

## A ASSIMILAÇÃO DE DADOS NO CPTEC/INPE

Herdies, D.L., Aravéquia, J.A., Ferreira, S.H.S., Andreoli, R.V., Sapucci, L.F., Mattos, J.G.Z.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

Rodovia Presidente Dutra, km 39 SP-RJ, 12630-000, Cachoeira Paulista - SP, Brasil.

[herdies@cptec.inpe.br](mailto:herdies@cptec.inpe.br)

### 1. Introdução

Durante as últimas décadas houve uma evolução significativa na quantidade e qualidade de observações meteorológicas, sejam estas convencionais (estações de superfície e ar superior, etc) ou não-convencionais (provenientes de sondagens de satélite), assim como um grande avanço na qualidade dos modelos utilizados em previsão numérica de tempo, associada à melhoria nas parametrizações de subgrade e aumento de resolução. Entretanto, somente durante os últimos anos é que a combinação destas duas informações tem apresentado uma evolução mais significativa, com a utilização de técnicas avançadas de assimilação de dados, como o 4D-Var e o Ensemble Kalman Filter. A assimilação de dados através de um processo físico-estático combina as informações de modelos numéricos e as observações meteorológicas, gerando a melhor representação possível do estado da atmosfera em um dado instante de tempo.

O CPTEC/INPE iniciou suas atividades em 1994, utilizando o modelo global T062L28, com resolução aproximada em torno de 200 km na horizontal e 28 níveis na vertical, tendo como condição inicial a análise do National Centers for Environmental Predictions (NCEP). Em 1996 entrou em operação o modelo regional Eta, com resolução horizontal de 40 km e 38 níveis na vertical, também utilizando como condição inicial a análise do NCEP.

Atividades relacionadas à assimilação de dados tiveram início em 1998 com o desenvolvimento do sistema de assimilação de dados regional, em conjunto com um grupo e pesquisadores do Data Assimilation Office – DAO (atualmente GMAO – Global Modeling Assimilation Office), fazendo uso do modelo regional Eta e do esquema de assimilação de dados Physical-space Statistical Assimilation System – PSAS (Da Silva et al., 1995; Cohn et al., 1998), denominado RPSAS (Regional PSAS), com a primeira versão pré-operacional em 1999 (Cintra e Aravéquia, 1998). O desenvolvimento da versão global da assimilação de

dados teve início no final de 2000, com a primeira versão pré-operacional em 2002 (Herdies et al., 2002).

Durante o período inicial de desenvolvimento foram utilizados dados observacionais obtidos através do GMAO. Entretanto, estes dados não eram obtidos em tempo real, o que dificultava a sua utilização de forma operacional. A inclusão de dados para serem utilizados de forma operacional tornou-se um dos grandes desafios dentro do grupo de assimilação de dados, em conjunto com o pré-processamento do CPTEC/INPE. Assim, nos últimos anos, a inclusão de novos dados, a sua obtenção e disponibilidade em tempo real tiveram grande prioridade, e diversos avanços foram obtidos nesse sentido (Cintra et al., 2005, Ferreira e Aravéquia, 2006, Andreoli et al., 2006 e Sapucci et al., 2006).

Devido à forte relação que existe entre a qualidade da análise final com o volume de dados utilizados no procedimento de assimilação de dados e o modelo numérico de previsão, este artigo apresenta os avanços alcançados em relação à qualidade das análises e previsões de tempo geradas no CPTEC/INPE, de forma operacional, utilizando os sistemas global (GPSAS) e regional (RPSAS) de assimilação/previsão de tempo. A próxima seção apresenta os dados utilizados na assimilação de dados do CPTEC/INPE. Os avanços obtidos em assimilação regional e global são apresentados na seção 3 e as considerações finais e desenvolvimentos em paralelo na seção 4.

## **2. Dados Utilizados na Assimilação de Dados**

Para a melhoria do desempenho da Previsão Numérica de Tempo (PNT), além de outros fatores como evolução dos recursos computacionais, o emprego de modelos numéricos e sistemas de assimilação mais sofisticados, o aumento do número de dados atmosféricos assimilados apresenta uma contribuição significativa (Kalnay, 2002). Esse fator é predominante sobre os demais quando se trata de regiões oceânicas, em especial sobre o Hemisfério Sul.

O PSAS, tanto em sua versão global como na regional, desde sua primeira versão operacional, está apto a assimilar observações em superfície, tais como altura geopotencial, valores do conteúdo total de água precipitável e componentes do vento (apenas sobre os oceanos), bem como em altitude, como perfis de altura geopotencial, componentes do vento e umidade específica, considerando-se nesse caso apenas os níveis isobáricos padrões.

Com relação aos sistemas de observações, um canal importante de obtenção de informações meteorológicas para aplicações em tempo real é o Global Telecommunication System (GTS), que é mantido de forma bastante organizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no qual se encontram diversos tipos de observações (convencionais e não-convencionais), tanto em superfície como em altitude. Para as informações em superfície destacam-se as realizadas por estações meteorológicas, por sensores a bordo de navios e instalados em bóias oceânicas. Para as observações em altitude podem-se citar os balões pilotos, os sensores a bordo de aviões e principalmente as informações provenientes de estações de radiossondagem. Uma característica importante dos sistemas de observação convencionais é que como estão baseados em estações terrestres os mesmos apresentam uma distribuição espacial muito irregular e favorecem áreas continentais. Além disso, devido ao alto custo para a instalação e manutenção operacional de estações meteorológicas (em especial as de radiossondagens) as observações estão concentradas em países desenvolvidos, como os da América do Norte e Europa, os quais estão concentrados no Hemisfério Norte. Ressaltam-se os esforços que têm sido feitos pelo INMET em manter e instalar novas estações meteorológicas de superfície em todo o território nacional, o que tem contribuído para a evolução do volume de dados recebidos no CPTEC/INPE.

Devido à distribuição espacial irregular dos sistemas de observações convencionais, a disponibilidade de informações atmosféricas provenientes dos sistemas de observações não-convencionais, obtidas via satélites, representou um avanço significativo na melhoria da qualidade da análise e conseqüentemente na previsão de tempo, principalmente sobre o Hemisfério Sul, onde existe uma escassez de observações convencionais, principalmente pelo domínio de áreas oceânicas. As observações disponíveis por esses sistemas de observações (como perfis de altura geopotencial, componentes do vento e conteúdo total de água precipitável) apresentam como característica mais importante a boa distribuição espacial com cobertura global e, aliado a sua importância para a previsão numérica de tempo, avanços significativos têm sido alcançados em relação ao desenvolvimento/aperfeiçoamento de novos sensores/metodologias para recuperação de variáveis atmosféricas. Dentre as informações de satélite disponíveis atualmente no CPTEC para PNT, citam-se:

- Componentes de vento obtidos através da análise da trajetória das nuvens (Cloud Track Wind - CTW) observadas por imagens de satélites geoestacionários nos canais visível, infravermelho e vapor d'água (Hubert e Whitney, 1971). Além dos dados disponíveis via GTS, particularmente sobre a região da América do Sul, são utilizados os dados gerados

na Divisão de Satélites Ambientais (DSA/CPTEC) a partir de imagens geradas pelo GOES nos canais de infravermelho e vapor d'água (Laurent et al., 2002).

- Observações de vento à superfície sobre o oceano provenientes do sensor QuikScat (Quik Scatterometer da NASA) a bordo do satélite Titan II, obtidos via GTS, LDM e ftp;
- Perfis verticais de temperatura e umidade inferidos pelo *Advanced TIROS-N/NOAA Operational Vertical Sounder* (ATOVS), obtidos via GTS, LDM e ftp;
- Observações da altura geopotencial e conteúdo total de água precipitável provenientes de sondagem do sensor AIRS/AMSU (Atmospheric InfraRed Sounder/Advanced Microwave Sounding Unit) à bordo do satélite AQUA, obtidos via ftp.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição espacial dos dados provenientes de sensores em bases terrestres para o dia 14 de junho às 12:00 UTC em 2005 (Figura 1a) e em 2007 (Figura 1b), enquanto que na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial dos dados provenientes de satélites disponíveis para o dia 14 de junho às 12:00 UTC em 2005, e na figura 2b na mesma data e horário para o ano de 2007. As informações utilizadas pelo sistema ATOVS e AIRS/AMSU são oriundas dos satélites de órbita polar NOAA e AQUA, respectivamente, e tipicamente, uma órbita desses satélites cobre diferentes regiões do globo, enquanto que as informações de vento inferidas por satélite geoestacionário possuem uma cobertura espacial quase global, limitada entre as latitudes de 60°S-60°N. Analisando as Figuras 1 e 2 nota-se claramente que sobre o HS e regiões tropicais, as sondagens remotas atuam como fonte predominante de informações na previsão de tempo global. Essas figuras também evidenciam um aumento na quantidade de dados de satélites disponíveis para a assimilação no CPTEC ocorrida nos últimos dois anos.

Para a versão regional do PSAS os dados disponíveis são os mesmos da versão global, porém apenas aqueles se encontram dentro do domínio do modelo regional Eta. Esse domínio é destacado nas Figuras 1 e 2 para mostrar a distribuição espacial dos dados assimilados na versão regional.

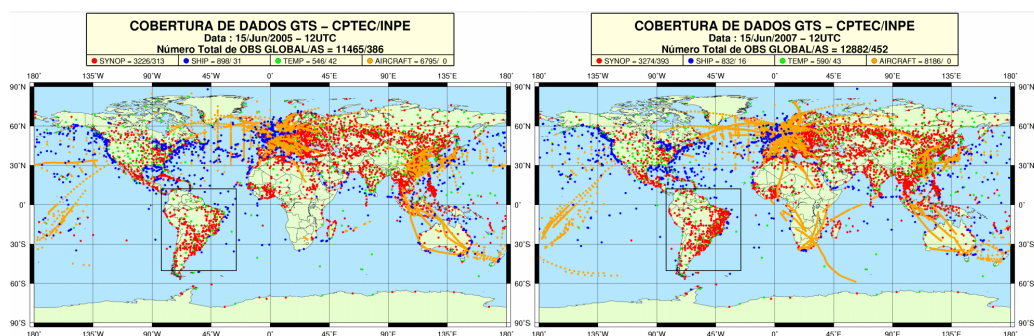


Figura 1 – Distribuição espacial dos dados provenientes de instrumentos em bases terrestres disponível para a assimilação no CPTEC-INPE para o dia 14 de junho em 2005 (figura 1a) e em 2007 (figura 1b) às 12:00 UTC: estações meteorológicas de superfície (SYNOP), sensores em navios (SHIP), radiossondagens (TEMP), e a bordo de aviões (AIRCRAFT).

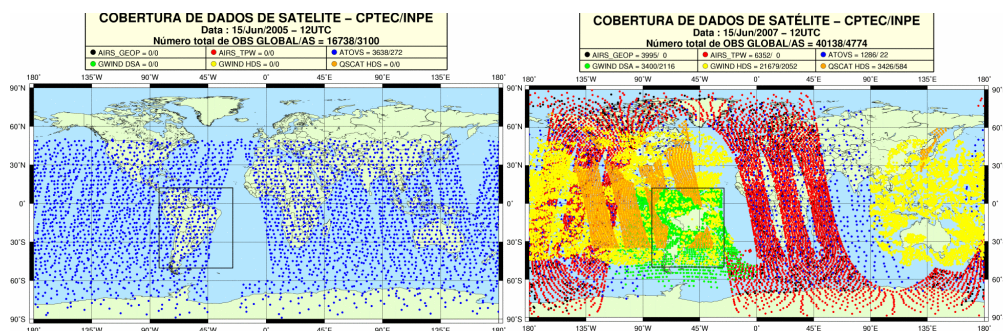


Figura 2 – Distribuição espacial dos dados de satélites utilizados para a assimilação operacional no CPTEC-INPE para o dia 14 de junho em 2005 (figura 2a) e em 2007 (figura 2b) às 12:00 UTC. Os pontos em preto e vermelho se referem aos perfis de geopotencial e valores do TPW do AIRS/AMSU, respectivamente, os pontos em azul se referem aos perfis do ATOVS, os valores do vento por satélites gerados na DSA são plotados em verde enquanto que os obtidos via GTS são plotados em amarelo. Os dados do QuikSCAT são plotados em laranja.

### 3. Os Avanços na Assimilação de Dados Regional e Global

Nesta seção serão apresentados os resultados das diversas mudanças realizadas no sistema de assimilação de dados regional e global, bem como a evolução da qualidade das análises/previsão associada às mudanças de versão do sistema de assimilação de dados e a inclusão de novos dados.

#### 3.1 O Sistema Regional – RPSAS

O sistema de assimilação de dados regional do CPTEC foi iniciado a partir da versão global do PSAS (Da Silva et al., 1995) desenvolvido no DAO. Inicialmente, uma interface foi desenvolvida (Cintra e Aravéquia, 1998) para assimilação de dados convencionais obtidos

através do sistema GTS. O sistema foi configurado para uso no mesmo domínio do modelo Eta operacional do CPTEC, o qual abrange praticamente toda a América do Sul e parte da América Central (como destacado na Fig. 1 e 2).

Os testes iniciais foram realizados obtendo-se análises em modo estático, ou seja, a partir dos dados observados disponíveis e de uma previsão de curto prazo (06 horas, conhecida como First Guess - FG) dada pelo modelo global gera-se uma nova análise. Este é um teste que mostra a operacionalidade do sistema do ponto de vista computacional, porém pode não revelar problemas cujos sinais têm pequena amplitude nos resultados e são difíceis de detectar, além de manter sempre a dependência de uma análise ou de uma previsão, gerada a partir de outro modelo ou centro.

Após os testes em modo estático, passou-se, ainda em 1998, ao desenvolvimento de um sistema cíclico, no qual o FG, necessário para a primeira aproximação da análise, é fornecida pela previsão do modelo que partiu de uma análise dada pelo próprio sistema de assimilação regional. O sistema cíclico demanda uma ligação total entre os módulos que compõem o sistema de assimilação e o sistema de previsão e é o modo como é usado operacionalmente nos principais centros de previsão de tempo, sendo o modo que permite a independência de outros sistemas de assimilação/previsão. Este desenvolvimento foi continuamente executado até 1999, envolvendo também a disponibilização dos dados observados em tempo real, no padrão de leitura do PSAS. Durante este período foi disponibilizada a primeira versão pré-operacional. A interligação dos programas de assimilação e de previsão eram executados em estação de trabalho Digital e no supercomputador NEC SX3, respectivamente.

A partir da implantação do modo cíclico uma série de outras melhorias foi implementada no sistema regional como apresentado a seguir:

- Início do ciclo de assimilação em tempo real com previsão até 3 dias, permitindo o acompanhamento diário por parte da equipe de previsão, durante 1999;
- Implementação do sistema de inicialização utilizando o Filtro Digital (Lynch et al., 1997), que tem impacto comparável a inicialização por modos normais em modelos espectrais, entre 2000 e 2003, com a incorporação de sondagens de geopotencial do satélite NOAA (ATOVS);
- Atualização do núcleo da análise para a versão PSAS-2003, com código massivamente paralelo (MPI), permitindo a obtenção da análise mais rapidamente, entre 2004 e

2005, e permitindo que tanto o sistema de assimilação regional RPSAS quanto o modelo Eta sejam executados em uma mesma máquina;

- Desenvolvimento de uma suíte operacional para geração de reanálise regional com o sistema RPSAS/Eta e geração de um experimento de reanálise para o período de 2000-2004, durante 2005;
- Inclusão de novas observações em 2007, conforme descrito na seção 2.

O desempenho do sistema RPSAS teve uma evolução considerável durante seu desenvolvimento, obtendo atualmente um nível de acerto comparável aos outros modelos utilizados no Centro, que fazem uso da condição inicial (análise) proveniente do NCEP (Figura 3). As Figuras 3a e 3b (figuras obtidas na página operacional do CPTEC/INPE) mostram o nível de acerto médio para previsões de médio prazo de diversos modelos rodados no CPTEC para o mês de janeiro e abril de 2007, respectivamente, comparado aos valores observados de pressão ao nível do mar. As análises referem-se aos resultados dos modelos regionais (RPSAS, Eta40 e Eta20gfs). Pode-se notar que os resultados obtidos pelo modelo Eta rodado com análise RPSAS (Figura 3a e 3b, linha azul escuro) apresentaram uma evolução considerável nos níveis de acerto, principalmente a partir da previsão de 48 horas onde os índices médios de acerto passaram de 77% para 87%, e o que é mais importante, não apresentam a queda de qualidade na previsão de 24 horas observada nos modelos que utilizam a análise proveniente de outro modelo, tal como o Eta40 e o Eta20gfs, que utilizam como condição inicial a análise do modelo global do NCEP, sendo particularmente importante para a previsão de curto prazo. A queda na qualidade da previsão dos modelos regionais (Eta40 e Eta20gfs) no período de 24 horas de previsão pode ser observada em todos os meses do ano (ver página operacional do CPTEC/INPE), e está associada ao tempo de ajuste necessário para que ocorra o balanço entre o modelo regional e a análise do modelo global, que ocorre após 24 de previsão.

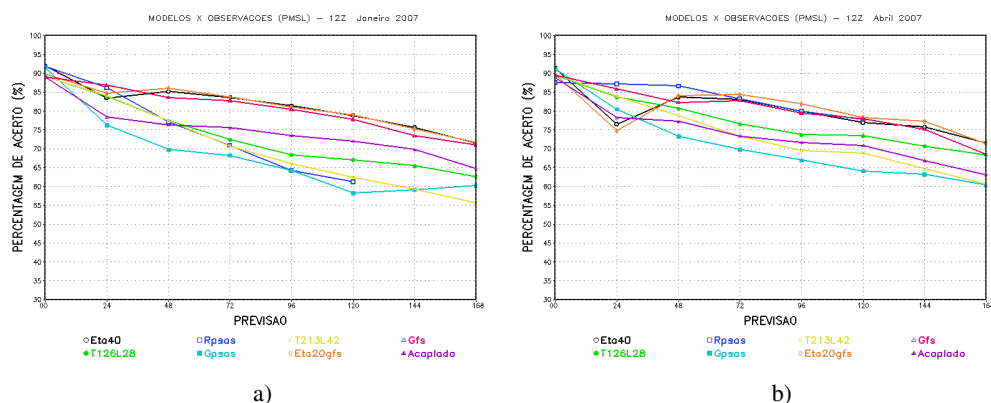


Figura 3 – Índice de acerto percentual da previsão geradas no CPTEC/INPE para diversos modelos com análises para as 12:00 UTC. A variável avaliada é a pressão reduzida ao nível do mar comparado às observações disponíveis. Para o mês de janeiro (a) e abril de 2007 (b).

### 3.2 O Sistema Global - GPSAS

A primeira versão operacional do sistema global de previsão/assimilação de dados usada no CPTEC, o Global Physical-space Statistical Analysis System (GPSAS, Herdies et al., 2002), que representa uma combinação do Modelo Atmosférico de Circulação Geral do CPTEC (MGCA-CPTEC/COLA), em uma resolução T126 L28, e o esquema de assimilação de dados PSAS teve início em 2004, e os primeiros resultados dessa versão, denominada aqui GPSAS04, foram obtidos considerando-se apenas dados convencionais. No período de janeiro de 2005 a março de 2006, além dos dados convencionais, os perfis atmosféricos inferidos pelo sistema ATOVS foram incluídos no processo de assimilação, de forma experimental. A partir desta última data, a versão GPSAS04 voltou a ser integrada somente com os dados convencionais, devido a problemas de decodificação dos dados ATOVS recebidos pelo Centro.

No entanto, sabe-se que um dos fatores que determinam o desempenho dos sistemas de assimilação de dados está relacionado à quantidade e qualidade das observações. Neste contexto, a partir de então, esforços foram direcionados no sentido de incorporar mais observações no sistema de assimilação de dados/previsão de tempo do CPTEC, principalmente, àquelas relacionadas às informações estimadas por satélites, a fim de se obter, operacionalmente, uma condição inicial mais realística possível, para os modelos de PNT (Cintra et al., 2005; Sapucci et al., 2006; Ferreira e Aravéquia, 2006; Andreoli et al., 2007).



Durante 2006, diversos experimentos foram realizados com o objetivo de avaliar o impacto individual dos diversos sistemas de observação com a finalidade de obter uma indicação da importância de cada sistema de observação no processo de assimilação/previsão de tempo utilizado no CPTEC/INPE. Os resultados desses experimentos indicam que os dados convencionais têm um maior impacto na região do Hemisfério Norte devido à maior disponibilidade dessas informações sobre esta região. Por outro lado, as sondagens AIRS/AMSU são fundamentais para uma boa previsão sobre o Hemisfério Sul. Sobre a América do Sul, os perfis inferidos pelo sistema de sondagem AQUA contribuem com a mesma ordem de grandeza dos dados convencionais e apresentam um impacto positivo para todos os períodos de previsões analisados. Dados de vento e água precipitável estimado por satélites têm maior impacto nas regiões tropical e da América do Sul, nas primeiras horas de previsão (1-3 dias). Os resultados obtidos ressaltam o fato que os diferentes sistemas de observação se complementam e o conjunto completo das observações disponível é crucial para se obter, operacionalmente, uma boa condição inicial do estado atmosférico para ser utilizada nos modelos de previsão numérica de tempo do CPTEC. Assim, no final de 2006, a nova versão do GPSAS passou a ser integrada de forma experimental, sendo que nesta versão o conjunto completo de observações (Figuras 1b e 2b), discutido anteriormente, passou a ser assimilado por esse sistema. A nova versão do GPSAS, que utiliza a versão T213L42 do modelo global (Tomita et al., 2006), denominada aqui GPSAS06, incorpora modificações nas parametrizações físicas do modelo e um aumento na resolução horizontal e vertical (aproximadamente 63 km e 48 níveis, respectivamente), além da atualização do núcleo da análise com código massivamente paralelo (MPI). Essa versão do GPSAS é rodada de forma operacional desde maio de 2007.

Uma indicação do impacto dos novos dados na qualidade das análises e previsão numérica de tempo é apresentada na Figura 4, que mostra o coeficiente de correlação de anomalias para o geopotencial em 500 hPa, sobre as regiões do Hemisfério Sul e América do Sul, para os campos de análise e previsões de 1 a 5 dias, correspondentes às duas versões operacionais, GPSAS04 e GPSAS06, para o mês de abril de 2007. Esses cálculos foram realizados utilizando as análises do NCEP como referência, e um valor maior que 60% é considerado como uma indicação de uma previsão útil (Krishnamurti et al., 2003). Em relação ao campo de análise, as Figuras 4a e 4b, mostram a evolução temporal dos coeficientes de correlação, e indicam que as informações de satélite são de fundamental importância para se obter um campo de análise mais realístico possível, principalmente, em regiões onde existe

uma escassez de observações convencionais, como é o caso do Hemisfério Sul (20°S-80°S), principalmente pelo domínio de áreas oceânicas. Por conseguinte, a inclusão das novas observações tem um impacto positivo na performance das previsões (Figuras 4c e 4d), para as duas regiões analisadas. A melhora na performance das previsões sobre o HS ocorre desde as primeiras horas de previsão durante este período, com ganho de 24 horas de extensão da capacidade de previsão de 4 (quatro) dias. Restringindo-se à região da América do Sul, impactos positivos surgem também a partir das primeiras horas de previsão e o ganho da extensão da capacidade de previsão para previsões de 5 (cinco) dias é de aproximadamente 24 horas. De forma geral, esses resultados concordam com estudos anteriores realizados em diversos centros de previsão, particularmente, no que diz respeito à importância das observações de satélites meteorológicos para a previsão numérica de tempo.

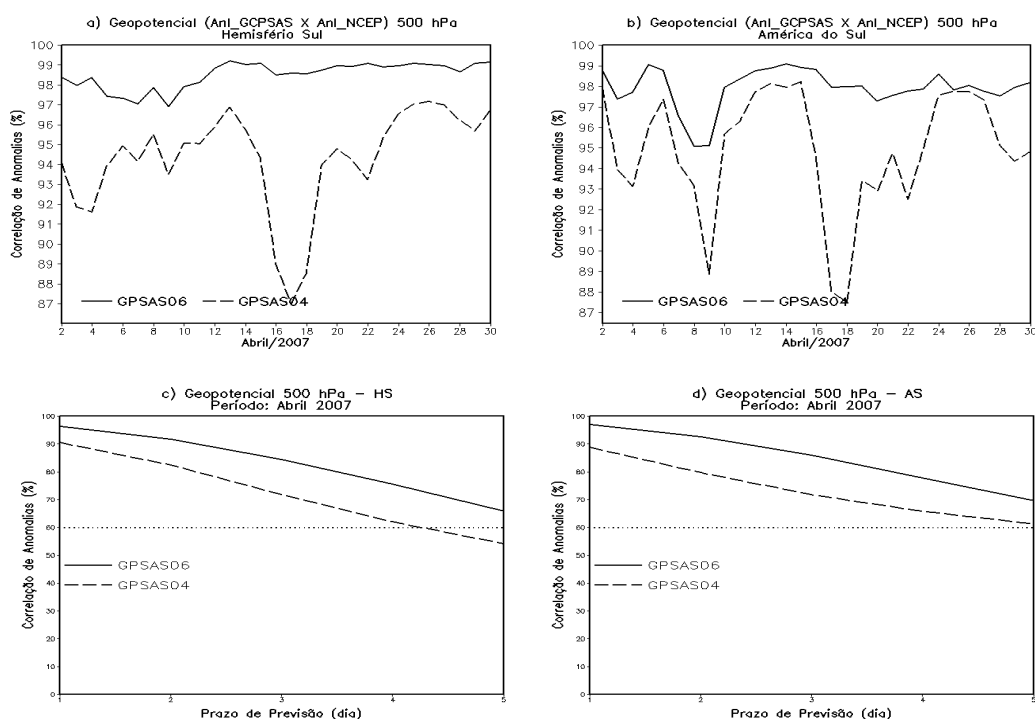


Figura 4 - Coeficientes de Correlação de Anomalias (CA) do geopotencial em 500 hPa para os campos de análise e previsão do GPSAS com (GPSAS06) e sem (GPSAS04) a inclusão do conjunto completo de observações para as regiões do Hemisfério Sul e da América do Sul. (a) e (b) Evolução temporal dos CA para os campos de análise sobre o HS e América do Sul, respectivamente. (c) e (d) média mensal dos CA para os campos de previsão em função do tempo de previsão para o HS e América do Sul, respectivamente.

#### **4. Considerações Finais e Desenvolvimentos em Paralelo**

Desde a sua inauguração o CPTEC/INPE tem passado por diversas mudanças em termos de modelagem numérica e com certeza a implantação operacional da Assimilação de Dados representa um dos grandes avanços na área, e a sua evolução ocorre principalmente pelo aprendizado da importância que a inclusão de novos dados representa no processo de geração da análise. A análise global, assim como a regional atingiram um bom nível de confiabilidade e os resultados mostram que o Centro está no caminho certo para a sua independência em termos de assimilação de dados.

Visando aprimorar cada vez mais suas análises, em um convênio firmado com o grupo de modelagem atmosférica da Universidade de Maryland (Maryland - EUA) em meados de 2004 foi dado início ao desenvolvimento conjunto do novo sistema de assimilação de dados que deverá se tornar operacional no CPTEC/INPE a partir de 2008. Atualmente, esse novo sistema denominado Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) está sendo testado em modo de pesquisa, e diversos artigos sobre o desempenho do sistema e suas vantagens em relação a outros sistemas podem ser encontrados em Kalnay (2007). Ainda, em relação às observações utilizadas pelo LETKF, uma vantagem desse sistema quando comparado ao PSAS é a possibilidade da inserção direta de informações de radiances, o que não é possível hoje com o PSAS. Devido a essas vantagens, uma das principais metas do Grupo de Assimilação de Dados de CPTEC/INPE é a de utilizar este sistema para a assimilação de dados em modo mais amplo, ou seja, utilizar o mesmo sistema para a assimilação de dados atmosféricos, oceânicos e de superfície, para os diversos modelos em operação no CPTEC/INPE.

Outro ramo de pesquisa que está em desenvolvimento dentro do Grupo de Assimilação de Dados do CPTEC/INPE é a assimilação de dados de precipitação, dados de radar e de dados de superfície, este último se encontra em pleno desenvolvimento em conjunto com o Grupo de Assimilação de Dados de Superfície da NASA.

#### **Referências Bibliográficas**

- Andreoli, R. V.; Souza, R. F. A.; Ferreira, S.F.S.; Sapucci, L. F.; Herdies, D. L.; Aravéquia, J. A. Inclusão das sondagens AIRS/AMSU no sistema global de assimilação/previsão de tempo do CPTEC/INPE: estudo de impacto. Res. Bras. Meteorol., 2007, no prelo.
- Cintra, R.; Aravéquia, J. A.: Apresentação do Método de Geração de Dados para Assimilação do Modelo ETA/CPTEC. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília – DF, 1998.

- Cintra, R. S. C.; Lima, W. F.; Espinoza, E. S.; Campos Velho, H. F. Inclusão de dados ATOVS no sistema de assimilação de dados GPSAS do CPTEC. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005. Anais.
- Cohn, S. E.; Da Silva, A.; Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Lamich, D. Assessing the effects of the data selection with the DAO physical-space statistical analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, v.126, p. 2913-2926, 1998.
- Da Silva, A. M.; Pfaendtner, J.; Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Cohn, S. Assessing the effects of data selection with dao's physical-space statistical analysis system. In: International WMO Symposium on Assimilation of Observation in Meteorology and Oceanography., 02., 13-17 Mar. 1995, Tokyo: WMO, 1995. WMO/TD.651.
- Ferreira, S. H. S.; Aravéquia, J. A. A sensibility study of the inclusion of the cloud drift wind data in the CPTEC global data assimilation system. In: 8<sup>th</sup> International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, 2006.
- Herdies, D. L.; Ferreira, S. H.; Bonatti, J. P.; Cintra, R.; Da Silva, A. O sistema de assimilação de dados atmosféricos global do CPTEC/INPE. [CD ROM]. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR, 2002. Anais
- Hubert, L. F., E Whitney, L. F. Jr. Wind Geostationary-Satellite Pictures. *Monthly Weather Review*, v.99, n.9, p.665-671, 1971.
- Kalnay, E., 2002. *Atmospheric Modeling, Data Assimilation, and Predictability*. Cambridge University Press, Cambridge. 364 p.
- Kalnay, E. Home Page: <http://www.umd.edu/caos/~ekalnay>, 2007.
- Krishnamurti, T. N.; Rajendran, K.; Kumar, T. S. V.; Lord, S.; Toth, Z.; Zou, X.; Cocke, S.; Ahlquist, J. E.; Navon, I. M. Improved Skill for the Anomaly Correlation of Geopotential Heights at 500 hPa, *Mon. Weather Rev.*, v. 131, p. 1082-1102, 2003.
- Laurent, H., Arai, N., Fomin, B., Machado, L. A. T., E Gondin, M. A. Extração do Vento Utilizando Imagens de Satélite no CPTEC: Nova Versão e Avaliação com Dados do WETAMC/LBA e dados Operacionais da DSA/CPTEC. In: International Winds Workshop 6. Madison, USA, 2002. CD-ROM.
- Lynch, O., Giard, D., Ivanovici, V. Improving the efficiency of a digital filtering scheme for diabatic initialization. *Mon. Weather Rev.* 125 (8): 1976-1982, 1997.
- Sapucci, L. F.; Aravéquia, J. A.; Souza, R. A. F.; Ferreira, S. H. S.; Herdies, D. L.; Andreoli, R. V.; Mattos, J. G. F. The inclusion of integrated water vapor estimates from AIRS/AMSU and SSM/I sensors into PSAS data assimilation system in the CPTEC. In: The 15<sup>th</sup> International TOVS Study Conference, Maratea, 2006.
- Tomita, S. S.; Kubota, P. Y.; Bonatti, J. P.; Herdies, D. L.. Testes de Sensibilidade do Novo Modelo Global MCGA/MPI – CPTEC/INPE Usando Diferentes Parametrizações Físicas. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis-SC, Brasil, 2006. Anais.