

O uso da assimilação de dados LETKF como ferramenta de auxílio à previsão de tempo.

José Antonio Aravequia
Maria das Dores da Silva Medeiros
Solange Silva de Souza
Dirceu Luis Herdies

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rod. Dutra, Km 40, Cachoeira Paulista, SP, 12630 Brasil . jose.aravequia@cptec.inpe.br

RESUMO: A assimilação de dados cumpre uma etapa muito importante no sistema de previsão numérica do tempo. A previsão de tempo por conjunto, que possibilita a obtenção de probabilidade das previsões numéricas, se consolidou na última década. O novo sistema de assimilação de dados, o Filtro de Kalman Local por Conjunto, insere no sistema de previsão de tempo a informação da localização do erro do dia da previsão do tempo, indicando as regiões de maior incerteza nas previsões, além de fornecer as condições iniciais para a previsão por conjunto aos modelos numéricos. A integração destas condições iniciais realizada pelo modelo numérico prevê a evolução no tempo possibilitando a localização da incerteza no estado futuro da atmosfera, indicando onde o previsor deve atentar para possíveis alterações das condições previstas. Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns mapas criados com as novas informações fornecidas por este sistema de assimilação de dados, entre eles os mapas de erro do dia e mapas do espalhamento e da incerteza da previsão.

ABSTRACT: The data assimilation fulfills a very important step in the numerical weather forecast system. The ensemble forecast, which provides the probability for the numerical forecast, was consolidated in the last decade. The new data assimilation system, the Local Ensemble Kalman Filter provides the weather forecast system forecasting information on the location of the error of the day, indicating areas of greatest uncertainty in predictions, it also provide the ensemble initial conditions for the numerical forecast model. The integration of these initial conditions conducted by the numerical model evolves over time allowing the uncertainty to its location in the future state of the atmosphere, indicating where the forecaster should look for possible changes in the weather conditions. This paper aims to present some maps created with the new information provided by this data assimilation system, including error maps, spread maps and the uncertainty of the forecast.

Palavras-Chave: assimilação de dados, dados de satélite, modelos de transferência radiativa, filtro de Kalman, radiative transfer model.

1 - INTRODUÇÃO

A causa da falha em produzir uma previsão de tempo perfeita para qualquer prazo de previsão deve recair, como estabelecido por Lorenz (1965), sobre uma ou mais dos seguintes fatores:

- 1) O sistema atmosférico não é determinístico: o presente e o passado dos estados da atmosfera e seu ambiente não determina unicamente o estado futuro em todos os tempos;
- 2) Observações são insuficientes: mesmo se o estado da atmosfera fosse determinístico, a porção do presente e do passado observada da atmosfera e seu ambiente não determina unicamente o estado futuro;
- 3) Os procedimentos de previsão são inadequados: as técnicas usadas atualmente não reproduzem o comportamento da atmosfera e seu ambiente;

Lorenz (1965) introduziu o conceito de "erro do dia": a previsibilidade não é constante: Ela depende da estabilidade do escoamento atmosférico variável (a trajetória básica ou estado de referência).

O sistema de assimilação baseado no Filtro de Kalman Local por Conjunto (LETKF) (Ott et al,2003) para o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC, GCM/CPTEC, está sendo testado como possível substituto do atual sistema GPSAS. O LETKF é um sistema baseado em filtro de Kalman que efetua a análise localmente como forma de diminuir o grau de liberdade necessária para o conjunto de previsões

(ensemble forecast) representarem todas as possibilidades da atmosfera naquela posição (de onde vem o *Local*). Desta forma o LETKF gera um conjunto de análises para a previsão por conjunto.

O LETKF obtém a análise a partir dos pesos obtidos pelo Filtro de Kalman para cada um dos membros do conjunto de previsões, a partir dos erros de cada previsão de curto prazo (FG) com relação à observação. Para a obtenção dos erros com relação à observação é necessário usar um operador observação (H). Para o caso de variáveis de estado do modelo que são observadas, como a temperatura, o vento zonal e o meridional, e a pressão a superfície, este operador é uma função de interpolação para o ponto de observação. Para o caso de variáveis que não são prognosticadas pelo modelo de previsão do tempo, este operador simula a variável observada a partir do estado da atmosfera dado pelo modelo de previsão, o que é o caso da temperatura de brilho ou da radiação medida por satélite (Kleespies et al, 2004; Weng et al, 2005).

Vários trabalhos tem desenvolvido o LETKF construindo rotinas necessárias para torná-lo operacional. Resultados de simulação de radiação mostraram-se próximos às observações de satélite, entretanto, notou-se a presença de vies (*bias*) persistentes em alguns canais, o que levantou a necessidade de implementar um esquema de remoção do *bias* (Fertig et al, 2007). Aravéquia et al (2009) mostrou um procedimento eficaz de assimilação de radiações capaz reduzir os erros da análise e das previsões quando se compara com resultados assimilando somente dados convencionais.

Neste trabalho tem por objetivo apresentar alguns mapas criados com as novas informações fornecidas por este sistema de assimilação de dados, entre eles os mapas de erro do dia e mapas do espalhamento e da incerteza da previsão.

2 - METODOLOGIA

Resultados de experimentos usando o sistema de assimilação LETKF para o modelo global GCM/CPTEC na resolução T126L28 serão analisados com foco na previsibilidade e na incerteza mostrando mapas que tendem a ser cada vez mais utilizados pelos meteorologistas dado o aumento no uso de produtos de previsão por conjunto.

Os resultados analisados referem-se aqueles obtidos para o dia 18 de junho de 2010 utilizando o MCGA / CPTEC com o LETKF, no qual foram assimilados os dados convencionais e dados do sensor AMSU-A do satélite Aqua/Terra.

3 – RESULTADOS

A figura 1 mostra mapas dos Erros do Dia para a (a) pressão a superfície, (b) temperatura em baixos níveis (~800 hPa), (c) temperatura em níveis médios (~500 hPa), (d) temperatura em altos níveis (~200 hPa, +/- 50hPa), (e) vento meridional em baixos níveis (~800 hPa, +/- 50hPa) e (f) vento zonal em altos níveis (~200 hPa, +/- 50hPa). Os valores são calculados para o ponto da observação em relação à previsão média do conjunto. Com esse resultado é possível verificar como é a distribuição dos erros do dia da previsão feita a partir da análise anterior.

Através da avaliação dos erros do dia é possível identificar áreas onde o modelo tem erro próximo a zero, círculos vazios ou cores fracas, onde o modelo subestima, cores em azul, e onde o modelo superestima, cores em vermelho, com relação às observações. Os resultados dos mapas b) e e) da Figura 1 permite identificar se a entrada de uma massa de ar frio está adiantada, se o transporte de ar quente das regiões próximas ao equador em direção aos polos está sendo superestimada ou não. Assim, é possível avaliar em antemão o desempenho da previsão para aquele dia.

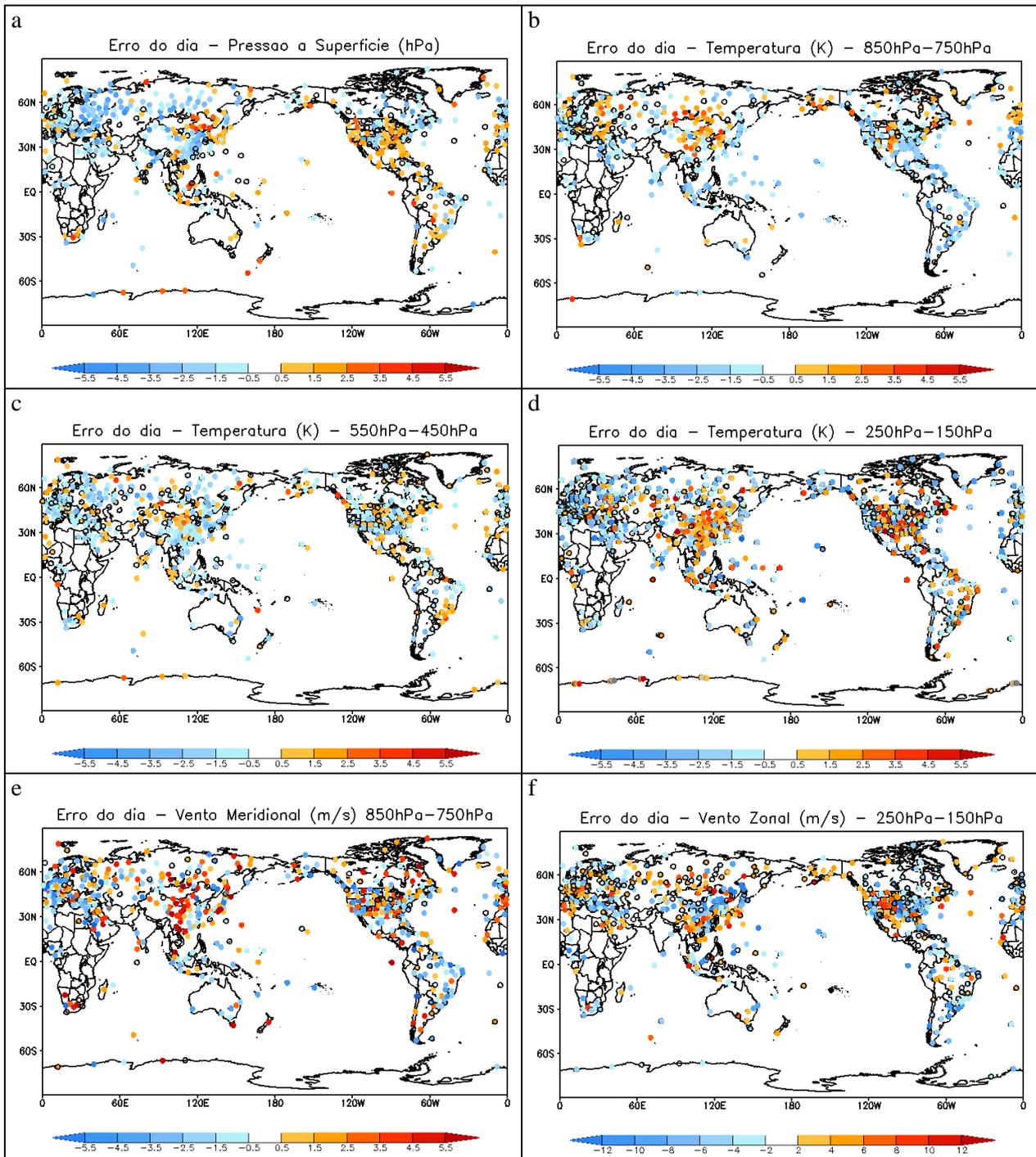


Fig. 1 – Erro do dia do conjunto de previsões. Os pontos coloridos representam o erro de acordo com a escala de cores de cada figura. (a) pressão a superfície, (b) temperatura em baixos níveis (~800 hPa), (c) temperatura em níveis médios (~500 hPa), (d) temperatura em altos níveis (~200 hPa), (e) vento meridional em baixos níveis (~800 hPa) e (f) vento zonal em altos níveis (~200 hPa).

A Figura 2 mostra os campos de espalhamento dos membros do conjunto em relação à análise média, os que se considera como medida da incerteza da análise, ou seja um valor médio de quanto os membros se afastam da análise média, mostrando as regiões onde os membros do conjunto divergem (cores vermelhas) e onde os membros do conjunto estão próximos (regiões em branco).

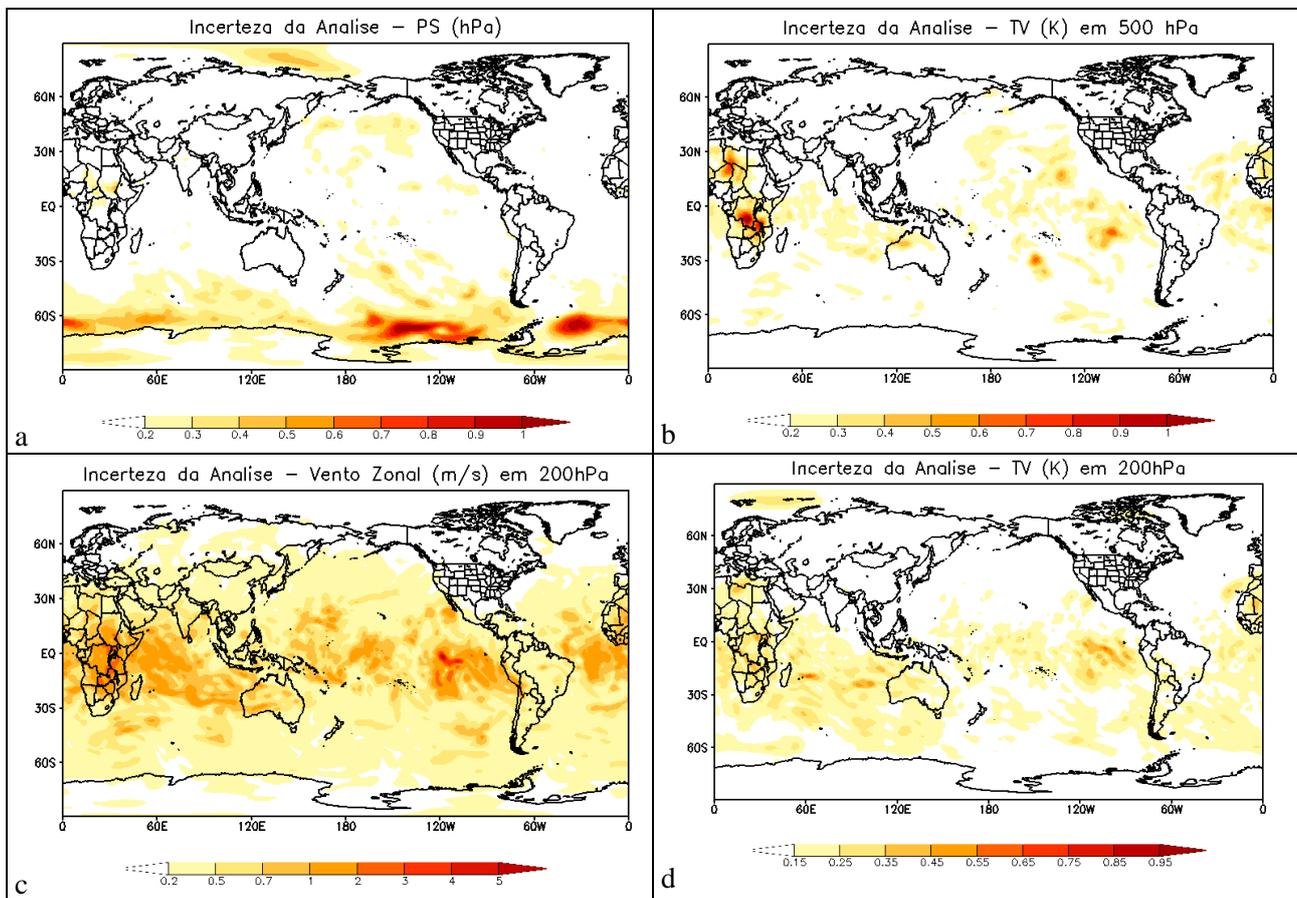


Fig. 2 – Incerteza da análise. (a) pressão a superfície, (b) temperatura em níveis médios (500 hPa), (c) vento zonal em altos níveis (200 hPa), (d) temperatura em altos níveis (200 hPa).

A Figura 3 mostra o desvio padrão das previsões de 6 horas para o conjunto, que é uma medida do espalhamento das previsões com relação a previsão média. Através destas figuras é possível identificar áreas onde as previsões necessitam ser ajustadas pelas observações. É bastante notável na figura 3b, espalhamento da temperatura em níveis médios, que em regiões de observações numerosas, como na América do Norte e na Europa o espalhamento é pequeno, circunferências vazadas sem cor, indicando que naquelas regiões os membros do conjunto apresentam previsões com valores próximos. Isso ocorre pelo fato de numerosas observações diminuem a incerteza no conjunto da análise, como pode ser verificado também pelo campo de incerteza, figura 2b.

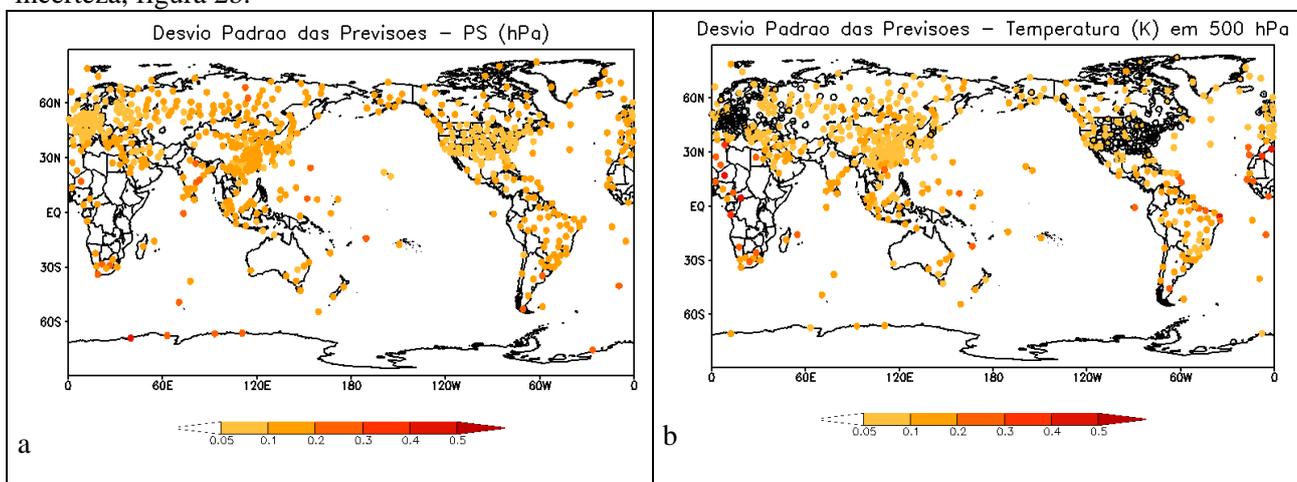


Fig. 3 – Espalhamento da previsão. (a) pressão a superfície, (b) temperatura em níveis médios (500 hPa).

4 – CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a assimilação do sistema LETKF permite estimar vários parâmetros de grande utilidade para previsão de tempo, além daqueles tradicionalmente mostrados a partir da previsão por conjuntos.

A disseminação dos conceitos e da utilidade destes parâmetros permitirá um aproveitamento maior da previsão por conjunto e agregará a ela informações de grande valor aos tomadores de decisão.

NOTAS E AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte das atividades de pesquisas do Grupo de Assimilação de Dados do CPTEC/INPE.

Agradecemos ao **CNPq** por apoiar este trabalho através dos Projetos 471814/2009-1 e 304360/2009-0, intitulados *Uso da Assimilação de Dados Transformada do Filtro de Kalman Local por Conjunto para Previsão de Eventos sobre a América do Sul e Contribuição da Assimilação de Dados de Satélite com o LETKF para a Previsão do Tempo*, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Aravequia, J. A., I. Szunyogh, E. J. Fertig, E. Kalnay, D. Kuhl, and E. J. Kostelich, 2009: Evaluation of a strategy for the assimilation of satellite radiance observations with the Local Ensemble Kalman Filter. [Submitted to Mon. Wea. Rev.](#)
- Fertig, E. J., S.-J. Baek, B. R. Hunt, E. Ott, I. Szunyogh, J. A. Aravequia, E. Kalnay, H. Li, and J. Liu, 2007: Observation bias correction with an ensemble Kalman filter. *Tellus*, under review. Preprint available at <http://www.weatherchaos.umd.edu/publications.php>.
- Lorenz, E. N., 1965: A Study of the Predictability of a 28-Variable Model. *Tellus*, 17, 321-333
- Kleespies, T. J., van Delst, P., McMillin L. M., and J. Derber, 2004: Atmospheric Transmittance of an Absorbing Gas. 6. OPTRAN Status Report and Introduction to the NESDIS/NCEP Community Radiative Transfer Model. *Applied Optics*, **43**, 3103-3109.
- Ott E., B. R. Hunt, I. Szunyogh, A. V. Zimin, E. Kostelich, M. Corazza, E. Kalnay, D. J. Patil, J. A. Yorke, 2003: A Local Ensemble Kalman Filter for atmospheric data assimilation. <http://arxiv.org/abs/physics/0203058>.
- Weng, F., Han, Y., van Delst, P., Liu, Q., Kleespies, T., Yan, B. and le Marshall, J.: "JCSDA Community Radiative Transfer Model (CRTM). ITSC XIV Proceedings Beijing, China. 25-31 May 2005.