

# SISTEMA DE AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE MODELOS NUMÉRICOS DE PREVISÃO DO TEMPO

*Demerval Soares Moreira<sup>1</sup>, Pedro Leite da Silva Dias<sup>2</sup>, Paulo Sérgio Lucio<sup>3</sup>*

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um sistema de avaliação estatística para modelos numéricos de previsão do tempo. A idéia é reunir em uma única página a avaliação das simulações realizadas por diversos modelos, incluindo modelos globais e regionais, tanto operacionais quanto experimentais. A métrica de avaliação é baseada no ajuste das previsões aos dados de superfície medidos pela rede do INMET (SYNOP), aeroportos (METAR), PCD's do INPE e bóias do projeto PIRATA. No caso da precipitação, as estimativas do TRMM, NAVY e HIDRO são consideradas como “a verdade”. São calculados, para cada estação e médias em regiões pré-definidas, o viés, o erro quadrático médio e três outros parâmetros estatísticos, em períodos quinzenais, mensais e trimestrais. O sistema de avaliação é completamente automático e o resultado é disponibilizado na Internet pelo portal do Laboratório MASTER/IAG/USP e do CPTEC/INPE. Este sistema atualmente analisa as variáveis: vento zonal, vento meridional, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, pressão e precipitação; mas foi desenhado para ser estendido a outros atributos meteorológicos, tais como: fluxos de calor latente e sensível, radiação e cobertura de nuvens. Com a contribuição de vários modelos, o sistema faz uma combinação “ótima” das estimativas, constituindo a previsão denominada MSMES “MASTER Super-Model Ensemble System”.

**ABSTRACT.** This work shows a statistical evaluation system for numerical weather forecasts. The idea is to congregate in a single page the evaluation of all available forecasts produced by a diversity of models, from global to regional domains, operational and experimental models. The model evaluation metric is based on the fit of the numerical forecasts to the surface data as measured by the INMET (SYNOP), airports (METAR), INPE PCD's and PIRATA buoys. Precipitation is validated against the TRMM, NAVY and HIDRO precipitation estimates. The metrics are calculated, for each station in a set of stations on daily basis for pre-defined regions, the bias, the average quadratic error and three other statistical indices, on biweekly periods, monthly and quarterly. The evaluation system is fully automated and the results are shown at the internet site of Laboratory MASTER/IAG/USP and at CPTEC/INPE. The system currently analyses the following variables: zonal wind, meridional wind, temperature, dew point temperature, pressure at seal level and precipitation. The system was devised to be extended other variables such as: latent flux and sensible heat, radiation, cloud cover, etc. With the contribution of different models, the system makes a statistically optimum forecast called MSMES “MASTER Super-Model Ensemble System”.

**Palavras-Chave:** Modelos numéricos, avaliação de modelos, erro quadrático médio.

## INTRODUÇÃO

Os modelos numéricos de previsão do tempo vêm sendo otimizados devido ao grande avanço da informática e da computação (Lopes *et al.*, 2004), possibilitando o aumento da resolução espaço-

---

<sup>1</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra, Km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, SP, Brasil. Tel.: (12) 3186-8550. Fax: (12) 3101-2835. e-mail: [demerval@cptec.inpe.br](mailto:demerval@cptec.inpe.br)

<sup>2</sup> Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), Rua do Matão 1226, 05508-090, São Paulo, SP, Brasil. Tel.: (11) 3091-4732. Fax: (11) 3091-4714. e-mail: [pldsdias@master.iag.usp.br](mailto:pldsdias@master.iag.usp.br)

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Eixo Monumental Via S1 Sudoeste, 70680-900 Brasília, DF, Brazil. Tel.: 61-3344-0834. Fax 61 - 3343-1487. e-mail: [paulo.lucio@inmet.gov.br](mailto:paulo.lucio@inmet.gov.br)

temporal, e devido ao acoplamento de novos módulos e novas parametrizações físicas que auxiliam na resolução dos processos que ocorrem na escala sub-grade. Mas, os modelos numéricos ainda não são capazes de assimilar e modelar todos os fenômenos e as complexidades da não linearidade das equações governantes. Uma dificuldade fundamental é definir métricas que permitam a avaliação da qualidade de uma previsão fornecida por um modelo numérico. Bougeault (1997) ressalta que, em função disso, associado ao fato de que modelos de diferentes escalas possuem parametrizações diferentes, a melhor maneira de compará-los é utilizando uma base de observações meteorológicas como referência para a avaliação e subsequente validação. Hoje os meteorologistas têm a sua disposição um grande número de produtos produzidos por diferentes modelos numéricos para fazer a previsão do tempo. Os centros de prognósticos recebem e/ou produzem vários tipos de modelos com elevado contingente de parametrizações e resoluções, sendo que em determinada situação os resultados destes modelos podem divergir bastante. Moreira, *et al.* (2004) mostraram que dependendo da região geográfica um dado modelo pode prever bons resultados e em outra região um outro modelo pode ser melhor. Assim, o previsor tem que possuir uma grande experiência para identificar a qual modelo deve-se atribuir maior peso em uma dada região, num determinado prazo de previsão.

O sistema descrito neste trabalho tem como objetivo principal, auxiliar o previsor nesta escolha, pois ele informa os erros médios dos modelos para uma dada estação ou para uma região, informando também se este erro é sistemático. Outra aplicação deste sistema é a utilização por parte de um pesquisador para verificar se um determinado ajuste em seu modelo teve ou não um efeito positivo na qualidade da previsão. Graças à contribuição de vários centros, que fornecem um número significativo de modelos com diferentes grades e diferentes resoluções, foi possível construir um super-conjunto (Silva Dias *et al.*, 2006) que fornece uma previsão de alta qualidade para cada ponto de estação analisada. Este modelo estocástico pode ser muito útil e decisivo na hora do meteorologista projetar e disseminar a previsão.

## **DADOS EXPERIMENTAIS E METODOLOGIA**

A maioria dos centros de previsão de tempo disponibiliza os seus produtos em uma área pública ou os envia para uma área de transferência localizada no Laboratório MASTER<sup>4</sup>. O arquivo deve possuir um formato que possa ser lido pelo programa GrADS<sup>5</sup> e conter as variáveis: vento zonal e meridional mais representativo do nível de 10 metros, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho representativo do nível de 2 metros, pressão reduzida ao nível médio do mar e

---

<sup>4</sup> <http://www.master.iag.usp.br/>

<sup>5</sup> <http://www.iges.org/grads/>

precipitação. A escala espacial e temporal pode ser qualquer. Atualmente o sistema avalia somente as primeiras 168 horas de previsão.

As previsões dos centros são interpoladas bilinearmente para os pontos correspondentes às latitudes e longitudes das estações operacionais de METAR (Informações de superfície baseadas em observações realizadas em aeroportos), SYNOP da América do Sul, PCD's (estações automáticas operadas pelo CPTEC/INPE) e bóias do projeto PIRATA localizadas no Oceano Atlântico, totalizando 615 estações. Os dados observados são baixados de servidores públicos e via LDM (*Local Data Manager*)<sup>6</sup>. Um programa em Fortran90 faz os cálculos das seguintes medidas de destreza: (1) viés médio (*viesM*), (2) erro quadrático médio (*emqM*), (3) erro quadrático médio subtraído do viés médio (*emqMV*), (4) erro quadrático médio subtraído do viés médio padronizado pela variância das observações (*emqMN*) e (5) viés padronizado pela variância das previsões (*ind\_Z*).

$$viesM(H_i) = \frac{\sum_{p=1}^P (previsto(p, H_i) - observado(p, H_i))}{P} \quad (1)$$

$$emqM(H_i) = \frac{\sum_{p=1}^P (previsto(p, H_i) - observado(p, H_i))^2}{P} \quad (2)$$

$$emqMV(H_i) = emqM(H_i) - viesM(H_i) \quad (3)$$

$$emqMN(H_i) = \frac{emqMV(H_i)}{\sqrt{Var(observado(p, H_i) - viesM(H_i))}} \quad (4)$$

$$ind\_Z(H_i) = \frac{viesM(H_i)}{\sqrt{Var(previsto(p, H_i) - viesM(H_i))}} \quad (5)$$

onde:  $p$  = Previsões diárias.

$P$  = Número de previsões utilizadas no período (quinzenal, mensal ou trimestral).

$H$  = Tempo de simulação – no caso da previsão das 00Z tem-se:  $H = 00, 06, 12, \dots, 168$ .

## RESULTADOS

Os produtos gerados pelo sistema são disponibilizados em área de acesso público no portal do Laboratório MASTER<sup>7</sup>/IAG/USP e do CPTEC<sup>8</sup>/INPE. Atualmente estão sendo avaliadas 42 previsões que se distinguem em relação ao tipo de modelo, à resolução, às parametrizações utilizadas, à condição inicial e de contorno e às perturbações do estado inicial. O sistema permite

<sup>6</sup> <http://www.unidata.ucar.edu/software/ldm/>

<sup>7</sup> [http://www.master.iag.usp.br/intercomp/vies\\_emq/](http://www.master.iag.usp.br/intercomp/vies_emq/)

<sup>8</sup> <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>

aos usuários configurar as figuras que serão apresentadas, escolhendo: 1) as previsões; 2) o período; 3) o parâmetro estatístico; 4) a variável; 5) a região; 6) a avaliação média na região ou em uma estação; 7) o tempo de integração. As Fig.1, Fig.2 e Fig.4 mostram exemplos da avaliação dos erros para alguns modelos selecionados para o período de outubro/2006 (média mensal) e a Fig.3 ilustra o comportamento do erro desde março de 2005.

Observa-se na Fig.1 algumas características importantes: 1) A previsão do MSMES (super-conjunto) é normalmente a que possui menor erro, com exceção da precipitação (Fig.1h). No caso da precipitação o problema é que a verdade não é bem estimada pelas estimativas via satélite e apresentar enorme variabilidade espaço-temporal. Portanto, a simples remoção do viés calculado na quinzena anterior, de acordo com a formulação desta previsão estatística, não traz necessariamente benefício. 2) A qualidade da previsão cai ao longo do período de integração, como no caso da pressão (Fig.1g). 3) O erro é geralmente maior no período da tarde. Alguns modelos tais como o T213 (global do CPTEC/INPE – resolução de 63 km) e o SFENM (média dos membros do conjunto do CPTEC/INPE - resolução de 100 km) não possuem em seu pós processamento as variáveis adequadas para comparar com as observadas, p.ex. nestes dois modelos a média entre a temperatura do primeiro nível sigma e a do solo são utilizadas na comparação com a medida a 2 metros, assim é natural esperar um erro maior no período da tarde, onde o solo está mais aquecido. 4) Comparando a Fig.1e com Fig.1f, observa-se que ao retirar os erros sistemáticos, com a remoção do viés médio, os modelos de baixa resolução espacial melhoram substancialmente. 5) A Fig.1d mostra que na região Sul-Sudeste a temperatura possui boa confiabilidade para todos os modelos, mas na região norte (não mostrado) esta confiabilidade é bem menor, pois o erro do modelo equipara a variabilidade natural da observação.

A Fig.2 apresenta em ordem crescente os erros que todos os modelos que abrangem a região Sul-Sudeste obtiveram depois de 48 horas de integração. O “rank” dos modelos varia dependendo da região e das variáveis analisadas (não mostrado).

Através da Fig.3 observa-se que no verão os modelos podem apresentar maiores erros na temperatura que no inverno. Também se observa um possível problema que ocorreu no modelo ETALNSE entre maio e junho/2005. A Fig.4 apresenta os valores absolutos médios na região Sul-Sudeste para previsão de 48 horas, sendo possível comparar a série temporal dos modelos com os dados observados. Observa-se na Fig.4a que os modelos de baixa resolução distanciaram-se mais dos dados observados do que os de alta resolução. A Fig.4b tem como finalidade verificar a intensidade de chuva no período, pois desta forma ter-se-á uma melhor análise dos erros desta variável, pois a não ocorrência de precipitação implica em maior acerto dos modelos.

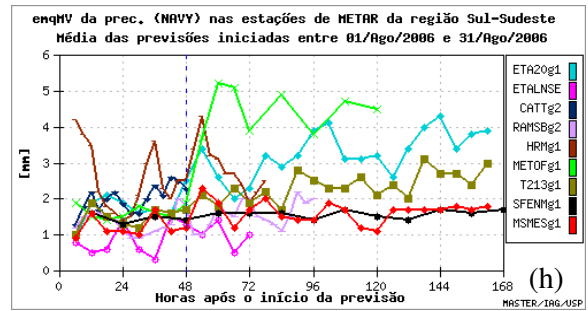
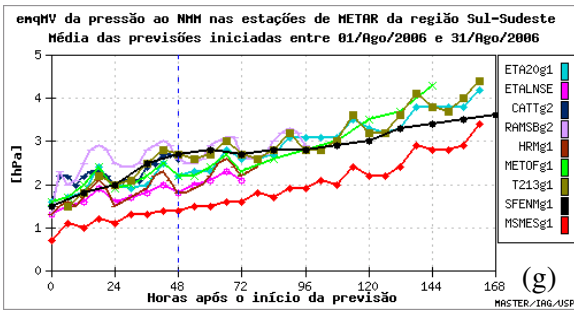
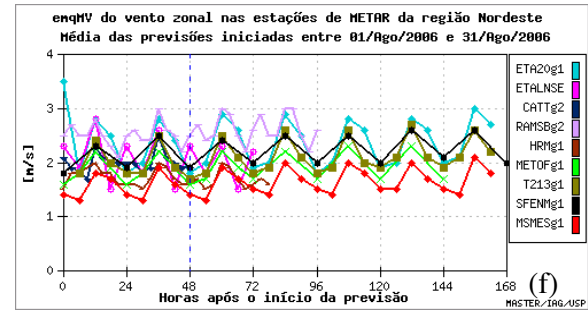
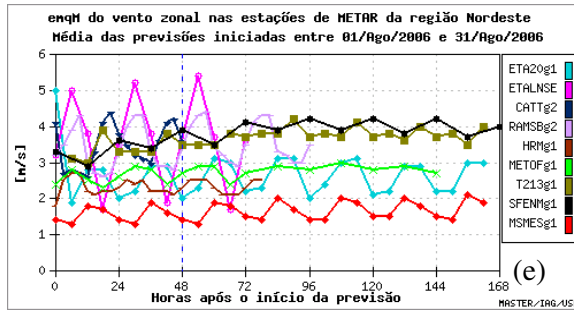
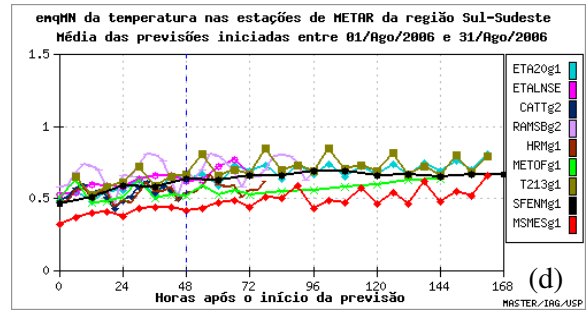
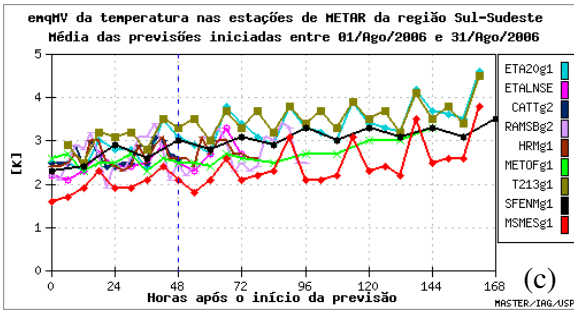
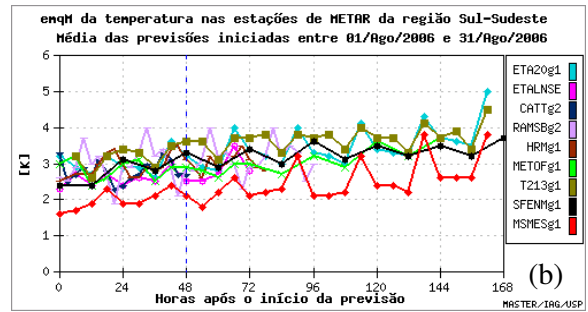
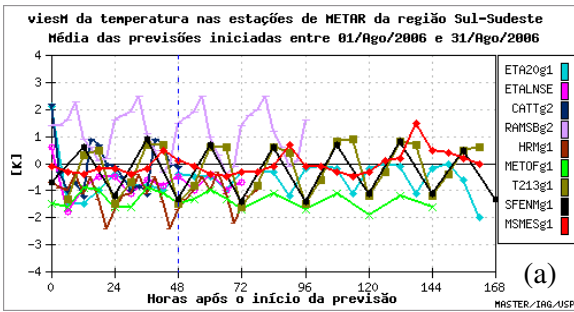


Fig.1: Exemplos de erros médios na região Sul-Sudeste para algumas previsões.

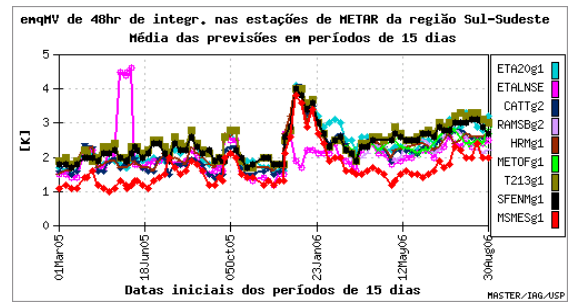
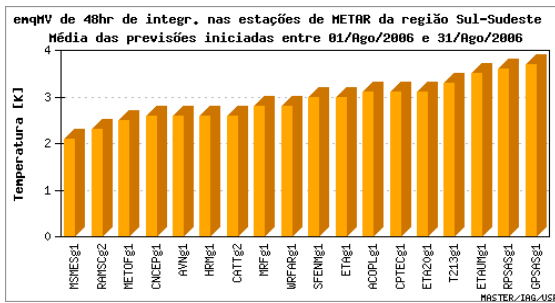
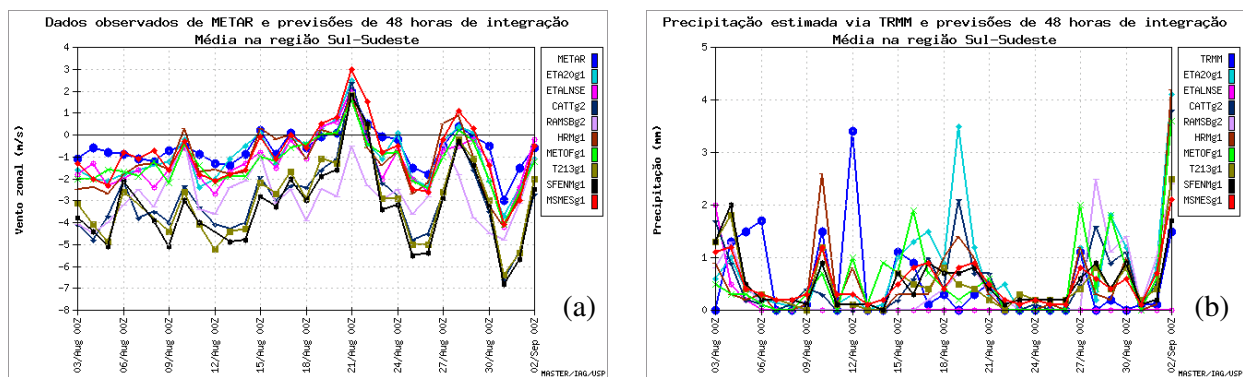


Fig.2: Exemplo comparando o erro médio na região Sul-Sudeste das diversas previsões para 48 horas de simulação.

Fig.3: Exemplo do comportamento dos erros ao longo do ano.



**Fig.4:** Exemplo da comparação entre as previsões com as observações.

## CONCLUSÕES

O sistema implementado no MASTER e no CPTEC é capaz de reunir em uma só página diversas informações que podem ser muito úteis aos usuários, com inúmeras características úteis para os previsores e pesquisadores, tais como: 1) praticidade nas escolhas dos parâmetros a serem plotados; 2) indicar erros sistemáticos inerentes a cada modelo; 3) permitir validação/comparação de inúmeros modelos meteorológicos simultaneamente; 4) auxiliar previsores a identificar o modelo que melhor se ajusta a região de interesse em cada prazo de previsão; 5) permitir aos pesquisadores ajustar o seu modelo; 6) possibilitar a elaboração da previsão estatisticamente ótima; 7) identificar falhas em sistemas operacionais de previsão de tempo.

**AGRADECIMENTOS:** Aos vários centros (vide página: <http://www.master.iag.usp.br/intercomp/>) que contribuem diariamente com as suas previsões numéricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUGEAULT, P. Physical parameterizations for limited area models: some current problems and issues. *Meteorol. Atmos. Phys.*, v. 63, p. 71-88, 1997.

LOPES, P. P. ; BIAZETO, B. ; MOREIRA, D. S. ; SILVA DIAS, P. L. . Previsão do tempo regional no laboratório MASTER. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

MOREIRA, D. S. ; SILVA DIAS, P. L. ; LONGO, M. ; ITIMURA, M. S. . Análise quantitativa do erro associado a diferentes modelos numéricos de previsão de tempo. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

SILVA DIAS, P. L. ; MOREIRA, D. S. ; DOLIF NETO, G. . The Master Super Model Ensemble System (MSMES). In: 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 2006, Foz do Iguçu.