

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE IMPACTO DAS OBSERVAÇÕES DO LETKF/CPTEC

Fábio L. R. Diniz^{1*}, Dirceu L. Herdies¹, Luis G. G. de Gonçalves¹, Ricardo Todling²

¹ CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, São Paulo, BRA

² GMAO/NASA, Greenbelt, Maryland, EUA

* fabio.diniz@cptec.inpe.br

RESUMO: O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) atualmente está desenvolvendo e testando o *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF). Uma característica adicionada à implementação do LETKF no CPTEC é a capacidade de avaliar os impactos das observações. O presente trabalho descreve um dos esforços que estão sendo realizados para avaliar os impactos das observações nas previsões de curto prazo, utilizando um conjunto de observações que está disponível no LETKF/CPTEC composto por observações *in situ* e observações obtidas por sensoriamento remoto.

ABSTRACT: The Center for Weather Forecast and Climate Studies from the National Institute for Space Research (CPTEC/INPE) are presently on the way to complete development and testing of a *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF). One feature added to the CPTEC implementation of the LETKF, is the capability to evaluate observation impacts. The present work outlines the effort under way to evaluate observation impacts using a set of observations composed by *in situ* observations and remote sensing observations currently available in LETKF/CPTEC.

1 INTRODUÇÃO

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) utiliza o GPSAS (do inglês *Global Physical-state Statistical Analysis System*), como uma de suas ferramentas operacionais para realizar os prognósticos de tempo para o Brasil desde 2004. Atualmente esforços têm sido direcionados para atualizar o sistema de assimilação de dados do CPTEC a fim de tornar o sistema de assimilação de dados global do centro capaz de assimilar radiâncias. Aliado a esses, há também esforços para implementar um método de assimilação de dados probabilístico no centro, o LETKF (do inglês *Local Ensemble Transform Kalman Filter*). Entretanto, torna-se necessário investigar como o mesmo interage com relação a vários parâmetros envolvidos em um sistema de assimilação de dados.

Uma forma de diagnosticar essa interação é verificando como o sistema responde aos diversos tipos de observações assimiladas em cada ciclo de análise. Tradicionalmente, a principal ferramenta para realizar esse diagnóstico dá-se por meio de OSE (do inglês *Observing System Experiments*). Usualmente, um OSE consiste na remoção de subconjuntos de observações do sistema de assimilação de dados para posterior avaliação estatística do

desempenho desse sistema com relação ao desempenho de uma simulação de controle que inclui todas as observações. A partir disso, é possível inferir a contribuição de cada subconjunto de observações para o sistema de assimilação de dados. Entretanto para que essa avaliação tenha significância estatística é necessário que o sistema realize múltiplos ciclos de análise e previsão, tornando-se inviável operacionalmente. Dessa forma, é preciso buscar uma solução para esse problema. Langland e Baker (2004) (LB04) propuseram uma solução robusta baseada em modelos adjuntos, que hoje em dia é utilizada operacionalmente em alguns centros de previsão numérica de tempo (*e.g.* *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO) e *Naval Research Laboratory* (NRL)¹).

Seguindo a abordagem de LB04, Liu e Kalnay (2008) (LK08) (veja também Li et al. (2010)), propuseram uma solução semelhante, porém baseada em conjuntos, tornando possível determinar quantitativamente as observações que contribuem e as que degradam as previsões de curto prazo utilizando o LETKF. Em 2011 essa solução foi adicionada ao sistema LETKF que está em fase de implementação no CPTEC (LETKF/CPTEC). Com isso o presente trabalho visa apresentar alguns dos resultados encontrados aplicando essa ferramenta diagnóstica para avaliar o impacto das observações nas previsões de curto prazo do LETKF/CPTEC.

2 DADOS E METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho compreendem o período de 01 de janeiro de 2004 até 29 de fevereiro de 2004, com ciclos de análise às 0000, 0600, 1200 e 1800 UTC, e estão sumarizados na Tabela 2.1. Atualmente, o LETKF/CPTEC utiliza um conjunto de observações disponibilizado diariamente pelo NCEP, que representa a etapa final de pré-processamento (incluindo o controle de qualidade) das observações convencionais a serem disponibilizadas para os sistemas de assimilação do NCEP, como também para outros usuários. Esse conjunto de dados recebe o nome de PrepBUFR e é composto por diversos subsistemas do GOS (do inglês *Global Observing System*). Maiores detalhes com relação ao processamento observacional no NCEP podem ser encontrados na página do centro (http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/data_processing/data_processing/).

Segundo LK08, para quantificar em um tempo de verificação t (escolhido aqui igual a 24h) o impacto das observações assimiladas em $t = 0h$, LK08 definem uma funcional como sendo a diferença do quadrado dos erros entre as previsões iniciadas em $t = 0h$ e $t = -6h$. Utilizando a equação de análise do LETKF, LK08 reescrevem essa funcional em termos dos incrementos observacionais $\mathbf{v}_0 \in \mathbb{R}^l$, e assim como LB04, o impacto é dado por um produto escalar:

$$I = \left\langle \mathbf{v}_0, \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{K}}_0^T \mathbf{X}_{t|-6}^{fT} \mathbf{C} [\mathbf{e}_{t|0} + \mathbf{e}_{t|-6}] \right\rangle \quad (2.1)$$

¹Ambos os centros disponibilizam via *web* as contribuições de cada subconjunto de observações em seus respectivos sistemas de assimilação de dados nos seguintes endereços: https://gmao.gsfc.nasa.gov/forecasts/systems/fp/obs_impact/ para o GMAO e http://www.nrlmry.navy.mil/metoc/ar_monitor/ para o NRL.

Tabela 2.1 - Reportes de massa e vento para o período de 0000 UTC de 01 de janeiro de 2004 às 1800 UTC de fevereiro de 2004, em que ● significa que essas observações estavam disponíveis no sistema de observação e foram assimiladas, ○ estavam disponíveis porém não foram assimiladas e - não estavam disponíveis.

U	V	T	Ps	Mnemônico	Descrição
●	●	●	○	ADPUPA	Radiossondas, dropsondas e balões piloto
●	●	●	-	AIRCFT	Aviões (AIREP PIREP ASDAR)
●	●	●	-	AIRCAR	Aviões (MDCRS ACARS)
●	●	●	●	SFCSHP	Superfície oceânica e dropsondas sobre o oceano
○	○	○	●	ADPSFC	Superfície continental
●	●	-	-	SYNDAT	Sintéticos (BOGUS)
●	●	-	-	PROFLR	Perfiladores
●	●	-	-	VADWND	Vento por radar (VAD)
●	●	-	-	SATWND	Vento por satélite (JMA EUMETSAT NESDIS)
●	●	-	-	SPSSMI	SSM/I
●	●	-	-	QKSWND	Escaterômetro (QuikScat)

onde $\mathbf{e}_{t|0} \in \mathbb{R}^m$ e $\mathbf{e}_{t|-6} \in \mathbb{R}^m$ representam os erros médios das previsões válidas para o tempo de verificação t e iniciadas em $t = 0h$ e $t = -6h$, respectivamente. A fim de comparar o impacto de diferentes tipos de observações, como por exemplo vento e temperatura, utiliza-se uma matriz diagonal de pesos que define uma norma, aqui representada por \mathbf{C} e escolhida como sendo uma norma total de energia (seca). A notação utilizada é a mesma de LK08, com o primeiro subscrito indicando o tempo para o qual é válida a medida, e, quando presente, o segundo subscrito, separado por uma barra vertical, indicando o tempo das condições iniciais da previsão ou do erro da previsão. $\mathbf{X}_{t|-6}^f \in \mathbb{R}^{m \times k}$ representa a matriz de perturbações do conjunto de previsões e $\tilde{\mathbf{K}}_0^T \in \mathbb{R}^{k \times l}$ representa a matriz ganho de Kalman. A medida fornecida pela Equação 2.1 indica a contribuição de \mathbf{v}_0 para a redução dos erros das previsões de curto prazo. Posteriormente, essa contribuição será classificada de acordo com os mnemônicos apresentados na Tabela 2.1. Quando as observações assimiladas em $t = 0h$ melhorarem as previsões, a Equação 2.1 resultará um valor negativo, indicando que houve uma redução do erro, e vice-versa.

3 RESULTADOS

Nas Figuras 3.1 e 3.2 apresentam-se as plotagens em barras relativas aos impactos das observações nas previsões de 24h do TQ62L28 LETKF/CPTEC para quatro diferentes regiões: global (90°S-90°N), hemisfério sul (80°S-20°S), tropical (20°S-20°N) e hemisfério norte (20°N-80°N). A Figura 3.1(a) apresenta a média de todos os horários sinóticos em que foram realizados os ciclos de análise (0000, 0600, 1200 e 1800 UTC) para os diferentes mnemônicos definidos na Tabela 2.1. A Figura 3.1(b) apresenta o somatório de todas as observações assimiladas durante o período. A Figura 3.2(a) apresenta a porcentagem do número de observações que contribuíram para melhorar as previsões de 24 do LETKF/CPTEC com relação ao total de observações apresentados na Figura 3.1(b). A

Figura 3.2(b) apresenta a porcentagem do impacto relativa à quantidade de observações assimiladas. Essa medida relaciona o que é apresentado nas Figuras 3.1(a) e 3.1(b). Verifica-

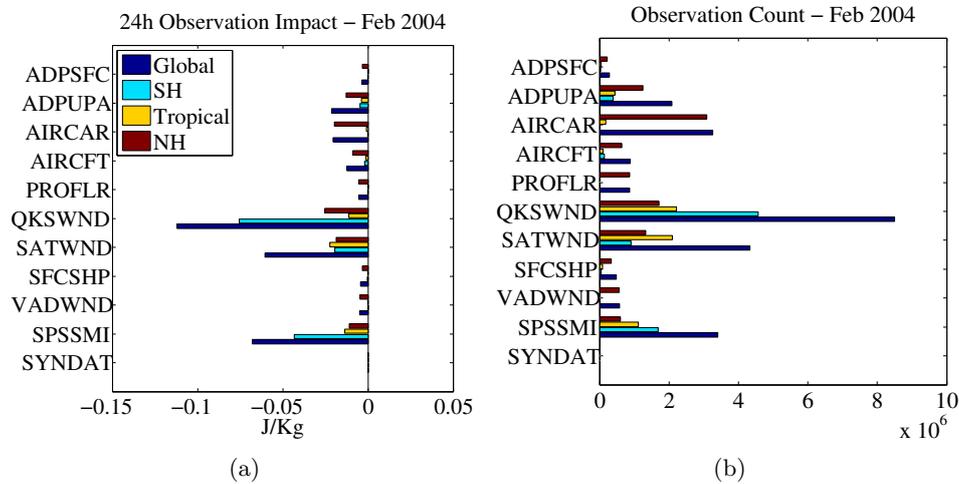


Figura 3.1 - Plotagem em barras relativas ao impacto das observações nas previsões de 24h do LETKF/CPTEC durante Fevereiro de 2004 para as regiões: global (azul escuro), hemisfério sul (azul claro), tropical (amarelo) e hemisfério norte (vermelho). O painel mostra: (a) o impacto das observações com fator de escala 10^{-6} e unidade J Kg^{-1} ; e (b) a contagem das observações assimiladas, com fator de escala 10^6 .

se que, da energia total média reduzida dos erros das previsões de 24h do LETKF/CPTEC ($0,3126 \text{ JKg}^{-1}$), as observações do grupo QKSWND apresentaram a maior contribuição nessa redução durante o período de estudo ($0,1119 \text{ JKg}^{-1}$, 21,7 %). Seguido pelas observações dos mnemônicos SPSSMI ($0,0679 \text{ JKg}^{-1}$, 13,9 %) e SATWND ($0,0605 \text{ JKg}^{-1}$, 19,3 %). Isso ocorre devido a essas observações serem as mais homogêneas no tempo com relação às observações apresentadas aqui nesse estudo. Todas as observações pertencentes a esses três mnemônicos são obtidas por sensoriamento remoto. Dois deles, QKSWND e SPSSMI, representam observações obtidas sobre superfícies oceânicas onde há poucas observações *in situ*. Principalmente no hemisfério sul, que é onde essas observações têm as suas maiores contribuições. Dá-se isso também devido a essa região apresentar uma maior cobertura de superfície oceânica do que as demais regiões avaliadas. Nota-se que alguns mnemônicos apresentam valores muito pequenos, ou até mesmo nulos para determinadas regiões. Como por exemplo os mnemônicos VADWND, PROFLR e SYNDAT. Esse que por sua vez apresenta um total de 118 observações durante todo o período de estudo, sendo essas localizadas apenas na região tropical. De uma forma geral, percebe-se que as maiores contribuições das observações *in situ* estão localizadas na região do hemisfério norte em comparação com as outras regiões avaliadas. Isso ocorre devido a essa região apresentar uma rede de estações mais densa do que as demais regiões avaliadas (*e.g* Estados Unidos da América, Europa e Japão). É importante notar que, com exceção do mnemônico SYNDAT, todos os mnemônicos apresentam frações benéficas entre 50% e 60% quando avaliados globalmente.

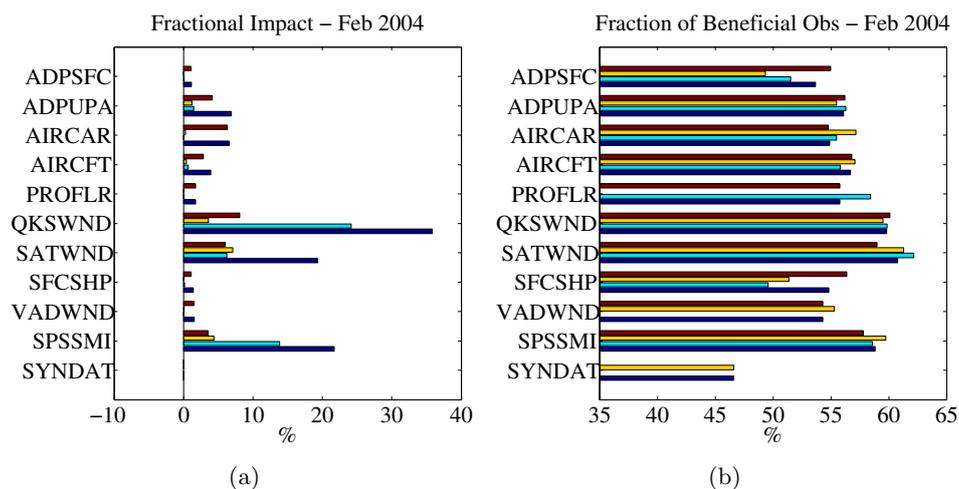


Figura 3.2 - Idem a Figura 3.1, exceto que o painel mostra: (a) o impacto fracional com unidade %; e (b) a fração das observações benéficas com unidade %.

4 CONCLUSÕES

Alguns dos resultados obtidos utilizando a ferramenta de impacto das observações do LETKF/CPTEC foram apresentados nesse trabalho. As plotagens em barras apresentadas mostram-se coerentes, qualitativamente, com relação aos resultados obtidos utilizando técnicas semelhantes em outros centros de previsão numérica de tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os grupos de assimilação de dados do CPTEC/INPE e do GMAO/NASA. A pesquisa de F. L. R. D. teve suporte parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Projeto IAI CRN-2094.

REFERÊNCIAS

LANGLAND, R. H.; BAKER, N. L. Estimation of observation impact using the NRL atmospheric variational data assimilation adjoint system. **Tellus A**, Munksgaard International Publishers, v. 56, n. 3, p. 189–201, 2004. ISSN 1600-0870. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0870.2004.00056.x>>. 2

LI, H.; LIU, J.; KALNAY, E. Correction of ‘Estimating observation impact without adjoint model in an ensemble Kalman filter’. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 136, n. 651, p. 1652–1654, 2010. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.658>>. 2

LIU, J.; KALNAY, E. Estimating observation impact without adjoint model in an ensemble Kalman filter. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 134, n. 634, p. 1327–1335, 2008. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.280>>. 2