

## USO MODELO WRF PARA SITUAÇÕES DE VENTO FRACO EM TERRENO COMPLEXO NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO

Vagner Anabor<sup>1</sup>, Franciano S. Puhales<sup>1</sup>, Everson Dal Pival<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Meteorologia  
Departamento de Física, UFSM  
vanabor@ufsm.br

### Resumo

Simulações com o modelo WRF são realizadas para estudar um período com período com predominância de escoamentos locais e ventos fracos (<10m/s) na região litorânea do Espírito Santo. As configurações de grade e parametrizações físicas são mantidas nos experimentos, alterando-se apenas os campos básicos de topografia com resolução 1 km e 4 km. O modelo reproduz o padrão no escoamento próximo da superfície quando usada a topografia de mais alta resolução, contudo o desempenho diminui em ambos os casos em áreas de terreno complexo. O campo de temperatura é o que apresenta melhor resposta ao aumento da resolução topográfica, sendo uma ferramenta útil em atividades relacionadas com transmissão e demanda de energia elétrica. O estudo indica a viabilidade da utilização de simulações longas como uma ferramenta para construção de climatologias regionais, estimativa dos campos de vento para o planejamento e gestão de parques eólicos, bem como para os problemas associados com a dispersão de poluentes, sobre tudo em áreas de intensa atividade industrial e geração de energia por termelétricas.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Ventos Locais, Simulações de Alta Resolução, Modelo WRF

### Abstract

Simulations with the WRF model are performed to study a period with period with predominance of local flows and weak winds (<10m / s) in the coastal region of Espírito Santo. Grid configurations and physical parametrization are maintained in the experiments, changing only the basic topography fields with resolution 1 km and 4 km. The model reproduces the pattern in the near-surface runoff when using the highest resolution topography, however performance decreases in both cases in complex terrain areas. The temperature field is the one that presents the best answer to the increase of topographic resolution, being a useful tool in activities related to transmission and demand of electric energy. The study indicates the feasibility of the use of long simulations as a tool for the construction of regional climatologies, estimation of wind fields for the planning and management of wind farms, as well as the problems associated with the dispersion of pollutants, especially in areas of intense industrial activity and power generation by thermoelectric plants. ara o resumo em língua inglesa (abstract) se aplicam as mesmas regras do resumo em português.

**Keywords:** Wind Energy, Pollutant Dispersion, Local Winds, High Resolution Simulations, Model WRF

### 1. Introdução

A maioria dos mapas de potencial eólico disponíveis para o território Brasileiro são calculados ajustando o vento proveniente de modelos meteorológicos globais de baixa resolução ( $dx \sim 100$  km), podendo muitas vezes conter informações de baixa qualidade (Amarante;Zack;Leite de Sá, 2001), além de não conter as informações relativas aos escoamento de meso e microescala. A correta representação do comportamento das variáveis meteorológicas em modelos atmosférico é importante para estudos ambientais voltados para o setor energético, climatologia dos ventos locais, nebulosidade, temperatura, radiação solar incidente e regime chuvas, dependem da modelatem atmosférica com resolução adequada. Modelos meteorológicos

de mesoescala usando alta resolução possuem um considerável desempenho em reconstruir séries históricas de dados, simular e prever processos meteorológicos próximos da superfície, reproduzindo padrões associados a influencia local que podem ter origem nas características do relevo, tipo de solo e cobertura do solo (Davies;Thompson, 1999). A topografia exerce um papel relevante na modificação do escoamento e a sua representação depende diretamente da escala espacial utilizada. Muitos trabalhos avaliam a habilidade dos modelos atmosféricos em reproduzir a magnitude e direção dos ventos nas camadas atmosféricas próximas à superfície devido a sua ampla gama de aplicações na geração de energia eólica e em problemas associados à dispersão de poluentes (Rife;Davis,2005), (Amarante;Zack;Leite de Sá, 2001).

O modelo Weather Research and Forecastion (WRF) é uma ferramenta importante para realizar simulações atmosféricas em mesoescala. Contudo a obtenção de velocidades do vento realistas sobre terreno complexo depende do conjunto de parametrizações físicas utilizadas e também topografia (Skamarock et al., 2005). O WRF é capaz de simular e prever variáveis meteorológicas próximo da superfície em horizonte superior a 24h, mesmo em regiões de topografia e uso e cobertura de solo complexos (Wang;Wang, 2013), (Das; Ashrit; Iyengar,2008).

No Brasil a maioria dos projetos associados com a geração de energia eólica está em regiões costeiras (Amarante;Zack;Leite de Sá, 2001), iniciativa que visa o aproveitamento regimes de ventos em mesoescala, principalmente circulações de Brisa. Porém os dados utilizados para gerar os mapas eólicos não permitem avaliar circulações de mesoescala, privilegiando situações de alto potencial eólico, muitas vezes ligadas a fenômenos de grande escala. Os sinóticos transientes como por exemplo, os ciclones e anticiclones extratropicais não perduram por mais de 1-2 dias, e por isso não sustentam este potencial por um tempo prolongado. A baixa frequência dos sistemas transientes podem resultar tanto na diminuição das chuvas quanto dos ventos. Resultando em anomalias negativas. Nesta situação, em que não existem forçantes sinóticas (grande escala), os escoamentos locais como brisa e circulações de vale-montanha tornam-se a única fonte de energia para garantir o potencial eólico local.

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho do modelo WRF durante o mês de fevereiro de 2014, quando houve predomínio de circulações de mesoescala, sem a influência de grandes sistemas sinóticos. Estas características foram marcantes principalmente pela crise Hídrico Energética no período de 2014. A costa do Espírito Santo foi escolhida, pois além da existência das circulações de brisa, a proximidade com o Planalto Atlântico traz complexidade para os padrões topográficos o que permite também o desenvolvimento de circulações vale-montanha.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1 Descrição da Simulação com o Modelo WRF

Utilizou-se o Weather Research and Forecasting Model (ARW-WRF), versão 3.6, não-hidrostático, com coordenada vertical sigma-eta, 40 níveis verticais, 2/3 na metade inferior da troposfera. (Skamarock et al., 2005). As principais parametrizações físicas utilizadas são: Microfísica Lin (Lin; Farley; Orville, 1983), e esquema convectivo Kain e Fritsch [9], transferência radiativa de Mlawer et al. (Mlawer et al., 1997), onda longa e onda curta de Duhia (Duhia, 1989). O Boulac (Bougeault; Lacarrere, 1989) para camada limite foi escolhido por ser uma parametrização com fechamento local baseado na Energia cinética turbulenta que relaciona os coeficientes de difusividade atmosférica com as funções de estabilidade, permitindo haver mistura turbulenta mesmo em situações relativamente estáveis. As condições iniciais e de contorno são do NCEP/FNL(FNL, <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>), com  $1^\circ \times 1^\circ$ , a cada 6 horas (NCEP FNL, 2000). Fevereiro de 2014, aprsentou um agravamento na crise Hídrica Energética Brasileira deste ano (Climanálise CPTEC, 2014). A anomalia negativa de

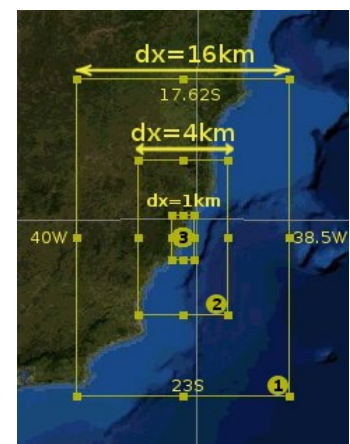


Figura 1: Grades utilizadas na simulação. Resoluções, dx das grades estão indicadas na figura.

precipitação excedeu 100 mm. A sucessiva atuação de sistemas de bloqueio na região subtropical desviou as perturbações sinóticas no período. Sem sistemas de grande escala atuando, ocorreu o predomínio de fenômenos locais. Entender comportamento das simulações do WRF nestas situações pode auxiliar no gerenciamento de situações de crise e na mitigação dos efeitos no setor energético.

### 2.3 Escolha do sítio

A cidade de Vitória foi escolhida por estar sobre a influência de fenômenos costeiros. A Cidade de Vitória localiza-se em Lat 20.271094°, Lon 40.306069°, e altitude de 9m. Nos dados de topografia 30s e 2m, este ponto tem 13 e 16m, respectivamente

Vitória encontra-se muito próxima da escarpa do Planalto Atlântico( figura 2a-b). A grade 2 com resolução horizontal  $dx=4$  km é gerada a partir de um modelo digital de terreno de 30s de grau  $\sim 1$  km (Topo30s) e outra criada a partir de um modelo digital de terreno de 2min de grau  $\sim 4$  km. As topografias da figura 2 (a-b) são muito similares, mas, apesar  $dx=4$  km para as duas grades, Topo30s da grade 2 um detalhamento mais fino devido à maior variância espacial de seu dado de origem estas diferenças são mais evidentes na grade 3. Na figura 2 (c-d), tem-se a representação da topografia na grade de mais alta resolução espacial usada neste experimento, a grade 3 tem  $dx=1$  km O aumento da resolução espacial só se justifica quando há um aumento na complexidade dos padrões a serem representados. Regiões de planície apresentam pouca ou nenhuma melhora nos resultados quanto se tem a resolução espacial aumentada (Colle; Mass; Westrick, 2000), (Colle; Olson; Tongue, 2003), (Gallus, 1999). Por outro lado, os custos computacionais crescem exponencialmente. As simulações foram realizadas utilizando um esquema de aninhamento de grade chamado two-way-nesting. Neste esquema há transferência de informação entre as grades, logo os fenômenos resolvidos em alta resolução na grade interna irão impactar na solução da grade superior. Uma pequena montanha localizada a Sudoeste de Vitória expressa bem as diferenças entre as topografias Topo30s (1 km) e a Topo02m(4 km) utilizadas, este padrão topográfico representa uma barreira para o escoamento de Sul e Sudoeste. Na figura 2 (c-d) Topo30s esta montanha aparece como uma elevação de aproximadamente 200m acima do nível do mar, na Topo02m este padrão topográfico aparece como uma elevação de aproximadamente 50m acima do nível do mar. Ou seja, na figura 2 (c-d) Topo02m esta relevo representa uma barreira para o escoamento 150m mais baixa, ao norte de Vitória também há um pico suavizado.

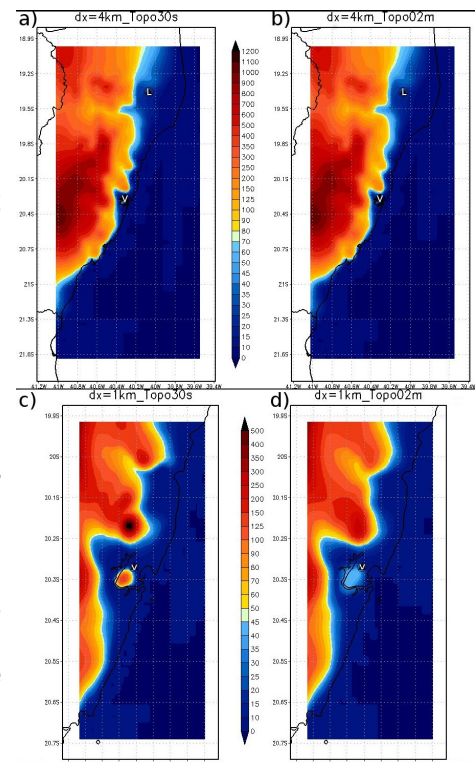


Figura 2: Topografias utilizadas nas grades 2  $dx=4$ km, (a-b) e grade 3  $dx=1$ km.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Análise do escoamento próximo da superfície: Vitória

A estação meteorológica do INMET em Vitória no Campus da Universidade Federal do Espírito Santo, próximo ao rio Santa Maria. Com ausência de um sinal claro do escoamento de Brisa Marítima de E ou NE (fig. 3a) está relacionada com duas edificações que bloqueiam o escoamento de SE na estação, bem como a presença de vegetação elevada nas proximidades. Isto provoca a formação de uma camada de mistura que dissipa energia cinética suavizando o campo de vento observado. As observações magnitudes inferiores a 5m/s, na direção preferencial do vento NW a velocidade é inferior a 2m/s. Nas direções E e NE, o escoamento de brisa é da ordem de 4m/s. Nas simulações estes efeitos locais associados a edificações não estão presentes. As simulações são similares e correspondem, as direções das observações, contudo, tendem a apresentar magnitudes superiores. Na direção NE, onde o vento fica entre 6-9m/s. No

caso de o sítio de Vitória, as simulações conseguem representar o escoamento de brisa terrestre, com ventos fracos inferiores a 2m/s na direção NW-W. O diagrama de dispersão figura 3 (d-f) apresenta o espalhamento da velocidade do vento. As observações apresentam uma intensa concentração com ventos fracos, inferiores a 4m/s no quarto quadrante devido as barreiras existentes. Pode-se considera que as simulações reproduzem este padrão de vento fraco no terceiro quadrante, embora a geometria do espalhamento nas simulações seja equivalente, ele aumenta para magnitudes superiores a 4m/s.

Os resultados do campo de vento simulado pela grade de mais alta resolução (dx=1 km) não produziu mudança significativa na frequência do escoamento entre as direções SE e SW (fig.4). Porém aumentou frequência e magnitude do vento fraco entre W e NW (290°), demonstrando melhor desempenho em representar circulações locais do tipo brisa e vale-montanha, que em geral tem magnitude inferior a 5m/s. As simulações T30s e T02m apresentaram o aparecimento de um pequeno lóbulo direcional entre S-SW, aproximando-se da observação. Mas dadas as condições da estação não é possível confirmar a existência ou não deste padrão.

No caso T02m na simulação com dx=1 km não apresentou significativas modificações relativamente à simulação de 4 km. Ocorre apenas um pequeno incremento vento fraco entre W e NW (290°). A topografia T02m possui dx~4 km e o incremento de resolução não melhora o desempenho da simulação. O gráfico de espalhamento direcional do campo de velocidade também mantém sua forma relativamente à simulação na grade de 4 km. Conduto a simulação com topografia T30s apresentou uma pequena modificação na forma do espalhamento, que ficou mais circular, de maneira similar ao observado.

Isso mostra que o giro do vento associado à transição da brisa marítima para terrestre é mais bem representado com esta resolução relativamente a T02m. Este tipo de efeito pode ter impacto significativo em rodadas de longa duração com finalidade de construir climatologias dos ventos locais e pode ser um fator decisivo para a análise de projetos eólicos ou na dispersão de poluentes no longo prazo. O gráfico de dispersão uma vez houve um pico de concentração dos ventos no quarto setor indicando a direção predominante

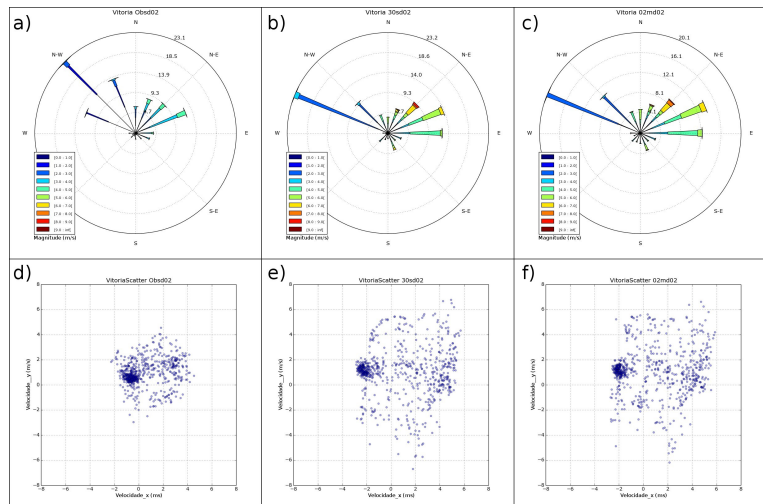


Figura 3: Rosa dos Ventos para os dados observados (a-c), dispersão das componentes zonal e meridional da velocidade do vento (d-f)

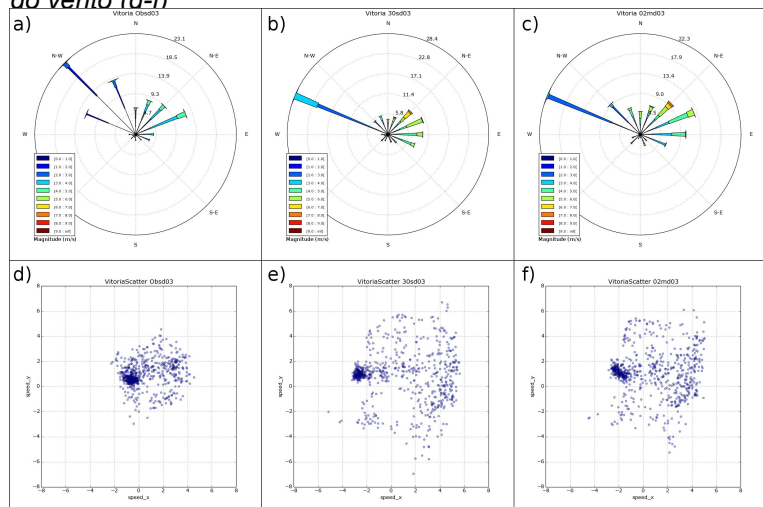


Figura 4: Rosa dos Ventos para os dados observados (a-c), dispersão das componentes zonal e meridional da velocidade do vento (d-f)

### 3.2 Efeitos no Campo de Temperatura

O Campo de temperatura apresentou boa resposta em todos os experimentos quando comparados as observações. O coeficiente de correlação ou determinação mostra que em todas as grades apresentadas o modelo apresenta  $R^2 > 0.9$ . O coeficiente de correlação é levemente superior nas simulações nas grades com  $dx=4$  km. Deve-se a menor variância dos padrões espaciais. Terrenos com topografia complexa podem apresentar grande variabilidade no campo de temperatura. Experimentos observacionais mostram que em períodos de vento fraco e grande estabilidade podem ocorrer variações de temperatura de 5 a 10°C entre pontos observacionais separados por poucas centenas de metros (Bodine et al., 1999), (Acevedo et al., 2013). Os resultados mostram que a previsão de temperatura é dependente do esquema de camada limite Boulac utilizado. Este esquema reduz o Bias frio em situações de vento fraco, permitindo maior turbulência em situações fracamente estáveis, melhorando a previsão de temperatura noturna, aumentando também a velocidade do vento a 10m (Battisti et al., 2016). Ambas as simulações T30s e T02m na grade  $dx=4$  km apresentaram um viés frio para todas as situações dado o predomínio de vento fraco. Este viés frio tende a ser acentuado nas situações de vento fraco (fig.5 a-b), até mesmo na grade com resolução  $dx=1$  km (fig.5 d-e). À medida que o vento aumenta o viés frio diminui e os valores aproximam-se do observado devido ao aparecimento de mistura turbulenta. Na grade com resolução  $dx=1$  km há uma tendência em superestimar a temperatura situações em que a magnitude do vento aumenta acima de 5m/s.

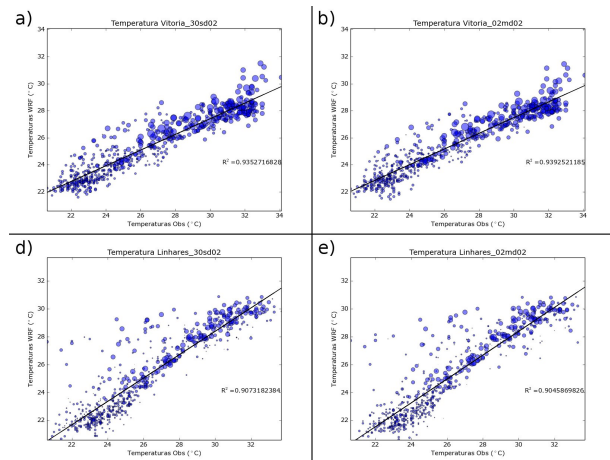


Figura 5: Correlação entre o campo de temperatura simulado e observado. Os experimentos estão indicados nas legendas. O tamanho do círculo é proporcional a magnitude do vento no momento.

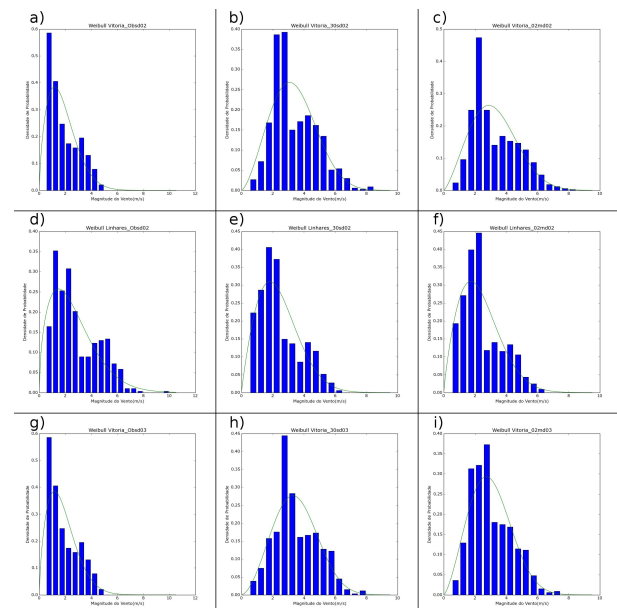


Figura 6: Distribuição Weibull para as observações simuladas em Vitória e com  $dx=4$ km (a-f). Vitória e com  $dx=1$ km (g-i).

### 3.2 Distribuição Weibull para Vitória

A figura 6 apresenta as densidades de probabilidade para os limiares de magnitude observados e simulados. Na figuras 6(a-f) são apresentados os resultados para os experimentos Topo30s e Topo02m  $dx=4$  km, observa-se que a habilidade do modelo em reproduzir as observações aumenta substancialmente no sítio de Linhares relativamente a o sítio de Vitória. Um indicativo de que o desempenho do modelo cai com o aumento da complexidade da topografia. Todavia estes resultados não são conclusivos dados as condições da estação meteorológica de Vitória. Este resultado persiste mesmo com o aumento da resolução (fig.5 g-i).

## 4. Conclusões

Os de sensibilidade ao campo de topografia demonstraram a habilidade do modelo WRF para simular escoamentos de vento fraco na região costeira de Vitória do Espírito Santo, área de terreno complexo. Observou-se que o modelo reproduz satisfatoriamente os padrões de direção do vento em todas as grades e topografias utilizadas. Contudo, a grade alimentada com a topografia de mais alta resolução Topo30s apresenta melhor despenho em simular os fenômenos associados à circulação local. O desempenho dos resultados cai significativamente com o

aumento da complexidade do vento, mas estudos de mais longa duração precisam ser realizados para a compreensão completa da climatologia do modelo nesta escala. Os resultados mostram-se promissores relativamente o campo de temperatura e podendo auxiliar em problemas do setor energético associado à demanda diária de carga/consumo influenciada por esta variável. Neste experimento a simulação abrange apenas mês de fevereiro de 2014, mas em rodada de longa duração estas diferenças tendem a ganhar relevância estatística na composição da climatologia dos ventos. Os resultados são para o estudo de situações de vento fraco, onde há o predomínio de escoamentos locais como circulações vale-montanha e brisas. Dada sua frequência, estes fenômenos são críticos para a geração de energia eólica e também para problemas associados com a dispersão de poluentes, sobre tudo em áreas de intensa atividade industrial.

## 5. Referências

- DAVIES, B. M., AND D. J. THOMSON, 1999: Comparisons of some parameterizations of wind direction variability with observations. *Atmos. Environ.*, 33, 4909–4917.
- RIFE, D. R., AND C. A. DAVIS, 2005: Verification of temporal variations in mesoscale numerical wind forecast. *Mon. Wea. Rev.*, 133, 3368–3381.
- AMARANTE OAC, ZACK MJB, LEITE DE SÁ A. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília, Brasil, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), 2001
- SKAMAROCK, W. C., AND COAUTHORS, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Rep. TN-4751STR, 113 pp.
- WANG, J., AND H.-J. WANG, 2013: Forecasting of wind speed in Rudong, Jiangsu province by the WRF model, *Climatic Environ. Res.*, 18(2), 145–155.
- DAS, S., R. ASHRIT, G. R. IYENGAR, ET AL., 2008: Skills of different mesoscale models over Indian region during monsoon season: Forecast errors, *J. Earth Syst. Sci.*, 117, 603–620.
- SKAMAROCK, W. C., J. B. KLEMP, J. DUDHIA, D. O. GILL, D. M. BARKER, W. WANG, AND J. G. POWERS, 2005: A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR Tech. Note TN-468STR, 88 pp. [Available from NCAR, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307.]
- LIN, Y.-L., R. D. FARLEY, AND H. D. ORVILLE, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065–1092.
- KAIN, J. S., AND J. M. FRITSCH, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models*, Meteor. Monogr., No. 46, Amer. Meteor. Soc., 165–170.
- MLAWER, E. J., S. J. TAUBMAN, P. D. BROWN, M. J. IACONO, AND S. A. CLOUGH, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16 663–16 682.
- DUDHIA, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077–3107.
- DUDHIA, J., 1996: A multi-layer soil temperature model for MM5. Pre-prints, Sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, Boulder, CO, PSU-NCAR, 49–50. [Available from NCAR, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307-3000.]
- P. BOUGEAULT, P. LACARRERE, 1989: Parameterization of orography-induced turbulence in a mesobeta-scale model *Mon. Weather Rev.* 117, (1989) 1872-1890.
- National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>.
- CLIMANÁLISE Volume 29, no2, edição de fevereiro de 2014. CPTEC/INPE Disponível :<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/index0214.shtml#> acesso em Janeiro de 2017.
- COLLE, B.A., C.F. MASS, AND K.J. WESTRICK, 2000: MM5 Precipitation Verification over the Pacific Northwest during the 1997–99 Cool Seasons. *Wea. Forecasting*, 15, 730–744.
- COLLE, B.A., J.B. OLSON, AND J.S. TONGUE, 2003: Multiseason Verification of the MM5. Part I: Comparison with the Eta Model over the Central and Eastern United States and Impact of MM5 Resolution. *Wea. Forecasting*, 18, 431–457.
- GALLUS, W.A., 1999: Eta Simulations of Three Extreme Precipitation Events: Sensitivity to Resolution and Convective Parameterization. *Wea. Forecasting*, 14, 405–426.
- BODINE D, KLEIN PM, ARMS SC, SHAPIRO A (2009) Variability of surface air temperature over gently sloped terrain. *J Appl Meteorol Climatol* 48(6):1117–1141
- ACEVEDO OC, OLIVEIRA P, SANTOS DM, SILVA GM, MEDEIROS LE, QUADRO MFL, FUENTES MV, BASTOS MS, NEDEL AS (2013) Estudo da turbulência atmosférica noturna sobre coxilhas (estância). Parte 2: resultados preliminares. *Ciencia & Natura-Special edition Dec. 2013:392–395*
- BATTISTI, A., ACEVEDO, O. C. ; COSTA, F. D. ; PUHALES, F. S. ; ANABOR, VAGNER ; DEGRAZIA, GERVASIO, A. . Evaluation of Nocturnal Temperature Forecasts Provided by the Weather Research and Forecast Model for Different Stability Regimes and Terrain Characteristics. *Boundary-Layer Meteorology (Dordrecht. Online)*, v. SD, p. SD, 2016.