações da sociedade relacionadas ao tempo e clima. Em previsão numérica, a ocorrência de precipitação é tratada pela parametrização de cumulus. Diversos esquemas de parametrização de convecção cumulus vêm sendo desenvolvidos com base em dados observacionais e no entendimento da forma como as diversas escalas atmosféricas interagem entre si. Grell e Dévényi (GD, 2002) introduziram uma versão de um esquema baseado em um formalismo de fluxo de massa, com um conjunto multidimensional de hipóteses e fechamentos. Neste, o efeito líquido da convecção no ambiente (retroalimentação) é obtido usando técnicas

estatísticas para determinar os valores ótimos do conjunto de parâmetros que descrevem este efeito na escala do modelo, por exemplo, o campo de precipitação. O conjunto de fechamentos do esquema de GD atualmente implementado no modelo BRAMS é composto de perturbações em torno dos fechamentos clássicos de Grell (GR, 1993), Arakawa e Schubert (AS, 1974), Kain e Fritsch (KF, 1992), Brown (LO, 1979) e convergência de umidade (MC, Krishnamurti et al., 1983). Como resultado, tem-se prognósticos de precipitação que podem ser combinados de diversas formas, gerando uma representação numérica da precipitação e das taxas de aquecimento e umedecimento atmosféricos. Nesta versão, somente um fechamento específico ou da média simples entre os membros estão disponíveis. Resultados de estudos anteriores que testaram a parametrização de GD no modelo BRAMS mostram que a média simples entre os membros melhora os resultados, se comparado a utilizar somente um fechamento específico (Freitas et. al, 2005, Gevaerd et al., 2006). Entretanto, este esquema ainda pode ser melhorado por uma média ponderada, sendo o valor dos pesos determinados automaticamente.

Este estudo teve como objetivo analisar simulações de precipitação sobre a América do Sul utilizando um procedimento numérico estocástico para ponderar os cinco fechamentos disponíveis no esquema de convecção do modelo BRAMS para um caso de ZCAS que ocorreu entre os dias 21 a 24 de fevereiro de 2004. A solução foi obtida a partir da metodologia de problemas inversos de estimação de parâmetros (Beck et. al, 1985), resolvida como um problema de otimização com restrições. Depois de obtido o conjunto de pesos para cada um dos fechamentos, o modelo foi novamente executado para o mesmo caso, com a inclusão dos pesos no código da parametrização.

2. Dados e Metodologia

O modelo BRAMS, versão 4.2, foi utilizado para simular um caso de ZCAS que ocorreu entre os dias 21 a 24 de fevereiro de 2004, com a componente de química desativada durante as simulações. O modelo foi integrado por 48 horas, a partir do dia 19 de fevereiro de 2004 às 12:00 UTC, com a seguinte configuração: resolução vertical de 100 metros no primeiro nível, inicialização da umidade do solo heterogênea (Gevaerd e Freitas, 2006, Gevaerd et al., 2006) e 38 níveis na vertical. O esquema de parametrização convectiva foi o de GD, com os fechamentos GR, LO, MC, KF e AS, e o fechamento do tipo *ensemble* (média simples entre o conjunto de hipóteses e fechamentos - ENS). Como condições iniciais e de contorno, foram utilizadas as análises do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (MCGA/CPTEC), com resolução T126L28. As variáveis analisadas foram as precipitações convectiva e os fluxos de massa das correntes ascendentes e descendentes. Dados de estimativa de precipitação do projeto *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram utilizados para validar as simulações de precipitação. Somente o dia 21 foi analisado.

O trabalho foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira foi a obtenção de um conjunto de pesos para ponderar os fechamentos de GR, LO, MC, KF e AS, e a segunda foi a re-execução do modelo utilizando os pesos obtidos no código do esquema de parametrização.

Na primeira etapa, foram gerados seis experimentos com diferentes escolhas de fechamentos, sendo que em cinco, utilizou-se separadamente os fechamentos de GR, LO, MC, KF e AS. O sexto experimento foi realizado utilizando o fechamento tipo ENS.

O problema inverso de obtenção dos pesos foi resolvido como um problema de otimização com restrições, calculado por meio da diferença quadrática entre os campos simulados e os dados observados, tal que:

$$J(P) = \min \left\{ \sum_{i=1}^W [P_M^w - P_{TRMM}]^2 + \eta \Lambda \right\}, \quad (1)$$

em que $J(P)$ é a função objetivo a ser minimizada, P_M e P_{TRMM} são os campos de precipitação modelados e observado, respectivamente, $W = (w_1, \dots, w_5)^T$ é o vetor de pesos desconhecido, para cada ponto de grade do modelo, Λ é o operador de regularização e η é o parâmetro de regularização. Cada P_M foi obtido por meio da simulação do modelo utilizando um fechamento específico. Como problemas inversos pertencem à classe de problemas mal-postos (Tikhonov e Arsenin, 1977), a utilização de métodos de regularização é uma técnica conveniente para transformar o problema inverso em um problema bem posto (Tikhonov e Arsenin, 1977). Matematicamente, o método de regularização representa uma restrição sobre a solução a ser calculada. Utilizou-se a regularização de Tikhonov de ordem zero:

$$\Lambda(P_M) = \sum_i \sum_j (P_M)_{ij}^2, \quad (2)$$

em que Λ é dado pela norma de Frobenius de P_M , e $\eta=0,1$ determinado por experimentação numérica. Para resolver o problema inverso, foi escolhido o método de otimização *Firefly* (Yang, 2008, Luz et al., 2009), baseado na representação matemática da característica bioluminescente de vagalumes. Dois aspectos do algoritmo devem ser enfatizados, a saber: a definição da variação da intensidade da luz vista pelos vagalumes; a formulação de sua atratividade, determinada pela intensidade da luz que cada vagalume emite. A função objetivo $J(P)$ representa aqui o inverso da luminosidade. Cada vagalume representa uma solução candidata (vetor de 5 componentes, cada componente associado a um fechamento individual) e o vagalume mais brilhante representa o melhor conjunto de pesos para cada fechamento da parametrização convectiva, tendo a melhor avaliação de $J(P)$. O algoritmo possui alguns parâmetros possíveis de serem configurados, como o número de vagalumes utilizados e o número de iterações a serem executadas. Neste experimento, foram utilizados 5 vagalumes e 10 iterações, sendo este o critério de parada.

A segunda etapa foi executar o modelo incluindo no código da parametrização de convecção os pesos obtidos para cada fechamento. Um novo fluxo de massa foi calculado:

$$m_b = w_1 m_{GR} + w_2 m_{LO} + w_3 m_{MC} + w_4 m_{KF} + w_5 m_{AS}, \quad (3)$$

em que m_b é o fluxo de massa total na base da nuvem, m_{GR} , m_{LO} , m_{MC} , m_{KF} e m_{AS} são os fluxos de massa para os fechamentos de GR, LO, MC, KF e AS, respectivamente, e $W=\{w_1, \dots, w_5\}$ são os pesos para os respectivos fechamentos, obtidos pela inversão com o algoritmo *Firefly*. Os resultados foram avaliados pela diferença:

$$E = ABS(P_{ENS} - P_{TRMM}) - ABS(P_{mb} - P_{TRMM}), \quad (4)$$

em que E é o erro, P_{ENS} é o campo de precipitação obtido utilizando o fechamento ENS e P_{mb} é o campo de precipitação utilizando o novo fluxo de massa (Equação 3). Este índice indica qual o campo de precipitação apresenta os maiores erros se comparados à observação.

3. Resultados

No campo de precipitação estimado pelo satélite TRMM (Figura 1a), observa-se uma banda de precipitação alongada, orientada de noroeste a sudeste cruzando a América do Sul, desde o sul da Amazônia até a Região Sudeste do Brasil. Este padrão de precipitação é característico de um evento de ZCAS. Os máximos de precipitação são observados sobre o oeste da Amazônia e Oceano Atlântico Sul. O experimento utilizando o fechamento ENS é mostrado na Figura 1b. Verifica-se que o modelo consegue reproduzir as características de grande escala associadas ao padrão espacial da distribuição de precipitação ao longo da ZCAS. Entretanto, o modelo, utilizando esse fechamento, superestima a precipitação em praticamente todo o Brasil e na região da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Por outro lado, na região oeste da Amazônia, o modelo apresentou subestimativa. Pode-se observar na Figura 1c que o mesmo padrão de superestimativa persistiu ao utilizar os pesos para ponderar os fechamentos. Entretanto, estes padrões diminuíram se comparados ao campo

de precipitação obtido com o ENS, apesar de ter aumentado em regiões localizadas do Brasil central e Oceano Atlântico Sul. Este aumento em algumas regiões está relacionado ao aumento do fluxo de massa (figura não mostrada).

A partir da análise da diferença entre os erros absolutos dos campos de precipitação convectiva obtida com a parametrização ENS e a parametrização ponderada (Figura 1d), observa-se que os resultados com a metodologia apresentada são melhores que a parametrização ENS.

4. Considerações finais

Verificou-se que a utilização do método de otimização *Firefly* para ponderar os membros dos fechamentos de parametrização convectiva de GD causa sensibilidade nos campos de precipitação convectiva simulados pelo BRAMS. Embora não se tenha reduzido significativamente a precipitação em regiões onde não se observou sua ocorrência, pôde-se verificar que em geral esta nova metodologia minimizou a superestimativa em várias áreas. Estes resultados encorajam a utilização de metodologias automáticas para a resolução deste problema inverso de estimação de parâmetros. Como este estudo é preliminar, é necessário utilizar um maior número de casos e diferentes períodos de validação para avaliar com mais precisão a metodologia, e, portanto este trabalho constitui a parte inicial de futuras discussões.

5. Referências bibliográficas

- Arakawa, A., e W. H. Schubert. Interaction of a Cumulus cloud ensemble with the large – scale environment. Part I. J. Atmos. Sci., 31, 674 – 701, 1974.
- Beck, J. V., Blackwell, B., Clair Jr, C. R. Inverse Heat Conduction: Ill-Posed Problems, Jonh Wiley & Sons, 1985.
- Brown, J. M., Mesoscale unsaturated downdrafts driven by rainfall evaporation: A numerical study. J. Atmos. Sci., 36, 313-338, 1979.
- Freitas S., G. Grell, R. Gevaerd and K. Longo. Simulating typical rainfall systems on South America using an ensemble version of convective parameterization. 3rd Pan-GCSS meeting on "Clouds, Climate and Models", Greece, 2005.
- Gevaerd, R. e S. R. Freitas, Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação. Revista Brasileira de Meteorologia, 21, 3a, 59-73, 2006.
- Gevaerd, R., S. R. Freitas, M. Longo, D. S. Moreira, M. A. Silva Dias, P. Silva Dias. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte II: Impacto da umidade do solo e da parametrização de cumulus na simulação de uma linha seca. Revista Brasileira de Meteorologia, 21 3a, 74-88, 2006.
- Grell, G. A., and Dévényi, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. Geophys. Res. Lett., v. 29, no. 14, 2002.
- Grell, G., Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Mon. Wea. Rev., 121, 764-787, 1993.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, The role of the convective trigger function" in numerical forecasts of mesoscale convective systems. Meteorol. Atmos. Phys., 49, 93 - 106, 1992.
- Krishnamurti, T. N., S. Low-Nam, and R. Pasch, Cumulus parameterizations and rainfall rates II. Mon. Wea. Rev., 111, 815-828, 1983.
- Luz, E. F. P.; Becceneri, J. C.; de Campos Velho, H. F. Conceitualização do algoritmo vagalume e sua aplicação na estimativa de condição inicial de calor. In: IX Workshop do Curso de Computação Aplicada do INPE, 2009.

Tikhonov, A. N. and Arsenin, V. Y. (1977). Solution of Ill-Posed Problems. Winston and Sons, New York.

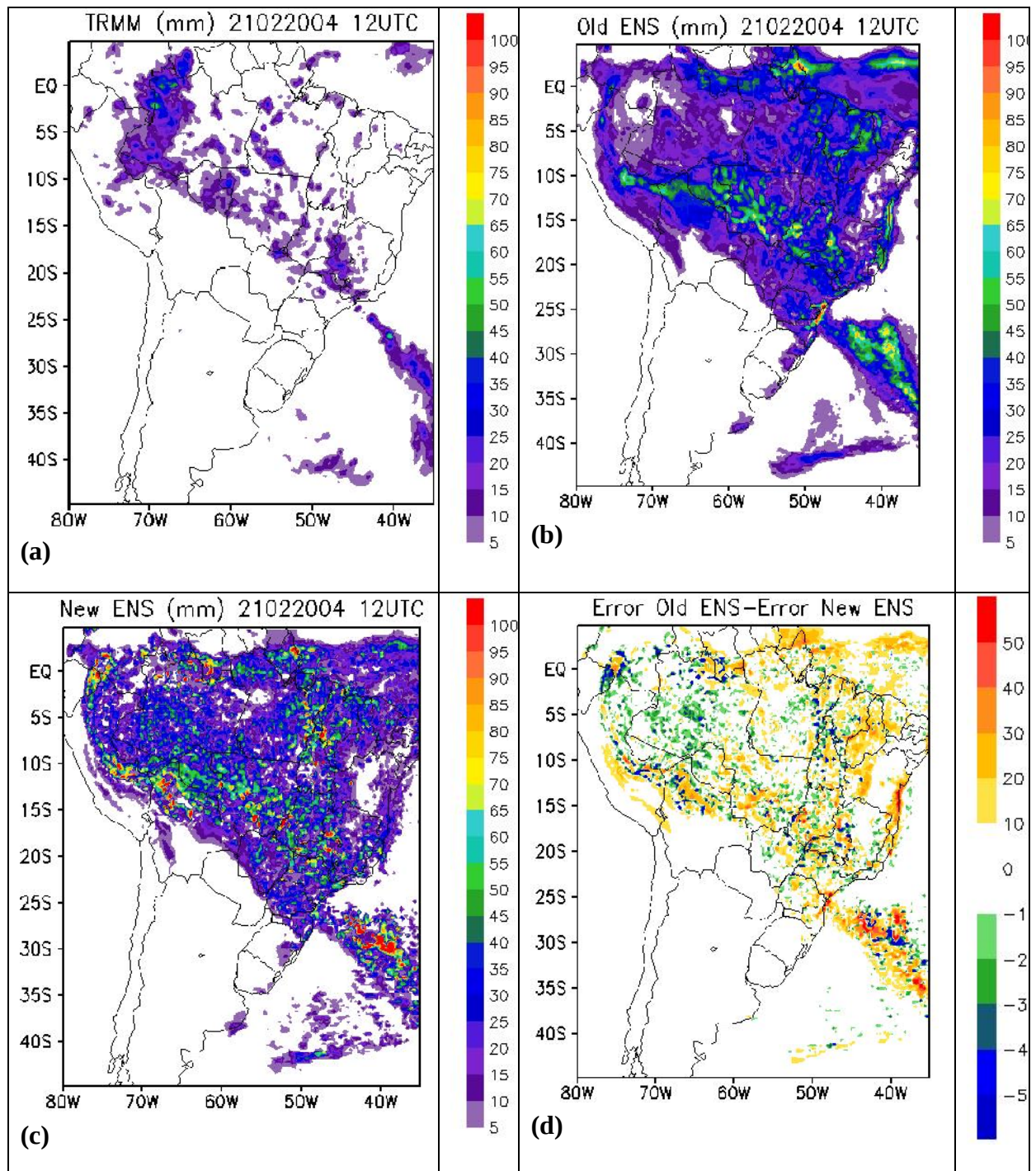


Figura 1: (a) Precipitação acumulada em 24h (mm) estimada pelo satélite TRMM, obtido a partir do algoritmo 3B42_V6 e precipitação convectiva (mm) simulada pelo modelo BRAMS utilizando: (b) a parametrização ENS e (c) a parametrização ponderada pelo conjunto de pesos, para o dia 21/02/2004. (d) Diferença entre os erros absolutos dos campos de precipitação convectiva obtido com o ENS e ponderado pelo conjunto de pesos (mm) – sombreados amarelo-vermelho e azul-verde indicam, respectivamente, maiores erros da parametrização ENS e da parametrização ponderada pelo conjunto de pesos.