



**Um Estudo de Caso da Contribuição do
Transporte de Momentum Convectivo na Distribuição de Chuva**
A Case Study of the Contribution of Convective Momentum Transport on the Rain Distribution

José Davi Oliveira de Moura & Chou Sin Chan

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Rodovia Presidente Dutra km 39,
12630-000, Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil*
E-mails: moura.jdo@gmail.com; chou.sinchan@gmail.com
Recebido em: 15/04/2019 Aprovado em: 03/06/2019
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_208_216

Resumo

O estudo teve por objetivo avaliar o desempenho das simulações de precipitação do modelo Eta utilizando duas versões do esquema de parametrização cúmulos Kain-Fritsch. Os efeitos do Transporte de Momentum Convectivo (TMC) foram incluídos em uma das versões. Foram realizadas comparações entre simulações de chuva do modelo Eta e dados de precipitação estimado por satélite do CMORPH (CPC MORPHing Technique). Um caso de precipitação intensa sobre o sudeste do Brasil foi selecionado para as simulações de chuva do modelo Eta. A destreza do modelo foi avaliada pelo índice ETS (Equitable Threat Score) e o BIAS. O ETS mostrou que, tanto para as simulações de 48 horas quanto para as de 72 horas, a versão com TMC teve maior pontuação para a precipitação leve e moderada. Para precipitações mais intensas, as versões obtiveram desempenhos similares. O BIAS mostrou que as simulações subestimaram a precipitação moderada e intensa. A versão com TMC mostrou menos subestimativa nas taxas intensas. A inclusão do TMC melhorou o perfil do vento.

Palavras-chave: Convecção; Parametrização Cúmulos; Modelo Atmosférico

Abstract

The objective of the study was to evaluate the performance of the precipitation simulations of the Eta model using two versions of the Kain-Fritsch cumulus parameterization scheme. The effects of Convective Momentum Transport (CMT) were included in one of the versions. Comparison between Eta model precipitation simulations and the estimated satellite precipitation data from the CMORPH (CPC MORPHing Technique) were carried out. A case of intense precipitation over southeastern Brazil was selected for the Eta model's rain simulations. The skill of the model was evaluated by the ETS (Equitable Threat Score) and BIAS. The Skill based on the Equitable Threat Score (ETS) showed that, for both 48-hour and 72-hour simulations, the version with CMT scored higher for light and moderate precipitation. For intense precipitation, the two scheme versions scored similarly. The BIAS score showed that the simulations underestimated the moderate and intense precipitation. The version with CMT showed less underestimate in the intense rates. The inclusion of the CMT improved the wind profile.

Keywords: Convection; Cumulus Parameterization; Atmospheric Model

1 Introdução

O Transporte de Momentum Convectivo (TMC) ou “*Cumulus Friction*” (Schneider & Lindzen, 1976) pode ser definido como uma redistribuição de momentum horizontal na troposfera causado pelo processo de convecção profunda. Apesar de ser um processo de pequena escala, o TMC é importante para a circulação de grande escala.

Modelos numéricos, com resolução espacial menor que o tamanho de nuvens cúmulos, devem considerar as contribuições dos processos convectivos através de parametrizações. Um dos esquemas de parametrização cúmulos que considera os efeitos do TMC é o esquema Kain-Fritsch (Kain & Fritsch, 1990; 1993).

O modelo regional Eta do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) possuía uma versão simplificada do esquema de parametrização cúmulos Kain-Fritsch, pois não era considerada a contribuição do TMC. Somente em 2007 o TMC foi inserido no esquema Kain-Fritsch do modelo Eta do CPTEC/INPE (Carvalho, 2007). Essa nova versão do Kain-Fritsch foi oficialmente implementada em 2012 por Mesinger *et al.* (2012).

De acordo com alguns estudos (Wu *et al.*, 2003; Han & Pan, 2006; Richter & Rasch, 2008; Cheng & Xu, 2014), a sumarização dos efeitos do TMC nos modelos atmosféricos produziram melhorias no prognóstico de chuva. A precipitação é uma das variáveis de difícil prognóstico, visto que sua distribuição espacial, temporal e a quantificação ainda são informações complexas de serem obtidas.

Considerar processos que possam tornar o prognóstico de chuva mais realístico é de suma importância para o desenvolvimento da modelagem numérica. Portanto, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar os prognósticos de chuva do modelo Eta do CPTEC/INPE configurado com a versão atualizada do esquema Kain-Fritsch que considera os efeitos do TMC.

2 Metodologia

Nas seções 2.1 e 2.2 são apresentadas breves descrições do modelo Eta e do esquema de parame-

trização cumulus Kain-Fritsch. Detalhes sobre os experimentos e a avaliação dos resultados podem ser encontrados nas seções 2.3 e 2.4, respectivamente.

2.1 Modelo Eta

O modelo Eta é um sistema computacional de previsão do tempo e do clima, composto de equações primitivas (conjunto de equações diferenciais não lineares: equação da continuidade, da energia termodinâmica e da conservação de momentum). A grade do modelo Eta é do tipo E de Arakawa (Arakawa & Lamb, 1977) e sua topografia é representada em forma de degraus (Mesinger, 1984). Possui esquemas de parametrização cúmulos: Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994) e Kain-Fritsch (Kain & Fritsch, 1993). A microfísica é resolvida pelo esquema de Ferrier (Ferrier *et al.*, 2002).

O modelo Eta foi integrado utilizando como condições iniciais dados de reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction), Climate Forecast System Reanalysis (Saha *et al.*, 2010), daqui em diante CFSR. O modelo foi iniciado a cada dia às 12 UTC com até 72h de simulação.

Item	Descrição
Modelo	Eta (CPTEC/INPE)
Resolução	5 km horizontal 50 níveis verticais
Condição inicial	Reanálise CFSR
Domínio	Sul e Sudeste do Brasil
Período de Simulação	17/12/2008 à 03/01/2009
Parametrização Cúmulos	KF (Kain-Fritsch sem TMC) e KFMX (Kain-Fritsch com TMC)

Tabela 1 Resumo da configuração do modelo Eta para o experimento.

2.2 Parametrização Cumulus Kain-Fritsch

O modelo de convecção Kain-Fritsch é do tipo fluxo de massa, pois sua formulação é baseada nas correntes convectivas da nuvem (ascendente e descendente). Kain-Fritsch é, basicamente, dividido em três partes:

I) **Função de Disparo:** Este é o ponto de partida do esquema. Aqui é definido se há possibilidade de haver convecção em alguma camada entre a superfície do esquema até o nível de 700 hPa. Caso haja, o esquema começa o movimento ascendente que inicialmente se trata de uma parcela não diluída. Se esta parcela atingir uma profundidade mínima a convecção é estabelecida como profunda, caso contrário será considerado como convecção rasa.

II) **Formulação do Fluxo de Massa:** Nesta etapa, o esquema de convecção Kain-Fritsch inicia os fluxos convectivos da nuvem. A corrente ascendente parte em direção ao topo da nuvem trocando calor, umidade e momentum com o ambiente através das taxas de entranhamento e detranhamento. A corrente descendente se inicia devido ao ar entranhado ser mais frio e denso. Desse modo, essa parcela que entranhou na nuvem inicia um movimento em direção à base da nuvem, também trocando calor, umidade e momentum com o ambiente.

III) **Hipótese de Fechamento:** É o ponto de parada do esquema Kain-Fritsch. Esta terceira etapa

é ativada quando 90% do CAPE (Convective Available Potential Energy) inicial é removido.

Mais detalhes sobre o esquema de parametrização cúmulos Kain-Fritsch e suas etapas de funcionamento podem ser vistas em Kain & Fritsch (1990; 1993).

2.3 Experimento

Para avaliar a contribuição do TMC nas simulações de chuva do modelo Eta, foi realizado um estudo de caso num período de precipitação intensa sobre o sudeste do Brasil. As chuvas ocorreram entre os dias 17/12/2008 à 03/01/2009, onde as precipitações mais intensas ocorreram entre os dias 26 e 29/12/2008. O evento tratava-se de um sistema frontal que estacionou (Figura 1) sobre o Sudeste do Brasil e gerou tempestades severas. Pela durabilidade, época do ano, e o transporte de umidade da Amazônia para o sudeste brasileiro (não apresentado aqui), o caso evidenciou um evento de Zona de Convergência do Atlântico Sul.

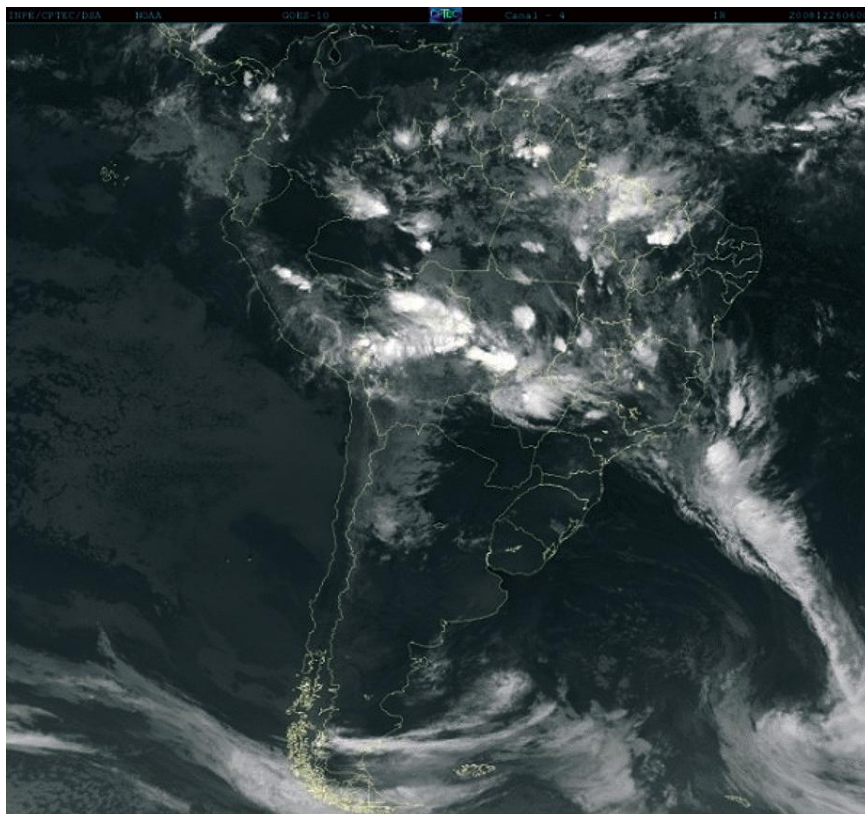


Figura 1 Imagem de satélite GOES-10 (Canal Infravermelho) para o dia 26/12/2008 às 06 UTC.

Duas versões do esquema Kain-Fritsch foram utilizadas nos experimentos (Tabela 1). O TMC somente foi incluído na versão KFMX e, portanto, inclui a equação (1) que se refere à equação de tendência de momentum:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} = \frac{\partial(M_u + M_d)\bar{V}}{\partial p} + [(D_u V_u + D_d V_d) - (E_u + E_d)\bar{V}] \quad (1)$$

Onde, V se refere à velocidade horizontal do vento, D e E denotam as taxas de detranhamento e entranhamento respectivamente, M é o fluxo de massa, os subscritos u e d se referem às correntes ascendentes e descendentes, e a barra indica a grade resolvida do modelo.

2.4 Avaliação

As saídas de precipitação do modelo Eta foram comparadas com dados de precipitação estimada por satélite do CMORPH (CPC MORPHing Technique). Estes dados de satélite têm resolução horizontal de 8 km e saídas de acumulados de chuva a cada 30 min. As simulações de vento do modelo Eta foram comparadas com os dados de vento das reanálises CFSR e ERA-Interim (Berrisford *et al.*, 2009) que possuem resolução horizontal de 0,5° e 12,5km, respectivamente, e vertical de 37 níveis para ambos.

Foram utilizados índices de desempenho ETS (Equitable Threat Score) (Mesinger & Black, 1992) e BIAS (qualitativo e quantitativo) para avaliar às saídas do modelo Eta em relação as chuvas do CMORPH. O ETS mede a fração de eventos que foram previstos corretamente, corrigidos pelos acertos aleatórios. O ETS é calculado pela Equação 2:

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad (2)$$

Onde,

$$CH = \frac{F \times O}{N} \quad (3)$$

Sendo “H” o número de acertos do modelo, “CH” o número de acertos aleatórios, “F” o número de alarmes falsos (Previsões de eventos que não ocorreram), “O” se refere as ocorrências que não foram previstas e “N” é o número total da amostra.

O BIAS mede a frequência de ocorrência com que um evento foi previsto e, portanto, é utilizado para detectar superestimativas ou subestimativas. O BIAS pode ser maior (superestimativa), menor (subestimativa), ou igual a 1 (eventos foram previstos na mesma frequência com que foram observador).

$$BIAS = \frac{F}{O} \quad (4)$$

Os limiares de precipitação para o ETS e o BIAS são descritos na Tabela 2:

Classificação	Limiares de Precipitação (mm)
Chuva / Não Chuva	0,3
Leve	2,5; 6,3
Moderada	12,7; 19,0
Intensa	25,4; 38,1; 50,8

Tabela 2 Limiares de precipitação utilizados para o ETS e BIAS.

3 Resultados

A Figura 2 mostra os dias de maiores picos de precipitação acumulada (mm/24h) sobre o sudeste do Brasil (dias 27, 28 e 29). A imagem está dividida como uma tabela, onde todas as imagens da primeira coluna se referem ao dia 27/12/2008 (mm/24h), a segunda coluna denota as imagens referentes ao dia 28/12/2008 e a terceira ao dia 29/12/2008. Na primeira linha (Figura 2 A, B e C) foram posicionadas as imagens do CMORPH, onde percebe-se a atuação persistente de uma faixa de precipitação que se estende do Atlântico para o sudeste do Brasil. As comparações (Simulações x CMORPH) consideraram se as simulações conseguiram ou não reproduzir a forma, posição e intensidade da precipitação. As simulações do modelo Eta podem ser visto nas linhas posteriores.

Na linha 2 e 3 (Figura 2 D, E, F, G, H e I) tem-se as rodadas do modelo Eta configurado com a versão KF, onde foi acumulado a precipitação entre 48h72h (Figura 2 D), E e F) e 24h48h (Figura 2 G, H e I) de antecedência do evento. Na linha 4 e 5 (Figura 2 J, K, L, M, N e O) tem-se as rodadas do modelo Eta configurado com a versão KFMX, onde foi acumulado a precipitação entre 48h72h (Figura 2 J, K e L) e 24h48h (Figura 2 M, N e O) de antecedência do evento.

Para o dia 27/12/2008 (Figura 2 – coluna 1), nota-se que todas as simulações do modelo Eta conseguiram detectar a presença e a localização da faixa de precipitação, porém tanto KF (Figura 2 D e G) quanto KFMX (Figura 2 J e M) apresentaram chuvas mais intensas em relação ao CMORPH, principalmente sobre o estado de Minas Gerais. KF foi o esquema que mais superestimou as chuvas em relação ao CMORPH.

Nos dias posteriores (28 e 29), não foi observado superestimativas ou subestimativas expressivas nas simulações em relação ao CMORPH. Tanto KF quanto KFMX representaram o padrão de chuvas com relação a forma, posição e intensidade quando comparados ao CMORPH.

Entre KF e KFMX as diferenças visuais são notáveis, porém são pequenas para determinar qual versão se destaca para representar as chuvas neste caso. Uma avaliação quantitativa e qualitativa pode ser vista nos próximos parágrafos para uma melhor avaliação das versões.

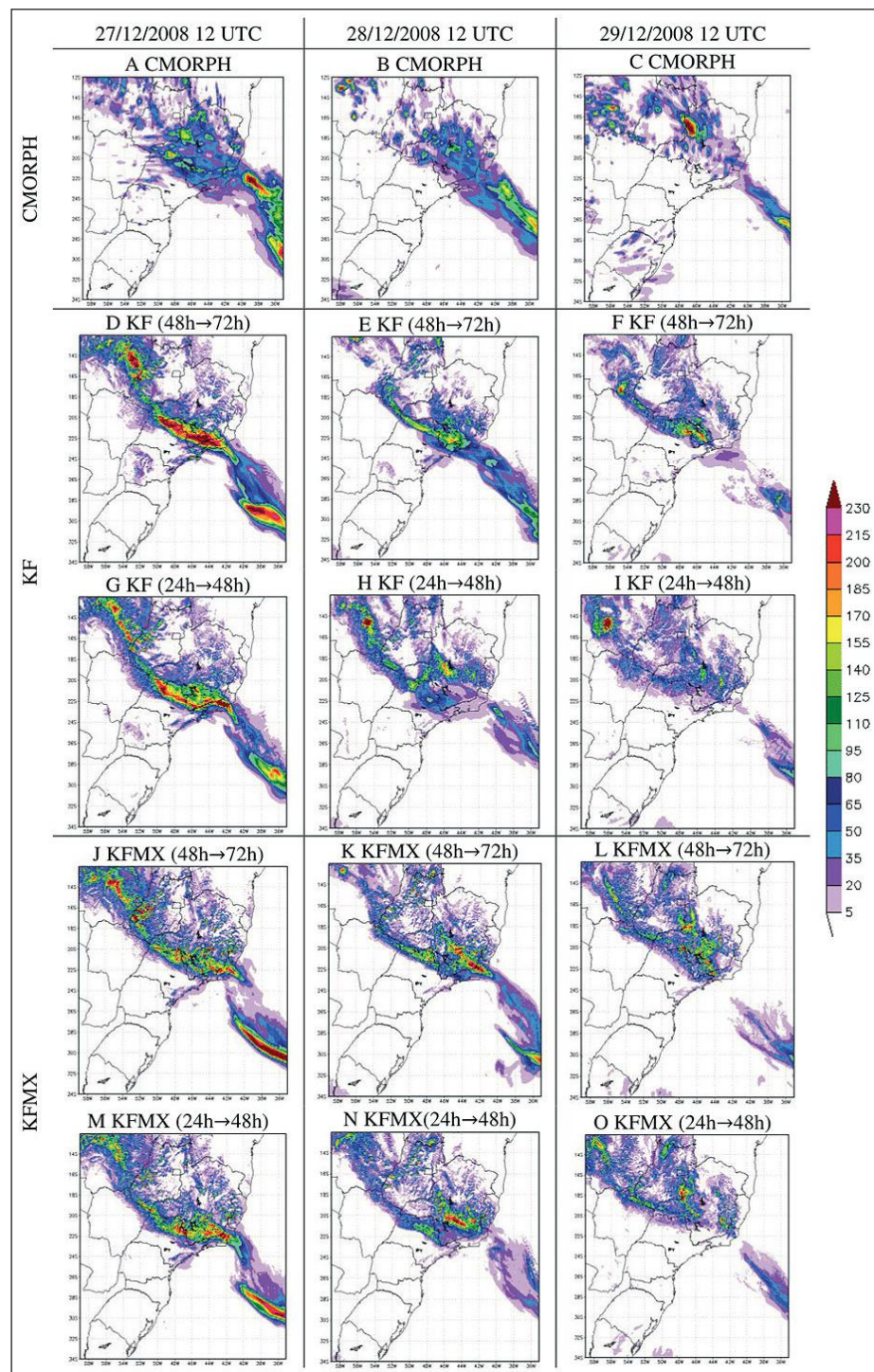


Figura 2 Acumulado de precipitação (mm/24h) para os dias de maiores picos de chuva no sudeste do Brasil. A, B e C se referem aos dados do CMORPH; D, E, F, G, H e I se referem às simulações com KF; J, K, L, M, N e O se referem às simulações com KFMX.

O índice de desempenho ETS foi calculado para todo o período do evento (17/12/2008 até 03/01/2009) considerando todo o domínio do modelo Eta (selecionando os pontos de grade por latitude e longitude em relação aos dados do CMORPH).

Os resultados do ETS podem ser vistos na Figura 2. Nota-se que tanto nos acumulados de precipitação entre 48 e 72 horas (Figura 2 A) quanto entre 24 e 48 horas (Figura 2 B), o esquema com TMC (KFMX) representou melhor os limiares de precipitação leve e moderada (entre 0,3 mm e 25,4 mm) em relação a versão que não inclui o TMC (KF). Para limiares de precipitações mais intensas, as versões do Kain-Fritsch convergiram nos resultados.

O BIAS apresenta uma avaliação quantitativa das simulações. Quando o BIAS é menor que 1 in-

dica que houve subestimativa, quando maior que 1 indica que houve superestimativa. Pelo BIAS (Figura 4) é possível notar que, tanto com acumulados de chuva entre 48 e 72 horas (Figura 4 A) quanto com acumulados de chuva entre 24 e 48 horas (Figura 4 B), houve subestimativa dos limiares considerando todo o período de simulação do estudo de caso.

Nota-se que a versão KFMX subestimou menos em relação ao KF, ou seja, o esquema KFMX detectou melhor a frequência de ocorrência dos eventos de chuva em relação ao esquema sem TMC. Portanto, além de apresentar melhorias com relação à representação das chuvas leves e moderadas (visto pelo ETS – Figura 3), o esquema KFMX também apresentou melhor resultado com relação ao BIAS, produzindo menos subestimativas em relação a KF.

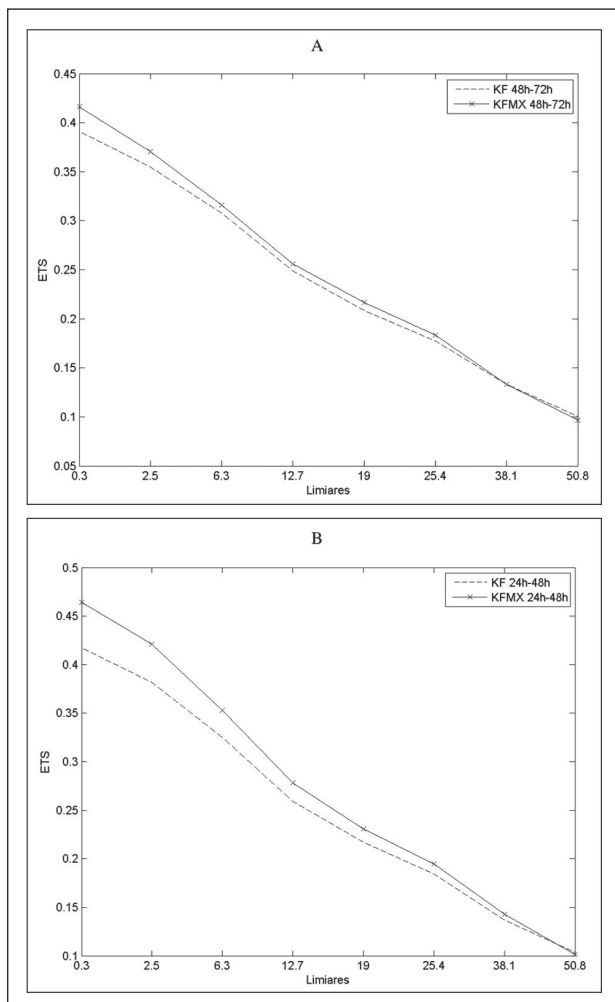


Figura 3 Índice ETS para as simulações de precipitação referentes ao período do estudo de caso. A Acumulado de chuva (mm/24h) entre 48h e 72h de simulação; B Acumulado de chuva (mm/24h) entre 24h e 48h de simulação.

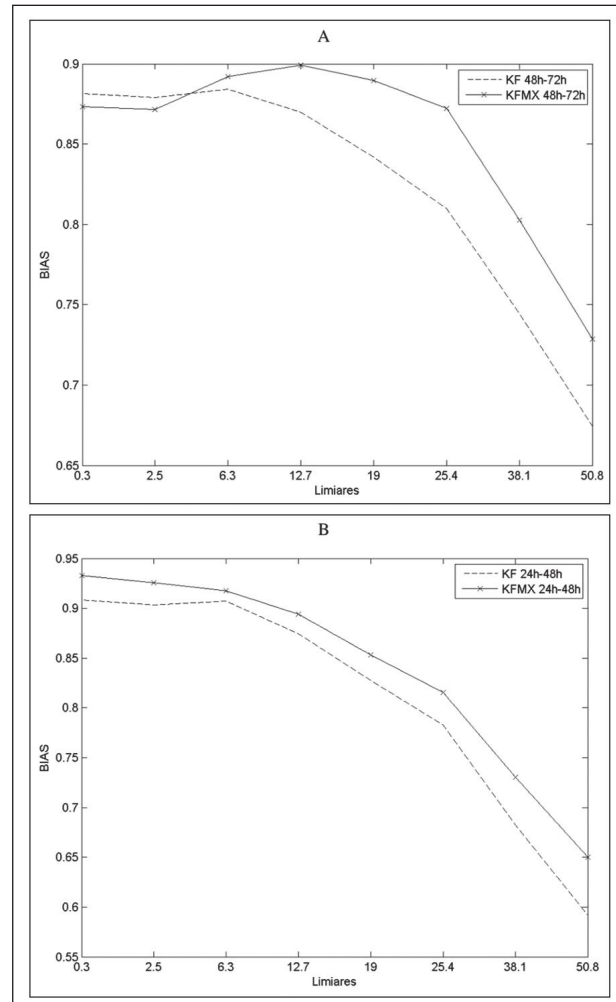


Figura 4 BIAS para as simulações de precipitação referentes ao período do estudo de caso. A Acumulado de chuva (mm/24h) entre 48h e 72h de simulação; B Acumulado de chuva (mm/24h) entre 24h e 48h de simulação.

A convecção profunda produz convergência, divergência e subsidência no ambiente, tais efeitos alteram a circulação de grande escala. A inserção do TMC no esquema de convecção Kain-Fritsch modifica a circulação da grade resolvida do modelo. Faz-se necessário avaliar essas contribuições do TMC.

A Figura 5 mostra a evolução temporal da seção vertical da magnitude horizontal do vento para as reanálises CFSR e ERA-Interim. A região de extração dos dados pode ser vista na Figura 6 que representa a média do vento em uma região de atividade convectiva. Notam-se, durante o dia 26/12/2008, ventos intensos em altos níveis e fracos em baixos níveis. No dia 27/12/2008, entre às 00 UTC e 12 UTC, houve um enfraquecimento do vento em altos níveis (entre 300 e 200 hPa) e intensificação em médios e baixos níveis (entre 500 e 900 hPa). Após esse período a situação se inverte.

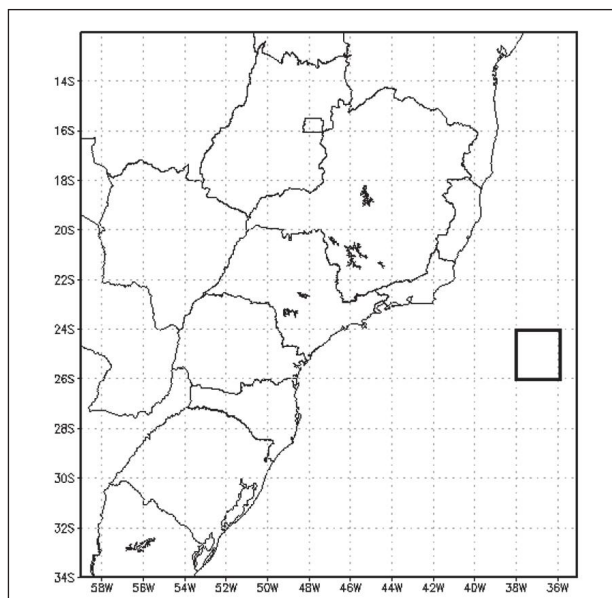


Figura 6 Local de extração dos dados médios do perfil vertical da magnitude do vento do CFSR, ERA-Interim e modelo Eta (quadrado sobre o oceano Atlântico).

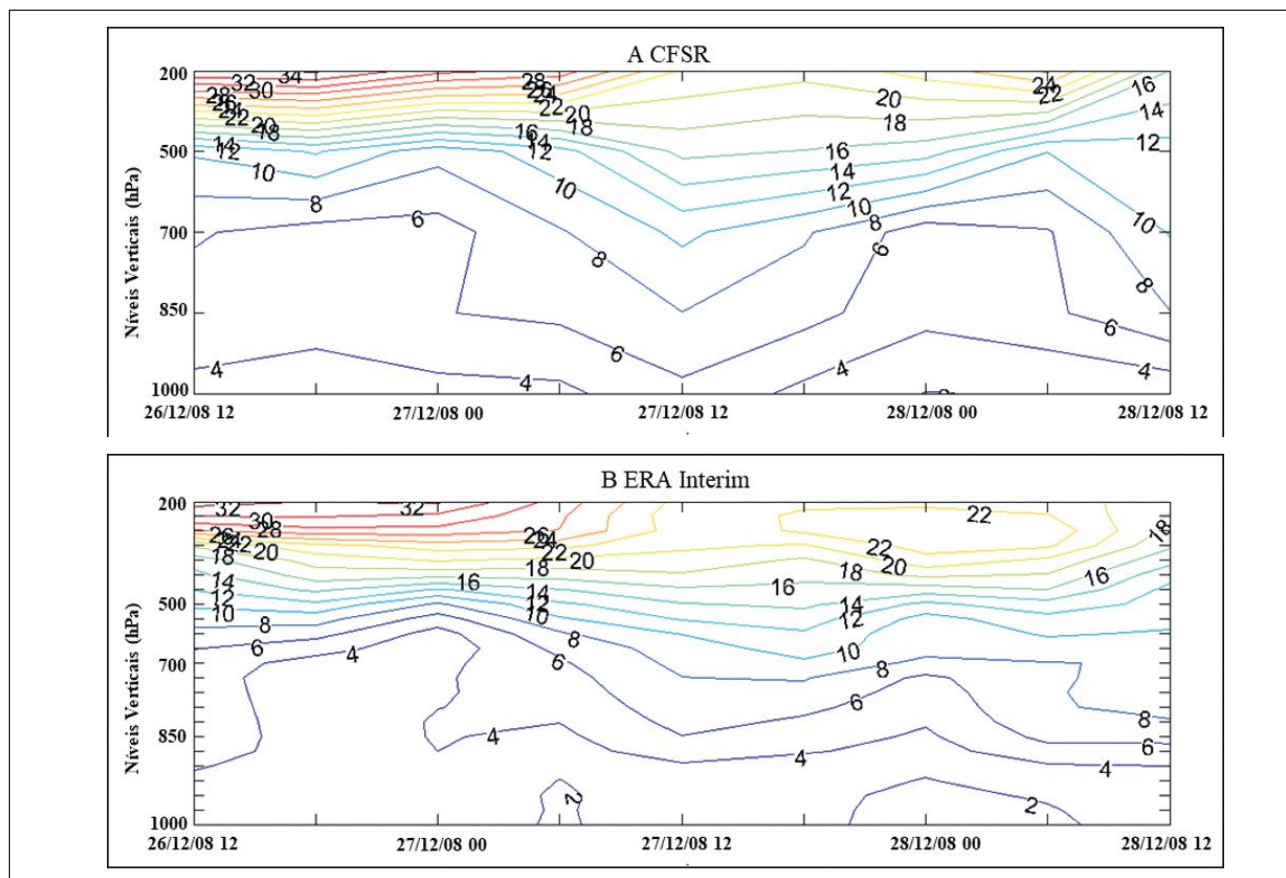


Figura 5 Evolução temporal do perfil do vertical da magnitude do vento numa região de atividade convectiva (ver figura 6). A Reanálise CFSR; B Reanálise ERA-Interim. Período de 26/12/2008 12 UTC até 28/12/2008 12 UTC.

A Figura 7 representa a evolução temporal da seção vertical da magnitude horizontal do vento para as simulações do modelo Eta configurado com a versão KF (Figura 7 A) e KFMX (Figura 7 B). O período analisado é o mesmo da Figura 5.

Comparando a Figura 7 A com a Figura 5, nota-se que a versão KF atrasou o momento do pico máximo da magnitude do vento no dia 27/12/08 (ocorreu por volta das 18 UTC, enquanto as reanálises apresentam um pico às 12 UTC). Além disso, KF apresentou valores superestimados de velocidade do vento no momento do pico de máxima. A versão KFMX gerou um pico máximo de magnitude do vento às 12 UTC do dia 27/12/2008, assim como nas reanálises. A intensificação ocorreu principalmente em médios níveis, assim como na versão KF. Ape-

sar de preliminar, este resultado sugere que o TMC inserido contribuiu para corrigir o momento da ocorrência do pico de magnitude de vento.

4 Conclusões

Duas versões do esquema de parametrização de convecção Kain-Fritsch foram avaliadas em simulações de precipitação e vento no modelo regional Eta. Tanto a versão do Kain-Fritsch sem TMC (KF) quanto a versão com TMC (KFMX) representaram o padrão das chuvas durante um estudo de caso analisado.

Utilizando o Bias, foi constatado que ambas as versões apresentaram subestimativas em relação a precipitação estimada por satélite do CMORPH,

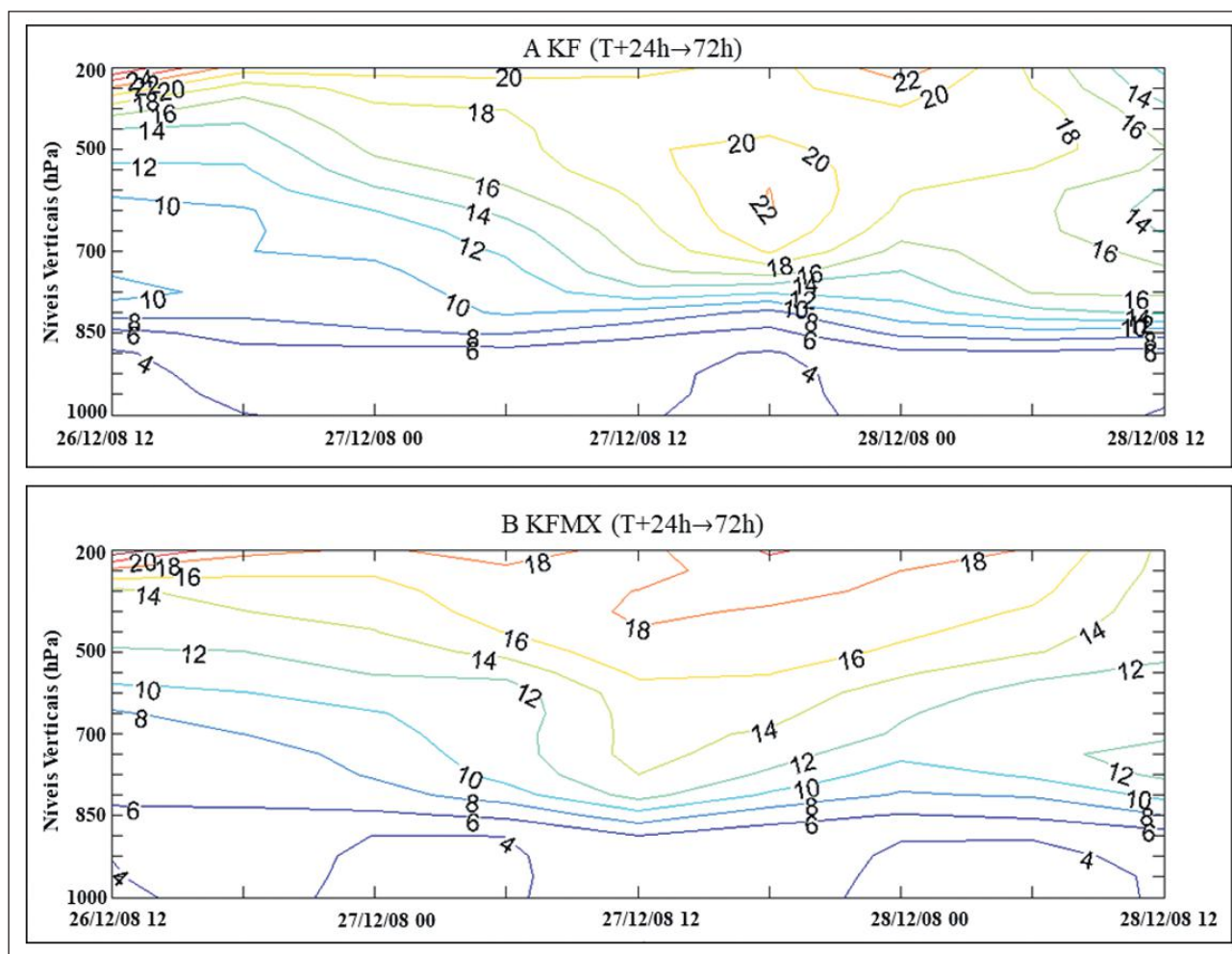


Figura 7 Evolução temporal do perfil do vertical da magnitude do vento numa região de atividade convectiva (ver figura 5). A Versão KF; B Versão KFMX. Modelo iniciado em 25/12/08 às 12 UTC (T+24h→72h).

porém KFMX apresentou menos subestimativa em relação a KF. Analisando a destreza das previsões de precipitação do modelo pelo índice ETS, notou-se que KFMX obteve melhores resultados em relação a KF para precipitações leves e moderadas. Para precipitações intensas, as versões apresentaram resultados similares.

Analisando as simulações do vento, notou-se um atraso na ocorrência do pico de máxima em médios níveis utilizando a versão KF. Além disso, os valores de velocidade do vento durante o pico de máxima foram superestimados durante as simulações do KF. Para a versão KFMX, o momento de ocorrência da máxima foi similar aos dados de reanálise e não houve superestimativas ou subestimativas expressivas.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se considerar realizar novos estudos de casos para a confirmação dos resultados do presente estudo. Sugere-se também a utilização de mais dados de chuva, seja por estimativa de satélite ou por estações meteorológicas.

5 Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, agradeço.

6 Referências

- Arakawa, A. & LAMB, V.R. 1977. *Methods in Computational Physics: Advances in Research and Applications*. New York: Academic Press, 17: 173-265.
- Berrisford, P.; Dee, D.; Fielding, K.; Fuentes, M.; Kallberg, P.; Kobayashi, S. & Uppala, S. 2009. The ERA-Interim Archive. ERA Report Series, *ECMWF: Reading, UK*, n. 1.
- Carvalho, P.R.B. 2007. Inclusão da Perturbação de Momentum no Esquema de Parametrização de Cúmulos Kain-Fritsch e Impactos Sobre um Caso de Chuva Convectiva. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, 106 p. (INPE-15145-TDI/1277). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.
- Chen, F.; Janjic, Z. & Mitchell, K. 1997. Impact of atmospheric surface-layer parameterizations in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta Model. *Boundary-Layer Meteorology*, 85: 391-421.
- Cheng, A. & Xu, K.M. 2014. An explicit representation of vertical momentum transport in a multiscale modeling framework through its 2-D cloud-resolving model component. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119: 2356–2374. doi:10.1002/2013JD021078.
- Ferrier, B.S.; Jin, Y.; Lin, Y.; Black, T.; Rogers, E. & Dimego, G. 2002. Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta Model. In: *Conf. on Numerical Weather Prediction*, 15, San Antonio, TX. p. 280-283.
- Han, J. & Pan, H.L. 2006. Sensitivity of Hurricane Intensity Forecast to Convective Momentum Transport Parameterization. *Monthly Weather Review*, 134: 664-674.
- Janjic, Z.I. 1994. The step-mountain Eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122(5): 927-945.
- Kain, J.S. & Fritsch, J.M. 1990. A One-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *Journal of the Atmospheric Science*, 47(23): 2784–2802.
- Kain, J.S. & Fritsch, J.M. 1993. Chapter 16 - Convective parameterization for mesoscale models: the Kain-Fritsch scheme, in *meteorological monographs*. American Meteorological Society, 24(46): p. 165-170.
- Mesinger, F. 1984. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 44(1-4): 195-202.
- Mesinger, F. & Black, T.L. 1992. On the Impact on Forecast Accuracy of the Step-Mountain (Eta) vs. Sigma Coordinate. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 50: 47-60.
- Mesinger, F.; Chou, S.C.; Gomes, J.L.; Jovic, D.; Bastos, P.; Bustamante, J.F.; Lazic, L. Lyra, A.A.; Morelli, S.; Ristic, I. & Veljovic, K. 2012. An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 116: 63-79, DOI 10.1007/s00703-012-0182-z.
- Richter, J.H. & Rasch, P.J. 2008. Effects of Convective Momentum Transport on the Atmospheric Circulation in the Community Atmosphere Model, Version 3. *Journal of Climate*, 21: 1487-1499.
- Saha, S.; Moorthi, S.; Pan, H.; Wu, X.; Wang, J.; Nadiga, S.; Tripp, P.; Kistler, R.; Woollen, J.; Behringer, D.; Liu, H.; Stokes, D.; Grumbine, R.; Gayno, G.; Wang, J.; Hou, Y.; Chuang, H.; Juang, H.H.; Sela, J.; Iredell, M.; Treardon, R.; Kleist, D.; Delst, V.P.; Keyser, D.; Derber, J.; Ek, M.; Meng, J.; Wei, H.; Yang, R.; Lord, S.; van den Dool, H.; Kumar, A.; Wang, W.; Long, C.; Chelliah, M.; Xue, Y.; Huang, B.; Schemm, J.; Ebisuzaki, W.; Lin, R.; Xie, P.; Chen, M.; Zhou, S.; Higgins, W.; Zou, C.; Liu, Q.; Chen, Y.; Han, Y.; Cucurull, L.; Reynolds, R.W.; Rutledge, G. & Goldberg, M. 2010. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(8): 1015-1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1.
- Schneider, E.K. & Lindzen, R.S. 1976. A discussion of the parameterization of momentum exchange by cumulus convection. *Journal of the Geophysical Research*, 81(18): 3158–3161.
- Wu, X.; Liang, X.Z. & Zhang, G.J. 2003. Seasonal migration of ITCZ precipitation across the equator: Why can't GCMs simulate it? *Geophysical Research Letters*, 30(15): 12.1-12.4. doi:10.1029/2003GL017198.