

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO SIMULADA POR DOIS DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO (PNT) PARA MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

R.G. Moura⁽¹⁾, A.J.P. Silva⁽¹⁾, W.G. Almeida⁽¹⁾, A. S. B. Pereira⁽¹⁾, and S.H.S. Ferreira⁽¹⁾

(1) Center for Weather Forecast and Climate Studies, National Institute for Space Research, Cachoeira Paulista-SP, Brazil, rildo.moura@cptec.inpe.br, alan.silva@cptec.inpe.br, waldenio.almeida@cptec.inpe.br, arielle.bassanelli@cptec.inpe.br, sergio.ferreira@cptec.inpe.br

RESUMO: O monitoramento dos recursos hídricos em tempo real, tem ganhado importância dentro dos cenários globais de gestão governamental, dado ao impacto que a falta desses recursos podem causar aos diversos setores da economia e atividade humana, tais como o setor agropecuário, geração de energia, saúde e bem estar da população. Para o monitoramento dos recursos hídricos é necessário à utilização de modelos hidrológicos que simulam as variações de vazão dos rios e níveis dos reservatórios, os quais necessitam de dados observados e previstos dos volumes de precipitação sobre a região de interesse. Uma vez que a acurácia dos valores de precipitação dos modelos de Previsão Numérica do Tempo (PNT) podem afetar sensivelmente os resultados dos modelos hidrológicos, torna-se necessário obter uma estimativa dos erros dos diversos modelos de PNT sobre as áreas das bacias hidrográficas de interesse. Dentro desse contexto, esse trabalho foi desenvolvido como parte integrante do projeto “MyWater” da União Europeia, e teve como finalidade avaliar o desempenho de dois modelos de PNT quanto a destreza em simular episódios de precipitação com até 72 horas de antecedência na região em torno de Brasília (lat: 18,2S - 13,0S e lon: 50,7O - 44,9O), no período compreendido de 1º de outubro a 31 de dezembro de 2013. Os modelos avaliados foram os modelos Eta do CPTEC, com resolução de 5km (Eta5km), e o modelo GFS do *National Center for Environmental Prediction (NCEP)*, com resolução de 50 quilômetros (GFS50). O método aplicado é de avaliação estatística de precipitação pontual simulado por cada um dos modelos. Nessa avaliação, são empregados o Erro Médio (EM) e a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) entre dados observados e resultados dos respectivos modelos. Os dados observados utilizados foram obtidos através de um processo de ajuste entre dados horários de precipitação medidos em três estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados estimados pelo Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Os resultados mostraram que, de maneira geral, para a primavera de 2013, tanto o modelo Eta5km quanto o GFS50 tendeu a superestimar os valores de precipitação em todos os pontos estudados. Os erros máximos, em termos de REMQ, se deram para as previsões de 24 horas do Eta05km e, os mínimos, para as previsões de 48 horas com GFS50, lembrando que, as chuvas acumuladas tanto nas estações automáticas como pelo TRMM para o mesmo período, foram abaixo da climatologia, usando como referência a estação de Brasília-DF.

ABSTRACT: The real time monitoring of hydrological resources has gained importance within the global scenarios of government management due to the impact of the lack of the waters resources may cause in many sectors of the economy and human activity, such as the agricultural sector, power generation, health and welfare of the population. For the monitoring of hydrological resources is necessary the use of hydrological models that simulate the variations in river's discharge and the variations in reservoirs levels. In turn, these models require precipitation data (observed and predicted) over the region of interest. As the results from the hydrological models can be significantly affected by the accuracy of precipitation values predicted by the Numerical Weather Prediction (NWP), the errors of the NWP models

available over interested area must be evaluated. In this work, that was developed as part of “MyWater” project of the European Union, the performance of two NWP models was evaluated in relation to their skill to simulate the precipitation episodes with up to 72 hours in advance. The used domain was a region around Brasilia (lat: 18,2S - 13,0S and lon: 50,7W - 44,9W), during the period from October 1 to December 31, 2013. The models evaluated were the CPTEC's model Eta, with resolution of 5km (Eta5km), and the National Center for Environmental Prediction's model GFS (NCEP), with a resolution of 50 km (GFS50). It was applied a method of statistical evaluation in punctual precipitations simulated by each model, based in the Mean Error (ME) and the Root Mean Square Error (RMSE) between observed data and the model's data. The observed data were obtained through a process of adjustment between hourly precipitation data, measured in three automatic stations of the National Institute of Meteorology (INMET), and data estimated by Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). The results showed that, in general, for the spring of 2013, both models (Eta5km and GFS) tended to overestimate the precipitation values at all points studied. In terms of RMSE, the maximum errors occurred in 24 hours forecasting for Eta05km model, and the minimum errors occurred in 48 hours forecasting for GFS50 model. Important to note that the accumulated precipitation in both automatic weather stations as the TRMM for the same period were lower than the climatological data, using the weather station of Brasilia-DF as a reference.

1. INTRODUÇÃO

O clima é um fator determinante nas características da biodiversidade de cada localidade, suas variações podem levar a ocorrências extremas de precipitação, causando danos pela saturação hídrica e também pelas secas prolongadas. Períodos prolongados de estiagem com altas temperaturas causam ondas de calor, enquanto que as baixas temperaturas podem ocasionar ocorrências de geadas. Os aspectos da variabilidade no comportamento climático e suas tendências, em algumas circunstâncias, podem acarretar um desequilíbrio natural. Essas variações podem ou não ser periódicas, isto porque na natureza, todas as variações atmosféricas em qualquer escala espacial são de ordem dinâmica e não se deve atribuir às ocorrências extremas, ou seja, ao termo tão especulado “Mudanças Climáticas”.

Por outro lado, os resultados divulgados pelo quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, chamado de IPCC-AR5, alertam para um aumento médio global das temperaturas que podem atingir 4,8°C até 2100, o que poderá resultar em uma elevação de até 82 centímetros no nível do mar e causar danos importantes na maior parte das regiões costeiras do globo. Entretanto, a estimativa mais otimista especula um aumento da temperatura entre 0,3 e 1,7°C e com isto o nível do mar poderia subir entre 26 e 55 centímetros ao longo deste século, assumindo uma estabilização nos atuais níveis de concentração dos gases do efeito estufa nos próximos 10 anos, o que resultaria em sua remoção da atmosfera.

Análises das características dos oceanos têm comprovado as mudanças no clima ao longo dos anos. Entre elas destacam-se mudanças na temperatura do gelo do Ártico, mudanças na distribuição das precipitações, salinidade dos oceanos, mudanças nos padrões de ventos e eventos extremos do clima, tais como secas, intensas precipitações, ondas de calor e o aumento da intensidade dos ciclones tropicais. O objetivo principal do projeto MyWater vai ao encontro destas demandas uma vez que visa disponibilizar ferramentas e serviços capazes de ajudar os tomadores de decisão a fim de ser capaz de tomar decisões bem apoiados é da maior relevância. Além disso, visa também desenvolver novas abordagens que possam ajudar a relacionar os aspectos hidromorfológicos e/ou o estado físico com o estado ecológico,

abordando questões como a eficiência de programas de monitoramento de bacias hidrográficas com a correspondente redução de custos, voltado principalmente para gestores de bacias hidrográficas e usuários usando modelos de PNT. Sendo assim, em conformidade com este projeto foi apresentada à comunidade científica em 2012, uma nova versão do modelo regional de previsão numérica de tempo Eta modificada para 5 km. O desafio deste estudo é mostrar que o desempenho do modelo Eta5km de alta resolução pode comparável aos dos modelos já consagrados como é o caso do modelo Global Forecast System – GFS, na simulação da precipitação contra dados oriundos de duas fontes distintas: uma convencional e outra do Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM.

2. DADOS E METODOLOGIA

Foram realizados dois experimentos distintos no período de 1º de outubro a 31 de dezembro de 2013. O primeiro, usando a versão do modelo Eta15km, informações adicionais (Mesinger et al, 2012), porém com a resolução modificada para 5 km e domínio compreendido (lat -18.2 e -13.0; lon -50.7 e -44.9), daqui para frente denominado de ETA05. As previsões são horárias até 72 horas de integração, fornecidas duas vezes ao dia, as 00 e 12 UTC.

O segundo, usando o modelo Global Forecast Systems – GFS o qual é disponibilizado diariamente pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), do National Weather Service (NWS), EUA. As previsões do modelo GFS são disponibilizadas atualmente, as 0000 UTC e outra às 1200 UTC e possuem uma resolução de 0.5 grau (cerca de 50 km), daqui para frente denominado de GFS50, para maiores informações: (<http://www.noaa.gov/>). Os dados observados de precipitação possuem resolução temporal horária e foram obtidos a partir de Estações Meteorológicas Automáticas – EMA, em três pontos próximos entre si para caracterização de cada localidade. No caso de Brasília-DF, as EMA's foram: A001 (Brasília-DF) [latitude 15.81 Sul e longitude 47.94 Oeste], A008 (Ceilândia-GO) [latitude 15.9 Sul e longitude 48.1 Oeste], e a A012 (Luziânia-GO) [latitude 16.24 Sul e longitude 48.0 Oeste], todas sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Estes dados são acumulados durante as últimas 24 horas e disponibilizados as 00 e 12 UTC, diariamente.

Os dados de precipitação do TRMM possuem resolução temporal, de 3 horas, e espacial de 0.25°, na faixa de 60°S e 60°N. Os dados de precipitação oriundos do TRMM foram integrados para acumulados diários e interpolados para grades regulares compatíveis as grades de cada modelo de forma a permitir a comparação com os dados modelados, obtidos próximos a superfície.

O desempenho dos modelos foi avaliado utilizando-se as diferenças entre os campos de precipitação extraídos dos modelos, até 72 horas de previsão, usando apenas a rodada das 1200 UTC versus os dados diários acumulados de precipitação das EMA's e do TRMM. O cálculo do ERRO MÉDIO (*equação 1.0*) é definido como sendo a diferença entre a previsão do modelo e o dado [observado] acumulado obtido diariamente de precipitação pela razão do número de dias estudados. A magnitude do erro das previsões foi estimada através do cálculo do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), conforme apresentados abaixo. No cálculo do REMQ (*equação 2.0*), o limiar de precipitação adotado foi de 20 mm. Ambos os índices foram estimados para cada uma das configurações dos modelos estudados.

$$EM = \sum(P-O)/N \quad 1.0$$

$$REMQ = \sqrt{\sum(P - O)^2/N} \quad 2.0$$

Onde: *P* são as previsões, *O* as observações e *N* o número de dias estudados.

3. RESULTADOS

Como o intuito do trabalho foi verificar, nos diferentes domínios para o período representativo da estação de primavera, o desempenho dos modelos quanto à simulação das precipitações, os resultados serão apresentados diariamente para o período estudado.

A figura 1 mostra a localização e a distância em linha reta, entre os pontos estudados: Brasília-DF [latitude 15.81 Sul e longitude 47.94 Oeste], Ceilândia-GO [latitude 15.9 Sul e longitude 48.1 Oeste] e Luziânia-GO [latitude 16.24 Sul e longitude 48.0 Oeste]. Nota-se que a distância relativa entre as cidades é inferior a 49 km, ou seja, menor que a resolução do modelo GFS50, sendo assim, o valor simulado da precipitação para os três pontos estudados deveria ser único, porém apenas dois pontos apresentaram valores idênticos, ou seja, ao contrário do terceiro (Luziânia-GO), ficaram dentro da mesma grade, diferente dos valores obtidos pelo ETA05 que, em função de sua maior resolução, apresenta valores diferentes de precipitação em cada um dos pontos.

Usando-se como referência, a precipitação acumulada [chuva] climatológica do Distrito Federal [Brasília], para a primavera [OND], verifica-se que a mesma é da ordem e de 643.7 mm, dados compilados no período de 1961 a 1990 [Dados históricos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET].

A figura 2 mostra o desempenho simultâneo dos dois modelos para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], os dados observados obtidos pela EMA identificada como A001 [latitude 15.81 Sul e longitude 47.94 Oeste], além dos dados obtidos pelo TRMM.

Na figura 2a, podemos perceber na EMA A001 e no TRMM, que a precipitação acumulada para o período de outubro a dezembro de 2013, foi inferior a climatológica para o mesmo período, sendo da ordem de 434.6 e 193.7 mm, respectivamente. Por outro lado, ambos os modelos ETA05 e GFS50 apresentaram intensa superestimativa da precipitação, com valores de EM da ordem de 16.8 e 7.6 mm, e acumulado sazonal de 1825.8 e 1093.1 mm, respectivamente. Valores de EM de precipitação positivos intensos, utilizando modelos de alta resolução, também foram obtidas por Moura *et al.*, 2010, denotando fortes tendências de superestimativa de precipitação, principalmente sobre região norte e também central do Brasil. Por outro lado, a magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 152.7 e 72.3 mm, respectivamente. Na figura 2b, para 48 horas de previsão, a superestimativa por parte do ETA05 e GFS50 continua apesar de menos intensa, com valores de EM da ordem de 9.6 e 4.6 mm, e acúmulo no período de 1188.2 e 792.1 mm, respectivamente. Para este horário a magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 85.3 e 40.7 mm, respectivamente. Na figura 2c, para 72 horas de previsão, a superestimativa, dos modelos ETA05 e GFS50 ainda persiste, com EM de 8.9 e 9.4 mm e acúmulo da precipitação no período de 1136.1 e 1172.7 mm, respectivamente, com RMSE da ordem de 79.4 mm (ETA05) e 83.5 (GFS50).

A figura 3 mostra o desempenho simultâneo dos dois modelos para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], os dados observados obtidos pela EMA identificada como A008 [latitude 15.9 Sul e longitude 48.1 Oeste], além dos dados obtidos pelo TRMM. Na figura 3a, podemos perceber na EMA A008 e no TRMM, que a precipitação acumulada para o período de outubro a dezembro de 2013, foi inferior a climatológica para o mesmo período, sendo da ordem de 544.0 e 198.5 mm, respectivamente. Neste ponto, a intensidade do EM foi bastante intenso em ambos os modelos ETA05 e GFS50, caracterizando uma superestimativa da ordem de 11.6 e 6.6 mm, e acumulado sazonal de 1510.3 e 1093.1 mm, respectivamente, em 24 horas de previsão. Já a magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 106.1 e 60.3 mm, respectivamente. Na figura 3b, para 48 horas de previsão, a superestimativa por parte do ETA05 e GFS50 continua apesar de menos intensa, com valores de EM da ordem de 5.4 e 3.2 mm, e acúmulo no período de

963.8 e 792.1 mm, respectivamente. Neste horário a magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 48.1 e 28.8 mm, respectivamente. Na figura 3c, para 72 horas de previsão, a superestimativa, dos modelos ETA05 e GFS50 ainda persiste, com EM de 5.3 e 8.1 mm e acúmulo da precipitação no período de 953.0 e 1172.7 mm, respectivamente, com RMSE da ordem de 46.9 mm (ETA05) e 71.6 (GFS50).

A figura 4 mostra o desempenho simultâneo dos dois modelos para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], os dados observados obtidos pela EMA identificada como A012 [latitude 16.2 Sul e longitude 48.0 Oeste], além dos dados obtidos pelo TRMM.

Na figura 4a, podemos perceber na EMA A012 e no TRMM, que a precipitação acumulada para o período de outubro a dezembro de 2013, foi inferior a climatológica para o mesmo período, sendo da ordem de 261.6 e 174.1 mm, respectivamente. Neste ponto, a intensidade do EM foi bastante intenso em ambos os modelos ETA05 e GFS50, da ordem de 17.7 e 7.4 mm, e acumulado sazonal de 1727.9 e 874.8 mm, respectivamente. Já a magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 161.0 e 67.3 mm, respectivamente. Na figura 4b, para 48 horas de previsão, a superestimativa por parte do ETA05 e GFS50 continua apesar de menos intensa, com valores de EM da ordem de 11.4 e 7.2 mm, e acúmulo no período de 1156.6 e 829.7 mm, respectivamente. A magnitude dos erros dos modelos ETA05 e GFS50, mostrada pelo REMQ foi da ordem de 101.0 e 64.3 mm, respectivamente. Na figura 4c, para 72 horas de previsão, a superestimativa, dos modelos ETA05 e GFS50 ainda persiste, com EM de 10.7 e 11.1 mm e acúmulo da precipitação no período de 1102.3 e 1136.9 mm, respectivamente, com RMSE da ordem de 94.9 mm (ETA05) e 98.8 (GFS50).

Tabela com o resumo das conclusões obtidas neste trabalho.

	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>
ETA05	1825.8	16.8	152.7	1188.2	9.6	85.3	1136.1	8.9	79.4
GFS50	1093.1	7.9	72.3	792.1	4.6	40.7	1172.7	9.4	83.5
	24 horas			48 horas			72 horas		
A001	434.6								
TRMM	193.7								

	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>
ETA05	1510.3	11.6	106.1	963.8	5.4	48.1	953.0	5.3	46.9
GFS50	1093.1	6.6	60.3	792.1	3.2	28.8	1172.7	8.1	71.6
	24 horas			48 horas			72 horas		
A001	544.0								
TRMM	198.5								

	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>	<i>Acum</i>	<i>EM</i>	<i>REMQ</i>
ETA05	1728.0	17.7	161.0	1156.6	11.4	101.0	1102.3	10.7	94.9
GFS50	874.8	7.4	67.3	829.7	7.2	64.3	1136.9	11.1	98.8
	24 horas			48 horas			72 horas		
A001	261.6								
TRMM	174.1								

4. CONCLUSÕES

A análise do EM mostrou que, de maneira geral para a estação da primavera, tanto o modelo Eta5km quanto o GFS, superestimaram os resultados de chuva nos três horários previsão e pontos estudados, sendo que o desempenho para os dois primeiros horários de

previsão do GFS50, em relação ao EM, foi superior ao do ETA05 e inferior apenas na simulação das 72 horas de previsão. Assim sendo, a magnitude dos erros, mostrada pelo RMSE foi máxima em 24 horas para o modelo ETA05 (A012) e mínima em 48 horas (GFS) para a estação A008. Lembrando que as chuvas acumuladas para o período de outubro a dezembro de 2013, nos três pontos estudados, tanto pelas estações automáticas como também pelo TRMM, foram bem abaixo da climatológica, usando como referência a climatologia da estação de Brasília-DF. Apesar das divergências dos resultados apresentadas pelos dois modelos estudados, o projeto MyWater pode ser beneficiado por este trabalho, uma vez que terá acesso a múltiplas fontes de dados, tendo em vista a obtenção de informações confiáveis sobre a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas e qualidade em ambientes diferentes e com diferentes suportes tecnológicos, o que sempre terá um lugar de destaque na pesquisa, principalmente nos tempos atuais onde estamos vivenciando crise no setor de abastecimento de água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldrian, E., L. Diumenil Gates, and F. H. Widodo, 2007: Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: The role of ENSO. **Theoretical and Applied Climatology**, **87**:41–59.
- Cai, W.J., Collier, M.A., and Gordon, H.B., 2003: Strong ENSO variability and a super-ENSO pair in the CSIRO Mark 3 coupled climate model. *MWR*, **131**, 1189-1210.
- Mesinger, F., Chou, S. L., Gomes, J. L., Jovic, D., Bastos, P. , Bustamante, J. F., Lazic, L., Lyra, A. A., Morelli, S., Ristic, I., Veliovic, K., 2012: An upgraded version of the Eta model, **Meteorological Atmospheric Physics**, DOI 10.1007/s00703-012-0182-z.
- Normais Climatológicas do Brasil**, 1961-1990. Organizado por Andrea M. Ramos, Luiz André R. de Sousa e Lauro Tadeu G. Fortes, Brasília, 2009, ISBN 978-85-62817-01-4”, sendo que a responsabilidade destes registros está a cargo do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.
- Moura, R. G. et al., 2010: Avaliação do Modelo Regional Eta utilizando as Análises do CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 46-53.
- Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

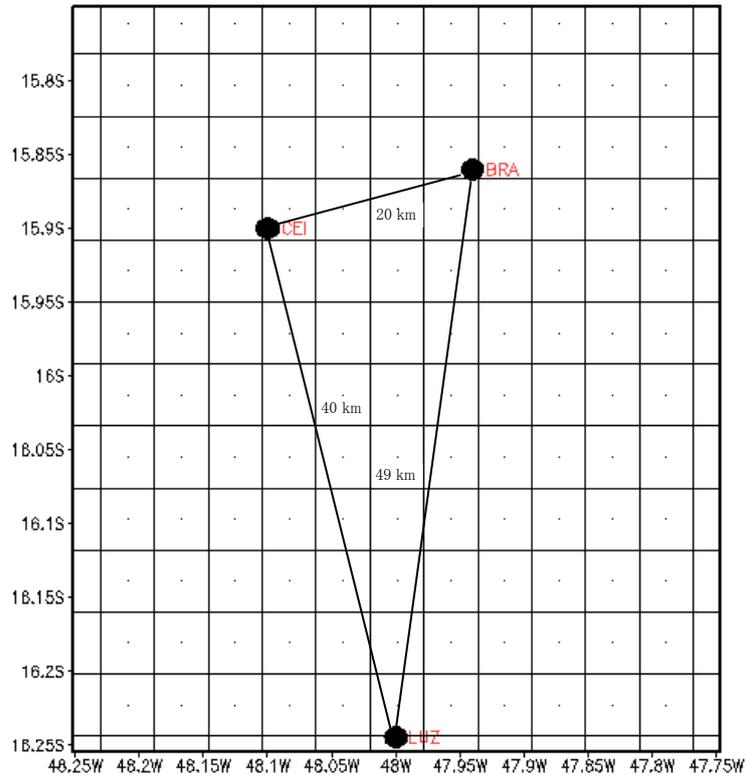


Figura 1 - Localização e distância entre os pontos estudados: BRA [latitude 15.81 Sul e longitude 47.94 Oeste], CEI [latitude 15.9 Sul e longitude 48.1 Oeste] e LUZ [latitude 16.24 Sul e longitude 48.0 Oeste].

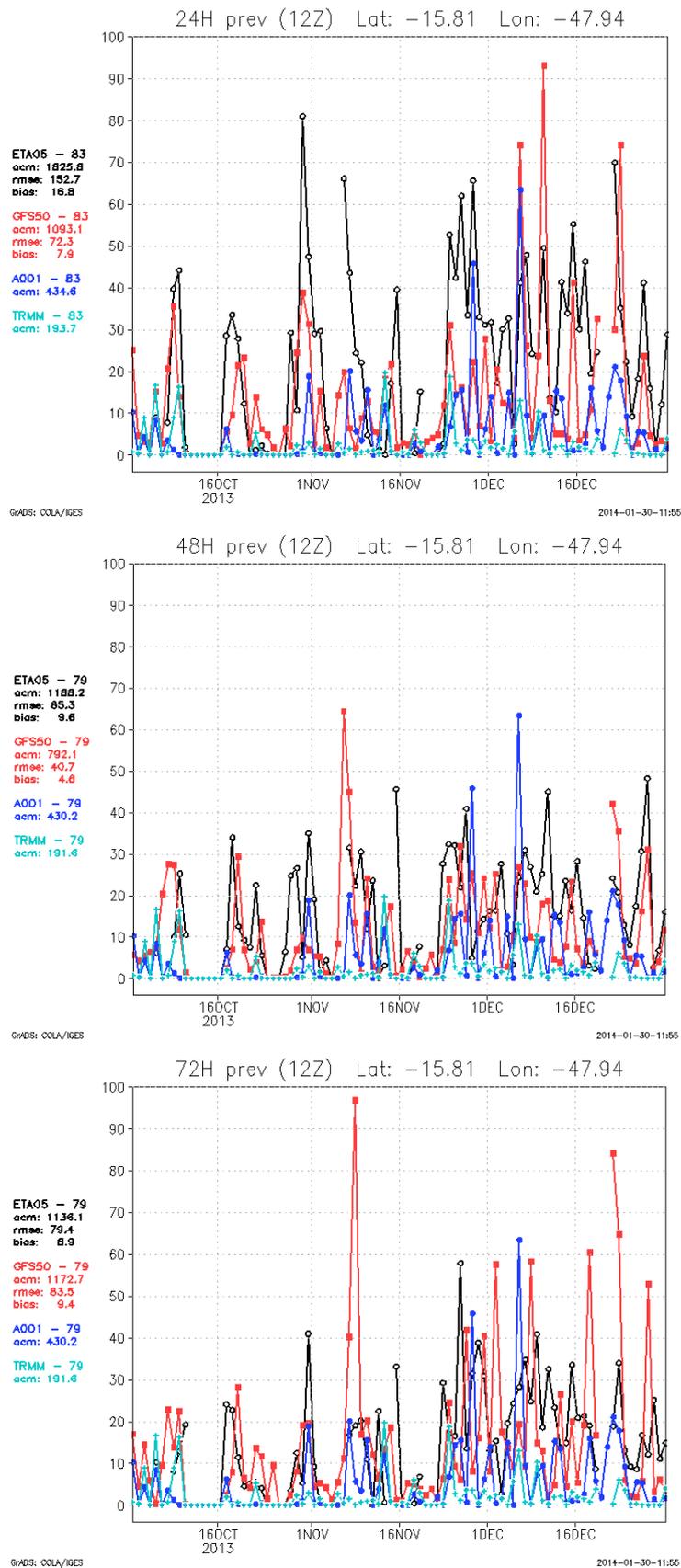


Figura 2 - Desempenho simultâneo dos dois modelos ETA05 e GFS50, para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], além dos dados observados obtidos pela EMA [A001].

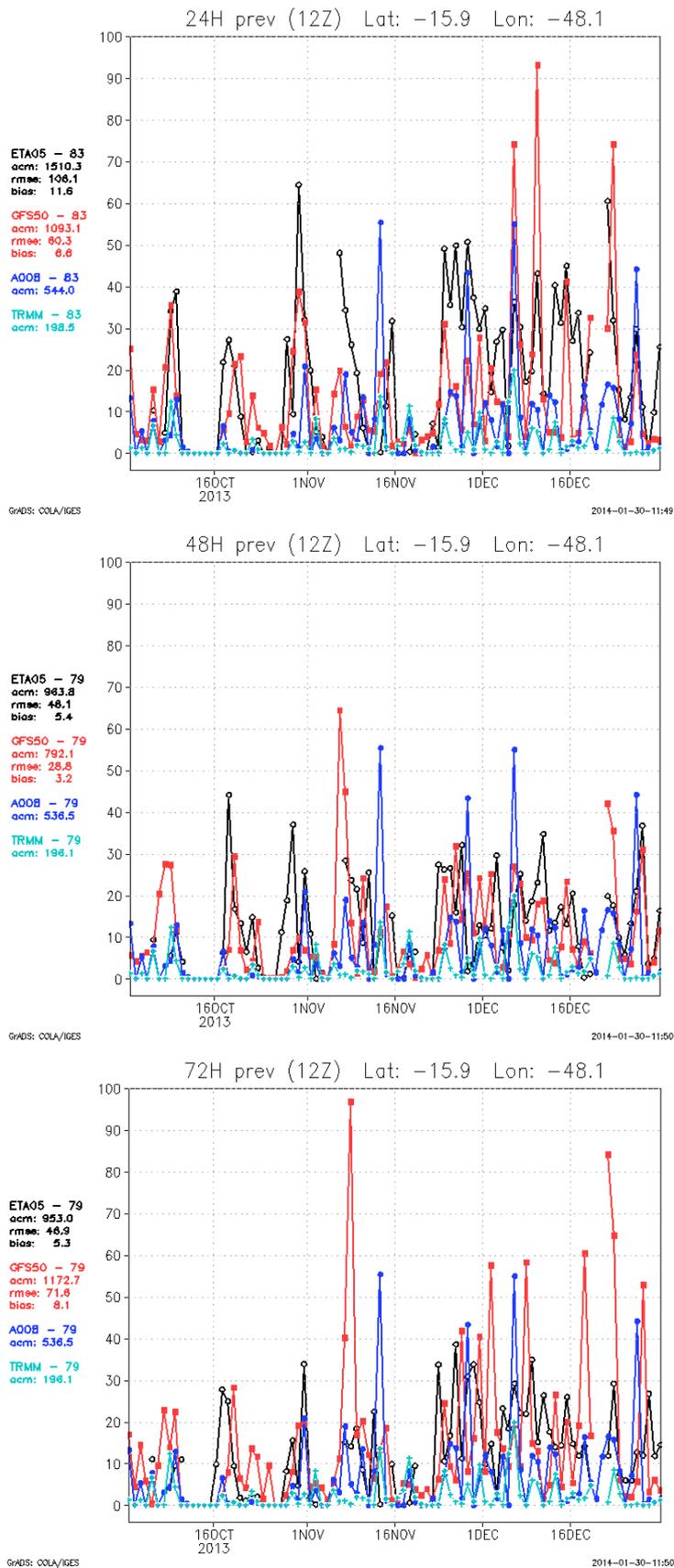


Figura 3 - Desempenho simultâneo dos dois modelos ETA05 e GFS50, para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], além dos dados observados obtidos pela EMA [A008].

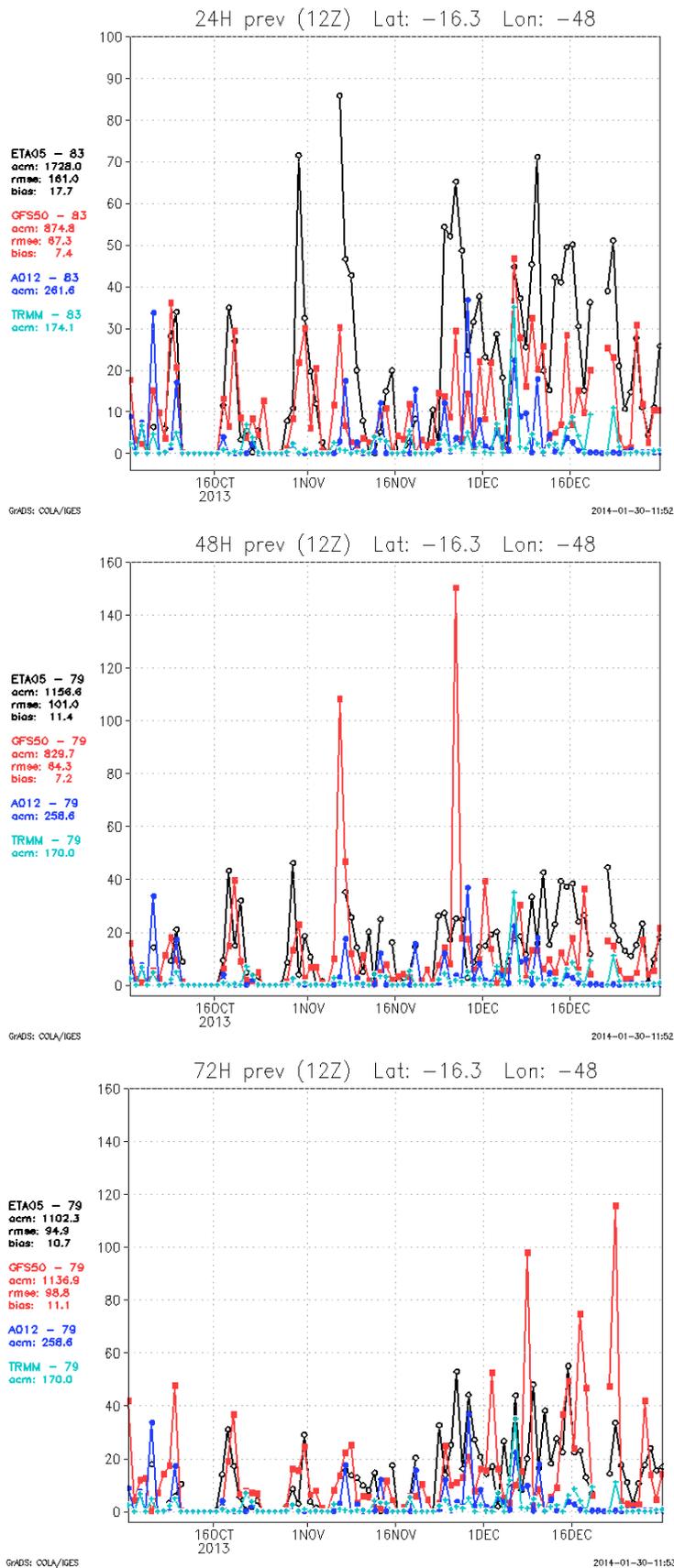


Figura 4 - Desempenho simultâneo dos dois modelos ETA05 e GFS50, para os três horários de previsão [24 (a), 48 (b) e 72 (c) horas], além dos dados observados obtidos pela EMA [A012].