

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO SIMULADA PELO MODELO WRF DURANTE EVENTO DE CHUVAS EXTREMAS OCORRIDOS NA CIDADE DE NOVA IGUAÇU

Daniela Dantas da Silva¹, Gleison Rodrigues da Silva², Fabricio Polifke da Silva³ e Gisele Dornelles Pires⁴

^{1,2} Alunos Graduação Engenharia Civil, ² Professores e Pesquisadores Engenharia Civil UNIG, ³
^{1,2,3,4} Grupo 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, briciopolifke@gmail.com,
unigengenharia@gmail.com

Resumo - *O aprimoramento das simulações e previsões numéricas da precipitação associada à ocorrência de eventos extremos passados pode fornecer informações mais precisas e confiáveis para os avisos de risco e as tomadas de decisão realizadas pelas defesas civis. Neste contexto, avaliações locais da precipitação utilizando dados observados podem sinalizar as possíveis tendências do modelo na simulação da chuva. Este trabalho utilizou as saídas do modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF) em diferentes condições de inicialização e domínios de grade para avaliar a precipitação simulada pelo modelo WRF durante seis eventos extremos de chuva ocorridos na cidade de Nova Iguaçu. Os resultados mostraram que, em média, o modelo tendeu a subestimar a precipitação em relação ao que foi observado, isto é, realmente aconteceu. Através de uma análise qualitativa verificou-se que a grade mais refinada (03 km) tendeu a apresentar um melhor posicionamento da chuva sobre a cidade de Nova Iguaçu, assim como os valores simulados, isto é, mais próximo do que realmente foi observado. Tais resultados corroboram a necessidade de estudos que visem aprimorar localmente os resultados das simulações dos modelos numéricos através de análises estatísticas, como modelos de regressões lineares.*

(Palavras-chave: Chuva, WRF, parametrização)

Abstract – *The improvement of rainfall forecasting related to past extreme events can provide more accurate and reliable information for risk warnings and decision making by civil defenses. In this context, local precipitation assessments using observed data may signal possible model trends during the rainfall simulation processes. This work used the outputs of the numerical model Weather Research and Forecasting (WRF) in different initialization conditions and grid domains to evaluate the simulated precipitation by the WRF model during six extreme rainfall events in the city of Nova Iguaçu. The results showed that, on average, the model tended to underestimate precipitation in relation to what was observed, that is, it actually was recorded. Through a qualitative analysis it was verified that the most refined grid (03 km) tended to present a better positioning of the rainfall over the city of Nova Iguaçu, as well as the simulated values, that is, closer to what was actually observed. These results corroborate the need for studies aiming at locally improving the results of simulations of numerical models through statistical analysis, such as linear regression models.*

(Keywords: Rainfall, WRF, parameterizations)

1. Introdução

As projeções climáticas indicam uma maior presença de umidade (vapor d'água) e processos dinâmicos e termodinâmicos ocorrendo na atmosfera, de modo que eventos extremos de chuva, isto é, eventos em que são observadas altas taxas de precipitação, assim como outros fenômenos, poderão ser observados com maior frequência e intensidade (Marengo *et al.* 2009). Assim, a avaliação das condições físicas relacionadas ao desenvolvimento de precipitações extremas é crucial para a caracterização de diferentes cenários de risco e o gerenciamento dos danos causados pela sua ocorrência. Consequentemente, um entendimento mais preciso da representação local de eventos extremos de chuva utilizando dados observacionais e modelagens numéricas contribuem para a identificação dos gatilhos associados à ocorrência de desastres naturais. Devido à sua notável relevância e influência na sociedade, investigações detalhadas das inter-relações espaço-temporais dos eventos de chuvas extremas e como eles podem ser detectados e previstos por diferentes bases de dados é necessária (Boers *et al.* 2015).

As previsões quantitativas da precipitação podem fornecer direcionamentos preciosos para caracterizar o risco da ocorrência de possíveis eventos significativos de chuva, assim como os acumulados correspondentes. No entanto, a previsão dos eventos em que são observadas altas taxas diárias e horárias da precipitação, especialmente quando originadas por condições atmosféricas na escala local, ainda representa um tópico a ser mais bem explorado através da modelagem numérica, pois exige a resolução de equações físicas e matemáticas em uma ampla variedade de processos em diferentes escalas espaço-temporais (Silva 2019).

Este trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente e quantitativamente o comportamento da precipitação simulada durante seis eventos de chuvas extremas ocorridos na cidade de Nova Iguaçu em diferentes condições de inicialização temporal e domínios simulados pelo modelo WRF. A avaliação quantitativa será realizada através de estatísticas de verificação entre o total diário da precipitação simulado pelo modelo e a precipitação total diária observada em superfície na cidade de Nova Iguaçu. A avaliação qualitativa corresponderá a análise da distribuição espacial da precipitação para o evento mais significativo de chuva extrema, isto é, o evento que apresentou o maior acumulado pluviométrico, na cidade de Nova Iguaçu. Espera-se através da metodologia proposta identificar preliminarmente qual seria a melhor condição inicial e domínio de grade simulação que apresente a melhor eficiência na simulação da precipitação na cidade de Nova Iguaçu.

2. Materiais e Métodos

O município de Nova Iguaçu é uma cidade localizada na região administrativa da Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro, possui população estimada 798 657 habitantes (ano de 2017) segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/>) e ocupa uma área de 523,888 km² (Figura 1). Utilizando os dados das estações da rede telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) 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. Entre todos os eventos identificados, optou-se por realizar e avaliar a simulação do evento de chuva que apresentou o maior acumulado diário observado, sendo este o evento de chuva ocorrido em 03 de janeiro de 2013.

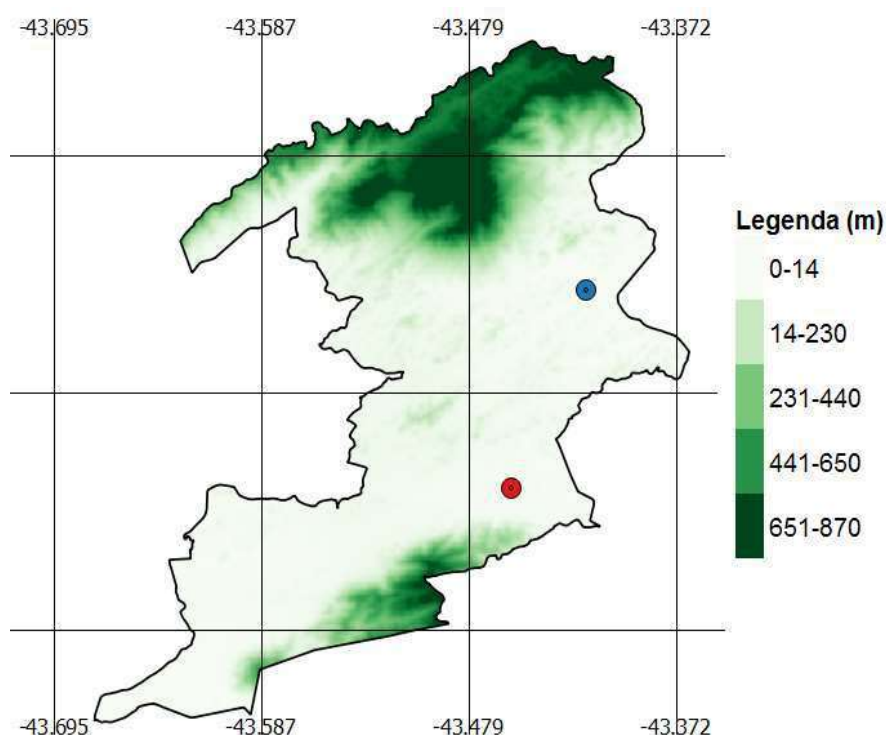


Figura 1- Perfil de elevação da cidade de Nova Iguaçu e estações Catavento (azul) e GBM Nova Iguaçu (vermelho) do Sistema de Alerta de Cheias do INEA (Fonte: Costa *et al.* 2018).

A simulação numérica foi realizada utilizando o modelo Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock *et al.* 2008) versão 3.8. As parametrizações físicas utilizadas foram 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).

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 $0,50^\circ \times 0,50^\circ$. Para a avaliação da precipitação foram realizadas simulações começando 72 horas, 48 horas e 24 horas antecedentes aos eventos extremos de chuva com a finalidade de caracterizar a performance 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).

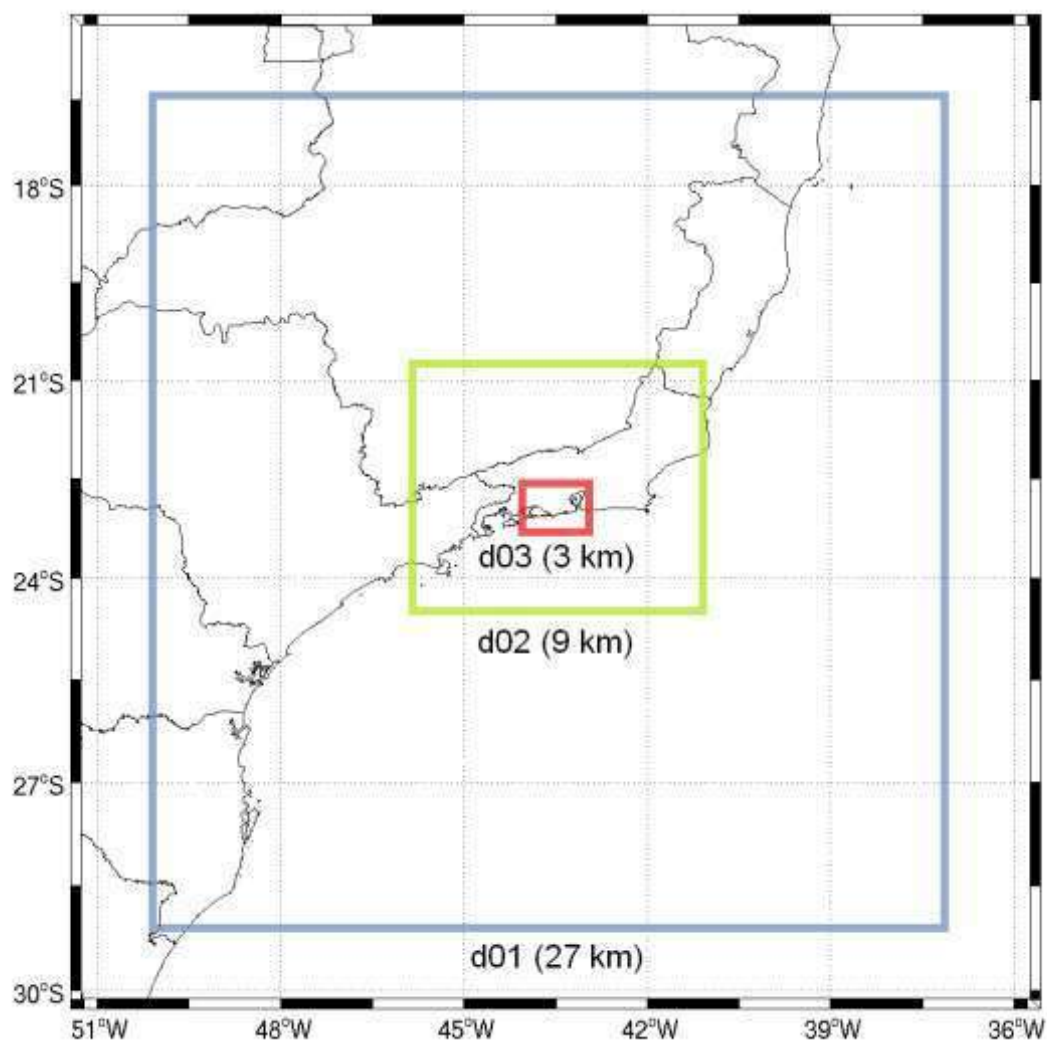


Figura 2 – Domínios da grade utilizada nas simulações com o modelo WRF.

3. Eventos extremos de chuva ocorridos na cidade de Nova Iguaçu

Utilizando o limiar de 100 mm/dia para a caracterização de eventos extremos de precipitação na cidade de Nova Iguaçu, Costa *et al.* (2018) verificaram a ocorrência de seis eventos de chuvas extremas, sendo eles: 14/01/2009, 25/01/2010, 29/03/2010, 05/12/2010, 03/01/2013 e 11/12/2013. A fim de identificar os sistemas meteorológicos que deram origem aos altos acumulados de precipitação registrados, os autores verificaram, através das informações disponíveis nos boletins informativos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (<http://climanalysis.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/>), que a passagem de frentes frias e a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, corresponderam a aproximadamente 67 % e 33 % das formação das chuvas, respectivamente.

4. Avaliação quantitativa da precipitação simulada pelo modelo WRF

As Tabelas 1 a 3 mostram os resultados do total diário de precipitação simulada pelo modelo WRF começando 72 horas, 48 horas e 24 horas antes do início da precipitação para as grades de 27 km, 09 km e 03 km nos pontos de grade das estações GBM Nova Iguaçu e Catavento. Através destes resultados verifica-se a grande variabilidade do modelo WRF para a simulação da chuva variando entre as condições iniciais fornecidas e entre os domínios de grade utilizados. Tal característica é observada principalmente devido à resolução espacial na qual as equações físicas são resolvidas numericamente no modelo.

Tabela 1 – Total diário simulado pelo modelo WRF para os seis eventos extremos de chuva ocorridos em Nova Iguaçu entre 2008 e 2014 para cada uma das três grades começando 72 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (72h)			GBM Nova Iguaçu (72h)		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
14/01/2009	7,81	8,45	1,88	12,61	2,71	0,02
25/01/2010	0,00	0,17	0,00	1,98	1,93	0,00
29/03/2010	1,91	3,37	0,05	1,65	1,17	0,00
05/12/2010	5,27	6,73	0,21	0,47	3,43	0,35
03/01/2013	34,17	82,50	63,31	45,36	43,76	50,02
11/12/2013	53,99	62,01	73,22	97,76	41,14	51,13

Tabela 2 – Total diário simulado pelo modelo WRF para os seis eventos extremos de chuva ocorridos em Nova Iguaçu entre 2008 e 2014 para cada uma das três grades começando 48 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (48h)			GBM Nova Iguaçu (48h)		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
14/01/2009	6,31	13,98	4,48	10,36	17,01	13,54
25/01/2010	0,00	0,00	0,00	1,31	0,18	0,00
29/03/2010	7,68	2,72	0,04	7,26	2,25	4,46
05/12/2010	3,48	4,87	0,29	0,54	2,80	0,46
03/01/2013	50,53	104,77	118,42	56,56	45,44	14,28
11/12/2013	93,82	96,52	102,57	129,91	138,86	140,26

Tabela 3 – Total diário simulado pelo modelo WRF para os seis eventos extremos de chuva ocorridos em Nova Iguaçu entre 2008 e 2014 para cada uma das três grades começando 24 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (24h)			GBM Nova Iguaçu (24h)		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
14/01/2009	14,71	20,99	17,29	23,77	19,96	8,12
25/01/2010	0,00	25,62	0,00	15,68	11,74	0,00
29/03/2010	4,75	10,05	0,61	5,65	2,12	5,75
05/12/2010	10,91	20,73	0,98	2,97	6,97	0,64
03/01/2013	39,50	75,20	114,98	44,79	0,56	0,67
11/12/2013	56,41	70,77	50,45	44,69	29,06	23,50

Com a finalidade de avaliar a assertividade do modelo em relação à simulação do acumulado total diário da chuva, realizou-se a diferença entre a chuva total diária observada em cada uma das estações (Catavento e GBM Nova Iguaçu) em relação aos acumulados simulados pelo modelo WRF. Verifica-se através das Tabelas 4 a 6 que na maior parte dos eventos, o modelo tendeu a subestimar a precipitação em relação ao que foi observado, isto é, realmente aconteceu. Para poucos eventos (14/01/2009 e 03/01/2013), verifica-se que o modelo tendeu a superestimar a precipitação observada. É possível observar também que o modelo WRF tendeu a apresentar maiores superestimativas da precipitação para a estação GBM Nova Iguaçu em relação à estação Catavento. Tais resultados corroboram a necessidade de estudos que visem aprimorar localmente os resultados das simulações dos modelos numéricos através de análises estatísticas, como modelos de regressões lineares.

Tabela 4 – Diferenças entre a precipitação simulada pelo modelo WRF e a precipitação observada em Nova Iguaçu para cada uma das três grades começando 72 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (72h)				GBM Nova Iguaçu (72h)			
	Chuva	G1	G2	G3	Chuva	G1	G2	G3
14/01/2009	9,40	-1,59	-0,95	-7,52	143,40	-130,79	-140,69	-143,38
25/01/2010	114,20	-114,20	-114,03	-114,20	69,20	-67,22	-67,27	-69,20
29/03/2010	122,20	-120,29	-118,83	-122,15	46,40	-44,75	-45,23	-46,40
05/12/2010	47,20	-41,93	-40,47	-46,99	108,60	-108,13	-105,17	-108,25
03/01/2013	76,80	-42,63	5,70	-13,49	168,40	-123,04	-124,64	-118,38
11/12/2013	0,00	53,99	62,01	73,22	125,00	-27,24	-83,86	-73,87

Tabela 5 – Diferenças entre a precipitação simulada pelo modelo WRF e a precipitação observada em Nova Iguaçu para cada uma das três grades começando 48 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (48h)				GBM Nova Iguaçu (48h)			
	Chuva	G1	G2	G3	Chuva	G1	G2	G3
14/01/2009	9,40	-3,09	4,58	-4,92	143,40	-133,04	-126,39	-129,86
25/01/2010	114,20	-114,20	-114,20	-114,20	69,20	-67,89	-69,02	-69,20
29/03/2010	122,20	-114,52	-119,48	-122,16	46,40	-39,14	-44,15	-41,94
05/12/2010	47,20	-43,72	-42,33	-46,91	108,60	-108,06	-105,80	-108,14
03/01/2013	76,80	-26,27	27,97	41,62	168,40	-111,84	-122,96	-154,12
11/12/2013	0,00	93,82	96,52	102,57	125,00	4,91	13,86	15,26

Tabela 6 – Diferenças entre a precipitação simulada pelo modelo WRF e a precipitação observada em Nova Iguaçu para cada uma das três grades começando 24 horas do início da precipitação.

Data	Catavento (24h)				GBM Nova Iguaçu (24h)			
	Chuva	G1	G2	G3	Chuva	G1	G2	G3
14/01/2009	9,40	5,31	11,59	7,89	143,40	-119,63	-123,44	-135,28
25/01/2010	114,20	-114,20	-88,58	-114,20	69,20	-53,52	-57,46	-69,20
29/03/2010	122,20	-117,45	-112,15	-121,59	46,40	-40,75	-44,28	-40,65
05/12/2010	47,20	-36,29	-26,47	-46,22	108,60	-105,63	-101,63	-107,96
03/01/2013	76,80	-37,30	-1,60	38,18	168,40	-123,61	-167,84	-167,73
11/12/2013	0,00	56,41	70,77	50,45	125,00	-80,31	-95,94	-101,50

5. Avaliação qualitativa da distribuição espacial precipitação simulada pelo modelo WRF: Estudo de caso do dia 03 de janeiro de 2013

Dentre os seis eventos encontrados, verificou-se o maior acumulado de chuva ocorrido no dia 03 de janeiro de 2013, com um valor máximo de 168,4 mm na rede de monitoramento do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Assim, devido ao alto acumulado de precipitação registrado, este trabalho procurará aplicar a metodologia proposta inicialmente para este evento extremo de chuva. Os dados de chuva utilizados nesta pesquisa serão oriundos da rede do INEA para as estações Catavento (lat: -22,65 e lon: -43,41) e GBM Nova Iguaçu (lat: -22,74 e lon: -43,457).

Através das Figuras 3, 4 e 5 verificam-se os resultados das simulações com o modelo WRF começando 72 horas, 48 horas e 24 horas anteriores ao evento de chuva ocorrido em 03 de janeiro de 2013. Este evento foi escolhido para ilustração dos resultados, pois foi onde ocorreu o maior acumulado de chuva observado na estação Catavento. É possível verificar através destas figuras que a grade mais refinada (03 km) tendeu a apresentar um melhor posicionamento da chuva sobre a cidade de Nova Iguaçu, assim como os valores simulados, isto é, mais próximo do que realmente foi observado. Para a grade mais grosseira (27 km), verifica-se que uma distribuição maior da precipitação, caracterizando que o modelo não conseguiu identificar bem os processos de microfísica das nuvens que acontecem em uma escala mais refinada. A grade de 09 km apresentou resultados intermediários entre a grade de 27 km e a grade de 03 km.

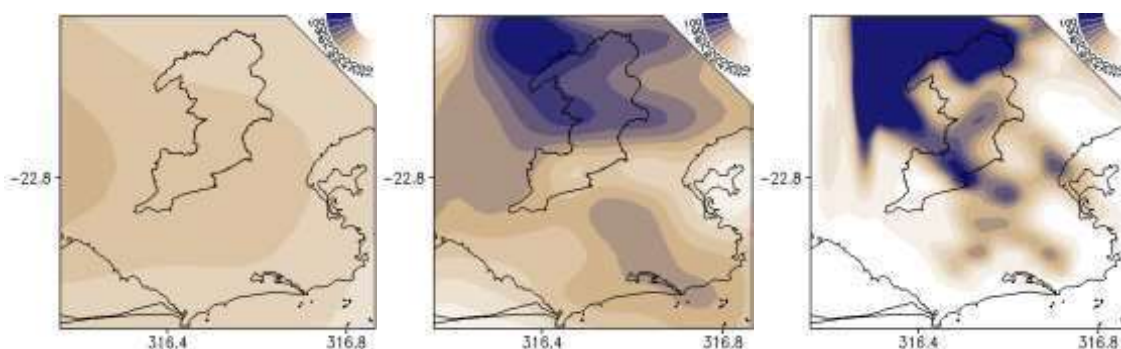


Figura 3 – Chuva simulada pelo modelo WRF começando 72 horas da ocorrência da chuva no domínio de 27 km (esquerda), 09 km (central) e 03 km (direita) para o evento de chuva de 03 de janeiro de 2013.

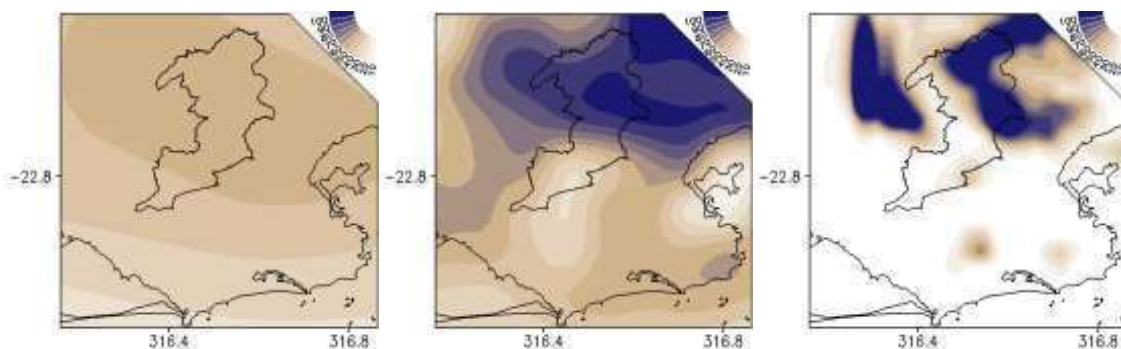


Figura 4 – Chuva simulada pelo modelo WRF começando 48 horas da ocorrência da no domínio de 27 km (esquerda), 09 km (central) e 03 km (direita) para o evento de chuva de 03 de janeiro de 2013.

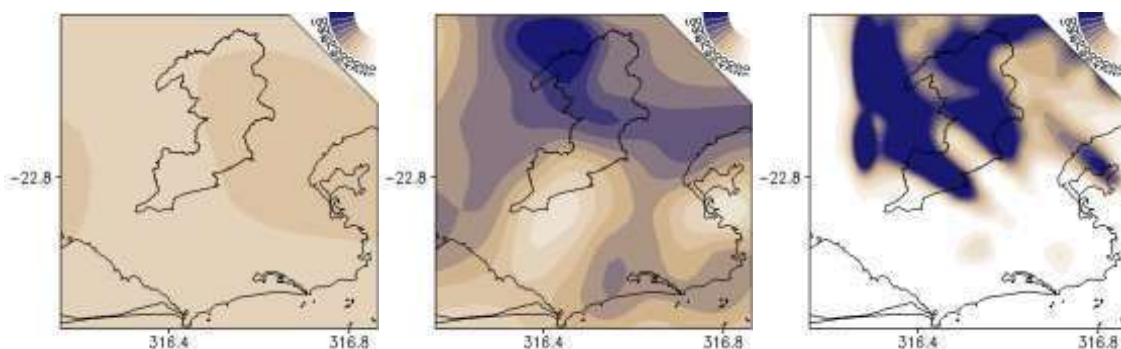


Figura 5 – Chuva simulada pelo modelo WRF começando 24 horas da ocorrência da no domínio de 27 km (esquerda), 09 km (central) e 03 km (direita) para o evento de chuva de 03 de janeiro de 2013.

6. Conclusões

Eventos de chuvas extremas desencadeiam, na maior parte dos casos, a ocorrência de desastres naturais do tipo inundações e deslizamentos de encostas. Assim, o aprimoramento regional da modelagem numérica da chuva utilizando eventos passados permite obter informações mais precisas e confiáveis da chuva quando

previstas pelos modelos numéricos. Neste trabalho foram realizadas as simulações da precipitação durante seis eventos extremos de chuva ocorridos na cidade de Nova Iguaçu em diferentes grades espaciais e diferentes condições de inicialização utilizando o modelo numérico WRF.

Os resultados mostraram que, em média, o modelo tendeu a subestimar a precipitação em relação ao que foi observado, isto é, realmente aconteceu. Para poucos eventos verificou-se que o modelo tendeu a superestimar a precipitação observada. Foi possível observar também que o modelo WRF tendeu a apresentar maiores superestimativas da precipitação para a estação GBM Nova Iguaçu em relação à estação Catavento. Através de uma análise qualitativa da distribuição espacial simulada pelo modelo, verificou-se que a grade mais refinada (03 km) tendeu a apresentar um melhor posicionamento da chuva sobre a cidade de Nova Iguaçu, assim como os valores simulados, isto é, mais próximo do que realmente foi observado. Para a grade mais grosseira (27 km), verifica-se que uma distribuição maior da precipitação, caracterizando que o modelo não conseguiu identificar bem os processos de microfísica das nuvens que acontecem em uma escala mais refinada. Tais resultados corroboram a necessidade de estudos que visem aprimorar localmente os resultados das simulações dos modelos numéricos através de análises estatísticas, como modelos de regressões lineares.

7. Referências Bibliográficas

Boers N, Bookhagen B, Marwan N, Kurths J (2015) Spatiotemporal characteristics and synchronization of extreme rainfall in South America with focus on the Andes Mountain range. *Clim Dyn* 46:601–617. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2601-6>

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

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

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: an update. *J Appl Meteor* 43:170–181

Marengo JA, Soares WR, Ambrizzi T (2009) “Jato de baixos níveis ao longo dos Andes”. Para entender tempo e clima. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

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

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

Silva FP (2019) Previsão de tempestades severas e de transbordamentos no rio Quitandinha – Petrópolis/J, Tese de doutorado.

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