

ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

## Sistema numérico-operacional de previsão de tempo para a região Sul de Minas Gerais: comparação com dados observados

[1]Bruno de Campos, [2]Vanessa S. B. Carvalho, [3]Michelle S. Reboita

[1]Bacharel em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI – Itajubá, MG – autor correspondente: [1]bcampos.f90@gmail.com

[2,3]Docente do Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI – Itajubá, MG – [2]vanessa.silveira@gmail.com, [3]mireboita@gmail.com

Artigo recebido em 07/04/2016 e aceito em 02/08/2016

## RESUMO

Este trabalho apresenta as especificações técnicas, rotinas de operação e a validação de resultados preliminares do Sistema Numérico-Operacional de Previsão de Tempo do Sul de Minas Gerais (SiNOPT). Os resultados obtidos a partir das rodadas operacionais diárias foram comparados com dados de observação de diversas estações meteorológicas do Sul de Minas Gerais em janeiro de 2015. Os resultados indicam boa performance das simulações para a temperatura do ar e umidade relativa do ar a 2 metros de altura, uma vez que os valores de correlação podem chegar a 0,95 nas previsões diárias para 72 horas. Os resultados da precipitação acumulada mensal também foram satisfatórios, com erros em torno de 15% para todas as regiões analisadas. Um caso de atuação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) foi investigado no período. O modelo foi hábil em simular condições termodinâmicas coerentes com a ocorrência de precipitação observada, porém a variável precipitação não foi bem resolvida pelo modelo. Pode-se concluir que o SiNOPT é eficiente e cumpre seu papel como ferramenta operacional para auxiliar os previsores de tempo local e também como fonte de informação meteorológica à comunidade em geral.

Palavras-chaves: modelagem numérica, WRF, previsão numérica do tempo.

## The numeric-operational weather forecast system for the southern region of the Minas Gerais state: comparisons with observed data

## ABSTRACT

This project aims to present the technical features, operational routines and validation of the preliminary results from the Numeric-Operational Weather Forecast System for the Southern Region of the Minas Gerais State (SiNOPT). The outputs from the operational daily runs were compared to observational data from several weather stations located at the South of the Minas Gerais State, during January 2015. The results evince a good quality in the simulations for air temperature (T2) and relative humidity (RH2) at 2 meters height, once the correlation coefficients can reach up to 0.95 in the daily forecasts with 72 hours of analysis. The results for accumulated monthly precipitation were also very satisfactory, with small errors for all evaluated sites, around 15%. Furthermore, a specific case of the performance of the Humidity Convergence Zone (ZCOU) was investigated in the period. According to the thermodynamic and mesoscale conditions of the atmosphere in the runs, it can be inferred the occurrence of rainfall particularly when the precipitation amounts were not precisely solved in the model. Thus, it can be concluded that the SiNOPT is effective and fulfils its role as an operational auxiliary tool to local forecasters and also as a source of meteorological information to the community in general.

Keywords: numerical modelling, WRF, numerical weather prediction.

## Introdução

Os avanços computacionais vêm contribuindo para a evolução da previsão numérica de tempo (PNT) através do aumento da capacidade de processamento, melhorias na representação de processos atmosféricos de pequena escala, uso de

métodos mais acurados de assimilação de dados e o advento dos satélites (Kalnay, 2002). Entretanto, a PNT ainda encontra obstáculos como a falta de: (a) equacionamento para alguns fenômenos físicos, (b) maior rede de assimilação de dados e (c) condições iniciais mais acuradas (Lynch, 2008).

Além disso, há limitações quanto aos métodos numéricos utilizados nas integrações bem como a capacidade computacional na implementação de métodos numéricos mais eficientes e fisicamente mais realistas. Tais desafios são fundamentais para previsões de curto e médio prazo que auxiliem o processo de tomada de decisões de forma mais confiável (Murphy, 1993).

Atualmente, o Weather Research and Forecasting (WRF; Skamarock et al., 2008) é um modelo de PNT que tem sido empregado tanto para estudos de caso quanto para a previsão operacional de tempo. Esse modelo é mantido principalmente pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) e pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA) e conta com o auxílio técnico-científico de outras instituições.

Dentre suas inúmeras aplicações, o WRF foi utilizado em estudos dos fluxos de calor sensível e latente durante o desenvolvimento de ciclones extratropicais do tipo Shapiro-Keyser na costa brasileira (Gozzo e Rocha, 2009) e em estudos de sensibilidade numérica a configurações físicas e dinâmicas na simulação do ciclone subtropical "Anita" (Abreu e Rocha, 2015). Powers (2007) utilizou o WRF em eventos de condições de vento extremo na Antártica com grande melhoria nos resultados através da assimilação de dados e downscaling numérico na região. Utilizando o WRF para estudos de energia eólica, Carvalho et al. (2012) apontam que melhorias efetivas podem ser alcançadas através de testes conjuntos de parametrizações físicas e dinâmicas juntamente com a aplicação de dados de terreno com resoluções mais refinadas. Para Mölders (2008), o WRF foi eficiente em simular condições meteorológicas que contribuem para eventos de incêndios florestais no Alaska, bem como a variabilidade temporal dos mesmos.

O WRF também foi testado para análises de precipitação extrema em eventos de inundações com resolução de 15 km na região de Alberta (Canadá), onde os testes indicam que os métodos de parametrização cumulus de Kain-Fritsch e resolução explítica foram os mais acurados nas análises; os autores também obtiveram totais de precipitação mais realistas ao aumentar a resolução horizontal para 6 km (Pennelly et al., 2014). Ruiz et al. (2010) utilizaram diferentes configurações do WRF para avaliar seu desempenho em comparação com variáveis observadas em superfície na América do Sul. O estudo conclui que erros locais estão intimamente relacionados com circulações regionais e também sugerem que a melhoria da performance dos modelos requer não somente parametrizações mais complexas mas, também, modelos regionais mais realistas.

Vários autores testaram o WRF com diferentes resoluções horizontais, verticais e conjuntos de combinações de parametrizações físicas, com o intuito de se obter uma configuração mais apropriada para suas regiões de estudo (Jankov et al., 2005; Case et al., 2008; Hu et al., 2010; Mass et al., 2002; Shrivastava et al., 2014). metodologia permite uma representação das características locais visto que, juntamente com o aumento da resolução horizontal, resultados conduzem os desenvolvimento das circulações de mesoescala que são essencias para previsões de tempo mais precisas.

Embora os grandes centros de pesquisa do Brasil estejam sempre melhorando a qualidade da previsão de tempo, a tarefa não é simples uma vez que o país cobre uma grande área continental e possui características peculiares em cada uma delas. Assim, o desenvolvimento de circulações de mesoescala (circulação de vale-montanha e de brisa marítima/terrestre) e de sistemas convectivos locais nem sempre são previstos adequadamente pelos modelos de tais centros.

Nesse contexto, a região sul de Minas Gerais, que é uma região com topografia complexa e de transição dos regimes tropical-extratropical, é com frequência afetada por eventos que produzem elevados totais de precipitação. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é mostrar as especificações técnicas do Sistema Numérico-Operacional de Previsão de Tempo do Sul de Minas Gerais (SiNOPT), implementado nas dependências do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá e avaliar os resultados obtidos das simulações para o mês de janeiro do ano 2015, realizando também uma análise mais detalhada de eventos específicos no período proposto.

#### Material e métodos

Simulações com o WRF

O modelo WRF (com núcleo numérico ARW, Skamarock et al., 2008) utiliza equações não-hidrostáticas eulerianas, totalmente compressíveis e conservativas para variáveis escalares. As coordenadas verticais seguem a altura do terreno em coordenadas sigma, com opção para estiramento vertical, com o topo do modelo com pressão constante. Já a grade horizontal segue o método de escalonamento de Arakawa-C. A integração temporal é baseada no esquema de divisão de passo de tempo (time-split), segundo o método de Runge-Kutta de 2ª ou 3ª ordem, com passos de tempo menores para ondas acústicas e de gravidade. Também é utilizado o termo completo de Coriolis e com suporte para relaxamento Newtoniano (*nudging*) direto. Além disso, o WRF suporta simulações de altíssima resolução (< 1 km) e possui um conjunto robusto de parametrizações e opções de microfísica, convecção cúmulos, de superfície, camada limite planetária, radiação, etc.

## Fluxo de operação

O SiNOPT é inicializado automaticamente às 00 UTC, diariamente. O fluxo de operação do sistema segue as seguintes etapas:

Download de dados do Global Forecast System (GFS; NCEP, 2015) com 0,5° de resolução horizontal para geração de condições iniciais e de fronteira do modelo.

Pré-processamento dos dados de entrada: leitura dos dados do GFS, interpolação com as informações de terreno da região simulada e processamento dos campos meteorológicos necessários para a inicialização.

Inicialização do modelo WRF: leitura das condições iniciais e início das integrações. As simulações operacionais são efetuadas para 96

horas no futuro, com 72 horas de análise em cada rodada, pois as primeiras 24 horas são descartadas para evitar erros de *spin-up* numérico do modelo (Skamarock, 2004). Ou seja, o dia da simulação é descartado e a rodada passa a ser válida a partir do dia seguinte. Os dados de saída possuem frequência horária.

Pós-processamento: geração dos campos meteorológicos relevantes para a previsão de tempo e, consequentemente, auxiliares para os previsores.

Cópias de segurança: os dados de saída são armazenados em um local seguro e o ambiente é preparado para a execução no próximo dia.

## Configuração do modelo

O modelo WRF foi configurado com três grades aninhadas centradas sobre o sul de Minas Gerais conforme a Figura 1. As coordenadas centrais referem-se ao município de Itajubá, MG. A configuração física do modelo e as parametrizações utilizadas estão listadas na Tabela 1.

## GRADE SINOPT

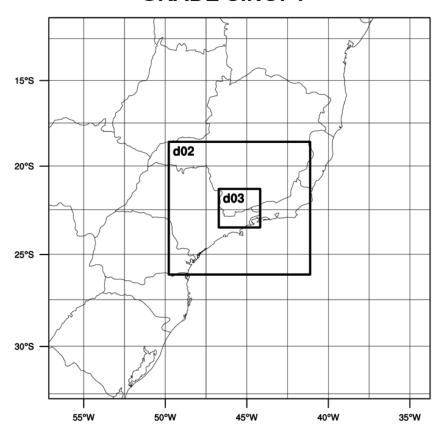


Figura 1. Configuração de grade do WRF.

Tabela 1. Configuração do modelo e parametrizações físicas.

parâmetro	grade 1	grade 2	grade 3		
pontos na direção x	125	100	88		
pontos na direção y	125	94	82		
pontos na direção z	38	38	38		
resolução horizontal	27 km	9 km	3 km		
passo de tempo	75s	8,3s			
latitude central	-22.414				
longitude central	-45.452				
microfísica	WSM3				
cúmulos	Grell-Freitas (d01, d02)				
camada limite planetária	YSU				
superfície	Monin-Obukhov				
onda curta	Dudhia				
onda longa	RRTM				
onda longa	RRTM				

### Avaliação de dados obtidos

Primeiramente, foram obtidas as saídas diárias das rodadas na grade de maior resolução (grade de 3 km de resolução) para o mês de janeiro de 2015, do primeiro, segundo e terceiro dia de análise de cada rodada. Para a validação das séries temporais simuladas foram obtidos os dados horários das estações meteorológicas automáticas do INMET localizadas em Poços de Caldas (21,91°S; 46,38°W), Varginha (21,56°S; 45,40°W) e Maria da Fé (22,31°S; 45,37°W), além dos dados horários da estação automática da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) (22,41°S; 45,45°W) para o período de 3 a 31 de janeiro de 2015. As variáveis selecionadas para comparação foram precipitação (PCP), temperatura do ar a 2 metros (T2) e umidade relativa do ar a 2 metros (UR2). São apresentadas as séries temporais das médias diárias (T2 e UR2), precipitação diária acumulada e um resumo dos dados, para as quatro localidades, através *boxplots*. A precipitação simulada e observada também foi acumulada mensalmente para o cálculo da porcentagem do erro simulado em relação ao observado.

Para a análise estatística e comparativa entre as séries temporais observadas e simuladas, empregaram-se: o desvio-padrão  $(\sigma)$ , erro médio (EM), raiz do erro médio quadrático (RMSE), correlação de Pearson  $(\rho)$ , índice de concordância (d; Willmot, 1981) e teste *skill* (Pielke, 2002), conforme equações apresentadas na Tabela 2, onde (y) refere-se aos parâmetros da simulação e (o) aos parâmetros observados.

Tabela 2. Equações estatísticas utilizadas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \qquad \qquad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - o_i)^2}$$
 
$$\rho = \frac{\sum [(y_i - \bar{y})(o_i - \bar{o})]}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum (o_i - \bar{o})^2}} \qquad d = 1 - \frac{\sum (y_i - o_i)^2}{\sum (|y_i - \bar{o}| - |o_i - \bar{o}|)^2}$$
 
$$\text{EM} = \frac{\sum y_i - o_i}{n} \qquad \qquad \text{RMSE}_{UB} = \sqrt{\sum [(y_i - \bar{y}) - (o_i - \bar{o})]^2}$$
 
$$\text{Skill: } \sigma_y \approx \sigma_o \qquad \text{RMSE} < \sigma_o \qquad \text{RMSE}_{UB} < \sigma_o$$

Posteriormente foi calculado o coeficiente de correlação mensal para T2 e UR2 nas localidades, também se utilizando nesse caso, separadamente, o segundo e o terceiro dia de análise das rodadas — últimas 48 e 72 horas, respectivamente. Por fim, foram validadas as 72 horas de cada rodada (rodada completa) e foi calculado o índice de correlação entre as simulações diárias e os dados observados para T2 e UR2, nas localidades acima citadas, totalizando um coeficiente de correlação por dia.

Para exemplificar alguns produtos obtidos nas rodadas operacionais, foram selecionados os campos de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação acumulada em 24 horas, razão de mistura de vapor d'água em 850 hPa e vento vertical em 850 hPa para os dias 25 e 26 de janeiro de 2015, onde elevados totais de precipitação foram registrados quando da atuação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) na região, como descrito no link http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/127294.

## Resultados e discussão

Evolução temporal da previsão diária

A Figura 2 apresenta a média diária de T2, U2 e PCPC para as cidades de Itajubá (Fig. 2a, 2c e 2e) e Maria da Fé (Fig. 2b, 2d e 2f) durante o período simulado. Nota-se que o modelo subestima a T2 em ambas cidades, apesar de representar bem a variabilidade da série média. A série de UR2 também possui resultados satisfatórios quanto a representação das médias diárias e a série de PCP obteve resultados ligeiramente superiores para Maria da Fé. Nota-se também que, com a atuação da ZCOU nos dias 25 e 26, a temperatura e umidade observadas e simuladas são mais concordantes. Tal resultado pode inferir uma maior habilidade do modelo em simular condições atmosféricas sob gradientes de temperatura reduzidos, devido à atuação do sistema, como representado na Figura 3, da espessura da camada entre 500 -1000 hPa.

Mesmo o modelo não resolvendo os totais de precipitação observados em Maria da Fé e Itajubá no dia 25 de janeiro, as simulações desse dia (a simulação referente a rodada do dia 24 de janeiro) indicam que a atmosfera esteve sob fortes condições de instabilidade. A Figura 4 mostra os campos de energia potencial convectiva disponível

(CAPE; J·kg<sup>-1</sup>) e movimento vertical (cm·s<sup>-1</sup>) às 17Z de 25 de janeiro. Para a região citada foram verificados altos valores de CAPE e, ainda, movimentos ascendentes intensos localizados, que ultrapassam 1300 J·kg<sup>-1</sup>. Tal análise é útil quando o modelo não representa a precipitação local. Neste instabilidade e as caso. a condições termodinâmicas podem ferramentas ser importantes na previsão de tempo regional dando indícios da possibilidade de ocorrência de precipitação mesmo quando o modelo não consegue simulá-la.

Analogamente à Figura 2, a Figura 5 apresenta as séries referentes as cidades de Varginha e Poços de Caldas. O modelo também subestima os valores de T2 nessas localidades, sendo que em Varginha o viés foi superior. A série de UR2 para Poços de Caldas também possui um erro menor em comparação a de Varginha, onde notam-se maiores discrepâncias entre os dias 6 e 21 de janeiro. Com relação à PCP, a maior parte do período estudado não registrou precipitação e o modelo, de forma geral, seguiu o padrão da observação. Novamente é notada uma maior habilidade do modelo em simular condições atmosféricas na presença durante a atuação de sistemas de grande escala, como é o caso da ZCOU. Análise estatística

A Figura 6 apresenta uma síntese para estatística dos dados obtidos T2. Comparando-se as séries simuladas e observadas, nota-se uma menor dispersão dos dados simulados, o que indica valores mais próximos da média nas simulações do que nas observações. Além disso, tanto as temperaturas mínimas quanto máximas são subestimadas pelo modelo. Vale ressaltar que dentre as estações meteorológicas consideradas, Maria da Fé apresentou os menores valores de temperatura e Itajubá os maiores, apesar dessas se localizarem a cerca de 18 km uma da outra, o que revela a grande influência da serra da Mantiqueira nas condições meteorológicas locais.

Para a UR2 (Figura 7) tem-se também uma maior dispersão dos dados simulados em relação aos observados, exceto para Itajubá, cujos valores médios foram muito próximos dos observados. As médias das demais cidades foram relativamente próximas às das observadas e dentre as estações, Varginha foi a que apresentou resultados menos satisfatórios.

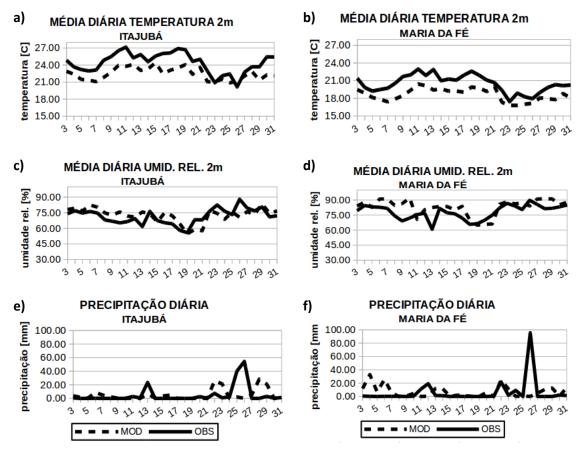


Figura 2. Série temporal da média diária de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e precipitação diária acumulada (mm) para Itajubá e Maria da Fé em janeiro de 2015

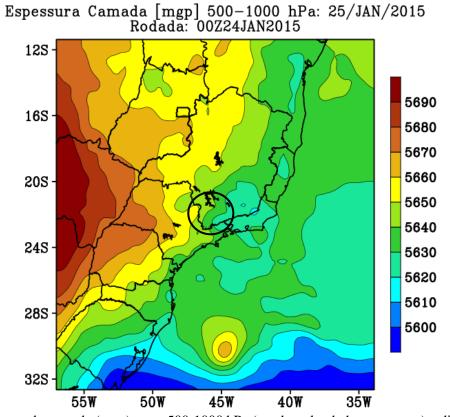


Figura 3. Espessura da camada (mgp) entre 500-1000 hPa (sombreado, dado em metros) o dia 25 de janeiro de 2015, da rodada do dia 24 de janeiro. Grade-mãe com 27 km de resolução horizontal. O círculo preto identifica a região de estudo.

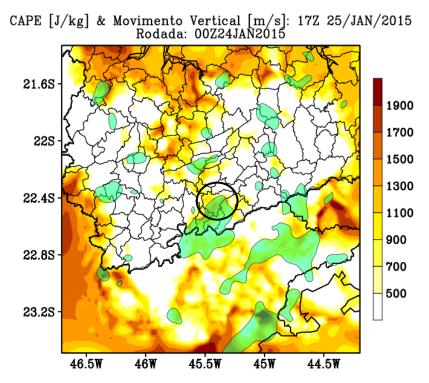


Figura 4. CAPE (sombreado, dado em  $J \cdot kg^{-1}$ ) e movimento vertical (campos em verde indicam ventos ascendentes superiores a 2 cm·s<sup>-1</sup>) para às 17Z do dia 25 de janeiro de 2015, da rodada do dia 24 de janeiro. A localização do município de Itajubá está indicada pelo círculo preto.

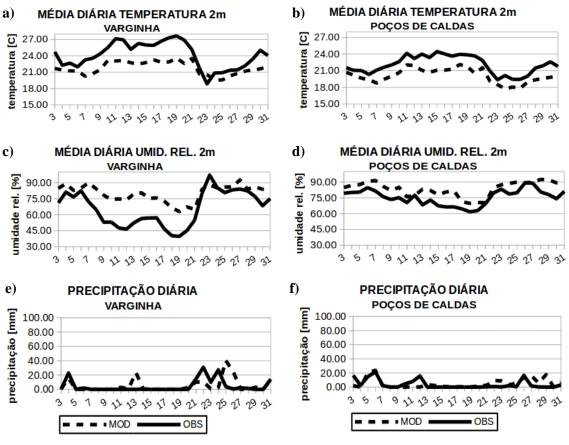


Figura 5. Série temporal da média diária de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e precipitação diária acumulada (mm) para Varginha e Poços de Caldas em janeiro de 2015.

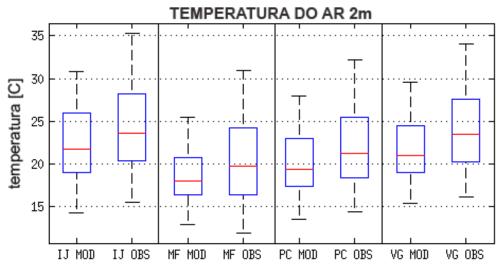


Figura 6. *Boxplot* de temperatura do ar para as quatro cidades estudadas: Itajubá (IJ), Varginha (VG), Poços de Caldas (PC) e Maria da Fé (MF), nas séries modeladas (MOD) e observadas (OBS).

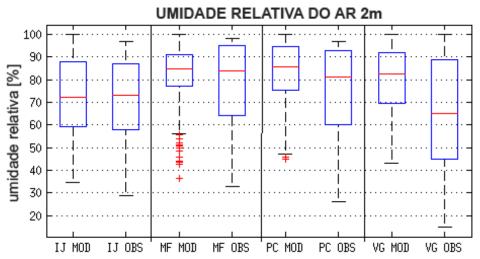


Figura 7. *Boxplot* de umidade relativa do ar para as quatro cidades estudadas: Itajubá (IJ), Varginha (VG), Poços de Caldas (PC) e Maria da Fé (MF), nas séries modeladas (MOD) e observadas (OBS).

A Tabela 2 apresenta a análise estatística de UR2 e T2; o valor da correlação e do índice de concordância foram acima de 0,70 para todas as localidades, sendo considerados satisfatórios. Avaliando a habilidade do modelo (*skill*), pode-se assumir que a simulação de T2 e UR2 cumpriram todos os critérios estatísticos para ser coerente com as observações. A cidade de Itajubá foi a que apresentou o menor erro médio para ambas T2 e UR2, e Varginha os maiores erros médios.

A Tabela 3 mostra os valores da correlação entre as séries observadas e simuladas ao considerar a previsão para 48 e 72 horas. Como esperado, nota-se uma queda na acurácia das simulações ao decorrer do tempo de integração. Varginha obteve a maior queda de performance para T2 e Maria da Fé, juntamente com Poços de Caldas, a maior queda para UR2.

A Figura 8 apresenta as séries diárias de correlação para T2 (a) e UR2 (b), durante as 72 horas de simulação de cada rodada. Para cada rodada diária foram comparados as suas 72 horas de dados simulados válidos com as observações referentes às datas futuras, obtendo assim um índice de correlação por rodada. Para T2, todas as localidades apresentaram bons resultados, com valores médios de correlação de 0,85 e que podem alcançar, em alguns dias, 0,95. Itajubá foi a localidade com menores valores da correlação de T2. Para UR2, os resultados são mais variados, com uma média em torno de 0,60, onde Varginha e Poços de Caldas obtiveram os maiores valores. Tais resultados são indícios de que as rodadas operacionais estão simulando realisticamente as 72 horas de análise no futuro, visto que os valores dos índices de correlação são consideravelmente altos ao se analisar a qualidade das simulações por rodada.

Tabela 2. Resultados estatísticos (simulação *vs* observação) da análise mensal para as primeiras 24 horas de cada rodada

<b>=</b> 1 110100 00 00000								
		$\sigma_y$	$\sigma_o$	EM	RMSE	ρ	d	$RMSE_{UB}$
Itajubá -	T2	3,94	4,63	2,76	2,95	0,87	0,87	2,27
	UR2	16,77	16,95	11,09	4,10	0,73	0,84	12,33
Varginha —	T2	3,45	4,43	3,94	3,34	0,84	0,81	2,39
	UR2	13,95	23,67	16,77	3,74	0,76	0,71	15,92
Poços de	T2	3,41	4,38	3,45	1,85	0,89	0,86	2,04
Caldas	UR2	12,42	19,41	13,95	3,38	0,76	0,74	12,86
Maria	T2	2,77	4,63	3,41	1,66	0,86	0,79	2,64
da Fé	UR2	11,07	16,52	11,42	3,33	0,70	0,66	15,70

Tabela 3. Resultados estatísticos (simulação *VS* observação) da análise mensal considerando a previsão para o primeiro, segundo e terceiro dia de cada rodada.

		1º dia	2º dia	3º dia
Itajubá	T2	0,87	0,74	0,71
	UR2	0,73	0,66	0,54
Varginha	T2	0,84	0,72	0,66
	UR2	0,76	0,62	0,55
Poços de	T2	0,89	0,82	0,70
Caldas	UR2	0,76	0,59	0,49
Maria	T2	0,86	0,78	0,72
da Fé	UR2	0,70	0,50	0,48

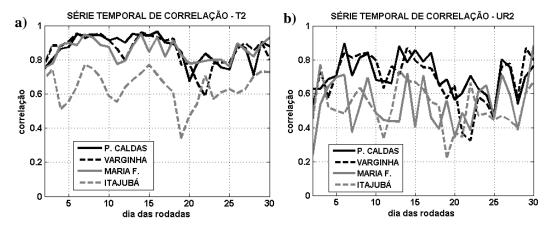


Figura 8. Séries diárias de correlação entre observação e simulação das 72 horas de cada rodada, para T2 (a) e UR2 (a). Para cada rodada diária foram comparados as suas 72 horas de dados simulados válidos com as observações referentes às datas futuras, obtendo assim um índice de correlação por rodada.

A Figura 9 ilustra os valores mensais acumulados de PCP nas localidades. Exceto para Poços de Caldas, os erros são consideravelmente pequenos visto a dificuldade inerente à previsão desta variável. Itajubá apresenta o menor erro (em

torno de 2%). Em Poços de Caldas o erro fica em torno de 30% no período. Em geral, o modelo superestimou os valores de PCP em todas as localidades analisadas. É importante salientar que a análise das condições termodinâmicas e do

comportamento de algumas variáveis atmosféricas locais por parte dos previsores pode auxiliar na identificação desses falsos prognósticos e minimização do erro.

## Precipitação Acumulada

## Janeiro de 2015 250 80.0 70.0 200 60.0 precipitação [mm] 50.0 150 40.0 100 30.0 20.0 50 10.0 0.0 Itajubá Maria da Fé Varginha Pocos C. ■WRF ■ESTAÇÃO □ERRO (%)

Figura 9. Precipitação mensal acumulada (eixo esquerdo) e porcentagem de erro do modelo (eixo direito) para quatro cidades estudadas.

#### Produtos operacionais

As Figuras 10a e 10b apresentam a precipitação acumulada em 24 horas, registrada entre às 12h do dia de análise até as 12h do dia anterior, para um caso de atuação da ZCOU em 25 e 26 de janeiro de 2015, conforme às análises sinóticas do Grupo de Previsão de Tempo (GPT-CPTEC-INPE, 2015). Pode-se notar o registro de precipitação da ordem de 1 a 11 mm para ambos os dias (10a e 10b). O modelo indica condições termodinâmicas propícias para o desenvolvimento de instabilidade que gerou a precipitação convectiva observada. Tal padrão também é verificado na Figura 10c e 10d, para os dias 25 e 26

de janeiro, respectivamente. Nota-se uma alta razão de mistura de vapor d'água (g·kg-1) na região Sul de Minas Gerais associada com movimentos ascendentes nos horários indicados, coerente com os resultados apresentados na Figura 4. Tal efeito combinado favorece o desenvolvimento de nuvens cumulus, em adição aos fatores de escala sinótica associados.

A temperatura mínima e a temperatura máxima são apresentadas na Figura 11. As temperaturas mínimas ficaram em torno de 16°C e as máximas em torno de 25°C.

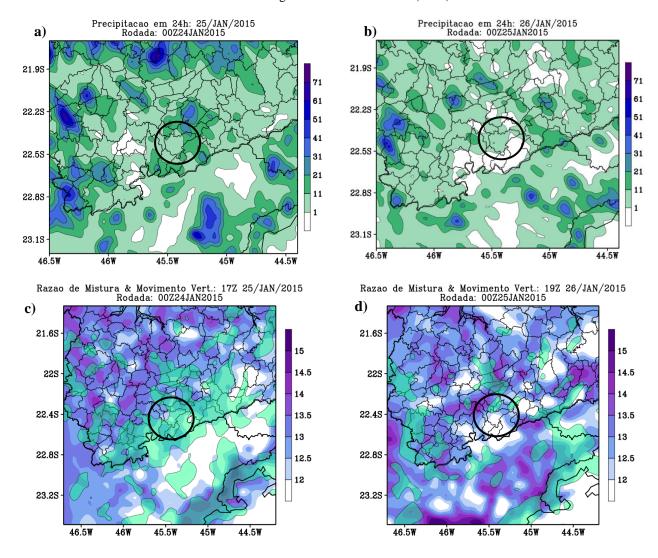


Figura 10. Precipitação (mm) acumulada em 24 horas (a, b) e razão de mistura de vapor d'água (g·kg<sup>-1</sup>) com movimento vertical (m·s<sup>-1</sup>) (c, d) em 25 e 26 de janeiro de 2015, para a atuação da ZCOU na região.

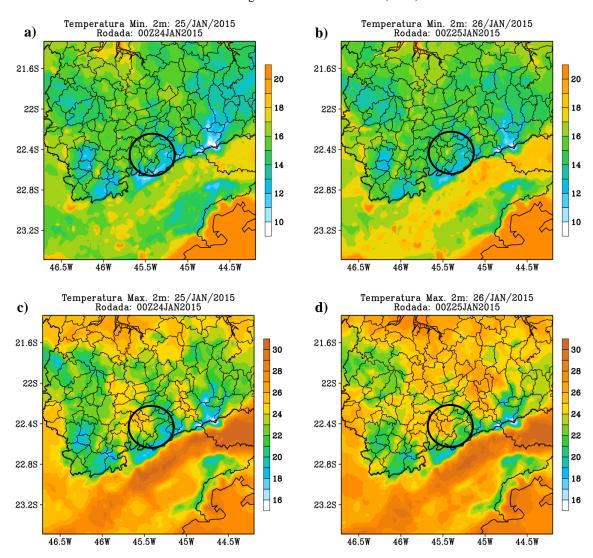


Figura 11. Temperatura (°C) mínima diária (a, b) e temperatura (°C) máxima diária (c, d) em 25 e 26 de janeiro de 2015, para a atuação da ZCOU na região.

### Conclusões

O presente estudo mostra a implementação de um sistema operacional de previsão de tempo para o Sul de Minas Gerais (SiNOPT). Para apresentar o desempenho do modelo WRF foram analisadas séries temporais de T2, UR2 e PCP em algumas cidades no mês de janeiro de 2015.

As séries diárias apontam para uma subestimativa dos valores de T2 para as estações meteorológicas avaliadas, bem como uma dificuldade de representação da evolução temporal da precipitação diária, apesar dos bons resultados quanto ao acumulado mensal. As condições termodinâmicas simuladas pelo WRF foram boas indicadoras para a ocorrência de precipitação, principalmente para os dias com atuação da ZCOU, evidenciando a importância da análise conjunta com as demais variáveis meteorológicas. Em geral, o modelo simulou de forma coerente as variáveis atmosféricas em estudo.

Pode-se concluir que o SiNOPT é efetivo na previsão numérica de tempo e como ferramenta

auxiliar para os previsores. É preciso salientar que novas pesquisas, principalmente quanto às parametrizações físicas do modelo, são necessárias para o aprimoramento dos resultados na região sul de Minas Gerais. Os resultados obtidos com a implementação do sistema são divulgados diariamente ao público em http://meteo.unifei.edu.br.

#### Referências

Abreu, R. C., Rocha, R. P., 2015. Experimentos numéricos para o ciclone subtropical "Anita" com o modelo WRF. Ciência e Natura 37, 69-74.

Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., Santos, C. A., 2012. Sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. Environmental Modelling & Software 33, 23-34.

Case, J. L., Crosson, W. L., Kumar, S. V., Lapenta, W. M., Peters-Lidard, C. D., 2008. Impacts of High-Resolution Land Surface Initialization on

- Regional Sensible Weather Forecasts from the WRF Model. Journal of Hydrometeorology 9, 1249–1266.
- Gozzo, L. F., Rocha, R. P., 2009. Influência dos fluxos de superficie no desenvolvimento de ciclones extratropicais sobre o Atlântico. Ciência e Natura v. Espec 349-352.
- Hu, X-M., Nielsen-Gammon, J. W., Zhang, F., 2010. Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model. Journal of Applied Meteorology and Climatology 49, 1831–1844.
- Jankov, I., Gallus Jr., W. A., Segal, M., Shaw, B., Koch, S. E., 2005. The Impact of Different WRF Model Physical Parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall. Weather Forecasting 20, 1048–1060.
- Kalnay, E., 2002. Atmospheric Modeling, Data Assimilation, and Predictability. Cambridge University Press, pp. 342.
- Lynch, P., 2008. The origins of computer weather prediction and climate modeling. Journal of Computational Physics 227, 3431-3444.
- Mass, C. F., Ovens, D., Westrick, K., Colle, B. A., 2002. Does Increasing Horizontal Resolution Produce More Skillful Forecasts? Bulletin of the American Meteorological Society 83, 407– 430.
- Mölders, N., 2008. Suitability of the Weather Research and Forecasting (WRF) Model to Predict the June 2005 Fire Weather for Interior Alaska. Weather Forecasting 23, 953–973.
- Murphy, A. H., 1993. What Is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting. Weather Forecasting 8, 281–293.
- NCEP National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce (2007). NCEP Global Forecast System (GFS)

- Analyses and Forecasts. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, 2015. Disponível em <a href="http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/">http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/</a>>. Accesso em 1° Jan 2015.
- Pennelly, C., Reuter, G., Flesch, T., 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. Atmospheric Research 135–136, 172-192.
- Pielke, R. A., 2002. Mesoscale meteorological modeling. Second Edition. International Geophysics Series 78, 676.
- Powers, J. G., 2007. Numerical Prediction of an Antarctic Severe Wind Event with the Weather Research and Forecasting (WRF) Model. Monthly Weather Review 135, 3134–3157.
- Ruiz, J. J., Saulo, C., Nogués-Paegle, J., 2010. WRF Model Sensitivity to Choice of Parameterization over South America: Validation against Surface Variables. Monthly Weather Review 138, 3342–3355.
- Shrivastava, R., Dash, S. K., Oza, R. B., Sharma, D. N., 2014. Evaluation of Parameterization Schemes in the WRF Model for Estimation of Mixing Height. International Journal of Atmospheric Sciences pp. 9.
- Skamarock, W. C., 2004. Evaluating Mesoscale NWP Models Using Kinetic Energy Spectra. Monthly Weather Review 3019-3032.
- 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., 2008. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical Note 475 2008. Disponível em <a href="http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\_v3.pdf">http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\_v3.pdf</a> Accesso em 1° jan 2015.
- Willmot, C. J., 1982. On the validation of models. Physical Geography 2, 184-194.