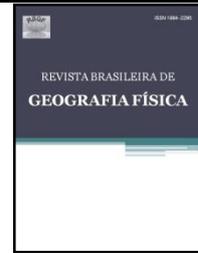




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Testando diferentes esquemas da *parametrização cumulus* do modelo WRF, para a região norte Nordeste do Brasil

Vanessa de Almeida Dantas (1), Vicente de Paula Silva Filho (1), Eliane Barbosa Santos (2), Adilson Wagner Gandu (3). (1) Pesquisadores, Doutores. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais /INPE, Eusébio, Ceará, Brasil Autor Correspondente: (vanessa.almeida@inpe.com.br, vicente.inpe@inpe.com.br); (2) Professora, Doutora. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) (elianbs@uenf.br); (3) Professor, Doutor. Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza, CE, Brasil (adwgandu@gmail.com)

Artigo recebido em 18/04/2018 e aceito em 24/01/2019

RESUMO

O maior obstáculo para a realização de estudos de clima no Nordeste do Brasil é a falta de séries contínuas de dados, observações de longo prazo, espacialmente bem distribuídas, e de alta qualidade. Fontes alternativas de dados têm sido buscadas. Uma das principais ferramentas para estudos atmosféricos de longo prazo são os modelos climáticos globais e regionais. Dos modelos regionais disponíveis na literatura, o *Weather Research and Forecasting* (WRF) vem se destacando como modelo de última geração de previsão numérica de tempo e clima. Este estudo teve como objetivo, avaliar a sensibilidade do modelo WRF a diferentes opções físicas de parametrização sobre a região norte do Nordeste Brasileiro (NNEB). O esquema de convecção que melhor representasse as condições meteorológicas e climáticas para o NNEB seria escolhido. A escolha foi feita comparando-se os resultados das simulações dos dados de chuva do produto MERGE/CPTEC. As análises foram realizadas para dois casos de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) sobre o NNEB, que ocorreram nos dias 14 de janeiro e 30 de março de 2016. Nos resultados obtidos, foi possível perceber que as simulações apresentaram grandes diferenças de acordo com o esquema de cumulus utilizado. O Diagrama de Taylor foi utilizado como ferramenta estatística para analisar a destreza das simulações do WRF em relação aos dados observados, tendo como resultado a parametrização de Grell (E5) no evento do dia 14/01 e Grell Freitas (E5) para o dia 30/03, com BIAS em torno de 1.

Palavras-chave: Modelagem regional, Precipitação, Climatologia.

Testing different WRF Cumulus parameterization schemes for the north-eastern region of Brazil

ABSTRACT

The greatest obstacle to conducting climate studies in Northeast Brazil is the lack of continuous data series, long-term, spatially well-distributed, and high-quality observations. Alternative sources of data have been sought. One of the main tools for long-term atmospheric studies is the global and regional climate models. The use of a regional model allows the obtaining of continuous four-dimensional series, related to any atmospheric phenomenon. From the regional models available in the literature, the Weather Research and Forecasting (WRF) have been standing out as a model of last generation of numerical forecast of weather and climate. The objective of this study was to evaluate the sensitivity of the WRF model to the different physical parameterization options on the northern Northeast of Brazil (NNEB). The convection scheme that best represented the weather and climate conditions for the NNEB would be chosen. The choice was made by comparing the results of the simulations with the rain data of the MERGE / CPTEC product. The analyzes were performed for two cases of mesoscale convective systems (SCN) on the NNEB, which occurred on January 14 and March 30, 2016. In the obtained results, it was possible to perceive that the simulations showed great differences according to the cumulus scheme used. The Taylor Diagram was used as a statistical tool to analyze the dexterity of the WRF

simulations in relation to the observed data, resulting in the parameterization of Grell (E5) in the event of the day 01/01 and Grell Freitas (E5) for the day 30 / 03, with BIAS around 1.

Keywords: Regional modeling, Precipitation, Climatology.

Introdução

O clima do Brasil é determinado por uma ação conjunta de vários processos físicos e dinâmicos de grande escala, além das características locais, que são responsáveis por micro variações climáticas. Na região norte do Nordeste Brasileiro (NNEB), a precipitação pluvial é a variável climatológica mais importante. Tal importância deve-se às consequências que esta pode ocasionar, quando ocorridas em excesso ou em deficiência, em diversas atividades do setor produtivo, particularmente aquelas ligadas à agricultura, geração e distribuição de energia hidroelétrica, indústria, etc.

O maior obstáculo para a realização de estudos sobre o clima, particularmente da precipitação, é a falta de observações de longo prazo e de alta qualidade. Além do que, muitas regiões não têm observações, devido à baixa densidade de estações meteorológicas. Por isso, fontes alternativas de dados meteorológicos têm se tornado cada vez mais usual. Neste contexto, uma das principais ferramentas para esse tipo de estudo em longo prazo são os modelos climáticos globais e regionais.

Os modelos globais identificam e reproduzem bem o comportamento geral da atmosfera em escala sinótica. Entretanto, informações físicas sobre sistemas de mesoescala, como tempestades severas em regiões específicas, são obtidas a partir de modelos regionais, que têm a possibilidade de melhor representar características locais (como por exemplo, a topografia). Assim, para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pelo modelo atmosférico regional *Weather Research and Forecasting* (WRF), que vem se destacando como modelo de última geração de previsão numérica de tempo e clima.

Na região tropical, a precipitação é a variável climatológica mais difícil de ser simulada com precisão, devido a vários fatores, entre eles as condições iniciais e as parametrizações físicas, bem como na interação entre estas parametrizações. Uma das dificuldades se deve em parte, à forma como os processos de nuvens cumulus profundas são representados nas parametrizações de convecção (Spencer; Stensrud, 1998). Logo, uma melhor representação da convecção profunda é um fator que pode favorecer simulações de

precipitação mais satisfatórias na região tropical, visto que, os sistemas convectivos, principalmente a convecção de cúmulos, são os principais responsáveis pela precipitação nessa região.

Vários estudos foram desenvolvidos com o intuito de avaliar e aprimorar os esquemas de parametrização convectiva (Molinari; Dudek, 1992; Kain, 2004; Arakawa, 2004; Jankov et al., 2005; Yu Lee, 2011). No entanto, a maioria desses estudos avaliaram esquemas convectivos em situações e ambientes específicos. Desta forma, a aplicação destes esquemas não é óbvia quando ele é aplicado em uma região com características distintas da região avaliada (Wang; Seaman, 1997).

Ramos et al. 2013, investigaram o prognóstico do vento utilizando o WRF para o Estado de Alagoas, porém, alguns aspectos do modelo precisam ser melhor avaliados para aperfeiçoar a previsão na estação chuvosa, principalmente as parametrizações de microfísica de nuvens e de cumulus.

Silva Jr. et al. 2016, apresentaram um estudo avaliativo das atualizações de topografia, uso do solo e velocidade de fricção e comprovaram sua eficiência em simular os padrões de velocidade e direção do vento utilizando medições da estação anemométrica de Maragogi no litoral do estado de Alagoas, durante o período de agosto/2007 a julho/2008. Estudos com foco nas proporções eólicas são mais comuns para o Nordeste.

Existem diversos esquemas de parametrizações disponíveis e cada um tem sua adequação de acordo com as particularidades da região e do caso a serem estudados. Diante do exposto, fica claro que é fundamental a validação do modelo, fazendo ensaio das possibilidades oferecidas pelo vasto leque de configurações possíveis que incluem vários esquemas de parametrizações.

Taylor 2001, criou um diagrama para comparação de modelos que estimavam variáveis meteorológicas. Esse diagrama fornece visualmente um resumo das estatísticas: desvio-padrão, correlação e raiz quadrada da média do quadrado das diferenças centralizadas dos dados observados e modelados. Dessa forma, evita-se a construção de extensas tabelas.

Em vista disso, e com o objetivo de avaliar a sensibilidade do modelo WRF as diferentes opções dos esquemas de convecção que melhor

representa as condições meteorológicas para a região NNEB, o diagrama de Taylor foi utilizado nesta pesquisa para os dois casos aqui estudados.

O modelo WRF

O WRF é um modelo totalmente compressível, não hidrostático, com opção hidrostática, de mesoescala e alta resolução. Seus conceitos físicos são baseados na conservação de massa, energia e umidade do ar. Foi desenvolvido através da colaboração de vários centros de pesquisa, entre eles, o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e o *National Center for Environmental Prediction* (NCEP/NOAA), tendo como objetivo, aperfeiçoar o entendimento e a previsão de sistemas atmosféricos na mesoescala (Skamarock et al., 2005).

As condições de fronteira laterais que representem o estado real da atmosfera vizinha são fornecidas por um modelo de previsão numérica do tempo em escala global, que considera todo o Globo. Ademais, a condição inicial é obtida a partir da interpolação espacial das variáveis meteorológicas presentes nas análises do mesmo modelo.

O WRF oferece diversas possibilidades de escolha para cada um dos seguintes processos físicos: Radiação de onda longa; Radiação de onda curta; Microfísica de nuvens; Camada superficial; Cobertura do solo; Camada limite planetária; e Parametrização de cumulus.

Os esquemas de radiação de onda longa resolvem as trocas radiativas de “onda longa” (banda infravermelha); os esquemas radiação de onda curta resolvem as trocas radiativas de “onda curta” (luz e ultravioleta); os esquemas microfísica de nuvens resolvem os processos de condensação e evaporação no ar; os esquemas da camada superficial resolvem o atrito e os fluxos de calor, de quantidade de movimento e de vapor de água na camada de atrito, junto ao solo; os esquemas cobertura do solo resolvem as trocas de calor e de água no interior do solo; os esquemas camada limite planetária resolvem as trocas turbulentas não apenas na camada limite planetária, que confina com a terra e o mar, mas ao longo de toda a coluna vertical do modelo; os esquemas parametrização de cumulus resolvem a formação de nuvens de origem convectiva. Dentro de cada classe de esquema físico, o WRF tem à disposição diversos esquemas alternativos, ou seja, existem diversos esquemas disponíveis para um mesmo processo físico. Todavia, cada um possui seus próprios méritos e deméritos, dependendo assim do terreno, geografia

e clima da região em questão (Shrivastava et al., 2014).

Material e métodos

Dados

Os dados utilizados como condição inicial e de fronteira foram da análise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), *NCEP Final Analysis* (FNL), com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ (equivalente a aproximadamente 175 por 175 km) e temporal de 6 horas. Os dados do terreno foram obtidos do *United States Geological Survey* (USGS) e, os dados de temperatura da superfície do mar (TSM) não foram inseridos por não se aplicarem a simulações curtas, devido à lenta variação da TSM.

Para avaliar a precipitação simulada pelo modelo WRF, foi utilizada a precipitação pelo MERGE – É uma técnica que visa combinar os dados do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) com os dados de observação de superfície (Surface Synoptic Observations - SYNOP) sobre o continente da América do Sul (Vila et al., 2009).

As análises foram realizadas para dois casos de Sistemas Convectivos de meso escala - SCM sobre o NEB, que ocorreram nos dias 14 de janeiro e 30 de março de 2016. Foram selecionados eventos de SCM posto que, para simulações em regiões tropicais os modelos regionais devem ter habilidade em reproduzir os sistemas convectivos, principalmente a convecção de cúmulos, que são um dos principais responsáveis pela precipitação nessa região.

Experimentos: características das simulações

As simulações foram realizadas pelo modelo regional WRF-ARW, versão 3.7. Para a implementação do modelo, a região de estudo foi definida de modo a evitar problemas relacionados aos “efeitos de borda”, que ocorre devido à interação entre os dados utilizados como condição inicial e a grade de alta resolução. As simulações foram realizadas para a região do NEB, com grade centrada na latitude 6°S e longitude de 38°W , Figura 1 com resolução espacial de 20 km. A resolução vertical utilizada foi de 41 níveis, com pressão no topo da atmosfera de 10 hPa.

As simulações abrangeram períodos de 60 horas com saídas a cada 1 hora, sendo as primeiras 12 horas de *spin-up*, que representa o tempo para ajuste das simulações.

Os experimentos foram baseados em 5 diferentes tipos de parametrizações de cumulus, Tabela 1. De modo a isolar o impacto da escolha do

esquema convectivo, a configuração do modelo foi mantida a mesma em relação às demais parametrizações físicas, Tabela 2 ao longo das cinco simulações. Os esquemas de parametrizações físicas foram escolhidos levando-se em conta a revisão de literatura, onde se verificou quais parametrizações foram adotadas para o WRF,

principalmente em estudos para o NEB, como os adotados por: Costa 2013, Ramos et al., 2013, Lima 2015 e Mattar e Borvaran 2016. Ou seja, as diferenças entre as simulações estarão associadas aos diferentes esquemas de cumulus e sua interação com as outras parametrizações.

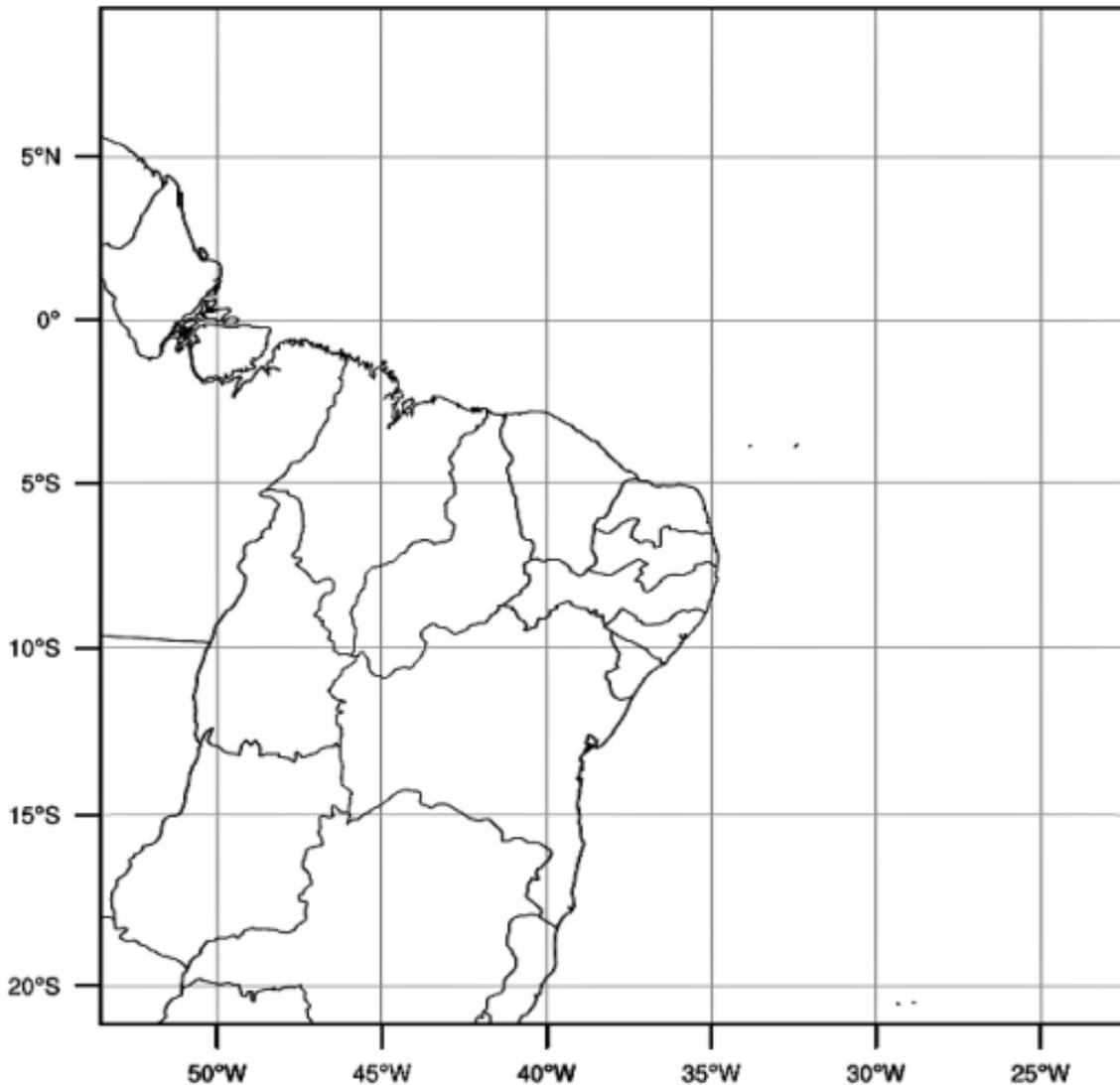


Figura 1. Domínio da grade com resolução de 20 km.

Tabela 1- Parametrizações de cumulus utilizadas nas simulações do WRF.

Esquemas	Referência
Kain-Fritsch (cu_physics 1)	Kain (2004)
Betts-Miller-Janjic (cu_physics 2)	Janjic (1994, 2000)
Grell-Freitas (cu_physics 3)	Grell e Freitas (2014)
Grell-3 (cu_physics 5)	Grell (1993); Grell e Devenyi (2002)
Tiedtke (cu_physics 6)	Tiedtke (1989); Zhang et al. (2011)

Tabela 2 - Parametrizações físicas utilizadas nas simulações do WRF.

Categoria	Esquemas	Referência
Microfísica	WSM3 (mp_physics 3)	(Hong et al. 2004)
Radiação de onda longa	RRTM (ra_lw_physics 1)	(Mlawer et al. 1997)
Radiação de onda curta	Dudhia (ra_sw_physics 1)	(Dudhia, 1989)
Camada superficial	Revised MM5 (sf_sfclay_physics 1)	(Jimenez et al. 2012)
Cobertura do solo	Noah LSM (sf_surface_physics 2)	(Tewari et al. 2004)
Camada limite	YSU (bl_pbl_physics 1)	(Hong et al. 2006)

Validações das estimativas de chuva do WRF X MERGE

A medida mais simples derivada da diferença entre o previsto e o observado é o Erro Médio (ME em Inglês) ou tendência ou, ainda, viés (BIAS em Inglês). O BIAS mede a tendência de o modelo superestimar ou subestimar a precipitação em relação ao observado. Esta tendência, também chamada de erro sistemático, é definida como:

$$ME = BIAS = \bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i \quad (1)$$

ou

$$BIAS = Prev(WRF) - Obs(MERGE) \quad (2)$$

O BIAS não traz informação a respeito dos erros individuais e, portanto, não pode ser usado como medida de acurácia da simulação. Além disso, apesar de fornecer uma ideia da tendência ou erro sistemático, o viés é afetado pelo fato de que erros individuais positivos e negativos de mesma magnitude se cancelam na somatória, o que geralmente leva à subestimação do erro das simulações (Fox, 1981). O BIAS assume valores entre 0 e $+\infty$, com o valor de 1 indicando o índice perfeito. Para um valor de $BIAS < 1$ (Equação 2) indica menor frequência de chuva produzida pela simulação em relação ao observado, enquanto que um valor de $BIAS > 1$ indica mais pontos de chuva previstos em relação ao observado (superestimativa da área de chuva). (Mesinger, 2008)

Uma medida frequentemente usada na verificação da acurácia de modelos numéricos é o Diagrama de Taylor, com base nas seguintes métricas: coeficiente de correlação (r), desvio padrão (σ), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) (Taylor, 2001; Jiang et al., 2016).

Para construção do diagrama de Taylor, foram considerados os dados da tabulação cruzada de cada método, ou seja, os dados observados (r) e os estimados (f).

Uma das estatísticas mais utilizadas para observar a qualidade do modelo é comparando essas duas variáveis pela Raiz Quadrada da Média do Quadrado das Diferenças (E) foi utilizada nesse estudo, dado por:

$$E = [1/N \sum (fn - rn)^2]^{1/2} \quad (3)$$

Sendo f e r dados estimados e observados, respectivamente.

A Raiz Quadrada da Média do Quadrado das Diferenças Centralizadas (E) corresponde à segunda parte da equação 3.

$$E'^2 = s_f^2 + s_r^2 - 2s_f s_r R \quad (4)$$

sendo S_f e S_r os desvios-padrão dos dados previstos e observados, respectivamente; R é o coeficiente de correlação (Pereira, 2014).

Nessa última equação, encontram-se quatro estatísticas (E', S_f, S_r, R), que podem ser utilizadas para estudar o padrão da relação entre f e r , de forma a orientar se o modelo é um bom estimador. Taylor 2001, propôs a construção de um diagrama que contenha essas quatro estatísticas. Parte-se da similaridade da equação 2 com a equação da lei dos cossenos, que relaciona um ângulo interno de um triângulo com seus lados. ($a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \theta$). A validação foi realizada com a chuva acumulada para cada evento

A construção do diagrama de Taylor se dá pela representação de $1/2$ ou $1/4$ de círculo, sendo este

último o mais comum. Os eixos x e y têm as medidas do desvio-padrão, sendo sobre o eixo x colocado o valor de (Sr) . A distância radial da origem à posição representando o modelo é o Sf . O azimute da origem ao modelo é proporcional a R .

Resultados e discussão

Analisando as imagens de satélite (GOES 13) entre as 12:00 GMT (Greenwich Mean Time) do dia anterior e as 12:00 GMT dos dias 14 de janeiro (Figura 2) e 30 de março (Figura 3) de 2016, pode-se notar bastante nebulosidade do tipo convectiva nos dois casos, onde é referenciado pelos tons azul e rosa, apresentando em alguns momentos valor de -80°C no topo, nesse caso a cor branca. De acordo com (Barret e Martin, 1981), a partir de uma abordagem apropriada a altura do topo da nuvem pode ser determinada pela temperatura. Assim, quanto mais frio o topo da

nuvem, maior a sua profundidade nas camadas mais altas da atmosfera e maior a tendência a gerar precipitação. Essa referência pode ser observada em ambos os casos.

No primeiro caso, a nebulosidade no sul do Maranhão as 14:00 GMT do dia 13 de janeiro (Figura 2a), está relacionada a um SCM que está desintensificando. Ainda no dia 13 de janeiro, outro sistema se desenvolveu posicionado no Piauí, e as 22:00 GMT estava bem intenso (Figura 2b). No decorrer da manhã do dia 14 de janeiro, esse sistema foi desintensificando e ao mesmo tempo se juntou com outro formado no litoral nordestino (Figura 2c e 2d).

No segundo caso, dia 30 de março de 2016, nota-se as 18:00 GMT (Figura 3a) pequenos núcleos de nebulosidade no norte do Nordeste e litoral pernambucano. Esses núcleos cresceram e se juntaram, como pode ser observado nas Figuras 3b, 3c e 3d.

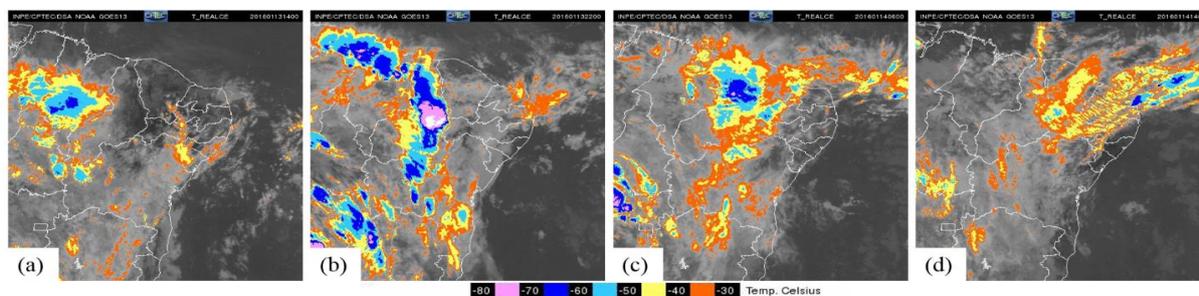


Figura 2. Imagens de satélite (GOES 13) as (a) 14:00 GMT do dia 13/01/2016, (b) 22:00 GMT do dia 13/01/2016, (c) 06:00 GMT do dia 14/01/2016 e as (d) 14:00 GMT do dia 14/01/2016.

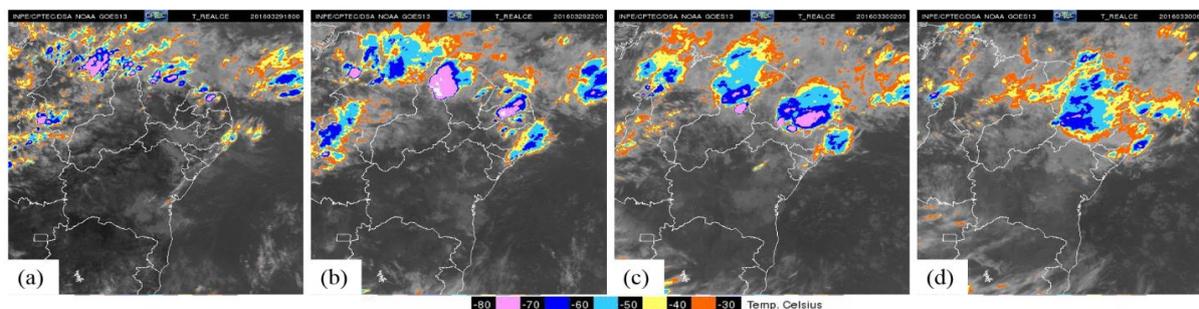


Figura 3. Imagens de satélite (GOES 13) as (a) 18:00 GMT do dia 29/03/2016, (b) 22:00 GMT do dia 29/03/2016, (c) 02:00 GMT do dia 30/03/2016 e as (d) 06:00 GMT do dia 30/03/2016.

Selecionaram-se apenas as cartas sinóticas dos horários de 18Z cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC) em superfície e em altitude para identificar as características dos sistemas meteorológicos que provocaram chuvas intensas para os dois eventos no estado do CE.

Nos quadros superiores da Figura 4, nota-se em superfície a presença da ZCIT em ambos os dias com maior proximidade ao estado do CE para o evento ocorrido em 30/03/2016. Em acordo com a literatura esse sistema meteorológico é o principal indutor de chuva no estado (Kousky e Gan, 1981), no período da quadra chuvosa (Janeiro, Fevereiro, Março e Abril). Nos quadros inferiores da Figura 4 têm-se cartas sinóticas de altitude às 18Z, sendo

possível observar na costa do NEB a atuação de um sistema de baixa pressão e circulação ciclônica que associado à intensificação da AB como mostra o quadro do dia 14/01/2016, associado ao jato sub

tropical favoreceu um posicionamento melhor para ocorrência de chuvas, principalmente no litoral norte do estado.

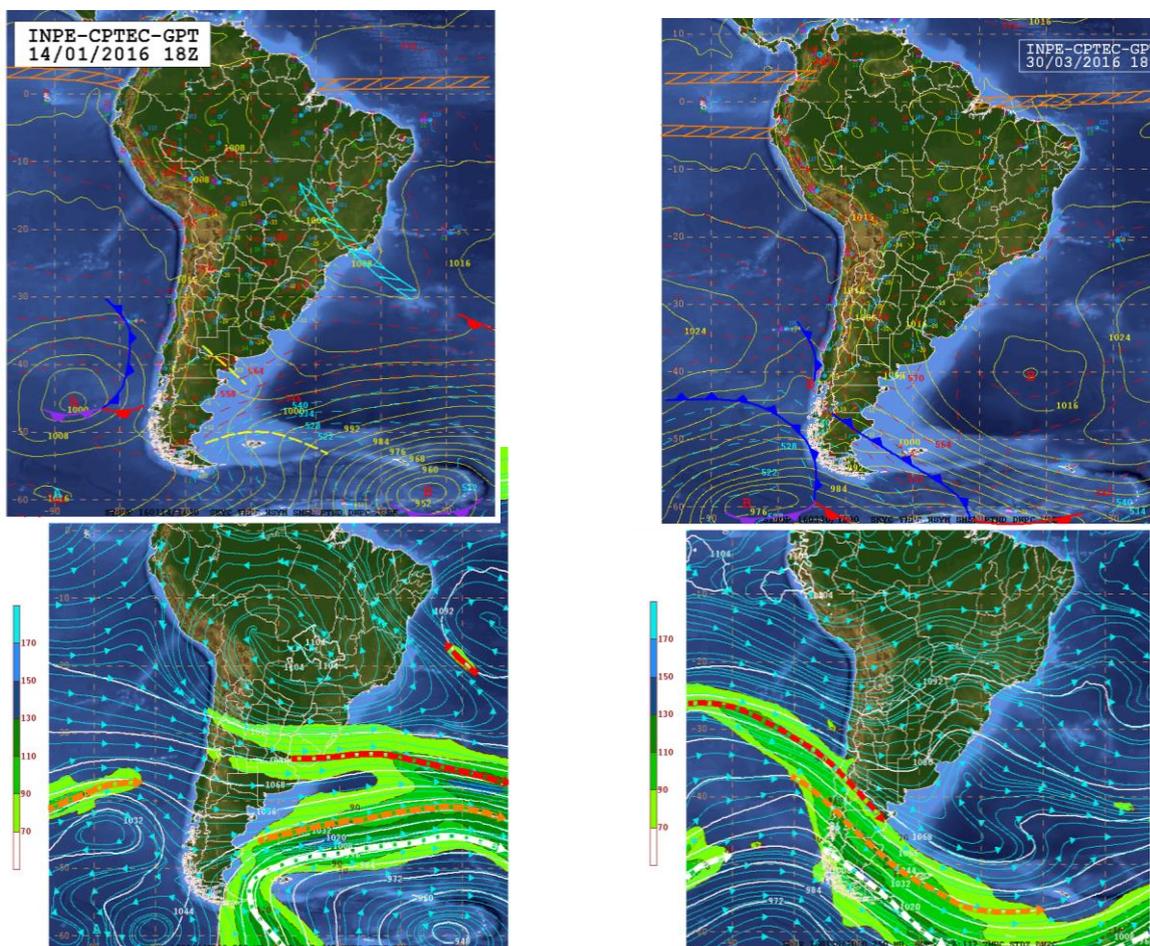


Figura 4. Cartas sinóticas em 14/01/2016 e 30/03/2016 em superfície (quadros superiores) e altitude (quadros inferiores), ambas nos horários de 18Z.

Na Figura 5, têm-se as imagens geradas pelo produto MERGE para o dia dos eventos, observamos semelhanças no dia 14/01/2016, nos núcleos de precipitação quando comparada com as imagens geradas pelo WRF (Figura 7 e 8), visualmente as simulações E2 e E6 foram os que melhor representaram em nível de quantidade de precipitação para a área de estudo. Para o evento ocorrido no dia 30/03/2016 a simulação E3 e E1 aproximaram-se bastante do observado pelo MERGE em relação às áreas com maiores indicativos de precipitação. De acordo com (Molinari e Dudek 1992), os esquemas de parametrização convectiva tem o papel de representar a formação da convecção úmida profunda na escala sub-grade antes de haver saturação na grande escala, ocorrendo neste

processo, transporte vertical de calor e vapor d'água.

A precipitação acumulada estimada pelo produto Hidroestimador (Figura 6) foi utilizada para comparar e avaliar a precipitação simulada pelo modelo WRF para os dois eventos selecionados. Segundo esse enfoque, as taxas de precipitação são ajustadas de acordo com um gradiente espacial de temperatura do topo de nuvem, campos de água precipitável, umidade relativa, orografia e paralaxe. Esse ajuste tem melhorado as estimativas de precipitação ocorrida durante o inverno, o qual está tipicamente associada a baixos valores para os campos de água precipitável (Scofield e Kuligowski, 2003). De forma geral, podemos observar que os maiores índices de precipitação coincidem com os

associados às regiões de nebulosidade encontrada na Figura 4.

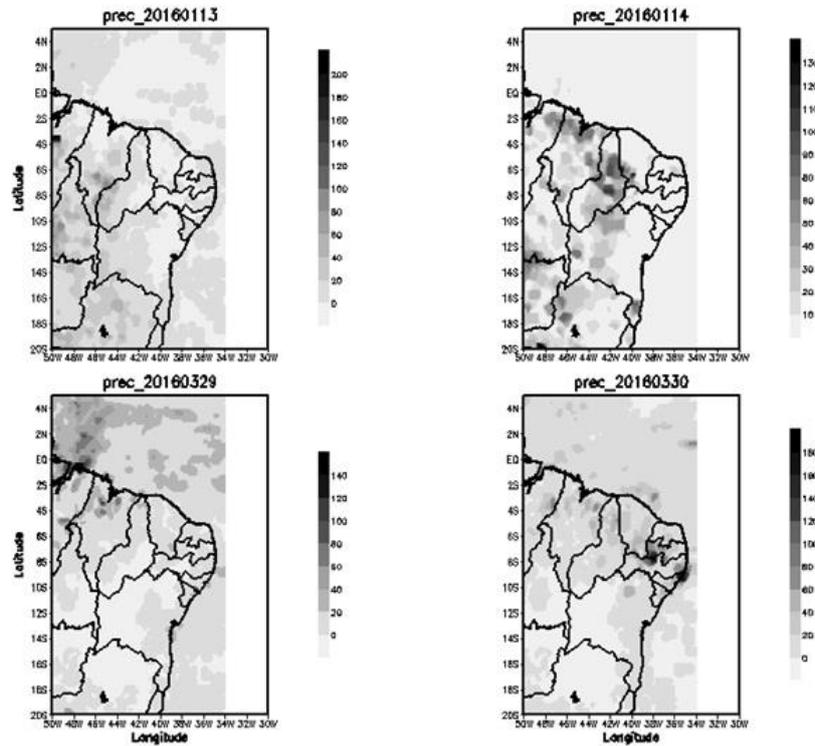


Figura 5. Imagens geradas pelo produto Merge do dia 13-14/01/2016 e 29-30/03/2016.

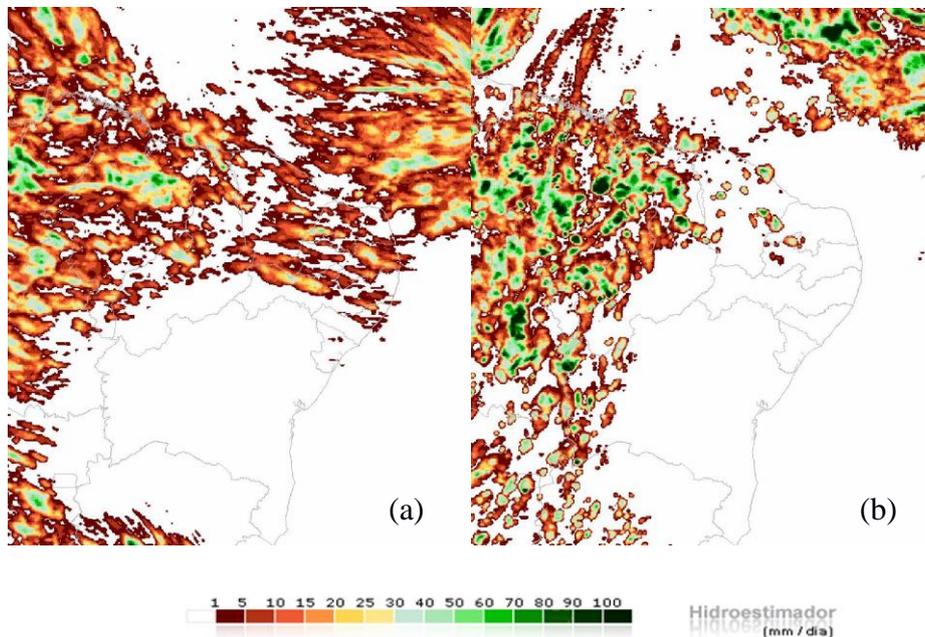


Figura 6. Precipitação acumulada estimada - produto Hidroestimador, para o período entre 12:00 GMT do dia anterior e (a) 12:00 GMT do dia 14/01/2016 e (b) 12:00 GMT do dia 30/03/2016.

Analisando as Figuras 7 e 8, observa-se que as diferenças entre as simulações com os diferentes esquemas de cumulus, não são apenas na intensidade da precipitação, os padrões também são diferentes. Nos dois eventos analisados, as simulações que apresentaram maiores diferenças comparadas com a precipitação acumulada estimada pelo Hidroestimador (Figura 6), foram às simulações utilizando os parâmetros de cumulus Betts-Miller-Janjic (E1) e Tiedtke (E6).

Em relação ao conjunto de dados simulados e obtido pelo produto MERGE, as simulações utilizando o esquema E2 mostrou índice BIAS maiores em relação às outras simulações (Tabela 3), uma vez que usando esse parâmetro de cumulus, a precipitação é em decorrência somente da convecção profunda e a rasa não precipitante, serve para transportar umidade para níveis superiores mantendo a inversão de temperatura em baixos níveis. De acordo com (Gallus, 1999) pode não funcionar em situações de convecção intensa em que existe uma camada de ar seco por cima do ar úmido. Este BIAS >1 das simulações na avaliação com o WRF em relação ao MERGE, indica que o conjunto de dados MERGE apresentou menor número de pontos com precipitação em relação ao WRF, o que evidencia as diferenças nas metodologias de construção dos dois conjuntos de dados levando a uma superestimação em relação aos dados observados. Para o outro evento estudado no dia 30/03/2016, os valores ficaram bem próximos a 1 todas as simulações, sugerindo um maior número

de ocorrência de precipitação em relação ao dado observado. Comportamento semelhante, mas usando dados do TRMM foi encontrado por (Rozante, 2008) indicando que as observações com o TRMM apresentaram maior número de pontos de chuva forte em relação aos dados MERGE, no qual os dados de precipitação das estimativas do TRMM foram comparados com dados de estação para o acumulado de 24 h em casos de SCM na América do Sul.

A análise de forma geral constatou que o modelo conseguiu visualizar as precipitações em todos os instantes onde se obteve chuva real, porém com magnitude de chuvas simuladas diferentes como apontadas pelo véis. De acordo com Yuan et al. 2009 e Argüeso et al., 2011, o modelo WRF tem seu melhor desempenho em previsões de escalas maiores como médio e longo prazo.

Tabela 3: BIAS dos dados simulados e obtido pelo produto MERGE

Experimentos	BIAS	
	14012016	30032016
E1	0,1605	0,1489
E2	0,6670	1,9205
E3	0,2752	0,4758
E5	1,0558	1,5900
E6	0,0046	0,1550

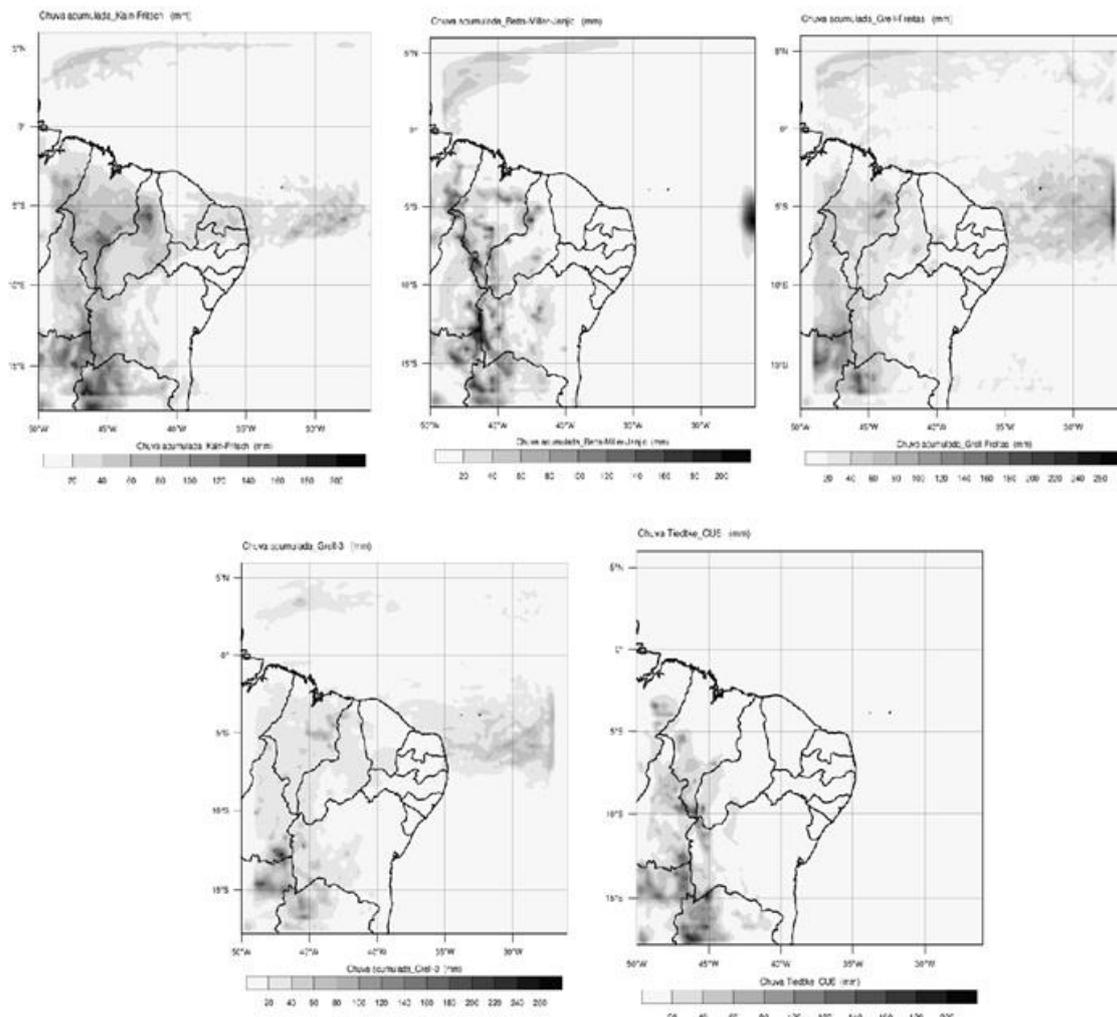


Figura 7. Precipitação acumulada estimada pelo modelo WRF para o período entre 12:00 GMT do dia anterior e 12:00 GMT do dia 14 de janeiro de 2016, utilizando as parametrizações de cumulus: (a) Kain-Fritsch – E1, (b) Betts-Miller-Janjic – E2, (c) Grell-Freitas – E3, (d) Grell-3 – E5, (e) Tiedtke – E6.

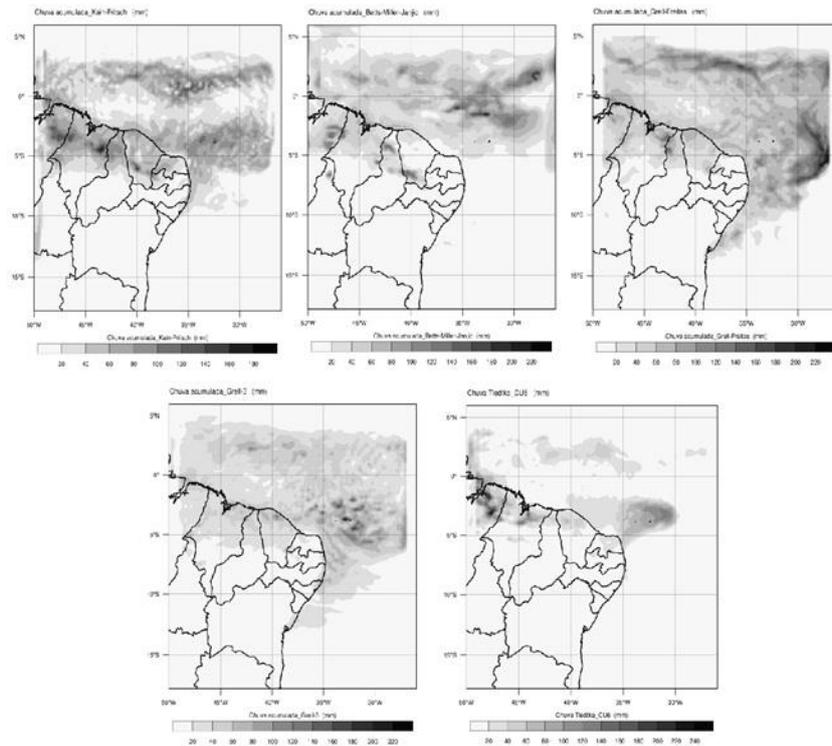


Figura 8. Precipitação acumulada estimada pelo modelo WRF para o período entre 12:00 GMT do dia anterior e 12:00 GMT do dia 30 de março de 2016, utilizando as parametrizações de cumulus: (a) Kain-Fritsch – E1, (b) Betts-Miller-Janjic – E2, (c) Grell-Freitas – E3, (d) Grell-3 – E5, (e) Tiedtke – E6.

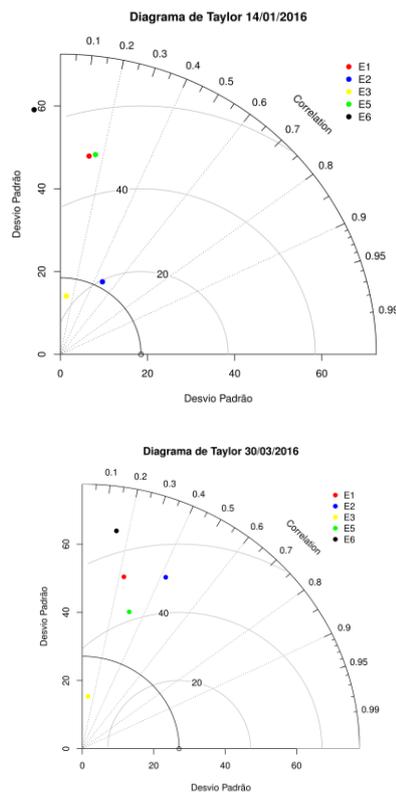


Figura 9. Diagrama de Taylor dos valores de precipitação acumulada do NEB. Os eixos vertical e horizontal representam o desvio padrão, e as linhas circulares centradas no ponto REF representam a RMS, normalizados pela divisão ao desvio padrão da observação.

Na Figura 9(A e B) os diagramas de Taylor apresentam o Skill das simulações de precipitação com relação ao conjunto de dados de referência (MERGE). Para a caixa criada em cima do estado do Ceará durante os dois eventos para os dias 14/01/2016 e 30/03/2016 respectivamente, os produtos de precipitação simulada agrupados distantes do ponto de referência, mostraram valores de correlação entre 0,2 e 0,7.

Os coeficientes variaram entre 0,7 (E2), proporcionando um melhor resultado, apontado pela estatística, considerado um valor bom segundo Callegari-Jacques 2003, em estudo semelhante feito para Viçosa-AL e com uma correlação bem menor de 0,20 a parametrização (E5), pode ser explicada pelo tipo de microfísica usado, para os cálculos dentro da área sobre o estado do Ceará a parametrização (E6) mostrou-se com correlação negativa em torno de -0,20, deixando clara a perfeita proporção dos dois grupos de dados em direções opostas. Já o REQM variou entre 49,88 mm (E1) e 64,84 mm (E6), evidenciando a aproximação de E2 com o dado tido como referência. O τ variou em torno de 14,16 mm (E3) e 59,44 mm (E6) com valor de 18,52 mm para o merge e 20,03 mm para a simulação (E2) e médias 9,75 e 7,22 mm. Já no evento ocorrido no dia 30/03/2016 foram encontradas correlações de até 0,5 (E2), com REQM em torno de 51,26 mm para a s e com τ 0,65 (E3) e 2,28 (E5) respectivamente.

De acordo com Guimarães (2015) em seu estudo constatou que o campo histórico observado de precipitação é difícil de representar tanto para os modelos de grande escala, quanto para os regionais, no diagrama de Taylor se observa essa característica, com a maioria dos modelos com correlação espacial abaixo de 0,6 alguns realmente incapazes de representar a média histórica apresentando valores negativos de correlação ou próximos de zero.

O Diagrama de Taylor aumenta a qualidade da discussão sobre o desempenho e a escolha de determinado modelo ou simulação, pois é possível analisar simultaneamente uma série de estatísticas dos dados observados e estimados. De uma forma geral, os resultados iniciais da pesquisa indicam que a metodologia proposta é promissora para os objetivos estabelecidos. Anthes 1989, citou que um aspecto adicional na questão dos erros em simulações explícitas de convecção deve ainda ser abordado. Novos testes continuam sendo feitos com adicionais nas mudanças das rodas do modelo, pois como já citado no trabalho em questão a parametrização de Cumulus é uma das

parametrizações que o modelo oferece e que precisa ser adaptada para o Nordeste Brasileiro como, por exemplo, a topografia, a cobertura vegetal e o uso e ocupação do solo, pois eles têm influencia nos esquemas físicos disponíveis no modelo.

Conclusão

- Visualmente, em ambos os casos, o esquema de parametrização que apresentou resultados com a forma mais parecida com a dos dados observados foi o Kain-Fritsch (E1) e Grell-3 ocupando a segunda posição (E5).

- Tiedtke (E6) apresentou o resultado cuja forma mais se desviou do formato obtido com os dados observados.

- Esses resultados visuais, juntamente com o encontrado ao plotar o diagrama de Taylor nos fornece uma maior confiança na decisão em relação à escolha da parametrização de cumulus mais adequada a qual será fundamental para a elaboração de trabalhos futuros com períodos maiores previstos. A realização de novos experimentos e uma inclusão futura de outros modelos na comparação com os dados previstos pelo WRF continua a ser desenvolvida, para o aperfeiçoamento da modelagem em diferentes variáveis meteorológicas, para que assim possamos ter uma média do tipo de parametrização que se adeque aos eventos aqui previstos.

Como sugestão para trabalhos futuros, pretende-se aumentar o tamanho do domínio, uma vez que alguns sistemas meteorológicos que atuem continentalmente podem vir a alterar os resultados sob os efeitos da convecção de cumulus observada pelas diferentes parametrizações usando o WRF bem como a inclusão de diferentes testes com parametrizações de microfísica de nuvens disponíveis no modelo.

Referências

- Arakawa, A. 2004. The cumulus parameterization problem: Past, present, and future. *Journal of Climate* 17, 2493–2525.
- Anthes, R. A.; Kuo, Y.-A.; Hsie, E.-Y.; Low-Nam, S.; Bettge, T.W. Estimation of Skill and Uncertainty in Regional Numerical Models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 115, 763-806, 1989.
- Betts, A. K. 1986. A new convective adjustment scheme. part i: Observational and theoretical

- basis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 112, 677–691.
- Betts, A. K.; Miller, M. J. 1986. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 112, 693–709.
- Costa, A. O.; Oliveira, L. B.; Lins, M. P. E.; Silva, A. C. M.; Araújo, M. S. M.; Pereira Jr., A. O.; Rosa, L. P. 2013. Sustainability analysis of biodiesel production: A review on different resources in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews 27, 407 – 412.
- Dudhia, J. 1989, Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. Journal of the Atmospheric Sciences 46, 3077–3107.
- Gallus, J.; William, A. 1999. Eta simulations of three extreme precipitation events: Sensitivity to resolution and convective parameterization. Weather and forecasting 14, 405–426.
- Grell, G. 1993. A. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. Monthly weather review 121, 764–787.
- Grell, G. A.; Devenyi, D. 2002. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques, Geophysical Research Letters. v. 29, p. 38-1-38-4, DOI:10.1029/2002GL015311.
- Grell, G. A.; Freitas, S. R. 2014. A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling, Atmospheric Chemistry and Physics 14, 5233–5250. DOI:10.5194/acp-14-5233.
- Hong, S. Y.; Dudhia, J.; Chen, S. H. 2004. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. Monthly Weather Review 132, 103–120.
- Hong, S. Y.; Noh, Y.; Dudhia, J. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Monthly Weather Review, v. 134, p. 2318–2341, DOI:10.1175/MWR3199.1
- Janjic, Z. I., 1994. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. Monthly weather review 122, 927-945.
- Janjic, Z. I., 2000. Comments on "Development and Evaluation of a Convection Scheme for Use in Climate Models." Journal of the Atmospheric Sciences 57.
- Jankov, I.; Gallus JR, W. A.; Segal, M.; Shaw, B.; Koch, S. E. 2005. The impact of different wrf model physical parameterizations and their interactions on warm season mcs rainfall. Weather and forecasting 20, 1048–1060.
- Jimenez, P. A.; Dudhia, J.; Gonzalez-Rouco, J. F.; Navarro, J.; Montalvez, J. P.; Garcia-Bustamante, E. 2012. A revised scheme for the WRF surface layer formulation. Monthly Weather Review 40, 898-918. Doi:10.1175/MWR-D-11-00056.1.
- Kain, J. S. 2004. The kain-fritsch convective parameterization: An update. Journal of Applied Meteorology 43, 170–181.
- Lima, F. J. L.; Cavalcanti, E. P.; Souza, E. P.; Silva, E. M. 2012. Evaluation of the wind power in the state of Paraíba using the mesoscale atmospheric model Brazilian developments on the regional atmospheric modelling system. Renewable Energy 16.
- Mattar, C.; Borvarán, D. 2016. Offshore wind power simulation by using WRF in the central coast of Chile. Renewable Energy 94, 22 – 31.
- Mesinger, F. 2008. BIAS adjusted precipitation threat scores. Advances in Geosciences, Copernicus GmbH16, 137–142.
- Mlawer, E. J.; Taubman, S. J.; Brown, P. D.; Iacono, M. J.; Clough, S.A. 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. Journal of Geophysical Research16663–16682.
- Molinari, J.; Dudek, M. 1992. Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: A critical review. Monthly Weather Review120, 326–344.
- Nebeker, F. 1995. Calculating the Weather: Meteorology in the 20th Century. Academic Press.
- Pereira, D.P. Lima, J.S.S. Xavier, A.C. Passos, R.R. Fiedler, N.C. 2014. Aplicação do Diagrama de Taylor para Avaliação de Interpoladores Espaciais em Atributos de Solo em Cultivo com Eucalipto. Revista Árvore, Viçosa-MG 38, 899-905.
- Ramos, D. N. S.; Lyra, R. F. DA F.; Silva Jr., R. S. 2013. Previsão do vento utilizando o modelo atmosférico WRF para o estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia 28, 163 - 172.
- Shrivastava, R.; Dash, S. K.; Oza, R. B.; Sharma, D. N., 2014. Evaluation of Parameterization Schemes in the WRF Model for Estimation of Mixing Height. International Journal of

- Atmospheric Sciences, DOI: 10.1155/2014/451578
- Skamarock, W. C.; Klemp J. B.; Dudhia, J.; Gill, D. O.; Barker, D. M.; Wang, W.; Powers, J. G. 2005. A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note, NCAR/TN468+STR, 88pp. DOI: 10.5065/D6DZ069
- Spencer, P. L.; Stensrud, D. J. 1998. Simulating flash flood events: Importance of the subgrid representation of convection. Monthly weather review 126, 2884–2912.
- Taylor, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research 106, 7183-7192.
- Tewari. M.; Chen, F.; Wang, W.; Dudhia, J.; Lemone, M. A.; Mitchell, K.; EK, M.; Gayno, G.; Wegiel, J.; Cuenca, R. H. 2004. Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF. 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, 11-15.
- Tiedtke, M. 1989. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterisation in large-scale models. Monthly weather review 117, 1779-1800.
- Wang, W.; Seaman, N. L. 1997. A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. Monthly Weather Review 125, 252–278.
- Yu, X.; Lee, T.-Y. 2011. Role of convective parameterization in simulations of heavy precipitation systems at grey-zone resolutions—Case studies. Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences 49, 99–112. DOI:10.1007/s13143-011-0001-3.
- Zhang, C.; Wang, Y.; 2011. Hamilton, K. Improved representation of boundary layer clouds over the Southeast Pacific in WRF-ARW using a modified Tiedtke cumulus parameterization scheme. Monthly Weather Review 139, 3489-3513.