

# AVALIAÇÃO DOS CAMPOS DE PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR E ALTURA GEOPOTENCIAL GERADO PELA ASSIMILAÇÃO DE DADOS EM MODELO REGIONAL DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO USANDO UM SISTEMA ESTATÍSTICO EM ESPAÇO FÍSICO DE ANÁLISE OBJETIVA.

Rosângela Cintra, [rcintra@cptec.inpe.br](mailto:rcintra@cptec.inpe.br)  
Marcus Jorge Bottino, [bottino@cptec.inpe.br](mailto:bottino@cptec.inpe.br)  
José Antônio Aravéquia, [araveq@cptec.inpe.br](mailto:araveq@cptec.inpe.br)  
Sergio Henrique Soares Ferreira, [henrique@cptec.inpe.br](mailto:henrique@cptec.inpe.br)  
José Paulo Bonatti, [bonatti@cptec.inpe.br](mailto:bonatti@cptec.inpe.br)

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC / INPE  
Rodovia Presidente Dutra, km 40 - 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP  
Brasil.

## RESUMO

*O modelo regional Eta do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) atua sobre a América do Sul; com intuito de melhorar seu desempenho, está se desenvolvendo um sistema de análise própria para a sua condição inicial utilizando e adaptando o Physical-space Statistical Analysis System (PSAS) desenvolvido no Data Assimilation Office (DAO), GSFC/NASA; o PSAS é um Sistema de Assimilação de Dados de Interpolação Ótima (OI), que utiliza estrutura capaz de testar modelos avançados de erros de covariância da previsão; a comparação das variáveis de pressão reduzida ao nível do mar (PNMM) e da altura geopotencial (ZGEO), observações provenientes do GTS, com os mesmos campos da análise Regional PSAS e da análise Spectral Statistical Interpolation (SSI) desenvolvida no National Centers for Environmental Prediction (NCEP), foram comparadas e avaliadas e neste estudo são apresentados os resultados. A análise SSI trazida diariamente do NCEP é utilizada na suite operacional da Previsão Numérica de Tempo (PNT) do CPTEC.*

## 1. Introdução

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) executa modelo global e regional que utilizam como condição inicial análises provenientes do National Centers for Environmental Prediction (NCEP-USA). Com o intuito de melhorar o desempenho do seu modelo regional, vem sendo desenvolvido neste centro um sistema de análise própria que providenciará a condição inicial do modelo operacional Eta, com a utilização e adaptação do Physical-space Statistical Analysis System (PSAS) desenvolvido no Data Assimilations Office (DAO), Goddard Space Flight Center/NASA. Os primeiros resultados foram obtidos de um experimento conduzido de 04 a 30 de novembro de 1999, quando a versão do modelo operacional regional Eta foi integrada diariamente para os horários de 00, 06, 12 e 18 UTC utilizando como condição inicial, análises provenientes do sistema Regional PSAS com a finalidade de avaliar a qualidade das mesmas e das previsões de tempo. As variáveis pressão reduzida ao nível do mar (PNMM) e altura geopotencial (ZGEO) para diversos níveis da análise RPSAS, e as observações provenientes do GTS, serviram para o cálculo dos índices estatísticos: erro médio e erro quadrático médio. O mesmos índices foram apurados com a análise Spectral Statistical Interpolation (SSI) do NCEP, que serviu de comparação com a análise RPSAS. Foram obtidos também campos médios do período para pressão reduzida ao nível do mar e altura geopotencial para os níveis

de 850, 500 e 250 hPa do RPSAS e SSI, efetivando as comparações quanto à distribuição espacial do erro.

## 2. Análise RPSAS

O processo de assimilação de dados é o principal meio que fornece as condições iniciais para os modelos de previsão numérica de tempo, para isto é necessário um entendimento da dinâmica, variabilidade e interações de todos os componentes do sistema ar-terra-mar sobre uma determinada escala de tempo e de espaço. A qualidade das previsões não depende unicamente do modelo empregado, depende também da qualidade das condições iniciais; esforços têm sido realizados no sentido de desenvolver sistemas de assimilação de dados cada vez mais eficientes e eficazes.

O RPSAS é um sistema estatístico em espaço físico de análise objetiva que trabalha com vínculos mais realistas e sendo um sistema modularizado, permite a introdução de dados não-convencionais de forma relativamente simples. Um esquema estatístico de análise tenta obter um estado ótimo, ou análise, do estado de um sistema dinâmico através da combinação de observações do sistema com uma estimativa dada pela previsão de um modelo. Este sistema encontra-se em fase de implantação no CPTEC para o modelo regional Eta e espera-se ter significativas melhorias nas previsões deste centro, além de permitir a revisão no controle de qualidade das observações voltadas à regiões específicas.

A análise usada no sistema de assimilação de dados é um esquema multi-variacional tri-dimensional de Interpolação Ótima (Pfaendtner et al. 1995); utiliza estrutura para testar modelos avançados de erros de covariância da previsão e observações. O PSAS difere dos outros métodos de interpolação ótima na forma de resolução da equação de análise, pela remoção e aproximação de dados locais e pelas seleções de dados, incluindo todas observações no sistema linear simples. Um algoritmo de gradiente conjugado pré-condicionado em forma de bloco é usado para resolver iterativamente as equações dos sistemas lineares.

O sistema de assimilação de dados gera campos de incremento de análise de: componentes de vento, altura geopotencial, e razão de mistura do vapor d'água em níveis de pressão; incrementos de pressão na superfície do mar e componentes de vento na superfície ( apenas próximo aos oceanos). As análises são rodadas em quatro horários sinóticos (00, 06, 12, 18 UTC), com observações usadas em janelas de tempo de 6 horas(+/- 3h), centralizadas nos horários das análises. A configuração básica do PSAS consiste de 2° de latitude por 2.5 ° de longitude e 14 níveis verticais (1040,1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 40 hPa). O último passo é a interpolação dos incrementos de análise para o sistema de coordenadas e níveis Eta, ou seja, a análise dos incrementos é interpolada para grade do modelo e adicionada a estimativa F(first-guess), gerando campos de: pressão na superfície, umidade específica, temperatura virtual, vento zonal e vento meridional nos níveis Eta. Prioriza a interpolação vertical para os incrementos de altura geopotencial que são convertidos na temperatura média da camada usando a equação hidrostática.

## 3. Análise SSI

A análise atualmente em uso no CPTEC, gerando condições iniciais para o modelo regional Eta é proveniente do SSI, um interpolador estatístico espectral, desenvolvido pelo NCEP. Esta análise apresenta-se em coordenadas sigma, com as variáveis que o modelo necessita: pressão da superfície, temperatura virtual, vento zonal, vento meridional e umidade específica; trabalha em espaço espectral. O sistema NCEP/SSI (Parrish and Derber 1992) utiliza uma restrição de balanço linear bem como uma restrição de pressão não-linear como parte integrante de um sistema de análise variacional tri-dimensional.

#### 4. Observações

O Global Telecommunications System (GTS) distribui dados observacionais globais que são recebidos pelo CPTEC e servirão para alimentar o modelo regional de Previsão Numérica de Tempo (PNT) Eta. Estes dados são pré-processados de forma a validá-los sintática e qualitativamente com limites grosseiros, e então reunidos em janelas de tempo de 6 horas, tendo como hora central a hora sinóptica (00, 06, 12, 18 UTC). Estas observações são da área de atuação da América do Sul (  $60^{\circ}\text{S}$  a  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$  a  $20^{\circ}\text{W}$ ). Os dados observacionais são então preparados para atender ao sistema de assimilação de dados utilizando o RPSAS no formato de arquivo de dados observacionais chamado ODS (Observations Data Stream), onde a estimativa inicial (F), proveniente de uma previsão de 6 horas, gerada pelo modelo Eta, é interpolada para os pontos de observação para os dados correspondentes e feita a subtração(O-F). Essas diferenças são analisadas e armazenadas para atualizar a calibração dos erros usados para o cálculo das matrizes de covariância. Posteriormente este ODS é utilizado para a comparação e avaliação da viabilidade da análise citada neste artigo. Os *dados de superfície* são: vento zonal (10m), vento meridional (10m) e pressão reduzida ao nível do mar. Os *dados de ar-superior* são vento zonal, vento meridional, altura geopotencial, razão de mistura do vapor d'água em 14 níveis verticais (1040, 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 40 hPa). Os *dados de satélite* geram *altura geopotencial* a partir da temperatura média da camada e os *dados de satélite Geoestacionário* geram *vento zonal* e *vento meridional* para cada nível observado. A suite completa de fontes de dados usadas no sistema de assimilação de dados são: Ship, Buoy, Metar e Synop para análise da superfície; Temp, Pilot, TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder) alta resolução (80 km), Satob, e Airep para análise de ar-superior.

#### 5. Metodologia

Neste estudo, foram feitas comparações entre os campos de pressão reduzida ao nível do mar (PNMM) e de Altura Geopotencial (ZGEO) nos níveis de 1000, 925, 850, 700, 500, 300, 250, 200 e 100 hPa, das análises do SSI/NCEP (00, 12 UTC), e RPSAS (00, 06, 12, 18 UTC) na área de atuação da América do Sul (  $60^{\circ}\text{S}$  a  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$  a  $20^{\circ}\text{W}$ ). Os campos de análises foram interpoladas para os pontos das observações e feita uma subtração (O-A). Estes pontos de diferenças serviram como controle para o cálculo dos índices estatísticos de erro médio e erro quadrático médio através das seguintes fórmulas:

A média do número de observações(N) de pressão a nível médio do mar utilizadas em cada horário sinóptico dentro de uma janela de 6 horas(+/- 3 h) é apresentada na figura 1.

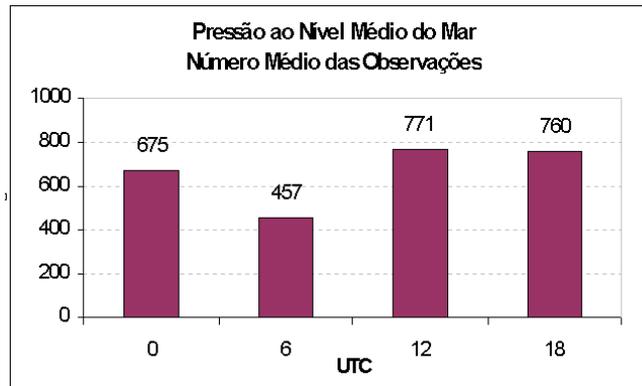


Figura 1- Número médio de observações de pressão a nível médio do mar.

Para a altura geopotencial verificamos a média de observações utilizadas quanto aos horários e quanto aos níveis de pressão conforme apresentamos nas figuras 2 e 3

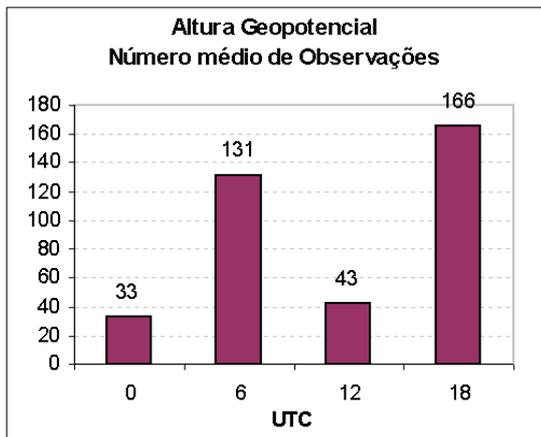


Fig. 2 - Número médio de observações de altura geopotencial por horário

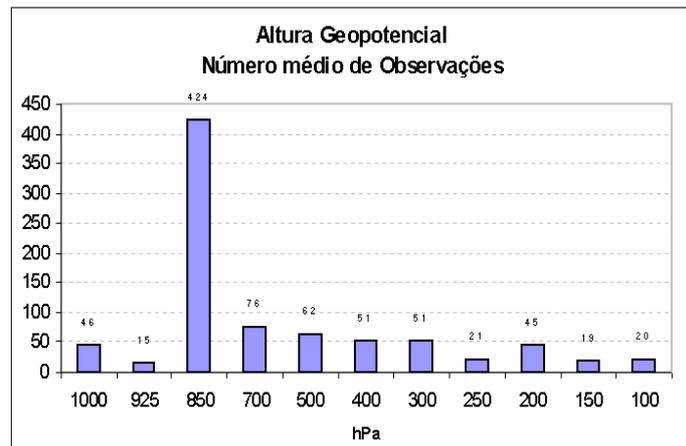


Fig. 3 - Numero médio de Observações de altura geopotencial por nível de pressão.

No passo seguinte, geramos as médias do campos de PNMM e ZGEO a 850, 500 e 250 hPa dos campos das análises RPSAS e SSI (NCEP), os campos de PNMM do Eta são calculados utilizando o método Messenger enquanto que o SSI utilizou o método de Shuell. Os resultados foram inicialmente nos horários 00 e 12 UTC do período em estudo.

## 6. Resultados

O cálculo do erro médio da PNMM (Fig. 4) mostra que o mesmo ficou em torno de zero hPa em ambas análises, o que indica que as elas se ajustam bem às observações. Vejamos a tabela 1 a seguir, com os valores apurados para cada horário para cada análise:

UTC	Erro Médio		Erro Quadr. Médio	
	Eta	SSI	Eta	SSI
0	-0.0824	0.2753	1.4333	1.6892
6	-0.0476	-	1.2112	-
12	-0.1628	0.0915	1.3136	1.5595
18	0.0222	-	1.4668	-

Tabela 1 - Erro médio e Erro Quadrático médios nos diversos horários.

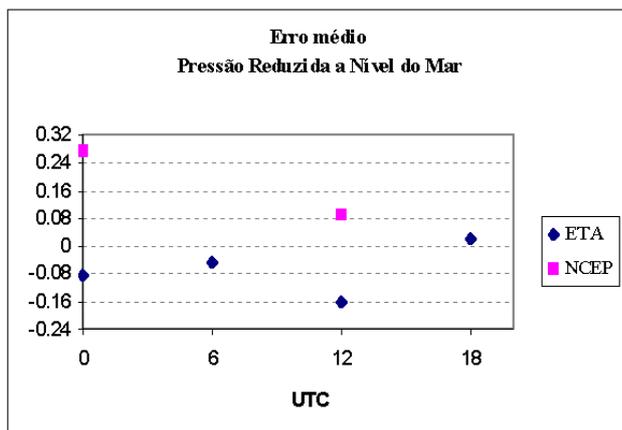


Figura 4 - PNMM das RPSAS x SSI.

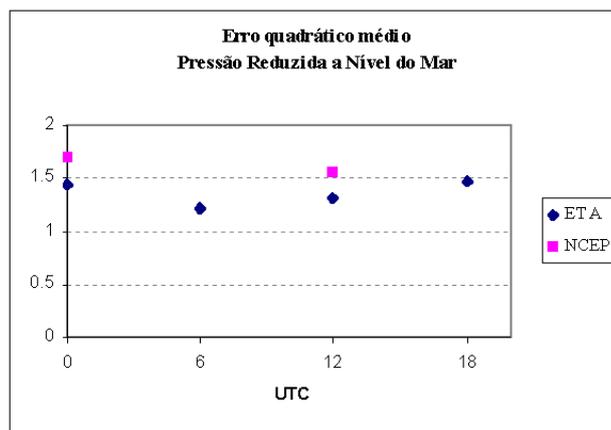


Figura 5 - PNMM das RPSAS x SSI

O cálculo do erro quadrático médio (Fig. 5) também mostra um comportamento semelhante nas duas análises: ambos ficam em torno de um valor constante, 1,5 hPa, e apresentaram uma pequena dispersão de dados (homogeneidade). Isto significa que se os erros fossem distribuídos em uma curva gaussiana, 87% dos dados ficariam com erros entre 1.2 hPa e 1.8 hPa.

A avaliação estatística do ZGEO indicou que o desvio médio absoluto nos horários 00 e 12 UTC tem no máximo um valor de 16 m para a análise RPSAS e de 16,7 m para a SSI. No horário 00 UTC a média para todos os níveis do desvio médio foi de 4,8 m para a RPSAS e 6,2 m para a SSI; resultado semelhante foi obtido no horário 12 UTC com 3,2 m e 5,1 m respectivamente. Estes valores demonstram que as análises estão próximas às observações, entretanto a RPSAS apresentou um erro menor, além de menor dispersão, conforme Tabelas 3 e 4 e Figuras de 6 a 11 a seguir:

Nível (hPa)	ETA		NCEP	
	Erro médio	Erro quadr. Médio	Erro médio	Erro quadr. Médio
100	16.0	17.8	-10.1	25.3
150	7.5	9.7	11.5	15.4
200	7.4	15.7	10.9	22.5
250	9.2	8.0	16.7	11.6
300	6.9	13.3	13.1	22.1
400	3.8	12.3	10.4	17.9
500	2.9	11.7	9.0	16.1
700	0.52	10.11	2.4	15.5
850	-0.51	5.73	-1.6	9.9
925	-0.03	4.42	3.3	9.0
1000	-0.6	6.7	2.2	10.8
<b>Média Total</b>	<b>4.8</b>	<b>10.5</b>	<b>6.2</b>	<b>16.0</b>

Tabela 3 - Altura Geopotencial em todos os níveis para às 00 UTC.

Nível	Erro médio	Erro quadr. Médio	Erro médio	Erro quadr. Médio
100	-0.8	14.2	-15.0	19.3
150	10.8	11.9	10.7	15.2
200	8.1	12.2	11.4	17.1
250	6.0	8.4	9.5	11.8
300	5.2	11.0	10.3	16.3
400	2.9	10.0	9.3	15.3
500	2.2	9.2	7.8	14.2
700	1.49	7.54	4.6	12.0
850	0.4	5.1	3.3	9.0
925	-0.66	5.59	0.9	8.0
1000	-0.9	6.6	3.4	9.6
<b>Média Total</b>	<b>3.2</b>	<b>9.2</b>	<b>5.1</b>	<b>13.4</b>

Tabela 4 - Altura Geopotencial para todos os níveis para 12 UTC.

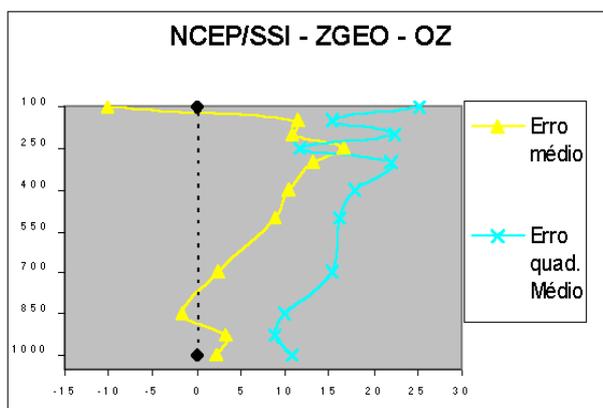


Figura 6 - Altura Geopotencial - SSI/NCEP 0 UTC

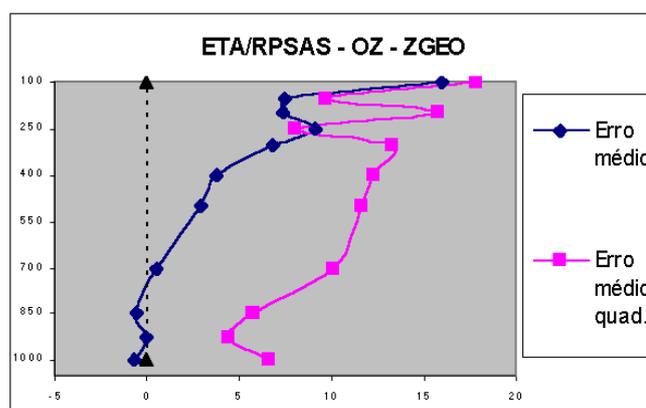


Figura 7 - Altura Geopotencial - RPSAS/Eta 0UTC

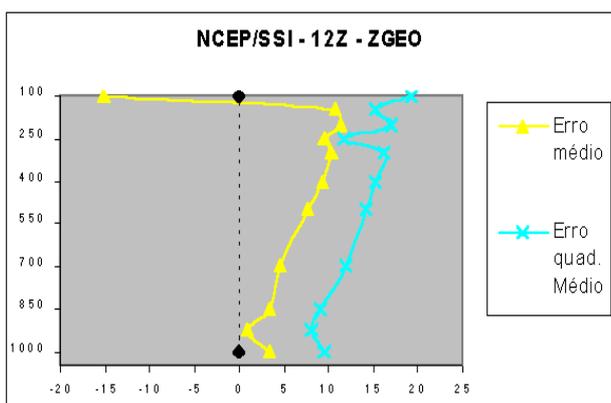


Figura 8 - Altura Geopotencial - SSI/NCEP 12UTC

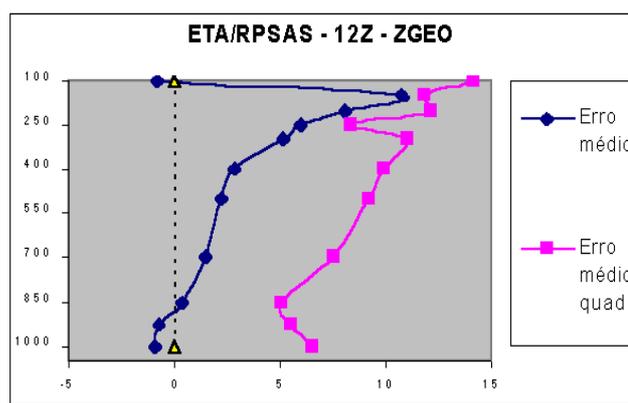


Figura 9 - Altura Geopotencial - RPSAS/Eta 12UTC

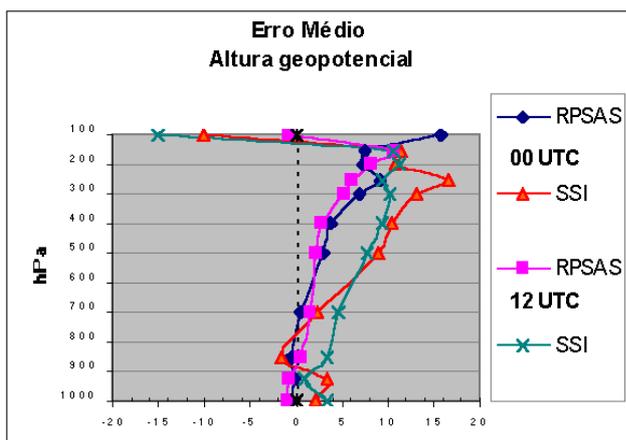


Figura 10 - Erro Médio - SSI e RPSAS

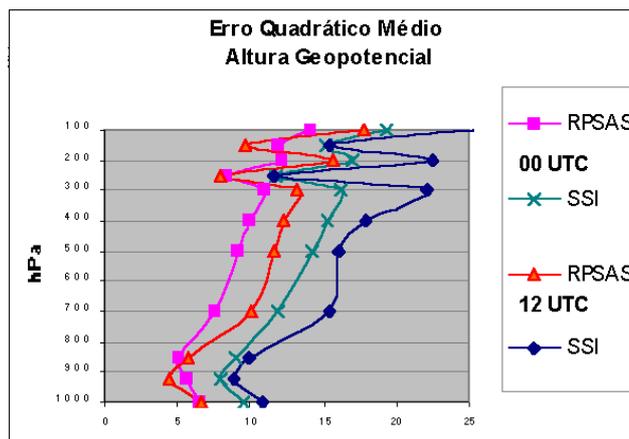


Figura 11 - Erro Quadrático Médio - SSI e RPSAS

A seguir com os campos médios das análises do período de 04 a 30 de novembro para verifica-se a distribuição espacial dos campos e a diferença entre as análises:

Pressão ao nível do mar (hPa)  
 Média do período 04 – 30/11/1999

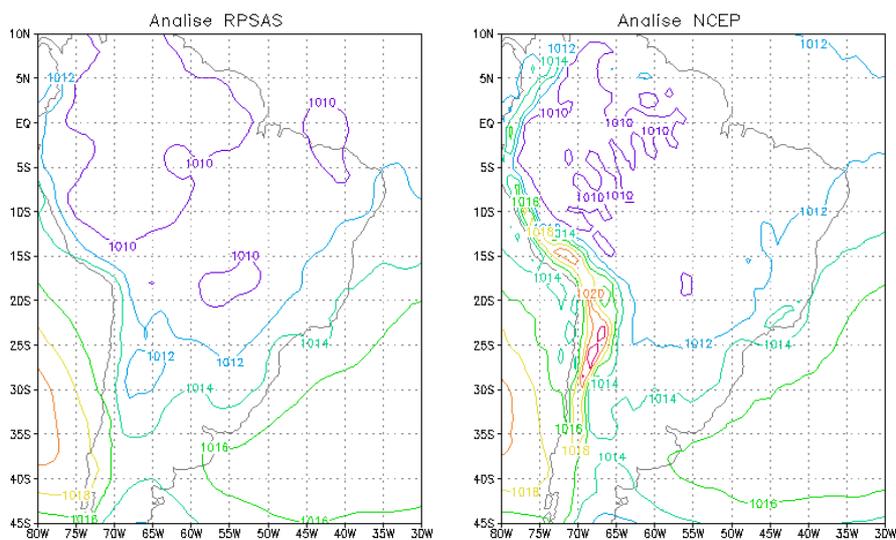


Figura 12 - Campo médio de PNMM das análises SSI x RPSAS.

O campo médio de PNMM apresenta-se semelhante entre as análises, algumas diferenças maiores podem ser visualizadas devido ao método dos modelos para apuração da pressão ao nível do mar (Messinger x Shuell), demonstra que as mesmas ficaram com valores inferiores a 2 hPa, na maior parte do domínio da América do Sul. Apenas nos Altiplanos do Andes estes valores foram maiores. Observou-se que as maiores diferenças de PNMM (em torno de 1 hPa) ocorreram em latitudes baixas, e nas latitudes médias as análises são bem semelhantes (com diferenças em torno de 0,1 hPa), conforme Figura 12.

As análises gerada pelos incrementos do RPSAS com a estimativa inicial do modelo Eta do CPTEC não demonstram grandes diferenças em relação aos campos das análises oriunda do NCEP para o campo de pressão reduzida à superfície. Em estudos futuros serão analisados outros campos de superfície como vento zonal e meridional, para se verificar a completa validade das condições iniciais de superfície para o modelo regional do CPTEC.

O campos médio de ZGEO para o nível de 850 hPa, mostra-se semelhante nas duas análises, com diferenças em torno de 10 metros, as maiores diferenças encontram-se na região do Andes e pode ser influencia da pressão à superfície e o método supra citado, conforme Figura 13.

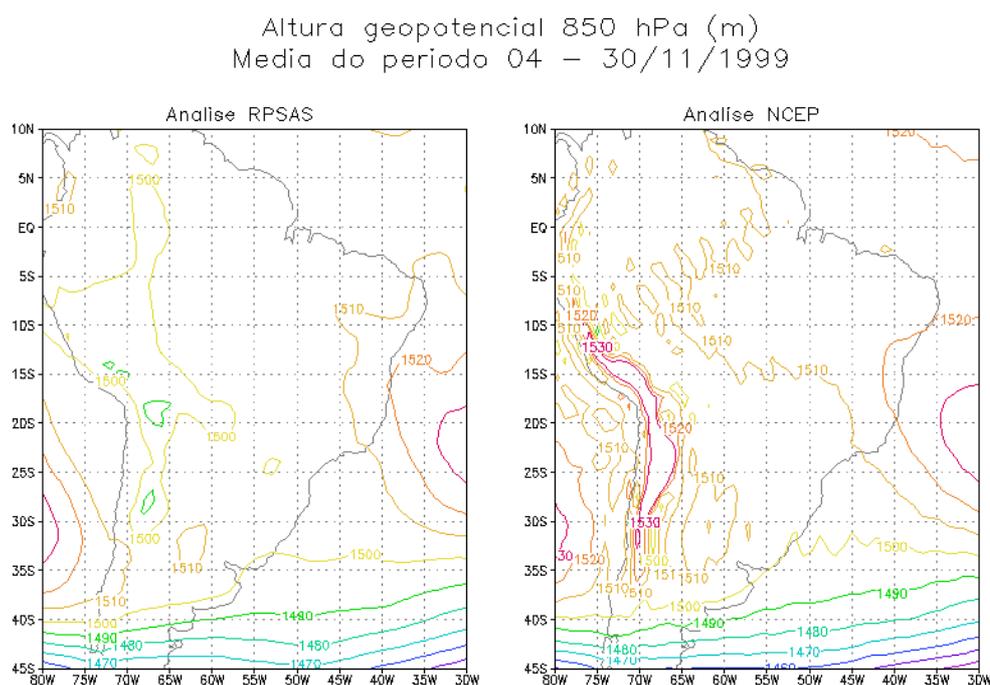


Figura 13 - Média da Altura Geopotencial a 850 hPa.

Para o nível de 500 hPa, e 250 hPa do campo médio de altura geopotencial não se verificam diferenças significativas entre as análises do RPSAS e SSI, exceto sobre a região dos Andes conforme ilustram figuras 14 e 15.

Estas comparações demonstram que variáveis de ar-superior como a altura geopotencial, gerada pelo RPSAS são semelhantes às análises do SSI atestando sua validade. As ondas curtas, próximas aos Andes, que aparecem nas análises do NCEP (figuras 11 a 14) devem-se principalmente ao efeito GIBBS, já que essas análises são geradas pelo método espectral; nota-se nas mesmas figuras que a análise do RPSAS eliminou este problema. Outros campos de ar-superior serão posteriormente verificados como a umidade específica, vento zonal e meridional, para se chegar a uma avaliação mais completa.

Altura geopotencial 500 hPa (m)  
Média do período 04 – 30/11/1999

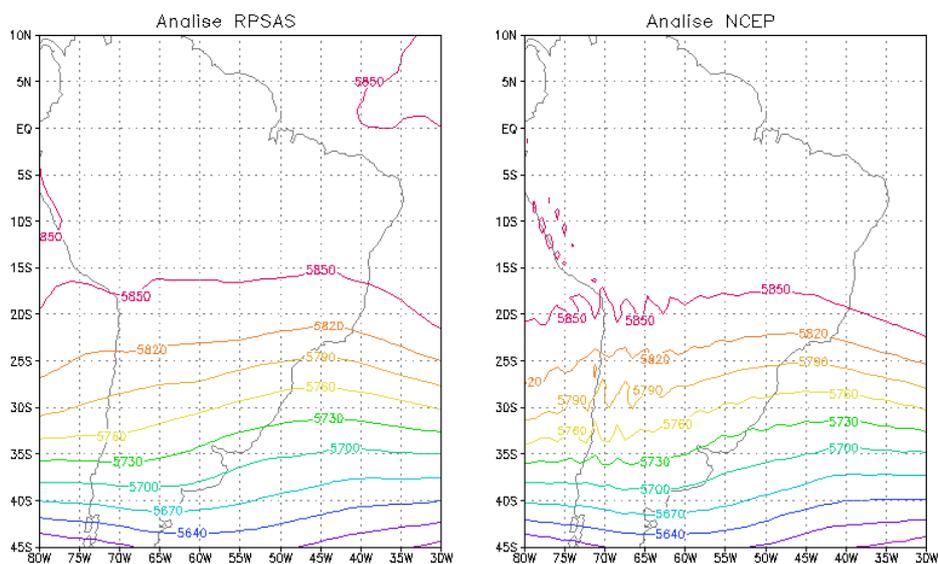


Figura 14 - Média da Altura Geopotencial a 500 hPa.

Altura geopotencial 850 hPa (m)  
Média do período 04 – 30/11/1999

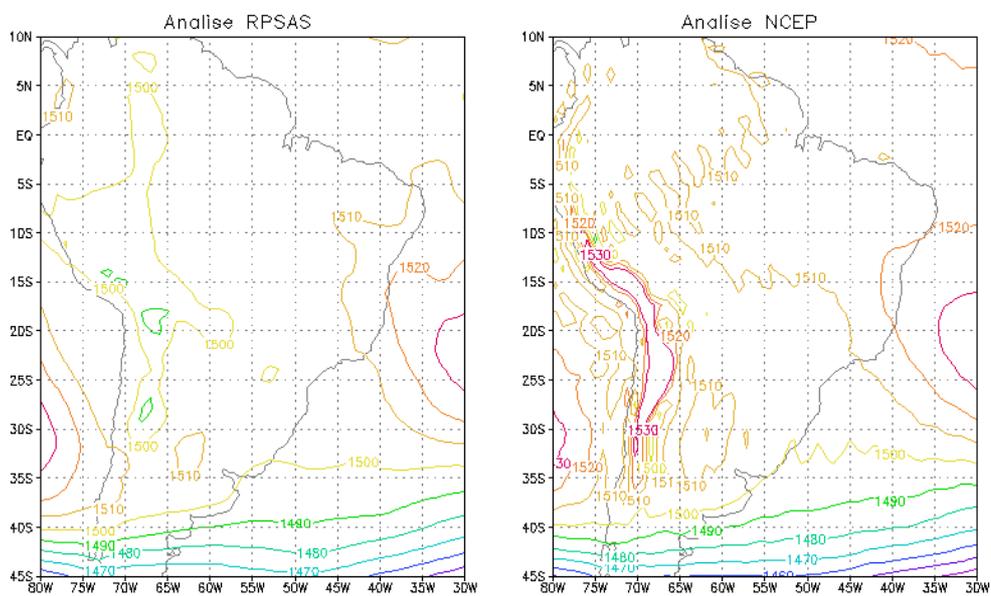


Figura 15 - Média da Altura Geopotencial a 250 hPa.

## 7. Conclusão

A avaliação destes campos e índices estatísticos da pressão ao nível médio do mar e altura geopotencial derivados da análise do RPSAS como condição inicial do modelo Eta do CPTEC permitiu que concluíssemos que a análise objetiva gerada pela assimilação de dados em modelo regional de previsão de tempo usando sistema estatístico em espaço físico é válida e de boa qualidade, podendo gerar previsões de tempo melhores ou semelhantes às previsões obtidas com a execução do modelo com análises do NCEP. E a introdução de um sistema de assimilação de dados com conhecimento de seus impactos sobre a análise e previsão numérica de tempo é de grande relevância para o CPTEC porque, além de dar independência ao centro na geração de uma análise própria, trará benefícios diretos na qualidade da previsão de tempo gerada no centro, também permitirá abrir uma nova linha de pesquisa para a América do Sul, com intensa colaboração internacional. As análises de boa qualidade são importantes para gerar previsões de tempo melhores e para avaliá-las.

## 8. Referências:

BLOOM, S.C., TAKACS, DA SILVA, A., L.L., LEDVINA, D., 1996 – Data Assimilation Using Incremental Analysis Updates Version 1. - Laboratory for Atmospheres, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.

HOLTON, J. R., 1992 – “An Introduction to Dynamic Meteorology” - 3<sup>rd</sup>. Ed. – Academic Press – 511 pags.

CINTRA, R. e ARAVÉQUIA, J.A., 1998 - Apresentação do Método de Geração de Dados para a Assimilação do Modelo ETA/CPTEC - X Congresso Nacional de Meteorologia.

PFAENDTNER, J., BLOOM, S., LMICH, SEABLUM, N, SIENKIEWICZ, J. STOBIE, DA SILVA, A, 1995 - Documentation of the Goddard Earth Observing System (GEOS) Data Assimilation System - Version 1. NASA. Tech. Memo. No. 104606, Vol4, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 10771.