



Avaliação do Modelo WRF para o Ano de 2009
Assessment of WRF for the Year 2009

Fabício Pereira Härter

Universidade Federal de Pelotas - Faculdade de Meteorologia

Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, 2751

Arco-Íris 96060-290 Pelotas, RS – Brasil

E-mail: fabricao.harter@ufpel.edu.br

Recebido em: 13/08/2013 Aprovado em: 06/01/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_1_27_35

Resumo

Neste trabalho avaliou-se a qualidade do modelo WRF para o ano de 2009, através das métricas Viés e REMQ. Considera-se que a verdade terrestre são estações meteorológicas do INMET localizadas em Curitiba e Paranaguá no PR, São José e Idaial em SC e Passo Fundo e Rio Grande no RS. Este estudo permite o conhecimento qualitativo e as tendências desta ferramenta no período e localidades estudadas, embora o modelo faça previsões para volume e as estações representem as variáveis meteorológicas em pontos específicos. Conclui-se que os campos previstos pelo modelo, para o período e localidades analisadas, apresentam maior previsibilidade na seguinte ordem: PNM, T2m, UR e V; cujo viés apresenta extremos entre -6,5 e 1,7 hPa; -5,0 e 5,0 °C; -37,0 e 18,0 %; -13,0 e 12,0 ms⁻¹. Conclusões sobre a tendência do modelo em “aquecer ou esfriar”, “secar” ou simular uma atmosfera mais úmida deve ser analisada através do estudo de diferentes parametrizações.

Palavras-chave: WRF; Verificação; ponto de estação

Abstract

In this present work the WRF model is tested over south Brazil. The assessment is done comparing model output variables to variables collected at INMET weather stations located in Curitiba-PR, Paranaguá-PR, São José-SC, Idaial-SC, Passo Fundo-RS and Rio Grande-RS. Conclusions based on Root Mean Square Error show that the variable which has greater predictability is Sea Level Pressure, followed by Surface Temperature, Relative Humidity and Wind Vector at Surface. Bias calculations suggest that tendencies of the model must be investigated by running WRF with different parameterizations schemes. The Bias range for Sea Level Pressure, Surface Temperature, Relative Humidity and Surface Wind are respectively -6,5 e 1,7 hPa; -5,0 e 5,0 °C; -37,0 e 18,0 %; -13,0 e 12,0 ms⁻¹.

Keywords: WRF; assessment; weather station

1 Introdução

A verificação de modelos atmosféricos é feita através de duas abordagens: estudos de casos específicos ou conjunto de casos. Na abordagem através de um estudo de caso, descreve-se detalhadamente a evolução do ambiente atmosférico durante a ocorrência de um evento significativo, como por exemplo, chuva ou neve intensa, tornado, ocorrência de granizo, friagem, ondas de calor entre outros. Os resultados e conclusões baseados num único caso são bastante limitados, pois são representativos do ambiente atmosférico simulado no evento específico. A segunda abordagem tem como base a informação coletiva de um conjunto de eventos. Geralmente, quanto maior for o número de eventos utilizado na composição do conjunto, mais representativo serão os resultados. É importante salientar, que o tamanho da amostra é definido pela escala do fenômeno que se pretende representar. Por exemplo, não se pode estudar variação decadal com um conjunto de cinco anos de dados. Pode-se ainda, utilizar técnicas estatísticas de “clusterização”, as quais permitem que se trabalhe com um pequeno conjunto de dados que contém informações representativas de um conjunto maior de dados. Entre estas técnicas, pode-se citar: Análise de Componentes Principais (Wilks, 2005), Análise de Fatores (Carvalho *et al.*, 2002) e Agrupamento Hierárquico (Konrad, 1997; Teixeira & Satyamurty, 2010).

Neste trabalho, no qual se apresenta a verificação do modelo WRF para o ano de 2009, obtém-se resultados mais representativos do que um simples estudo de caso, porém não são conclusivos do ponto de vista climatológico, pois para tal, seriam necessários no mínimo 30 anos de dados. Dentro do objetivo geral deste trabalho que consiste em quantificar os erros do WRF na previsões de 24, 48 e 72 horas no ano de 2009, tem-se os seguintes objetivos específicos: Identificar erros sistemáticos do modelo no período e região de estudo; identificar os mês ou estação do ano que apresentou melhor previsibilidade no ano de 2009; identificar quais variáveis tiveram melhor previsibilidade no ano de 2009; identificar a destreza do modelo para o ano de 2009 em regiões próximas ao nível do mar e em regiões altas.

2 Metodologia

A metodologia consiste em calcular a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ) e o

Viés Médio (VM) das previsões de 24, 48 e 72 h do modelo WRF, para 6 localidades da região Sul do Brasil, para o ano de 2009. Os resultados foram analisados para de forma trienal e comparados com o desvio padrão de cada localidade. O VM indica erros sistemáticos ou tendências do modelo, enquanto a REMQ fornece os erros totais ou absolutos.

2.1 Descrição do Modelo

O WRF é um modelo de equações primitivas desenvolvido pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) em colaboração com o National Centers for Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA) e o Forecast Systems Laboratory (FSL). O WRF pode ser implementado em várias arquiteturas de computadores e suporta diferentes compiladores e diretivas de paralelismo. O modelo é composto por um módulo dinâmico, baseado nas equações prognósticas do movimento, um módulo para a termodinâmica úmida (nuvens e precipitação), um módulo dedicado ao balanço radiativo, e outro dedicado a parametrização da turbulência na camada limite planetária. O WRF é um modelo compressível, Euleriano e pode ser integrado em tanto em modo hidrostático como não-hidrostático. Nesse trabalho, como em Härter *et al.* (2008) utilizou-se a versão 3.2 do modelo WRF, integrado no modo hidrostático com resolução horizontal de 20 km, com 28 níveis verticais, sendo 27 níveis mais a superfície, um modelo de solo com 4 camadas e passo de tempo de 2 minutos.

2.2 Período de Estudo

Estudou-se de forma trienal o período de Janeiro a Dezembro de 2009, onde se calculou a estatística para avaliar o desempenho do modelo para 6 localidades da região Sul do Brasil.

2.3 Condições Iniciais e Fronteira para Integração do WRF

Os prognósticos de 72 h são feitos diariamente a partir das 00 UTC. De Março à Dezembro as condições iniciais e de fronteira no formato grib2, são provenientes do Global Forecast System (GFS), modelo global do NCEP. O GFS tem resolução horizontal de 1° com 26 níveis de pressão sem contar com a superfície. Inclui-se a temperatura da

superfície do mar do dia anterior à rodada e dados terrestres com 30 segundos de resolução. Para completar a falta destes dados para os meses de Janeiro e Fevereiro, utilizou-se as análises GDAS (FNL) do NCEP, com resolução horizontal de 1°, atualizados a cada 6 horas [Disponível em <<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>>, Acesso: em 13 de agosto de 2012].

2.4 Dados de Superfície

A verdade terrestre são dados de 6 em 6 horas de 6 estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), duas em cada estado da região Sul, sendo uma próxima ao nível médio do mar e outra numa localidade mais elevada de cada estado. As variáveis avaliadas são: Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM) (hPa), Temperatura do Ar a 2m (T) (°C), Umidade Relativa do Ar (UR) e Vetor Vento (v) (ms-1). A tab. 1 descreve as 6 estações automáticas de superfície utilizadas, com suas numerações, cidade de localização/ estado, coordenadas geográficas, e altitude.

Nº da Estação	Cidade / UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
A807	Curitiba-PR	-25,45	-49,23	923,5
A847	Paranaguá-PR	-25,49	-48,33	4,5
A806	São José-SC	-27,60	-48,60	1,84
A817	Idaial-SC	-26,92	-49,27	86,13
A839	Passo Fundo-RS	-28,23	-52,40	684,05
A802	Rio Grande-RS	-32,02	-52,10	2,46

Tabela 1 Estações meteorológicas automáticas de superfície do INMET da região Sul do Brasil, utilizadas nesse trabalho.

2.5 Interpolação dos Pontos de Grade do Modelo para os Pontos de Estação

Em virtude dos pontos de grade do modelo e as localidades onde estão dispostas as estações meteorológicas não se encontrarem na mesma posição geográfica, interpola-se os dados em pontos de grade do modelo para os pontos de estação. Para efetuar essa interpolação utilizou-se a função `gr2stn` do software gratuito de visualização gráfica The Grid Analysis and Display System (GrADS) [Disponível em <<http://www.iges.org/grads/>>, Acesso: em 13 de agosto de 2012].

3 Resultados

Nesta seção, apresentam-se respectivamente os valores médios mensais da REMQ e VM das

previsões de 24, 48 e 72 h do WRF, para localidades as 6 localidades na Região Sul do Brasil, conforme Tabela 1, para os 12 meses de 2009. As variáveis verificadas são: Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM) (hPa), Temperatura do Ar a 2m (T) (°C), Umidade Relativa do Ar (UR) (adimensional) e Vetor Vento (v) (m.s-1). Optou-se por explorar os resultados médios mensais para se comparar o REMQ com o desvio padrão médio mensal da variável fornecido pelo INMET. Na Figura 1, ilustra-se os melhores e piores resultados obtidos nos experimentos realizados.

Deve-se estar ciente, que o modelo não foi elaborado para previsão pontual. Ressalta-se também, que o desvio padrão médio mensal dos dados observados nas estações do INMET, usado como referência, representa ao desvio em relação à normal climatológica dos dados coletados nas estações convencionais do INMET e não ao desvio em relação a normal do ano de 2009 observados nas estações automáticas. Antes de se analisar os resultados obtidos nesta verificação, parte-se das premissas que a qualidade da previsão deve diminuir, em média, com o aumento do horizonte da previsão. Isto não significa que a previsão de 24 horas não possa ter qualidade inferior a previsão de 72 horas para períodos de um mês.

A seguir, faz-se as análises dos resultados para os trimestres janeiro, fevereiro e março (JFM); abril, maio e junho (AMJ); julho, agosto e setembro (JAS) e outubro, novembro e dezembro (OND), para os três estados da região Sul, em localidades de maior e menor altitude.

3.1 Trimestre Janeiro, Fevereiro e Março (JFM)

No primeiro trimestre de 2009, o fenômeno La Niña estava ativo. Segundo o boletim climático CPTE/INPE-INMET [Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/>>. Acesso em: 13 de julho de 2011], o principal fenômeno causador de chuva na região de estudo foi a ZCAS, sendo que houve pouca passagem de frentes frias pela região Sul do Brasil e os maiores índices de precipitação concentraram-se no setor leste do RS. Entre as variáveis de superfície, a pressão é a de melhor previsibilidade. Esta premissa é confirmada através da análise das métricas estatísticas. A PNM tem magnitude da ordem de 10^3 e a REMQ da pressão em todas as localidades analisadas tem ordem 10^0 . Isto significa alta previsibilidade da variável PNM. É esperado que a previsibilidade diminua, ou

seja, a REMQ aumente, com o aumento do horizonte da previsão. Esta afirmação não é verdadeira, quando o tamanho da amostra não é suficientemente grande. Isto significa que a estatística de um único evento pode resultar numa previsão de 72 horas, com REMQ menor do que a previsão de 24 horas. Nos médias mensais apresentadas para o trimestre JFM, para a variável PNM, a REMQ é menor do que o DP em quase todas as localidades para as previsões de 24, 48 e 72 horas. A exceção ocorre nas previsões de 72 horas para Curitiba - Paraná (em Janeiro e Fevereiro), São José - Santa Catarina (em Janeiro e Fevereiro) e Rio Grande - Rio Grande do Sul (em Janeiro e Fevereiro). Destaca-se ainda, nos resultados da variável PNM, que a em REMQ-48 h é menor do que a REMQ-24 para Fevereiro em Rio Grande, Passo Fundo – Rio Grande do Sul e Curitiba e para Passo Fundo em Janeiro. Na interpretação dos campos em regiões com diferenças orográficas, deve-se levar em consideração, que a representação do campo tri-dimensional no plano, implica em erros de projeção.

A estatística resultou em viés de magnitude pequena, pois valores positivos e negativos de mesma magnitude se anulam. Entretanto, esta métrica mostra onde o modelo superestima e subestimando os valores observados. No trimestre em questão, o modelo não apresenta um padrão de viés. Sistemas de alta e baixa pressão à superfície, em escala sinótica, na região de interesse (latitudes médias) têm boa previsibilidade. Os erros e vieses resultantes, são típicos de situações onde o modelo atrasa ou adianta sistemas, como por exemplo, a passagem de sistemas frontais. Na estação de Curitiba, o modelo superestimou os valores de pressão no ponto, nas previsões de 24, 48 e 72 h, no trimestre JFM, exceto na previsão de 24 h em fevereiro. Em Paranaguá - Paraná o WRF subestimou as previsões de 24, 48 e 72 no trimestre, exceto na previsão de 48 h, no mês de Janeiro. Em Santa Catarina, nas cidades São José e Idaial, não houve um padrão nem entre os meses estudados, embora os valores de viés sejam bem próximos de zero. Em Passo Fundo, os valores de viés também são bem baixos, sendo que o modelo superestimou a observação nos meses de janeiro e fevereiro nas previsões de 24, 48 e 72 horas e subestimou em março para os três horizontes de previsão analisados. Na cidade de Rio Grande, com exceção da previsão de 24 horas em fevereiro, o modelo superestimou a PNM observada. Os resultados não permitem que se estabeleçam padrões de viés distinguindo cidades de maior e menor altitude. A capacidade do modelo em prever fenômenos de escala sinótica nas latitudes médias é a causa para a boa previsibilidade do campo de pressão.

Segundo o boletim climatológico do CPTEC-INPE/INMET, a temperatura esteve próxima a normal climatológica na região Sul do Brasil durante o trimestre. A variável temperatura à 2m da superfície do solo é a variável com a segunda melhor previsibilidade entre as variáveis estudadas, tendo previsibilidade inferior apenas a PNM. Constatou-se, pelos resultados, que a REMQ é sistematicamente maior em localidades altas do que em localidades baixas, nos três estados em questão. Uma das causas desta diferença pode ser a representação bi-dimensional de campos tri-dimensionais que gera erros maiores em regiões com maior altitude. Mesmo com este erro de projeção, a previsibilidade de T2m em Curitiba no trimestre, tanto para 24, como 48 e 72 h é muito boa. Esta alta previsibilidade ocorre em função do critério adotado como referência, ou seja, o DP tem valores até quatro vezes superiores a REMQ para esta estação. Em Paranaguá, cidade com 4,5 m de altitude, a previsibilidade de T2m também esteve inferior ao DP, exceto em março, pois o DP é próximo a 0,5° C. Em SC, tanto a localidade baixa (São José), como a localidade alta (Idaial) apresentaram boa previsibilidade de T2m nos meses de Janeiro e Fevereiro, mas baixa previsibilidade em Março. No Rio Grande do Sul, tanto Passo Fundo como em Rio Grande a variável T2m apresenta valores de erros entre 1,5° até mais de 4,0° C inferiores a referência, indicando alta previsibilidade. O boletim climatológico não fez referência a Sistemas Convectivos de Mesoescala, indicando a predominância de fenômenos de escala sinótica no trimestre, o que favorece a previsibilidade.

O VM de temperatura evidencia forte tendência do WRF em subestimar a T2m em Paraná e Santa Catarina, no período de estudo, principalmente nas localidades altas. No Rio Grande do Sul, nas localidades onde estão instaladas as estações em Rio Grande e Passo Fundo, o aquecimento e o resfriamento resultante do modelo, varia bastante de mês para mês e com a alcance da previsão. A escolha do modelo de solo na inicialização do WRF tem forte influência na previsão de T2m, portanto testar diferentes modelos na inicialização do WRF é uma importante pesquisa futura.

Constata-se que a UR é uma variável termodinâmica de baixa previsibilidade no trimestre, tanto para 24, como 48 e 72 horas. A única localidade em que o modelo apresentou erros menores do que a referência foi Paranaguá, em fevereiro. No Paraná, a REMQ foi maior em Curitiba do que em Idaial. No entanto, praticamente não há diferenças significativas entre localidades altas e baixas em

Santa Catarina, pois tanto São José como Idaial apresentam aproximadamente erros na ordem de 10^1 , para os três horizontes de previsão em análise. No Rio Grande do Sul, destacam-se erros de quase 20 % no cálculo da UR, já nas primeiras 24 horas de previsão. O VM em Rio Grande, mostra que o modelo tende a subestimar os valores de umidade, ou seja, o WRF tende a “secar a atmosfera”. Nas demais localidades, os valores de VM de UR não mostram claramente se o modelo esta subestimando ou superestimando esta variável, pois há o cancelamento entre termos positivos e negativos no cálculo do VM. Estes altos valores de REMQ, é um indicio da dificuldade de quantificar precipitação por modelos numéricos de previsão de tempo.

Outra variável com baixa previsibilidade é o vento à superfície. As diferenças de relevo e a inconstância desta variável próximo a superfície, são um desafio a PNT. Conhecer os erros e tendências do modelo pode ajudar o previsor quanto ao prognóstico dos campos de vento, que são de suma importância para varias atividades humanas, tais como navegação marítima, aérea e gestão de recursos energéticos entre outras atividades. Os campos de vento são importantes também para a previsão de ondas, uma vez que são condição inicial de modelos de agitação marítima e para a previsão de dispersão de poluentes na atmosfera, já que é uma forçante mecânica destes modelos.

De acordo com o critério adotado, o V apresentou previsibilidade razoável apenas na previsão de 24 h para janeiro em Curitiba, fevereiro em São José para os três horizontes de previsão e para 24 h em janeiro nas duas localidades do Rio Grande do Sul. A pior previsibilidade foi em Curitiba em março (previsão de 24, 48 e 72 h) e Paranaguá em janeiro (previsão de 48 h), onde a REMQ atingiu valores próximos a 6 ms^{-2} .

De maneira resumida, os resultados da verificação do WRF no trimestre JFV de 2009 para as seis cidades analisadas na região Sul do Brasil, mostram que a PNM e a T2m são as variáveis de melhor previsibilidade, enquanto UR e V apresentam baixa previsibilidade. Quanto a PNM, apenas a previsão de 72 h, resulta em valores de REMQ maiores do que o DP nas localidades de Curitiba, Paranaguá e Rio Grande. Os resultados mostram, que não é possível concluir que um determinado mês do trimestre apresenta melhor previsibilidade do que outros e, que as diferenças entre as localidades de maior e menor altitude, não apresentam um padrão no período.

3.2 Trimestre Abril, Maio, Junho (AMJ)

Neste trimestre ocorre a transição entre o verão e o inverno. Conforme o boletim climático do CPTEC/INPE-INMET, em abril ocorreu chuva abaixo da média histórica na maior parte da região Sul. Em maio, no oeste da região Sul, houve a formação de vórtices ciclônicos em médios e altos níveis que favoreceram a ocorrência de chuvas acima da média, amenizando a estiagem causada pela La Niña, que estava prejudicando parte da agricultura e pecuária da região nos meses anteriores. No mês de junho de 2009, observou-se a transição entre as fases fria e quente do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Na região Sul, os termômetros registraram valores abaixo de 0°C , com ocorrência dos primeiros episódios de geada nas áreas serranas. Entretanto, apesar da entrada de quatro sistemas frontais, registrou-se índices pluviométricos abaixo da normal climatológica na região Sul do Brasil.

Neste trimestre, a PNM novamente apresentou boa previsibilidade, exceto para 72 h nos meses de abril em Curitiba e Rio Grande e no mês junho em Paranaguá e Idaial. A REMQ nestas localidades e períodos não são grandes, comparados a REMQ de outros períodos e horizontes de previsibilidade. Todavia, o DP nestes locais e meses é inferior a REMQ, resultando em baixa previsibilidade. Os episódios de geada ocorridos em Junho devem estar associados a baixas temperaturas, ventos fracos e aumento na tendência de PNM. Esta tendência de pressão é captada pelo modelo, auxiliando na previsão de eventos de baixa temperatura que atingem as lavouras da região. O VM indica que o modelo pode ter “adiantado” a entrada de sistema anticiclônicos após a passagem das frentes frias que passaram pelo sul do Brasil no mês de junho.

A REMQ de T2m mostra que o WRF teve boa previsibilidade no período em questão, exceto na previsão de 72 h para Paranaguá em maio e para os três horizontes de previsão em junho na cidade de Rio Grande. No Paraná e no Rio Grande do Sul as localidades de pequena altitude apresentam erros inferiores às localidades altas. O mesmo não foi verificado em Santa Catarina. Destacam-se os baixos erros de T2m em Curitiba (em torno de $1,5^{\circ}\text{C}$), local com DP entre $6^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C}$. Em Idaial, embora os erros sejam inferiores ao DP, para os três horizontes de previsão no trimestre, observa-se REMQ em torno de 4°C , ou seja, relativamente altos. Em geral o modelo subestimou os valores de T2m, mas há uma exceção importante em Rio Grande, em abril e junho, tanto para as previsões de 24, como 48 e 72 h.

Em geral, o modelo tende a subestimar os campos de umidade, o que deve resultar em grandes erros no campo de previsão de precipitação. Os maiores erros ocorrem no RS, com REMQ um pouco abaixo de 25% em junho para os três horizontes de previsão e chegando a mais de 40% em junho para a previsão de 24 horas em Rio Grande. O WRF com as parametrizações utilizadas, tendem a apresentar maiores erros nos campos de UR no inverno. O VM mostra que o modelo tende a secar a atmosfera simulada em comparação com a observação.

Os campos de V, bem como no trimestre anterior, tiveram baixa previsibilidade, pois a REMQ é superior ao DP em quase todas as localidades, no trimestre AMJ para os três horizontes de previsão, como algumas exceções. Entretanto, ressalta-se que os DP de vento são baixos no período e localidades analisados. Portanto, valores de REMQ de 2 ms^{-1} são considerados de baixa previsibilidade, quando o DP é menor do que este valor. Todavia, erros desta magnitude, em regiões com alta variabilidade nas condições atmosféricas, suscetíveis a entrada de sistema frontais com rajadas e ventos fortes, não configuram baixa previsibilidade.

3.3 Trimestre Julho, Agosto, Setembro (JAS)

No trimestre JAS, período tipicamente frio na região Sul do Brasil, os sistemas de escala sinótica são os principais fenômenos que determinam o tempo na região. O boletim climático do CPTEC-INPE/INMET, destaca a entrada de massas de ar intensamente frio na região Sul em julho, que ao se propagarem causaram temperaturas máximas de até 4°C abaixo da média no Mato Grosso do Sul. Estes sistemas são acompanhados de intensos núcleos de alta pressão à superfície, cuja boa previsibilidade, tanto de sua entrada, como saída do domínio de estudo, é verificada nos gráficos de REMQ. Nos três estados da região Sul a REMQ é bem inferior ao DP, que por sua vez tem valores máximos de 9 hPa, aproximadamente 1% dos valores típicos de PNM. A capacidade do WRF prever os campos de pressão e suas tendências, são verificadas tanto em regiões de maior como de menor altitude. Ressalta-se que fenômenos de escala sinótica em latitudes médias, cujo geostrofismo e hidrostaticidade (Charney, 1948) são aproximações consistentes com a realidade, tem boa previsibilidade. Como o domínio de simulação situa-se entre 48°W - 58°W e 23°S - 34°S e o tempo na região foi determinado pelo jato em baixos níveis, cavados semi-estacionários na média troposfera e entradas de frentes frias, espera-se que modelos

numéricos de equações primitivas sejam uma boa ferramenta de auxílio ao meteorologista na previsão de tempo.

No Paraná a previsão de T2m do WRF apresentou REMQ abaixo do DP tanto para Curitiba como para Paranaguá nos três horizontes de previsão nos meses do trimestre. Os erros estiveram sempre inferiores a $2,1^{\circ}\text{C}$, o que indica boa previsibilidade, dada a variabilidade da temperatura no período, que varia de $3,8^{\circ}\text{C}$ a $8,0^{\circ}\text{C}$. O VM mostra que o modelo tende a subestimar a T2m nos meses de julho e agosto nos três horizontes de previsão em Curitiba e nas previsões de 24 h e 48 h em Paranaguá. Destaca-se que a previsão de 72 h em Paranaguá tende a esquentar a atmosfera modelada no trimestre JAS.

Os resultados com menor precisão de T2m na previsibilidade do WRF, para o período de estudo, ocorreram em Santa Catarina. Para setembro em São José, cujo DP é de $2,6^{\circ}\text{C}$, o modelo apresentou REMQ superior a $6,5^{\circ}\text{C}$ nas previsões de 24, 48 e 72 h. A previsibilidade desta variável também apresentou erros superiores ao DP em Idaial nos meses de agosto (superiores a $3,0^{\circ}\text{C}$) e setembro (quase $7,0^{\circ}\text{C}$) para os três horizontes de previsão, sendo que o VM mostra que o modelo subestimou a temperatura em Idaial em julho, agosto e setembro, em mais de $2,0^{\circ}\text{C}$, chegando a quase $4,0^{\circ}\text{C}$ de resfriamento na atmosfera simulada. Embora a REMQ em julho em Idaial tenha atingido valores próximos a $3,0^{\circ}\text{C}$, a previsibilidade é considerada boa segundo o critério adotado, pois o DP é de $5,0^{\circ}\text{C}$. Em São José, localidade próxima ao nível do mar, a previsão de T2m teve erros inferiores a $1,0^{\circ}\text{C}$. Estes resultados sugerem que se deve investigar outros esquemas de parametrização para melhor a previsão de temperatura em Santa Catarina.

O boletim climatológico do CPTEC-INPE/INMET destacava que em julho de 2009 a intensidade do jato subtropical em 200 hPa sobre a América do Sul favorecia a ocorrência de chuvas acima da média na região Sul do Brasil. Em agosto houve chuva forte e queda de granizo no oeste do Rio Grande do Sul, com totais de precipitação excedendo a climatologia em até 100 mm. Este alto índice pluviométrico permaneceu em setembro, devido a entrada de seis sistemas frontais no sul do Brasil em conjunto com a presença de cavados semi-estacionários na média troposfera, sobre os Andes, por sua vez associados à presença do jato em baixos níveis, a leste dos Andes. O WRF novamente apresentou baixa previsibilidade para do campo de

umidade, o que dificulta a previsão de quantificação de chuva e sugere que se investiguem alternativas para a parametrização de nuvens. Em Curitiba, os valores de UR foram inferiores a DP apenas no mês de julho e o modelo mostrou tendência em secar a atmosfera. Em Paranaguá, embora os valores de REMQ de UR não sejam altos, apenas o mês de agosto apresentou boa previsibilidade, segundo o critério adotado. Os resultados para Santa Catarina e Rio Grande do Sul também mostram baixa previsibilidade de UR nas localidades analisadas nestes estados, sendo que o modelo subestimou os valores observados, indicando forte tendência em secar a atmosfera em todo o período e domínio de estudo. Destaca-se que em Passo Fundo a REMQ nos três horizontes de previsão, no mês de setembro, tem valores de UR inferiores ao DP.

O vento ao nível da estação, como mencionado anteriormente neste texto, é uma variável de suma importância para as atividades humanas. Entretanto, V geralmente tem boa previsibilidade em termos qualitativos, mas é difícil quantificá-lo. O VM mostra que os valores de V foram superiores a referência (DP) em quase todo o período e localidades de estudo, exceto em São José, nos meses de julho e setembro nos três horizontes de previsão, Passo Fundo e Rio Grande em julho e Rio Grande em julho e agosto. O VM mostra tendência do modelo subestimar o V. Todavia, destaca-se que os erros, embora geralmente superiores ao DP, não passam de 5ms^{-1} .

3.4 Trimestre Outubro, Novembro, Dezembro (OND)

Em Outubro de 2009, observou-se que o jato em baixos níveis ao longo dos Andes, que traz umidade da Amazônia para o sul do Brasil, causou altos totais pluviométricos no oeste do Paraná e de Santa Catarina e temporais seguidos de granizo no Rio Grande do Sul. Em novembro e dezembro de 2009, o clima na região Sul do Brasil foi caracterizado por grandes áreas de instabilidade, formadas devido ao aquecimento das águas próximo à costa sudeste da América do Sul, causando chuvas acima da média histórica na região.

Destaca-se que no trimestre OND o campo de pressão em alguns meses apresentou REMQ superior ao DP, a saber: no mês de dezembro em Curitiba e Rio Grande (previsão de 72h), e em outubro em Paranaguá e São José (previsão de 24, 48 e 72 h). Embora os valores de REMQ sejam pequenos em relação a magnitude da variável, este trimestre

foi o único em que o campo de PNM teve baixa previsibilidade considerando-se o critério adotado.

A previsibilidade de T2m teve bastante variabilidade de uma localidade para outra, sendo Curitiba e Rio Grande, as duas localidades onde a variável apresentou boa previsibilidade em todo o período. Contrariamente, a REMQ nas cidades de Paranaguá e São José, apresentou valores superiores a referência para todo o trimestre, com erros de até $5,0^{\circ}\text{C}$. Passo Fundo teve boa previsibilidade em novembro e dezembro, enquanto Itaial teve boa previsibilidade apenas em outubro. A análise do VM mostra que em Curitiba o WRF subestimou a T2m nos três meses do trimestre, com exceção na previsão de 24 h em outubro. Paranaguá não apresenta um padrão, ou seja, o modelo subestimou e superestimou a variável observada nos três meses do trimestre, dependendo do horizonte de previsão. Em São José o modelo esquentou a atmosfera simulada em relação a observada nos meses em outubro (nas previsões de 24, 48 e 72 h) e esfriou em novembro de dezembro nos três horizontes de previsão. Para Itaial, com exceção da previsão de 24 h em outubro o modelo subestimou a T2m e em Passo Fundo superestimou, exceto em dezembro para os três horizontes de previsão. Em Rio Grande resultados de VM são opostos a Passo Fundo. Estes resultados mostram a dificuldade em definir parametrizações de modelos numéricos (Ruiz *et al.*, 2010).

O modelo não previu os altos índices de precipitação que ocorreram na região, entretanto, qualitativamente indica regiões de instabilidade e conseqüentemente localiza as áreas com maior precipitação. Esta deficiência do modelo pode ser observada pela baixa previsibilidade do campo de umidade, que assim como nos demais trimestres, também se confirmou em OND. Ressalta-se o intenso “ressecamento” em São José em outubro (previsão de 72 h) e em Rio Grande em outubro e novembro para os três horizontes de previsão, onde se verifica UR prevista com valores de até 30% inferiores ao observado.

Bem como nos demais trimestres, os resultados de REMQ e VM mostram a dificuldade do modelo em prever V. O modelo subestima os valores desta variável, com exceção de São José em outubro (previsão de 24 e 48 h), Itaial e Rio Grande em outubro (previsão de 24 h). Em todas as localidades durante o trimestre, o modelo resultou em baixa previsibilidade, de acordo com o critério adotado. Entretanto, os valores de REMQ, apesar de serem superiores ao DP, são relativamente baixos,

exceto em outubro, em todas as localidades, pois os valores de REMQ superam a 10 ms^{-1} .

4 Conclusões

Neste trabalho avaliou-se a qualidade do modelo WRF para o ano de 2009, através das

métricas Viés e REMQ. Considera-se que a verdade terrestre são estações meteorológicas do INMET localizadas em Curitiba e Paranaguá no Paraná, São José e Idaial em Santa Catarina e Passo Fundo e Rio Grande no Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos são mais representativos do que resultados obtidos através de um simples estudo de caso, porém não são conclusivos do ponto de vista climatológico. É



Figura 1 Ilustração dos melhores (PNM – Rio Grande, T2m – Curitiba) e piores (UR – São José, V – Rio Grande) resultados obtidos nas 6 localidades verificadas. Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (coluna da esquerda) e Viés Médio (VM) (coluna da direita).

importante considerar a limitação de metodologia em se comparar a previsão do modelo feita para um volume com a observação pontual medida nas estações meteorológicas. Entretanto, este estudo permite o conhecimento qualitativo e as tendências desta ferramenta no período e localidades estudadas.

Atualmente, modelos numéricos de equações primitivas apresentam boa previsibilidade de fenômenos de escala sinótica em latitudes médias, situação em que o geostrofismo e hidrostática são boas aproximações da realidade. Esta previsibilidade é ainda maior, durante a entrada de sistemas nos meses de inverno. Neste trabalho, o modelo foi integrado com resolução horizontal de 20 km no modo hidrostático, sendo que a previsibilidade do campo de pressão foi muito boa durante o período de estudo, especialmente nos trimestre JFM, devido a predominância de sistemas de escala sinótica. O fato das localidades mais baixas, no Paraná e Rio Grande do Sul, apresentarem REMQ consideravelmente menores do que as localidades altas nos trimestre AMJ, é explicado em parte pelo erro de projeção.

Os grandes erros nos campos de umidade relativa gerados pelo WRF, especialmente nos meses de outono e primavera, podem ser minimizados utilizando-se parametrizações mais apropriadas para este período do ano.

Os gráficos de VM mostram que o modelo tende a secar a atmosfera simulada em comparação com a observação, situação que também será alterada com a escolha de parametrizações adequadas. Todavia, escolher as melhores parametrizações para um conjunto de localidades que sejam validadas para o maior período de cada ano não é uma tarefa trivial.

Conclui-se que os campos previstos pelo WRF, para o período e localidades analisadas, apresentam maior previsibilidade na seguinte ordem: PNM, T2m, UR, sendo o V o campo de menor previsibilidade. Conclusões sobre a tendência do modelo em “aquecer ou esfriar”, “secar” ou prever uma atmosfera mais úmida deve ser analisada através do estudo de diferentes parametrizações.

5 Referências

- Carvalho, L.; Jones, C. & Leibmann, B. 2002. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 15(17): 2377-2394.
- Charney, J. 1948. On the Scale of Atmospheric Motions. *Geofysiske Publikasjoner*, 17(2): 3-17.
- Härter, F.; Barros, F.; Braga, T.; Santos, R.; Bonatti, G.; Mol, J.; Quixaba Filho, F.; Alves, F. & Guedes, J. 2008. Um Sistema Previsor Baseado no WRF em Fase de Testes no INMET. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 32:35-41.
- Konrad, C. 1997. Synoptic-scale Features Associated with Warm Season Heavy Rainfall Over the Interior Southern United States. *Weather and Forecasting*, 120(9):557-571.
- Ruiz, J.; Saulo, C. & Nogués-Paegle, J. 2010. WRF Model Sensitivity to Choice of Parametrization over South America: Validation Against Surface Variables. *Monthly Weather Review*, 138:3342-3355.
- Teixeira, M.S. 2010. *Caracterização Física e Dinâmica de Eventos de Chuva Intensa nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Tese de Doutorado, 216p.
- Wilks, D.S. 2005. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. San Diego, Elsevier. 627 p.