

UMIDADE PREVISTA PELO MODELO ETA USANDO A PARAMETRIZAÇÃO DA CONVECÇÃO BMJ EM SITUAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO CONVECTIVA E NÃO CONVECTIVA

Janduy Guerra Araújo¹, Tuilly de Fátima Macedo Furtado², Nkarthe Araújo³, Pascally Maria Aparecida Guerra⁴

¹ Professor Doutor da Unidade Acadêmica de Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (janduy.guerra@gmail.com) Sumé- Brasil

² Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande

³ Mestre em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba

⁴ Doutoranda em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

RESUMO

Efetou-se um estudo de caso sobre a previsão de umidade pelo modelo regional ETA usando a parametrização convectiva de Bettes – Miller – Janjic (BMJ). Há vários trabalhos na literatura que focalizam este tema, mas poucos direcionados, em particular, para o estado da Paraíba. É sabido que abaixo da base da nuvem (850hPa) os perfis de umidade e temperatura (não contemplado neste estudo) são insensíveis ao esquema de parametrização BMJ, pois ele negligencia as correntes descendentes de ar frio para os baixos níveis, podendo indiretamente afetar a previsão de vento. Diante deste pressuposto, a metodologia executada neste trabalho consistiu em comparar Diagramas de Hovmoller de umidade previstos pelo ETA com os respectivos dados sinóticos das análises do ERA-INTERIM/ECMWF para duas situações convectivas contrastantes. O modelo foi configurado com resolução horizontal de 12 km, cobrindo o nordeste brasileiro e Oceano Atlântico adjacente e o foco das análises foi para três cidades do estado da Paraíba, a saber: João Pessoa, Campina Grande e Cajazeiras. Os resultados obtidos revelaram que apesar do esquema BMJ desprezar o efeito das correntes descendentes de ar frio o modelo apresentou resultados satisfatórios no que concerne a previsão de umidade para as três cidades objeto do estudo para previsões de até três dias independentemente da situação convectiva.

PALAVRAS – CHAVE: BMJ, ETA, umidade.

HUMIDITY FORECAST BY ETA MODEL WITH BMJ PARAMETERIZATION IN SITUATION CONVECTIVE RAIN AND WITHOUT CONVECTIVE RAIN

ABSTRACT

Here we carried out a case study on moisture forecast by ETA model using the convective parameterization Bettes - Miller - Janjic (BMJ). There are several studies in the literature focusing on this theme, but few directed in particular to the state of

Paraíba. It is known that below the cloud base (850hPa) humidity and temperature profiles (not included in this study) are insensitive to the BMJ parameterization scheme because he neglect the currents of cold air descending to the low levels and may indirectly affect the forecast wind. Given this assumption, the methodology implemented in this work is to compare moisture Hovmoller diagrams provided by ETA with their synoptic data from ERA-INTERIM / ECMWF analyzes to two contrasting convective situations. The model was configured with horizontal resolution of 12 km, covering the Brazilian northeast and adjacent Atlantic Ocean and the focus of the analysis is to three cities in the state of Paraíba, namely: João Pessoa, Campina Grande and Cajazeiras. The results showed that despite the BMJ scheme neglect the effect of the currents of cold air descending the model achieved satisfactory results with respect humidity for the three cities study object to forecasts up to three days regardless of convective situation.

KEYWORDS: BMJ, ETA, and humidity.

INTRODUÇÃO

Devido a importância da previsão de tempo em muitos setores da vida humana, os cientistas estão tentando continuamente desenvolver modelos numéricos de previsão do tempo (MNPT) que possam prever o tempo precisamente. Contudo, apesar das previsões terem sido melhoradas significativamente durante os últimos anos, têm-se testemunhado que os modelos ainda não são capazes de prever muitos eventos extremos e como consequência evitar muitos desastres climáticos (POPOVIC, 2006).

Na região tropical os sistemas convectivos, fundamentalmente a convecção cúmulus, são os principais responsáveis pela precipitação nessa região, tendo uma acentuada interação com os campos de grande escala, de modo que o conhecimento de como essas escalas interagem é fundamental para a compreensão da dinâmica da atmosfera (ARAKAWA & SCHUBERT, 1974). Contudo, as nuvens são as maiores fontes de incertezas na ciência do clima e continuam sendo um elo fraco na modelagem da circulação tropical de modo que um desafio estabelecer conexões entre microfísica e dinâmica em nuvens cúmulus (NARASIMHA et al., 2011).

A convecção na atmosfera é um agente responsável pela produção da precipitação, pelo transporte de calor para os níveis atmosférico superiores, pela redistribuição de umidade e temperatura. Além disso, se for produzida em uma quantidade compatível com a área, pode criar correntes de jato e vórtices em níveis médios da atmosfera, consequentemente atuando na circulação de grande escala que por sua vez afeta o tempo em locais remotos (ARAÚJO, 2012).

Há diversas parametrizações convectivas desenvolvidas, variações das mais antigas com aprimoramentos e ainda outras que continuam a serem desenvolvidas e inseridas nos modelos numéricos de previsão de tempo. As mais conhecidas são os esquemas de parametrização Kuo, Betts – Miller – Janjić (BMJ), Arakawa – Schubert, Grell-Devenyi (GD) e Kain-Fritsch (KF). Cada uma apresenta suas vantagens e desvantagens. Contudo, todas devem responder, com base nas informações da média das variáveis da malha, quem provoca a convecção em uma coluna de grade, como a convecção, quando presente, modifica os perfis nesta coluna e, por fim, como a convecção e a dinâmica em escala de grade interagem (ARAÚJO, 2012).

Muitos pesquisadores, tais como JANKOV et al. (2007), HINNERK et al. (2009), MUKHOPADHYAY et al. (2010), HU et al. (2010) e DORRESTIJN et al. (2013) estudaram os impactos de diferentes configurações, incluindo parametrizações, no desempenho de modelos meteorológicos e seus resultados permitem afirmar que tanto variações de parametrização, modelos de solo e resolução afetam o desempenho do modelo em simular um dado evento, contudo não há uma configuração ótima para todas as variáveis em todo um domínio espaço-temporal.

LANGHE et al., (2015) estudaram a sensibilidade de um modelo climático regional, “alimentado” por dados das reanálises do ERA-INTERIM, tanto à convecção como a nuvens não precipitantes em escala de subgrade sobre a América do Sul foram similares em magnitude.

O objetivo deste trabalho foi utilizar o modelo regional ETA, com uma resolução horizontal de 12 km e domínio abrangendo o nordeste do Brasil e Oceano Atlântico adjacente, para averiguar o seu desempenho (umidade) sujeito à parametrização convectiva BMJ em face de duas condições: Uma em que o modelo acionou a parametrização convectiva profunda (19 a 22 de maio de 2011), pois ocorreu precipitação convectiva suficiente e noutra onde não acionou tal parametrização, pois não ocorreu precipitação convectiva profunda (28 a 31 de julho de 2010), para as cidades de João Pessoa, Campina Grande e Cajazeiras. As análises se concentraram na previsão de umidade para as regiões supracitadas. Tendo em vista que estas variáveis desempenham um papel importante na qualidade do ar e consequentemente no conforto térmico e que comumente em regiões de difícil acesso não se tem dados observacionais é de extrema importância que os modelos meteorológicos apresentem uma boa destreza em simular estas variáveis. Os resultados do modelo serão comparados com dados das Análises do ECMWF disponíveis para os horários sinóticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho seguiu diversas etapas, a primeira consistiu em instalar as ferramentas computacionais necessárias para a execução do modelo Regional ETA. Assim foi necessário a instalação do Sistema Operacional Linux e do compilador Fortran pgf90 da portland para Linux, além de algumas bibliotecas computacionais para manipulação de dados em formato grib e Netcdf e do software GrADs para visualização e geração dos outputs do pós-processamento oriundos do modelo.

O modelo ETA foi instalado com resolução horizontal de 12 km no modo previsão, abrangendo o Nordeste do Brasil e Oceano Atlântico adjacente, como pode ser visualizado através da Figura 1.

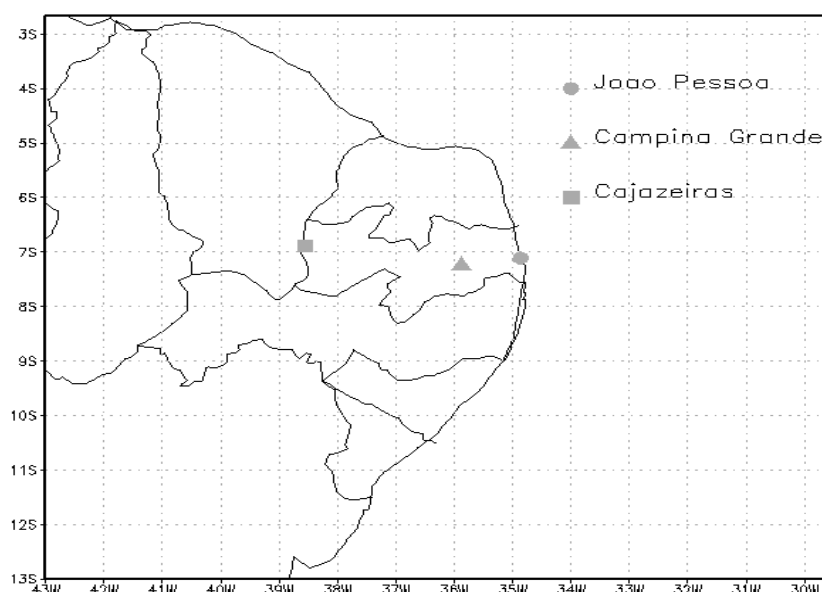


FIGURA 1. Domínio do modelo Regional ETA com a delimitação dos estados nordestinos e localização das cidades objeto do estudo. Fonte: ARAÚJO (2012).

A parametrização convectiva de Betts-Miller-Janjic (BMJ) foi escolhida para tratar do problema da convecção rasa e profunda, pois apesar de apresentar diversas vantagens em relação a outros esquemas de convecção, desconsidera as correntes descendentes frias abaixo da base da nuvem. Portanto, por hipótese esperava-se que os diagramas de Hovmöller de umidade e vento em baixos níveis fossem afetados por esta limitação do esquema de parametrização em situações onde o modelo aciona a parametrização BMJ.

Uma vez delimitada a área de abrangência do modelo, sua resolução e o objeto de estudo, o ETA – 12 km foi executado com as condições de contorno do ETA – 40km provenientes do Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Selecionou-se então, um caso onde o modelo acionou a parametrização convectiva profunda (19 a 21 de maio de 2011) e outro onde não houve precipitação convectiva (28 a 31 de julho de 2010) para as cidades de João Pessoa, Campina Grande e Cajazeiras. A escolha do estado da Paraíba é justificada em razão da escassez de trabalhos na literatura científica envolvendo o tema proposto neste artigo para a Paraíba, portanto almeja-se também estimular pesquisadores a abordarem este assunto. Em especial, a opção pelas cidades mencionadas acima se deve as peculiaridades geográficas que elas apresentam dentro do estado: : João Pessoa (07°06'S, 34°51'O, 47m), Campina Grande (07°13'S, 35°52', 551m), Cajazeiras (06°53'S, 38°33'O, 298m)

Na última etapa, os diagramas de Hovmöller de umidade, para vários níveis de pressão, produzidas pelo modelo, foram comparadas com as respectivas séries temporais das análises provenientes do ERA-INTERIM pertencente ao ECMWF com resolução horizontal de aproximadamente 0,75° e horários sinóticos, para o período de estudo supracitado.

O projeto ERA-INTERIM é projeto mais recente envolvendo reanálises atmosféricas do globo terrestre produzido através do Centro Europeu de Previsão do

Tempo de Médio Prazo (ECMWF), destacando-se por uma melhor representação do ciclo hidrológico, da qualidade da circulação estratosférica e consistência temporal nos campos geofísicos obtidos de reanálise. Além disso, em termos técnicos o ERA-INTERIM permite uma melhor seleção dos dados, controle de qualidade, correções de erros e monitoramento de desempenho. Os dados das análises são obtidos combinando dados de previsão de curto prazo com dados de observações a fim de obter a melhor combinação de ambos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagramas de Hovmöller para a Umidade Relativa de 28 a 31 de julho de 2010

Os diagramas de Hovmöller apresentados abaixo representam a umidade relativa prevista pelo modelo ETA (previsão horária) para os níveis de 1000, 975, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 725, 700, 675, 650, 625, 600, 575, 550, 525, 500, 475, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150 e 100 hPa e a umidade oriunda das Análises do ERA – INTERIM (dados sinóticos) para os níveis de pressão de 1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 225, 200, 175, 150, 125 e 100hPa.

Adicionalmente, nestes diagramas, foi traçada a isolinha da temperatura de 0° C (linha grossa cheia), que corresponde ao ponto de congelamento. O painel superior, (a), corresponde à previsão do modelo enquanto que o inferior, (b), representa a Análise do ERA – ITERIM.

Na Figura 2, para João Pessoa, pode-se notar que a previsão de umidade relativa do ar realizada através do modelo Regional ETA concorda muito bem quando comparada com a Análise de umidade do ERA – ITERIM para os baixos níveis (abaixo de 700 hPa), inclusive em termos de intensidade, de modo que os maiores valores de umidade relativa do ar, acima de 70%, concentram-se nos baixos níveis, onde acontece os principais fenômenos físicos da Atmosfera e habitam grande parte dos seres bióticos.

É importante destacar que esta melhor previsão do modelo em baixos níveis em detrimento dos níveis atmosféricos superiores reflete a maior resolução do modelo para os níveis mais próximos à superfície. Ademais, este resultado possibilita pensar que se utilizarmos dados observacionais em vez de dados oriundos de Análise, a destreza do modelo seria melhor.

Em contrapartida, se a abordagem efetua-se em termos de tamanho amostral pode-se suspeitar que este resultado fosse ocasional, visto que se trata de uma previsão de curto prazo. Admitindo-se que tal resultado não seja meramente aleatório o modelo ETA demonstra ser uma ferramenta muito importante na previsão de umidade com até três dias de antecedência para a cidade de João Pessoa.

Esta previsão parece ser melhor que a de MARIANO *et al.* (2011), utilizando o Modelo Regional BRAMS para a previsão de temperatura e umidade relativa sobre o estado da Paraíba para um período de cinco dias, pois os resultados do BRAMS não foram tão satisfatórios na faixa litorânea, que abrange João Pessoa quanto para as outras regiões do estado. Os autores justificaram esse resultado pelo fato que a região representa uma área de descontinuidade entre Terra e Oceano.

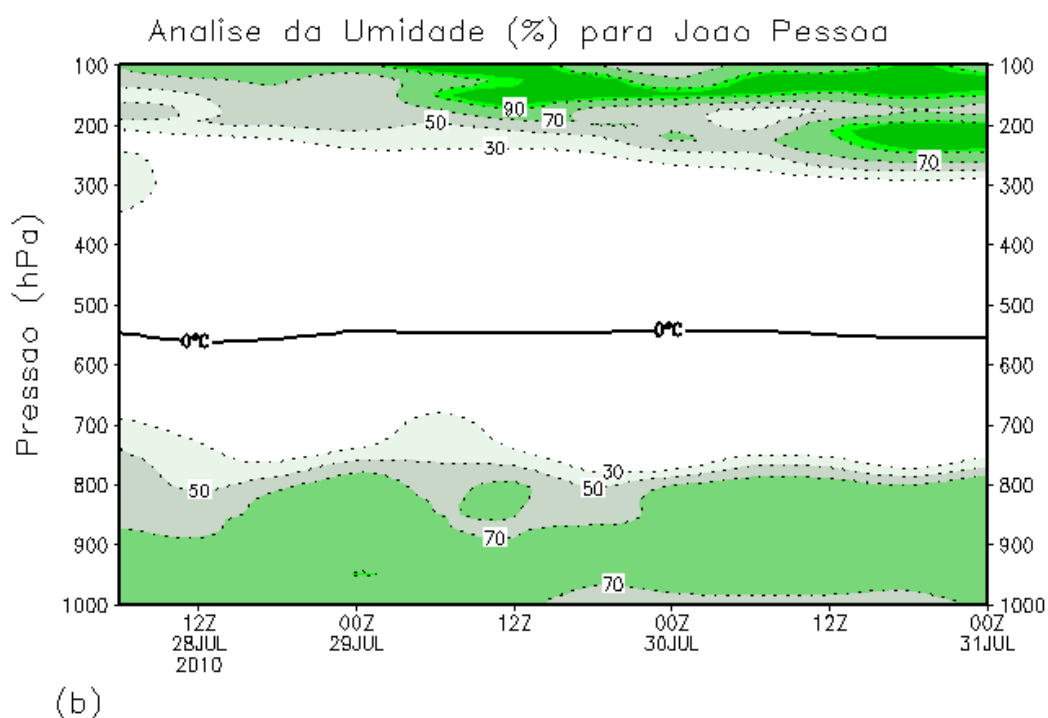
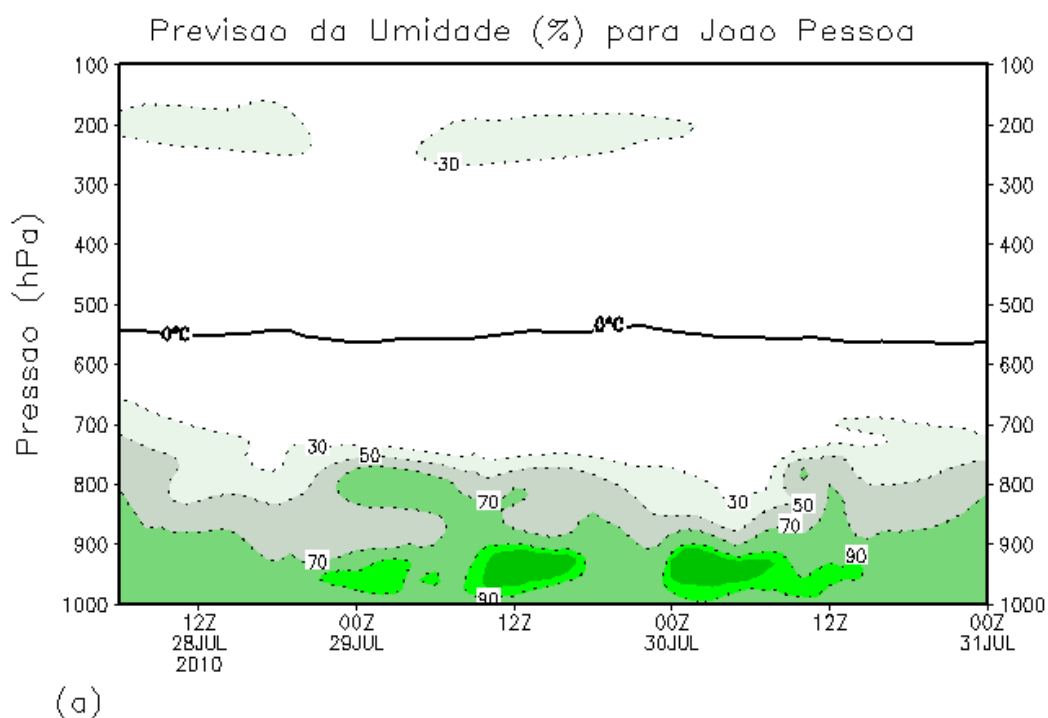


FIGURA 2: Diagrama de Hovmöller da Umidade Relativa, para João Pessoa, de 28 a 31 julho de 2010: Previsão horária pelo modelo ETA (a) e Análise Sinótica do ERA – INTERIM (b).
Fonte: ARAÚJO (2012).

Esta destreza do modelo estende-se para os níveis médios e os primeiros níveis atmosféricos superiores (abaixo de aproximadamente 300 hPa), onde a atmosfera se apresentou, para João Pessoa, bastante seca, de modo que a

umidade ficou abaixo de 30%. Esta diminuição da umidade relativa com a altitude é esperada e explica-se pela maior rarefação do ar com respeito à altura.

Acima de 300 hPa é nítido que o modelo subestimou consideravelmente a umidade relativa em relação à Análise do ERA – INTERIM, o que deve ser justificado pelo fato do modelo apresentar baixa resolução nestes níveis, contudo isto não inviabiliza o uso do modelo, visto que os principais fenômenos atmosféricos acontecem em menores altitudes.

O diagrama de Hovmöller mostrado na Figura 3, para Campina Grande, revela que o modelo ETA apresenta uma previsão semelhante à prevista para João Pessoa. Exceto que, como explicito pela Análise do ERA - INTERIM, a atmosfera em Campina Grande apresentou um teor de umidade relativa do ar menor que para João Pessoa.

A diminuição de umidade relativa de Campina Grande quando comparada com João Pessoa é atribuída indiretamente à heterogeneidade espacial e temporal do regime pluviométrico no estado da Paraíba, de modo que a precipitação diminui acentuadamente de Leste para Oeste, o que repercute no teor de umidade atmosférica como destacado por TEIXEIRA *et al.* (2001).

Um fator que contribui para a variação direcional da umidade do ar no estado está associado com agentes orográficos, em particular, Campina Grande está situada no Planalto da Borborema, a cerca de 550 m acima do nível médio do mar, atuando como uma “barreira” natural contra o vento úmido vindo do Oceano Atlântico. Outro fator é o próprio distanciamento da Costa que contribui na diminuição da umidade na direção zonal de Leste para Oeste.

Em conjunção com a previsão para João Pessoa, resultado anterior, observa-se que o melhor desempenho do modelo regional ETA ocorreu de baixos a níveis médios troposféricos e a razão disto já foi apontada anteriormente. Isto sugere que a presença do Planalto da Borborema não interfere negativamente na qualidade da previsão de umidade relativa, para três dias, do modelo ETA e que se poderia fazer uma previsão de umidade relativa com até cinco dias de antecedência como em MARIANO *et al.* (2012).

A boa destreza do modelo Regional ETA, em prever a umidade relativa tem uma importância muito grande na Paraíba em virtude do mecanismo escasso de obtenção das medidas de umidade através das estações meteorológicas existentes em detrimento de outras variáveis meteorológicas importantes tais como precipitação e temperatura do ar. Como enfatizado em TEIXEIRA *et al.* (2001), a precipitação pluviométrica é obtida mais facilmente através dos pluviômetros instalados ao longo do estado, enquanto que a temperatura do ar quando não obtida diretamente pode ser estimada em função das coordenadas locais.

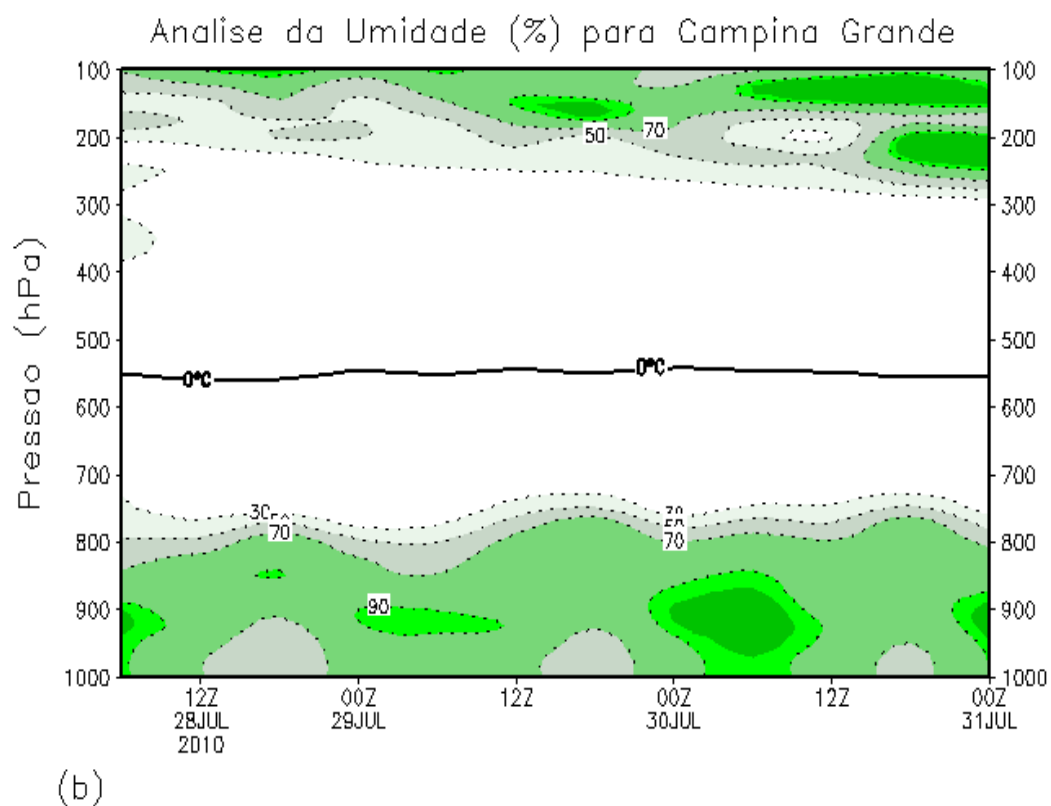
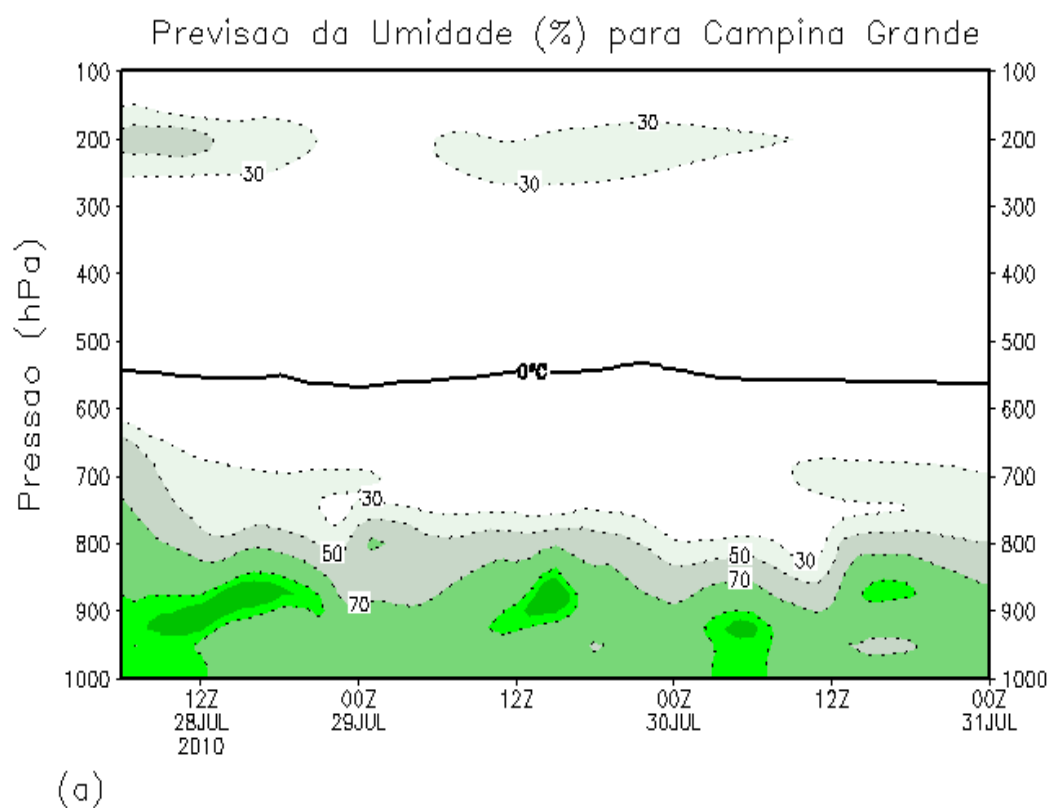
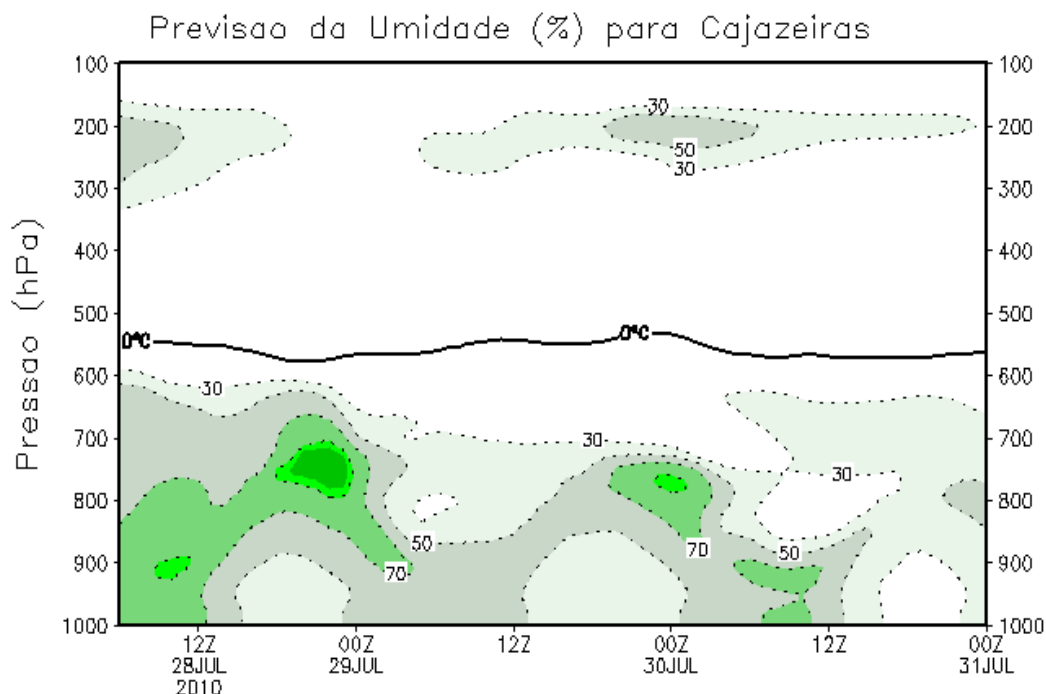
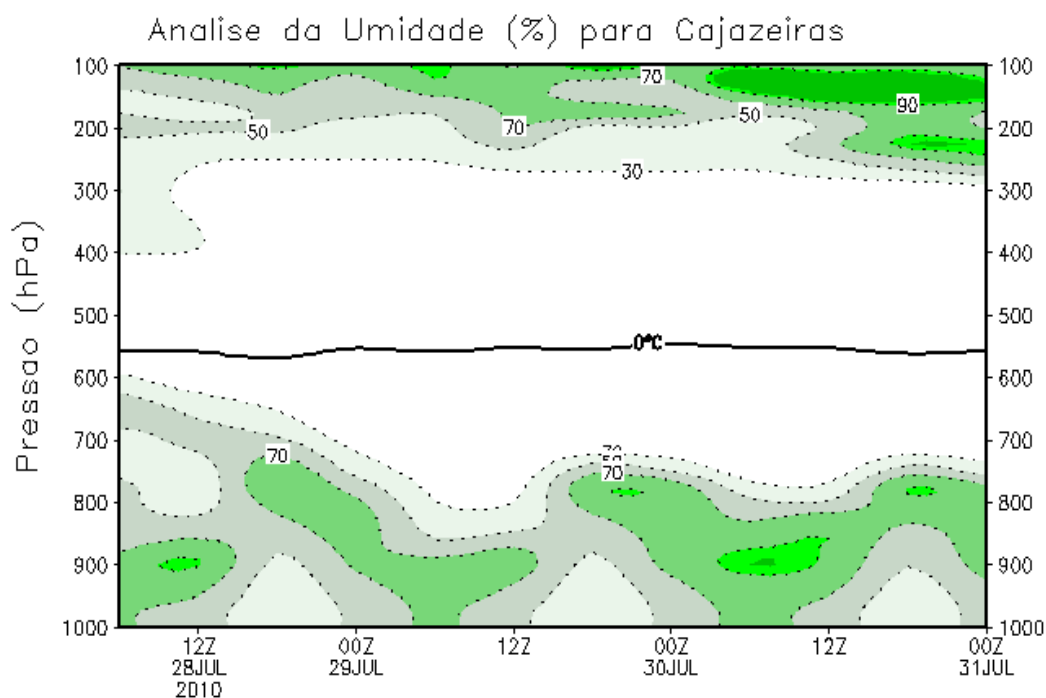


FIGURA 3: O mesmo que na Fig. 2, exceto para Campina Grande.
 Fonte: ARAÚJO (2012)

Para Cajazeiras, (Figura 4) o modelo ETA parece ligeiramente subestimar a umidade relativa de baixos níveis, apesar de refletir bem a variabilidade espacial da umidade, pois os valores de umidade resultantes da modelagem para João Pessoa e Campina Grande foram maiores.



(a)



(b)

FIGURA 4: O mesmo que na Fig. 2, exceto para Cajazeiras.

Fonte: ARAÚJO (2012)

Não há, a rigor, uma explicação física pertinente para o fato da previsão do modelo ETA subestimar a umidade em Cajazeiras. Contudo, pode-se levantar a hipótese de que ou a qualidade dos dados do ERA – INTERIM não é satisfatória para a região do Polígono das Secas ou as condições iniciais que “alimentaram” o modelo não são totalmente confiáveis naquela, portanto, sendo necessária uma investigação através de dados observacionais.

Diagramas de Hovmöller para a Umidade Relativa de 19 a 22 de maio de 2011

Dando continuidade a seção anterior, esta seção apresenta os diagramas de Hovmöller da umidade relativa prevista e oriunda das Análises sinóticas do ERA – INTERIM para o período de 19 a 22 de maio de 2011.

Os maiores valores de umidade para este período, Figuras 5 a 7, em detrimento do período anterior, Figuras 2 a 4, é decorrência segundo DRUMOND *et al.* (2010), ao fato da umidade ser maior na estação chuvosa, apesar do máximo de precipitação não coincidir com o máximo de umidade e o fato de alguns máximos locais de umidade exibidos pelas Análises do ERA – INTERIM não serem previstos pelo modelo pode estar ligado a qualidade das Análises ou mesmo a qualidade das condições iniciais que alimentam o modelo. Nos parágrafos subsequentes são detalhados esses resultados.

Na Figura 5, para João Pessoa, pode ser observado que o modelo ETA subestimou a umidade relativa acima dos baixos níveis em relação à Análise sinótica do ERA – INTERIM em praticamente todo o período. Em baixos níveis (abaixo de 700 hPa) a concordância entre a previsão e a Análise é bem mais acentuada, apesar dos resultados provenientes da Análise do ERA – INTERIM revelarem um máximo de umidade relativa (acima de 90%) abaixo de 800hPa estendendo-se por mais que um dia no início do período e outro com intensidade acima de 90% em torno do dia 20 de maio que não foram prognosticados através do modelo.

Note-se, adicionalmente, que a camada de umidade mais intensa (em torno de 70%) é mais profunda na Análise, (Fig. 5b), que na previsão, (Fig. 5a), e que em níveis mais elevados, aproximadamente acima de 700 hPa o modelo subestima a umidade relativa de uma forma mais intensa que em baixos níveis, em particular, entre 200 – 100hPa a diferença entre a previsão de umidade e a Análise é bastante substancial.

Nos resultados obtidos para Campina Grande e Cajazeiras, (Fig. 6a e 7a), respectivamente também se observa que a previsão do modelo subestima acentuadamente a umidade relativa entre 200 – 100 hPa. É notório também que a Análise para Campina Grande, (Fig. 6b), indica um máximo de umidade superior a 90% em baixos níveis entre os dias 19 e 20 de maio e, no entanto, a previsão apresenta este máximo apenas no dia 20 de maio.

É importante destacar, ainda, que em Cajazeiras, (Fig. 7a e 7b), não houve máximos de umidade relativa tão notável como os obtidos para Campina Grande e João Pessoa. Ademais, a umidade relativa em Cajazeiras, tanto proveniente da Análise como da previsão do modelo ETA, foi menos intensa quando comparada com as outras duas cidades, o que está de acordo com TEIXEIRA *et al.* (2001).

De um modo geral os diagramas de Hovmöller da previsão do modelo regional para estas três localidades não exibiram uma variação horária pronunciada

da umidade relativa, apesar dos resultados em baixos níveis, estarem todos dentro de uma margem bastante aceitável. Assim, o modelo ETA pode ser usado para previsão de umidade independentemente da situação convectiva presente. Contudo, de conformidade com os diagramas de Hovmöller para a umidade de João Pessoa, esta apresenta um caráter menos estratificado que para as duas cidades interioranas, principalmente acima dos baixos níveis.

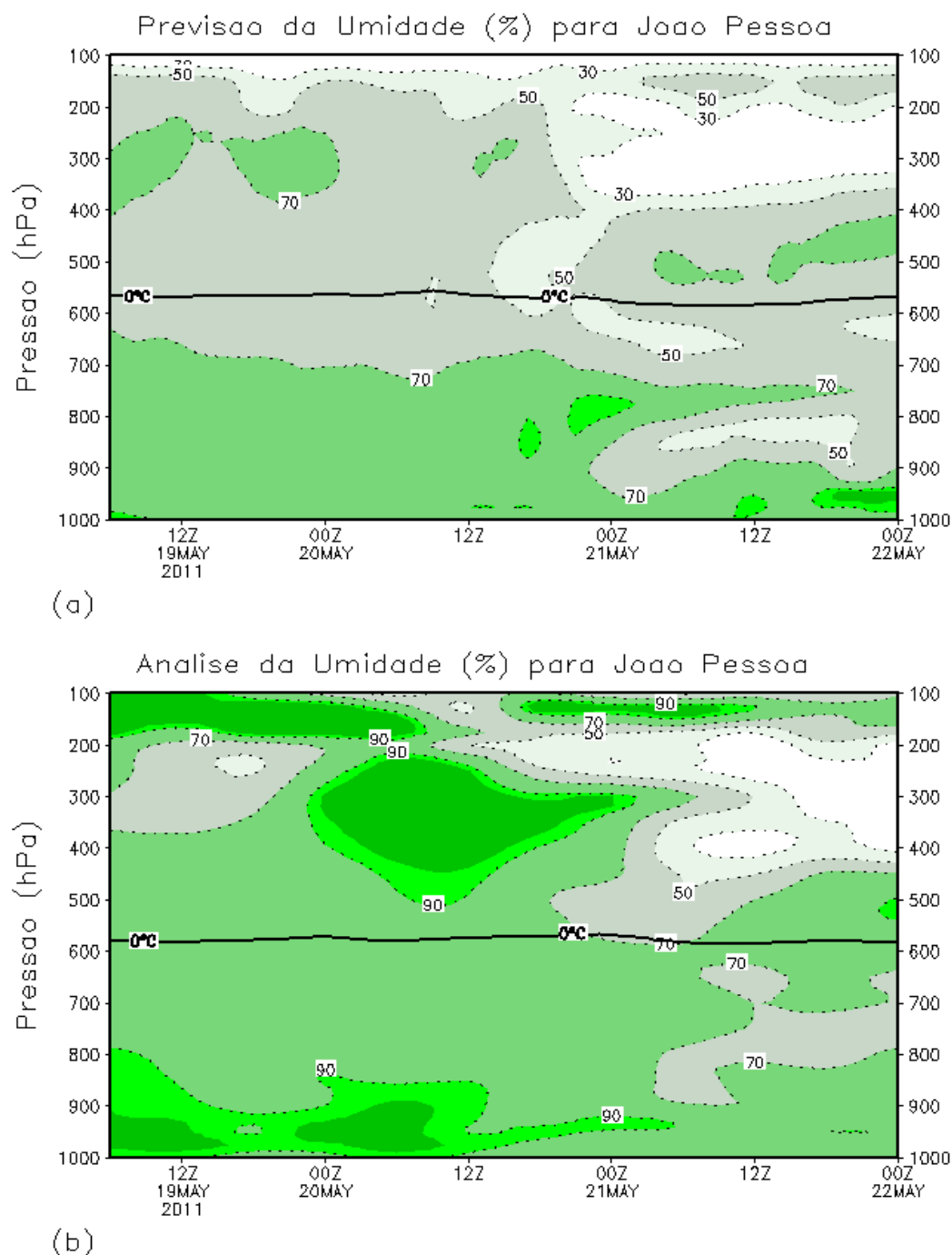
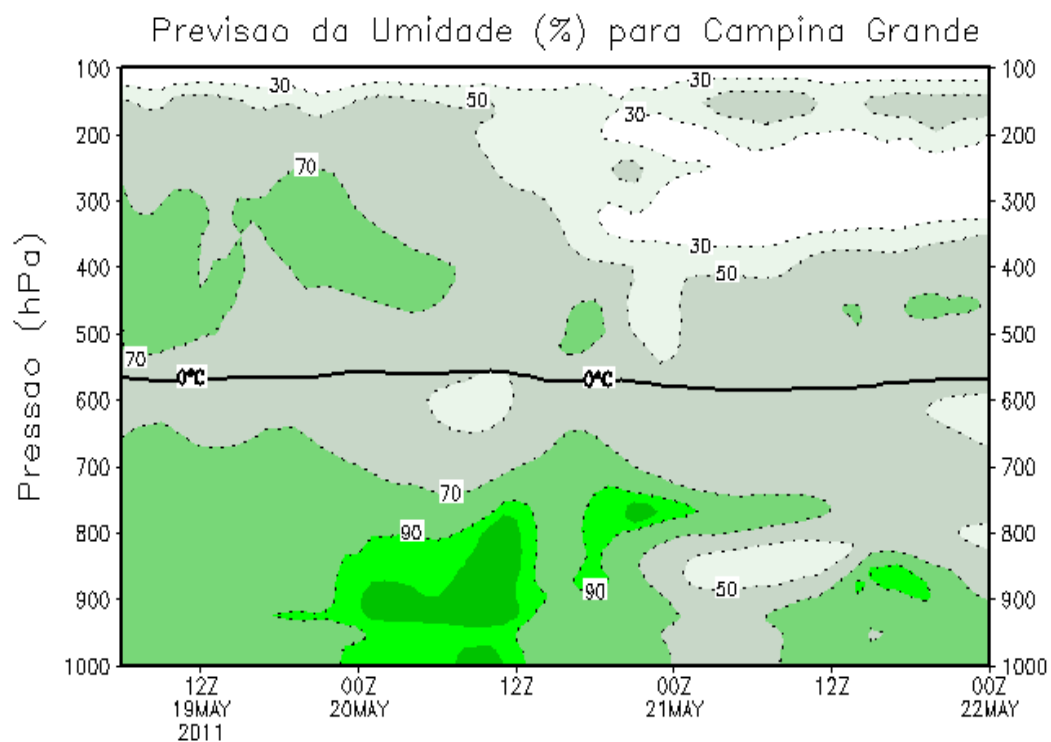
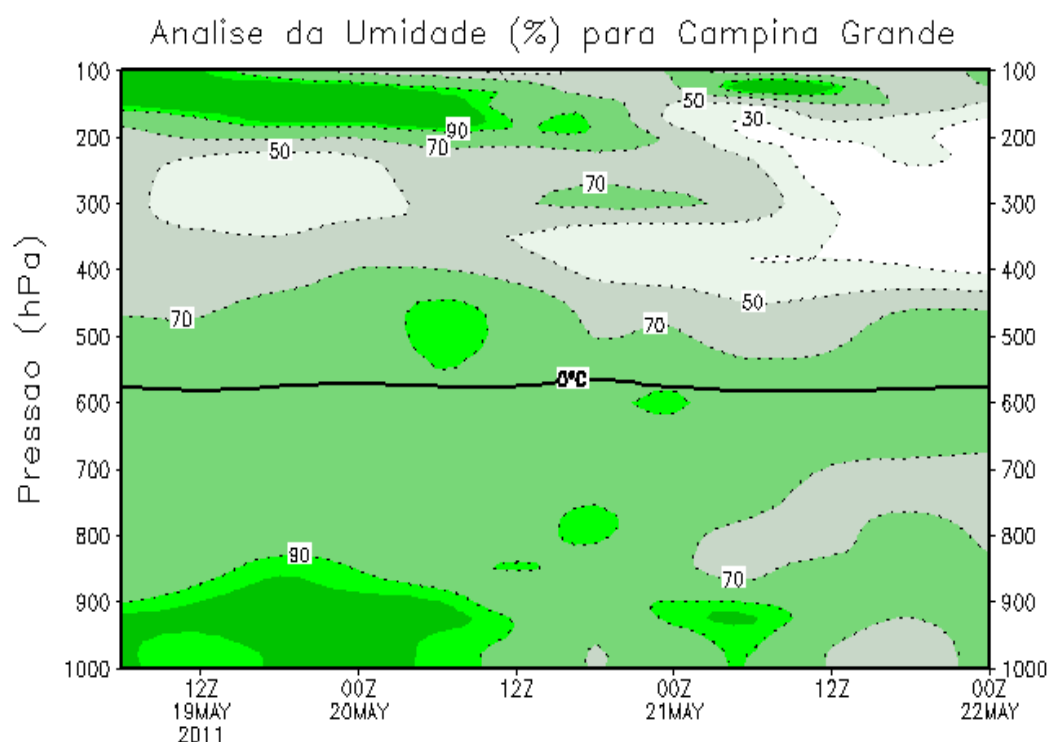


FIGURA 5: Diagrama de Hovmöller da Umidade Relativa, para João Pessoa, de 19 a 22 de maio de 2011: Previsão horária pelo modelo ETA (a) e Análise Sinótica do ERA – INTERIM (b).
Fonte: ARAÚJO (2012)

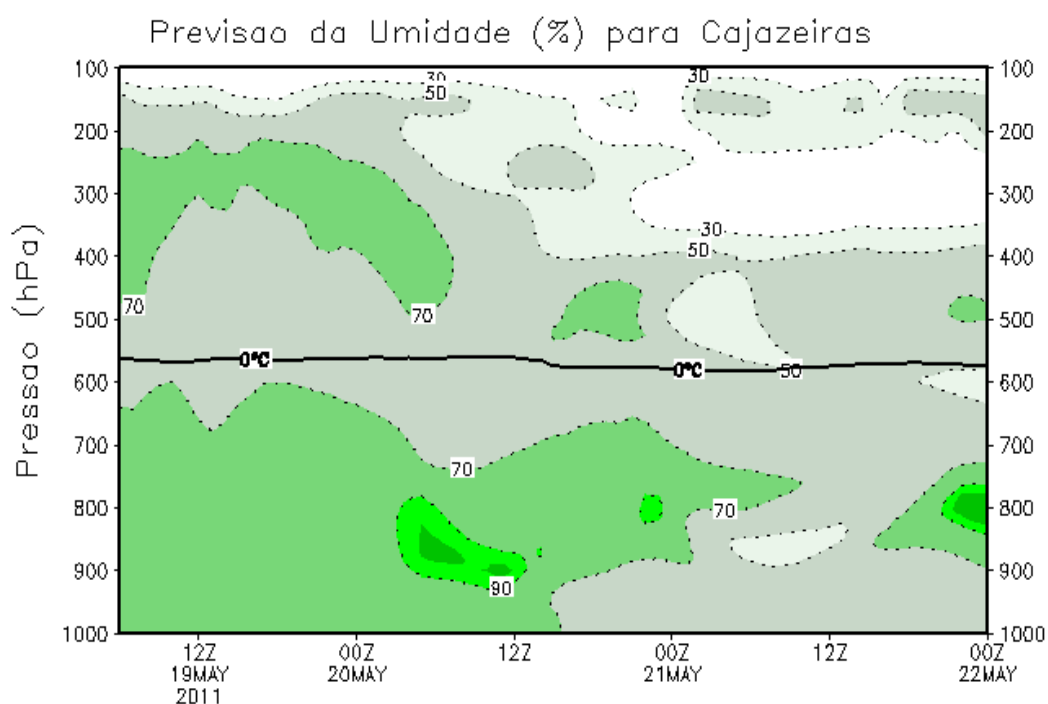


(a)

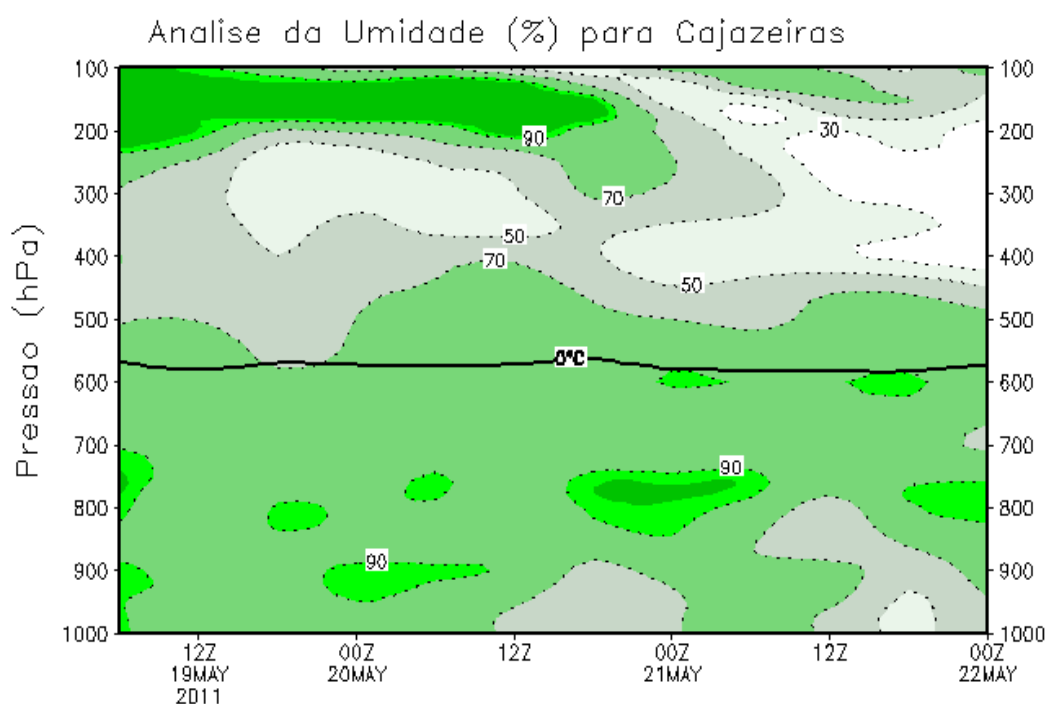


(b)

FIGURA 6: O mesmo que na Fig. 5, exceto para Campina Grande.
Fonte: ARAÚJO (2012).



(a)



(b)

FIGURA 7: O mesmo que na Fig. 5, exceto para Cajazeiras.
Fonte: ARAÚJO (2012).

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O modelo ETA, configurado com a resolução de 12 km e a parametrização convectiva de BMJ inserida, demonstrou ser uma ferramenta bastante útil para

prognóstico de umidade com até dois dias de antecedência para as cidades de João Pessoa, Campina Grande e Cajazeiras.

A avaliação conjunta dos diagramas de Hovmöller oriundos da previsão do modelo regional e das Análises do ERA-INTERIM para estas três localidades não exibiram uma variação horária pronunciada da umidade relativa. Contudo, de conformidade com estes diagramas, a umidade para João Pessoa apresentou um caráter menos estratificado que para as duas cidades interioranas, principalmente acima dos baixos níveis, o que pode estar ligado a presença do oceano nas adjacências de João Pessoa.

O uso da Parametrização convectiva de BMJ para os eventos, aqui estudados, não repercutiu as limitações deste esquema em não levar em consideração as correntes descendentes de ar frio abaixo da base da nuvem (850 mb). Sugerindo, portanto, que a advecção de temperatura através destas correntes não tenha um impacto tão significativo na previsão de umidade relativa.

Julga-se interessante e deixa-se como sugestão, que futuras pesquisas estendam esta metodologia para uma amostra mais representativa, possibilitando assim, por meio de inferência, avaliar o desempenho do modelo com a parametrização BMJ para episódios de atividade convectiva profunda e com ausência de atividade convectiva profunda.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pelo suporte financeiro concedido durante todas as etapas de execução desta pesquisa e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC por ceder as condições iniciais e de contorno do modelo operacional ETA – 40 km.

REFERÊNCIAS

ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment. **Part I. J. Atmos. Sci.**, v. 31, p. 674-701, 1974.

ARAÚJO, J. G. Utilização das Equações de Navier Stokes com a parametrização convectiva BMJ para prognóstico de Temperatura, umidade e vento sobre diferentes condições de estabilidade atmosférica utilizando o modelo regional ETA – Tese de Doutorado, **Universidade Federal da Paraíba**, 2012.

DORRESTIJN, J.; CROMMELIN, D. T.; SIEBESMA, A. P.; JONKER, H. J. J. Stochastic Parameterization of Shallow Cumulus Convection Estimated from High – Resolution Model Data. **Theor. Comput. Fluid Dyn.**, v. 27, p. 133-148, 2013.

DRUMOND, A., NIETO, R., TRIGO, R., AMBRIZZI, T., SOUZA, E., GILMENO, L. A Lagrangian Identification of the Main Source of Moisture Affecting Northeastern Brazil during Its Pre- Rainy and Rainy Season. **PLoS ONE** 5(6): e11205. doi:10.1371/journal.pone.0011205, 2010.

HINNERK, R.; SCHLÜNZEN, K. H. Evaluation of a Mesoscale Model with Different Surface Parameterizations and Vertical Resolutions for the Bay of Valencia. **Mon. Wea. Rev.**, v. 137, p. 2646 – 2661, 2009.

HU, X. M.; JOHN W. NIELSEN-GAMMON; FUQING, Z. Evaluation of Three

Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model. **J. Appl. Meteor. Climatol.**, 49, p. 1831–1844, 2010.

JANKOV, I.; SCHULTZ, J. P.; ANDERSON, J. C.; KOCH, E. S. The Impact of Different Physical and Their Interactions on Cold Season QPF in the American River Basin. **J. Hydrometeor**, v. 8, p. 1141-1151, 2007.

LANGE, S.; ROCKEL, B.; VOLKHOLZ, J.; BOOKHAGEN, B. Regional Climate Model Sensitivities to Parameterizations of Convection and non – Precipitating Subgrid-Scale Clouds over South America. **Climate Dynamics**, v. 44, p. 2839 - 2857, 2015.

MARIANO, E. V., CAVALCANTI, E. P. E., RODRIGUES, H. P. Evaluation of BRAMS in Numerical Prediction of Temperature and Relative Humidity in State of Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 3, p. 463-475, 2011.

MUKHOPADHYAY, P.; TARAPHDAR, S.; GOSWAMI, B. N.; KRISHNAKUMAR, K. Indian Summer Monsoon Precipitation Climatology in a High-Resolution Regional Climate Model: Impacts of Convective Parameterization on Systematic Biases. **American Meteorological Society**, v. 25, p. 369-387, 2010.

NARASIMHA, R., DIWAN, S. S., DUVVURI, S., SREENIVAS, K. R., & BHAT, G. S. Laboratory simulations show Diabatic Heating Drives Cumulus-Cloud Evolution and Entrainment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, p. 16164-16169, 2011.

POPOVIC, J. ETA model in Weather Forecast. Master's Thesis in Numerical Analysis. **Royal Institute of Technology**, 2006.

TEIXEIRA, A. H. de C., SOUZA, R. A. de, RIBEIRO, P. H. B., REIS, V. C. da S. Estimativa e mapeamento das normais de umidade relativa do ar no Estado da Paraíba. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2001, Maringá. Anais do III Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 2001. Maringá: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 2001.