



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-11482-TDI/956

**ANÁLISE DO PROCEDIMENTO DE ASSIMILAÇÃO DE
SONDAGENS DERIVADAS DE SATÉLITES E DE SEU IMPACTO
NA PREVISÃO DE TEMPO UTILIZANDO UM SISTEMA
ESTATÍSTICO EM ESPAÇO FÍSICO**

Sérgio Henrique Soares Ferreira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. José Paulo Bonatti, aprovada em 26 de setembro de 2003.

INPE
São José dos Campos
2004

551.XXX

FERREIRA, S. H. S.

Análise do procedimento de assimilação de sondagens derivadas de satélites e de seu impacto na previsão de tempo utilizando um sistema estatístico em espaço físico / S.H.S.Ferreira. – São José dos Campos: INPE, 2003.

117p. – (INPE-11482-TDI/956).

1.Sistemas de assimilação de dados. 2.Análise numérica. 3.Previsão numérica do tempo. 4.Modelos atmosféricos. 5.Modelos atmosféricos de circulação geral. 6.Sondagens por satélites. 7.Observações por satélites. 8.Análise de erro. Análise estatística. I.Título.

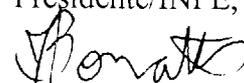
Aprovado pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia.

Dr. Prakki Satyamurty



Presidente/INPE, SJCampos-SP

Dr. José Paulo Bonatti



Orientador/INPE, Cachoeira Paulista-SP

Dr. Luiz Augusto Toledo Machado



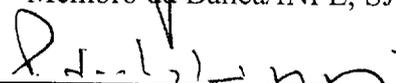
Membro da Banca/INPE, Cachoeira Paulista-SP

Dr. Nelson Jesus Ferreira



Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



Membro da Banca
Convidado IAG/USP, São Paulo-SP

Candidato: Sérgio Henrique Soares Ferreira

São José dos Campos, 26 de setembro de 2003.

*Ao meus pais PAULO e MARILENA
e a minha esposa NEUZA*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram na realização deste trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. José Paulo Bonatti, pela orientação e apoio.

Ao presidente da banca examinadora Dr. Prakky Satyamurti e demais membros, pelas revisões e sugestões dadas.

A todos os integrantes do grupo de assimilação de dados, pelo apoio e conhecimento compartilhado.

A Jonas Noboru Tamaoki pela ajuda na depuração do sistema PSAS e na utilização do software dbx.

Ao pessoal do grupo de operação de supercomputação, que auxiliou nas rodadas do PSAS e na manipulação dos arquivos em fita magnética.

Ao pessoal do grupo de suporte, pelo apoio na instalação e configuração de softwares necessários a este trabalho.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

RESUMO

A maioria dos estudos de impacto de sondagens de satélites, tem mostrado que estes dados são de grande importância para a melhoria das análises e previsões do tempo, sobretudo no Hemisfério Sul, onde existe uma menor cobertura por outros tipos de dados. Existem diferentes métodos de assimilação e diferentes modelos que podem ser utilizados para este estudo. Neste trabalho foi utilizado uma adaptação do esquema de assimilação do espaço físico *Physical-space Statistical Analysis System* (PSAS) desenvolvido pelo Data Assimilation Office (DAO) da NASA ao Modelo Global do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), a qual denominamos GPSAS. Este sistema foi utilizado para produzir análises e previsões com diferentes conjuntos de dados. Em um dos conjuntos utilizados, foram incluídos os dados de sondagens de satélite derivados do *Advanced TIROS Operational Vertical Sounder* (ATOVS); no outro estes dados foram omitidos. As diferentes análises e previsões são então comparados com as análises do *National Centers for Environment Prediction* (NCEP), para o Hemisfério Norte e Sul, para a região Antártica e para a América do Sul. Também é realizado uma análise computacional do próprio PSAS, com relação ao processamento de ATOVS. Os resultados confirmam que os dados de ATOVS produzem melhorias nas previsões do tempo no Hemisfério Sul. Também foi observado que melhorias nos resultados podem ser obtidas através de ajustes de coeficientes e processos do sistema GPSAS.

**ANALYSES OF THE SATELLITE SOUNDING DATA ASSIMILATION
PROCESS AND THE IMPACT ON WEATHER FORECAST USING A
PHYSICAL-SPACE STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM**

ABSTRACT

Many studies on evaluation of the impact of satellite sounding on forecasts, made by different institutions around the World, have shown that this kind of data are very important to improve the quality of weather forecasting in Southern Hemisphere. There are many methods of data assimilation and models of weather forecasting. In this study we used an adaptation of the Physical-Space Statistical Analysis System (PSAS), developed by Data Assimilation Office (DAO of NASA) with the Global Model of “Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos” (CPTEC), which is designated GPSAS. This system was used to produce analyses and forecasts with two different data sets, one of these includes satellite sounding derived by Advanced TIROS Vertical Sounder (ATOVS). The two set of analyses and forecasts are then compared with the analysis of the National Centers for Environment Prediction (NCEP) for different areas that included the Southern and Northern Hemispheres and regions around the Antarctic and South America. The GPSAS software itself, where the ATOVS data is processed, is also analysed. The results show that ATOVS data improve the quality of weather forecasting in the Southern Hemisphere. It is also observed that quality improvements can be obtained through adjustments of the coefficients and process of the GPSAS system.

SUMÁRIO

Pag

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 2	HISTÓRICO	25
CAPÍTULO 3	VISÃO GERAL DO SISTEMA	29
3.1	Dados Observacionais Assimilados	31
CAPÍTULO 4	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PSAS	37
4.1	Formulação básica do sistema.....	37
4.2	Determinação dos Erros de Previsão	39
4.2.1	Erros de Altura Geopotencial.....	39
4.2.2	Erros de previsão de ventos	42
4.2.3	Erros de Previsão de Umidade	43
4.3	Estatística de Erros das Radiossondagens.....	44
4.4	Estatística de Erros dos Dados Reconstituídos do TOVS.....	45
CAPÍTULO 5	ALGUNS ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	47
5.1	Uma Visão Geral da Estrutura do PSAS.....	48
5.2	Ancoragem dos Dados ATOVS no <i>First-guess</i>	51
5.2.1	Modificações na Rotina de Ancoragem	54
5.3	Eliminação dos Erros Sistemáticos (BIAS)	57
CAPÍTULO 6	COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE ATOVS E RADIOSSONDA	59

6.1	Seleção dos Dados de ATOVS e Radiossonda	59
CAPÍTULO 7 PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DAS ANÁLISES		67
7.1	Configurações e Testes do Sistema.....	67
7.2	Avaliação Estatística Preliminar	69
7.2.1	Avaliação Geral por Camada e para Assimilação com e sem TOVS	70
7.2.2	Avaliação de Erros Sistemáticos na Assimilação	72
7.3	Avaliação de Sensibilidade das Análises ao Esquema de Eliminação de BIAS	78
7.4	Avaliação de Impacto de ATOVS nas Análises	81
7.4.1	Avaliação dos Campos de Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar.....	81
7.4.2	Avaliação das Análises de Altura Geopotencial.....	84
CAPÍTULO 8 AVALIAÇÃO DO IMPACTO SOBRE AS PREVISÕES		89
8.1	Avaliação Estatística.....	89
8.2	Avaliação dos campos de PNMM e Taxa de Precipitação	95
CAPÍTULO 9 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS		99
9.1	Principais conclusões	99
9.2	Trabalhos Futuros	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		103
APÊNDICE A - ESTATÍSTICA DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS		
DO GPSAS ORIGINAL COM INCLUSÃO DE DADOS ATOVS		107
APÊNDICE B - ESTATÍSTICA DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS DO		
GPSAS SEM INCLUSÃO DE DADOS ATOVS		113

LISTA DE FIGURAS

3.1 – Ciclo de assimilação de dados e previsões do GPSAS.....	30
3.2 – Densidade de observações meteorológicas (número de observações por ponto de grade de 3x3 graus) referentes aos dados de: a) pressão reduzida ao nível do mar, b) vento em 250 hPa, c) altura geopotencial de radiossonda em 500 hPa, d) altura geopotencial de radiossonda em 10 hPa, e) altura geopotencial de ATOVS em 500 hPa, f) altura geopotencial de ATOVS em 10 hPa.	33
3.3 – Densidade de dados de geopotencial, para camada de 1000 a 20 hPa e para todos os tipos de observações (número de observações por ponto de grade de 3x3 graus) - Total geral: 100.195 observações.	35
5.1 – DFD simplificado de sistema de assimilação PSAS. Os processos 1,2,3 são realizados respectivamente pelas rotinas <i>Observer</i> , <i>Analyser</i> e <i>Simulater</i>	49
5.2 – DFD simplificado da rotina <i>Observer</i> do sistema PSAS.	50
5.3 – Esquema de ancoragem de geopotencial do TOVS para 1000 hPa. Para os níveis de 850 ou 700 hPa, diagramas semelhantes a esses são adequados.	53
5.4 – Diferença de densidade de observações de ATOVS assimilados com e sem a modificação da ancoragem (conf=0.5 com conf=1.0) para dia 21 de setembro de 2003 - 06UTC	56
5.5 – Comparação entre dados de geopotencial em 500 hPa, obtidos através de assimilação de ATOVS e análise do NCEP. Em cores: média espacial (3x3 graus) dos geopotenciais do ATOVS assimilados pelo GPSAS com modificação da ancoragem (conf=0.5). Em linhas, campos de geopotencial do NCEP. (21 de setembro de 2003 06 UTC).....	56
5.6 – Modelamento para eliminação de BIAS de alturas geopotencial para TOVS do NOAA14. As cores representam diferentes níveis isobáricos.	57
6.1 – BIAS e RMS entre alturas geopotencial obtidos por ATOVS e radiossondas para o período de 21 a 28 de setembro de 2001, no horário das 00 e 12 UTC e para: a) dados de TOVS ancorados nas radiossondas, b) dados de TOVS ancorados nos <i>first-guess</i> do Modelo Global.	62
6.2 – Diferenças médias de temperatura virtual entre ATOVS e radiossonda, calculados para período de 21 a 28 de setembro de 2001, horário das 00 e 12 UTC.....	63
6.3– BIAS de altura geopotencial entre ATOVS e radiossondas para período de 21 a 28 de setembro 2001 no nível de 100 hPa: a) para horário de 00 UTC , b) para horário de 12 UTC	65
7.1 – RMS entre observações e <i>first-guess</i> (O-F), em verde, e entre observações e análises (O-A), em marrom, para os variáveis de: a) umidade específica (g/kg), b) componente u do vento (m/s), c) alturas geopotenciais (m).	74
7.2 – RMS (O-F) de alturas geopotencial por nível isobárico (m): a) para ciclos com assimilação de ATOVS, b) para ciclos sem assimilação de	

ATOVS. Diferentes cores representam diferentes níveis isobáricos. Para definição de cores ver legenda à direita.....	75
7.3 – BIAS (O-F) de alturas geopotencial por nível isobárico para ciclos com assimilação de ATOVS, a) dados de ATOVS, b) dados de radiossonda.....	77
7.4 – Perfil vertical das diferenças médias zonais entre análises, com e sem eliminação de BIAS de TOVS, em função da latitude para o dia 23 de setembro de 2001 12 UTC: a) para temperatura virtual (°C), b) para altura geopotencial (mgp).	80
7.5 – Diferenças entre análises do GPSAS, sem e com assimilação de ATOVS, para dia 27 de setembro de 2001, após 26 ciclos de assimilação e para campos de PNMM (hPa): a) com GPSAS original (Item 7.1-b), b) com GPSAS modificado (Item 7.1-d).....	82
7.6 – Comparação de campos de análises de PNMM (hPa) entre análises do GPSAS e NCEP após 26 ciclos (27 de setembro de 2001): a) Diferenças GPSAS (Item 7.1-b) - NCEP, b) Diferenças GPSAS (Item 7.1-d) - NCEP, c) campos de PNMM GPSAS (item 7.1-b), d) campos de PNMM do GPSAS (Item 7.1-d), e) campos de PNMM do NCEP.	83
7.7 – Perfil vertical dos desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) entre análises do GPSAS com e sem assimilação de ATOVS, no caso da assimilação original (Item 7.1-b): a) BIAS, b) RMS. O intervalo entre isolinhas é de 5 mgp.....	85
7.8 – Perfil vertical dos desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) entre análises do GPSAS com e sem assimilação de ATOVS, no caso de inclusão de TOVS sobre continentes e Antártica (Item 7.1-d): a) BIAS, b) RMS. O intervalo entre isolinhas é de 5 mgp.....	86
8.1 – Skill do Modelo Global do CPTEC/COLA T062L28 com assimilação do CPTEC/GPSAS com e sem assimilação de ATOVS. a) para o Hemisfério Norte, b) para o Hemisfério Sul, c) para a América do Sul.	94
8.2 – Previsão de 5 dias do campo de pressão ao nível médio do mar (hPa) e precipitação (mm/dia) previstos pelo Modelo Global do CPTEC com análise do CPTEC-GPSAS: a) sem assimilação de ATOVS; b) com assimilação de ATOVS, incluindo Antártica e continentes (Item 7.1-d).....	96
8.3 – Pressão ao nível médio do mar (hpa) e precipitação (mm/dia): a) previsão de 5 dias do modelo global do CPTEC com análise do NCEP; b) Analise do NCEP e precipitação observada para a mesma data.	97

LISTA DE TABELAS

7.1 – Comparação entre valores de BIAS e RMS entre observações e <i>first-guess</i> (O-F) e entre observações e análises (O-A) para assimilações de altura geopotencial (m _{gp}) com a inclusão de ATOVS (seqüência 7.1-b).....	71
7.2 – Comparação entre valores de BIAS e RMS entre observações e <i>first-guess</i> (O-F) e e entre observações e análises (O-A) para assimilações de altura geopotencial (m _{gp}) sem inclusão de ATOVS (seqüência 7.1-a).....	72
8.1 – Impacto de sondagens de satélite em previsões de 48h de altura geopotencial em 500 hPa em termos de RMS dos erros das previsões (RMSE).....	91
8.2 – Impacto de sondagens de satélite em previsões de 48h de altura geopotencial em 100 hPa em termos de RMS dos erros das previsões (RMSE).....	92
A1 – Estatística de assimilação para componente Zonal do Vento (m/s) - Assimilação com inclusão de ATOVS.....	108
A2 – Estatística de assimilação para componente meridional do Vento (m/s) - Assimilação com inclusão de ATOVS.....	109
A3 – Estatística de assimilação para altura geopotencial (m _{gp}) - Assimilação com inclusão de ATOVS.....	110
A4 – Estatística de assimilação para umidade específica (g/kg) - Assimilação com inclusão de ATOVS.....	111
B1 – Estatística de assimilação para componente zonal do vento (m/s) - Assimilação sem inclusão de ATOVS.....	114
B2 – Estatística de assimilação para componente meridional do Vento (m/s) - Assimilação sem inclusão de ATOVS.....	115
B3 – Estatística de assimilação para altura geopotencial (m/s) - Assimilação sem inclusão de ATOVS.....	116
B4 – Estatística de assimilação para umidade específica (g/kg) – Assimilação com inclusão de ATOVS.....	117

LISTA DE SÍMBOLOS

- Φ - Altura geopotencial
- H - Operador genérico que interpola campos numéricos de análise ou previsão em pontos de observações
- σ - Desvio padrão
- p - Pressão atmosférica
- v - Coeficiente de correlação vertical
- u - Componente zonal do vento
- v - Componente meridional do vento
- Ψ - Função de corrente
- ψ - Latitude
- χ - Velocidade potencial
- T_v - Temperatura virtual
- \mathbf{w}^a - Matriz dos campos de análise, obtidos como a melhor estimativa do estado físico da atmosfera em um dado momento
- \mathbf{w}^f - Matriz de valores previstos do estado da atmosfera por um modelo numérico de previsão do tempo, com a finalidade de serem utilizados como base para assimilação de dados, também chamados de “*first-guess*”

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATOVS	-	Advanced TOVS
AMSU	-	Advanced MSU
BIAS	-	Desvio médio
COLA	-	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies
CPTEC	-	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DAO	-	Data Assimilation Office
ECMWF	-	European Centre for Medium-range Weather Forecasts.
GPSAS	-	Implementação do Sistema PSAS ao Modelo Global do CPTEC
GTS	-	Global Telecommunication System – Sistema através do qual são veiculados boletins meteorológicos e climatológicos, procedentes de estações de observação e centros meteorológicos que integram a OMM – Organização Meteorológica Mundial
HDF	-	Hierarchical Data Format – Formato de arquivo genérico para armazenamento de campos de dados utilizados em ciências ambientais
HIRS	-	High-resolution- Infrared radiation Sounder
JMA	-	Japan Meteorological Agency
MSU	-	Microwave Sounding Unit
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	-	National Centers for Environmental Prediction
NCSA	-	National Center for Supercomputing Applications
NESDIS	-	National Environmental Satellite, Data, and Information Service
ODS	-	Observation Data Stream – Formato de arquivos utilizados para armazenamento de dados observacionais antes e depois de análise
PNMM	-	Pressão reduzida ao nível médio do mar
PSAS	-	Physical-space Statistical Analysis System – Sistema de assimilação de dados da DAO
RMS	-	Root Mean Square - Desvio médio quadrático

- RMSE - RMS dos Erros de previsão, obtidos através de diferenças entre previsões e análises ou entre previsões e dados observacionais
- SSU - Stratospheric Sounding Unit
- TIROS - Television Infra-red Observation Satellite
- TOVS - TIROS Operational Vertical Sounder
- TPW - Total Precipitable Water – Água precipitável total estimada através de dados de satélites

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Através dos tempos, a compreensão dos fenômenos atmosféricos tem ganhado relevada importância, devido aos prejuízos materiais e de vidas humanas que o desconhecimento destes fenômenos podem ocasionar. Partindo do pressuposto que tais prejuízos podem ser minimizados, ou até mesmo evitados, grandes esforços, para melhorar a Previsão Numérica de Tempo, têm sido realizados por diversos países.

No Brasil, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) tem desenvolvido e operado os modelos Global e Regionais de previsão numérica do tempo, utilizando, como condição inicial, análises provenientes do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e, também, análises geradas com o sistema do Japan Meteorological Agency (JMA), que encontra-se em operação desde o primeiro semestre de 1995.

Mais recentemente, o CPTEC iniciou a implementação e operacionalização de sistemas próprios de análises, a partir do *Physical-space Statistical Analysis System* (PSAS), desenvolvido no *Data Assimilation Office (DAO)* do *Goddard Space Flight Center/NASA*. Atualmente, o sistema PSAS adaptado ao Modelo Regional (RPSAS) encontra-se em fase operacional (Espinosa et al., 2002). O sistema PSAS adaptado ao Modelo Global (GPSAS) está em fase de implementação operacional (Herdies et al., 2002).

Os dados, necessários para alimentar estes sistemas, abrangem uma grande diversidade de observações meteorológicas, dentre estes, os dados de sondador atmosférico ATOVS, o qual tem sido apontado, por diversos autores, como de grande importância

na melhoria das análises e previsões do tempo, sobretudo no Hemisfério Sul, onde existe uma menor cobertura de outros tipos de dados (Ohring, 1979).

Desta forma, este trabalho possui dois enfoques principais: O primeiro compreende uma análise de aspectos computacionais de implementação do GPSAS, incluindo uma análise do próprio código e procedimentos, nas partes relativas à assimilação do ATOVS. O segundo, um estudo do impacto de dados do ATOVS na qualidade das análises e previsões do tempo produzidas com estes sistemas.

Inicialmente, planejava-se concluir a implementação e todos os ajustes necessários do GPSAS, em curto espaço de tempo, para então proceder os testes de impacto dos dados de satélites. Contudo, esta fase de implementação foi bem mais complexa do que se previa, requerendo grande parte do tempo e esforço do trabalho. Foi necessário um extenso trabalho computacional, que envolveu, entre outras atividades, a depuração e correção do código computacional, a realização de diversas rodadas de testes do sistema e análise dos resultados. Estas atividades tiveram apoio e colaboração de pesquisadores e funcionários do CPTEC e do DAO, sem os quais não seria possível concluir esta etapa.

A etapa final deste trabalho foi o estudo de impacto dos dados de ATOVS, através da comparação entre resultados de previsão, os quais foram obtidos através de análises geradas com e sem a inclusão de dados de ATOVS.

Os dados empregados para este estudo correspondem a um conjunto de dados observacionais globais, previamente preparados e cedidos pelo DAO, e que compreende o período de 21 a 28 de setembro de 2001.

A seguir é apresentado um breve histórico do desenvolvimento do sistema de análise e dos sondadores atmosféricos, até a fase do ATOVS.

No Capítulo 3 é apresentado uma visão geral do processo de assimilação e previsão do tempo e das características de distribuição dos dados observacionais utilizados.

No Capítulo 4 tem-se as características do sistema PSAS, incluindo a formulação básica e a formulação dos erros de previsão e dos dados observacionais e análises.

No Capítulo 5 são abordados aspectos de implementação e de adaptação do GPSAS, relativos à preparação dos dados observacionais, onde o principal enfoque é o tratamento dos dados ATOVS pelo sistema, dando início a questão do tratamento de erros sistemáticos de observação e análise.

No Capítulo 6 é realizado um estudo comparativo entre dados de radiossondas convencionais e dados de ATOVS, a fim de melhor diagnosticar as características dos erros de observação.

O Capítulo 7 aborda o estudo de impacto dos dados ATOVS sobre as análises e previsões obtidas a partir do GPSAS.

No Capítulo 8, analisa-se o impacto sobre as previsões e, finalmente, no Capítulo 9, são apresentadas as conclusões.

CAPÍTULO 2

HISTÓRICO

A primeira previsão numérica do tempo operacional, iniciou-se nos Estados Unidos em meados de 1955, empregando um computador IBM 701. Para estas primeiras previsões, as análises das cartas meteorológicas eram feitas de forma tradicional (subjetiva), para depois serem lidas em ponto de grade. Pouco tempo depois, em abril de 1956, os dados passaram a serem preparados em sistema de análise objetiva (Fleming, 1996). As primeiras análises correspondiam a métodos de interpolação dos dados observacionais, que eram considerados desprovidos de erros e, assim, transpostos para pontos de grade. De fato, a qualidade dos dados procedentes do sistema de comunicação eram pobres, com muitos tipos de erros, e grande deficiência de informações em regiões remotas e oceânicas.

Atualmente, os sistemas de análise objetiva evoluíram para os sistemas de assimilação de dados (DAS), onde previsão numérica e dados observacionais são combinados, a fim de produzir uma análise mais realista do estado da atmosfera. Gandin (1965) foi um dos primeiros autores a combinar previsão do tempo com dados observacionais, através de um método de assimilação de dados, baseado em interpolação ótima, para variáveis independentes. Tal método foi estendido por Ruterford (1972), para uma análise que considera o balanceamento físico entre geopotencial e vento (análise multivariada). Uma análise estatística tridimensional é também apresentado por Lorenc (1981), para o modelo do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF).

Mais recentemente, Joiner e da Silva (1998) descrevem a análise estatística de espaço físico (PSAS). Tal sistema, também utiliza análise multivariada para geopotencial e vento. Uma das características é a sua flexibilidade no tratamento de diferentes tipos de

informações, assim como um método eficiente de simplificação das matrizes de correlação dos erros estatísticos, que será abordado no capítulo 4.

Com relação aos dados observacionais, grandes esforços tem sido feito no sentido de se intensificar o uso dos dados derivados dos satélites. Dentre estes, os procedentes dos sensores TOVS – TIROS Operational vertical sounder, tem merecido a atenção de muitos autores, desde o início do programa em 1969. Nesta época os primeiros trabalhos foram obtidos com o sensor *Satellite Infrared Radiation Spectrometer* (SIRS) com 7 canais na faixa do CO₂ e o *Infrared Radiation Interferometer Spectrometer* (IRIS), ambos, abordo do NIMBUS-3. Através de dados de radiâncias, medidas por estes sensores, foram obtidos os primeiros perfis verticais de temperatura da atmosfera para o caso de céu limpo (Smith, 1991).

O processo de cálculo destes perfis envolve a solução inversa de equação de transferência radiativa. Trata-se de um problema “mal-posto”, onde, para que haja uma solução única, torna-se necessário informações adicionais, normalmente procedentes de modelos de previsão (Eyre, 2001). Os perfis de temperatura e umidade são usualmente chamados de *retrievals*.

Em 1979, um grande passo foi dado com os satélites da série TIROS. O TOVS é composto pelo sensores *High-resolution- Infrared Radiation Sounder* (HIRS), o *Microwave Sounding Unit* (MSU) e o *Stratospheric Sounding Unit* (SSU). O HIRS, com 20 canais espectrais, é utilizado para o cálculo do perfil vertical de temperatura para as regiões sem cobertura de nuvens. O MSU permite obter informações em áreas de céu encoberto, porém, apresenta apenas 4 canais espectrais, possuindo assim uma baixa resolução (English, 1999).

Em 1998 é lançado o NOAA15 e a bordo, o novo sensor ATOVS (Advanced TOVS), que tem como característica principal o chamado AMSU (Advanced MSU) e que permite a obtenção de perfis de temperatura e umidade com 20 canais de resolução.

O presente trabalho teve início em meados de 2001, com objetivos de avaliar o impacto dos dados de TOVS, procedentes dos satélite NOAA14 sobre as previsões numéricas de tempo. Contudo, o CPTEC deixou de receber os dados globais de TOVS, através do Global Telecommunication System (GTS), em dezembro de 2000. Em contrapartida foram disponibilizados pelo DAO uma série de 6 dias de dados observacionais, entre estes, os *retrievals* de ATOVS processados pela NESDIS e obtidos a partir das radiâncias dos satélites NOAA 15,16 e 17.

CAPÍTULO 3

VISÃO GERAL DO SISTEMA

Dados meteorológicos correspondem a estimativas do estado da atmosfera em determinados pontos e para determinados instantes de tempo. Previsões numéricas de tempo, de curto prazo, também são estimativas do estado da atmosfera para determinado instante, porém na forma de pontos de grade regularmente espaçados, para cada uma das variáveis meteorológicas. Partindo do pressuposto que as incertezas das estimativas associadas aos dados observacionais e as previsões numéricas são conhecidos, o sistema PSAS combina estas informações, para produzir uma melhor análise do estado da atmosfera, que constituem as condições iniciais para os próprios modelos numéricos de tempo. Este é, portanto, um processo cíclico, que, a cada novo ciclo, uma previsão curta e um conjunto de dados observacionais são utilizados para produzir as próximas previsões do tempo.

O sistema GPSAS corresponde a uma adaptação do sistema PSAS ao modelo global do CPTEC. Nesta implementação, o Modelo Global do CPTEC fornece previsões curtas de 6 horas, normalmente chamada de *first-guess*. Antes de serem utilizada pelo GPSAS, estas previsões, que estão em forma de coeficientes espectrais, são convertidas para campos de geopotencial, temperatura virtual, umidade específica e vento em níveis sigma e gravados em formato HDF (Hierarchical Data Format). O HDF é um formato genérico para dados científicos, desenvolvido pelo *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA, 2003), utilizado pelo GPSAS, tanto para leitura, quanto gravação de campos. Os dados observacionais também são previamente preparados, conforme o tipo de observação e gravados em outro formato específico, que é o ODS (*Observation Data Stream*), descrito por Redder e da Silva (1995).

O ODS é um formato desenvolvido pelo DAO para representar dados observacionais nos pontos de observação.

A Figura 3.1 ilustra o fluxo de dados no ciclo de assimilação e previsão do tempo com GPSAS. Os símbolos, nesta Figura, seguem a representação convencional adotada em programação estruturada moderna (Yourdon, 1992), onde os círculos representam os processos e as barras paralelas representam os repositórios de dados (arquivos em disco).

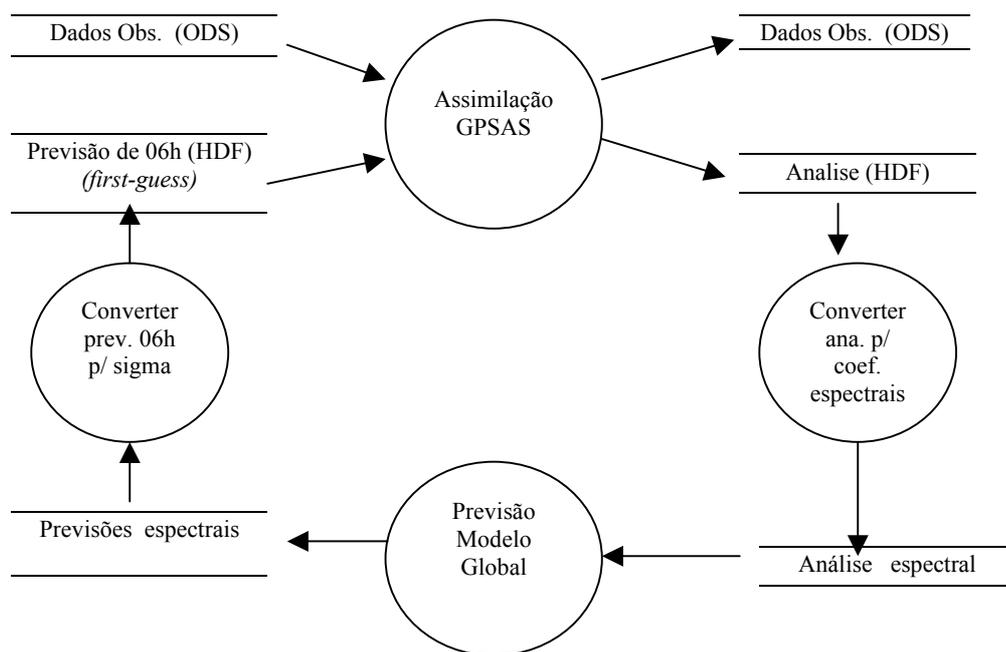


FIGURA 3.1 – Ciclo de assimilação de dados e previsões do GPSAS.

De acordo com a Figura 3.1, o processo de assimilação do GPSAS “lê” o conjunto de dados observacionais de arquivos ODS e uma previsão de 06 h (*first-guess*) de um arquivo HDF. São fornecidos por este processo, dados observacionais “pós-assimilados” em arquivos ODS e os resultados das análises, em coordenadas sigma, em arquivos HDF. Na seqüência, as análises são convertidas para forma de coeficientes espectrais, para posteriormente serem utilizadas no processamento das previsões do tempo, pelo Modelo Global. As previsões geradas, na forma de coeficientes espectrais, representam o conjunto de arquivos, que vão desde a previsão de 06 horas (*first-guess*), às previsões úteis para vários dias consecutivos. Para finalizar o ciclo, o *first-guess*, em coeficientes espectrais, são convertidos para campos em coordenadas sigma e gravados em arquivo HDF, para ser utilizado no próximo ciclo de assimilação.

Nota-se que, os dados observacionais assimilados constituem o único conjunto de dados externo ao ciclo. Todos os demais são produzidos internamente, exceto no primeiro ciclo de assimilação, onde, além dos dados observacionais, utiliza-se um *first-guess* externo.

Este *first-guess* externo, utilizado para inicializar o GPSAS, correspondeu a uma previsão de 06 horas do Modelo Global, produzida a partir de análise do NCEP, para dia 21 de setembro de 2001 (00 UTC). Os dados observacionais, utilizados em cada ciclo, são descritos a seguir.

3.1 Dados Observacionais Assimilados

Os dados observacionais utilizados neste trabalho são oriundos das diversas estações meteorológicas convencionais de superfície e altitude, móveis ou fixas, e informações derivadas de satélites, previamente preparados e fornecidos pelo DAO. Em superfície, são utilizados valores de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) em todos os

pontos de observação e vento somente sobre os oceanos. Em altitude são utilizados dados de altura geopotencial, temperatura virtual, umidade e vento. Também, são utilizados informações de água precipitável estimada por satélite (TPW). Os dados derivados dos ATOVS são assimilados na forma de altura geopotencial.

Estes dados correspondem ao período de 21 a 27 de setembro de 2001. A Figura 3.2 apresenta alguns exemplos de densidade de dados (número de informação por pontos de grade de 3 x 3 graus de latitude / longitude), por níveis isobáricos e para o dia 21 de setembro de 2001 12 UTC. Informações de PNMM, procedentes de mensagens SYNOP e SHIP são apresentadas em 3.2-a. Informações de vento no nível de 250 hPa, as quais, em sua maioria, são fornecidas por aeronaves, são apresentados em 3.2-b. Altura geopotencial fornecidos por radiossondagens para o nível de 500 hPa são apresentados na Figura 3.2-c, e para nível de 10 hPa em 3.2-d. Alturas geopotenciais, derivadas dos dados de ATOVS, são apresentadas em 3.2-e para o nível de 500 hPa e, em 3.2-f para 10 hPa.

Comparando-se os dados de geopotenciais fornecidos por ATOVS com radiossonda em 500 hPa (Figuras 3.2-c e 3.2-e), verifica-se que os ATOVS representam um total de 4795 contra 625 observações de radiossonda. Em 10 hPa (Figuras 3.2-d e 3.2-f) o número de ATOVS se mantém, enquanto as radiossondas decaem para 180 observações. Portanto, os ATOVS apresentam cobertura bem maior e bem mais homogênea, tanto na vertical quanto nos níveis horizontais. No Hemisfério Sul o ATOVS constitui praticamente a única informação disponível em altos níveis da estratosfera (10hPa).

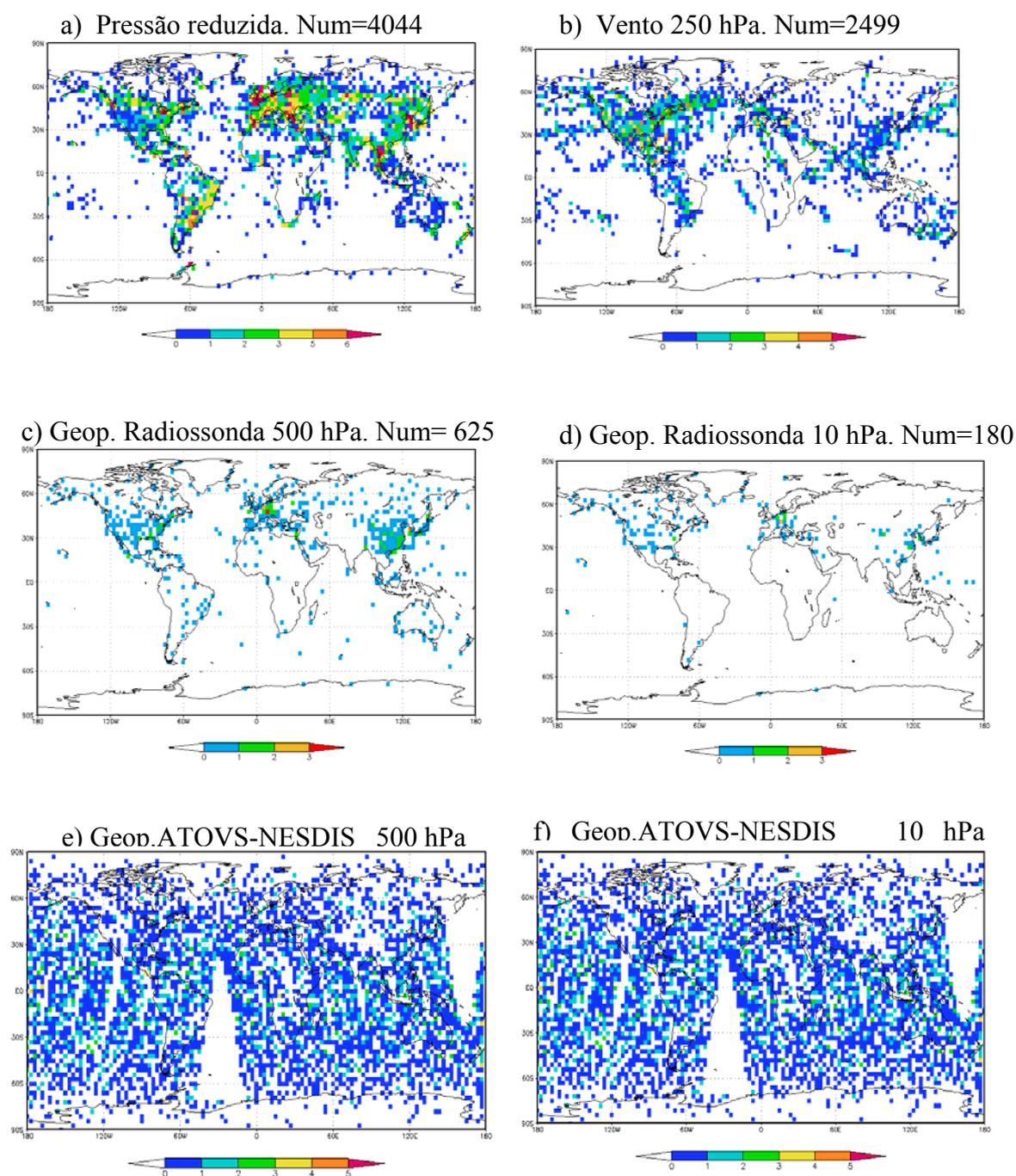


FIGURA 3.2 – Densidade de observações meteorológicas (número de observações por ponto de grade de 3x3 graus) referentes aos dados de: a) pressão reduzida ao nível do mar, b) vento em 250 hPa, c) altura geopotencial de radiossonda em 500 hPa, d) altura geopotencial de radiossonda em 10 hPa, e) altura geopotencial de ATOVS em 500 hPa, f) altura geopotencial de ATOVS em 10 hPa.

Além da cobertura de dados apresentadas na Figura 3.2, são utilizados outros tipos de informações, em níveis baixos e médios da troposfera, tais como os ventos obtidos por satélites. A Figura 3.3 apresenta a densidade de observações utilizadas, sem distinção de tipo ou camada para o dia 21 (12 UTC). Através desta figura verifica-se um total de 15 a 30 observações na maioria dos pontos, principalmente sobre os oceanos, onde é predominante a cobertura de dados de ATOVS. As áreas com maior quantidade de dados se encontram sobre a América do Norte, Europa e Este da China, onde a cobertura de dados atinge 80 dados por ponto de grade. Esta maior cobertura é decorrente do grande número de estações de superfície e radiossondagens sobre estas regiões.

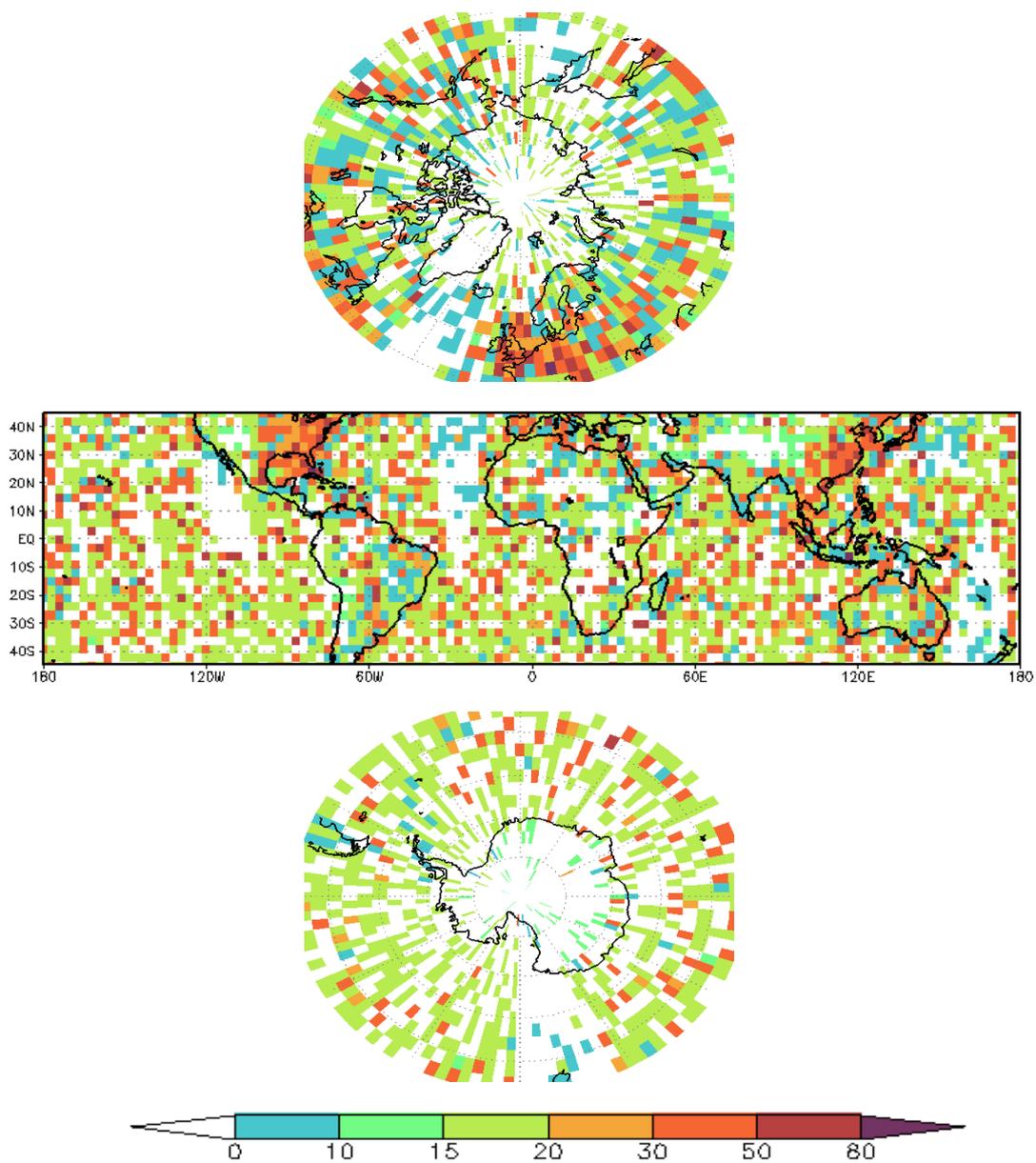


FIGURA 3.3 – Densidade de dados de geopotencial, para camada de 1000 a 20 hpa e para todos os tipos de observações (número de observações por ponto de grade de 3x3 graus) - Total geral: 100.195 observações.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PSAS

4.1 Formulação básica do sistema

As características do PSAS aqui descritas são baseadas em da Silva et al. (1998) e correspondem a implementação do GEOS-2 PSAS no DAO/NASA. Maiores detalhes de implementação podem ser encontrados em Guo et al. (1998) e Larson et al. (1998).

Em princípio, o processo de assimilação de dados do PSAS, consiste em um algoritmo que combina previsões de um modelo numérico, para um determinado instante, com dados observacionais, para o mesmo instante, afim de se obter uma melhor estimativa do estado da atmosfera. Tal processo pode ser expresso de forma concisa pela equação:

$$\mathbf{w}^a = \mathbf{w}^f + \mathbf{K}(\mathbf{w}^o - \mathbf{H}\mathbf{w}^f), \quad (4.1)$$

onde a matriz \mathbf{w}^a corresponde a melhor estimativa do estado da atmosfera em um determinado instante; \mathbf{w}^f é a matriz de valores previstos por um modelo numérico de previsão do tempo, como uma estimativa provável para o estado da atmosfera; \mathbf{w}^o correspondem as observações; \mathbf{H} corresponde a um operador de interpolação generalizada; \mathbf{K} corresponde a uma matriz de ganho, que garante uma estimativa ótima do estado real da atmosfera \mathbf{w}^a , dada por:

$$\mathbf{K} \mathbf{P}^f \mathbf{H} (\mathbf{H} \mathbf{P}^f \mathbf{H}^t + \mathbf{R})^{-1}, \quad (4.2)$$

onde \mathbf{P}^f corresponde o erro estimado das observações, \mathbf{R} são erros estimados dos campos de previsão e o sobrescrito t significa a transposta. No PSAS, estas equações são rescritas da seguinte forma :

$$(\mathbf{H} \mathbf{P}^f \mathbf{H}^t + \mathbf{R}) \mathbf{y} = \mathbf{w}^0 - \mathbf{H} \mathbf{w}^f \quad (4.3)$$

$$\mathbf{w}^a = \mathbf{w}^f + \mathbf{P}^f \mathbf{H}^t \mathbf{y} \quad (4.4)$$

onde \mathbf{y} é um vetor intermediário, para o qual é resolvido o sistema linear da equação 4.3 e posteriormente utilizado para obtenção da análise em 4.4. Deve-se lembrar que equação 4.3 é para os pontos de observação e a 4.4 para a grade do modelo.

Na solução da equação 4.3, é empregado um algoritmo de conjugado gradiente, que consiste em um método numérico de resolução de sistemas lineares esparsos, conhecido pela sua velocidade de convergência, sendo portanto, empregado no PSAS para reduzir o esforço computacional. Maiores detalhes sobre o algoritmo de conjugado gradiente utilizado no PSAS é apresentado por Reeder e da Silva (2003).

Uma outra característica importante é a formulação dos erros de previsão e dos dados observacionais. No PSAS a estimativa da covariância dos erros é parametrizada em função de dados observados. Para as observações de superfície, estes dados correspondem a valores de pressão reduzida ao nível do mar e vento sobre oceanos. Para observações de altitudes, estes dados correspondem a altura geopotencial, vento e umidade. O geopotencial e o vento são tratados como variáveis correlacionadas

horizontalmente, o que define coeficientes de correlação multivariável. No caso da umidade, esta é tratada como uma variável independente (univariável). A seção 4.2 apresenta a formulação básica para a determinação da covariância dos erros na previsão e as seções 4.3 e 4.4 para os dados de radiossondas e para os dados reconstituídos do TOVS.

A determinação das covariâncias para os demais dados, são aqui omitidos, sem contudo prejudicar o entendimento das características básicas do PSAS.

Comparações de erros, para diferentes tipos de dados convencionais, obtidos por satélites, são apresentados por Becker et al. (1996). Diferentes abordagens para a determinação de covariância de erros são apresentadas por Dee (1995) e Dee e da Silva (1997).

4.2 Determinação dos Erros de Previsão

4.2.1 Erros de Altura Geopotencial

O modelo de covariância multivariável de erro de altura geopotencial é dado pela equação:

$$[\text{cov}]_{ij}^{(mn)} = \sigma_i^{(m)} \sigma_j^{(n)} v^{(mn)} \rho_{\text{cxc}}(r_{ij}; L^m; L^n), \quad (4.5)$$

onde v é o coeficiente de correlação vertical estimado para os erros de altura geopotencial, através das diferenças entre a previsão e radiossondagens, para múltiplos níveis. $\rho_{\text{cxc}}(r_{ij}; L^m; L^n)$ é uma função de correlação cruzada, que depende da distância horizontal (r_{ij}) e do parâmetro de comprimento de escala (L^m). Os valores de σ são os

desvios padrões das alturas geopotenciais, estimadas para todo o globo. Os subscritos (i ou j) correspondem aos pontos considerados no plano isobárico e os sobrescritos (m ou n), ao nível isobárico.

A estimativa dos erros padrões de altura geopotencial σ_j é obtido a partir dos desvios entre previsão e dados de radiossondagem e TOVS. Para isto é primeiramente obtido erros padrões com os dados de radiossondagens, para a América do Norte, conforme a equação:

$$(\sigma_j^*)^2 \approx (S_j^{RAOB})^2 - (\sigma^{RAOB})^2, \quad (4.6)$$

onde S_j^{RAOB} corresponde aos erros padrões entre observações de radiossondagens e análise (O-A) para cada ponto de grade j e nível. σ^{RAOB} são os desvios padrões dos erros de medida, ajustados sobre a América do Norte e considerados constantes sobre o globo e todos os níveis.

Como os dados de radiossonda são limitados ao Hemisfério Norte, posteriormente é feita uma generalização da 4.6 utilizando *retrievals* do TOVS. Tal generalização inicia-se com a estimativa das variâncias (O-A) dos ATOVS, utilizando-se a equação:

$$(S_j^{TOVS})^2 = (\sigma_j^*)^2 + (\sigma_u^{TOVS})^2 + (\sigma_c^{TOVS})^2 - 2x_j, \quad (4.7)$$

onde σ_c^{TOVS} , σ_u^{TOVS} são respectivamente os desvios dos erros espacialmente correlacionadas e descorrelacionadas, dos dados de TOVS (Os erros dos dados ATOVS não são considerados isotrópicos). Os valores de x_j correspondem a covariância cruzada entre os erros dos dados de TOVS e previsões nos pontos j.

Considerando σ_u^{TOVS} constante ao longo do globo, os desvios padrões das alturas geopotenciais podem ser obtidos conforme a equação 4.8

$$(\sigma_j)^2 \approx k^2 \left[(S_j^{TOVS})^2 - (\sigma_u^{TOVS})^2 \right], \quad (4.8)$$

onde k é uma constante empírica, determinada separadamente para cada nível isobárico e ajustado através dos dados de radiossondagens sobre o Hemisfério Norte. Acima de 20 hPa utiliza-se o mesmo valor de 20 hPa. Maiores detalhes sobre a determinação de k é apresentada por da Silva et Al. (1998).

Ainda é realizado uma correção de tendências (BIAS) definidas pela equação 4.9, onde uma estimativa do quadrado dos erros de previsão médio-temporal é obtida como uma simples constante $(b_f)^2$ por nível:

$$(\sigma_j^{corr})^2 = (\sigma_j)^2 + (b_f)^2, \quad (4.9)$$

Tais valores devem ser atualizados periodicamente, de preferência a cada 8 dias. Embora, os parâmetros do modelo serem robustos e não se alterarem diariamente, este sistema adaptativo é necessário, a fim de capturar os ciclos sazonais nas variâncias dos erros de previsão.

4.2.2 Erros de previsão de ventos

Na formulação da covariância multivariável de altura geopotencial e vento, separa-se os ventos, em componentes acopladas e não acopladas, com a altura geopotencial, conforme denotado pela equação:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\phi \\ v_\phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_d \\ v_d \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Onde u_ϕ e v_ϕ são os erros acoplados e u_d e v_d , os erros desacoplados. Estas duas componentes são considerados mutuamente independentes, sendo modeladas separadamente. A componente acoplada é modelada conforme a equação:

$$\begin{bmatrix} u_\phi \\ v_\phi \end{bmatrix} = \frac{g}{2\Omega} \begin{bmatrix} a_{11}(\varphi, P) & a_{12}(\varphi, P) \\ a_{21}(\varphi, P) & a_{22}(\varphi, P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Os coeficientes a_{ij} são parametrizados por :

$$a_{11} = a_{22} = \frac{-C_o^{(m)} \varepsilon_{(\varphi, P)}}{\varepsilon^2_{(\varphi, P)} + \sin^2(\varphi)} \quad (4.12)$$

$$-a_{12} = a_{21} = \frac{\sin(\varphi)}{\varepsilon^2_{(\varphi, P)} + \sin^2(\varphi)}$$

onde :

$$\varepsilon^2_{(\varphi, P)} = C_1^{(m)} \exp \left[- \left(\frac{\varphi}{C_2^{(m)}} \right)^2 \right] \quad (4.13)$$

Nota-se que $\mathcal{E}_{(\psi,p)}$, para $P = P^{(m)}$, atinge valores máximos para C_I^m no equador e decaem exponencialmente, a medida que se afasta para altas latitudes. Quando $\mathcal{E} = 0$ o modelo reduz-se à relação de balanço geostrófico. Os valores de C_o^m , C_I^m e C_2^m são constantes obtidas por regressão para séries temporais entre 24 a 48 h, a partir das previsões residuais.

A componente de covariâncias dos erros desacoplados são modelados em termos de função de corrente, conforme equação:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_d \\ \mathbf{v}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \chi}{\partial x} \\ \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial \chi}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

As funções de corrente e a potencial de velocidade são consideradas mutuamente independentes. O modelo de covariância é obtido de forma análoga ao caso das covariâncias de geopotencial, dado pela equação 4.5, onde os valores são estimados a partir dos multiníveis de altura geopotencial, com vento provenientes das informações residuais da radiossondagem e do modelo.

4.2.3 Erros de Previsão de Umidade

A covariância dos erros de umidade é univariável e horizontalmente isotrópica, modelada de forma simples através da equação:

$$[\text{cov}]_{ij}^{(mn)} = (\sigma_i^{(m)})^2 \delta(m-n) \rho_c(r_{ij}; L^m). \quad (4.15)$$

onde os desvios padrões $\sigma^{(m)}$ e as alturas de escala L^m são estimados a partir das razões de mistura observadas nas radiossondagens convencionais. O termo $\delta(m-n)$ é igual a 1 para os níveis $n = m$ e nulo nos demais casos. ρ_c corresponde a um modelo de correlação de erros em função da distância e do nível isobárico, apresentados por Guo (1998).

4.3 Estatística de Erros das Radiossondagens

Os erros de estimativa nos dados de radiossondagem são tratados como erros verticalmente correlacionados, porém descorrelacionados e isotrópicos na horizontal. Os dados de altura geopotencial, vento e umidade são estatisticamente independentes. Assim, cada uma das covariâncias univariável dos erros observacionais é modelada segundo a equação:

$$[\text{cov}]_{ij}^{(mn)} = \sigma_i^{(m)} \sigma_j^{(n)} v^{(mn)} \delta(r_{ij}) . \quad (4.16)$$

Nesta equação os desvios padrões dos erros σ , para cada um dos parâmetros observados, exceto o vento, são estimados a partir das diferenças entre observações e *first-guess* (O-F), interpolados para a localização da observação em níveis de radiossondagem. Os coeficientes de correlação vertical v são obtidos das diferenças (O-F), para múltiplos níveis de radiossondagem. O termo $\delta(r_{ij})$ é igual a 1, quando a distância horizontal r_{ij} é nula, e é igual a zero nos demais casos. Os erros de vento são estimados das diferenças O-F multivariável de altura geopotencial e vento.

4.4 Estatística de Erros dos Dados Reconstituídos do TOVS

Os erros para os dados reconstituídos do TOVS, correspondem aos dados de altura geopotencial, obtido através da estimativa de temperatura média virtual por camada, a qual depende dos perfis reconstituídos (*retrievals*) de temperatura e umidade. O PSAS trata estes erros como compostos por duas componentes. Uma componente horizontalmente correlacionada e outra, horizontalmente descorrelacionada, conforme a equação:

$$[\text{cov}]_{ij}^{(mn)} = \sigma_u^{(m)} \sigma_u^{(n)} v^{(mn)} \delta(r_{ij}) + \sigma_c^{(m)} \sigma_c^{(n)} v^{(mn)} \rho_c(r_{ij}, L^m) \quad (4.17)$$

Onde os parâmetros descorrelacionados σ_u e v_u são estimados através das diferenças (O-F), para os níveis de dados reconstituídos. As componentes correlacionadas são estimadas para níveis simples, utilizando-se as diferenças entre radiossondagens e TOVS co-localizados. Os coeficientes de correlação vertical v são estimados da mesma forma, porém para múltiplos níveis. Os termos $\delta(r_{ij})$ e $\rho_c(r_{ij}, L^m)$ são os mesmos apresentados nas equações 4.15 e 4.16.

CAPÍTULO 5

ALGUNS ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

No Capítulo 4 foram apresentados as características e aspectos teóricos do PSAS de forma concisa, sem entrar em detalhes de implementação destes sistemas. Na prática o sistema PSAS é um programa escrito, na sua maior parte, em Fortran 90, utilizando muitos módulos de programação, que juntos somam cerca de 68000 linhas de código, onde a teoria da assimilação é adaptada segundo os recursos computacionais e necessidades de otimização.

Maiores detalhes sobre a implementação do PSAS podem ser obtidos através de documentação de implementação do sistema PSAS (Larson et al., 1998). Contudo uma análise simples da estrutura do PSAS foi realizada como uma ferramenta adicional para resolver diversas questões, tais como, configuração e depuração do sistema e levantamento de aspectos importantes de implementação pertinentes ao tratamento de dados TOVS.

A metodologia empregada nesta análise correspondeu a uma inspeção cuidadosa do código do PSAS, norteado pelo fluxo principal dos dados. A partir desta inspeção foram realizados diagramas de fluxos de dados (DFD), comuns na análise estruturada moderna (Yourdan, 1992). Esta abordagem foi empregada pela necessidade de analisar, de forma consistente, as diversas partes do sistema que são efetivamente utilizadas no processamento dos dados, descartando aquelas de menor relevância para este estudo.

A seguir, é apresentado, uma visão geral da estrutura do PSAS e alguns aspectos importantes de sua implementação, relativos a preparação dos dados TOVS.

5.1 Uma Visão Geral da Estrutura do PSAS

O sistema de assimilação do PSAS pode ser visto, de uma forma geral como composto por três processos principais. O primeiro é a obtenção das diferenças entre observações e o *first-guess* (O-F). O segundo é o processo de solução da análise propriamente dita e o terceiro, o cálculo das diferenças entre Observações e Análise (O-A).

O DFD da Figura 5.1 ilustra a estrutura de primeiro nível do PSAS. Nesta figura, por exemplo, seguindo-se o fluxo dos dados de *first-guess*, em coordenadas sigma, pode-se verificar que estes entram tanto no processo de O-F, quanto no processo de análise. No processo de análise, além do *first-guess*, entram os resultados de O-F e saem os resultados de análise, que, além de serem gravados em formato HDF, são ainda utilizados para cálculo das diferenças entre observação e análise (O-A).

Examinando-se os DFDs de níveis inferiores, pode-se verificar, por exemplo, que em cada um dos três processos, os campos de *first-guess* ou análise, são convertidos de coordenadas sigma para coordenadas isobáricas, que é a forma com que, de fato, os dados estão sendo assimilados.

Aqui, não será detalhada toda a estrutura do PSAS. Restringir-se-á o estudo à algumas partes do processo de O-F, que são particularmente importantes no estudo de assimilação do TOVS.

Segundo a notação adotada no Capítulo 4, o cálculo de O-F seria representado na forma da equação 5.1

$$O - F = (\mathbf{w}^o - \mathbf{H}\mathbf{w}^f), \quad (5.1)$$

onde os termos entre parênteses são os mesmos da equação 4.1.

Na prática, para realização deste cálculo, é implementada, na rotina *Observer*, a solução de todas as questões relativas a preparação e adaptação preliminar dos dados observacionais, para então serem efetivamente obtidas as diferenças.

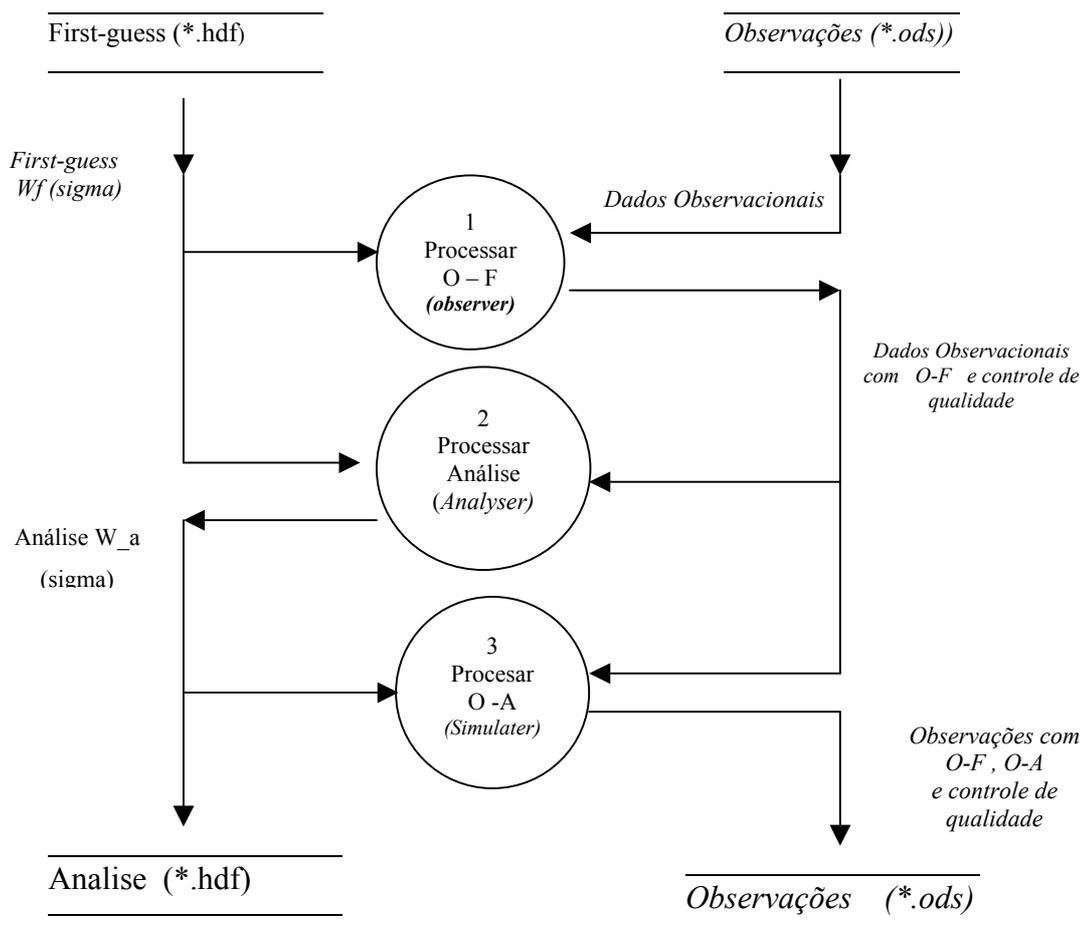


FIGURA 5.1 – DFD simplificado de sistema de assimilação PSAS. Os processos 1,2,3 são realizados respectivamente pelas rotinas *Observer*, *Analyser* e *Simulater*.

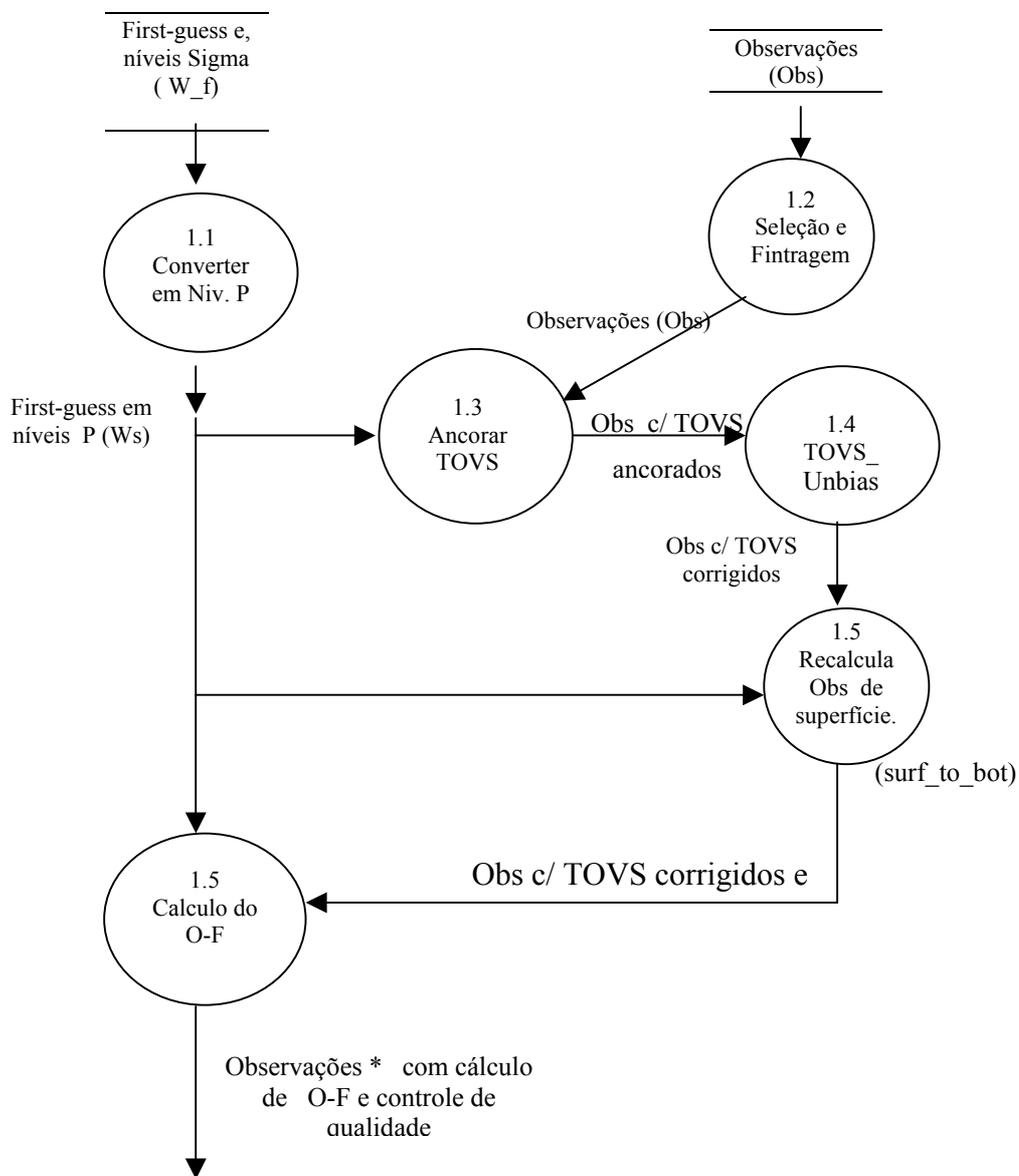


FIGURA 5.2 – DFD simplificado da rotina Observer do sistema PSAS.

O DFD de segundo nível da rotina “*Observer*” é apresentado na Figura 5.2. Nesta figura, o processo 1.1 converte os campos de *first-guess* de coordenadas sigma (W_f) para coordenadas isobáricas (W_s). O processo 1.2 corresponde a um conjunto de rotinas que permite selecionar os dados observacionais adequados para assimilação.

Após estes processos, os campos W_s e a estrutura de dados observacionais (Obs) são utilizados em processos que modificam dados observacionais específicos dentro de Obs. Os mais importantes processos a serem verificados são os que alteram os dados de TOVS, para adequá-los ao cálculo. São estes os processos de ancoragem (processo 1.3) e o de eliminação de erros sistemáticos (processo 1.4), que são abordados a seguir nos itens 5.2 e 5.3.

O processo 1.5 é aplicado apenas aos dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM), afim de convertê-los em altura geopotencial.

5.2 Ancoragem dos Dados ATOVS no *First-guess*

A atual versão do sistema de assimilação do PSAS lê, dos arquivos de dados ODS, os valores de ATOVS já na forma de alturas geopotenciais. Isto é, os dados de ATOVS, na forma em que são fornecidos ao sistema, são previamente convertidos em altura geopotencial antes de serem utilizados. Este processo de conversão é bem conhecido. A equação básica é obtida do conceito de equilíbrio hidrostático e sua solução é usualmente escrita na forma da equação hipsométrica (equação 5.2)

$$\Phi_{i+1} = \Phi_i + \frac{RT_{v(i,i+1)}}{g} \log\left(\frac{P_{i+1}}{P_i}\right) \quad (5.2)$$

onde Φ_i é altura geopotencial na coordenada isobárica, P_i . $T_{v(i, i+1)}$ é a temperatura virtual média da camada delimitada pelas coordenadas verticais P_i e P_{i+1} . O índice i indica os diversos níveis verticais $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$. Para se obter a altura geopotencial na próxima camada Φ_{i+1} é necessário, além da temperatura $T_{v(i, i+1)}$, o valor anterior Φ_i . O primeiro valor Φ_0 é a altura geopotencial no nível de pressão de referência P_0 .

No caso de radiossondagens convencionais, Φ_0 e P_0 correspondem, respectivamente, aos valores de altitude da estação e pressão barométrica à superfície. No caso dos *retrievals* de TOVS, estes valores de referência são desconhecidos e têm que ser estimados por outros meios.

Para contornar este problema, os dados de altura geopotencial de ATOVS são calculados antes de serem utilizados, tendo como níveis de referências, os níveis padrões próximos à superfície da Terra em cada localidade. A maior parte dos dados estão localizados sobre oceanos e, portanto, tem como referência o valor $P_0 = 1000$ hPa. Dependendo da topografia, P_0 pode ainda assumir os valores de 850 hPa ou 700 hPa. Em todos estes casos adota-se o valor de geopotencial $\Phi_0 = 0$. Desta forma, os valores de geopotencial do ATOVS sobre os oceanos, correspondem aproximadamente aos valores reais, porém, sobre os continentes estes valores ficam verticalmente deslocados. De qualquer forma, todos estes valores tem de ser corrigidos antes de serem assimilados.

Esta correção é realizada através de um processo de “ancoragem dos TOVS nos *first-guess*”. Este processo consiste em obter, através de interpolação dos campos de *first-guess*, novos valores Φ_0 para cada um dos *retrievals* do ATOVS. Cada valor de Φ_0 é então utilizado para recalcular os demais geopotenciais Φ_i conforme a equação

$$\Phi_i = \Phi_0 + \Delta\Phi_i, \quad (5.3)$$

onde $\Delta\Phi_i$ corresponde a cada um dos valores de geopotencial de ATOVS antes da ancoragem, considerados, nesta equação, como sendo valores de espessura entre P_0 e P_i .

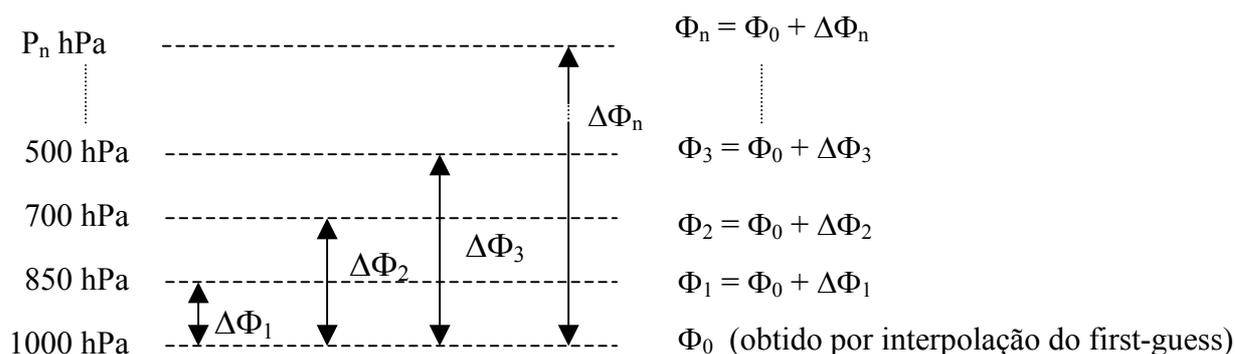


FIGURA 5.3 – Esquema de ancoragem de geopotencial do TOVS para 1000 hPa. Para os níveis de 850 ou 700 hPa, diagramas semelhantes a esses são adequados.

O esquema apresentado na Figura 5.3 foi baseado na documentação do código fonte da subrotina “TOVS_Ancor” original do sistema de assimilação do PSAS e ilustra o processo de ancoragem para o caso de $P_0=1000$ hPa .

Nota-se que erros na previsão de 6 horas no Modelo Global propagam-se, através do processo de interpolação de Φ_0 , afetando linearmente todo o perfil vertical de geopotencial do ATOVS. Pelo mesmo motivo, as diferenças entre ATOVS e *first-guess* (O-F) serão sempre nulos nos níveis de referência ou pequenos para níveis próximos à superfície, independente da qualidade dos *retrievals* ou de *first-guess* nesta camada.

Esta é, com certeza, uma das grandes desvantagens da assimilação dos dados de TOVS na forma de altura geopotencial. Uma melhor solução para esta questão está atualmente

sendo implementada no DAO e corresponde a assimilação direta da temperatura virtual, reduzindo, desta forma, a correlação dos erros do ATOVS com o *first-guess*.

Uma outra solução seria a assimilação direta dos dados de radiâncias dos ATOVS. Nesse caso, a hipótese de que as medidas são independentes e descorrelacionados com os prognósticos é mais justificáveis do que a assimilação de dados de *retrievals* (Espinoza 2001), tanto na forma de altura geopotencial quanto na forma de temperatura virtual.

5.2.1 Modificações na Rotina de Ancoragem

A interpolação do *first-guess*, para realização da ancoragem, é feita utilizando a rotina “m-insitu_mass”. Esta é uma rotina de interpolação generalizada, que além de retornar o valor interpolado, retorna um índice de confiabilidade da interpolação (conf), que assume valores entre 1 e 0.5, conforme aproximação em níveis isobáricos, ou o valor 0, quando a interpolação extrapola os limites superiores e inferiores do modelo. Na versão original a interpolação só é feita para o caso de conf=1. Nos demais casos adota-se $\Phi_0 = 0$, isto é, não é feita a ancoragem. Como resultado, a maior parte dos dados não ancorados tornam-se muito diferentes dos *first-guess*, principalmente sobre continentes e altas latitudes. Nestes casos os dados são rejeitados para a assimilação.

Para evitar que dados de TOVS sejam rejeitados pelo sistema, em decorrência do processo de interpolação, alguns testes foram feitos modificando o processo de ancoragem. Um dos testes foi a utilização do índice de confiabilidade conf=0.5.

Os resultados são apresentados na Figura 5.4, na forma de diferenças, a cada 3 graus de latitude e longitude. As áreas marcadas por tons de verde e laranja, correspondem as regiões onde a modificação da ancoragem ($\text{conf}=0.5$) apresentou resultados positivos. Estas áreas correspondem principalmente as regiões abaixo de 60S, América do Sul, Oceania e parte da Ásia, onde antes não existia assimilação de ATOVS. As áreas em branco são as que não apresentaram modificações e as áreas em tons de azul são as que apresentaram perdas. Considerando a extensão das áreas onde os ATOVS passaram a serem assimilados, em comparação com as áreas de perda, pode-se verificar, que a modificação para $\text{conf}=0.5$ representa uma melhoria significativa na cobertura de dados ATOVS.

Além da melhor cobertura, os dados ainda apresentam bons resultados quando comparados com as análises do NCEP. A figura 5.5 apresenta um exemplo comparativo destes resultados. Nesta figura, pode se verificar as semelhanças entre os dados de ATOVS (em cores) com os campos de análises do NCEP (em linhas), principalmente sobre a região abaixo de 60S.

Foram realizados outros testes com modificações na rotina de ancoragem, modificando-se o índice de confiabilidade e o próprio algoritmo de ancoragem. Estes mostraram que é possível assimilar um número muito maior de dados de TOVS, do que é atualmente assimilado. Contudo, estes testes não foram levados adiante devido a dois fatores principais: primeiro - os algoritmos modificados, implicariam na necessidade de ajustes em todo o sistema de assimilação, pois os dados gerados a partir destas modificações possuem diferentes coeficientes de correlação de erros e diferentes correções de BIAS; segundo – como dito anteriormente, uma nova versão do PSAS, com assimilação de temperatura, está sendo preparada para a substituição do atual GPSAS. Portanto, esta rotina de ancoragem deverá ser eliminada no futuro, visto que a assimilação em termos de temperatura virtual, é preferível em relação a assimilação de geopotencial.

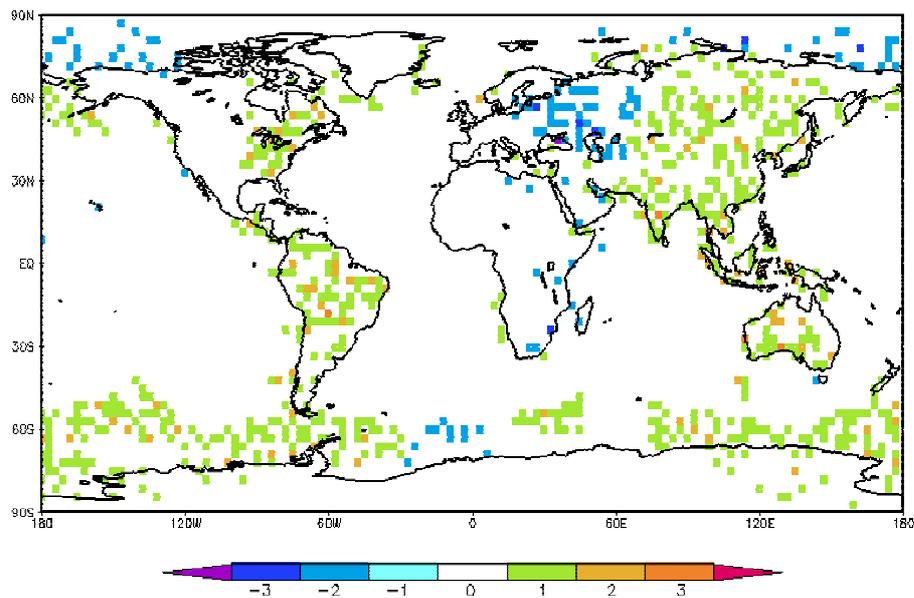


FIGURA 5.4 – Diferença de densidade de observações de ATOVS assimilados com e sem a modificação da ancoragem (conf=0.5 com conf=1.0) para dia 21 de setembro de 2003 - 06UTC .

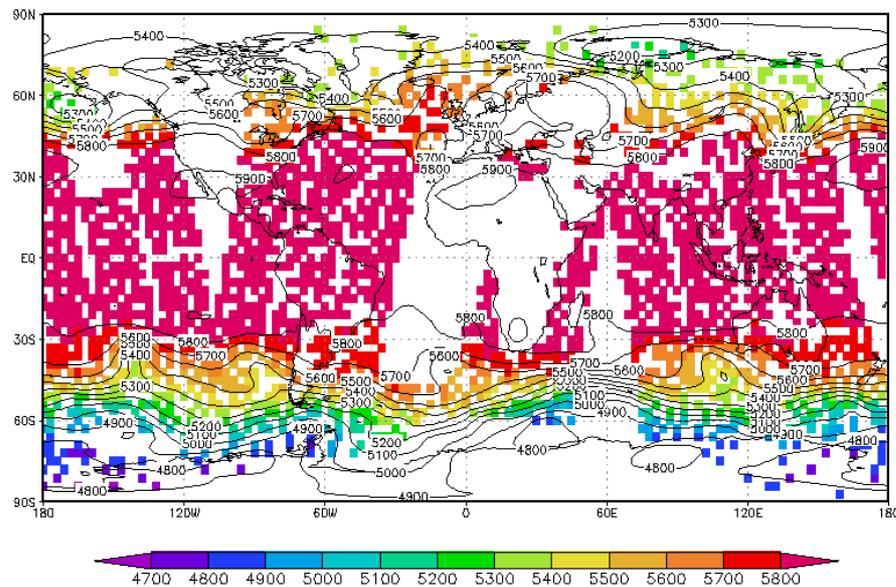


FIGURA 5.5 – Comparação entre dados de geopotencial em 500 hPa, obtidos através de assimilação de ATOVS e análise do NCEP. Em cores: média espacial (3x3 graus) dos geopotenciais do ATOVS assimilados pelo GPSAS com modificação da ancoragem (conf=0.5). Em linhas, campos de geopotencial do NCEP. (21 de setembro de 2003 06 UTC)

5.3 Eliminação dos Erros Sistemáticos (BIAS)

Os erros dos dados observacionais são supostamente decorrelacionados e não sistemáticos, isto é, sem “BIAS” de observação. Na prática, sempre há a possibilidade de existir BIAS nos dados observacionais, que portanto devem ser avaliados e se possível eliminados.

No caso dos dados de ATOVS, após processo de ancoragem, estes passam por um processo de eliminação de BIAS. Neste processo, os desvios são modelados segundo uma distribuição gaussiana, em função de níveis isobáricos e da latitude. Os coeficientes deste modelo são disponibilizados para o PSAS no arquivo “tovs.rc” e referem-se a estudos realizados para os dados TOVS do satélites NOAA 14. A Figura 5.6 apresenta estas correções.

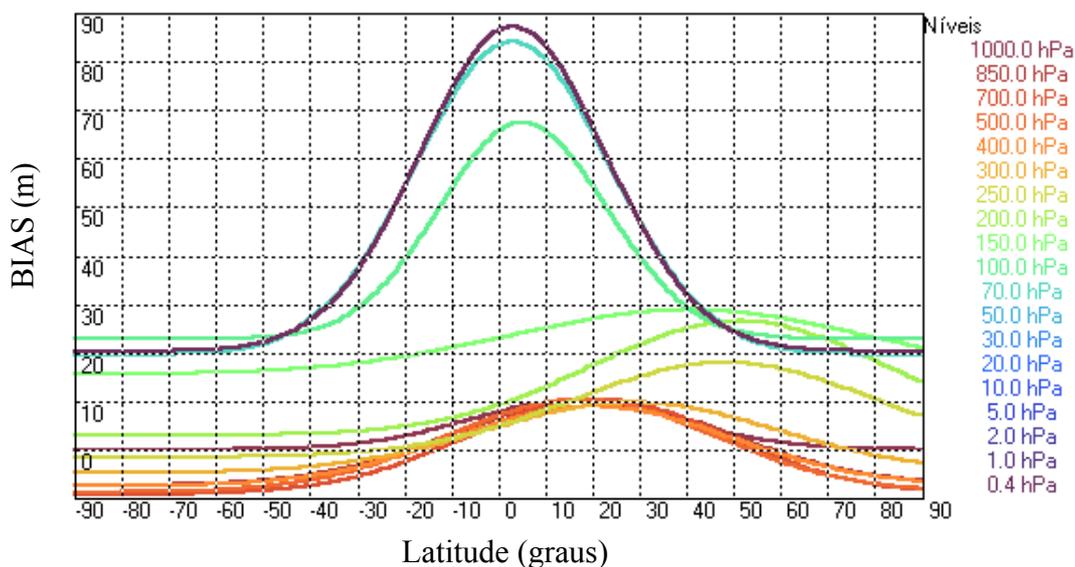


FIGURA 5.6 – Modelamento para eliminação de BIAS de alturas geopotencial para TOVS do NOAA14. As cores representam diferentes níveis isobáricos.

A Figura 5.6 representa os desvios em metros a serem subtraídos dos valores de altura de geopotencial, em função da latitude (-90 a 90). Cada curva, em diferentes cores, representa um nível isobárico distinto entre 1000 hPa a 0.4 hPa, identificados pela legenda à direita do gráfico.

Nesta figura percebe-se que este esquema de correções de BIAS produz maiores correções, a partir do nível de 100 hPa. Para este nível, os valores variam de 25 metros, nas altas latitudes, até quase 70 metros, no equador.

Várias críticas podem ser levantadas com relação a este esquema, tais como, por exemplo, o fato de considerar, que as correções de BIAS são uniformes ao longo dos círculos de latitude, ou ainda, fato de não considerar a influência de um menor número de radiossondagens no Hemisfério Sul. Contudo, a questão mais relevante, com relação a esta rotina é que esta foi preparada para os TOVS do NOAA 14 e, ao invés disto, são utilizados os satélites NOAA 15,16 e 17, para os quais não foram disponibilizados pelo DAO coeficientes atualizados para efetuar estas correções.

Desta forma, ao longo deste trabalho, foram necessários a realização de alguns testes para averiguar quais seriam os BIAS dos dados de ATOVS e se estes causariam impacto significativo sobre as análises e previsões.

CAPÍTULO 6

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE ATOVS E RADIOSSONDA

No capítulo anterior, verificou-se alguns aspectos importantes na utilização dos dados de ATOVS no sistema de assimilação GPSAS que são: a dependência de ancoragem no *first-guess* (figura 5.3), a cobertura de dados em altas latitudes e o BIAS das observações.

Estes aspectos podem afetar de forma significativa a qualidade dos dados ATOVS e, portanto, os resultados das previsões. Uma forma usual de verificar a qualidade dos dados de perfis por satélites é a comparação com os dados de radiossonda. Com este objetivo, neste Capítulo são realizadas comparações entre os dados de ATOVS, antes e depois dos processo de ancoragem, e sem a eliminação de BIAS.

O objetivo maior é o conhecer as características dos dados de ATOVS e o seu pré-processamento pelo GPSAS.

6.1 Seleção dos Dados de ATOVS e Radiossonda

Em geral, uma das dificuldades de se comparar radiossondagens convencionais com perfis obtidos por satélites é a de obter dados de radiossondagens sobre o mesmo local e horário de dados de satélites. No entanto, quando se trabalha com dados globais, esta tarefa torna-se mais fácil. Existem distribuídos pelo globo, várias estações de radiossondagens, que realizam observações em horários muito próximos ao da

passagem de satélite sobre a estação, o que permite dispensar a realização de experimentos especiais de lançamentos de balões de radiossondagens.

Desta forma, empregou-se radiossondagens procedentes do GTS nos horários de 00 e 12 UTC, disponíveis no Banco de Dados de CPTEC. Os dados de ATOVS são os mesmo utilizados em toda a pesquisa. Após identificação dos perfis de ATOVS e de radiossondagens nos mesmos locais e horários, foram realizados cálculos de desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) para os horários de 00 e 12 UTC conforme as equações 6.1 e 6.2 .

$$BIAS(O^{ATOVS} - O^{RS}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O^{ATOVS} - O^{RS})_i \quad (6.1)$$

$$RMS(O^{ATOVS} - O^{RS}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O^{ATOVS} - O^{RS})_i^2} \quad (6.2)$$

Onde O^{ATOVS} e O^{RS} correspondem respectivamente a observações de altura geopotencial dos ATOVS e dos radiossondas co-localizados e n o número de observações.

Estes cálculos comparativos foram realizados de duas formas diferentes: uma, com todos os dados ATOVS disponíveis nos arquivos ODS de entrada do GPSAS; a outra, com apenas os dados que foram assimilados e que são gravados nos arquivos ODS de saída do GPSAS.

Na primeira comparação, os dados ATOVS não são previamente ancorados. Desta forma a ancoragem do geopotencial foi feita com os dados das radiossondas, os quais correspondem aos níveis padrões mais próximo da superfície.

Na segunda comparação, os dados ATOVS foram ancorados no *first-guess* e somente os dados aceitos pelo GPSAS foram utilizados.

Os gráficos da Figuras 6.1 mostram os BIAS e RMS entre os perfis de altura geopotencial obtidos por ATOVS e radiossondas nas duas comparações. Em 6.1-a utilizou-se ATOVS com ancoragem nos dados de radiossondas e em 6.1-b ATOVS com ancoragem nos campos de *first-guess*.

Em comum, ambas as figuras mostram BIAS positivos ao longo de todo perfil vertical, sendo mais pronunciados entre os níveis de 200 e 100 hPa, onde ocorrem valores em torno de 20 metros (em torno de 30% do RMS). Note-se que em relação ao nível de 1000 hPa os valores de RMS estão relacionados ao processo de ancoragem. Por este motivo, tem-se RMS igual a zero para 1000 hPa na Figura 6.2-a. Na Figura 6.2-b, o RMS é de aproximadamente 18 metros e o BIAS é muito próximo de zero.

Deve-se lembrar que a eliminação de BIAS da seção 5.3 não foi aplicada neste caso. Caso fosse, o BIAS resultante ficaria reduzido significativamente.

Também não foram realizadas comparações acima do nível de 20 hPa devido a escassez de dados de radiossonda acima desta camada.

Uma forma conveniente de apresentar os resultados de BIAS é em termos de temperatura virtual. Reescrevendo a equação hipsométrica (equação 5.2) em termos de temperatura virtual, obtêm-se os BIAS dos TOVS para os horários 00 e 12 UTC, apresentados na Figura. 6.2.

Estatísticas verticais dos *retrievals* do ATOVS, semelhantes às apresentadas na Figura 6.2 são também obtidas pelo NESDIS e disponibilizados através do site: <http://orbit36i.nesdis.noaa.gov/graphics/vstats/> .

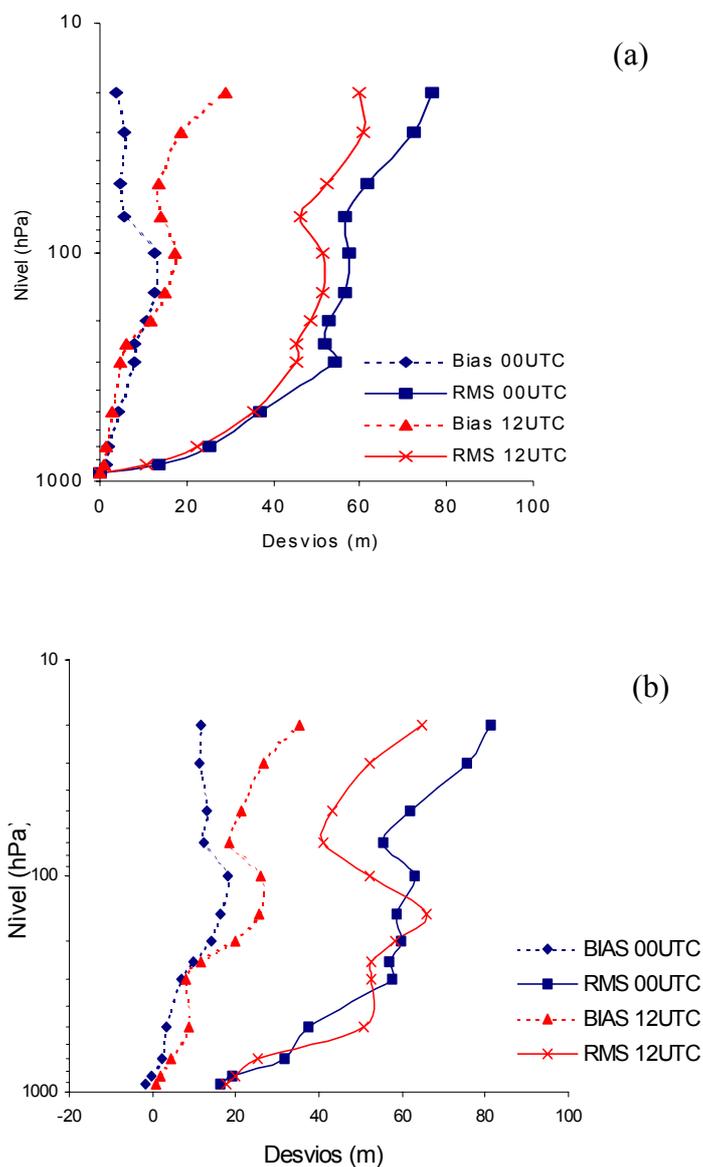


FIGURA 6.1 – BIAS e RMS entre alturas geopotencial obtidos por ATOVS e radiossondas para o período de 21 a 28 de setembro de 2001, no horário das 00 e 12 UTC e para: a) dados de TOVS ancorados nas radiossondas, b) dados de TOVS ancorados nos *first-guess* do Modelo Global.

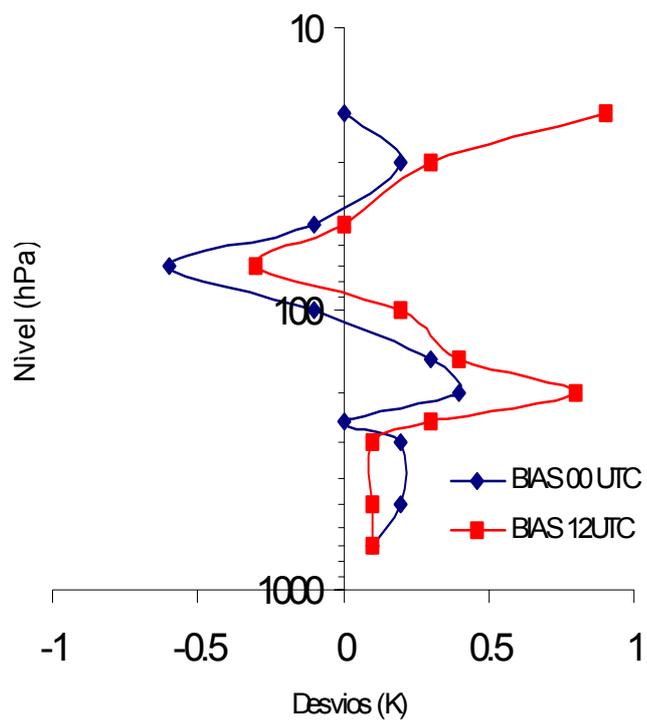


FIGURA 6.2 – Diferenças médias de temperatura virtual entre ATOVS e radiossonda, calculados para período de 21 a 28 de setembro de 2001, horário das 00 e 12 UTC.

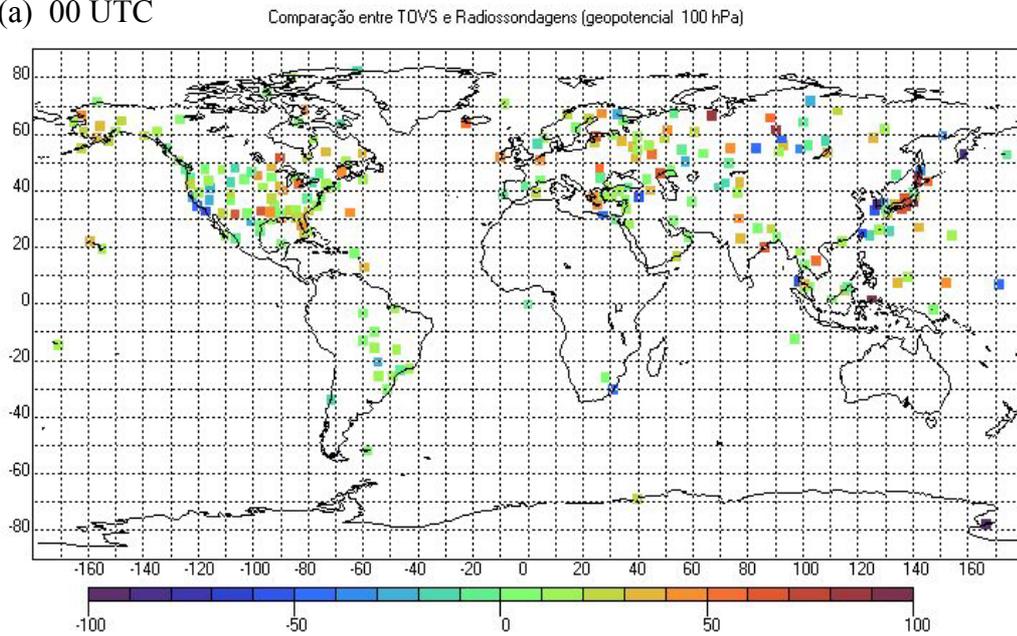
A Figura 6.3 apresenta os BIAS médios de altura geopotencial entre ATOVS e radiossondas, para cada ponto e para o nível de 100 hPa. Nesta pode-se observar os contrastes entre os valores positivos (tons de vermelho) e negativos (tons de azul), que são mais marcantes em algumas áreas do planeta do que em outras, como, por exemplo, na América do Sul, no horário das 12 UTC (Figura 6.3-b). No horário das 00 UTC (Figura 6.3-a) não são observados BIAS significativos. É interessante salientar que um sistema frontal encontrava-se estacionado sobre a América do Sul e o limite entre as áreas com BIAS negativos e positivos na Figura 6.3-b coincidem com o posicionamento do sistema frontal.

Portanto, pode ser concluir que, em comparação com as radiossondagens, os ATOVS estão superestimando e subestimando as alturas geopotenciais do nível da tropopausa nas massas de ar quente e frio respectivamente.

Em termos de altura geopotencial em 100 hPa, os maiores desvios são encontrados para as sondagens diurnas e correspondem a valores em torno de 20 metros.

Nota-se que o esquema de eliminação de BIAS do capítulo anterior não distingue sondagens noturnas de diurnas.

(a) 00 UTC



(b) 12 UTC

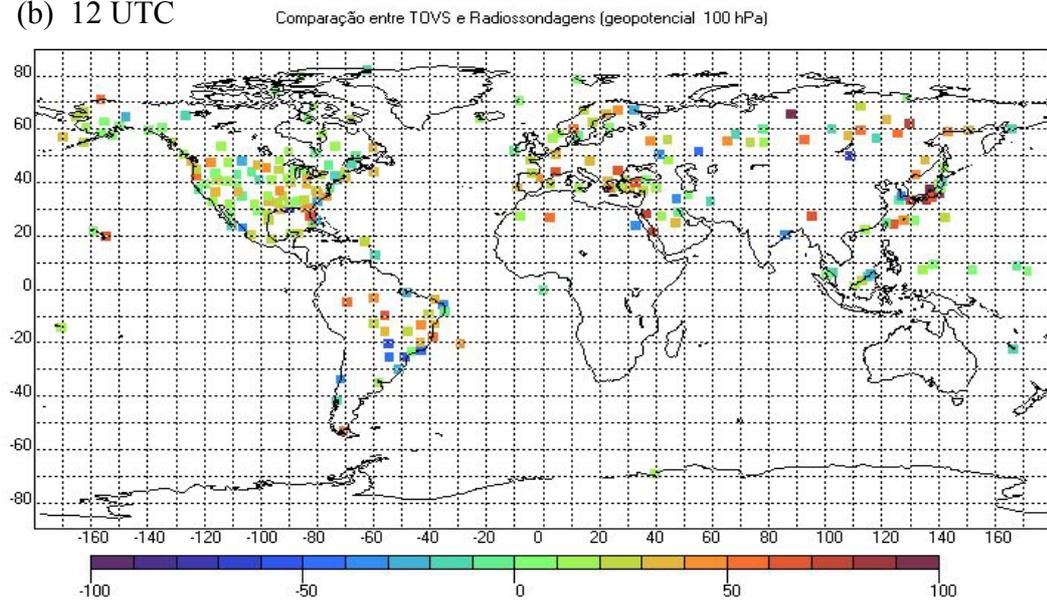


FIGURA 6.3 – BIAS de altura geopotencial entre ATOVS e radiossondas para período de 21 a 28 de setembro 2001 no nível de 100 hPa: a) para horário de 00 UTC , b) para horário de 12 UTC

CAPÍTULO 7

PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DAS ANÁLISES

Neste capítulo é desenvolvido um estudo de qualidade das análises produzidas pelo GPSAS com e sem a assimilação dos dados ATOVS. Este estudo foi realizado para o período de 7 dias compreendidos entre 21 a 27 de setembro de 2001, no qual foram enfocados questões relativas à estabilidade do sistema de assimilação, as características dos erros dos dados observacionais e dos erros do *first-guess*, utilizando análises processadas com diferentes configurações do GPSAS. Em todos os casos, o Modelo Global utilizou resolução horizontal espectral com truncamento no harmônico 62 e resolução vertical de 28 níveis (T062L28).

Ao final, são apresentados comparações entre análises do GPSAS com e sem ATOVS, sendo portanto uma avaliação preliminar de impacto de ATOVS, base para avaliação do impacto sobre as previsões, que é abordado no capítulo seguinte.

7.1 Configurações e Testes do Sistema

Durante a fase de implementação e testes do GPSAS no CPTEC foram realizados 45 seqüências cíclicas de assimilação. Deste total, quatro seqüências, obtidas com diferentes configurações, foram inicialmente selecionadas. Estas corresponderam:

- a) Primeira seqüência - Seqüência sem assimilação de dados de ATOVS, onde somente foram incluídos os dados de água precipitável obtidos por satélite (TPW) e os dados convencionais procedentes das mensagens SYNOP, SHIP,

BUOY, TEMP, PILOT e AIREP. Não foram incluídos dados METAR e os dados de QuickScat, por estarem indisponíveis no CPTEC no período de estudo deste trabalho.

- b) Segunda seqüência - Seqüência onde, além dos dados do item “a”, inclui-se dados ATOVS, assimilados sem restrições de camadas e utilizando a versão original do DAO implementada no CPTEC.

- c) Terceira seqüência - Com inclusão de TOVS, (ATOVS NESDIS) e demais dados utilizados nas seqüências anteriores, porém nestas foram introduzidas as modificações de ancoragem e o esquema de eliminação de BIAS descritos no Capítulo 5 (item 5.3). Comparativamente, esta seqüência apresenta uma cobertura de ATOVS maior que a anterior, abrangendo melhor as regiões continentais e a Antártida.

- d) Quarta seqüência - Similar a terceira, apresenta a mesma cobertura de dados de ATOVS sobre a Antártida e continentes, porém, neste caso, não foi utilizado o esquema de eliminação de BIAS, visto que, este adota coeficientes ajustados para TOVS do NOAA14 e portanto desatualizados.

Basicamente, este estudo de impacto deveria empregar somente as análises sem e com assimilação dos itens “a” e “b”. As seqüências do itens “c” e “d” surgiram em virtude da necessidade de avaliar a sensibilidade do sistema à possíveis erros sistemáticos e também para avaliar o impacto da assimilação de ATOVS em altas latitudes.

7.2 Avaliação Estatística Preliminar

Teoricamente falando, uma análise ótima é obtida quando todos os erros associados aos dados observacionais e os campos do modelo, têm médias nulas. Uma outra característica é que os campos de análises produzidos sejam melhor ajustados aos dados observacionais do que ao *first-guess* utilizado.

Desta forma, a metodologia empregada nesta avaliação foi baseada em cálculos dos desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) entre valores de observação e *first-guess* (O-F), ou entre observações e análise (O-A), conforme equações 7.1 e 7.2 para (O-F) e equivalente para (O-A):

$$BIAS(O - F) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O - F)_i \quad (7.1)$$

$$RMS(O - F) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O - F)_i^2} \quad (7.2)$$

Onde os valores de O-F e O-A são previamente calculados e fornecidos pelo sistema GPSAS, que, conforme descritos no Capítulo 5, processa estes valores de O-F e O-A, para cada uma das “*n*” observações assimiladas, excluindo-se aquelas “consideradas erradas” pelo sistema.

Dentro da metodologia empregada, espera-se encontrar valores de BIAS(O-F) e BIAS(O-A) pequenos. Quanto mais próximos de zero forem estes valores, mais a análise obtida aproxima-se de uma análise ótima. BIAS grandes indicam possíveis problemas nos dados observacionais ou nos *first-guess*. Para verificar a significância

dos BIAS obtidos, utilizou-se um teste simples baseado na relação entre BIAS e RMS, para o qual BIAS maiores que 30% em módulo em relação ao RMS são considerados excessivos e indicativos de erros sistemáticos.

Também se espera obter valores de RMS(O-A) menores que os valores de RMS(O-F). Na hipótese destes valores serem iguais, indicaria que o sistema de assimilação estaria produzindo análises estatisticamente iguais ao *first-guess*, isto é, não estaria ocorrendo melhorias na análises. Quanto menor forem os valores de RMS(O-A) em relação ao RMS(O-F), mais próximas as análises estão dos dados observacionais, contudo uma relação de RMS(O-A)/RMS(O-F) menores que 50% pode indicar uma correção excessiva dos campos do modelo em função dos dados observacionais, que poderiam ter como consequência a geração de perturbações indesejáveis nos campos do modelo. O caso oposto, valores RMS(O-F) menor que RMS(O-A), não são esperados. Porém eventualmente podem ocorrer para os campos de geopotencial ou vento, em decorrência de ajustes geostróficos entre estes campos.

7.2.1 Avaliação Geral por Camada e para Assimilação com e sem TOVS

Nesta avaliação, são obtidos valores gerais de RMS e BIAS para todo o período, para todo os campos e casos de assimilação com e sem ATOVS, contudo, em níveis isobáricos separados.

As Tabelas 7.1 e 7.2 destacam alguns dos resultados para as variáveis de altura geopotencial e para os casos de assimilação com e sem TOVS.

Em ambas as tabelas, pode ser verificar valores de RMS(O-F) menores que RMS(O-A). Valores de BIAS nulos, são vistos apenas para o nível de superfície, que também apresenta o maior número de dados. Em altitude, valores variados de BIAS e RMS são

apresentados, porém, é acima de 10 hPa que os valores de BIAS tornam-se muito acima do esperado (Tabela 7.1), principalmente em 7 hPa, onde a relação BIAS/RMS chega a 86%, que corresponde a valor muito acima dos 30% antes estabelecidos.

Na Tabela 7.2, foram utilizados um número bem menor de informações em altitude, devido a exclusão dos dados de ATOVS. Não são feitos cálculos acima de 10 hPa, devido a pequena quantidade de dados de radiossonda acima deste nível, conforme visto no capítulo 3 (Figura 3.2 – d)

As tabelas completas, com os resultados para todas as variáveis, são apresentadas nos Apêndices A e B, e portanto não serão aqui discutidas. Enfocar-se-á a questão dos BIAS que surgiram nestes testes, pois estão relacionados com o TOVS, e portanto entra dentro do contexto do estudo de impacto.

TABELA 7.1 – Comparação entre valores de BIAS e RMS entre observações e *first-guess* (O-F) e entre observações e análises (O-A) para assimilações de altura geopotencial (mgs) com a inclusão de ATOVS (seqüência 7.1-b).

O-F					O-A			
Nível	BIAS	RMS	nobs	BIAS/RMS	BIAS	RMS	Nobs	BIAS/RMS
Super	0,17	8,22	64961	2%	0,02	6,58	67315	0%
1000.	1,19	8,15	2694	15%	-0,49	5,89	2717	-8%
850.0	0,39	8,63	70496	5%	0,23	10,50	73232	2%
500.0	7,52	17,96	70750	42%	5,21	16,54	73469	31%
100.0	5,41	23,52	70648	23%	2,52	20,43	73494	12%
30.0	0,54	27,53	69777	2%	-1,44	22,49	72522	-6%
20.0	4,68	30,40	68851	15%	-1,44	22,49	72522	-6%
10.0	52,02	70,36	65135	74%	48,67	66,81	67867	73%
7.0	94,12	109,50	52535	86%	90,63	106,93	55186	85%
5.0	49,02	77,58	62454	63%	44,62	73,92	65168	60%
3.0	16,31	67,43	63659	24%	12,98	64,35	66375	20%

nobs= número de observações

TABELA 7.2 - Comparação entre valores de BIAS e RMS entre observações e *first-guess* (O-F) e entre observações e análises (O-A) para assimilações de altura geopotencial (m_gp) sem inclusão de ATOVS (seqüência 7.1-a)

O-F					O-A			
Nível	BIAS	RMS	nobs	BIAS/RMS	BIAS	RMS	nobs	BIAS/RMS
Super	0,21	8,21	67402	3%	-0,02	6,45	67402	0%
1000.	1,40	8,03	2652	17%	-0,33	5,75	2652	6%
850.0	-0,35	8,37	6729	-4%	-1,79	6,70	6729	27%
500.0	3,76	12,07	7466	31%	-0,05	8,90	7466	1%
100.0	2,76	22,40	6719	12%	0,31	19,33	6719	2%
30.0	-4,64	34,06	5614	14%	-0,60	29,10	5614	2%
20.0	-4,40	38,78	4635	11%	0,68	33,59	4635	2%
10.0	10,85	50,64	2359	21%	16,38	51,35	2359	32%

nobs= número de observações

7.2.2 Avaliação de Erros Sistemáticos na Assimilação

Erros sistemáticos, quando existem, tanto nos dados observacionais quanto nos campos de previsão, devem ser excluídos. Estes erros podem ser minimizados em uma primeira rodada, porém, podem-se tornarem cumulativos a cada ciclo de análise, modificando gradativamente os campos do modelo de forma tão sutil, que, muitas vezes, só se percebe o problema, quando os campos tornam-se muito diferentes da climatologia. Outras vezes, os campos se estabilizam, porém, esta estabilidade pode se alterar quando, por algum motivo, existirem variações do fluxo de dados do GTS. Isto ocorre, porque, cada tipo de dado fornecido contribui para o equilíbrio do resultado, quando um tipo de dado falta, o equilíbrio é alterado.

Para avaliar estas questões, foram realizados acompanhamentos da evolução dos BIAS e RMS para o período de estudo, que são apresentados a seguir.

Os gráficos da Figura 7.1 apresentam comparações entre os RMS de O-F e O-A, que foram calculados considerando todas as camadas atmosféricas sem distinção, para as seguintes variáveis: na Figura 7.1-a, a componente zonal do vento; na Figura 7.1-b; a umidade específica e na Figura 7.1-c, a altura geopotencial. As linhas verdes representam os valores relativos ao RMS(O-F) e as linhas escuras ao valores de RMS(O-A)

Pode-se observar, nas figuras 7.1- a e 7.1- b , que os valores oscilam entre os horários sinóticos. Estas oscilações estão associadas aos dados de radiossonda, que contribuem para produzir os maiores RMS de O-F e O-A nos horários em que são assimilados (00 e 12 UTC) . Nos demais horários (06 e 18 UTC) os RMS atingem seu valores mínimos devido a redução da quantidade de dados de altitude.

Também, observa-se que os valores de RMS(O-A) são razoavelmente menores que os valores de RMS(O-F), o que também pode ser constatado nas tabelas dos apêndices A e B. Estes resultados indicam um sistema estável, isto é, um sistema que conserva suas características estatísticas com o tempo, indicando, bons ajustes entre campos de análise e observações e também ausência de erros cumulativos. Contudo, ao se observar atentamente as tabelas de umidade específica nos apêndices A e B, verificar-se-á BIAS relativamente altos. Não entrar-se-á em maiores detalhes a este respeito, pois estes BIAS não estão afetando as previsões de forma significativa, como é o caso da altura geopotencial, da Figura 7.1-c. Nesta figura o RMS é crescente a cada ciclo de assimilação, indicando que o sistema está produzindo análises cada vês mais distantes dos dados observados. Como a série de dados utilizados é curta, não foi possível verificar se estes valores de RMS continuariam crescendo, passariam para um comportamento oscilante ou se atingiriam um patamar estável. Contudo, este padrão indica problemas nos campos de geopotencial, que, conforme verificar-se-á adiante, estão relacionados a assimilação de dados ATOVS.

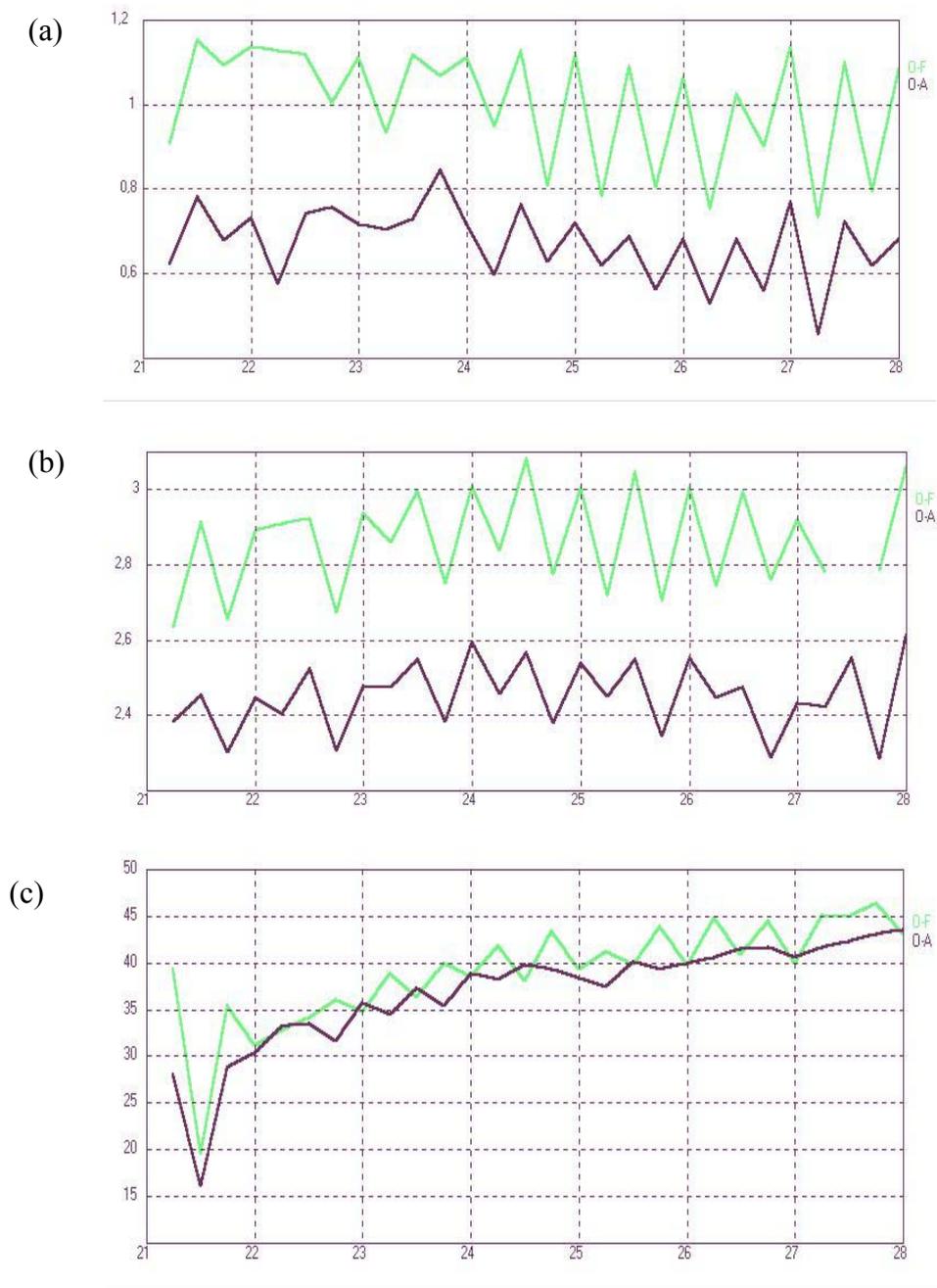


FIGURA 7.1 – RMS entre observações e *first-guess* (O-F), em verde, e entre observações e análises (O-A), em marrom, para os variáveis de: a) umidade específica (g/kg), b) componente u do vento (m/s), c) alturas geopotenciais (mgp).

Para examinar de forma mais detalhada a evolução temporal dos RMS(O-F) da figura 7.1, apresenta-se na figura 7.2, gráficos de evoluções RMS(O-F) de geopotencial, em níveis isobáricos distintos e para os casos com e sem assimilação de ATOVS. Nesta figura os diferentes níveis isobáricos são apresentados por diferentes cores, cuja legenda encontra-se à direita de cada gráfico. O gráfico 7.2 - a, corresponde ao caso com assimilação de ATOVS e o gráfico 7.2 - b sem assimilação de ATOVS.

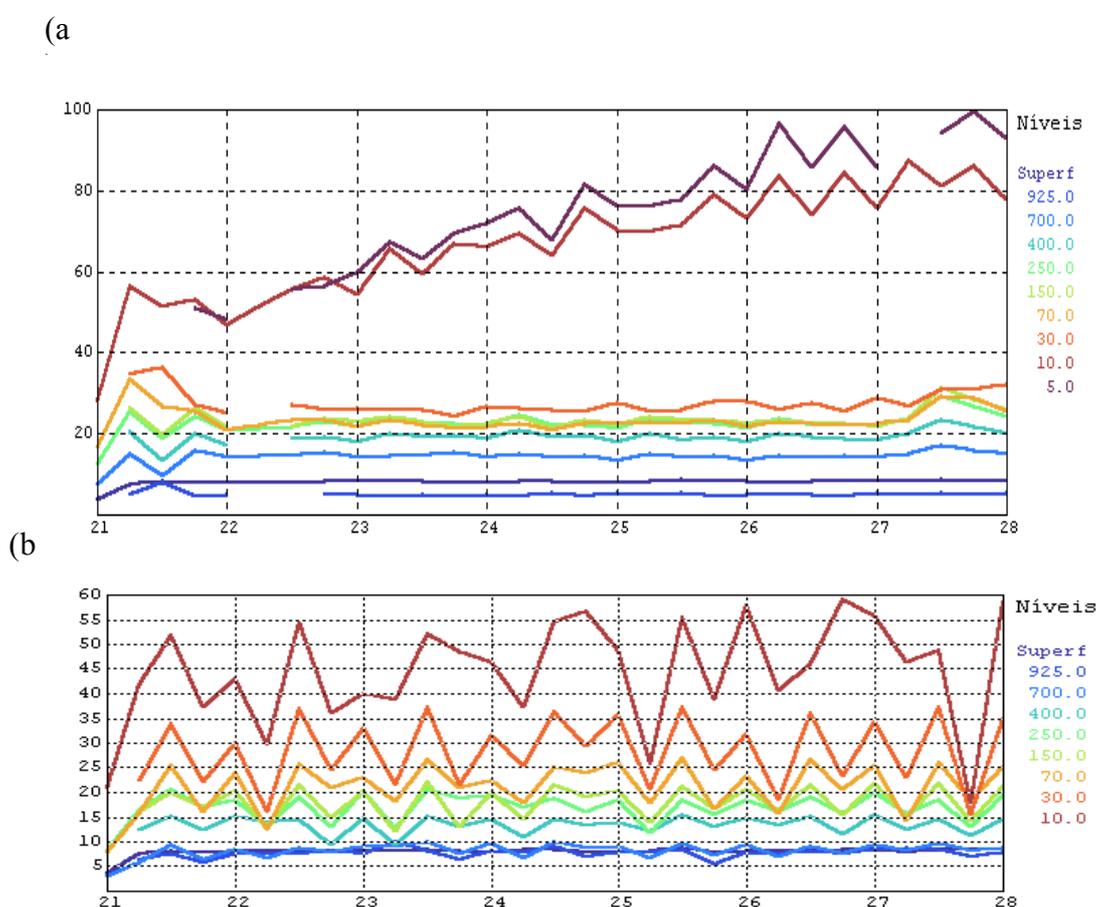


FIGURA 7.2 – RMS (O-F) de alturas geopotencial por nível isobárico (mgp): a) para ciclos com assimilação de ATOVS, b) para ciclos sem assimilação de ATOVS. Diferentes cores representam diferentes níveis isobáricos. Para definição de cores ver legenda à direita.

Examinando-se o gráfico 7.2-a, verifica-se que a ampliação dos valores de RMS ocorre a partir dos níveis de 10 hPa. Em cada nível são assimilados em média cerca de 14.600 informações por dia, das quais cerca de 13200 correspondem aos dados de ATOVS. Esta média é alterada a partir de 10 hPa, com a redução do número de radiossondagens, sobretudo no Hemisfério Sul, sendo portanto, as variações de RMS(O-F) observadas acima de 10 hPa, basicamente decorrentes dos dados de ATOVS.

A influência dos dados de ATOVS nos resultados de RMS do gráfico 7.2-a, é confirmado, em parte, pelo gráfico 7.2-b. Neste gráfico, os dados de ATOVS não foram utilizados na assimilação. Como consequência, o comportamento crescente do RMS(O-F) em 10 hPa, não é observado.

A Figura 7.3 apresenta valores de BIAS de geopotencial das observações em relação ao *first-guess* por nível isobárico. Também são separados os BIAS de ATOVS (7.3-a) dos BIAS de radiossonda (7.3-b), ambos para o caso da assimilação com ATOVS. Neste caso, verifica-se que os BIAS no nível de 10 hPa, têm um comportamento crescente, tanto para os ATOVS, quanto para os radiossondas. Já nos níveis abaixo de 20 hPa os BIAS dos ATOVS correspondem a valores sempre positivos e estáveis enquanto os BIAS das radiossondas, embora também estáveis, permanecem negativos para a maioria dos níveis.

Estes BIAS de geopotencial opostos nos baixos níveis, entre os dados de radiossondagens e os dados de ATOVS, indica que os geopotenciais dos ATOVS estão possivelmente superestimados. Desta forma o sistema GPSAS estaria produzindo um cancelamento de BIAS, entre os geopotenciais de radiossondas e ATOVS. Contudo, em função da pouca quantidade de dados de radiossondagens e do processo de ancoragem do ATOVS nos campos de *first-guess*, não se pode afirmar, através da Figura 7.3, se estes BIAS seriam decorrentes dos ATOVS, ou de erros sistemáticos das previsões (*first-guess*).

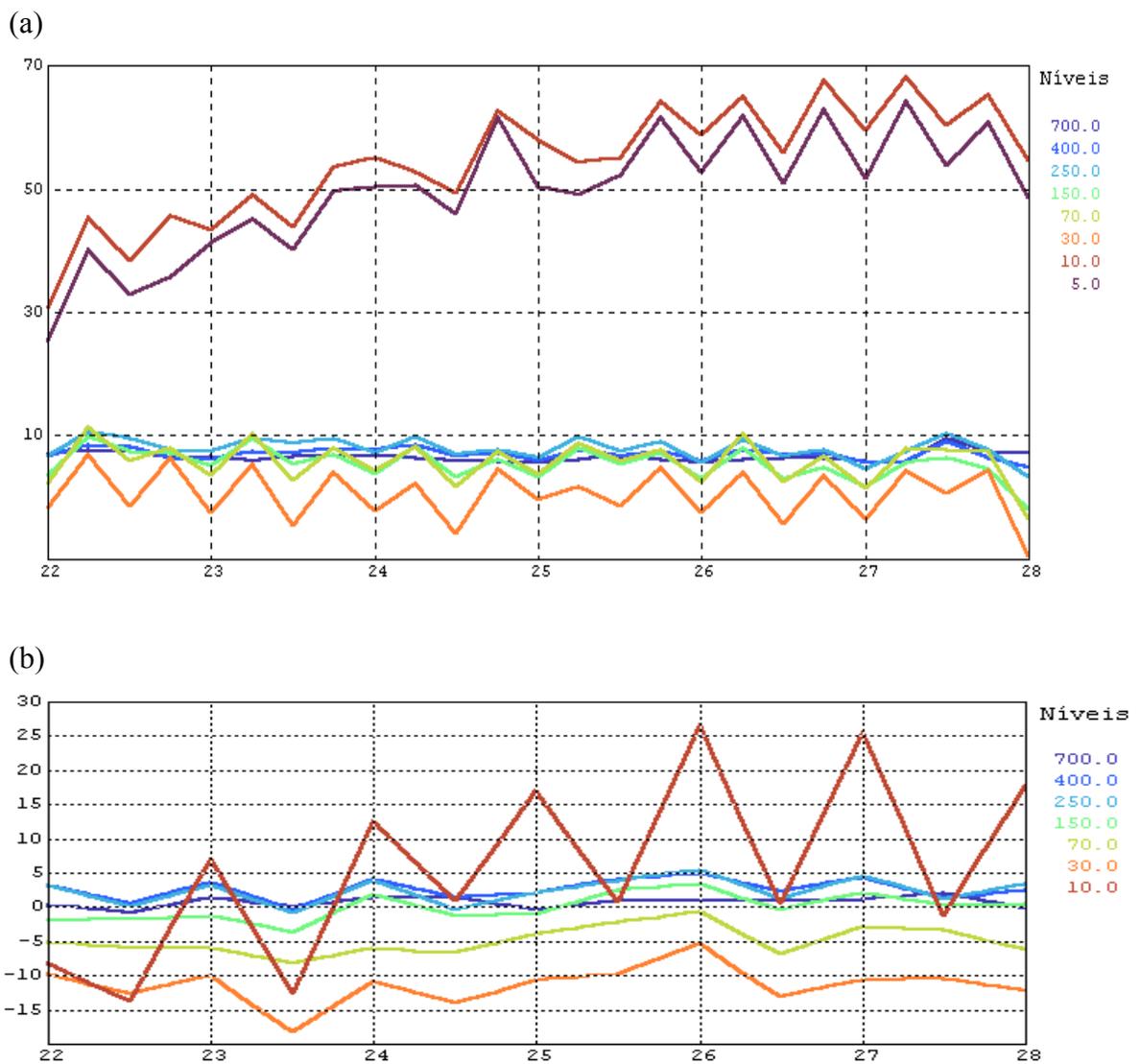


FIGURA7.3 – BIAS (O-F) de alturas geopotencial por nível isobárico para ciclos com assimilação de ATOVS, a) dados de ATOVS, b) dados de radiossonda

De fato, não existe como avaliar se os BIAS de geopotencial são decorrentes dos dados observacionais ou dos *first-guess*, sem a utilização de informações adicionais. (Dee e Silva, 1996). Uma outra possibilidade seria utilizar um modelo de remoção de BIAS sobre os ATOVS, sem considerar se este seria procedente dos ATOVS ou dos *first-guess*. Porém, tal procedimento pode causar um reforço nos BIAS ao invés de reduzi-lo, se, ao contrário do que se imagina, os BIAS forem no *first-guess* e não dos dados observacionais (Järvinen , 1998).

Por outro lado, em virtude de já existir um esquema de remoção do BIAS no GPSAS, que possivelmente está desajustado, uma tentativa é feita com a utilização deste esquema, afim de avaliar a sensibilidade do sistema de assimilação aos BIAS de ATOVS.

7.3 Avaliação de Sensibilidade das Análises ao Esquema de Eliminação de BIAS

Neste trabalho, a avaliação de sensibilidade consiste em verificar se os valores de BIAS estimados para os dados ATOVS são capazes de produzirem alterações significativas nas análises.

Para atingir este objetivo, processou-se as análises com correção de BIAS (Item 7.1-c) e sem a correção de BIAS (Item 7.1-b), a partir do dia 21 de setembro de 2001 às 06 UTC até 23 de setembro às 12 UTC. Como o modelo de correção de BIAS é zonalmente uniforme, os resultados foram obtidos através das diferenças médias de temperatura virtual e altura geopotencial em função da latitude e da altitude, para o dia 23 de setembro. Estas diferenças são apresentadas na Figuras 7.4.

A Figura 7.4-a mostra que, em termos de temperatura, o modelo de correção de BIAS produz um decréscimo máximo em torno de 3 °C em 100 hPa, sobre o equador. Em termos de altura geopotencial (Figura 7.4-b), estes valores correspondem a reduções em torno de redução de 70 metros.

Contudo, o mais importante nesta análise não são os valores de BIAS, mas a distribuição vertical dos mesmos. Para as camadas acima de 100 hPa, percebe-se claramente, através da Figura 7.4-b um padrão de diferenças equivalente ao do modelo de correção de BIAS apresentado no Capítulo 5 (Figura 5.4). O aparecimento deste padrão na análise do dia 23 demonstra que o sistema introduz quase totalmente a correção de BIAS nas análises e *first-guess*, sendo para isto necessários apenas 8 ciclos de rodadas (4 ciclos por dia). Deve-se mencionar que as diferenças entre *first-guess* e análises são sempre pequenas.

Já nas camadas troposféricas, as diferenças são bem próximas a zero, demonstrando que o sistema é pouco sensível a correção de BIAS dos TOVS nesta região. Por exemplo, o modelo de correção de BIAS introduz correções de até 30 metros em 150 hPa no Hemisfério Norte. Nesta mesma região, na Figura 7.4-b, as diferenças foram no máximo de 10 metros. Tais características estão possivelmente relacionadas a dois fatores. O primeiro é que os erros de altura geopotencial tendem a crescer com a altitude. O segundo é a presença de outros tipos de dados, além do ATOVS, que são mais freqüentes nas camadas mais baixas, tais como os dados de radiossondas, de aeronaves, ventos por satélites, etc. A presença destes outros tipos de dados reduzem o peso dos dados ATOVS nas camadas da troposfera mais baixas. Em altos níveis, ao contrário, os dados de ATOVS constitui o único dado disponível, de forma que a introdução do modelo de BIAS torna-se mais marcante acima de 100 hPa na Figura 7.4-b.

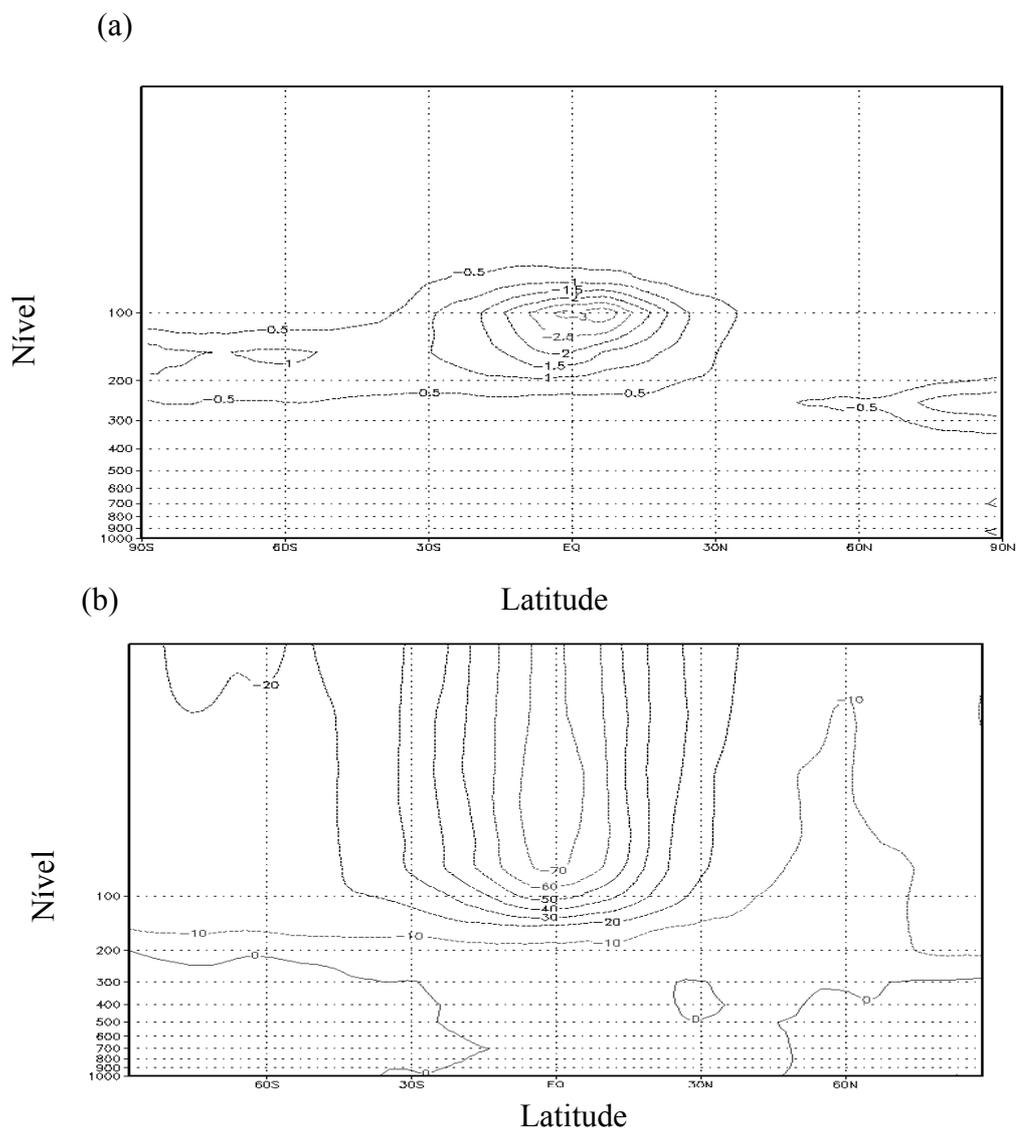


FIGURA 7.4 - Perfil vertical das diferenças médias zonais entre análises, com e sem eliminação de BIAS de TOVS, em função da latitude para o dia 23 de setembro de 2001 12 UTC: a) para temperatura virtual ($^{\circ}\text{C}$), b) para altura geopotencial (m).

7.4 Avaliação de Impacto de ATOVS nas Análises

As comparações apresentadas a seguir tem o objetivo de verificar, de uma forma simples, o padrão de diferenças entre análises com e sem ATOVS, caracterizando assim uma avaliação de impacto qualitativa e preliminar.

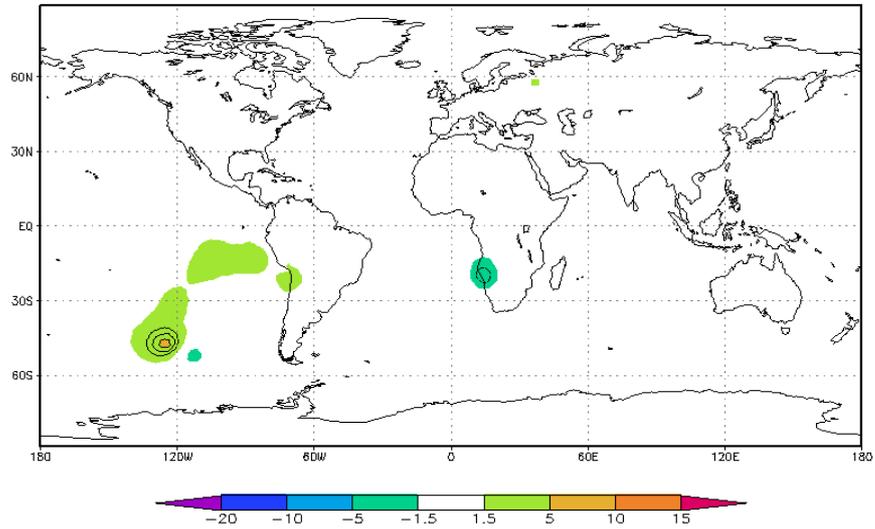
Os campos analisados foram os de pressão reduzida ao nível do mar e os de altura geopotencial para a análises do dia 27 (12 UTC), que é o último dia da seqüência de assimilação. Estes campos e datas foram escolhidos por apresentarem as maiores diferenças entre análises com e sem TOVS.

7.4.1 Avaliação dos Campos de Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar

Como mencionado anteriormente, a diferença básica, entre as duas seqüência de assimilação dos itens 7.1-b e 7.1-d, está na quantidade de dados de ATOVS que entram em cada uma destas. Na segunda seqüência são assimilados um número maior de dados de ATOVS em torno da região antártica e sobre as regiões continentais.

Os resultados mostram que o impacto dos dados ATOVS é muito pequeno quando utiliza-se a primeira seqüência. Praticamente não existem diferenças nos campos de pressão reduzida ao nível do mar (PNMM) em análises com e sem ATOVS (Figura 7.5-a). Porém, quando acrescenta-se os dados de ATOVS sobre os continentes e sobre a região antártica, as diferenças passam a ser significativas, principalmente próximo da região do Estreito de Drake e Antártica Ocidental (Figura 7.5-b).

(a)



(b)

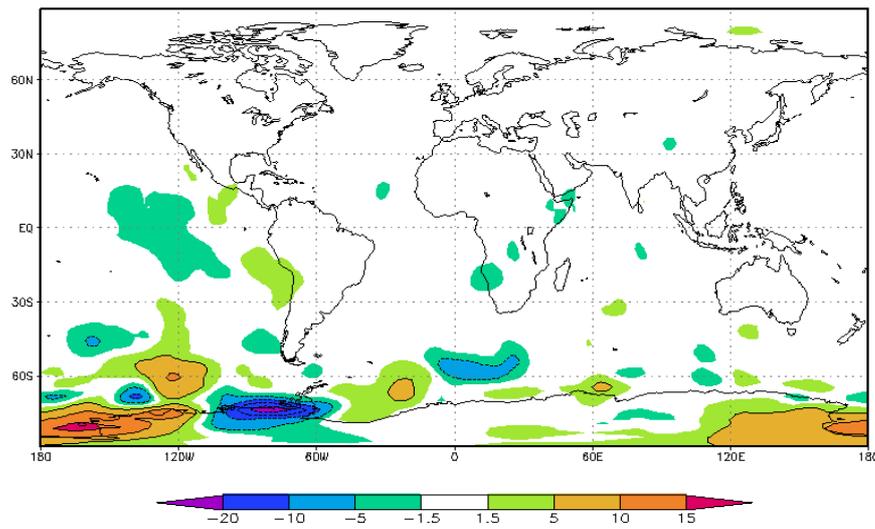


FIGURA 7.5 – Diferenças entre análises do GPSAS, sem e com assimilação de ATOVS, para dia 27 de setembro de 2001, após 26 ciclos de assimilação e para campos de PNMM (hPa): a) com GPSAS original (Item 7.1-b), b) com GPSAS modificado (Item 7.1-d).

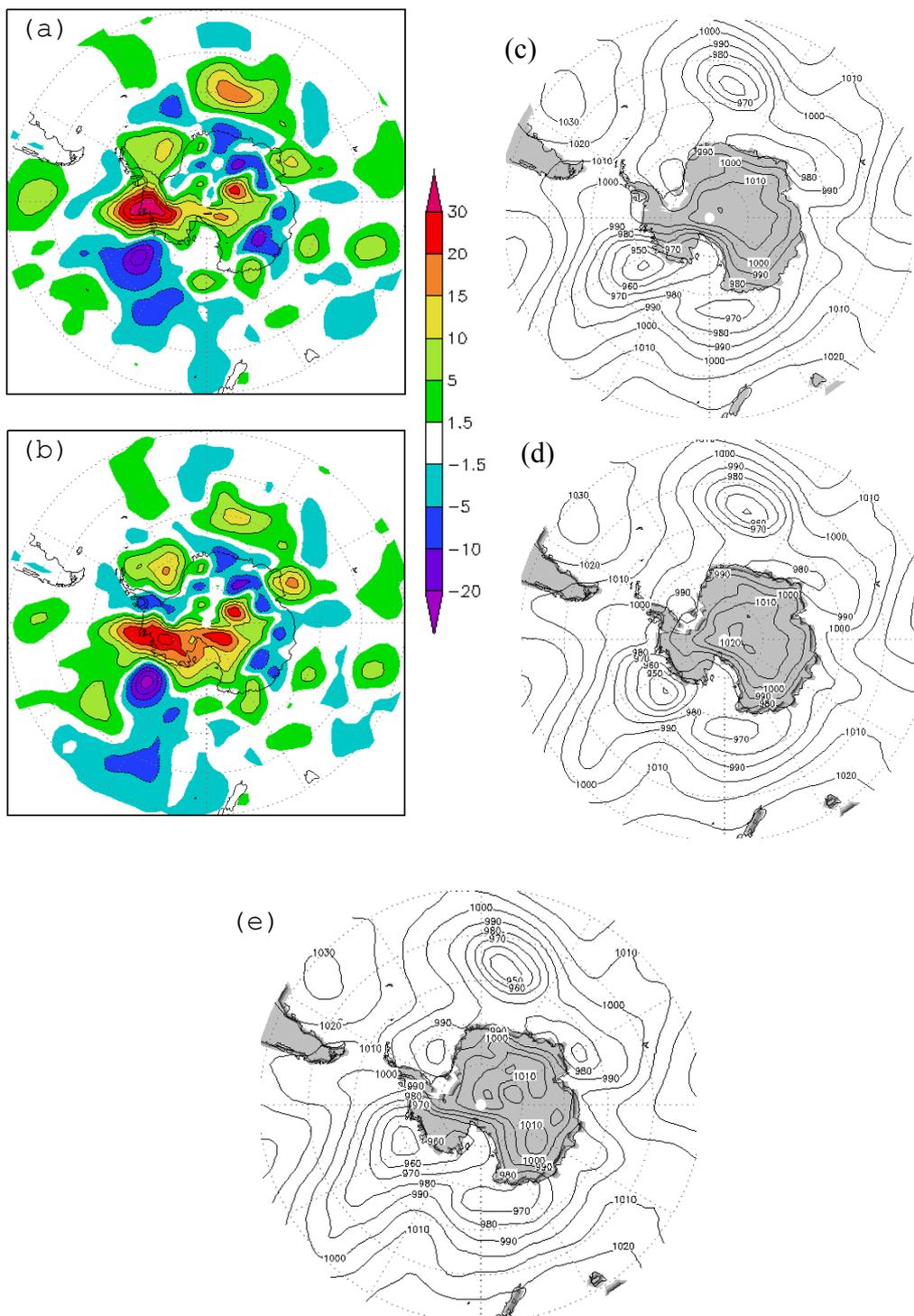


FIGURA 7.6 – Comparação de campos de análises de PNMM (hPa) entre análises do GPSAS e NCEP após 26 ciclos (27 de setembro de 2001): a) Diferenças GPSAS (Item 7.1-b) - NCEP, b) Diferenças GPSAS (Item 7.1-d) - NCEP, c) campos de PNMM GPSAS (item 7.1-b), d) campos de PNMM do GPSAS (Item 7.1-d), e) campos de PNMM do NCEP.

É importante verificar, que os dados de ATOVS não afetam diretamente os dados de PNMM em uma análise, pois a ancoragem do geopotencial do TOVS garante diferenças muito pequenas entre *first-guess* e ATOVS nas camadas próximas a superfície. Portanto as diferenças observadas na Figura 7.6 é uma consequência de processo cíclico de assimilação e da propagação das diferenças em altos níveis, que permitem, após 26 ciclos, gerar análises diferentes, quando se utiliza ou não os dados de ATOVS.

Comparando-se as análises do GPSAS geradas nos dois casos com a análise do NCEP, verifica-se, que a análise que introduz dados de ATOVS sobre a Antártida apresenta melhores resultados de PNMM.

7.4.2 Avaliação das Análises de Altura Geopotencial

Assim com nos campos de PNMM, nos campos de altura geopotencial verifica-se diferenças pequenas em baixos níveis. Em altos níveis, verifica-se um padrão de diferenças mais acentuadas ao redor da região Antártica, ampliando-se em altitude, e atingindo maiores valores nas proximidades da região da tropopausa. Os gráficos da Figuras 7.7 e 7.8 são relativos às assimilações das seqüências com ATOVS nos casos 7.1-b e 7.1-d. Nestes são apresentados perfis verticais de BIAS (a) e RMS (b) entre análises com e sem ATOVS, em ambos os casos.

Com relação ao padrão de RMS apontado na Figura 7.8, verifica-se que este possui um padrão similar aos resultados obtidos em outros trabalhos, utilizando “*Ensemble*” tais como Sienkiewicz e Pfaendtner (1997). Desta forma, trata-se de erros já conhecidos, não necessariamente associados aos dados de ATOVS, mas que caracterizam incertezas nos campos de análise e previsão, principalmente sobre a região Antártica .

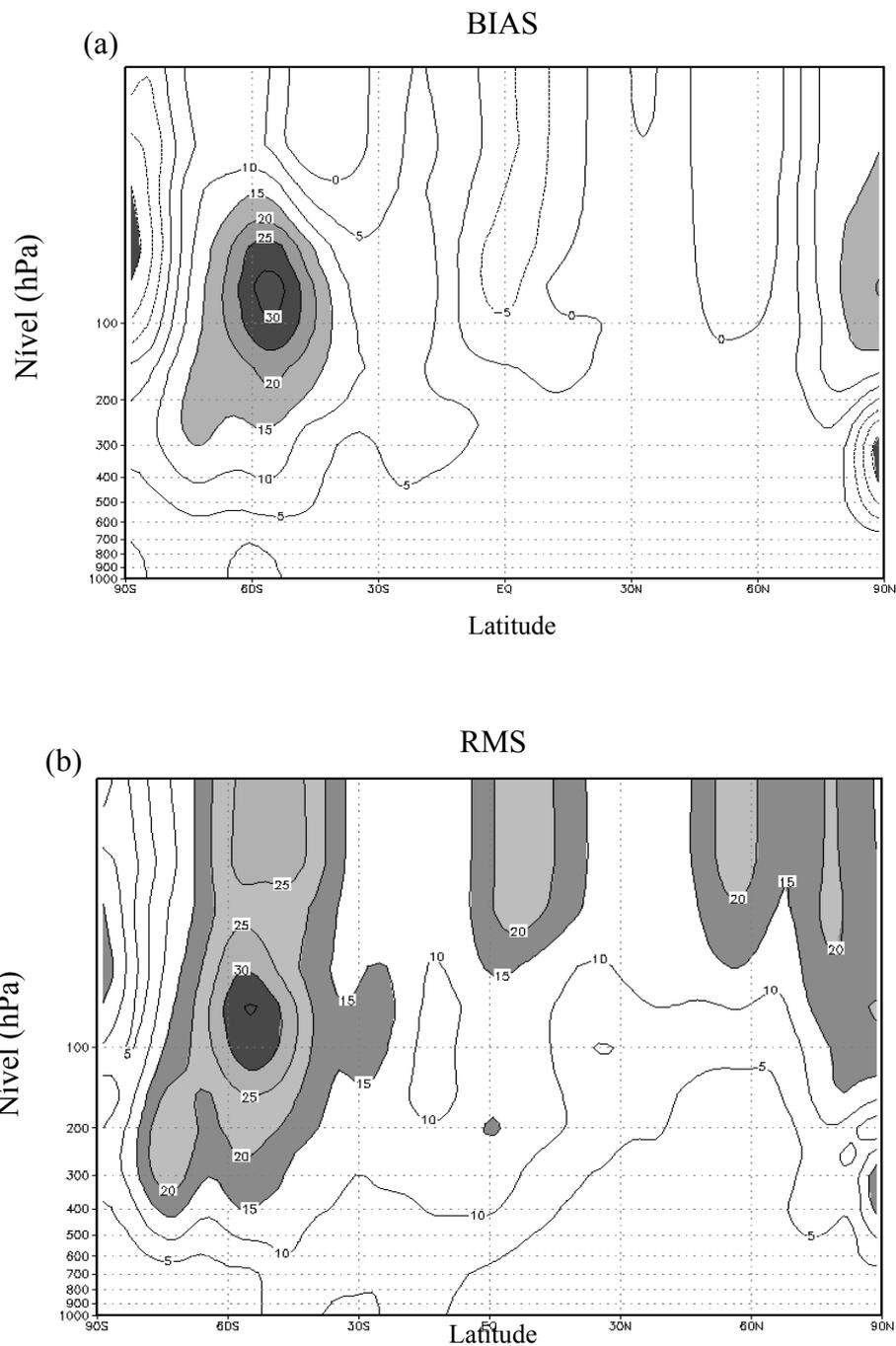


FIGURA 7.7 - Perfil vertical dos desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) entre análises do GPSAS com e sem assimilação de ATOVS, no caso da assimilação original (Item 7.1-b): a) BIAS, b) RMS. O intervalo entre isolinhas é de 5 mgp.

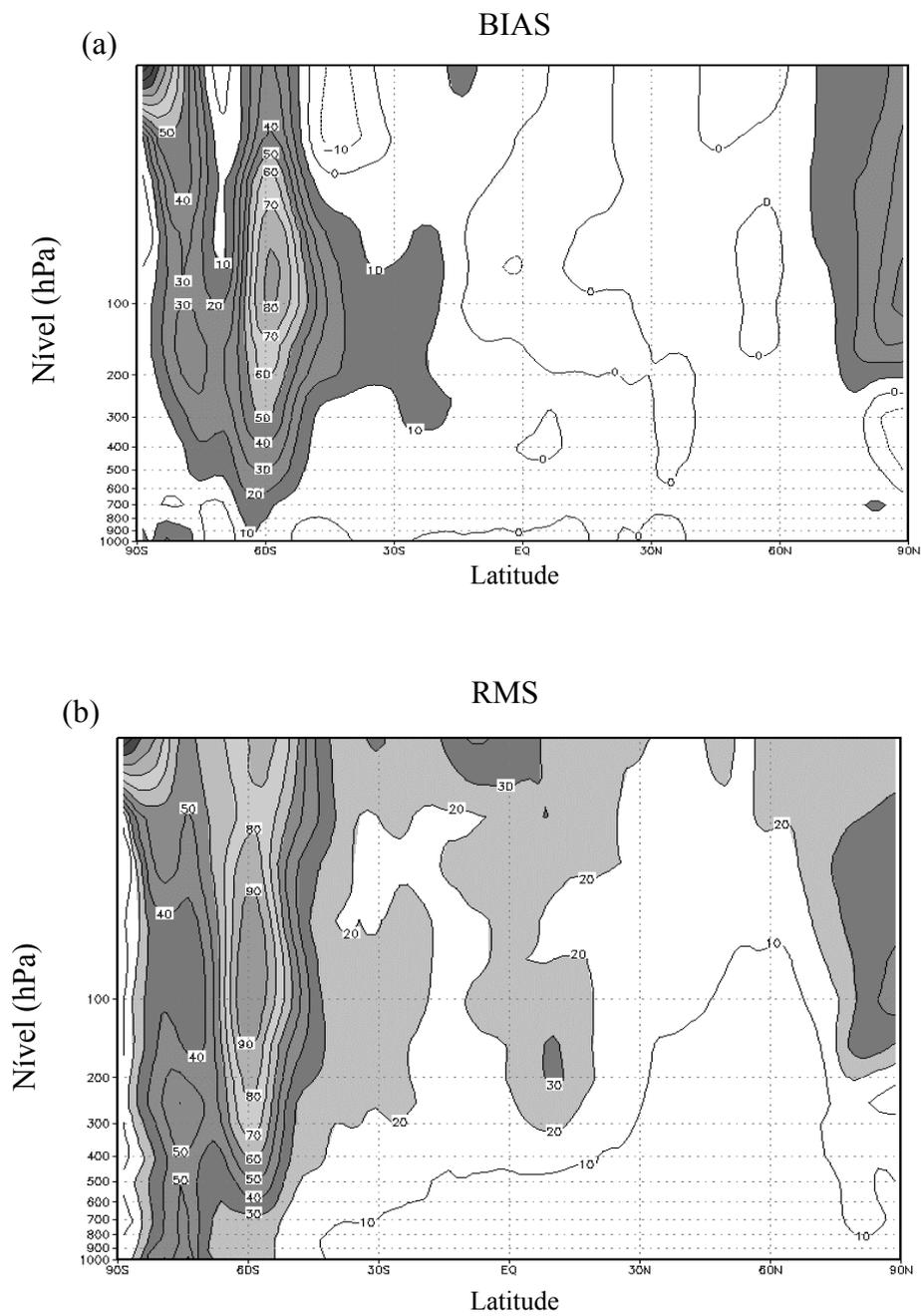


FIGURA 7.8 - Perfil vertical dos desvios médios (BIAS) e desvios médios quadráticos (RMS) entre análises do GPSAS com e sem assimilação de ATOVS, no caso de inclusão de TOVS sobre continentes e Antártica (Item 7.1-d): a) BIAS, b) RMS. O intervalo entre isolinhas é de 5 mgp

Neste caso, pode-se esperar grandes impactos positivos da assimilação de dados de ATOVS nesta região, contribuindo desta forma para o padrão de grande impactos positivos para o Hemisfério Sul.

Se for adotado o esquema de eliminação de BIAS do Item 7.3, este produzirá, no caso da Figura 7.8-a, BIAS em torno de -70 m sobre o equador. Sobre a região polar observar-se-á BIAS positivos, porém ligeiramente mais atenuado, em torno de 10 a 20 metros a menos do que os valores verificados na Figura 7.8-a .

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DO IMPACTO SOBRE AS PREVISÕES

Testes de impacto de dados de satélites tem sido realizado por muitos grupos de assimilação de dados, utilizando diferentes métodos de análises, previsões e métodos de verificação. Os testes de impacto, a que se refere este capítulo, correspondem as avaliações de influência de um determinado tipo de dado, no caso o ATOVS, sobre indicadores de acertos ou erros das Previsões do Tempo.

Usualmente, estes testes correspondem a comparações entre as previsões obtidas, em cada caso, com as condições atmosféricas observadas. Os campos mais freqüentemente avaliados são as previsões de 48 h para os campos de geopotencial em 500 hPa (Ohring, 1979). Assim, apresenta-se no item 8.1 uma avaliação estatística de impacto dos dados de ATOVS, baseado em valores de RMS e no índice de destreza do modelo. No item 8.2 é apresentado uma avaliação subjetiva através de figuras dos campos de previsão de PNMM e precipitação.

8.1 Avaliação Estatística

Os testes estatísticos para avaliação de impacto de ATOVS, neste trabalho, baseiam-se nos cálculos de erros de RMS entre análises e previsões de 48 horas (RMSE) e no Índice de Correção de Anomalias ou destreza (“skill”).

Nos casos das avaliações de impacto através de valores RMSE, estes são calculados separadamente para as previsões com e sem assimilação de TOVS conforme a equação 8.1

$$RMSE(P - A) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P - A)_i^2} \quad (8.1)$$

onde P corresponde as previsões, A as análises e n o número de pontos. Os resultados de impacto são então obtidos conforme 8.2

$$Impacto = RMSE(P^{st} - A) - RMSE(P^{ct} - A) \quad (8.2)$$

Onde os sobrescritos st e ct indicam, respectivamente, previsões sem e com ATOVS. Para que os valores de impacto sejam realísticos, a análise A deve caracterizar, da melhor forma possível, o estado da atmosfera na hora da previsão. Por este motivo alguns autores avaliam o impacto em regiões onde existe grande cobertura de dados observacionais. Este procedimento não é seguido aqui, pois a área de interesse está no Hemisfério Sul, onde existem poucos dados convencionais. Uma forma de se obter a análise para comparação é através das médias das análises obtidas com e sem ATOVS, de forma que se tenha uma análise que não dependa unicamente de um ou outro ciclo de assimilação.

Uma outra forma é a utilização de uma análise produzida de forma independente do sistema de assimilação GPSAS. Optou-se, desta forma, pela utilização da análise do NCEP como padrão de comparação. A análise do GPSAS com ATOVS considerada é a descrita no item 7.1-d, que inclui ATOVS nas regiões continentais e Antártica.

Os resultados, assim obtidos, são apresentados nas tabelas abaixo, em termos de médias para as previsões de 48 horas dos dias 25, 26 e 27 (00 e 12 UTC). A Tabela 8.1 apresenta o impacto para o nível de 500 hPa. Nesta, verifica-se impactos pequenos, porém positivos para a maior parte das regiões. No Hemisfério Sul, na faixa delimitada entre 30S a 90S, temos os impactos mais positivos (em torno de 7 metros), o que concorda com os trabalhos apresentados por outros autores. Impacto negativo é observado na América do Sul na faixa 45S/60W a 15S/30W, onde um sistema frontal estava atuando neste período. Em uma outra faixa da América do Sul 101W/60S a 11W/15N, os valores de impacto permanecem positivos.

Tabela 8.1 – Impacto de sondagens de satélite em previsões de 48h de altura geopotencial em 500 hPa em termos de RMS dos erros das previsões (RMSE)

Região	RMSE (mgp) Sem ATOVS	RMSE (mgp) Com ATOVS	Impacto (mgp)
90N a 30 N	35.334	33.558	1.776
30N a 30 S	13.354	12.968	0.386
30S a 90S	59.178	51.624	7.554
Global	40.388	36.402	3.986
América do Sul 45S/60W a 15S/30W	31.448	33.332	-1.884
América do Sul 101W/60S a 11W/15N	45.26	41.822	3.438

Os impactos apresentados nesta tabela são similares aos apresentados por Ohring (1979). Em adição, percebe-se que os impactos de ATOVS são maiores nos níveis mais altos da atmosfera, principalmente em torno de 100 hPa (Tabela 8.2). Para este nível também observa-se valores positivos maiores no Hemisfério Sul do que no Hemisfério Norte. A faixa tropical, em todos os casos, apresenta impacto pequeno.

Tabela 8.2 – Impacto de sondagens de satélite em previsões de 48h de altura geopotencial em 100 hPa em termos de RMS dos erros das previsões (RMSE)

Região	RMSE(mgp) Sem ATOVS	RMSE(mgp) Com ATOVS	Impacto (mgp)
90N a 30 N	35.168	32.766	2.402
30N a 30 S	25.186	21.288	3.898
30S a 90S	58.86	43.644	15.216
Global	42.03	35.992	6.038
América do Sul 45S,60W a 15S,30W	36.74	23.254	13.486
América do Sul 101W60S a 11W15N	43.718	30.322	13.396

Convém salientar que a região no Hemisfério sul onde os impactos são negativos, é selecionada devido a presença de um sistema frontal que atuava sobre esta região e, também, por ser uma região onde a quantidade de dados convencionais é menos deficiente. Neste caso os impactos negativos podem estar associados a fatores tais como: inversões térmicas frontais, não representadas pelos *retrievals* do ATOVS; presença de nebulosidade, que limitam os canais do ATOVS aos de microondas (AMSU), e ao processo de ancoragem do ATOVS no *first-guess*, que pode apresentar erros na previsão da posição ou intensidade da frente.

Contudo, independente das causas física associadas aos impactos negativos, o mais relevante é a constatação de que estes impactos negativos existem, mesmo no Hemisfério Sul, onde normalmente os ATOVS apresentam impactos médios positivos.

Também foi realizada avaliação através do Índice de Correção de Anomalias ou Destreza (“skill”), operacionalmente utilizado no CPTEC. Este é definido pela equação 8.3

$$SKL = \frac{\sum_n \{[(P-C) - (\overline{P-C})][(A-C) - (\overline{A-C})]\}}{\sqrt{\sum_n [(P-C) - (\overline{P-C})]^2 \sum_n [(A-C) - (\overline{A-C})]^2}} \cdot 100(\%), \quad (8.3)$$

onde P são as previsões, C campos de climatologia, A as análises e n o número de pontos de grade. O *skill* foi processado para previsões de até 4 dias, obtidas a partir das análises com e sem ATOVS do dia 23 (12 UTC). Os gráficos da Figura 8.1 apresentam os resultados do *skill* para o nível de 500 hPa. Através destes, observa-se que o *skill* das previsões com ATOVS é, em geral, ligeiramente maior do que as sem ATOVS, indicando, da mesma forma do que os índices anteriores, impacto pequeno, porém positivo, para a maior parte dos casos. No caso do Hemisfério Norte o ATOVS produz impacto positivo nas previsões de mais longo prazo (Figura 8.1-a), enquanto no Hemisfério Sul o impacto é positivo até 3 dias de previsão, tornando-se nulo ou até negativo a partir de 4 dias (Figura 8.1-b). Padrão semelhante também pode ser observado para a América do Sul (Figura 8.1-c).

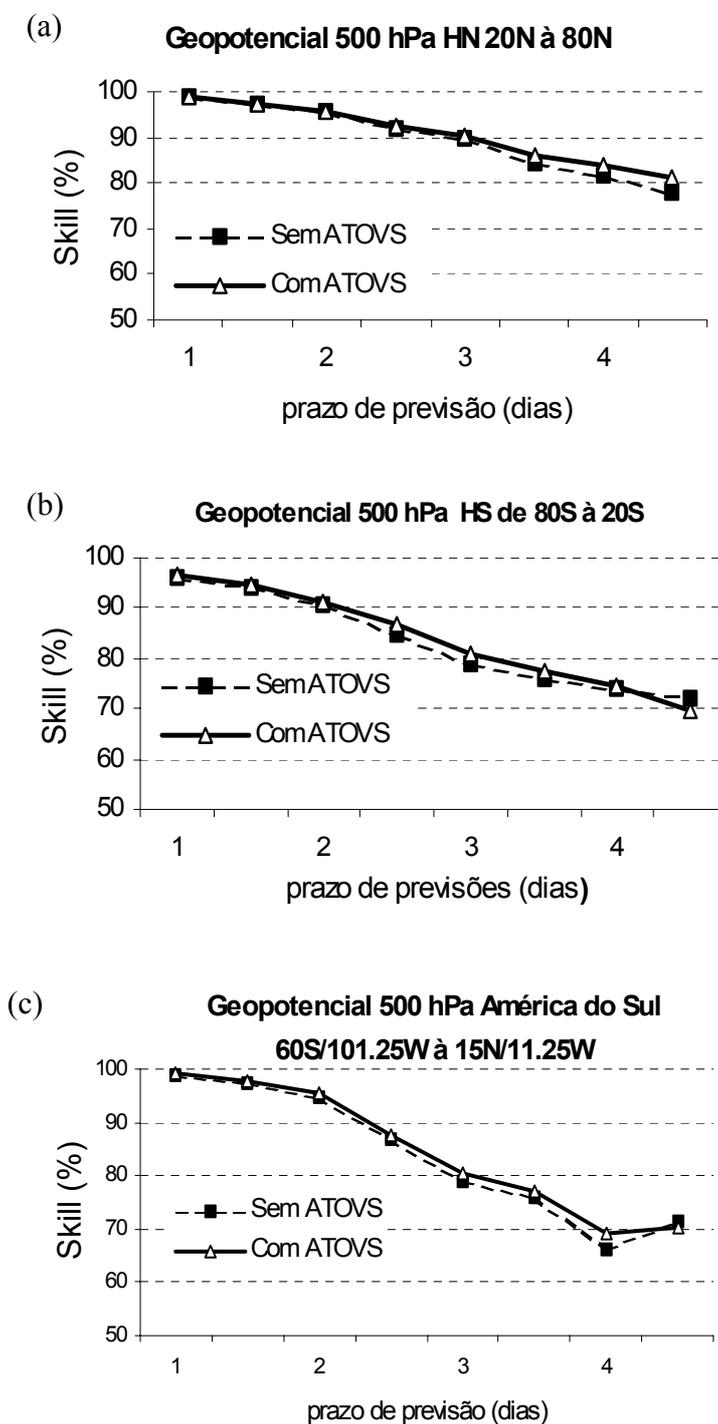


FIGURA 8.1 – Skill do Modelo Global do CPTEC/COLA T062L28 com assimilação do CPTEC/GPSAS com e sem assimilação de ATOVS. a) para o Hemisfério Norte, b) para o Hemisfério Sul, c) para a América do Sul.

8.2 Avaliação dos campos de PNMM e Taxa de Precipitação

Os resultados observados através de estudo estatístico feito no Item 8.1, apontam para impacto pequeno sobre geopotencial, porém positivo, nas latitudes altas do Hemisfério Sul. O estudo realizado com as análises no Capítulo 7, também aponta para maiores diferenças entre análises com e sem ATOVS próximo à Antártida.

As Figura 8.2 compara os campos de previsão de 5 dias do Modelo Global do CPTEC, com análises do GPSAS para os campos de PNMM e de precipitação, nos casos sem ATOVS (Figura 8.2-a) e com ATOVS (Figura 8.2-b).

Comparando-se as duas figuras, pode-se observar semelhanças, tais como a posição da frente sobre a região Sul e Sudeste de Brasil e a configuração dos centros de alta pressão do Atlântico e Pacífico, que são ligeiramente menos intensos no caso das assimilação sem ATOVS. As maiores diferenças são observadas nos campos de pressão próximo ao continente antártico. Também é observada pequena redução dos valores de taxa de precipitação no caso de assimilação com ATOVS nas regiões equatoriais.

A Figura 8.3-a apresenta a previsão para o mesmo período da Figura 8.2, porém, para o do Modelo Global do CPTEC com análise do NCEP (modelo T062L28 operacional). Na Figura 8.3-b é apresentado a análise do NCEP com precipitação observada, obtida através do site do GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*). Através da comparação dos campos da Figura 8.2 e 8.3, observa-se que os resultados de previsão com o GPSAS já são comparativamente razoáveis, sendo a assimilação com o ATOVS a que mais se aproxima da análise do NCEP.

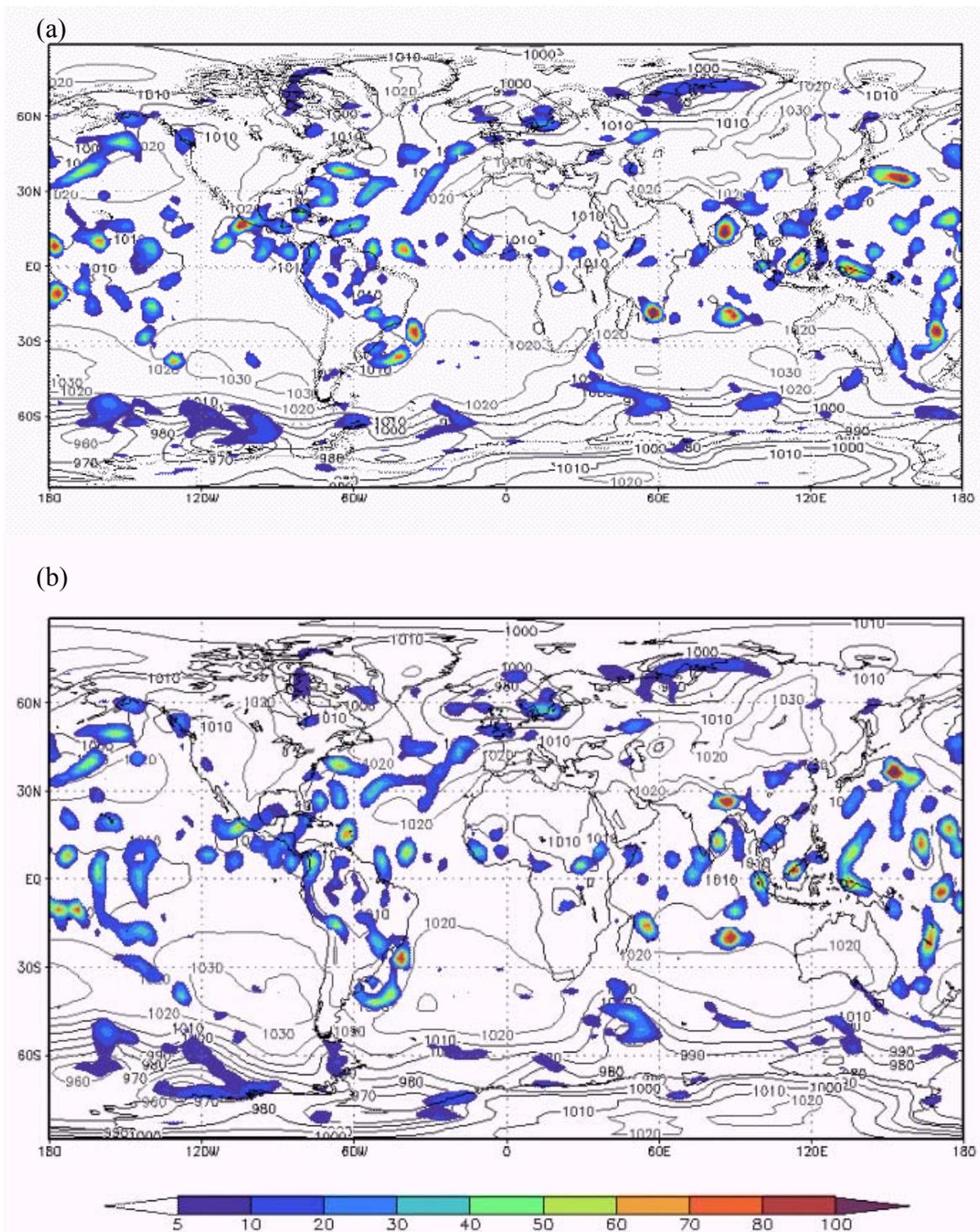
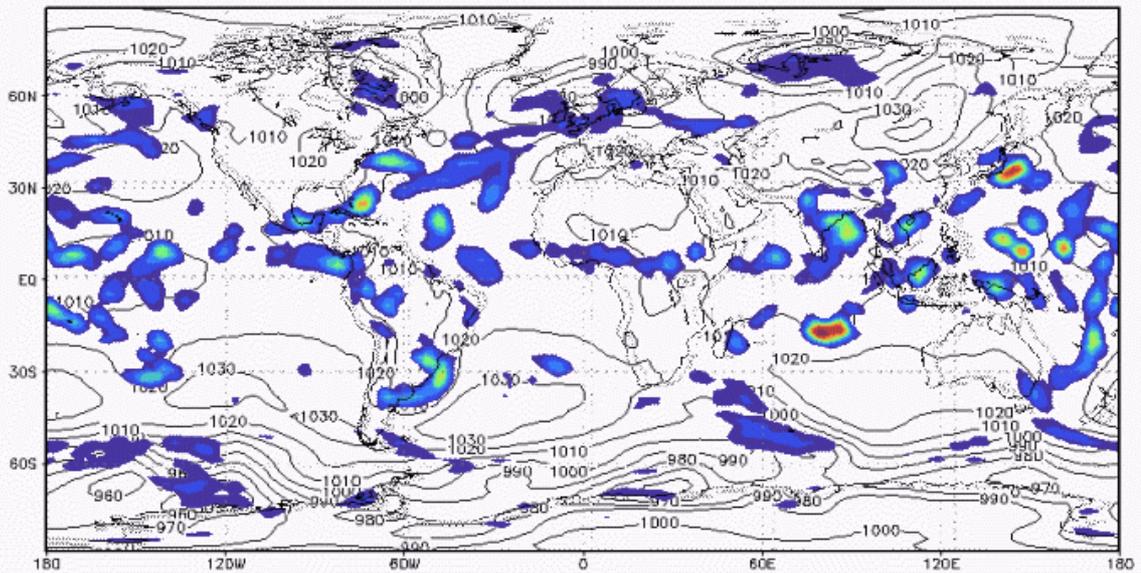


FIGURA 8.2 – Previsão de 5 dias do campo de pressão ao nível médio do mar (hPa) e precipitação (mm/dia) previstos pelo Modelo Global do CPTEC com análise do CPTEC-GPSAS: a) sem assimilação de ATOVS; b) com assimilação de ATOVS, incluindo Antártica e continentes (Item 7.1-d).

(a)



(b)

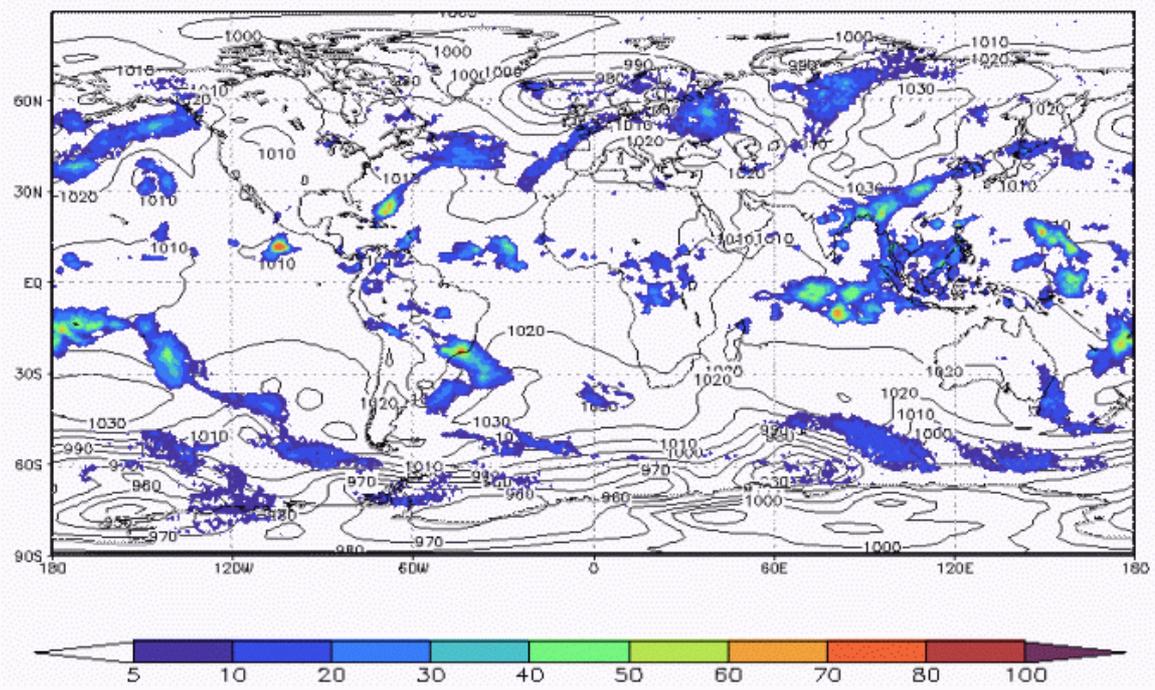


FIGURA 8.3 – Pressão ao nível médio do mar (hpa) e precipitação (mm/dia): a) previsão de 5 dias do modelo global do CPTEC com análise do NCEP; b) Análise do NCEP e precipitação observada para a mesma data.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

9.1 Principais conclusões

Durante este trabalho, vários aspectos relacionados ao impacto de ATOVS foram analisados, incluindo, entre outros, aspectos computacionais do GPSAS, erros sistemáticos associados a previsão e aos dados e o impacto dos dados ATOVS sobre análises e previsões.

No Capítulo 3 foi apresentado uma visão geral do sistema de assimilação GPSAS e da cobertura de dados observacionais assimilados. Várias conclusões podem ser obtidas a respeito da simples verificação de cobertura de dados. A primeira e mais relevante, dentro do contexto deste trabalho, é abrangência e homogeneidade da cobertura dos dados de ATOVS que é muito superior a todos os demais tipos de dados observacionais, não só horizontalmente, como em altitude.

No Capítulo 4 é apresentada formulação básica do sistema PSAS e como este sistema combina os diversos tipos de informações observacionais e os *first-guess*. Do apresentado neste capítulo, pode se concluir, que um fator de grande relevância para obtenção de bons resultados de assimilação, está em estimar adequadamente erros das observações e do *first-guess*. Contudo o próprio processo de estimativa dos erros sistemáticos é bastante simplificado. Por exemplo, a base para as estimativas dos erros dos ATOVS são os dados de radiossondagens do Hemisfério Norte, os erros são considerados isotrópicos e descorrelacionados e não levam em consideração a diversidade de tipos de radiossondagens em operação no mundo.

No Capítulo 5, verifica-se através do detalhamento de aspectos de implementação do PSAS com relação aos dados de ATOVS, que os mesmos possuem dependência de dois modelos prognósticos: o primeiro, não detalhado neste trabalho, corresponde ao modelo utilizado pela NESDIS para obtenção dos *retrievals* de temperatura virtual, antes destes serem convertidos em alturas geopotenciais; o segundo corresponde aos *first-guess*, do próprio Modelo Global, que é utilizado dentro do GPSAS para fazer a ancoragem das alturas geopotenciais na superfície. Desta forma, pode-se concluir, que os erros do *first-guess*, embora pequenos nas camadas próximas a superfície, acabam incorporando-se, de forma linear, a todos os dados de ATOVS em todos níveis atmosféricos. Uma solução melhor seria a assimilação de ATOVS, na forma de temperatura virtual ou na forma de assimilação direta das radiances, reduzindo assim dependência dos modelos prognósticos.

Além da dependência com relação ao *first-guess*, verifica-se, no capítulo 6, que os *retrievals* dos ATOVS possuem pequenos erros sistemáticos, que atingem seus maiores valores, em torno de 20 metros, nos níveis de tropopausa; podendo também estar associados a sondagens diurnas e a presença de sistemas frontais.

Através das avaliações do Capítulo 7, várias conclusões podem ser obtidas. Analisando os BIAS e RMS entre observações e *first-guess* e entre observações e análises do GPSAS, foi verificada, que, de modo geral, o sistema de assimilação é bastante eficiente, permanecendo estável com o tempo para a maioria dos parâmetros assimilados, principalmente para os dados de vento. Os valores de altura geopotencial apresentaram maiores valores de BIAS, sobretudo na estratosfera acima de 20 hPa, onde somente os dados de ATOVS são assimilados e onde os BIAS ampliam-se com o tempo, caracterizando-se assim certa instabilidade do sistema. Contudo esta instabilidade não chegou a afetar os resultados das análises nas camadas da troposfera, que permaneceu muito similar às análises produzidas pelo NCEP.

Através das diferenças entre análises, com e sem assimilação de ATOVS, verificou-se que a assimilação de ATOVS produz, em média, impacto pequeno, principalmente nas camadas próximas a superfície onde existe melhor cobertura por outros tipos de dados. Os maiores impactos são percebidos no Hemisfério Sul, próximo as regiões polares.

Conclusões semelhantes são obtidas no Capítulo 8, onde foi estudado o impacto da assimilação de ATOVS sobre as previsões. Este estudo é realizado através de índices estatísticos e em termos de comparação visuais entre campos de pressão e precipitação observados e previstos. Em geral, todos os resultados convergem para impacto pequeno na assimilação de ATOVS na maior parte das regiões, apresentando resultados mais expressivos para o Hemisfério Sul.

Outra conclusão importante é que o sistema GPSAS necessita de ajustes nos coeficientes de correlação de erros e uma melhor adequação no tratamento de erros sistemáticos de dados ATOVS e dos *first-guess*. Tais ajustes, quando realizados, deverão propiciar um maior impacto dos dados de ATOVS. Impactos ainda maiores, poderão ser obtidos através de modificações no sistema para assimilar dados de temperatura virtual, ao invés de altura geopotencial.

9.2 Trabalhos Futuros

Em breve deverá ser implementada e testada, a assimilação de temperatura virtual. Esta nova assimilação deverá contornar o problema de ancoragem de geopotencial descrito no Capítulo 6. Também, se espera concluir a operacionalização do GPSAS no CPTEC, de forma que este estará sendo rodado com os dados pre-processados no próprio CPTEC, estabelecendo assim um fluxo contínuo de dados para operação e pesquisa.

Desta forma, uma proposta de prosseguimento deste trabalho é realizar os ajustes dos coeficientes de erros e fazer os estudos necessários para corrigir os BIAS dos *first-guess* e dos dados observacionais.

Um outro trabalho de interesse seria o estudo de impacto, não apenas dos dados de ATOVS, mas também de cada um dos demais tipos de informações, que compõe a análise, permitindo mapear, para cada região, a importância de cada tipo, identificando deficiências e possíveis ações que possam ser realizadas no sentido de aprimorar a qualidade das análises geradas e conseqüentemente das previsões numéricas do tempo no Hemisfério Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, B. D. et al. A simulated future atmospheric observation database including ATOVS, ASCAT e DWL. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.10, p.2278 – 2294, 1996.
- da Silva A. et al. **PSAS user manual**, DAO Office note, Data Assimilation Office. Washington: Goddard Space Flight Center, jun. 1998.
- Dee, D.P. On-line estimation of error covariance parameters for atmospheric data assimilation. **Monthly Weather Review**, V.123, n.4, p.1128-1145, 1995.
- Dee, D.P. e da Silva A. **Estimation of forecast and observation error covariance parameters from observation**. Washington: Goddar Space Flight Center, may 1997. DAO Office note. Data Assimilation Office.
- Dee, D. P. e da Silva, **A Data Assimilation in the Presence of Forecast Bias**. Washington: Goddar Space Flight Center, 1996. DAO Office note 96-18.
- Espinoza, E. S. **Assimilação de informações de radiancias em modelos de previsão numérica do tempo utilizando um sistema de análise objetiva estatístico em espaço físico**. Out 2000. 127p (INPE-8308-TDI/767). Tese (Doutorado em meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.
- Espinoza , E. S. et al. Sistema de assimilação ETA/RPSAS. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. p.3490-3505.
- English, S. ATOVS delivers a big Improvement in NWP, **NWP Gazette**, set. 1999. Disponível em <http://met-office.gov.uk/research/nwp/publications/nwp_gazette/index.html> . Acesso em: 2003.
- Eyre, J. R. On systematic errors in satellite sounding radiances by nonlinear optimal estimation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.116. p.401-434, 1987
- Eyre, J. R. **Inversion methods for satellite sounding data** Meteorological Training Course Lecture Series. London: ECMWF, jan 2001.
- Fleming, J. **Historical essays on meteorology 1919-1995**. Boston: American Meteorological Society, 1996.
- Gandin, L. S. **Objective analysis of meteorological fields**, Translated to English 1965 by Israel Program for Scientific Translation. Jerusalem: IPST, 1963.

- Guo, J., et al. **Documentation of the Physical-space Statistical Analysis System (PSAS) Part II: The factored-operator formulation of error covariances.** Washington: Goddard Space Flight Center, abr. 1998. DAO Office Note, Data Assimilation Office.
- Herdies, D.L. et al. O sistema de assimilação de dados atmosféricos global do CPTEC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. p.4028-4034.
- Järvinen, H. **Observations and diagnostic tools for data assimilation:** Meteorological Training Course Lecture Series. London: ECMWF, 1998.
- Joiner, J. e Silva, A. Efficient methods to assimilate remotely sensed data based on Information content., **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.124, n.549, p.1669-1694, 1998.
- Larson, J. et al. **Documentation of the physical-space statistical analysis system (PSAS).** Part III: the software implementation London: Goddard Space Flight Center, may. 1998. DAO Office Note 1998-05 Data Assimilation Office.
- Lorenc, A. C. A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. **Monthly Weather Review**, v.109, n.4, p.701-721, 1981.
- National Center for Supercomputing Applications (NCSA). **The NCSA HDF Home Page:** information, support, and software from the hierarchical data format (HDF). Group of National Center for Supercomputing Applications. Disponível em: <<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>> . Acesso em 11 jul. 2003
- Ohring, G. Impact of satellite temperature sounding data on weather forecasts. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 60, n.10, P.1142-1147, 1979
- Redder, C e da Silva A. **Documentation of the GEOAS/DAS Observation Data Stream (ODS) version 2.13**, DAO Office Note. Data Assimilation Office. Local: Goddard Space Flight Center, may. 2003.
- Rutherford, I. Data assimilation by statistical interpolation of forecast error field. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.29, n.5, p.809-815, 1972
- Smith, W. L. Atmospheric sounding from satellites - false expectation or the key to improved weather prediction? **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.117, n.498, p.267-297, 1991.
- Sienkiewicz, M. e Pfaendtner, J. Assimilation variability in GEOS-1 data assimilation system. **Monthly Weather Review**, v.125, n.4, p.560-571, 1997 .

Yourdon, E., **Análise estruturada moderna**. Tradução de Dalton Conde de Alencar.
Rio de Janeiro: Campus, 1992.

APÊNDICE A
ESTATÍSTICA DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS DO GPSAS
ORIGINAL COM INCLUSÃO DE DADOS ATOVS

A avaliação estatística aqui apresentada corresponde a cálculo de desvios médios quadráticos (RMS) e desvios médios (BIAS) para as diferenças entre observações e *first-guess* (O-F) e entre observações e análises (O-A) fornecidas pelo GPSAS-CPTEC em rodadas cíclicas com assimilação de ATOVS, para o período 21 a 27 de julho de 2001 e para os seguintes parâmetros meteorológicos:

Tabela A1- Componente zonal do vento

Tabela A2 - Componente meridional do vento

Tabela A3 - Altura geopotencial

Tabela A4 - Umidade específica

De modo geral., em todas as tabelas verifica-se que os valores de RMS(O-A) são menores que os RMS(O-F), indicando, desta forma, o quanto as análises produzidas pelo GPSAS se aproximam dos dados observacionais, para um dos tipos de dados e para cada nível isobárico. Os valores de BIAS devem ser pequenos. Valores de BIAS superiores a 30% do RMS indicam possíveis problemas nos dados ou nas análises.

Estes problemas são verificados nos valores de altura geopotencial na Tabela A3, principalmente para os níveis acima de 10 hPa e para valores de umidade específica em 1000 hPa (Tabela A4).

TABELA A1 – Estatística de assimilação para componente Zonal do Vento (m/s) -
Assimilação com inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS
Superf	-0,39	2,63	19299	-15%	-0,35	2,39	20020	-15%
1000.0	0,37	2,34	1781	16%	0,14	2,18	1791	6%
925.0	0,17	2,41	6339	7%	0,05	2,15	6382	2%
850.0	-0,12	2,35	24343	-5%	-0,21	2,12	25071	-10%
700.0	-0,11	2,61	10478	-4%	-0,14	2,30	10633	-6%
500.0	0,04	2,83	9412	1%	-0,02	2,38	9538	-1%
400.0	0,08	3,13	9143	3%	0,00	2,65	9256	0%
300.0	0,04	3,41	9881	1%	-0,04	2,85	10003	-2%
250.0	0,17	3,48	12452	5%	0,11	2,93	12638	4%
200.0	0,39	3,48	11130	11%	0,28	2,80	11292	10%
150.0	0,31	3,20	8778	10%	0,24	2,65	8867	9%
100.0	0,15	2,96	7674	5%	0,12	2,27	7741	5%
70.0	0,00	2,93	6961	0%	0,04	2,29	7019	2%
50.0	-0,18	2,79	6566	-6%	-0,08	2,30	6607	-3%
30.0	-0,35	3,13	5777	-11%	-0,13	2,28	5809	-6%
20.0	0,25	3,13	4644	8%	0,34	2,78	4666	12%
10.0	0,70	3,83	2110	18%	0,64	3,73	2120	17%

TABELA A2 – Estatística de assimilação para componente meridional do Vento (m/s) -
Assimilação com inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS
Super	0,18	2,65	19962	7%	0,11	2,44	20715	5%
1000.0	0,16	2,29	1792	7%	0,07	2,08	1803	3%
925.0	0,11	2,34	6497	5%	0,02	2,08	6541	1%
850.0	0,11	2,25	24713	5%	0,04	2,04	25450	2%
700.0	0,09	2,56	10529	3%	0,00	2,24	10681	0%
500.0	-0,04	2,76	9385	-1%	-0,08	2,31	9511	-3%
400.0	-0,02	3,12	9152	-1%	-0,04	2,60	9265	-1%
300.0	-0,07	3,44	9958	-2%	-0,08	2,83	10075	-3%
250.0	-0,07	3,54	12353	-2%	-0,04	2,91	12536	-1%
200.0	-0,02	3,55	11150	-1%	-0,02	2,85	11315	-1%
150.0	0,09	3,25	8756	3%	0,02	2,68	8854	1%
100.0	0,00	2,97	7717	0%	-0,03	2,26	7785	-1%
70.0	-0,11	2,85	7005	-4%	-0,09	2,27	7063	-4%
50.0	-0,30	2,74	6562	-11%	-0,23	2,27	6603	-10%
30.0	-0,51	2,94	5807	-17%	-0,36	2,21	5838	-16%
20.0	-0,49	3,17	4660	-16%	-0,33	2,67	4681	-12%
10.0	0,26	3,76	2121	7%	0,35	3,66	2131	9%

TABELA A3 – Estatística de assimilação para altura geopotencial (mgp) - Assimilação com inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	Nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS
Super	0,17	8,22	64961	2%	0,02	6,58	67315	0%
1000.0	1,19	8,15	2694	15%	-0,49	5,89	2717	-8%
925.0	0,14	5,05	68926	3%	0,33	8,39	71644	4%
850.0	0,39	8,63	70496	5%	0,23	10,50	73232	2%
700.0	6,10	14,78	70592	41%	4,91	15,08	73315	33%
500.0	7,52	17,96	70750	42%	5,21	16,54	73469	31%
400.0	6,82	19,50	70680	35%	4,11	17,50	73407	23%
300.0	6,98	21,91	70570	32%	3,60	19,53	73296	18%
250.0	7,70	23,28	70536	33%	4,06	20,66	73265	20%
200.0	7,50	23,89	70654	31%	4,01	20,92	73393	19%
150.0	5,30	23,91	70749	22%	2,52	20,43	73494	12%
100.0	5,41	23,52	70648	23%	2,33	19,07	73390	12%
70.0	5,61	23,77	70475	24%	2,63	19,10	73215	14%
50.0	4,95	25,26	70235	20%	2,21	20,08	72977	11%
30.0	0,54	27,53	69777	2%	-1,44	22,49	72522	-6%
20.0	4,68	30,40	68851	15%	2,53	25,13	71591	10%
10.0	52,02	70,36	65135	74%	48,67	66,81	67867	73%
7.0	94,12	109,50	52535	86%	90,63	106,93	55186	85%
5.0	49,02	77,58	62454	63%	44,62	73,92	65168	60%

Notas:

- a) Nesta tabela as alturas geopotenciais no nível de superfície correspondem na realidade a valores de pressão reduzida ao nível do mar das estações de superfície, transformados em alturas geopotenciais pelo GPSAS. Portanto, são dados de altura geopotencial em níveis isobáricos, que dependendo da topografia, podem variar entre 1000 e 700 hPa
- b) Com relação ao nível de 1000 hPa, verifica-se que este possui número menor de informações do que os demais níveis isobáricos, pois não existem dados de TOVS em 1000 hPa e os dados de superfície em 1000 hPa, já foram computados na linha de superfície (Super). Os valores de 1000 hPa referem-se somente aos dados de radiossonda, procedentes das estações situadas abaixo ou ao nível de 1000 hPa.

TABELA A4 – Estatística de assimilação para umidade específica (g/kg) - Assimilação com inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	Nobs	Bias/ RMS
1000.0	-0,53	1,20	2218	-44%	-1,17	2,14	2200	-55%
925.0	-0,14	1,07	6227	-13%	-0,35	1,61	6195	-21%
850.0	-0,09	0,97	7415	-9%	-0,18	1,42	7383	-13%
700.0	-0,03	0,73	7857	-5%	-0,05	1,07	7826	-4%
500.0	-0,01	0,34	7450	-2%	-0,04	0,52	7417	-9%
400.0	0,00	0,17	7076	0%	-0,04	0,26	7043	-15%
300.0	-0,01	0,06	5734	-15%	-0,03	0,10	5709	-31%

APÊNDICE B

ESTATÍSTICA DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS DO GPSAS SEM INCLUSÃO DE DADOS ATOVS

Da mesma forma que no Apêndice A, a avaliação estatística apresentada neste apêndice corresponde a cálculo de desvios médios quadráticos (RMS) e desvios médios (BIAS) para as diferenças entre observações e *first-guess* (O-F) e entre observações e análises (O-A), fornecidas pelo fornecidos pelo GPSAS-CPTEC em rodadas cíclicas de assimilação para o período 21 a 27 de julho de 2001. Contudo nestas rodadas os dados de ATOVS não são assimilados.

Os resultados correspondem os seguintes parâmetros meteorológicos:

Tabela B1- Componente zonal do vento
Tabela B2 – Componente meridional do vento
Tabela B3 – Altura geopotencial
Tabela B4 – Umidade específica

De modo geral, verifica-se que em todas as tabelas desta apêndice verifica-se que os valores de RMS(O-A) são menores que os RMS(O-F), indicando, desta forma, o quanto as análises produzidas pelo GPSAS se aproximam dos dados observacionais, para um dos tipos de dados e para cada nível isobárico. Os valores de BIAS devem ser pequenos. Valores de BIAS superiores a 30% do RMS indicam possíveis problemas nos dados ou nas análises.

Estes problemas são verificados nos valores de altura geopotencial na Tabela B3 , principalmente para os níveis acima de 10 hPa e para valores de umidade específica em 1000 hPa Tabela B4.

TABELA B1 – Estatística de assimilação para componente zonal do vento (m/s) -
Assimilação sem inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	Nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	nobs	Bias /RMS
Super	-0,37	2,59	20217	-14%	-0,34	2,37	20217	-14%
1000.0	0,37	2,33	1750	16%	0,14	2,17	1750	6%
925.0	0,14	2,40	6258	6%	0,03	2,15	6258	1%
850.0	-0,08	2,38	22372	-3%	-0,19	2,13	22372	-9%
700.0	-0,10	2,64	10073	-4%	-0,15	2,31	10073	-6%
500.0	0,04	2,87	9191	1%	0,00	2,38	9191	0%
400.0	0,04	3,19	8947	1%	0,00	2,66	8947	0%
300.0	0,00	3,44	9584	0%	-0,04	2,82	9584	1%
250.0	0,14	3,55	12153	4%	0,12	2,91	12153	4%
200.0	0,24	3,52	10784	7%	0,25	2,77	10784	9%
150.0	0,14	3,29	8518	4%	0,18	2,62	8518	7%
100.0	0,01	3,06	7528	0%	0,08	2,25	7528	3%
70.0	-0,13	2,99	6941	-5%	-0,01	2,31	6941	-1%
50.0	-0,35	2,82	6542	-12%	-0,17	2,28	6542	-7%
30.0	-0,56	3,21	5782	-18%	-0,25	2,24	5782	-11%
20.0	0,04	3,12	4637	1%	0,25	2,71	4637	9%
10.0	0,46	3,83	2102	12%	0,60	3,71	2102	16%

TABELA B2 – Estatística de assimilação para componente meridional do Vento (m/s)
 - Assimilação sem inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/ RMS
Super	0.14	2.64	20676	5%	0.10	2.44	20676	4%
1000.0	0.20	2.31	1767	9%	0.06	2.07	1767	3%
925.0	0.10	2.36	6403	4%	0.00	2.07	6403	0%
850.0	0.07	2.32	22775	3%	0.00	2.06	22775	0%
700.0	0.08	2.59	10124	3%	-0.02	2.25	10124	-1%
500.0	-0.06	2.82	9164	-2%	-0.11	2.33	9164	-5%
400.0	-0.01	3.19	8944	-0%	-0.05	2.61	8944	-2%
300.0	-0.02	3.47	9623	-1%	-0.07	2.80	9623	-2%
250.0	-0.02	3.60	12083	-1%	-0.02	2.89	12083	-1%
200.0	0.03	3.57	10798	1%	-0.01	2.79	10798	-1%
150.0	0.10	3.32	8534	3%	0.00	2.66	8534	0%
100.0	0.06	3.02	7578	2%	-0.01	2.24	7578	-0%
70.0	-0.05	2.93	6962	-2%	-0.06	2.28	6962	-3%
50.0	-0.26	2.80	6548	-9%	-0.20	2.27	6548	-9%
30.0	-0.45	3.02	5807	-15%	-0.30	2.18	5807	-14%
20.0	-0.42	3.24	4658	-13%	-0.26	2.62	4658	-10%
10.0	0.36	3.87	2110	9%	0.41	3.74	2110	11%

TABELA B3 – Estatística de assimilação para altura geopotencial (m/s) - Assimilação sem inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias /RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/RMS
Super	0.21	8.21	67402	3%	-0.02	6.45	67402	0%
1000.0	1.40	8.03	2652	17%	-0.33	5.75	2652	6%
925.0	-0.11	8.01	5579	1%	-2.07	6.11	5579	34%
850.0	-0.35	8.37	6729	4%	-1.79	6.70	6729	27%
700.0	1.39	9.19	7088	15%	-0.27	6.83	7088	4%
500.0	3.76	12.07	7466	31%	-0.05	8.90	7466	1%
400.0	5.05	14.69	7299	34%	0.05	11.10	7299	0%
300.0	6.49	18.13	7162	36%	0.31	14.05	7162	2%
250.0	6.02	18.98	7090	32%	0.24	15.16	7090	2%
200.0	4.89	19.72	7019	25%	-0.12	16.16	7019	1%
150.0	3.84	20.69	6859	19%	-0.03	17.28	6859	0%
100.0	2.76	22.40	6719	12%	0.31	19.33	6719	2%
70.0	1.38	24.79	6472	6%	0.36	21.82	6472	2%
50.0	-0.96	27.61	6207	3%	0.19	23.97	6207	1%
30.0	-4.64	34.06	5614	14%	-0.60	29.10	5614	2%
20.0	-4.40	38.78	4635	11%	0.68	33.59	4635	2%
10.0	10.85	50.64	2359	21%	16.38	51.35	2359	32%

Notas:

- a) Nesta tabela as alturas geopotenciais no nível de superfície correspondem na realidade a valores de pressão reduzida ao nível do mar das estações de superfície, transformados em alturas geopotenciais pelo GPSAS. Portanto, são dados de altura geopotencial em níveis isobáricos, que dependendo da topografia, podem variar entre 1000 e 700 hPa
- b) Com relação ao nível de 1000 hPa, verifica-se que este possui número menor de informações do que os demais níveis isobáricos, pois os dados de superfície em 1000 hPa, já foram computados na linha de superfície (Super). Os valores de 1000 hPa referem-se somente aos dados de radiossonda, procedentes das estações situadas abaixo ou ao nível de 1000 hPa.

TABELA B4 – Estatística de assimilação para umidade específica (g/kg) –
Assimilação com inclusão de ATOVS.

Nível	O-F				O-A			
	Bias	RMS	nobs	Bias /RMS	Bias	RMS	nobs	Bias/RMS
1000.0	-1,11	2,08	2220	53%	-0,49	1,16	2220	-42%
925.0	-0,35	1,61	6220	22%	-0,14	1,07	6220	-13%
850.0	-0,17	1,41	7415	12%	-0,08	0,97	7415	-8%
700.0	-0,04	1,07	7840	3%	-0,03	0,73	7840	-5%
500.0	-0,04	0,52	7437	8%	0,00	0,34	7437	1%
400.0	-0,04	0,26	7083	14%	0,00	0,17	7083	1%
300.0	-0,03	0,10	5715	29%	-0,01	0,06	5631	-17%