

Ana Maria Bueno Nunes, Prakki Satyamurty e José Paulo Bonatti
Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Rodovia Pres. Dutra km 39, 12630-000 Cachoeira Paulista, SP
e-mail: bueam@cptec.inpe.br

Abstract

Physical initialization was developed to provide accurate initial conditions to the numerical weather prediction models. This procedure includes a low cost data assimilation system, and the diabatic heating effects through a physical nudging, which is related to precipitation assimilation. Implementing physical initialization in a version of the *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos* Atmospheric General Circulation Model, one seeks to improve the model's ability to predict the short-term rainfall over the tropics. By means of this initialization method, the correlation coefficients between Special Sensor Microwave/Imager rainfall estimates and either initial conditions or the short-term forecasts were increased with considerable reduction of spin-up.

1 - Introdução

Um dos desafios da previsão numérica de tempo é a previsão da precipitação, especialmente na região tropical. Alguns procedimentos de “inicialização” dos dados meteorológicos, os quais são usados para criar a condição inicial da previsão, tentam reduzir o desvio entre a observação e a análise usada no momento inicial da integração na esperança de diminuir o desequilíbrio hidrológico observado nos primeiros dias de previsão. A forma permissiva com que os modelos numéricos de equações primitivas amplificariam os modos inércio-gravitacionais da análise contribuiria para tal desajuste entre a chuva de uma previsão de curto prazo e a observada.

Entre os métodos de “inicialização” destacam-se os por modos normais (Williamson, 1976; Machenhauer, 1977; Baer e Tribbia, 1977; Kitade, 1983), o físico (Krishnamurti *et al.*, 1991 e 1993; Treadon, 1996) e o variacional quadrimensional (Thompson, 1969; Lewis e Deber, 1985), sendo o primeiro tipo um exemplo de método estático e os dois últimos, exemplos do dinâmico. Os métodos por decomposição em modos normais estão entre os mais populares em uso por modelos globais espectrais. Os métodos físico e variacional quadrimensional incluem a assimilação de dados. No método físico, os efeitos diabáticos estão presentes na forma de assimilação de calor latente (Manobianco *et al.*, 1994) ou de precipitação (Krishnamurti *et al.*, 1991; Treadon, 1996). A assimilação variacional quadrimensional (4DVar) é também um tipo de “inicialização”, já que procura minimizar o erro entre a previsão do modelo e a observação usando o método variacional de forma que satisfaça às restrições dinâmicas impostas pelo próprio modelo de previsão o qual deverá excluir as altas frequências (Daley, 1991).

4DVar apresenta desvantagens em relação ao método físico, como o grande custo computacional e os problemas para resolver os processos não-lineares (e.g., a parametrização da precipitação) na forma inversa, através de um modelo adjunto (Haase *et al.*, 2000).

Neste trabalho, a inclusão de método físico de “inicialização” (IF), similar ao de Krishnamurti *et al.* (1991), no modelo de circulação geral atmosférica usado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (MCGA-CPTEC) é enfocada. IF foi incluída no MCGA-CPTEC com o objetivo de aprimorar a condição inicial sobre a região tropical e, desta forma, reduzir o *spin-up* na previsão de curto prazo da precipitação através de sua assimilação. Maiores detalhes sobre a inclusão e a aplicação do método em modelos espectrais são encontrados em Nunes (2002).

2 - Metodologia

a. Modelo e dados

O MCGA-CPTEC é uma versão daquele usado no *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies* (COLA). As variáveis dependentes são a pressão na superfície, a vorticidade, a divergência, a temperatura virtual e a umidade específica. A forma de truncamento espectral é a triangular, com uma resolução máxima de 62 ondas (T62). A coordenada vertical é σ , com uma resolução de 28 camadas. Trata-se de um modelo hidrostático de equações primitivas. A convecção cumulus pode ser representada através de um esquema do tipo Kuo modificado por Anthes (1977) ou do tipo Arakawa-Schubert Relaxado (RAS) de Moorthi e Suarez (1992). Um modelo de biosfera está acoplado a esta versão, o que permite uma formulação explícita da vegetação sobre o solo. O modelo de biosfera é uma versão simplificada por Xue *et al.* (1991) do *Simple Biosphere Model* (SiB) descrito em Sellers *et al.* (1986), e conhecido, por este motivo, como *Simplified SiB* (SSiB). Maiores detalhes sobre as características do modelo atmosférico podem ser obtidos em Kinter *et al.* (1997).

Os dados utilizados incluem uma série de análises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) de 10 casos espalhados entre janeiro e fevereiro de 1999. As análises são de resolução de $1,875^\circ$, ou seja, em torno de 200 km no equador. Estes casos foram selecionados segundo a natureza de seus campos de precipitação. Os casos foram numerados de 1 a 10 e têm suas condições iniciais em: 3, 5, 11 e 25 de janeiro e 4, 13, 14, 17, 18 e 21 de fevereiro de 1999, respectivamente.

As taxas de precipitação usadas para assimilação e verificação da precipitação foram obtidas a partir das medidas radiométricas do *Special Sensor Microwave/Imager* (SSM/I) a bordo dos satélites do *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP). O algoritmo para obtenção das estimativas de precipitação a partir do SSM/I é aquele baseado nos métodos de espalhamento e de emissão (Ferraro e Marks, 1995) para quatro frequências: 19, 22, 37 e 85 GHz. Na ausência dos dados de SSM/I, a chuva é estimada usando as medidas de radiação de onda longa emergente (ROLE) do *National Environmental Satellite, Data, and Information Service* (NESDIS) em combinação com o conjunto de dados de precipitação (Gairola e Krishnamurti, 1992).

b. “Inicialização” física (IF)

A IF usada pelo MCGA-CPTEC pode ser dividida em três componentes: as parametrizações cumulus e de grande-escala inversas, a aplicação dos fluxos de calor latente e sensível da camada superficial na forma inversa e a relaxação newtoniana.

A formulação das parametrizações inversas da precipitação segue uma relação linear entre a umidade prevista q e a modificada por IF, q_m , de forma que:

$$q_m = a q + b, \quad (1)$$

$$a = \frac{R_o}{R_p}, \quad b = \frac{\frac{1}{g} \int_{\sigma_t}^{\sigma_b} q d\sigma}{\frac{1}{g} \int_{\sigma_t}^{\sigma_b} d\sigma} \left(1 - \frac{R_o}{R_p}\right), \quad (2)$$

em que R_o e R_p são as taxas de precipitação estimada e prevista, respectivamente. Os coeficientes a e b são independentes de σ e obtidos segundo as restrições impostas pelas condições abaixo.

- a convergência de umidade correspondente à q_m deve se igualar a precipitação observada;
- a quantidade de água precipitável deve permanecer sem variação, após a modificação de q ;
- a modificação do perfil vertical de q é feita apenas nas áreas com chuva acima de 10 mm/dia.

Os fluxos de calor latente e sensível são modificados nos pontos em que a precipitação do modelo difere da anterior à IF. Então, usando a equação do balanço de energia acrescida do termo de restauração entre a temperatura do solo e sua camada profunda obtém-se o prognóstico da temperatura do solo corrigida.

A relaxação newtoniana é um conceito ligado à assimilação de dados que foi aplicado por vários autores, entre eles: Anthes (1974), Hoke e Anthes (1976), Davis e Turner (1977), Ramamurthy e Carr (1987). A modificação do perfil de umidade nas áreas com chuva e o aquecimento associado a este campo exercem influência na divergência a qual será “inicializada” de forma consistente com estas modificações através da relaxação newtoniana. Além da divergência, as variáveis vorticidade e pressão na superfície são relaxadas na direção da análise do NCEP usada como condição inicial.

O procedimento de IF é aplicado entre o dia -1 e o dia 0. Durante este período, a assimilação da precipitação é feita com base nas parametrizações cumulus e de grande-escala inversas, na correção dos fluxos da camada superficial e na relaxação newtoniana.

3 - Resultados

Os dados das análises do NCEP foram usados nos dez casos como condição inicial para os experimentos de controle, nos quais a “inicialização” diabática não-linear por modos normais, em que o modo externo e dois primeiros internos foram “inicializados” (IDNMN3) foi aplicada, e como análises do dia -1 e do dia 0 do procedimento de IF.

As previsões feitas a partir de condições iniciais com IF diferem daquelas do controle da seguinte forma: o MCGA-CPTEC tem com condição inicial a análise do NCEP do dia -1; não é utilizado, em momento algum, outro tipo de “inicialização”; e o MCGA-CPTEC usado como controle utiliza IDNMN3, e tem como condição inicial a análise do NCEP do dia 0. Os resultados a seguir ilustram como a assimilação da precipitação pelo MCGA-CPTEC foi bem sucedida e melhorou o desempenho do modelo com IF em relação ao controle nos primeiros dias de previsão.

A Figura 1 mostra a precipitação acumulada a cada passo de tempo dentro do domínio da assimilação de precipitação (60° S; 60° N). A correlação entre a chuva do modelo e a estimativa, usando SSM/I, atingiu um valor médio próximo a 80%, logo nas primeiras 3 horas de assimilação (linha tracejada). O modelo de controle, sem assimilação da precipitação, apresenta um máximo de correlação antes das primeiras três horas e é inferior a 50%.

A Figura 2 exibe os coeficientes de correlação espacial entre 30° S e 30° N ao final do período de inicialização para cada caso. Em média, na região tropical, o MCGA-CPTEC com IF obteve 86% de correlação com as estimativas ao final do período de inicialização, e sendo sempre inferior a 60% nos experimentos de controle.

A precipitação acumulada entre 10 e 11 de janeiro de 1999, período com assimilação da precipitação para o experimento com IF, sobre a América do Sul está representada na Figura 3. Na Figura 3a, MCGA-CPTEC com IF exibe um padrão de chuva na Amazônia compatível com a estimativa (Figura 3c). A chuva prevista sobre a região dos Andes (Figura 3b), que sistematicamente aparece nas previsões do controle, foi removida por IF (Figura 3a). A correlação entre o MCGA-CPTEC com IF e as estimativas usando SSM/I foi de 91%, e para o controle, 52%. O erro quadrático médio para esse caso foi de 3 mm para o MCGA-CPTEC com IF, e de 5 mm para o controle.

Um caso de previsão de 24 h sobre a América do Sul está representado pela Figura 4. O erro sistemático representado pela chuva sobre os Andes é encontrado em ambos experimentos, ou seja, uma previsão a partir de uma condição fisicamente inicializada (Figura 4a) e de controle (Figura 4b). No entanto, os padrões da precipitação prevista sobre a Amazônia, Região Sudeste e a costa adjacente se aproximaram da estimativa no caso da previsão usando uma condição fisicamente inicializada. As correlações foram de 0,47 para IF contra 0,31 do controle. O erro quadrático médio ficou em 6,5 mm para IF, e em 7,2 mm para o controle. A média tropical do coeficiente de correlação passou de 0,48 para 0,56 com a utilização de IF.

Previsões válidas para três dias foram realizadas para os dez casos. As médias para a região tropical e a América do Sul são mostradas na Figura 5. O maior impacto da condição inicial está confinado às primeiras

24 horas, sendo que os experimentos IF, tanto na região tropical (Figura 5a) quanto sobre a América do Sul (Figura 5b), foram os que obtiveram as melhores correlações com a chuva estimada utilizando SSM/I.

O método, da forma que é apresentado, não é capaz de instabilizar a atmosfera do modelo nos pontos em que a estimativa diz que há instabilidade. Portanto, a inclusão de um termo diabático de aquecimento poderia instabilizar a atmosfera do modelo de tal forma que em alguns passos de tempo uma chuva compatível com a observada seria produzida. Isto foi proposto inicialmente por Yap (1995).

4 - Comentários Finais

A IF tem sido usada como uma das principais técnicas de assimilação de dados de radar por modelos atmosféricos. Além disso, um método combinado de “inicialização”, que usa observações de precipitação da rede meteorológica e IF para calibrar as variáveis termodinâmicas dos dados da análise objetiva, foi proposto para uso pelo modelo espectral do Japão (Gregorič *et al.*, 2000).

Os resultados da implementação da IF no MCGA-CPTEC têm sido encorajadores e outras estatísticas, tais como: *Equitable Threat Score* e *Bias* (não mostradas) corroboram os resultados anteriores, em que IF gera uma condição inicial com um campo de precipitação associado bem correlacionado com os de estimativa por satélite, e melhora o desempenho do modelo nas previsões de curto prazo de precipitação na região tropical. Entre as principais vantagens do uso de IF está o baixo custo computacional e a simplicidade do esquema.

IF pode ser usada em combinação com outros esquemas de “inicialização”, como mencionado acima, e de assimilação de dados. Devido a seu bom desempenho no instante inicial e nas primeiras horas de previsão, sugere-se seu uso associado a um sistema de reanálise de precipitação.

Referências Bibliográficas

- Anthes, R. A. Data assimilation and initialization of hurricane prediction models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, p. 702-719, 1974.
- A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Monthly Weather Review**, v. 105, p. 270-286, 1977.
- Baer, F.; Tribbia, J. J. On complete filtering of gravity modes through nonlinear initialization. **Monthly Weather Review**, v. 105, p. 1536-1539, 1977.
- Daley, R. **Atmospheric data analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 457 p.
- Davis, H. E.; Turner, R. E. Updating prediction models by dynamic relaxation: An examination of the technique. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, p. 225-245, 1977.
- Ferraro, R. R.; Marks, G. F. The development of SSM/I rain-rate retrieval algorithms using ground-based radar measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 12, p. 755-770, 1995.
- Gairola, R. M.; Krishnamurti, T. N. Rain rates based on SSMI/I, OLR and raingauge data sets. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 50, p. 165-174, 1992.
- Gregorič, G.; Macpherson, B.; Rossa, A.; Hasse, G. Assimilation of radar precipitation data in NWP models - a review. **Physics and Chemistry of the Earth Part B - Hydrology Oceans and Atmosphere**, v. 25, p. 1233-1235, 2000.
- Haase, G.; Crewell, S.; Simmer, C.; Wergen, W. Assimilation of radar data in mesoscale models: Physical initialization and latent heat nudging. **Physics and Chemistry of the Earth Part B - Hydrology Oceans and Atmosphere**, v. 25, p. 1237-1242, 2000.

- Hoke, J. E.; Anthes, R. A. The initialization of numerical models by dynamic initialization technique. **Monthly Weather Review**, v. 104, p. 1551-1556, 1976.
- Kinter III, J. L.; DeWitt, D.; Dirmeyer, P. A.; Fennessy, M. J.; Kirtman, B. P.; Marx, L.; Schneider, E. K.; Shukla, J.; Straus, D. M. **The COLA Atmosphere-Biosphere General Circulation Model**. Volume 1: Formulation. Calverton: COLA, 1997. 44p (COLA - Report n. 51).
- Kitade, T. Nonlinear normal mode initialization with physics. **Monthly Weather Review**, v. 111, n. 11, p. 2194-2213, 1983.
- Krishnamurti, T. N.; Xue, J.; Bedi, H. S.; Ingles, K.; Oosterhof, D. Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics. **Tellus**, v. 43AB, p. 53-81, 1991.
- ; Bedi, H. S.; Ingles, K. Physical initialization using SSM/I rain rates. **Tellus**, v. 45A, p. 247-269, 1993.
- Lewis, J. M.; Derber, J. C. The use of adjoint equation to solve variational adjustment problem with advective constraints. **Tellus**, v. 37A, p. 309-322, 1985.
- Machenhauer, B. On the dynamics of gravity oscillations in a shallow water model with application to normal mode initialization. **Contributions of Atmospheric Physics**, v. 50, p. 253-271, 1977.
- Manobianco, J.; Koch, S.; Karyampudi, V. M.; Negri, A. J. The impact of assimilating satellite-derived precipitation rates on numerical simulations of the ERICA IOP 4 cyclone. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 341-365, 1994.
- Moorthi, S.; M. J. Suarez, M. J. Relaxed Arakawa-Schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. **Monthly Weather Review**, v. 120, p. 978-1002, 1992.
- Nunes, A. M. B. **Inicialização física em modelos de previsão de tempo e estudo de seus efeitos na partição de energia em modos verticais e horizontais nos trópicos e na América do Sul**. São José dos Campos. 219p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.
- Ramamurthy, M. K.; Carr, F. H. Four-dimensional data assimilation in the monsoon região. Part I: Experiments with wind data. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1678-1706, 1987.
- Sellers, P. J.; Mintz, Y.; Sud, Y. C.; Dalcher, A. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 13, p. 505-531, 1986.
- Thompson, P. Reduction of analysis error through constraints of dynamical consistency. **Journal of Applied Meteorology**, v. 8, p. 739-742, 1969.
- Treadon, R. E. Physical initialization in the NMC global data assimilation system. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 60, p. 57-86, 1996.
- Williamson, D. L. Normal mode initialization procedure applied to forecasts with the global shallow water equations. **Monthly Weather Review**, v. 104, p. 195-206, 1976.
- Xue, Y.; Sellers, P. J.; Kinter III, J. L.; Shukla, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, v. 4, p. 345-364, 1991.
- Yap, K. -S. Impact of a Newtonian assimilation and physical initialization on the initialization and prediction by a tropical mesoscale model. **Monthly Weather Review**, v. 123, p. 833-861, 1995.

MCGA-CPTEC: Domínio da Inicialização
Precipitação Acumulada em cada Passo de Tempo

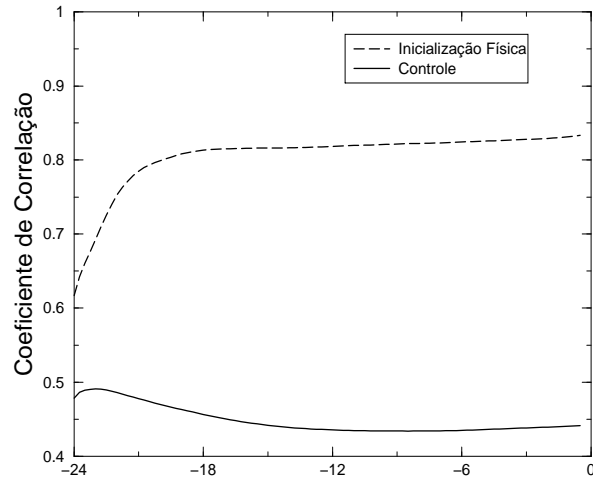


Figura 1: Coeficientes de correlação espacial para a precipitação acumulada durante 24 horas antes da condição inicial. A linha sólida representa uma média para 10 casos de controle. A linha tracejada representa a média obtida para 10 casos de IF. Os valores foram obtidos apenas na região em que houve a assimilação da chuva

MCGA-CPTEC: Trópicos
Precipitação Acumulada entre os Dias -1 e 0

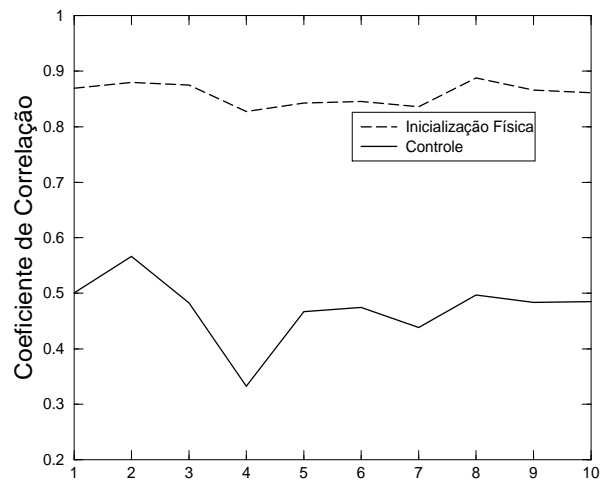


Figura 2: Coeficientes de correlação espacial para a precipitação acumulada obtidos ao final do período de inicialização para cada um dos casos dentro da região tropical. A linha sólida representa os experimentos de controle. A linha tracejada representa os de IF.

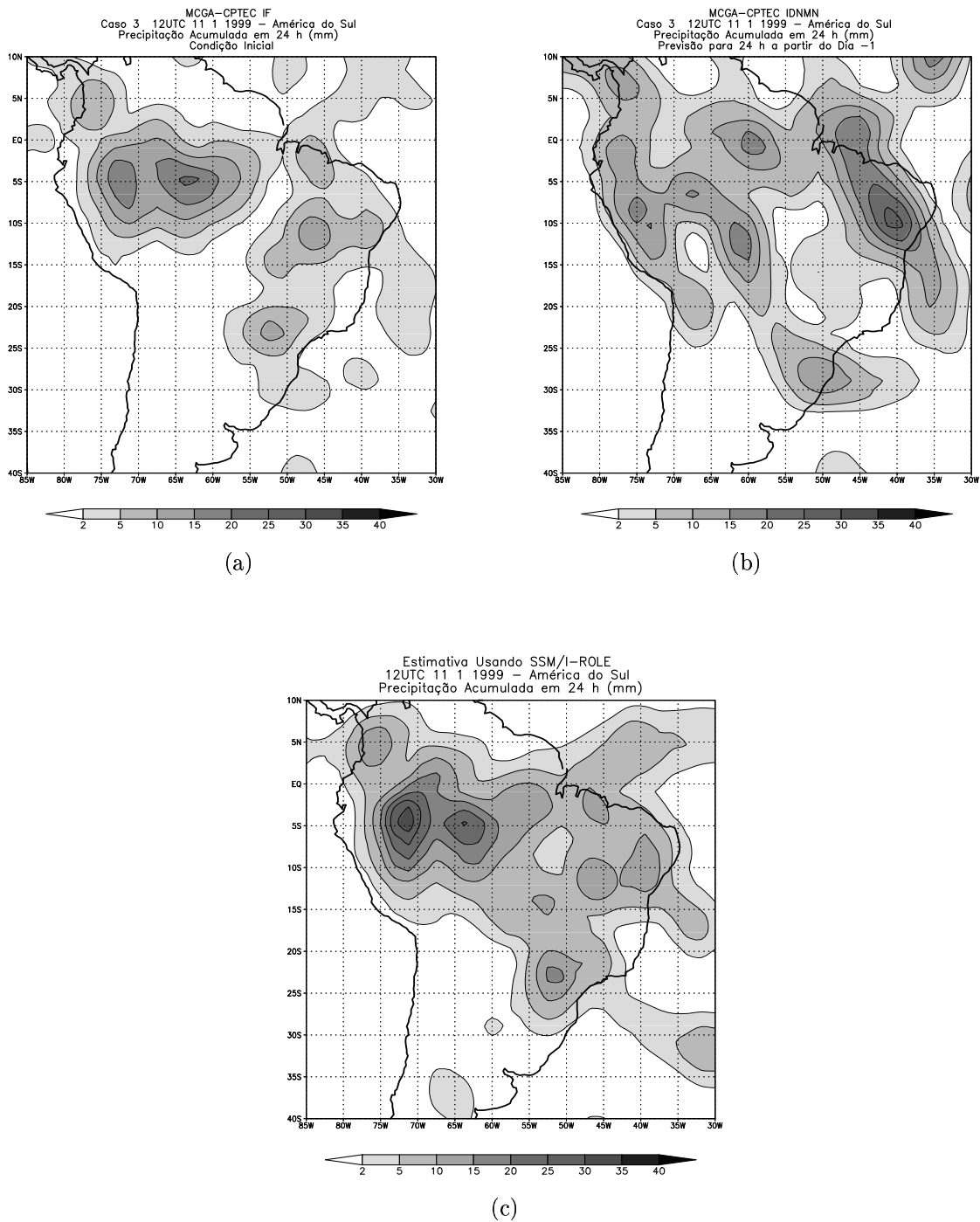


Figura 3: Precipitação acumulada (mm) entre 10 e 11 de janeiro de 1999 sobre a América do Sul para: (a) assimilação do MCGA-CPTEC IF, (b) previsão do MCGA-CPTEC IDNMN3, e (c) estimativa por SSM/I-ROLE

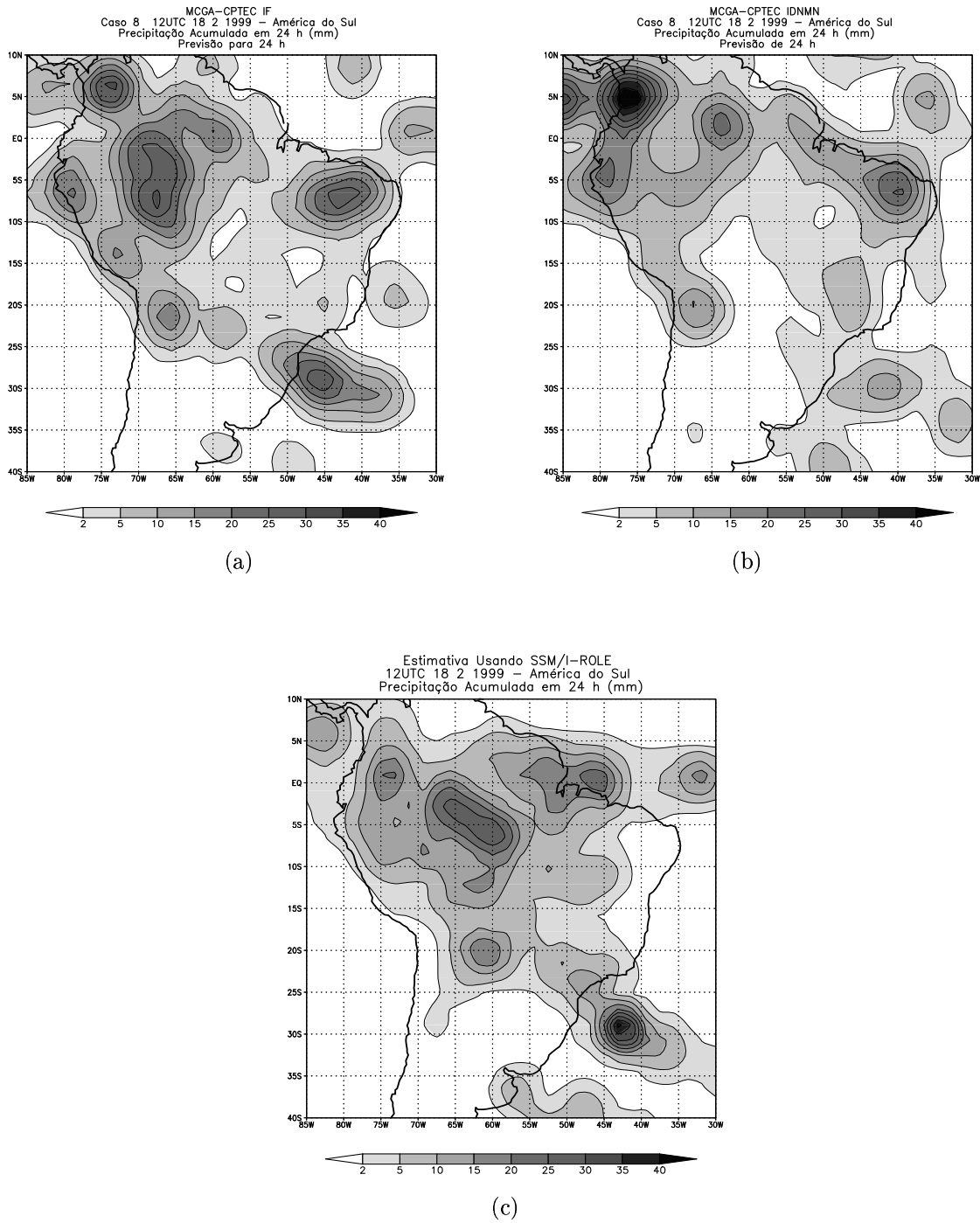


Figura 4: Precipitação acumulada (mm) entre 17 e 18 de fevereiro de 1999 (Caso 8) sobre a América do Sul para previsões de 24 h do: (a) MCGA-CPTEC IF, (b) MCGA-CPTEC IDNMN3, e (c) estimativa por SSM/I-ROLE

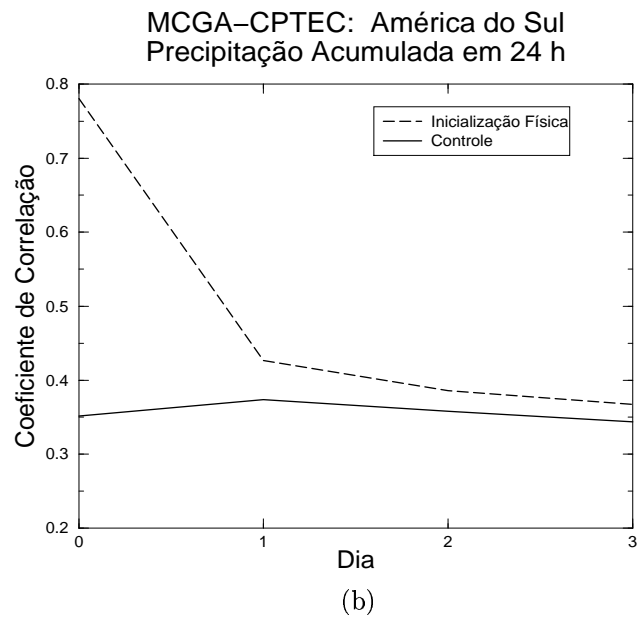
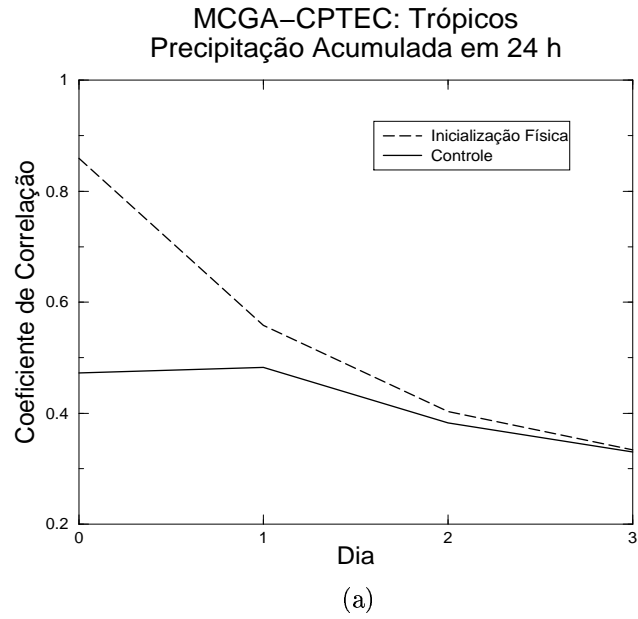


Figura 5: Coeficientes de correlação espacial médios para a precipitação acumulada em 24 h para três dias de previsão. (a) Trópicos; (b) América do Sul. A linha sólida representa uma média para 10 casos de controle. A linha tracejada representa a média obtida para 10 casos de IF.