

# DESEMPENHO DE MODELOS NUMÉRICOS DURANTE EPISÓDIOS CICLOGENÉTICOS NA AMÉRICA DO SUL

## NUMERICAL MODELS PERFORMANCE DURING CYCLOGENETIC PROCESS IN SOUTH AMERICA

RILDO GONÇALVES DE MOURA<sup>1</sup> e GUSTAVO CARLOS JUAN ESCOBAR<sup>2</sup>

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), Cachoeira Paulista, SP, Brasil  
[rildo.moura@cptec.inpe.br](mailto:rildo.moura@cptec.inpe.br)

### RESUMO

Os modelos numéricos de tempo são ferramentas essenciais para a previsão de curto e longo prazo, permitindo realizar a previsão com vários dias de antecedência. O conhecimento do desempenho dos modelos e dos erros sistemáticos a eles associados, é de suma importância, pois permite avaliar a capacidade dos mesmos em captar os processos físicos existente na atmosfera. Com intuito de melhorar a qualidade da previsão de tempo na América do Sul, disponibilizada no *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)*, este trabalho avaliou o desempenho de quatro (4) modelos operacionais do CPTEC/INPE e um (1) externo, na previsão de ciclones extratropicais no que tange a intensidade para um prazo de até 120 horas, utilizando o erro médio (EM), a raiz do erro médio quadrático (REM<sub>Q</sub>) e a correlação de anomalia (CA), no período de 2008 a 2011. Os resultados mostraram que a CA da pressão ao nível médio do mar (PNMM), em 120 horas de previsão, foi inferior ao limite útil de previsão, para todos os modelos, exceto para o GFS. Por outro lado, o modelo T213L242, foi o que apresentou o maior variação de EM, da ordem de 1 (um) hPa, superestimando a PNMM, em 72 horas de integração.

Palavras-chave: modelos, avaliações, ciclones extratropicais

### ABSTRACT

The numerical weather models are essential tools for predicting short and long term, allowing the prediction to hold several days in advance. Knowledge of performance models and the systematic errors associated with them is extremely important because it allows them to evaluate the ability to capture the physical processes of the atmosphere. In order to improve the quality of weather forecast in South America, available at *Center for Weather Forecast and Climate Studies (CPTEC)*, this study evaluated the performance of four (4) operational models CPTEC / INPE and one (1) externally, the prediction of extratropical cyclones extratropicais with respect to intensity for a period of up to 120 hours using the Mean Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE) and Anomaly Correlation (AC), in the period 2008 to 2011. The results showed that AC pressure to mean sea level (SLP) in 120 hours of forecast was below the limit of useful prediction for all models except for the GFS. On the other hand, the model T213L242, was presented the greatest variation of ME, the order of 1 (one) hPa, overestimating the SLP within 72 hours of integration.

Keywords: models, evaluations, extratropical cyclones

## 1. INTRODUÇÃO

As previsões dos modelos numéricos de tempo apresentam erros sistemáticos decorrentes da representação dos processos físicos atuantes e das condições iniciais e de fronteira nos modelos, principalmente nos períodos de transição de uma estação do ano para outra. Observa-se ainda, que em certos eventos extremos, os modelos não são capazes de captar os sistemas intensos, apresentando baixa qualidade

nas previsões, podendo subestimar ou superestimar a intensidade e o posicionamento destes sistemas meteorológicos em uma determinada região. Sendo assim, é necessário o acompanhamento do desempenho dos modelos, conhecendo os erros sistemáticos a eles associados, para que a previsão principalmente de curto prazo torne-se cada vez mais confiável.

Porém, sabendo que o comportamento dos modelos varia dependendo da estação do ano, da região, do horário inicial de integração, da resolução, da quantidade, da qualidade das observações e também da intensidade de um evento, diversos estudos são desenvolvidos no sentido de melhorar a qualidade das previsões de tempo e clima dos modelos de previsão numérica (e.g. Tarasova *et al.*, 2006; Coêlho *et al.*, 2006; Ropelewski e Bell, 2008; Mendes *et al.*, 2009; Moura *et al.*, 2010).

Entre o nordeste da Argentina, Paraguai, Uruguai e parte do Sul do Brasil é comum observar eventos ciclogênicos que são responsáveis por importantes acumulados de chuva, muitas vezes acompanhados de ventos fortes, descargas elétricas e queda de granizo. Nestas regiões, a formação de centros de baixa pressão é conhecida como ciclones extratropicais e ocorrem ao longo do ano, principalmente durante a estação do inverno. Atualmente, compreendem-se bem os principais processos físicos e dinâmicos associados aos ciclones extratropicais, embora a previsão da sua posição e deslocamento ainda represente um desafio para os meteorologistas previsores de ambientes operacionais e em particular para os modelos numéricos de previsão de tempo.

Denomina-se ciclogênese o processo de formação de uma onda frontal, determinada por um centro de baixa pressão, um ramo frio e um ramo quente. O mecanismo essencial para o desenvolvimento dos ciclones extratropicais é a instabilidade baroclínica, que existe devido ao gradiente horizontal de temperatura em superfície.

Taljaard (1972) observou que o máximo de ciclogênese ocorre sobre o Paraguai. Necco (1982) observou que 70% dos ciclones formados sobre o oceano Atlântico ocorrem na área compreendida entre os meridianos 0 e 90 W e os paralelos 10S e 55S, sendo que o verão é a estação com menor frequência de ocorrência de ciclogêneses sobre América do Sul.

Segundo Gan e Rao (1991) existem duas regiões ciclogênicas principais sobre a América do Sul. Uma delas encontra-se sobre o nordeste da Argentina, Uruguai e o sul do Rio Grande do Sul e apresenta sua máxima frequência no inverno e na primavera. A outra região se localiza a leste da Patagônia norte da Argentina e sua máxima frequência é no verão.

A importância de conhecer a destreza dos modelos numéricos foi o que motivou a realização deste trabalho, o qual teve como objetivo avaliar o desempenho principalmente dos modelos operacionais do CPTEC/INPE, na previsão da intensidade e do posicionamento dos ciclones extratropicais. Espera-se que com o uso dos resultados adquiridos neste trabalho, por parte dos previsores de tempo, as previsões de tempo obtenham uma melhora significativa.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados 48 casos de ciclones, a maioria deles extratropicais, ocorridos no período de fevereiro 2008 a maio 2011, dentro do domínio determinado pelas latitudes 15.0S, 45.0S e pelas longitudes 65.0W, 35.0W. Apenas os ciclones ocorridos nos dias 08/03/10 e 15/03/11 não foram extratropicais, já que apresentaram características tropicais.

A seleção dos ciclones foi baseada na localização próxima da costa da Argentina, Uruguai e Brasil, na intensidade do sistema e do impacto provocado nas populações afetadas. A Tabela 1 mostra a data de ocorrência dos 48 ciclones utilizados nesta análise.

É importante ressaltar que 4 (quatro) destes modelos, ou seja, o ETA (20 km), ETA (40 km), RPSAS\_40 e o T213L42, rodam operacionalmente no CPTEC/INPE e apenas o GFS "Global Forecast System", é rodado externamente. O modelo regional ETA é um modelo de mesoescala em ponto de grade, de equações primitivas. A versão do modelo ETA que roda operacionalmente no CPTEC/INPE é hidrostático com diferentes resoluções horizontais, com 38 camadas na vertical, cobrindo praticamente toda a América do Sul. Ele foi inicialmente desenvolvido na Universidade de Belgrado, e utiliza uma grade  $E$  de Arakawa (Arakawa e Lamb, 1997) e coordenada vertical eta ( $\eta$ ) (Mesinger, 1984). O esquema de convecção Betts-Miller foi desenvolvido por Betts (1986), Betts e Miller (1986) e modificado por Janjic (1994). De agora em diante usar-se-á a nomenclatura ETA-I para o sistema que utilizou as análises geradas a partir do PSAS, desenvolvida pelo DAO. O PSAS é uma combinação de um sistema mais simples de assimilação de dados

OI (Optimal Interpolation) e 3D-Var que é utilizado operacionalmente no NCEP, com a diferença que o PSAS trabalha no espaço da observação. Courtier (1997) mostra a equivalência entre o sistema de assimilação PSAS e o 3D-Var. As nomeclaturas ETA-II para o sistema que utilizou as análises do NCEP [resolução 40km] e ETA-III para o sistema com a análise do GFS como condição inicial [resolução 20km], e as previsões do modelo global T126L28 do CPTEC como condições de contorno para os 3 (três) sistemas ETA-I, ETA-II e ETA-III.

O modelo global T213L42 roda operacionalmente no CPTEC/INPE possui resolução aproximada de 60 km, utiliza o esquema de convecção Grell [Grell 2002], inicialização de umidade do solo [Gevaerd 2006], CLIRAD e UKMO radiação de ondas curtas [Chou 1996, Tarasova 2006, Edwards 1996], os processos físicos estão descritos em Cavalcanti et al. (2002), para maiores informações Panetta et al. (2007).

O modelo externo GFS é executado pelo [National Centers for Environmental Prediction \(NCEP\)](http://www.noaa.gov), *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, do *National Weather Service (NWS)*, EUA. Os dados do GFS disponibilizados atualmente pela NOAA, possuem uma resolução de 0,5 grau (cerca de 50 km), para maiores informações: (<http://www.noaa.gov>).

Tabela 1 – Datas de ocorrência de ciclones extratropicais

14/02/2008	22/09/2008	12/02/2009	19/09/2009
01/03/2008	29/09/2008	23/02/2009	24/09/2009
03/05/2008	27/10/2008	28/02/2009	09/03/2010
25/05/2008	04/11/2008	05/03/2009	13/08/2010
10/06/2008	14/11/2008	13/03/2009	31/10/2010
21/06/2008	01/12/2008	30/03/2009	14/09/2010
23/07/2008	13/12/2008	24/04/2009	06/01/2011
31/07/2008	16/12/2008	14/05/2009	11/01/2011
03/08/2008	04/01/2009	14/06/2009	09/02/2011
29/08/2008	13/01/2009	30/06/2009	15/03/2011
07/09/2008	21/01/2009	03/08/2009	18/04/2011
12/09/2008	31/01/2009	14/09/2009	26/05/2011

O desempenho de cada modelo, foi avaliado utilizando-se as variáveis diárias [PNMM e GEOPOTENCIAL em 250 e 500 mb], prevista a cada 24 horas e sua análise, para cada um dos cinco horários de integração (24, 48, 72, 96 e 120 horas). O cálculo do Erro Médio (EM) é definido como sendo a diferença entre a previsão e a análise, para cada um dos dias relacionados na tabela 1. Em seguida foi feita uma média utilizando todos os dias do período. Quando uma previsão for perfeita o EM será igual a zero. O cálculo da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) é dado pela equação 2, e tem o objetivo de mostrar a dimensão do erro de uma determinada estimativa. A Correlação de Anomalia (CA), equação 3, tem a finalidade de informar percentualmente o grau de acerto do modelo, devendo ser calculada linearmente entre as anomalias dos valores previstos e as anomalias das análises, para esta situação ambas em relação a climatologia do modelo global (reanálises do NCEP), método sugerido por Brankovic et al. (1990).

O desempenho de cada um dos modelos foi obtido através dos cálculos do EM, REMQ e da CA, conforme as fórmulas a seguir:

$$EM = \frac{1}{N} (P - A) \quad [1]$$

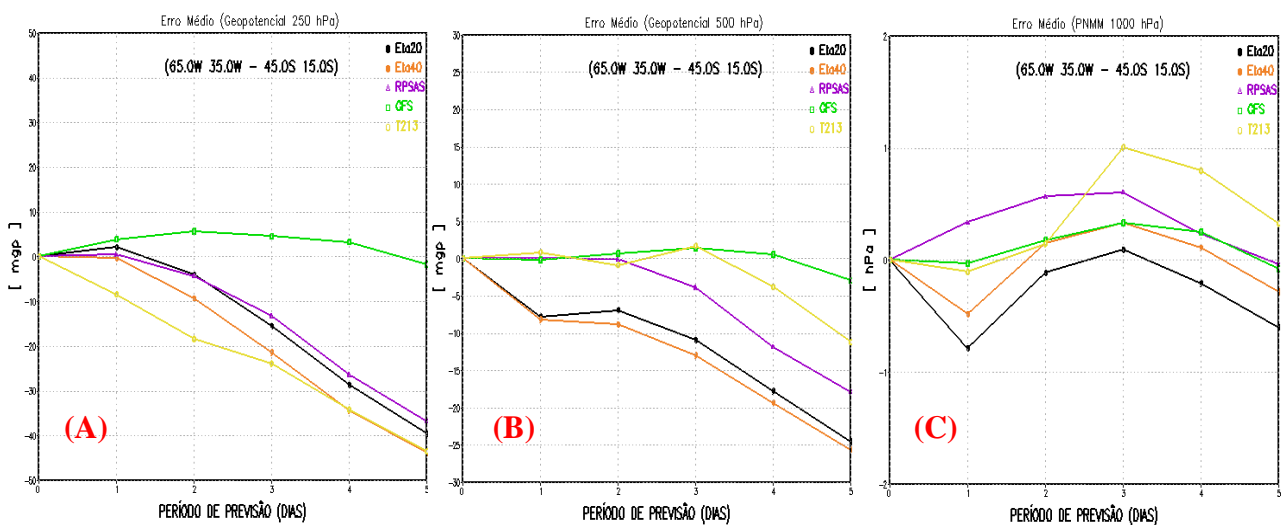
$$REMQ = \frac{\sqrt{(P-A)^2}}{N} \quad [2]$$

$$CA = \frac{P-C - (P-C) [A-C - (A-C)]}{[P-C - (P-C)]^2 [A-C - (A-C)]^2} * 100 \quad [3]$$

Onde: *P* são as previsões, *A* as análises, *C* a climatologia e *N* = 48 (número de eventos).

### 3. RESULTADOS

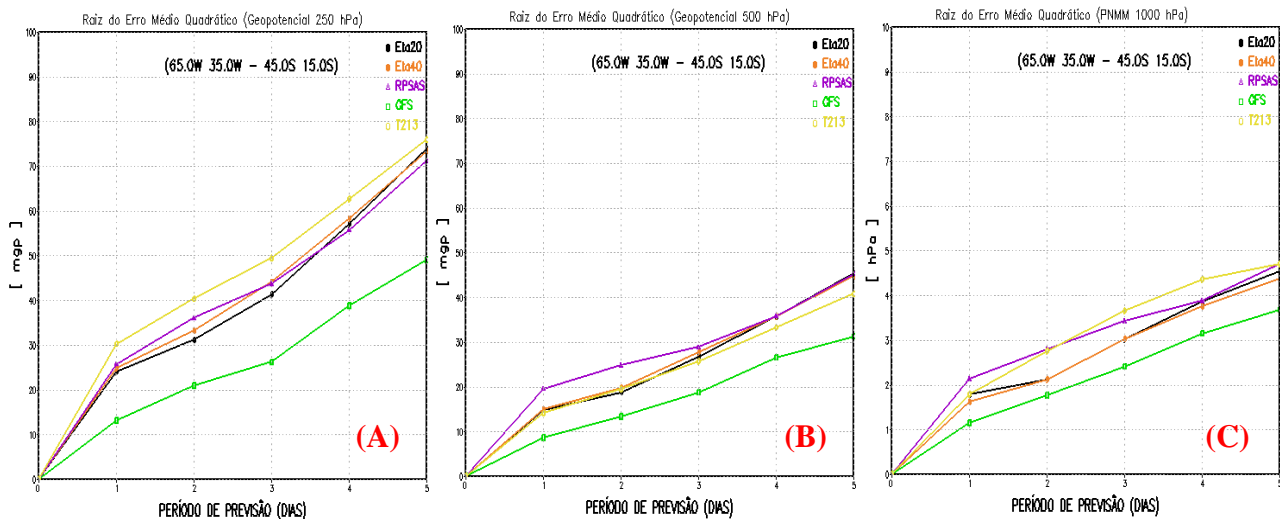
A Figura 1 mostra, respectivamente, o EM dos cinco modelos em relação ao desempenho individual na previsão da altura do geopotencial em 250 hPa (A), da altura do geopotencial em 500 hPa (B), e da PNMM hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão (eixo x) com suas devidas unidades (eixo y). Nota-se nas Figuras 1A e 1B, um desempenho superior do modelo GFS em relação aos demais modelos, ao apresentar um erro médio próximo de zero mgp, com uma ligeira tendência de superestimativa em todos os horários de previsão, exceto em 120 horas. O comportamento dos demais modelos foi de subestimativa para todos os horários de previsão, exceto em 24 horas para o modelo ETA-III, que foi de superestimativa. Em 250 hPa (fig. 1A), os modelos ETA-I e ETA-III, mesmo subestimando apresentaram desempenho superior aos modelos ETA-II e T213L42. Em 500 hPa (fig. 1B), até 72 horas de previsão, apenas os modelos ETA-I, T213L42 e o GFS, apresentaram EM inferior a  $|5|$  mgp, denotando, em altos níveis, um melhor desempenho na previsão dos ciclones extratropicais. Na Figura 1C, todos os modelos tiveram um desempenho similar, ou seja, oscilaram com horários de subestimativa ou superestimativa, porém com um valor próximo de zero, com exceção do modelo T213L42 que apresentou um valor de superestimativa de 1 (um) hPa, em 72 horas de previsão.



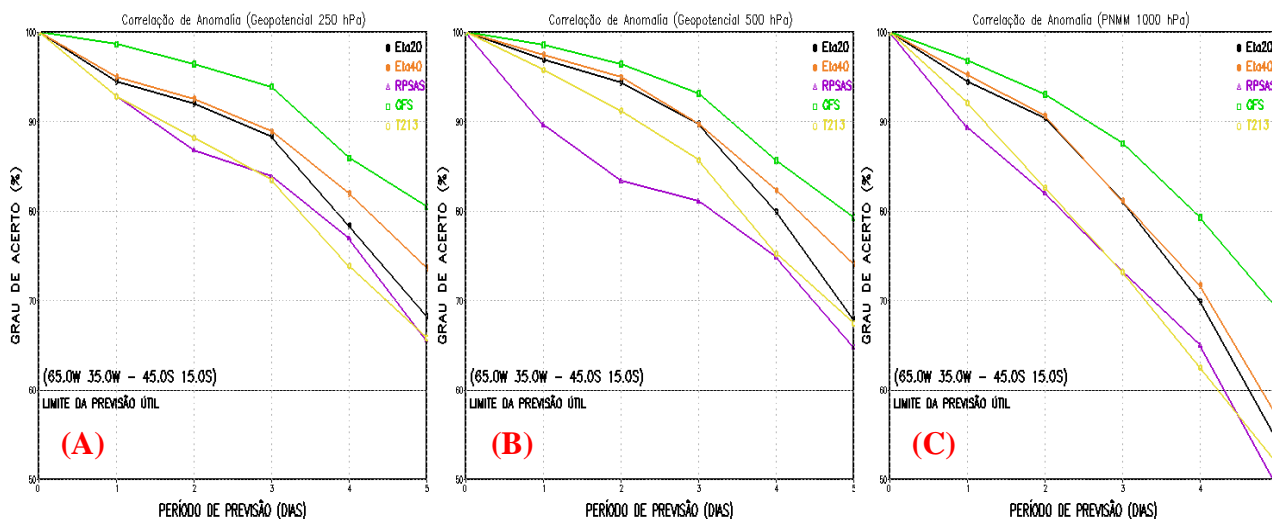
**Figura 1** – Desempenho dos modelos em relação ao EM, para a altura geopotencial em 250 hPa (A), altura geopotencial em 500 hPa (B) e PNMM em hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão, compreendendo a área de estudo.

A Figura 2 mostra, respectivamente, o REMQ dos cinco modelos em relação ao desempenho individual na previsão da altura do geopotencial em 250 hPa (A), da altura do geopotencial em 500 hPa (B), e da PNMM hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão (eixo x) com suas devidas unidades (eixo y). Na Figura 2A, nota-se que os valores com erros mais intensos foram obtidos pelo T213L42 e as menores pelo GFS, para cinco horários de previsão. Assim sendo, os demais modelos ocuparam posições intermediárias. Na Figura 2B, o modelo GFS ainda mantém-se com os menores erros, entretanto, os maiores erros são verificados no desempenho do modelo o ETA-I. Assim como na figura anterior, os demais modelos ocuparam posições intermediárias. Na Figura 2C, todos os modelos apresentaram magnitude de erros inferiores a 5 (cinco) hPa. O modelo GFS foi o que apresentou um melhor desempenho, ou seja, menores erros em todos os prazos de avaliação. O desempenho apresentado pelo restante dos modelos quanto a magnitude, foi semelhante entre si.

A Figura 3 (abaixo) mostra, respectivamente, a CA dos cinco modelos em relação ao desempenho individual na previsão da altura do geopotencial em 250 hPa (A), da altura do geopotencial em 500 hPa (B), e da PNMM hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão (eixo x) e grau de acerto percentual (eixo y). É mostrado também o limiar considerado útil para a previsão de tempo, ou seja, superior a 60%.



**Figura 2** – Desempenho dos modelos em relação ao REMQ, para a altura geopotencial em 250 hPa (A), altura geopotencial em 500 hPa (B) e PNMM em hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão, compreendendo a área de estudo.



**Figura 3** – Desempenho dos modelos em relação a CA, para a altura geopotencial em 250 hPa (A), altura geopotencial em 500 hPa (B) e PNMM em hPa (C), para os cinco primeiros dias de previsão, compreendendo a área de estudo.

Nas Figuras 3A e 3B, nota-se que o grau de acerto dos modelos, levando em consideração os cinco dias de previsão, segue a seguinte ordem: GFS, ETA-III, ETA-II, T213L42 e ETA-I. Por outro lado, mesmo apresentando a mesma ordem no grau de acerto, nota-se que com exceção do modelo GFS, todos os outros modelos apresentam dificuldade em prever, com 5 dias de antecedência, a ocorrência deste tipo de evento, o que coloca o CPTEC dependente de um modelo externo para auxiliar os meteorologistas previsores na detecção de tal fenômeno.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados deixa claro que o melhor desempenho dos modelos nas previsões de eventos intensos de ciclones extratropicais, com raríssimas exceções, segue a seguinte ordem: GFS, ETA-III, ETA-II, T213L42 e ETA-I, além de mostrar que os modelos que rodam operacionalmente no CPTEC, pelo menos com 5 dias de antecedência não estão aptos para previsão de tais fenômenos. Esta informação pode

ser de grande utilidade para a previsão de curto e médio prazo, pois implica no o uso racional dos modelos existentes tornando esta ferramenta cada vez mais confiável.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAKAWA, A; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. **Methods in Computational Physics**. 17.ed. Academic Press: 1977. p.173-265.
- BETTS, A. K. A New Convective Adjustment Scheme. Part I: Observational and Theoretical Basis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.112, n.473, p.677-692, 1986.
- BETTS, A. K.; MILLER, M. J. 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**, v.112, n.473, p.693-709, 1986.
- BRANKOVIC, C. et al. Extended-range predictions with ECMWF models: Time-lagged ensemble forecasting. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.116, n. 494 p.867-912, 1990.
- COELHO, C. A. S. et al. Toward an Integrated Seasonal Forecasting System for South America. **Journal of Climate**, v.19, n.12, p.3704-3721, 2006.
- COURTIER, P. Dual Formulation of four-dimensional Variational Assimilation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.123 (B), n.544, p.2449-2461, 1997.
- GAN, M. A. e RAO, V. B. Surface Cyclongenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v.119, p.1293-1302, 1991.
- JANJIC, Z. I. The Step-Mountain Eta Coordinate Model: further Developments of the Convection , Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. **Monthly Weather Review**, v.122, n.5, p.927-945, 1994.
- MESINGER F. A blocking for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista di Meteorologia Aeronautica**, v.44, n.1-4, p.195-202, 1984.
- MENDES, D. et al. Estudo de Caso de Ciclone Extratropical sobre a América do Sul: Sensibilidade das Análises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.4, p. 399-406. 2009.
- MOURA, R. G. et al. Avaliação do Modelo Regional ETA utilizando as Análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p. 46-53. 2010.
- NECCO, G. V. Comportamiento de Vortices Ciclónicos en el área Sudamericana durante el FGGE: ciclogénesis. **Meteorológica**, v.13, n.1, p.7-20, 1982.
- PANETTA, J. et al. Computational Cost of CPTEC AGCM. In: 12th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, 2007, Reading, UK. Use of High Performance Computing in Meteorology, 2007.
- ROPELEWSKI, C. F. and BELL, M. A. Shifts in the Statistics of Daily Rainfall in South America Conditional on ENSO Phase. **Journal of Climate**, v.21, n.5, p.849-865, 2008.
- TALJAARD, J. J. Synoptic Meteorology in the Southern Hemisphere. Meteorology of the Southern Hemisphere, Meteor. Monogr. **American Meteorological Society**, n. 35, p.139-213, 1972
- TARASOVA, T. A. et al. Impact of new Solar radiation parametrization in the Eta model on the simulation of summer climate over south America. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.45, n.2, p.318-333, 2006.