

## XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

# **AJUSTES NA MICROFÍSICA DE NUVEM DO MODELO REGIONAL ETA EM UM ESTUDO DE CASO DE PRECIPITAÇÃO INTENSA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM JUNHO DE 2010**

*José Davi Oliveira de Moura<sup>1</sup> ; Chan Sin Chou<sup>2</sup>*

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo realizar modificações na parametrização de microfísica de Ferrier do modelo regional Eta durante simulações de precipitação intensa no Nordeste do Brasil. As modificações foram inseridas com o intuito de ajustar as previsões de chuva do modelo Eta, a fim de detectar com maior eficiência os casos de precipitação extrema. As alterações foram inseridas nos seguintes parâmetros: eficiência de coleta da gota, autoconversão de pequenas gotículas de nuvem, eficiência de coleta de cristais de gelo, profundidade da fase mista da nuvem. Duas simulações foram geradas. A primeira simulação correspondeu ao experimento controle, onde não houve alterações no esquema de microfísica de nuvens. A segunda simulação foi o experimento onde os ajustes da microfísica de nuvens foram inseridos. Os resultados mostraram que ambas as simulações possuem subestimativa nos valores de precipitação quando comparadas com dados de precipitação estimadas por satélite, porém a subestimativa foi menor na segunda simulação.

**ABSTRACT**– This work had as objective to make modifications in the parameterization of Ferrier microphysics of the Eta regional model during simulations of intense precipitation in Northeast Brazil. The modifications were inserted with the purpose of adjusting the rain forecasts of the Eta model, in order to detect cases of extreme precipitation more efficiently. The changes were inserted in the following parameters: drop collection efficiency, autoconversion of small cloud droplets, collection efficiency of ice crystals, depth of mixed cloud phase. Two simulations were generated. The first simulation corresponded to the control experiment, where there were no changes in the cloud microphysics scheme. The second simulation was the experiment where the adjustments of the cloud microphysics were inserted. The results showed that both simulations are underestimated in precipitation values when compared with estimated satellite precipitation data, but the underestimation was lower in the second simulation.

**Palavras-Chave** – Microfísica de Nuvens, Modelo Eta, Ferrier.

---

1) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Rod. Presidente Dutra, km 40, SP-RJ. moura.jdo@gmail.com

2) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Rod. Presidente Dutra, km 40, SP-RJ. chou.sinchan@gmail.com

## INTRODUÇÃO

De acordo com Palharini e Vila (2017), nuvens estratiformes e de convecção rasa são mais frequentes no Nordeste do Brasil (NEB). Apesar disso, a precipitação associada às nuvens de convecção profunda (ou nuvens de tempestade) são as mais abundantes.

Em junho de 2010, entre os dias 16 e 19 de junho, fortes chuvas de origem convectiva assolaram o leste dos estados de Pernambuco e Alagoas (Figura 1). A precipitação estimada por satélite MERGE (Rozante *et al.*, 2010) apresentou máximos de acumulado de chuva acima de 230 mm como mostra a Figura 1.

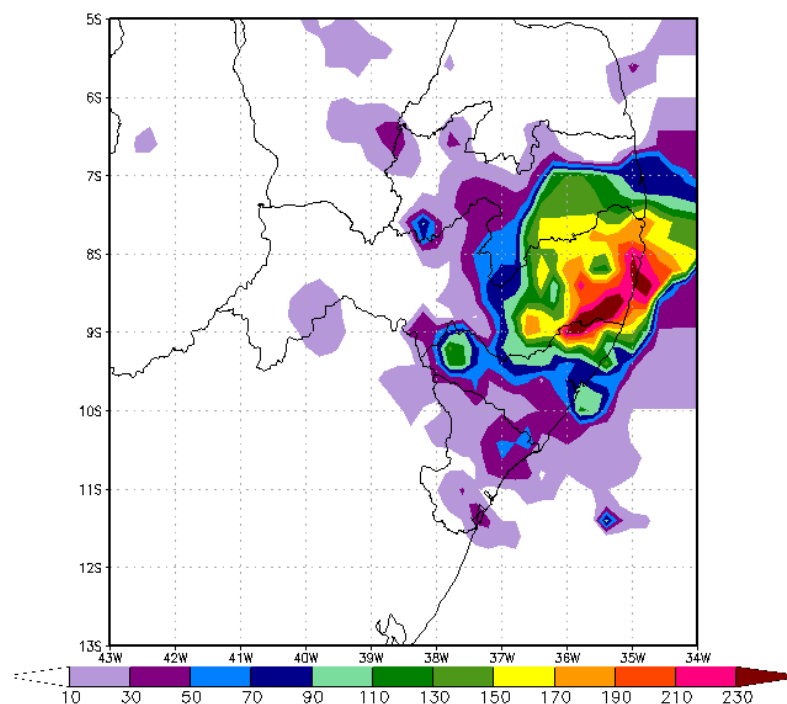


Figura 1 – Acumulado de Precipitação (mm) entre às 12 UTC do dia 16/06/2010 e 12 UTC do dia 19/06/2010 do MERGE.

Na época, o caso repercutiu na mídia pelo grande número de pessoas e cidades afetadas. De acordo com o boletim da Defesa Civil do estado de Alagoas, emitido em 23 de junho de 2010, praticamente toda cidade de Branquinha (interior de Alagoas) foi devastada. Cerca de 80% das casas foram destruídas.

Além de Branquinha, as cidades de União dos Palmares, Quebrangulo, Santana do Mundaú foram as mais atingidas no estado de Alagoas. A Figura 2 mostra a devastação causada pela Inundação na cidade de Palmeira dos Índios, AL.



Figura 2 – Efeitos das Inundações na Cidade de Palmeira dos Índios. Fonte: Defesa Civil de Alagoas, 2010.

A severidade das chuvas no mês de junho de 2010 alterou a anomalia de precipitação no leste dos estados de Alagoas e Pernambuco, como mostra a Figura 3.

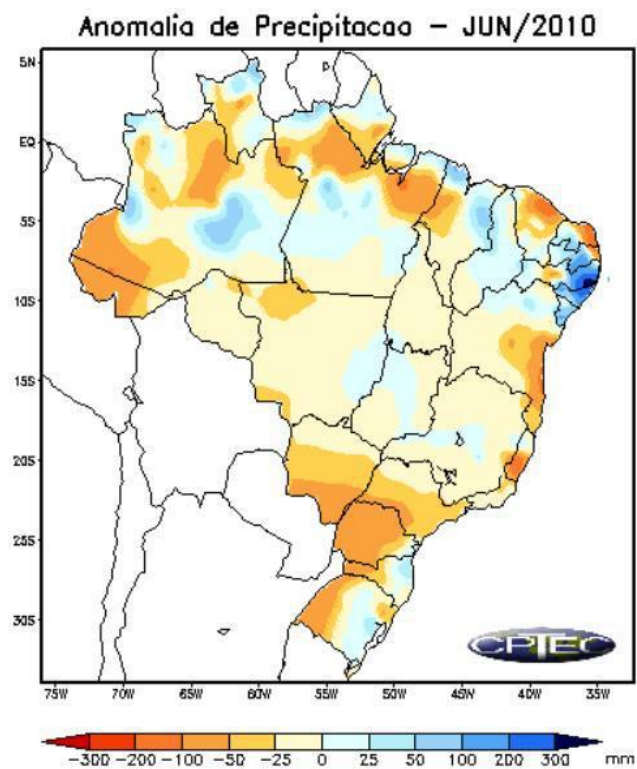


Figura 3 – Anomalia de Precipitação em Junho de 2010. Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, 2010.

De acordo com o relatório do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), as chuvas ocorreram devido aos distúrbios ondulatórios de leste que se aproximaram da costa leste do NEB no dia 15 de junho produzindo nuvens convectivas que se intensificaram no dia 17. Na carta sinótica do dia 17 de junho de 2010 (Figura 4) é possível notar um cavado sobre a costa leste do nordeste. Além disso, uma anomalia positiva da temperatura da superfície do mar sobre o Atlântico durante o mês de junho (não apresentado aqui) pode ter contribuído com umidade para o crescimento das nuvens de tempestade.

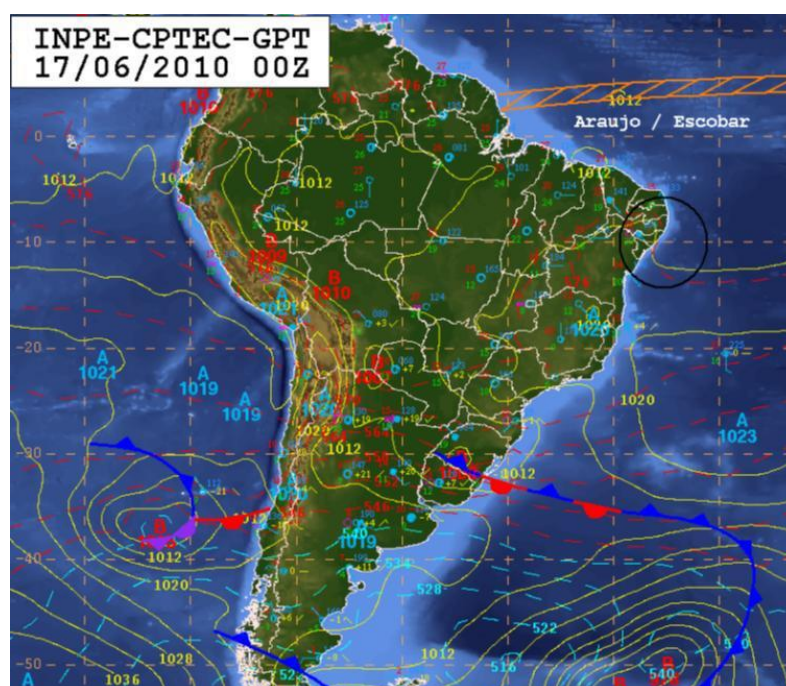


Figura 4 – Carta Sinótica do dia 17/06/2010. Fonte: CPTEC, 2010.

Vários fatores influenciaram para o desastre em junho de 2010 em Alagoas e Pernambuco. De acordo com Júnior *et al.* (2010), a saturação e a alta declividade das bacias da região e o rompimento das barragens foram as principais causas da intensificação do evento.

Apesar da meteorologia não prever os fatores que levam aos desastres naturais, um bom prognóstico numérico do tempo pode auxiliar o previsor a perceber a possibilidade de um evento extremo. Para isto, os modelos numéricos de tempo devem estar calibrados e com condições iniciais adequadas.

As características físicas das nuvens têm grandes variações dependendo da sua localização geográfica. Para as previsões numéricas de tempo e clima, estas variações devem ser identificadas e incluídas na parametrização de microfísica de nuvem e de convecção.

Apesar da parametrização de convecção ser um fator fundamental para a previsão de chuva, este trabalho se concentrou somente nas características da física das nuvens de tempestade. Portanto, o objetivo deste trabalho foi gerar um experimento numérico para ajustar a microfísica de nuvem de Ferrier do modelo regional Eta para eventos de precipitação extrema no NEB.

## **SIMULAÇÕES**

Os experimentos gerados no presente estudo foram realizados no modelo de mesoescala Eta (BLACK, 1994) que se tornou operacional no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em 1996 (CHOU, 1996). Ele é formado pelo conjunto das equações de conservação de massa, momentum e energia na coordenada Eta. Maiores detalhes com relação a dinâmica e a física do modelo Eta podem ser obtidos em <http://etamodel.cptec.inpe.br/> e em Mesinger et al. (2012).

Duas simulações foram realizadas no modelo Eta. Na primeira simulação (daqui por diante, experimento controle), o modelo Eta foi configurado com as parametrizações utilizadas na operação do CPTEC, o qual incluem a parametrização de microfísica de Ferrier (1994) e a convecção de Betts e Miller (1986) e Janjic (1994). Na segunda simulação (daqui por diante, experimento MFN), o modelo Eta foi configurado com as mesmas parametrizações, porém com modificações na microfísica de Ferrier que serão discutidas na próxima seção.

O modelo Eta foi executado com 10km de resolução horizontal e 50 níveis verticais. Os dados de reanálise Climate Forecast System Version 2 (CFSRV2) com 0,5°x0,5° de resolução horizontal e 37 níveis verticais foram utilizados como condição inicial e de contorno (atualizadas a cada 6 horas). As simulações foram iniciadas às 00 UTC do dia 16 de junho de 2010 com prazo de 96 horas. O domínio utilizado é apresentado na Figura 5.

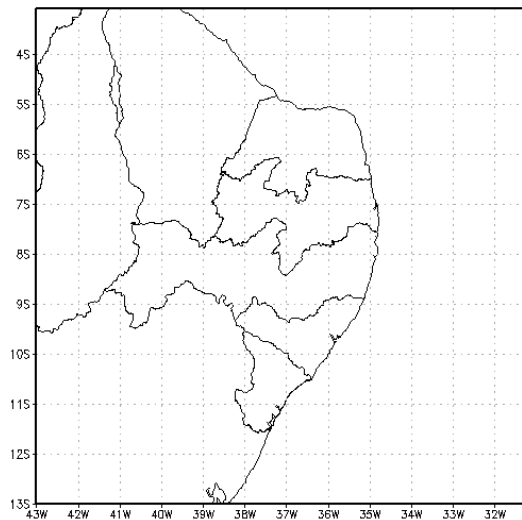


Figura 5 – Domínio utilizado durante as simulações Controle e MFN no modelo Eta.

As previsões realizadas pelo modelo Eta utilizando as configurações do experimento controle, normalmente, tendem a representar bem o posicionamento de sistemas precipitantes, porém produzem subestimativa dos valores pluviométricos (Tanessong *et al.*, 2012; Calada *et al.*, 2018). Por este motivo, o experimento MFN teve por objetivo intensificar os valores de chuva para possibilitar a identificação de um evento extremo.

### MICROFÍSICA DE FERRIER

A parametrização de microfísica de Ferrier (1994) é classificada como um esquema do tipo Bulk de duplo momento (Double-Moment). Basicamente, Ferrier (1994) (assim como outros esquemas de microfísica) trabalha com o ajuste da umidade na coluna da grade do modelo numérico.

O esquema calcula a razão de mistura do vapor d'água, gotícula de nuvem, gota de chuva, cristal de gelo, neve, granizo, saraiva e água líquida das espécies precipitantes de gelo que estão em crescimento ou descongelando. Além disso, também é capaz de simular a concentração de todas as classes de gelo.

Dentre os processos de mudança de fase da água e evolução dos hidrometeoros das nuvens da parametrização de Ferrier, somente quatro foram alterados no experimento MFN. Ferrier (1994) permite que nuvens fase mista (nuvens que possuem fase mista são aquelas formadas por vapor, água líquida e gelo) no intervalo dos níveis verticais com valores de isotermas de 0°C até -10°C. Estes valores se diferem da literatura, onde a fase mista da nuvem vai do nível da isoterma de 0°C até aproximadamente -40°C (HOUBE, 1993; STENSRUD, 2007). Aumentar o valor da isoterma de -10°C para -40°C, permitirá uma fase mista da nuvem mais profunda, possibilitando que as gotas de

chuva possam percorrer um caminho maior durante a precipitação e aumentar de tamanho pelo processo de colisão e coalescência. Isto também permite que as partículas de gelo cresçam mais pelo processo de acreção. Porém, ao precipitar, grande parte do gelo tenderá a derreter (devido a região do presente estudo estar localizada nos trópicos), proporcionando um aumento nos valores de precipitação. Portanto, a primeira alteração no experimento MFN foi na expansão da fase mista da nuvem nos níveis das isotermas de 0°C até -40°C.

A segunda e a terceira modificação foram realizadas na eficiência de coleta da gota de chuva e na coleta do cristal de gelo (processo de acreção). Para as gotas de chuva com diâmetro entre 5 e 450  $\mu\text{m}$  a eficiência de coleta foi alterada de 75% para 100%. Para cristais de gelo a eficiência de coleta foi de 50% para 90%.

A quarta e última modificação foi aplicada ao parâmetro de autoconversão de gotículas de nuvem. A autoconversão é o processo pelo qual as gotículas colidem e coalescem entre si para gerar gotas de chuva. Na microfísica de Ferrier (1994), as gotículas de nuvem somente estão disponíveis para a autoconversão após atingirem o limiar de 20  $\mu\text{m}$  diâmetro. Porém, diversos relatos na literatura indicam que a atividade elétrica de nuvens de tempestade podem gerar autoconversão de gotículas menores que 20  $\mu\text{m}$  (Moore *et al*, 1964; List e Freire, 1981). Portanto, foi alterado o limiar de iniciação da autoconversão das gotículas de nuvem de 20  $\mu\text{m}$  para 10  $\mu\text{m}$  em nuvens que apresentam características de tempestade, como por exemplo, fase mista e partículas de gelo precipitáveis (granizo).

## RESULTADOS

As simulações controle e MFN foram comparadas entre si e confrontadas com os dados de precipitação estimado por satélite do MERGE. Entretanto, as simulações do modelo Eta possuíam resolução horizontal de 10km, enquanto o MERGE possui 20km de resolução horizontal. Foi necessário interpolar a grade do modelo Eta para a grade do MERGE utilizando o software Grads.

A Figura 6 mostra o acumulado de chuva no período do caso estudado para ambas as simulações. Tanto para o experimento controle quanto para MFN, o modelo Eta conseguiu representar o núcleo de precipitação intensa sobre o leste do estado de Pernambuco e Alagoas. Comparando as Figuras 1 e 6, é possível notar que ambas as simulações do modelo Eta subestimaram o máximo de precipitação no período em relação a precipitação estimada por satélite MERGE. Entretanto, é notável que o experimento MFN (Figura 6 b) diminuiu a subestimativa.

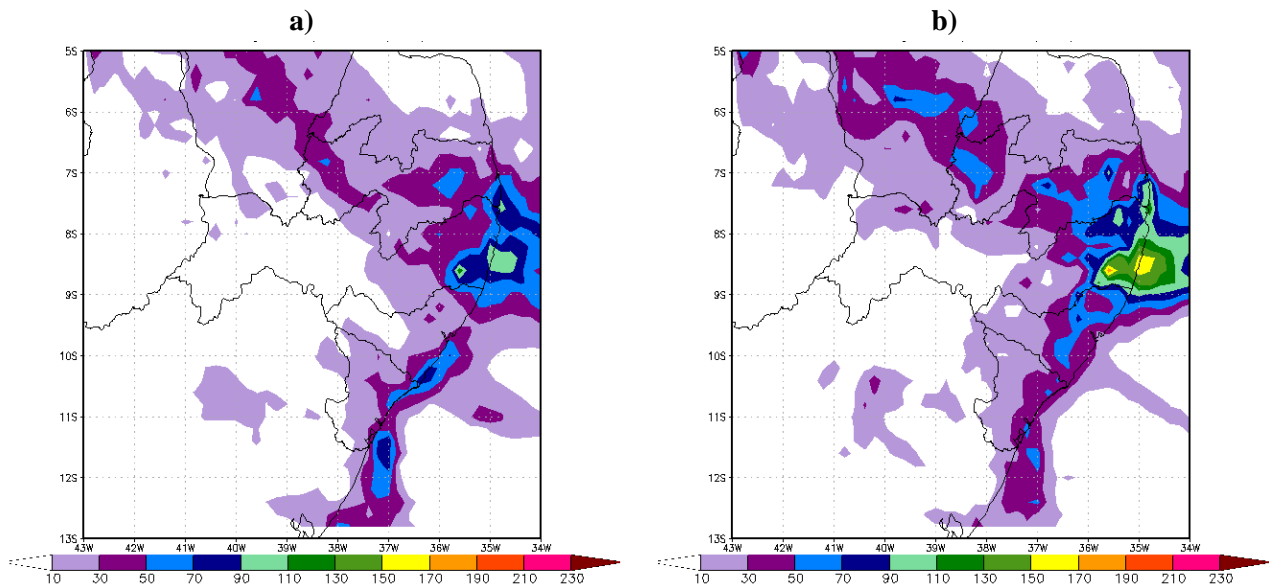


Figura 6 – Precipitação acumulada entre às 12 UTC do dia 16/06/2010 e 12 UTC do dia 19/06/2010. Modelo iniciado às 00 UTC do dia 16/06/2010. a) Experimento Controle; b) Experimento MFN.

Para avaliar de forma objetiva as simulações de precipitação do modelo Eta em relação aos dados do MERGE, foi utilizado o Diagrama de Taylor (Taylor, 2001). Este diagrama reúne as informações de desvio padrão ( $\sigma$ ) (eq. 1), coeficiente de correlação ( $r$ ) (eq. 2) e o erro médio quadrático ( $RMSE$ ) (eq 3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Onde,  $n$  denota o espaço amostral,  $x$  e  $y$  referem-se a medidas de uma grandeza meteorológica, o subscrito  $i$  se refere aos  $i$ -enésimos termo da amostra,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são os indicadores do valor médio da série.

Os resultados referentes ao Diagrama de Taylor podem ser vistos na Figura 7. O melhor resultado que as simulações poderiam obter é o ponto referente ao MERGE (ponto preto), onde o coeficiente de correlação seria igual a 1 (indicando que a chuva produzida pelo modelo foi perfeitamente posicionada no domínio), o RMSE seria igual a zero (indicando que a chuva produzida



pelo modelo não possui erros em relação aos dados do MERGE) e o desvio padrão seria igual ao do MERGE (indicando que a precipitação gerada pelo modelo varia com relação à média da mesma forma que os dados estimados por satélite).

É possível perceber, analisando a Figura 7, que o experimento MFN obteve maior correlação, menor RMSE e desvio padrão mais próximo dos dados do MERGE, indicando que, para este estudo de caso, as modificações propostas para a parametrização de microfísica de Ferrier foram coerentes e melhoraram o desempenho do modelo Eta.

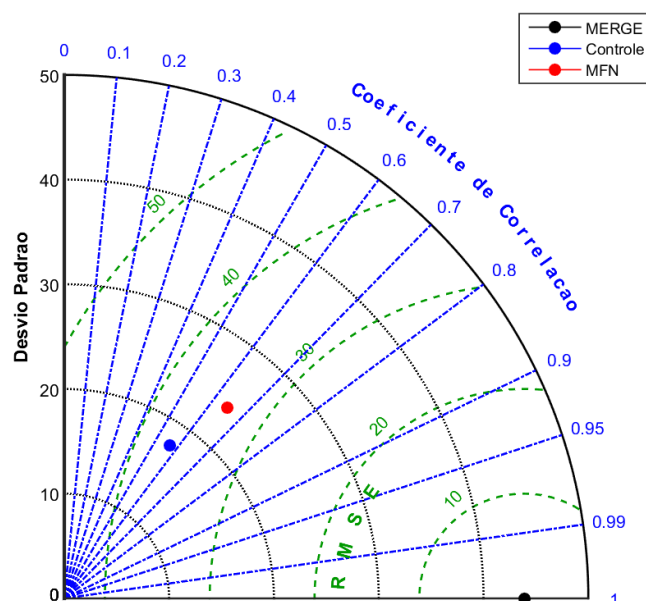


Figura 7: Diagrama de Taylor para a precipitação acumulada entre às 12 UTC do dia 16/06/2010 e 12 UTC do dia 19/06/2010. Modelo iniciado às 00 UTC do dia 16/06/2010.

## CONCLUSÃO

A inserção de modificações na parametrização de microfísica de Ferrier propostas no presente estudo produziu um aumento de precipitação no núcleo da célula convectiva, como era esperado. Apesar do experimento MFN ter subestimado os valores pluviométricos, a subestimativa foi menor em relação ao experimento controle. Em estudos futuros, alterações na parametrização de convecção podem incrementar ainda mais os resultados obtidos neste presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BETTS, A. K.; MILLER, M. J. (1986). "A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX and arctic air-mass data sets". The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 112, p. 693-709.
- BLACK, T. L. (1994). "The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast". Weather and Forecasting, v. 9, n. 2, p. 265-278.

CALADA, R. et al. (2018). “Avaliação do Desempenho das Simulações por Conjunto do Modelo Eta-5km Para o Caso de Chuva Intensa na Bacia do Rio Paraíba do Sul em Janeiro de 2000”. Revista Brasileira de Meteorologia. vol.33, n.1, pp.83-96. ISSN 0102-7786. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331008>.

CHOU, S. C. (1996). “Modelo regional Eta”. Climanálise Especial comemorativa de 10 anos, São José dos Campos.

FERRIER, B. S. (1994). “A Double-Moment Multiple-Phase Four-Class Bulk Ice Scheme. Part I: Description”. Journal of the Atmospheric Science, v. 51, n. 2, p. 249-280.

HOUZE, R. A. (1993). “Cloud Dynamics”. San Diego: Academic Press.

JANJIC, Z. I. (1994). “The step-mountain Eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes”. Mon. Wea. Rev., v. 122, n. 5, p. 927-945.

JUNIOR, C.R; PEDROSA, V.A; SOUZA, V.C.B. (2010). “Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba”. X Simpósio Regional Brasileiro de Recursos Hídricos. Fortaleza/CE. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/Cheia2010.pdf>

LIST, R.; FREIRE, E. (1981). “Comparision of the Theoretical Collision Efficiency of Uncharged Cloud Droplets in Horizontal and Vertical Eletric Fields”. American Meteorological Society, v. 38, p. 2257-2263.

MESINGER, F. et al. (2012). “An upgraded version of the Eta model. Meteorology and Atmospheric Physics”, v. 116, n. 3-4, p. 63-79.

MOORE, C. B. et al. (1964). “Gushes of Rain and Hail After Lightning”. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 21, p. 646-665.

PALHARINI, R. S. A; VILA, D. A. (2017). “Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northeast Region of Brazil”. Advances in Meteorology. V. 2017, ID 5916150, p. 12. <https://doi.org/10.1155/2017/5916150>

STENSRUD, D. J. (2007). “Parameterization Schemes: Keys to Understanding Numerical Weather Prediction Models”. Nova York: Cambridge. 459 p.

TANESSONG, R. S; VONDOU, D. A; IGRI, P. M; KAMGA, F. M. (2012). “Evaluation of Eta Weather Forecast Model over Central Africa”. Atmospheric and Climate Sciences, v. 2, p. 532-537. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2012.24048>

TAYLOR, E. K. (2001). “Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram”. Journal of Geophysical Research, v. 106, NO. D7, p. 7183–7192.

**AGRADECIMENTOS** – Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).