

**AVALIAÇÃO DAS PARAMETRIZAÇÕES FÍSICAS DO MODELO WRF PARA UM
EVENTO DE GEADA DURANTE O INVERNO DE 2013 NO SUL DO BRASIL**
**Jeferson P. Machado¹, Mário Quadro¹, Camila de Souza Cardoso², Carlos Araújo³, Gabriel
Luan Rodrigues², Natália Martins Costa¹, Tuanny Steffane Rodrigues² e Lourenço Alves¹**
jefpmac@gmail.com

¹INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
²UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
³EPAGRI/CIRAM

RESUMO

A partir de simulações numéricas realizadas com o modelo WRF para um evento de geada no Sul do Brasil em julho de 2013, foi possível testar diferentes parametrizações físicas e avaliar as que mais se adaptam nestas condições meteorológicas. Apesar dos resultados não apresentarem grandes diferenças estatísticas, o grupo de parametrizações P_02, que utilizou esquemas de Dudhia para onda curta e RRTM para onda longa, foi o que mais se ajustou no evento de geada, visto que apresentou os menores valores de ME e RMSE para a temperatura mínima. É importante ressaltar que as parametrizações ainda devem ser testadas com mais eventos de geada simulados pelo modelo WRF, com o intuito de se obter uma análise estatística mais robusta.

ABSTRACT

Based on numerical simulations performed with the WRF model for a frost event in Southern Brazil in July-2013, it was possible to test different physical parameterizations and evaluate this parameterizations in these weather conditions. Although the results do not show considerable statistical differences, the experiment utilizing the Dudhia and RRTM short and long wave radiation schemes fit in better in the frost event, as it had the lowest values of ME and RMSE for the minimum temperature. A greater number of tests freeze events must be performed with WRF model in order to obtain a more robust statistical analysis.

Palavras chave: Geada, Modelo WRF, Parametrizações físicas.

1) INTRODUÇÃO

Existem fenômenos que não estão ligados a convecção profunda e intensa, mas que podem causar grandes prejuízos econômicos, como as secas, ondas de calor, geadas, etc. Esses fenômenos são considerados como adversos, para indicar que podem não ser de natureza convectiva, mas que são potencialmente perigosos para a população ou para o país (Seluchi, 2009). Conforme Pereira (2001), a ocorrência de geada no Brasil é um fenômeno frequente em latitudes maiores que 19°S atingindo os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Desta forma, a geada é um assunto de muito interesse para meteorologistas ligados a previsão de tempo, que procuram disseminar avisos meteorológicos, alertando a sociedade e principalmente os agricultores, sobre a aproximação sistemas de alta pressão, causadores de temperaturas mínimas

extremas e consequente ocorrência de geadas (Santos et al., 2013).

Conforme Seluchi (2009), devido ao grande desenvolvimento dos sistemas computacionais, a previsão de ocorrência de geada com cinco ou mais dias de antecedência parece um desafio possível. Desta forma, torna-se possível rodar modelos com resolução muito alta, assim como sistema de previsão por conjuntos, tanto regionais como globais. Além disso, este desenvolvimento na modelagem é constante e, conseqüentemente, os modelos estão cada vez melhores, visto que novas parametrizações para os processos físicos de subgrade, incluindo a representação explícita da microfísica de nuvens, a possibilidade de realizar previsões não hidrostáticas na escala convectiva, etc.

Vale ressaltar que poucos trabalhos sobre previsão de geadas e avaliação de modelos atmosféricos para este fim são encontrados na literatura. Neste contexto, pode-se destacar estudos desenvolvidos por Prabha et al. (2007) e Prabha e Hoogenboom (2008), que relatam a utilização de diferentes parametrizações do modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para simulações de eventos de geada, além da aplicação de um índice de previsão deste fenômeno para o Estado da Geórgia nos Estados Unidos.

Testes com diferentes parametrizações para variáveis de superfície do WRF também são encontrados para a região sudeste da América do Sul (Ruiz et al., 2010). Entretanto, os autores utilizaram o modelo com uma resolução horizontal mais baixa (40 km).

Devido à escassez de pesquisas com relação ao aprimoramento da previsão de geada e pelo Brasil ainda ter forte atividade na agricultura e pecuária, é de extrema importância a avaliação de modelos atmosféricos de alta resolução e a aplicação de índices para a previsão deste fenômeno.

Diante do exposto, o objetivo deste projeto será de testar diferentes parametrizações físicas do modelo WRF e avaliar as que mais adaptam em eventos de geada no sul do Brasil.

2) MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a versão 3.6.1 do modelo regional WRF. Conforme descrito por Zepka (2011) e também disponível em (Skamarock et al., 2008), o modelo WRF faz parte de um sistema de modelagem numérica da atmosfera não-hidrostática, totalmente compressível, destinado tanto para fins de pesquisa quanto operacionais, em diferentes escalas espaciais, desde alguns metros até milhares de quilômetros. Ressalta-se que o seu desenvolvimento é contínuo, apresentando atualizações e correções com boa regularidade.

Com relação a sua estrutura, o WRF possui dois núcleos dinâmicos, um sistema de assimilação de dados, e uma arquitetura de software que permite a aplicação da computação paralela para a realização das simulações (Skamarock et al., 2008). As parametrizações são implementadas em módulos separados, organizadas em cinco blocos principais: (i) microfísica de nuvens; (ii) processos convectivos (Cumulus); (iii) trocas e transportes turbulentos na camada limite planetária (CLP); (iv) processos de radiação e (v) interação solo-superfície. Uma descrição mais detalhada sobre os esquemas de parametrizações, bem os diferentes tipos utilizados no modelo WRF podem ser obtidos em (Zepka, 2011) e Bender (2012) e no site que disponibiliza o modelo: http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/users_guide_chap5.htm#_Description_of_Namelist.

Para se obter resultados satisfatórios quanto à previsibilidade de uma tempestade em si, ou qualquer fenômeno adverso de tempo caracterizado por dimensões espacial e temporal muito reduzidas, faz-se necessários dados de entrada de alta qualidade e com altas resoluções temporal e espacial, assim como, alta resolução da grade do modelo, o que é bastante viável em estudos de casos puramente com objetivos de pesquisa (Zepka, 2011). Devido à importância na qualidade dos dados de entrada para o modelo WRF, foi utilizada neste trabalho, a reanálise de alta resolução do ERA-Interim (ERA-Interim) como condições iniciais e de contorno para as simulações numéricas a serem realizadas. Esses dados são produzidos pelo European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF), disponíveis em uma grade com resolução de $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ de latitude por longitude e 37 níveis na vertical para os horários de 00, 06, 12 e 18 UTC (Simmons et al., 2007).

Com base em estudos que mostram diferentes parametrizações para o Hemisfério Norte e para a América do Sul (Prabha et al., 2007; Prabha e Hoogenboom, 2008; Ruiz et al., 2010; Zepka, 2011), foram realizadas três simulações testes com diferentes parametrizações foram rodadas no Cluster do projeto CTINFRA do IFSC (Brasil e Quadro, 2014), a partir da última versão do modelo WRF (versão 3.6.1). O período escolhido foi entre 23 e 25 de julho de 2013 e o modelo foi configurado para três domínios aninhados: 30, 10 e 3 km de resolução horizontal (Figura 1), 19 níveis de resolução vertical, com resultados disponibilizados de 3 em 3 horas e rodado por um período de 66 horas para cada simulação realizada.

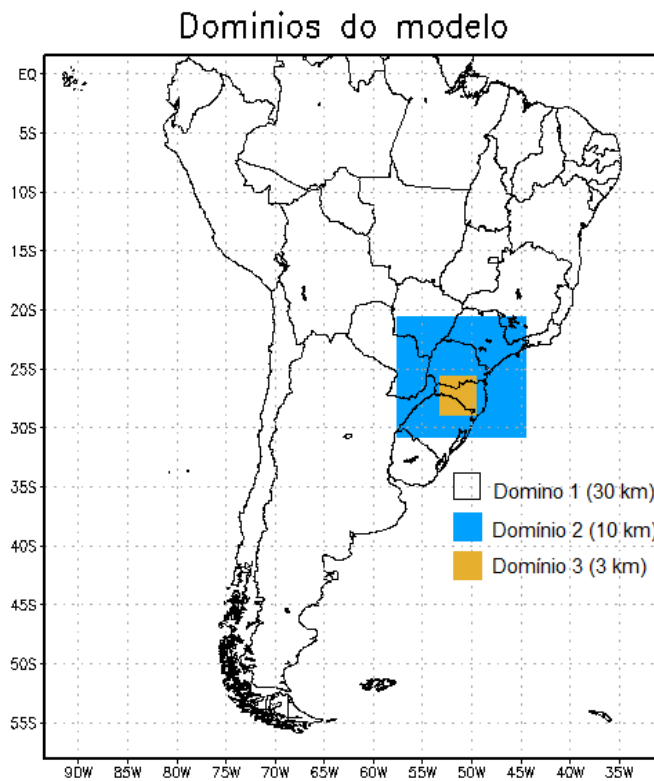


Figura 1: Domínios utilizados no modelo WRF para as três simulações.

Vale ressaltar que no período escolhido um intenso sistema de alta pressão atuou no Sul do Brasil, ocasionando geada de forte intensidade no Rio Grande do Sul (RS), em Santa Catarina (SC) e no Paraná (PR), inclusive com registro de geada negra. A Tabela I mostra as três combinações de

parametrizações utilizadas neste teste, denominadas por P_01, P_02 e P_03. Com relação as parametrizações utilizadas, a Cumulus é resolvida de modo explícito a resolução de 3 km.

Esquema	Microfísica	Cumulus	Camada superficial	Modelo solo-superfície	Camada Limite Planetária	Radiação de onda curta/longa
P_01	New Thompson	Grell-Devenyi	MM5	Noah	YSU	RRTMG/RRTMG
P_02	WSM6	Grell 3D	MM5	Noah	YSU	Dudhia/RRTM
P_03	New Thompson	Grell-Devenyi	ETA	Noah	MYJ	RRTMG/RRTMG

Tabela I: Diferentes esquemas de parametrizações utilizadas nas simulações testes.

Para uma análise dos resultados, foi utilizada a variável de saída do modelo temperatura do ar a 2m (T2m) para cada simulação referente ao domínio 3 (3 km). Essas informações foram extraídas para cada ponto de grade do modelo coincidente com as latitudes e longitudes das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) escolhidas (Bom Jesus, Lagoa Vermelha e Passo Fundo no RS; Campos Novos, Chapecó, Lages e São Joaquim em SC), que são mostradas na Tabela II.

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude
83919	Bom Jesus-RS	-28,67°	-50,43°	1047,5m
83887	Campos Novos-SC	-27,38°	-51,22°	964,23m
83883	Chapecó-SC	-27,09°	-52,64°	679,01m
83891	Lages-SC	-27,80°	-50,34°	936,83m
83916	Lagoa Vermelha-RS	-28,22°	-51,5°	840m
83920	São Joaquim-SC	-28,28°	-49,94°	1415m
83914	Passo Fundo-RS	-28,25°	-52,40°	684,05m

Tabela II. Relação das estações meteorológicas, com suas respectivas coordenadas geográficas.

Deste modo, a avaliação estatística das simulações foi realizada através do cálculo do erro médio (ME em inglês) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE em Inglês) (Equações 1 e 2). Vale ressaltar que em termos estatísticos, a média dos erros individuais ou viés é o primeiro momento da distribuição das diferenças e não traz informação a respeito dos erros individuais. Apesar de fornecer uma ideia da tendência ou erro sistemático, o viés é afetado pelo fato de que erros individuais positivos e negativos de mesma magnitude se cancelam na somatória, o que geralmente leva à subestimação do erro das simulações (Hallak e Filho, 2011). Já o RMSE é comumente usado para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que ele apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada.

$$ME = \sum \frac{(f_i - o_i)}{N} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(f_i - o_i)^2}{N}} \quad (2)$$

Onde f_i são os valores simulados, o_i são os valores observados e N é o número da amostra.

3) RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intenso sistema de alta pressão atuante entre os dias 23 e 25/07 apresentava potencial para formação de geada forte, em função dos baixos valores de t2m simulados (Figuras 2a,b,c). É importante destacar que o ar frio avançou para latitudes mais baixas da América do Sul. Essas incursões de massas polares até baixas latitudes são localmente conhecidas como friagem (Seluchi, 2009). O campo de pressão ao nível médio do mar (Figuras 2d,e,f) mostra a atuação deste intenso sistema de alta pressão, com valores próximos de 1030 hPa, durante os três dias, ratificando o potencial para geada neste período. As linhas de corrente em 200 hPa (Figuras 2g,h,i) mostram a atuação dos jatos subtropical e polar. É possível notar que o jato polar norte contribuiu para o frio intenso, visto que estava localizado entre o norte do RS e o Paraná (PR), principalmente nos dias 23 e 24/07 (Figuras 2g,h).

Através da Figura 3 é possível observar os valores de temperatura do ar simulados pelo WRF e os valores registrados em cada estação convencional do INMET. Fica evidente que o modelo conseguiu simular valores de t2m próximos aos valores observados. Entretanto, é possível perceber que também existem diferenças entre os valores de t2m simulados para P_01, P_02 e P_03 e as observações. Ao analisar somente os resultados das simulações, o conjunto de parametrizações P_02 subestima a t2m, quando comparado com P_01 e P_03, principalmente em relação aos valores de temperatura mínima. Essas diferenças são maiores nas estações com maior altitude (Campos Novos, Lages, São Joaquim e Bom Jesus) para a madrugada e manhã do dia 24/07 (entre 27 e 33 horas de simulação).

Uma análise estatística é mostrada a seguir para uma melhor interpretação dos resultados obtidos com as simulações quando comparadas com os valores observados. Desta forma, os resultados do ME e do RMSE são mostrados para cada localidade e de forma geral na Tabela III. De um modo geral, o ME indica que as simulações P_01 e P_03 superestimam os valores de t2m em relação as observações, enquanto P_02 apresentou valor de EM próximo a 0, tanto para a série temporal como para os valores de temperatura mínima somente. Prabha e Hoogenboom (2008) utilizaram diferentes parametrizações para simular a temperatura do ar com o modelo WRF no sudeste dos Estados Unidos e destacaram que em todas as situações testadas os resultados também indicaram uma tendência de superestimativa. Como mostrado anteriormente o ME não é suficiente para a análise estatística, visto que ele não indica a magnitude dos erros. Para isto usa-se o RMSE.

Deste modo, a Tabela III mostra que o valor de RMSE foi o mesmo quando analisado para todas as localidades. Por outro lado, o valor do RMSE, considerando somente a temperatura mínima, foi menor para o grupo de parametrizações P_02 e maior para o grupo P_01. Apesar das diferenças estatísticas não serem muito significativas, os resultados indicam que o grupo de parametrizações P_02 foi o que mais se ajustou neste evento de geada no Sul do Brasil, visto que apresentou os menores valores de ME e RMSE, principalmente ao simular a temperatura mínima, a qual é uma variável de extrema importância na estimativa de geada.

Os resultados obtidos podem indicar uma influência da parametrização para radiação de onda curta e longa. É importante destacar que Ruiz et al. (2010) utilizaram a versão 2.0 do WRF com várias combinações de parametrizações na região sudeste da América do Sul, mas com as seguintes parametrizações fixas: Dudhia para radiação de onda curta e RRTM para radiação de onda longa. Os autores relatam que os melhores resultados com relação aos valores de temperatura do ar a 2m foram obtidos com a parametrização YSU para a CLP e Noah para modelo solo-superfície, formando um grupo semelhante ao P_02 mostrado neste trabalho.

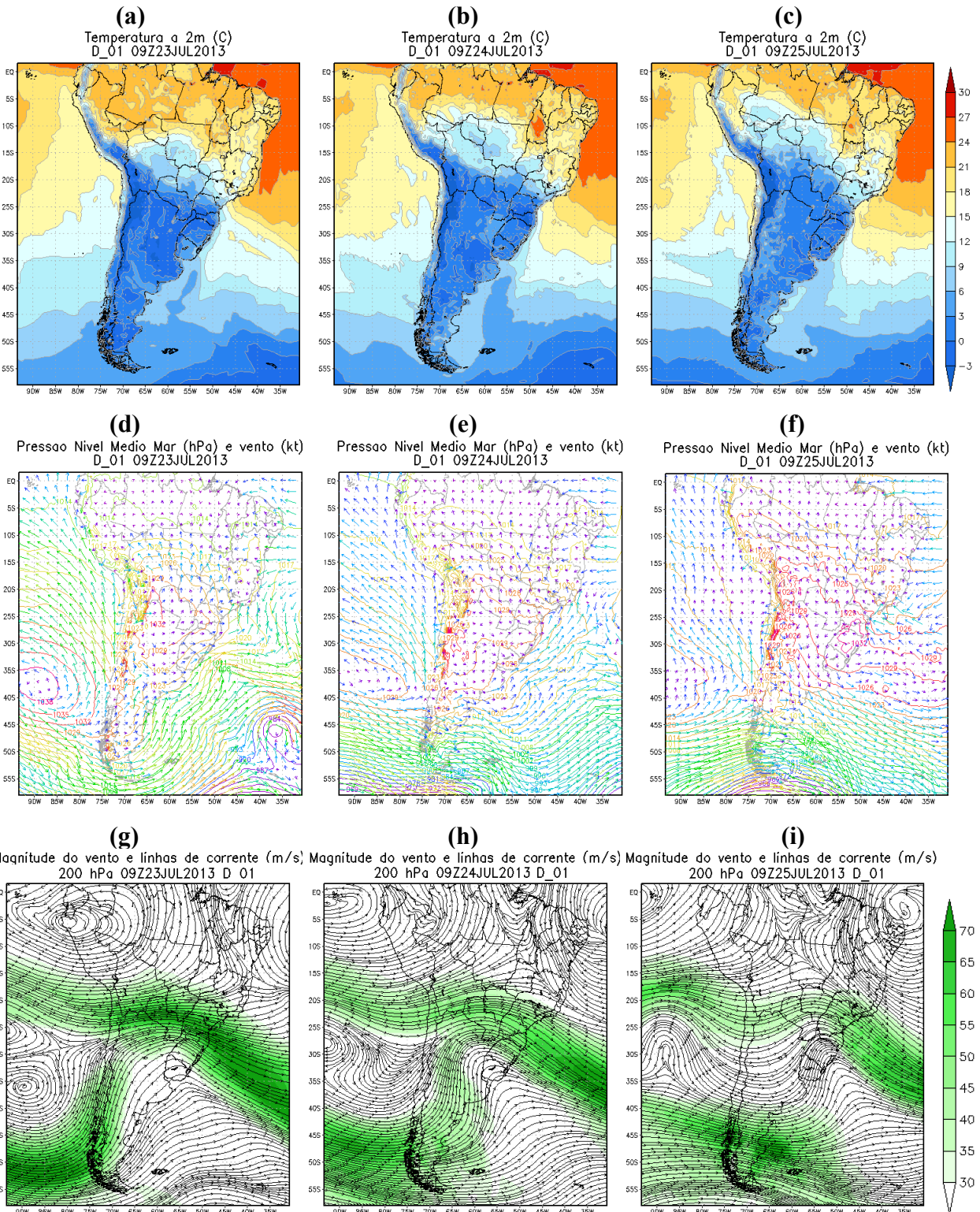


Figura 2: Temperatura do ar a 2m (°C), pressão ao nível médio do mar (hPa) e linhas de corrente em 200 hPa (m/s) simulados pelo domínio 1 do modelo WRF para as 09Z dos dias 23, 24 e 25/07/2013.

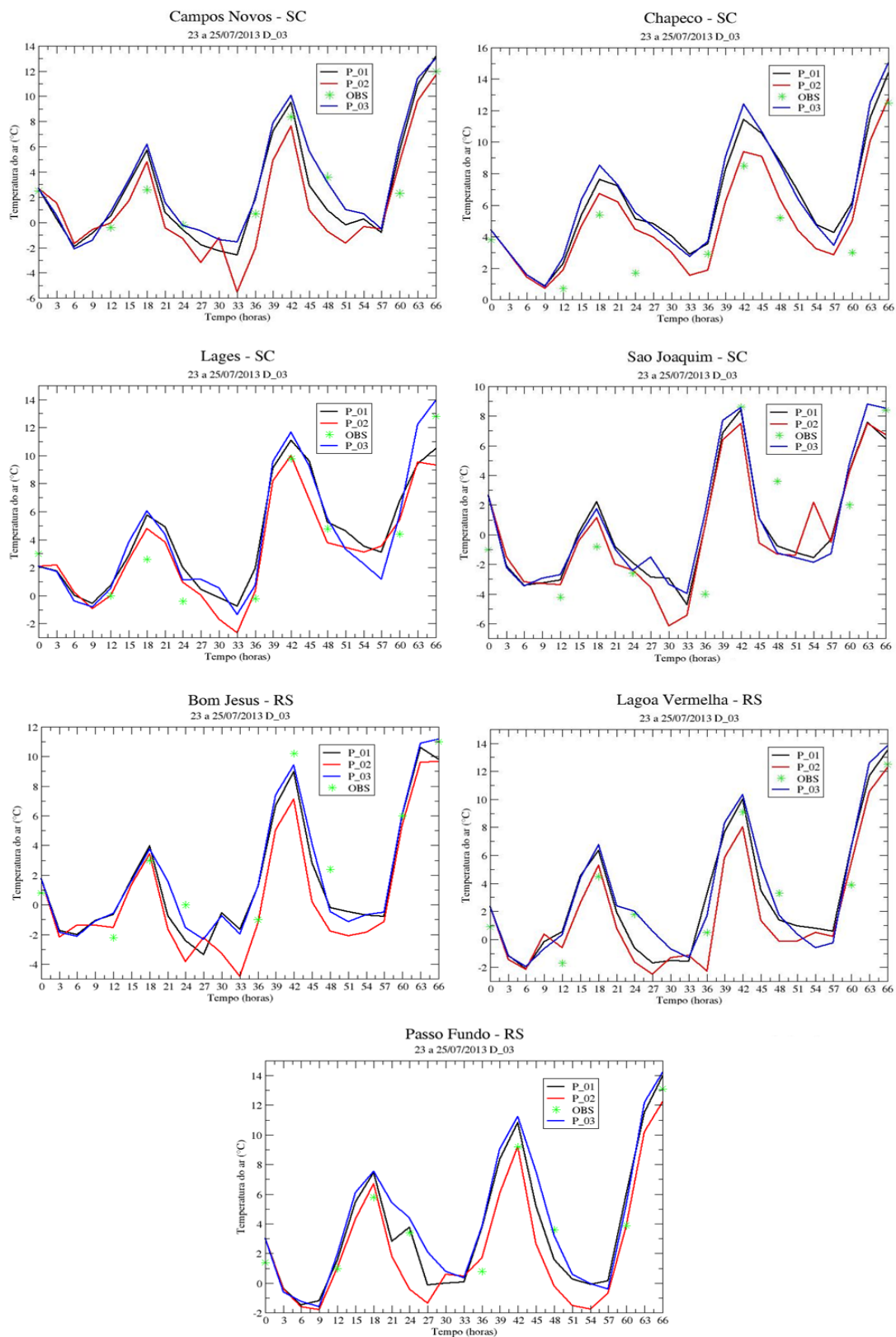


Figura 3: Comportamento da temperatura do ar a 2 m (°C) para diferentes parametrizações.

Estação	ME (°C)			RMSE (°C)		
	P_01	P_02	P_03	P_01	P_02	P_03
Campos Novos	0,9	-0,5	1,4	1,9	2,1	2,0
Chapecó	2,2	1,0	2,5	2,5	1,4	2,8
Lages	1,0	-0,1	1,2	1,9	1,5	1,6
São Joaquim	1,0	0,6	1,3	2,9	2,8	3,1
Bom Jesus	-0,2	-1,3	0,1	1,7	2,3	1,5
Lagoa Vermelha	1,0	-0,7	1,2	2,0	2,1	1,7
Passo Fundo	1,1	-0,6	1,4	1,7	1,9	1,6
Geral	1,0	-0,2	1,3	2,1	2,1	2,1
Geral (Tmínima)	1,2	0,4	1,1	1,9	1,6	1,7

Tabela III: Valores do ME e RMSE obtidos para as diferentes parametrizações do WRF. Geral refere-se a todas as observações disponíveis e Geral (Tmínima) leva em conta apenas as observações da temperatura mínima no cálculo do ME e RMSE.

4) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados ainda são preliminares, sendo necessário realizar simulações com mais estudos de caso com eventos de geada e comparar com dados de estações automáticas para obter uma análise estatística mais robusta. Além disso, será importante testar o comportamento de outras variáveis como, umidade relativa e velocidade do vento. Por fim, diferentes testes devem ser realizados para analisar a influência das parametrizações de radiação do modelo WRF em eventos de geada, visto que ela mostrou-se bastante sensível às simulações realizadas neste trabalho.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro através do projeto Encomendas MCT/FINEP-COIAM – REDE CLIMASUL e ao Projeto CT-INFRA (processo 04.12.0270.00) pela estrutura disponibilizada para a realização das simulações numéricas.

REFERÊNCIAS

- Bender, F. D., 2012:** Verificação da previsão de tempo em São Paulo com o modelo operacional WRF. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), USP.
- Brasil, G. S., Quadro, M. F. L., 2014:** O uso da computação paralela para potencializar o rendimento dos processadores no processamento do modelo de previsão numérica WRF. Revista Científica Semana Acadêmica, v. 1, p. 1-17, 2014.
- Hallak, R. e Pereira Filho, A. J., 2011:** Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. Revista Brasileira de Meteorologia, 26, 4, 591-608.
- Pereira, A. R., Angelocci, L. R. e Sentelhas, P. C., 2001:** Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba-RS: Agropecuária Guaíba. 478p.

Prabha, T. V., Hoogenboom, G. e Gopalakrishnan S.G., 2007: Evaluation of WRF for frost warning and consequences of cold air pooling, Eighth WRF Users' Workshop, June 11–15, 2007, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2007/presentation/posters/p1-21Prabhakaranposter.pdf>).

Prabha, T. V. e Hoogenboom, G., 2008: Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events. *Computers and electronics in agriculture*, 64, 234–247.

Ruiz, J. J. e Saulo, S., 2010: WRF Model Sensitivity to Choice of Parameterization over South America: Validation against Surface Variables. *Monthly Weather Review*, 138, 3342–3351.

Santos, A. P., Gonçalves, J. P., Ferreira, A. S. e Santos, S. R. Q., 2013: Previsão de geada para a Região Sul do Brasil: Uma avaliação do Modelo ETA 15 km durante o Outono de 2012. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 100-109.

Seluchi, M. E., 2009: Geadas e friagens. In: Cavalcanti, I. F. A., Ferreira, N. J., Dias, M. A. F., Justi, M. G. A. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. ed. São Paulo: Oficina de textos, 1, 375-384.

Simmons, A., Uppala, C., Dee, D. e Kobayashi, S., 2007: ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter*, 110, 25-35.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. - Y., Wang, W., Powers, J. G. A., 2008: Description of the Advanced Research WRF Version 3. National Center for Atmospheric Research (NCAR). Boulder, Colorado (EUA).

Zepka, G. S., 2011: Previsão de descargas atmosféricas usando o modelo de mesoescala WRF. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial), INPE.