

Análise da sensibilidade do modelo WRF em diferentes esquemas de parametrização de Cúmulos para um evento de chuva extrema ocorrido na cidade de Nova Iguaçu

Daniela Dantas da Silva¹; Gleison Rodrigues da Silva¹; Fabricio Polifke da Silva¹; Gisele Dornelles Pires¹; Carlos Eduardo Moreira Guarido¹

¹Alunos do Programa de Iniciação Científica Graduação Engenharia Civil-¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

danieladsilva2010@hotmail.com, gleisonro2012@gmail.com, brciopolfke@gmail.com.
eng.gisele.pires@gmail.com, carlosguarido@globo.com

Resumo – As simulações e previsões numéricas de eventos extremos de precipitação se apresentam como ferramentas essenciais para o gerenciamento de riscos e mitigação dos possíveis danos associados. Neste contexto, verifica-se a necessidade de avaliações destas simulações e previsões na escala local de forma a compreender as suas eficiências, assim como possíveis deficiências. Este trabalho utilizou as saídas do modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF) em diferentes condições de parametrizações de Cúmulos e domínios de grade para avaliar a precipitação simulada pelo modelo WRF durante um evento de chuva extrema ocorrido na cidade de Nova Iguaçu. Os resultados mostraram que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio de grade apresentou o menor erro para a estação Catavento. Para a estação GBM Nova Iguaçu, entretanto, verificou-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva, com um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 e para o terceiro domínio. Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação e mostram a necessidade de estudos contínuos visando fornecer subsídios que possam com uma maior assertividade fornecer previsões mais acuradas, principalmente visando o seu uso pelos tomadores de decisão.

Palavras-chave: Chuva, WRF, parametrizações

Abstract – Numerical extreme precipitation simulations and forecast events are essential tools for risk management and mitigation of possible associated damage. In this context, there is a need for evaluations of these simulations and forecasts at the local scale in order to understand their efficiencies, as well as possible deficiencies. This work used the outputs of the numerical model Weather Research and Forecasting (WRF) in different conditions of parameterization of Cumulus and grid domains to evaluate the rainfall simulated by the WRF model during an extreme rain event that occurred in the city of Nova Iguaçu. The results showed that the Cumulus 4 scheme for the first grid domain showed the smallest error for the Catavento station. For GBM Nova Iguaçu station, however, it was found that all parameterizations underestimated the rain, with a smaller error being observed for the Cumulus 1 scheme and for the third domain. Such characteristics corroborate the great challenge associated with the numerical simulation of precipitation and show the need for continuous studies aiming at providing subsidies that can with greater assertiveness provide more accurate predictions, mainly aiming at its use by decision makers.

Keywords: Rainfall, WRF, parametrizations

1 Introdução

Molinari e Dudek (1992) relatam que a precipitação é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes nas regiões tropicais e difíceis de ser simulados nos modelos numéricos da atmosfera. Para Saulo *et al.* (2001) os processos que dão origem à precipitação são melhor representados pelos modelos numéricos regionais, com maiores resoluções e parametrização de convecção adequados. Rodrigues (2014) corrobora que a topografia representa uma fonte de perturbações e deformações dos escoamentos atmosféricos, apresentando forte influência sobre a distribuição e intensificação das chuvas o que dificulta a capacidade dos modelos numéricos de previsão da precipitação. No Brasil, Bender *et al.* (2011) avaliaram as previsões geradas pelo modelo operacional WRF instalado no IAG/USP em três grades aninhadas, para um evento de extremo de precipitação para o estado de São Paulo, que ocorreu no dia 28/02/2011. Os autores verificaram que o modelo conseguiu prever a ocorrência da precipitação, porém não com a intensidade e local em que esta foi observada, caracterizando a necessidade de calibrações regionais e estudos estatísticos que visem o melhor desempenho de modelo.

Espinosa (2011) corrobora que a simulação da precipitação através da modelagem numérica, dentro do conjunto das variáveis meteorológicas, se apresenta como a mais desafiadora a ser prevista com precisão através dos diversos modelos numéricos. Dentre os motivos associados a tal comportamento, a autora ressalta o comportamento altamente variável no espaço e no tempo, além da descontinuidade espacial e temporal da precipitação como um dos principais motivos da sua incerteza através dos modelos numéricos. Além disso, os mecanismos que controlam a formação da precipitação em cada região podem ser diferentes, dependendo da época do ano, caracterizando a necessidade de calibrações regionais e avaliações locais dos modelos de análise e previsão numérica do tempo, com ênfase à previsão da precipitação (Silva 2019).

2 Metodologia

A cidade de Nova Iguaçu localiza-se na região da Baixada Fluminense e ocupa uma área de 523,888 km² (Figura 1). Utilizando os dados das estações Catavento e GBM Nova Iguaçu da rede telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA 2020) localizadas na cidade de Nova Iguaçu (Figura 1), Costa *et al.* (2018) utilizando o limiar de chuvas acima de 100 mm/dia identificaram a ocorrência de seis eventos extremos de precipitação entre 2008 e 2018 sobre a cidade. O de chuva ocorrido em 03 de janeiro de 2013 foi inicialmente analisado por apresentar o maior acumulado de chuva registrado, com valores de aproximadamente 197 mm na estação GBM Nova Iguaçu e 45 mm na estação Catavento.

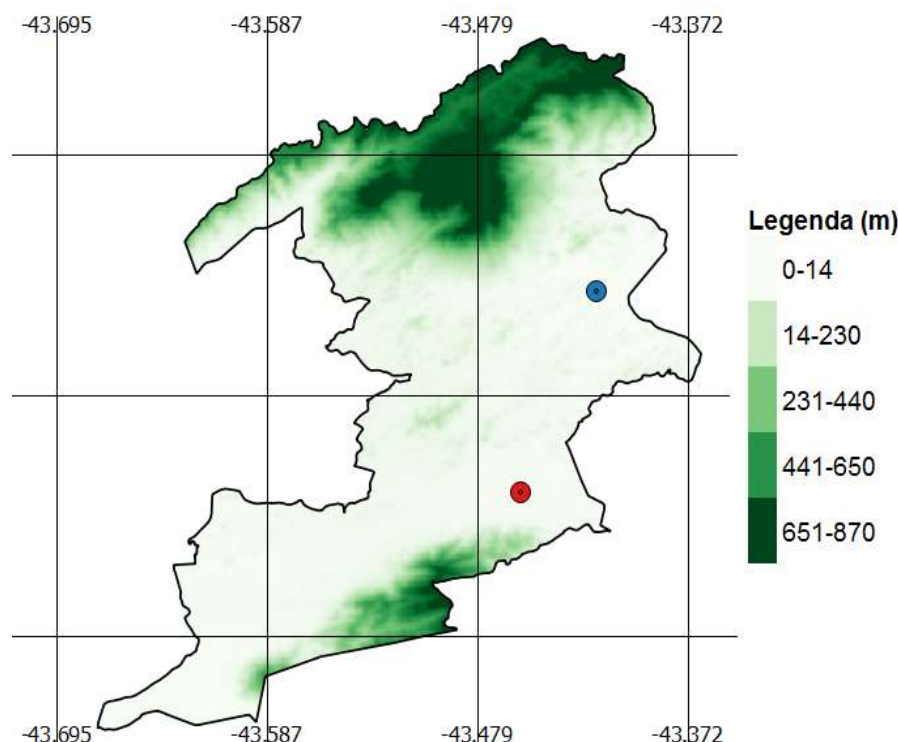


Figura 1- Perfil de elevação da cidade de Nova Iguaçu e estações Catavento (azul) e GBM Nova Iguaçu (vermelho) do Sistema de Alerta de Cheias do INEA (Fonte: Costa *et al.* 2018).

Neste trabalho foi utilizado o modelo numérico Weather, Research and Forecasting (WRF) por ser considerado um modelo de previsão numérica da próxima geração, pois além de ser flexível quanto a sua instalação e configuração física e numérica, pode ser utilizado em diversas escalas que podem ir de apenas alguns metros até milhares de quilômetros e pode atender a finalidades do tipo: Simulações idealizadas (convecção, ondas baroclínicas, etc.), pesquisa de parametrizações, pesquisa de assimilação de dados, pesquisa em previsão de tempo, acoplamentos entre modelos de aplicações diferentes (tempo-ondas, tempo-poluição, etc.) e ensino. O WRF tem uma crescente comunidade de usuários, e é usado operacionalmente por vários centros, inclusive o NCEP. A versão do WRF usada neste trabalho é a ARW 8.0 e usa o módulo WRF *Pre-Processing System* (WPS) para o pré-processamento.

Foram realizadas quatro simulações do modelo WRF variando as parametrizações de Cúmulos (Tabela 1) para um evento de chuva extrema ocorrido em 03 de janeiro de 2013 na cidade de Nova Iguaçu, conforme encontrado em Costa *et al.* (2018). O objetivo deste trabalho é verificar qual conjunto de parametrização representaria qualitativamente e quantitativamente a chuva em comparação com os dados observados de precipitação coletados na cidade de Nova Iguaçu durante o evento de chuva extrema ocorrido. As demais parametrizações (default) do modelo WRF foram constantes durante as simulações. Sendo elas: o Modelo de Transferência Radiativa Rápida para radiação de ondas longas (Mlawer et al. 1997), o esquema de radiação de onda curta Dudhia (Dudhia 1989), o esquema de microfísica de 3 momentos WRF (Hong et al. 2004), O esquema de parametrização do cumulus de Kain-Fritsch (Kain 2004), o modelo unificado de superfície terrestre Noah (Tewari et al. 2004), o MM5 revisado Monin-Obuckov (Jimenez et al. 2012) para camada superficial e o limite planetário da Universidade Yon-Sei Esquema de parametrização de camadas (Hong et al. 2006).

Tabela 1 - Esquemas de Parametrização de Cúmulos

Opção	Esquema de Cúmulos	Referencial Teórico
1	Kain–Fritsch	Kain (2004)
2	Betts–Miller–Janjić	Janjić (1994)
3	Grell–Freitas Ensemble	Grell e Freitas (2014)
4	Old Simplified Arakawa–Schubert	Pan e Wu (1995)

As condições de contorno inicial e lateral utilizadas para a realização das simulações utilizando o modelo WRF foram obtidas através das análises do Global Forecast System (GSF, <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GSF/doc.php>) com intervalos de seis horas e resolução horizontal de 0,50° x 0,50°. Para a avaliação da precipitação foram realizadas simulações começando 72 horas, 48 horas e 24 horas antecedentes ao dia 03/01/2013 e terminando às 22h00 do dia 04/01/2013 com a finalidade de caracterizar o desempenho do modelo quando submetido a diferentes condições temporais de inicialização. O modelo foi também configurado, com um total de três domínios e hierarquias de grade WRF modeladas com resoluções de domínio horizontal de 27 km (d01), 09 km (d02) e 03 km (d03), respectivamente (Figura 2), conforme realizado em Silva *et al.* (2019).

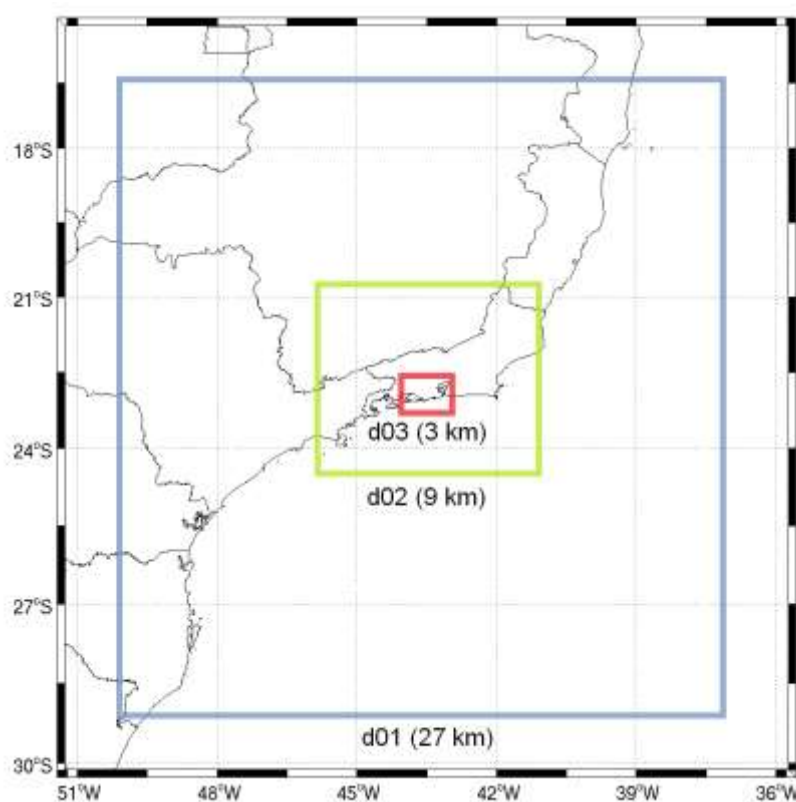


Figura 2 – Domínios da grade utilizada nas simulações com o modelo WRF (Fonte: Silva *et al.* 2019).

3 Resultados

Uma análise qualitativa da evolução temporal da precipitação simulada pelo modelo WRF e observada nas estações Catavento e GBM Nova Iguaçu são mostradas nas Figuras 3 e 4. A linha em preto caracteriza a chuva observada, as linhas em azul, verde e laranja caracterizam os domínios 1, 2 e 3m respectivamente. Verificou-se, em geral, um grande espalhamento das simulações da precipitação para ambos os pontos de grade à medida que o modelo avançou na integração das equações matemáticas representativas das parametrizações. Para a estação Catavento (Figura 3), verifica-se que, a precipitação acumulada simulada nos domínios 1 e 2 esteve qualitativamente mais próxima da chuva observada. Para a estação GBM Nova Iguaçu (Figura 4), verifica-se que, a precipitação acumulada simulada no domínio 3 apresentou qualitativamente um melhor resultado.

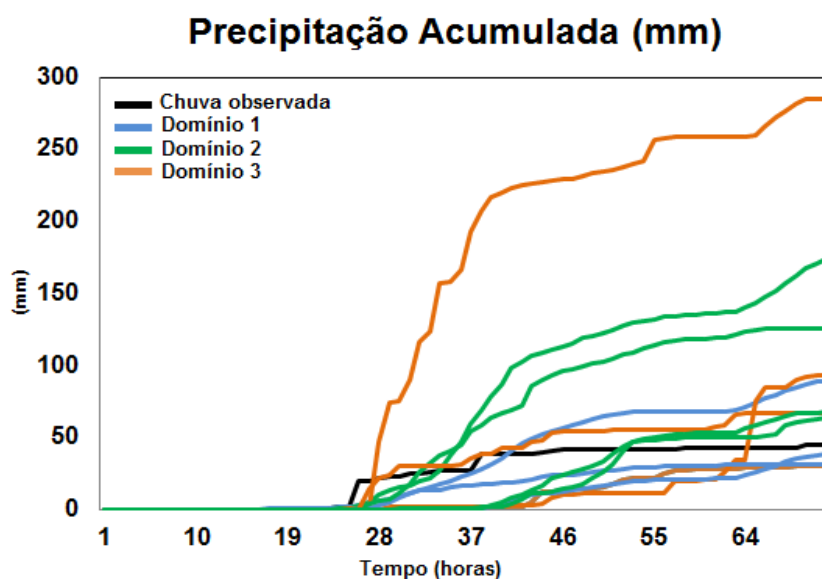


Figura 3 – Chuva simulada pelo modelo numérico WRF para a estação Catavento.

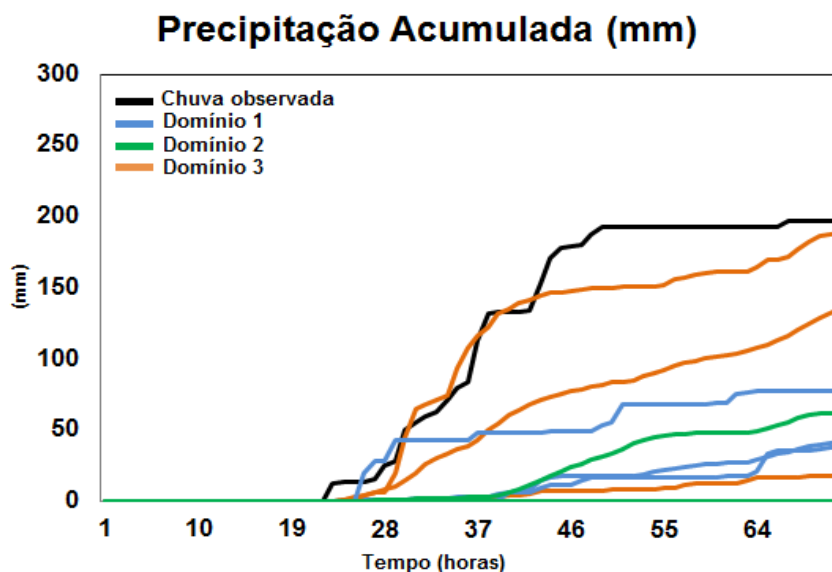


Figura 4 – Chuva simulada pelo modelo numérico WRF para a estação GBM Nova Iguaçu.

Uma análise quantitativa é para cada domínio de grade de simulação, assim como para cada estação de chuva utilizada é mostrada nas Tabelas 2 a 3, onde podem ser observados os resultados da precipitação simulada acumulada pelo modelo WRF e os resultados da diferença entre a simulação do modelo e os valores observados. Nestas tabelas as cores em azul indicam que o modelo superestimou a precipitação e em laranja que o modelo subestimou a precipitação. A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à estação Catavento e a Tabela 3 os resultados referentes à estação GBM Nova Iguaçu. É possível observar que para a estação Catavento (Tabela 2) o modelo tendeu a superestimar e subestimar a precipitação dependendo do esquema de Cúmulos utilizado. Através de uma análise comparativa verifica-se que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio apresentou o menor erro (-5,7 mm). Para a estação GBM Nova Iguaçu, verifica-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva. Entretanto, um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 para o terceiro domínio (-8,7 mm). Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação assim como a sua avaliação pontual, caracterizando a importância da previsão por conjuntos visando quantificar as incertezas associadas e obter, consequentemente, cenários mais próximos da realidade, isto é, dos dados observados.

Tabela 2 – Precipitação acumulada pelo modelo WRF para a estação Catavento durante o período de simulação

Parametrização	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3	Domínio 1 (Diferença)	Domínio 2 (Diferença)	Domínio 3 (Diferença)
Cúmulos 1	89,7	173,8	284,7	44,9	129,0	239,9
Cúmulos 2	30,5	30,5	93,2	-14,3	-14,3	48,4
Cúmulos 3	32,2	126,3	67,4	-12,6	81,5	22,6
Cúmulos 4	39,1	68,3	64,4	-5,7	23,5	19,6

Tabela 3 – Precipitação acumulada pelo modelo WRF para a estação GBM Nova Iguaçu durante o período de simulação

Parametrização	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3	Domínio 1 (Diferença)	Domínio 2 (Diferença)	Domínio 3 (Diferença)
Cúmulos 1	0,0	135,8	188,3	-197,0	-61,2	-8,7
Cúmulos 2	0,0	17,8	37,6	-197,0	-179,2	-159,4
Cúmulos 3	0,0	126,3	77,3	-197,0	-70,7	-119,7
Cúmulos 4	0,0	68,3	41,9	-197,0	-128,8	-155,1

4 Conclusões

A ocorrência de altos acumulados pluviométricos, também chamados de eventos extremos de chuvas pode desencadear a ocorrência de inúmeros danos econômicos e sociais, até mesmo, nos casos mais extremos, perda de vidas. Neste contexto, pesquisas científicas que visem o aprimoramento regional da modelagem numérica da precipitação pode favorecer um conhecimento mais detalhado das suas eficiências, assim como deficiências, em funções dos

diferentes sistemas meteorológicos associados, assim como aos esquemas de parametrização e domínios de simulação. Neste trabalho foram realizadas as simulações da precipitação para um evento de chuva ocorrido na cidade de Nova Iguaçu em diferentes grades espaciais e diferentes esquemas de parametrização utilizando o modelo numérico WRF. Através de uma análise comparativa verifica-se que o esquema de Cúmulos 4 para o primeiro domínio apresentou o menor erro. Para a estação GBM Nova Iguaçu, entretanto, verificou-se que todas as parametrizações subestimaram a chuva, com um menor erro foi observado para o esquema de Cúmulos 1 e para o terceiro domínio. Tais características corroboram o grande desafio associado à simulação numérica da precipitação assim como a sua avaliação pontual, caracterizando a importância da previsão por conjuntos visando quantificar as incertezas associadas e obter, consequentemente, cenários mais próximos da realidade, isto é, dos dados observados.

5 Referências Bibliográficas

- Bender FD, Santos FD, Yonue RT (2011) Análise da ocorrência de um evento de precipitação extrema em São Paulo com o Modelo Operacional WRF em três grades aninhadas. In Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia. 2011, João Pessoa, Paraíba. Sociedade Brasileira de Meteorologia
- Costa WP, Silva GR, Silva FP, Pires GD, Sampaio RF (2018) Eventos extremos de precipitação na cidade de Nova Iguaçu: Identificação e estimativa por radar. *Rev Eng, Meio Amb e Inov* 1:21-27
- 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
- Grell GA, Freitas SR (2014) A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14(10): 5233–5250
- Hong S-Y, Dudhia J, Chen S-H (2004) A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon Weather Rev* 132:103–120
- Hong SY, Noh Y, Dudhia J (2006) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon Weather Rev* 134:2318–2341
- Janjic ZI (1994) The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. *Monthly Weather Review* 122(5):927–945 DOI: 10.1175/1520-0493(1994)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2.
- Jiménez PA, Dudhia J, González-Rouco JF, Navarro J, Montávez JP, García-Bustamante E (2012) A revised scheme for the WRF surface layer formulation. *Mon Weather Rev* 140:898–918
- Kain JS (2004) The Kain-Fritsch convective parameterization: na update. *J Appl Meteor* 43:170–181
- Mlawer EJ, Taubman SJ, Brown PD, Iacono MJ, Clough SA (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J Geophys Res* 102:16663–16682
- Molinari JE, Dudek M (1992) Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: A critical review. *Mon. Wea. Rev.* 120: 326-344
- Pan HK, WU WS (1995). Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC medium-range forecast model: NCEP office note. Silver Spring: National Centers for

Environmental Prediction (U.S.), 1995. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/11429>>. Acessado em 10 de abril de 2020

Rodrigues LB, Teixeira AL, Moura FM, Sales MCL (2012) Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação: o caso do dia 27 de março de 2012, Fortaleza, CE, Brasil. *Revista Geonorte da Universidade Federal do Amazonas* 1(5):1129-1140

Saulo AC, Seluchi M, Campetell C, Ferreira L (2001) Error evaluation of NCEP and LAHM regional model daily forecasts over Southern South America. *Weather and Forecasting* 16, 697–712.

Silva FP (2019) Previsão de tempestades severas e de transbordamentos no rio Quitandinha – Petrópolis/J, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Silva Dantas, Silva GP, Silva FP, Pires GP (2019) Análise da precipitação simulada pelo modelo WRF durante evento de chuvas extremas ocorridos na cidade de Nova Iguaçu *Rev Eng, Meio Amb e Inov* 3(1):87-93

Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda M, Huang XY, Wang W, Powers JG (2008) A description of the advanced research WRF version 3. Tech. Rep. TN-475+STR, NCAR

Tewari M, Chen F, Wang W, Dudhia J, LeMone M, Mitchell K, Ek M, Gayno G, Weigel J, Cuenca R (2004) Implementation and verification of the unified Noah land surface model in the WRF model. In: 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, pp 11–15