



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m18/2014/05.07.17.54-TDI

**USO DA TÉCNICA DE OSE PARA AVALIAR O
IMPACTO DE OBSERVAÇÕES NO SISTEMA DE
ASSIMILAÇÃO DE DADOS GLOBAL VARIACIONAL
TRIDIMENSIONAL DO CPTEC/INPE**

Helena Barbieri de Azevedo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 16 de maio de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3G9DDAL>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m18/2014/05.07.17.54-TDI

**USO DA TÉCNICA DE OSE PARA AVALIAR O
IMPACTO DE OBSERVAÇÕES NO SISTEMA DE
ASSIMILAÇÃO DE DADOS GLOBAL VARIACIONAL
TRIDIMENSIONAL DO CPTEC/INPE**

Helena Barbieri de Azevedo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 16 de maio de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3G9DDAL>>

INPE
São José dos Campos
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Azevedo, Helena Barbieri de.

Az25u Uso da técnica de OSE para avaliar o impacto de observações no sistema de assimilação de dados global variacional tridimensional do CPTEC/INPE / Helena Barbieri de Azevedo. – São José dos Campos : INPE, 2014.

xxiii + 117 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m18/2014/05.07.17.54-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Orientador : Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves.

1. Assimilação de dados. 2. Impacto de observação. 3. PNT.
I.Título.

CDU 551.509.313

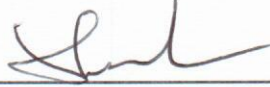


Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

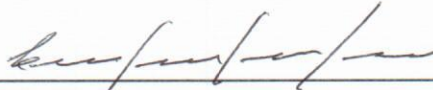
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia

Dr. Dirceu Luis Herdies



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Luis Gustavo Gonçalves de
Gonçalves



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Arlindo da Silva



Convidado(a) / NASA / Estados Unidos - USA

Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza



Convidado(a) / UEA / Manaus - AM

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Helena Barbieri de Azevedo**

São José dos Campos, 16 de Maio de 2014

“O importante é não parar de questionar”.

ALBERT EINSTEIN

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelo espaço e suporte computacional fornecido.

Ao meu orientador Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves pela oportunidade, incentivo, confiança e conhecimento que foi passado a mim, além do apoio, paciência e amizade durante todo esse período.

Aos colegas do Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados (GDAD), em especial à Bruna Silveira e Carlos Frederico Bastarz por todo o suporte e ajuda com o sistema, ao Fabio Diniz e ao Dr. Luis Fernando Sapucci pela ajuda com a discussão de alguns resultados, ao João Gerd Zell de Mattos, Paulo Dias e Lucas Amarante pelo suporte com programação, ao Leonardo Paraiso, Bianca Maske e Brunna Romero pelo apoio e amizade dado diariamente.

Ao Dr. Dirceu Luis Herdies e Dr. José Paulo Bonatti pelas sugestões que foram dadas durante a proposta.

Meus pais, Ana e Edson, e minha irmã Mariana, pelo apoio dado em todas as minhas escolhas, principalmente pelo carinho e motivação durante o período de desenvolvimento do presente trabalho.

Aos meus amigos e aos colegas do mestrado por todo apoio emocional e momentos de descontração, em especial à Carla Comin, Danielson Neves, Giuliana Barbieri, Graziela Luzia, José Dias, Juliana Arrué, Ludmila Pochmann, Mari Firpo, Maria Eugênia Welter, Natalia Sinhori, Tassia Senne, Tilius Nery, Vanessa Soria, Wendell Farias e William Dachery.

A todos mencionados aqui o meu muito obrigada!

RESUMO

Assimilação de Dados é uma técnica onde a partir de uma estimativa das condições atmosféricas combinada com dados observados, considerando condições de superfície e contorno apropriadas, permite a construção de um estado ótimo da atmosfera. Para isso, ter o conhecimento do sistema de assimilação e seu fluxo de dados é de grande importância, assim como saber quais os dados influenciam mais ou menos nas análises e previsões geradas por esse sistema. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o impacto das principais observações assimiladas pelo sistema de assimilação de dados G3DVar em suas análises e previsões utilizando a técnica de Experimentos de Sistemas de Observações (OSE, do inglês *Observing System Experiments*). Essa técnica consiste em: utilizando um sistema de assimilação de dados fazer uma rodada controle, onde todos os dados disponíveis são utilizados, e esta é utilizada como referência. Em seguida, um ou mais experimentos são feitos, de modo que alguns sistemas de observação são retirados do Controle. As análises e previsões são geradas para o controle e para os demais experimentos. Por fim as análises e previsões de cada experimento são então verificadas e comparadas a fim de determinar o impacto de cada tipo de dado a ser avaliado. Para este trabalho foram realizados doze experimentos: o controle, sem radiossondas, sem satélite, sem GPS, sem dados, apenas com radiossonda, apenas com satélites, apenas com GPS, apenas com radiossonda e GPS, apenas com radiossonda e satélite, apenas com satélite e GPS e por fim apenas radiossonda, GPS e satélite. Tais experimentos foram realizados para o mês de janeiro de 2013. Foram avaliados de maneira objetiva e um estudo de caso foi feito para um episódio de ZCAS que ocorreu no período de 10 de janeiro a 15 de janeiro de 2013.

**USING THE TECHNIQUE OSE FOR ASSESSING IMPACT OF
OBSERVATIONS ON THE GLOBAL DATA ASSIMILATION
SYSTEM VARIATIONAL THREE DIMENSIONAL CPTEC / INPE**

ABSTRACT

Data assimilation is a technique in which an estimate of the atmospheric conditions combined with observations, considering appropriated boundary and surface conditions, allows the construction of the actual atmospheric state. For this, a proper knowledge of the data assimilation system and data flow is of critical importance in addition to its influence on the analyzes and forecasts generated by this system. Thus, the present study aims to evaluate the impact of observations assimilated by the G3DVar data assimilation system in their analysis and forecasts using the Observing System Experiments technique. This technique consists of: using a data assimilation system to a spin control, where all labels available data are used, and this is used as reference. Furthermore, one or more experiments are done, so that some observations are removed from the control. The analysis and forecasts are then generated for the control and the other experiments. Finally the analyzes and forecasts of each experiment are compared in order to determine the impact of each type of data to be evaluated. For the present work twelve experiments were performed: control, without radiosondes, without radiances, without GPS, no data, only radiosonde, only satellites, only GPS, only GPS with radiosonde, with only radiosonde and satellite, only radiances and GPS, and finally only radiosonde, GPS and satellite. Such experiments were carried out for the month of January 2013. Moreover the experiments were evaluated objectively and through a case study for a SACZ episode that occurred in the period from January 10 to January 15, 2013.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Diagrama mostrando um ciclo de assimilação de dados (6-h) intermitente.	14
3.2 Ciclo de assimilação intermitente, mostrando a janela de assimilação de dados de 6 horas, centrada, e a previsão de 9 horas utilizada como <i>background</i> .	14
3.3 Ilustração do Sistema Global de Observações.	16
3.4 Regiões que foram avaliadas: Globo (vermelho), Região Tropical (amarelo), Hemisfério Norte (verde), Hemisfério Sul (rosa) e América do Sul e Oceanos Adjacentes (azul).	23
3.5 Ponto específico sobre 10,77°S e 62,33°O.	24
4.1 Distribuição espacial dos dados convencionais assimilados pelo CONTROLE dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z. Em (a) pressão em superfície, (b) componente zonal e meridional do vento, (c) temperatura, (d) umidade específica e (e) refratividade.	26
4.2 Distribuição espacial dos dados de radiâncias assimilados pelo CONTROLE dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z. Em (a) METOP-A, (b) AQUA, (c) NOAA-15, (d) NOAA-18 e (e) NOAA-19.	27
4.3 Quantidade de dados convencionais Monitorados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	29
4.4 Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	30
4.5 Quantidade de dados convencionais Não Usados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	30

4.6	Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	31
4.7	Quantidade de dados de Radiâncias Assimiladas ($\times 10^6$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	31
4.8	Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos GPS (vermelho) e RAD (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	33
4.9	Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^4$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos GPS (vermelho) e RAD (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	33
4.10	Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos RS (vermelho), GS (preto), RG (azul) e SRG (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	34
4.11	Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos RS (vermelho), GS (preto), RG (azul) e SRG (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	34
4.12	Quantidade de dados de Radiâncias Assimiladas ($\times 10^6$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos SAT (vermelho), RS (azul), GS (verde) e SRG (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.	35

4.13	Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	37
4.14	Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	39
4.15	Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	41
4.16	Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	42
4.17	RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	43
4.18	RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	44
4.19	Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	47
4.20	Previsões e erros associados quando ocorre a assimilação de qualquer fonte de dado (superior) e quando não ocorre assimilação de nenhum dado (inferior).	48
4.21	Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores RMSE.	49
4.22	Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	51

4.23	Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	52
4.24	RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	53
4.25	RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	54
4.26	Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	57
4.27	Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	59
4.28	Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	61
4.29	Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.	62
4.30	RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	63
4.31	RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.	64
4.32	Corte médio meridional da temperatura integrado no tempo. No topo cortes dos experimentos NO_GPS (esquerda), NO_RAD (centro) e NO_SAT (direita). No centro cortes do experimento CONTROLE. Na base diferença entre NO_GPS e CONTROLE (esquerda), NO_RAD e CONTROLE (centro) e NO_SAT e CONTROLE (direita).	66

4.33	Corte médio meridional integrado no tempo da umidade. No topo cortes dos experimentos NO_GPS (esquerda), NO_RAD (centro) e NO_SAT (direita). No centro cortes do experimento CONTROLE. Na base diferença entre NO_GPS e CONTROLE (esquerda), NO_RAD e CONTROLE (centro) e NO_SAT e CONTROLE (direita).	66
5.1	Imagem do Satélite GOES 10 para os dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013.	69
5.2	Cartas sinóticas para o nível de 250hPa, nos dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013.	70
5.3	Cartas sinóticas de superfície para os dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013.	71
5.4	Série temporal da componente zonal do vento na Localidade (10,77°S, 62,33°) de acordo com as análises dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_SAT, (c) NO_RAD e (d) NO_GPS.	73
5.5	Série temporal da componente zonal do vento na Localidade (10,77°S, 62,33°) de acordo com as análises dos experimentos: (a) controle (sem dados), (b) SAT, (c) RAD, (d) GPS, (e) RG, (f) GS, (g) RS e (h) SRG.	76
5.6	Média do conteúdo de água precipitável para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.	81
5.7	Média da pressão ao nível médio do mar e do vento horizontal em superfície para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.	83
5.8	Média do Omega e do vento horizontal em 500hPa para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.	85
5.9	Média da divergência e do vento horizontal em 200hPa para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.	87

5.10	Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas da pressão em superfície (hPa), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013.	96
5.11	Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas de temperatura (°C), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013.	102
5.12	Continua	105
5.13	Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas de umidade específica em 850hPa (kg/kg), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013. . . .	108

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Descrição das configurações do modelo utilizado.	12
3.2 Fontes de dados disponíveis para a assimilação no GSI versão 3.1.	15
3.3 Observações assimiladas diariamente pelo G3DVar no CPTEC/INPE em Janeiro de 2013.	18
3.4 Sensores (linhas) e satélites (colunas) utilizados pelo G3DVar em Janeiro de 2013.	18
3.5 Configurações do Supercomputador para cada processo do ciclo de as- similação.	19
3.6 Configuração dos experimentos (negação de dados).	20
3.7 Configuração dos experimentos (acréscimo de dados).	22
5.1 Configuração do vento zonal em 850hPa.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	–	Assimilação de Dados
PNT	–	Previsão Numérica de Tempo
IO	–	Interpolação Ótima
PSAS	–	<i>Physical-space Statistical Assimilation System</i>
EnKF	–	<i>Ensemble Kalman Filter</i>
LETKF	–	<i>Local Ensemble Transform Kalman Filter</i>
GSI	–	<i>Gridpoint Statistical Interpolation</i>
GDAD	–	Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados
CPTEC	–	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NCEP	–	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NOAA	–	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
MCGA	–	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
OSE	–	<i>Observing System Experiments</i>
OSSE	–	<i>Observing System Simulation Experiments</i>
DFS	–	<i>Degree of Freedom for Signal</i>
FSO	–	<i>Forecast Sensitivity to the Observations</i>
OMM	–	Organização Meteorológica Mundial
AMSU	–	<i>Advanced Microwave Sounding Unit</i>
AIRS	–	<i>Atmospheric Infrared Sounder</i>
HIRS	–	<i>High resolution Infrared Radiation Sounder</i>
MHS	–	<i>Microwave Humidity Sounder</i>
IASI	–	<i>Infrared Atmospheric Sounding Interferometer</i>
C-MAN	–	<i>Coastal-Marine Automated Network</i>
GSD	–	<i>Global System Division</i>
GTS	–	<i>Global Telecommunication System</i>
NESDIS	–	<i>National Environmental Satellite, Data, and Information Service Servers</i>
CRTM	–	<i>Community Radiative Transfer Model</i>
RMSE	–	<i>Root Mean Square Error</i>
ZCAS	–	Zona de Convergência do Atlântico Sul
PNM	–	Pressão ao Nivel do Mar
ZCIT	–	Zona de Convergência Intertropical
ASAS	–	Alta Subtropical do Atlântico Sul
GPS	–	<i>Global Position System</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 O Modelo de Circulação Geral da Atmosfera	11
3.2 O Gridpoint Statistical Interpolation (GSI)	12
3.3 Descrição dos dados	15
3.4 Configuração dos Experimentos	19
3.4.1 Negação de dados	20
3.4.2 Acréscimo de dados	20
3.5 Avaliação Objetiva	21
3.6 Estudo de caso	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 Fluxo de dados	25
4.1.1 Fluxo de dados para os experimentos de negação de dados	28
4.1.2 Fluxo de dados para os experimentos de acréscimos de dados	32
4.2 Avaliação Objetiva	35
4.2.1 Avaliação das previsões	35
4.2.2 Avaliação das análises	65
5 ESTUDO DE CASO	67
5.1 Análise sinótica de 10 a 15 de janeiro de 2013	67
5.2 Avaliação das análises	72
5.3 Comparação análise X previsão	88
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

1 INTRODUÇÃO

Os centros operacionais ao redor do mundo tem evoluído muito no que diz respeito à Previsão Numérica de Tempo (PNT). Essas evoluções se dão principalmente pelos avanços no setor computacional assim como avanços na área de modelagem como, por exemplo, melhorias na resolução e o aumento no horizonte de previsão dos modelos. Esses centros precisam se manter atualizados em relação ao volume e tratamento dos dados disponíveis, volume esse que é muito maior que a quantidade que se é capaz de assimilar. Esses dados precisam ser trabalhados para que se faça um bom uso deles quando combinados com o sistema de supercomputação e modelo numérico.

A Assimilação de Dados (AD) é uma técnica onde se utiliza o maior número possível de informações provenientes de observações combinado com previsões numéricas de curtíssimo prazo para estimar o estado da atmosfera. Esta prática surgiu na década de 50 a partir da necessidade de se obter condições iniciais balanceadas para uso nos modelos de Previsão Numérica de Tempo sendo aprimorada até os dias atuais. Dentre as primeiras técnicas que surgiram, citam-se o método das Correções Sucessivas (CRESSMAN, 1959) e a Interpolação Ótima (IO) (GANDIN, 1965; JULIAN; THIEBAUX, 1975), que apesar de mais simplificadas quando comparadas com as atuais, representaram um grande avanço na previsão numérica de tempo. Atualmente as técnicas mais utilizadas por centros operacionais são os métodos variacionais 3D-Var e 4D-Var e métodos por conjuntos como Filtro de Kalman e suas variações. Portanto a Assimilação de Dados tem por finalidade reunir o maior número possível de informações a fim de obter uma melhor estimativa do estado atual da atmosfera e das condições iniciais para um modelo de previsão numérica com o propósito de alcançar as melhores análises e conseqüentes previsões (KALNAY, 2003; TSUYUKI; MIYOSHI, 2007; HERDIES et al., 2008). Esta é uma técnica onde, ao ser fornecido uma estimativa das condições atmosféricas combinadas com dados observados, considerando condições de superfície e contorno apropriadas, constrói um estado da atmosfera tal que permita uma adequada simulação da atmosfera utilizando-se um modelo numérico.

Pode-se dividir os sistemas de assimilação de dados mais utilizados atualmente em dois grandes grupos, de acordo com a metodologia utilizada, sendo eles: sistemas variacionais e sistemas baseados em conjuntos (*ensemble*). Do primeiro grupo citam-se o PSAS (*Physical-space Statistical Assimilation System*) (COHN et al., 1998), o 3D-Var (SASAKI, 1970; KALNAY, 2003) e o 4D-Var (LEWIS; DERBER, 1985; KALNAY, 2003) enquanto que do segundo grupo tem-se o EnKF (*Ensemble Kalman Filter*)

(EVENSEN, 1994) e o LETKF (*Local Ensemble Transform Kalman Filter*) (OTT et al., 2002; OTT et al., 2004). Outras técnicas mais recentes, porém ainda pouco difundidas são as que utilizam os sistemas híbridos e os filtros de partículas. A presente dissertação utiliza o sistema variacional em três dimensões (3D-Var), o qual será descrito em maiores detalhes nas seções seguintes.

Além dos sistemas de assimilação de dados, o fluxo de dados é componente fundamental dentro do processo de AD, onde a quantidade e a qualidade das informações interferem substancialmente na geração da análise e, conseqüentemente na qualidade das previsões. De acordo com Andreoli et al. (2008a) um dos fatores que determinam o desempenho dos sistemas de assimilação de dados está relacionado à quantidade e qualidade das observações. Esse é um dos motivos pelo qual o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) se motivou a investir em um sistema de assimilação de dados que utiliza os últimos avanços na área. Recentemente o Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados (GDAD) do CPTEC/INPE implementou um novo sistema, chamado GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) (KLEIST et al., 2009), que ao ser acoplado ao Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE recebe o nome de G3DVar. Este novo sistema é capaz de assimilar um grande volume de dados quando comparado com o sistema de assimilação de dados anterior, o PSAS, podendo assimilar tanto dados convencionais (SYNOP, METAR, radiossondas, boias, aeronaves, navios, mareógrafos, vento por satélite, vento por radar, e etc.) como dados de radiancias provenientes de diversos satélites. O ganho esperado no número de dados em todo o globo a ser assimilados neste centro é de aproximadamente uma ordem de magnitude (de 10^5 para 10^6 observações). De acordo com Silveira et al. (2012) estão disponíveis para assimilação aproximadamente 1035 canais de diversos satélites, totalizando em média, para os meses de Junho e Julho de 2012, 405.061.800 observações de satélites. Para o conjunto de dados convencionais, Azevedo et al. (2012) mostraram que a média de dados horários que foram assimilados para o dia 01 de dezembro de 2011, foram de 61.886 observações de pressão em superfície, 9.392 de umidade específica, 22.320 de temperatura e 76.821 de vento horizontal, totalizando 727.419 observações convencionais por horário sinótico.

Há algumas décadas os principais centros operacionais ao redor do mundo adotaram a assimilação de dados, porém poucos foram os esforços para avaliar o impacto que diferentes tipos de observações tem sobre a qualidade da análise e a propagação desses impactos nas subseqüentes previsões. Existem vários métodos desenvolvidos para avaliação destes impactos, todavia, um dos métodos mais difundido é o chamado

Experimentos de Sistemas de observações (OSE - *Observing System Experiments*). Esta é uma técnica onde segundo Lupu et al. (2011) são inseridos novos sistemas de observação ou onde um ou mais sistemas de observação são retidos no processo de assimilação de dados (*data denial*), a fim de se avaliar o impacto da inclusão ou exclusão de uma determinada observação na qualidade da previsão numérica de tempo. Similar ao OSE existe também a técnica de Experimentos de Sistemas de Observações Simulados (OSSE - *Observing System Simulation Experiments*), que segundo Masutani et al. (2009), consiste em inserir novos dados e/ou sistemas de observações no sistema de AD, porém tais dados e/ou sistemas são simulados (ou sintéticos) e não reais. Além do OSE e do OSSE, outras técnicas estão começando a ser utilizadas com maior frequência na avaliação desses sistemas, tais como o *Degree of Freedom for Signal* (DFS), que é utilizado para diagnosticar o impacto das observações na análise (RABIER et al., 2001; LUPU et al., 2012) ou o *Forecast Sensitivity to the Observations* (FSO) que é utilizado para avaliar o impacto das observações nas previsões (KUNII et al., 2012). Para o presente estudo, foi utilizada a técnica de OSE.

1.1 Objetivos

Visando o que foi mencionado anteriormente, o objetivo principal desse trabalho é estudar o impacto dos diversos sistemas de observação nas análises e previsões geradas pelo sistema de assimilação de dados G3DVar do CPTEC/INPE, utilizando a técnica de OSE. Para isso, alguns objetivos específicos foram traçados:

- quantificar o número de observações assimiladas, rejeitadas e monitoradas para todos os experimentos;
- identificar dentre os sistemas de observação assimilados, entre satélites, GPS e radiossondas quais exercem os maiores impactos nas análises e previsões;
- avaliar a qualidade das análises e previsões quando submetidas a diferentes conjuntos de dados assimilados;
- avaliar subjetivamente como cada experimento se mostrou diante de um sistema de tempo severo.

Nas seções seguintes serão apresentados alguns estudos já realizados utilizando as técnicas supracitadas. Os dados que foram utilizados para o desenvolvimento desse

trabalho bem como a metodologia que foi empregada serão descritos no Capítulo 3, também uma apresentação do MCGA/CPTEC e do sistema de assimilação de dados (GSI). Por fim serão mostrados os resultados obtidos seguidos de uma discussão, além do estudo de caso e conclusões a respeito dos mesmos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o passar dos anos, o conhecimento sobre a meteorologia foi evoluindo, junto disso, foram evoluindo também os sistemas de observações, aumentando assim a quantidade de dados atmosféricos e de superfície. Esses sistemas de observações que passaram de ser apenas as medições diretas como de temperatura e vento, obtidas via estações SYNOP, radiossondas e até mesmo boias, para as observações indiretas, contendo os inúmeros dados de temperatura de brilho obtidos via sensoriamento remoto. Com esse aumento do número de observações se fez necessário a criação de técnicas para avaliar como interagem essas observações com sistemas de assimilação de dados em modelos de PNT, e ainda como elas interagem entre si.

Como mencionado no Capítulo 1, uma das técnicas mais difundidas para avaliar o impacto dos sistemas de observações nas análises e previsões é a técnica de Experimentos de Sistemas de Observações (daqui para frente chamado de OSE, do inglês *Observing System Experiments*). Esta é uma técnica onde segundo [Lupu et al. \(2011\)](#) são inseridos novos sistemas de observação ou onde um ou mais sistemas de observação são retidos no processo de assimilação de dados, além de se avaliar o impacto da inclusão ou exclusão de uma determinada observação na qualidade da previsão numérica de tempo. De acordo com [Atlas \(2001\)](#), experimentos desse tipo fornecem uma avaliação quantitativa da importância de um tipo de dado selecionado para o sistema de assimilação de dados específico, que foi utilizado. Além disso, o OSE também proporciona informação útil sobre a eficácia do sistema. Esta informação pode ser usada para melhorar a utilização deste e de outros dados e/ou sistemas de observações no sistema de assimilação de dados, bem como para determinar a importância destes dados.

A técnica de OSSE (do inglês *Observing System Simulation Experiments*), por sua vez, é similar à técnica supracitada, porém no lugar de retirar dados do Sistema de Assimilação de Dados (SAD), são acrescentados dados sintéticos ao sistema, dados estes não reais. Consiste portanto, em fazer simulações com o estado da arte em termos de modelo e dados e comparar com simulações onde são adicionados dados sintéticos. Segundo [Masutani et al. \(2009\)](#), a motivação mais comum para utilização desta técnica visa estimar o impacto de novos tipos de dados. De acordo com [Timmermans et al. \(2009\)](#) tal técnica é utilizada para prever o efeito de determinado instrumento ou dado. [Atlas \(2001\)](#) salienta que tais experimentos não devem fugir muito da realidade e, deve-se ter muito cuidado com a avaliação dos resultados.

No CPTEC/INPE alguns estudos já foram feitos no âmbito de avaliação de impacto

de observações em análises e previsões geradas pelos modelos daquele Centro. Por exemplo, Mattos (2006), utilizando a técnica de OSSE, incluiu *pseudo-temps* no sistema de assimilação GPSAS, os quais representaram dados extras em pontos onde não existiam dados observacionais *in situ*, para melhorar a condição inicial utilizada pelo MCGA/CPTEC. O autor adicionou perfis verticais retirados de observações simuladas em regiões onde havia escassez de dados de ar superior. Essas foram obtidas a partir de análises do NCEP e do Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF, do inglês *European Center of Medium-Range Weather Forecasts*). Ele comparou simulações com e sem os *pseudo-temps*. Como resultado ele mostrou que, para o GPSAS, utilizar *pseudo-temps* proporciona um aumento no prazo útil das previsões.

Andreoli et al. (2008a), utilizaram a técnica de OSE para avaliar a contribuição de diversos sistemas de observação na previsão de tempo do CPTEC/INPE utilizando o GPSAS (implementação do PSAS em escala Global). Os experimentos foram configurados da seguinte forma:

- CTR: inclui informações de altura geopotencial, pressão em superfície, umidade específica e vento zonal e meridional, oriundas de sistemas convencionais e distribuídas via GTS e informações de vento, umidade e altura geopotencial inferidas por satélites, tais como: dados de vento por satélite, dados de vento em superfície sobre o oceano, água precipitável estimada a partir do SSM/I, perfis verticais de temperatura e umidade inferidos pelo ATOVS e perfis verticais de altura geopotencial inferidos pelo sistema de sondagem AIRS/AMSU;
- NOATOVs: é o controle menos os perfis atmosféricos inferidos pelo sistema ATOVS;
- NOSR4: é o controle menos os dados convencionais e o vento estimado por satélite;
- NOAIRS: é o controle menos os perfis de altura geopotencial inferidos pelo sistema de sondagem AIRS/AMSU;
- NORET: é o controle menos todos os perfis de altura geopotencial dos sistemas ATOVS e AIRS/AMSU;
- NOQSCAT: é o controle menos os dados de vento sobre o oceano;
- NOCTW: é o controle menos os dados de vento estimados por satélite;

- NOWIND: é o controle menos todos os dados de vento estimados por satélites;
- NOTPW: é o controle menos os dados de água precipitável.

Os autores encontraram que todos os sistemas de observação estudados exerceram impacto positivo nas análises e previsões do CPTEC/INPE, e concluíram a importância de se utilizar um conjunto completo de dados, principalmente para o Hemisfério Sul. O mesmo foi visto por [Andreoli et al. \(2008b\)](#) ao avaliarem o impacto da inclusão de sondagens do AIRS/AMSU no GPSAS. Neste estudo, os autores realizaram dois experimentos denominados C_AIRS (com inclusão das sondagens AIRS/AMSU) e S_AIRS (sem as sondagens AIRS/AMSU), tais experimentos foram comparados entre si, e contra análises do Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP, do inglês *National Centers for Environmental Prediction*). Como resultados para os campos de análise e previsões houve uma melhora de até 15 % em algumas regiões, quando as sondagens AIRS/AMSU foram incluídas no processo de assimilação de dados, principalmente, em regiões onde o número de observações convencionais é baixo, como América do Sul, regiões oceânicas e África. Este resultado indicou um considerável potencial das sondagens AIRS/AMSU para melhoria da qualidade das previsões de tempo geradas no Centro.

Outros centros ao redor do mundo também utilizam essas técnicas, [Dumelow \(2003\)](#) fez um estudo no Centro Meteorológico do Reino Unido (UK MetOffice) utilizando a técnica de OSE, para os meses de julho de 2001 e janeiro de 2002, onde além do experimento controle foram feitos mais quatro experimentos, sendo eles: sem dados de radiossondas, sem dados de satélites, sem dados de aeronaves e sem dados de superfície. Ele mostrou que para o Hemisfério Sul, tanto no mês de verão quanto no mês de inverno as observações que tiveram maior impacto foram as de radiossondas e satélites, já para o Hemisfério Norte o mesmo foi observado, porém apresentaram erros menores quando comparado ao Hemisfério Sul. Tal resultado tem sido encontrado por quase todos os pesquisadores, uma vez que o Hemisfério Sul possui uma cobertura maior de oceanos comparado com o Hemisfério Norte, e neles há uma carência de dados, sendo os satélites um dos sistemas de observações que mais fornecem dados dessas regiões.

Recentemente [Jung \(2013\)](#) na NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) utilizou essa mesma técnica para quantificar a contribuição dos dados convencionais e dados de satélites nas previsões geradas pelo NCEP durante duas estações distintas: inverno e verão. Para suas simulações ele utilizou o modelo opera-

cional do NCEP, o T574, que corresponde a resolução horizontal de 28km. Além do experimento de controle, foram feitos dois outros experimentos, sendo eles chamados de NOCONV e NOSAT, onde no primeiro foram retirados os dados convencionais e no segundo foram retirados os dados de radiâncias de satélites e dados de radio ocultação. Ele observou que, para as regiões do hemisfério sul e hemisfério norte, os dados de satélite possuem uma grande importância na previsão numérica do tempo, enquanto que os dados convencionais apresentam um impacto pequeno nessas mesmas áreas. Ele observou também que nos meses de agosto e setembro o impacto dos dados de satélite foi maior que nos meses de dezembro e janeiro. [Dumelow \(2003\)](#) fez um estudo no Centro Meteorológico do Reino Unido (UK MetOffice) utilizando a essa mesma técnica, para os meses de julho de 2001 e janeiro de 2002, onde além do experimento controle foram feitos mais quatro experimentos, sendo eles: sem dados de radiossondas, sem dados de satélites, sem dados de aeronaves e sem dados de superfície. Ele mostrou que para o Hemisfério Sul, tanto no mês de verão quanto no mês de inverno as observações que tiveram maior impacto foram as de radiossondas e satélites, já para o Hemisfério Norte o mesmo foi observado, porém apresentaram erros menores quando comparado ao Hemisfério Sul. Tal resultado tem sido encontrado por quase todos os pesquisadores, uma vez que o Hemisfério Sul possui uma cobertura maior de oceanos comparado com o Hemisfério Norte, e neles há uma carência de dados, sendo os satélites um dos sistemas de observações que mais fornecem dados dessas regiões.

[Bouttier e Kelly \(2001\)](#) realizaram OSEs em um sistema 4D-Var no ECMWF. Os autores compararam uma versão similar a versão operacional do Centro, que chamaram de ECMWF, contra sete experimentos:

- noTOVS: ECMWF menos dado do MSU (a bordo do satélite NOAA-14) e AMSU-A (a bordo do satélite NOAA-15);
- noSATOB: ECMWF menos dados de vento por satélite; noUPPERSAT: ECMWF menos dados de altos níveis de TOVS, SATOB e SSM/I;
- noAIRCRAFT: ECMWF menos dados de vento e temperatura de aeronaves;
- noSONDE: ECMWF menos dados de altos níveis de TEMP, PILOT, perfiladores e dropsondas;
- noDRIBU: ECMWF menos dados de vento e pressão de boias oceânicas;

- noPAOB: ECMWF menos pseudo dados de pressão;
- noDRIBUnPAOB: ECMWF menos a soma dos experimentos no DRIBU e noPAOB.

Eles chegaram a conclusão que sobre o Hemisfério Sul e regiões Tropicais, principalmente em áreas sobre os oceanos, os dados que mais afetam são os *retrievals* do TOVS, SATOB e SSM/I, e ainda, que estes apresentam uma piora nas previsões de curto prazo (1 a 3 dias) enquanto que para previsões de médio prazo (5 a 7 dias) nota-se uma melhora do sistema. Ao compararem os dados convencionais aos de satélites, observaram que para o Hemisfério Sul os dados de satélites apresentaram um impacto maior, seguidos das sondas e por fim os aviões. Para o Hemisfério Norte, observaram que as boias e os pseudo dados de pressão apresentaram impactos pequenos, enquanto que para o Hemisfério Sul quando analisados esses dados separadamente apresentam impacto grande em previsões de médio prazo, porém, a combinação de ambos, degrada a qualidade do sistema. Ainda, os autores afirmam que essas variações entre as regiões ocorrem devido aos sistemas de observações não serem uniformes no espaço, e que o erro cresce na assimilação e previsão de modo não uniforme no espaço.

Além dessas duas técnicas mencionadas acima (OSE e OSSE), existem técnicas que avaliam apenas as análises ou apenas as previsões, sendo elas DFS (do inglês *Degree of Freedom for Signal*) e FSO (do inglês *Forecast Sensitivity to the Observations*) respectivamente. O método FSO é utilizado para estimar o impacto das observações nas previsões, provendo uma avaliação quantitativa das contribuições de todas as observações assimiladas durante um ciclo de assimilação sem a necessidade de realizar experimentos de dados negados ou adicionados, como as metodologias descritas anteriormente. Os resultados obtidos podem ser classificados de acordo com variados critérios: tipo de instrumento, variável observada, região geográfica, nível vertical e outros.

No CPTEC/INPE, [Diniz \(2012\)](#) implementou essa técnica no sistema LETKF/CPTEC e verificou o impacto dos diversos tipos de observações no ciclo de assimilação de dados em suas previsões de curto prazo. O autor encontrou que os erros das previsões de 24h apresentaram magnitude menor do que os erros das previsões de 30h, indicando que as observações assimiladas durante o processo de atualização das análises que serviram de condições iniciais para o MCGA/CPTEC gerar as previsões de 24h beneficiaram essas previsões.

A grande maioria dos trabalhos realizados no CPTEC/INPE mencionados anteriormente utilizaram como SAD a versão Global do PSAS, que estava operacional na época em que foram realizados, com a finalidade de obter um conhecimento maior sobre ele, além de avaliar seu desempenho diante de conjuntos de dados e ainda acrescentar dados a esse sistema. No entanto, não sendo mais o PSAS o SAD operacional no CPTEC/INPE, essa dissertação visa suprir a necessidade de avaliar o novo sistema de assimilação de dados do CPTEC/INPE, o G3DVar, e ainda avaliar o impacto de alguns sistemas de observações nas análises e previsões, utilizando a técnica de OSE, geradas por esse sistema de assimilação de dados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse Capítulo será feita uma descrição das ferramentas e informações que fundamentam e sustentam esse estudo, como segue: o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera utilizado operacionalmente no CPTEC/INPE; o sistema de assimilação de dados que foi utilizado, sendo ele o GSI; os dados utilizados; e por fim a metodologia que foi empregada tanto nos experimentos quanto na avaliação dos resultados obtidos.

3.1 O Modelo de Circulação Geral da Atmosfera

Os sistemas de assimilação de dados dependem diretamente de modelos de previsão numérica do tempo, uma vez que dentro do sistema previsões de curto prazo são corrigidas por observações, essas previsões são conhecidas como *background*. O resultado desta correção é a chamada análise, que é então utilizada como condição inicial do modelo de PNT para que sejam geradas as previsões de tempo. Diante disso, o modelo de PNT se torna peça fundamental no SAD. O modelo que faz parte do G3DVar, utilizado nesse trabalho é o MCGA do CPTEC/INPE, com configuração T299L64, onde T significa truncamento triangular, 299 é o número máximo de onda zonal e L64 representa o número de níveis na vertical, sendo 64 níveis. Essa configuração representa uma resolução horizontal de aproximadamente 44km próximo à Linha do Equador. O MCGA do CPTEC é um modelo baseado no MCGA do COLA (KINTER et al., 1997) com várias melhorias nas parametrizações físicas, no código de dinâmica, códigos de estrutura e paralelismos, assim sendo chamado de MCGA CPTEC/INPE (CAVALCANTI et al., 2002; PANETTA et al., 2007; KUBOTA, 2012). De acordo com Maciel (2009), as equações são escritas na forma espectral e as equações do movimento horizontal são transformadas nas equações da vorticidade e da divergência. A condição inicial sofre um processo de inicialização utilizando os modos normais do modelo linearizado sobre um estado básico em repouso e com temperatura em função apenas da vertical. As leis físicas que governam os movimentos atmosféricos utilizadas são: conservação de massa e umidade, de momentum angular e energia. As principais equações são: primeira lei da termodinâmica, equação do movimento, equação da continuidade para o ar seco e vapor d'água. São feitas algumas parametrizações físicas como na superfície, no oceano, na camada limite planetária, na radiação solar e na convecção. Informações detalhadas sobre as configurações do modelo estão na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Descrição das configurações do modelo utilizado.

Descrição	MCGA/CPTEC
Configuração do modelo	T299L64
Resolução horizontal	44km
Resolução vertical	64 níveis
Representação do ponto de grade	Grade não reduzida
Dinâmica Espectral	Eureliana
Convecção profunda	Grell (GRELL; DEVENYI, 2002)
Convecção rasa	Tiedke (TIEDTKE, 1983)
Radiação de onda longa	Harshvardhan (HARSHVARDHAN et al., 1987)
Modelo de Superfície	SSIB (XUE et al., 1991)
Camada Limite	Mellor Yamada (MELLOR; YAMADA, 1982)
Conservação de massa	Conserva ln(ps)
Microfísica	Resolve a microfísica
Inicialização	Modos normais diabático

3.2 O Gridpoint Statistical Interpolation (GSI)

O GSI (KLEIST et al., 2009) foi inicialmente desenvolvido pela NOAA/NCEP com a intenção de criar um sistema de assimilação comunitário, robusto e eficiente. O ponto chave do GSI é que sua equação da análise é calculada no espaço da grade do modelo, o que permite maior flexibilidade na aplicação da covariância do erro de *background* e torna simples para um sistema de análise única para ser usado em uma ampla gama de aplicações, incluindo ambos os sistemas de modelagem com domínios global e regional (HU et al., 2012). Além disso o GSI é um sistema variacional que pode ser utilizado na assimilação de dados em três ou em quatro dimensões. Na Equação 3.1 é observada a função custo J da análise utilizada pelo GSI, onde x_a representa o vetor de estado dos campos de análise, x_b os campos de *background*, B é a matriz de covariância do erro de *background*, H é o operador observação não linear, que é responsável por transformar as variáveis do espaço do modelo para o espaço das observações, o_o são as observações, O é a matriz de covariância do erro das observações e o J_c que é o termo de *constraint*, que é um termo relacionado com os erros do modelo de PNT, estando relacionado com a inicialização do modelo. Essa função custo J mede a distância entre x_a e x_b ponderados pelo inverso da matriz de covariância do erro do *background*, e a distância entre x_a e o_o , ponderados pelo inverso da matriz de covariancia do erro das observações.

$$J = (x_a - x_b)^T B^{-1} (x_a - x_b) + (H(x_a) - o_o)^T O^{-1} (H(x_a) - o_o) + J_c \quad (3.1)$$

O ciclo de assimilação de dados consiste em: a partir de um campo de *background* (previsões de curto prazo) previamente simulado (x_b), e de um conjunto de observações (o_o) referentes àquele horário previamente previsto, são interpolados os campos de *background* para o espaço das observações, onde é feita a diferença entre esses campos gerando assim o que se conhece por incremento de observação ($o_o - H(x_b)$). Em seguida, esse campo é interpolado para o espaço do modelo, recebendo pesos de acordo com o modelo e observações, gerando assim as correções, sendo chamado de incremento de análise ($K[o_o - H(x_b)]$). Por fim este campo corrige o campo de *background* e é gerada a análise ($x_a = x_b + K[o_o - H(x_b)]$). Onde, partindo dessa análise, novas previsões serão geradas e se iniciará mais uma vez o ciclo.

Dentro do CPTEC/INPE o GSI está, atualmente, rodando em modo operacional, na versão em três dimensões, acoplado ao MCGA T299L64 sendo assim chamado de G3DVar. Esse sistema foi rodado em um ciclo de assimilação de dados intermitente, utilizando como *background* os campos de previsão do MCGA/CPTEC, tendo saídas a cada 6 horas. Foi utilizada uma janela de assimilação de dados de 6 horas, centrada, sendo assimilados dados de 3 horas antes e 3 horas depois do horário da análise.

Na Figura 3.1 é possível observar o ciclo de assimilação de dados como utilizado no G3DVar, onde mostra as observações em uma janela de 6 horas que quando corrigidas pelo *background* de 9 horas resultam em uma análise global. Posteriormente essa análise é utilizada como condição inicial para o modelo de PNT que por sua vez gera as previsões operacionais, assim como uma previsão de 9 horas como *background* para o ciclo seguinte. Na Figura 3.2 é mostrado o funcionamento desse processo, onde tem uma janela de assimilação de dados de 6 horas centrada e a utilização do *background* de 9 horas. O ciclo de assimilação de dados gera análise a cada 6 horas, por compreender uma janela de observações centrada é preciso utilizar um *background* que compreenda esse espaço de tempo, sendo assim, é necessário utilizar 9 horas de previsão, partindo da última análise gerada. Nessa figura as linhas em vermelho representam as observações em -3h e +3h, as análises em 00Z, 06Z, 12Z e 18Z, e as linhas em azul representam as previsões, que para o G3DVar possui saídas a cada hora a fim de calcular a diferença entre observação e *background* o mais próximo do horário da observação.

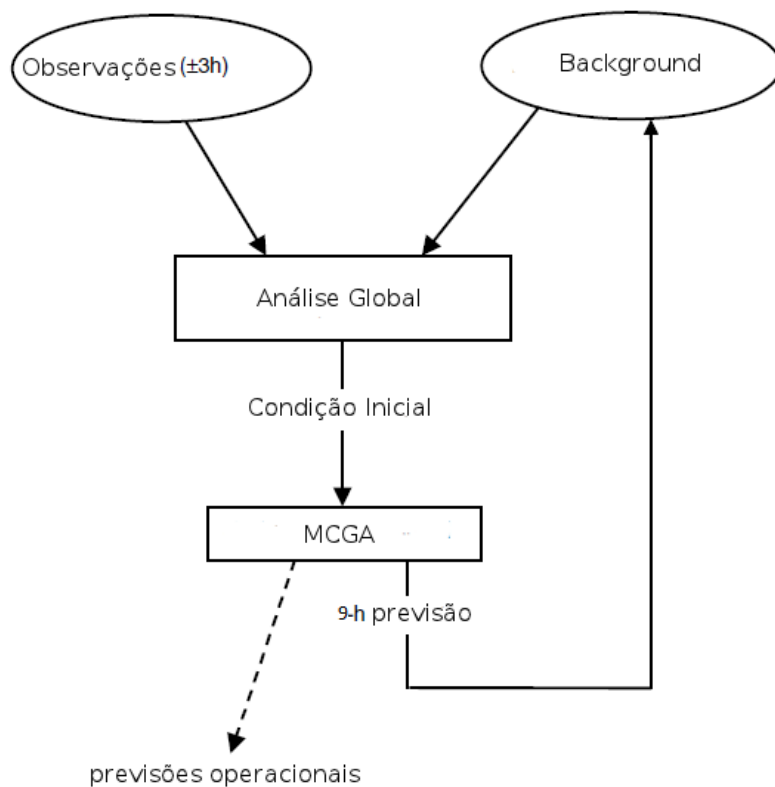


Figura 3.1 - Diagrama mostrando um ciclo de assimilação de dados (6-h) intermitente.
 Fonte: Adaptado de Kalnay (2003)

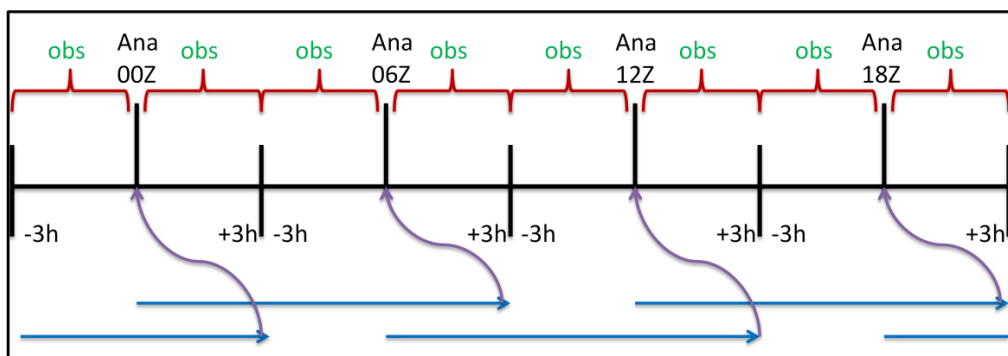


Figura 3.2 - Ciclo de assimilação intermitente, mostrando a janela de assimilação de dados de 6 horas, centrada, e a previsão de 9 horas utilizada como *background*.

Como mencionado anteriormente, esse sistema possui uma grande capacidade de ingestão de dados, sendo esses divididos, de acordo com o NCEP, em dois grandes grupos: observações convencionais e observações não convencionais. Na Tabela 3.2 são mostrados todas as fontes de dados disponíveis para serem assimilados pelo GSI no mês de janeiro de 2013.

Tabela 3.2 - Fontes de dados disponíveis para a assimilação no GSI versão 3.1.

Observações convencionais	Radiâncias de satélites/ Temperatura de brilho
Radiossondas	SBUV: n17, n18, n19
Vento sintético	GOES_IMG: g11, g12
Balão Piloto	HIRS: metop-a, metop-b, n17, n19
Perfiladores de vento	AIRS:aqua
Aeronaves	AMSU-A: metop-a, metop-b, n15, n18, n19
Dropsonda	AMSU-B: metop-b, n17
Vento por satélite	MHS: metop-a, metop-b, n18, n19
Precipitação estimada por satélite	SSMI: f14, f15
Vento por radar	SSMIS: f16
Velocidade radial Dopler	AMSRE: aqua
GPS radio ocultação	ATMS: NPP
GPS água precipitável	SNDR: g12
Observações sobre superfície continental	CRIS: NPP
Observações sobre superfície oceânica	IASI: metop-a, metop-b
Ozônio	GOME: metop-a, metop-b
	OMI: aura
	SEVIR: m08, m09, m10

Fonte: Adaptado de [Hu et al. \(2012\)](#)

3.3 Descrição dos dados

Os dados que foram utilizados pelo G3DVar foram obtidos via ftp do NCEP, tanto dados convencionais quanto dados não convencionais. Assim, nesta subseção, será mostrado como os dados chegam ao NCEP, como são tratados até chegarem ao CPTEC/INPE e serem utilizados pelo G3DVar.

As observações do Sistema Global de Observações (GOS, do inglês *Global Observation System*) chegam ao NCEP de diversas formas, sendo elas: via Sistema Global de Telecomunicação (GTS, do inglês *Global Telecommunication System*); e via NESDIS (do inglês *National Environmental Satellite, Data, and Information Service Servers*), conforme é ilustrado pela Figura 3.3.

De acordo com [Hu et al. \(2011\)](#), os dados convencionais chegam ao NCEP codificados no formato BUFR (do inglês *Binary Universal Form for the Representation of meteorological data*), em seguida são convertidos para PrepBUFR, onde a sigla "Prep" vem do termo preparados (do inglês *prepared*), nesse processo é realizado um controle de qualidade dos dados e ainda são separados os arquivos de dados de

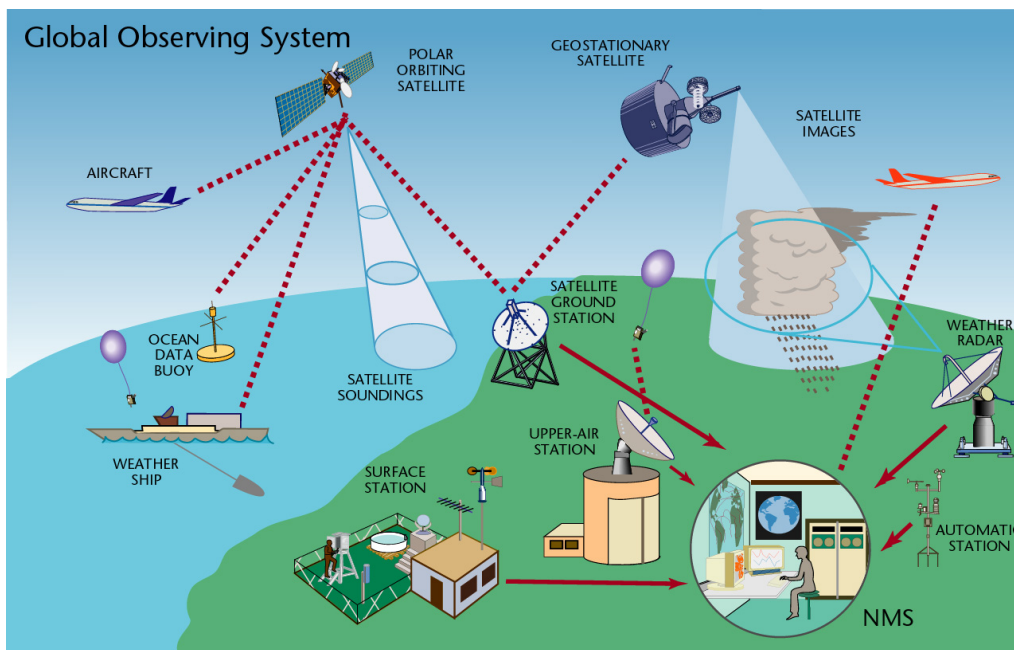


Figura 3.3 - Ilustração do Sistema Global de Observações.
 Fonte: WMO (2013)

retrievals e dos demais dados convencionais. A partir disso, os dados são baixados via ftp no CPTEC e entram para o processo de assimilação de dados. Dentro do sistema de assimilação de dados, são criados marcadores para cada observação, de acordo com sua qualidade, esses marcadores possuem informações tais como: ignorar as observações no processo de leitura do PrepBUFR, ou seja, essas observações serão descartadas do processo de assimilação; monitorar as observações, isso significa que as observações serão lidas no processo de controle de qualidade do GSI, serão calculadas as inovações, porém não serão utilizadas na geração da análise; e por fim as observações serão utilizadas até que análise seja gerada. Em seguida esses dados que estiverem no grupo dos dados Monitorados e Utilizados passam por um controle de qualidade, são calculadas as inovações e a análise é gerada.

No grupo dos dados não convencionais, encontram-se os dados de radiâncias vindo de satélites. Esses dados, chegam ao CPTEC/INPE em formato BUFR, ao entrarem no SAD, é feita uma seleção de canais para eliminar canais onde a informação é proveniente de níveis atmosféricos acima do topo do modelo e assim excluir seu uso na assimilação, e também para eliminar canais que degradam a análise. Essa seleção é feita através de um *namelist*, onde existem marcadores similares aos utilizados pelos dados convencionais, podendo rejeitar o dado, monitorar o dado, ou ainda utilizar

esse dado na geração da análise. Em seguida, os dados que foram Monitorados e Utilizados, segundo [Hu et al. \(2012\)](#), passam por um processo que visa diminuir a quantidade excessiva de informações, processo esse conhecido como *thinning*. Nele são retirados dados com qualidade ruim, são selecionados perfis onde possuem o maior número de bons canais e também seleciona os perfis de acordo com o tipo de superfície da região (mar, mar de gelo, neve e terra, de superfície mista). Essa é uma etapa a qual visa aumentar a eficiência computacional eliminando assim dados redundantes. Após esse processo, os dados passam pelo Modelo de Transferência Radiativa (CRTM, do inglês *Community Radiative Transfer Model*). O CRTM é um operador que converte as variáveis de estado (vindas dos campos de *background*) do modelo para perfis de radiância ou de temperatura de brilho. Esse operador é dado pela Equação 3.2, onde y são as observações de radiâncias simuladas, x são os perfis de temperatura, umidade e ozônio, K é a equação de transferência radiativa (CRTM) e z são os parâmetros desconhecidos, como, por exemplo, perfis de emissividade da superfície e perfis de CO₂. Esse é o operador H mostrado na Equação 3.1. Para o caso dos dados convencionais o H é apenas um interpolador espacial, já para os dados de satélite é o modelo de transferência radiativa. Em uma etapa seguinte, estes dados passam pelo processo de correção de viés. Esses erros surgem no sistema em decorrência de alguns processos até a chegada dessa etapa, sendo eles: problemas na calibração do instrumento, erros relacionados ao CRTM e/ou ainda erros sistemáticos no modelo de PNT utilizado na geração do *background*. Essa correção é dividida em dois processos: a correção de viés do ângulo do satélite e a correção de viés da quantidade de massa. Por fim, esses dados passam pelo controle de qualidade, já em menor quantidade, pois uma parte já foi filtrada pelo *thinning*, em seguida ainda são selecionados de acordo com alguns itens, tais como: problemas no instrumento, erros na simulação de emissividade da superfície e ainda erro de processamento. Para maiores informações sobre o fluxo dos dados e tratamento dos mesmos podem ser encontrados em [Hu et al. \(2011\)](#), [Keyser \(2011\)](#), [Hu et al. \(2012\)](#).

$$y = K(x, z) \tag{3.2}$$

Na Tabela 3.3 são mostrados os sistemas de observações e dados que estão sendo utilizados pelo G3DVar, sendo eles divididos em convencionais, e não convencionais. Compõem o grupo dos dados convencionais dados de SYNOP, METAR, bóias, navios, mareógrafos, estações do programa C-MAN, radiossondas, aeronaves, balões piloto, dropsondas, satélites, radares, e dados de GPS. Este primeiro grupo possui

informações de pressão ao nível da estação (Ps), temperatura (T), umidade específica (q), vento (U e V) e refratividade (N). Do grupo dos dados não-convencionais encontram-se os dados de satélite, deles se tem informações de temperatura de brilho (Tb), vindas dos seguintes sensores: AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit*) a bordo dos satélites NOAA 15, NOAA 18, NOAA 19, METOP-A e AQUA; HIRS-4 (*Advanced Microwave Sounding Unit*) nos satélites NOAA 19 e METOP-A; MHS (*Microwave Humidity Sounder*) a bordo dos satélites NOAA 18 e METOP-A; AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*) no satélite AQUA e IASI (*Atmospheric Infrared Sounder*) no satélite METOP-A; como é mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 - Observações assimiladas diariamente pelo G3DVar no CPTEC/INPE em Janeiro de 2013.

Descrição	U	V	T	q	Ps	Tb	N
Radiosonda	•	•	•	•	•	-	-
Dropsonda	•	•	•	•	•	-	-
Balão Piloto	•	•	-	-	-	-	-
Perfiladores	•	•	-	-	-	-	-
Superfície Continental	-	-	-	-	•	-	-
Aeronave	•	•	•	-	-	-	-
Vento por Satélite	•	•	-	-	-	-	-
Superfície Oceanica	•	•	•	•	•	-	-
Sintéticos	•	•	-	-	-	-	-
Vento por Radar	•	•	-	-	-	-	-
GPS RO	-	-	-	-	-	-	•
AMSU-A *	-	-	-	-	-	•	-
MHS *	-	-	-	-	-	•	-
HIRS-4 *	-	-	-	-	-	•	-
IASI *	-	-	-	-	-	•	-
AIRS *	-	-	-	-	-	•	-

*dados de radiâncias

Tabela 3.4 - Sensores (linhas) e satélites (colunas) utilizados pelo G3DVar em Janeiro de 2013.

Descrição	n15	n16	n18	n19	METOP-A	AQUA
AMSU-A	•	•	•	•	•	•
MHS	-	-	•	-	•	-
HIRS-4	-	-	-	•	•	-
IASI	-	-	-	-	•	-
AIRS	-	-	-	-	-	•

3.4 Configuração dos Experimentos

A metodologia que foi empregada consiste em, utilizando o G3DVar, fazer uma simulação de controle, na qual todos os dados disponíveis no CPTEC/INPE serão utilizados, e esta é utilizada como referência, sendo chamado de experimento de CONTROLE. A seguir, um ou mais experimentos são feitos, de modo que alguns sistemas de observações são retirados ou adicionados em relação ao experimento de controle. Análises e previsões são geradas tanto para o controle como para os demais experimentos. Por fim as análises e previsões de cada experimento são então verificadas e comparadas, a fim de determinar o impacto que cada tipo de sistema de observações tem. Para esse estudo foram divididos os experimentos em dois grandes grupos: negação de dados e acréscimo de dados.

O período escolhido para as simulações compreende dois meses, sendo dois meses de verão austral (dezembro de 2012 e janeiro de 2013). Ao todo computam-se 12 experimentos, que serão descritos em detalhes nas subseções seguintes. Esses experimentos foram simulados de forma independente um do outro. Para minimizar o impacto da remoção dos diferentes sistemas de observação nos primeiros dias de simulações do modelo e também para que haja a correção do viés dependente do ângulo do satélite o primeiro mês de simulações foi excluído das avaliações. Diante disso, para efetuar as análises foi utilizado apenas o mês de Janeiro 2013.

Os experimentos foram simulados no Tupã. Esse é um sistema de supercomputação composto originalmente por um supercomputador Cray XT6, sistema de acesso interativo, sistema de processamento auxiliar e sistema de armazenamento, e está instalado nas dependências do CPTEC/INPE. O Tupã opera com com 14 gabinetes, 1.304 nós computacionais e 31.296 processadores. Para cada processo do ciclo foram utilizados números diferentes de processadores, como mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Configurações do Supercomputador para cada processo do ciclo de assimilação.

ETAPA		PROCESSAMENTO	NÚMERO DE PROCESSADORES
GSI		Paralelo	72
MCGA	PRÉ	Paralelo*	1*
	MODEL	Paralelo	432
	PÓS	Paralelo	120

*exceto quando for executado o *Chopping*, nele o processamento é serial e utiliza 24 processadores.

3.4.1 Negação de dados

Nessa etapa foram feitos quatro simulações, sendo uma simulação de controle e outras três simulações retirando os sistemas de observações que, tipicamente na literatura (ANDERSSON; SATO, 2012) representam os maiores impactos na qualidade das análises. As configurações para cada experimento são mostradas na Tabela 3.6, nela encontra-se o conjunto de dados por cada experimento conforme mostrado abaixo:

- CTRL: inclui todos os dados convencionais e os dados não convencionais disponíveis para a assimilação de dados no CPTEC/INPE;
- NO_RAD: é o CTRL menos dados de radiossondas;
- NO_SAT: é o CTRL menos dados de radiâncias de satélites;
- NO_GPS: é o CTRL menos dados de GPS.

Tabela 3.6 - Configuração dos experimentos (negação de dados).

Descrição	CTRL	NO_RAD	NO_SAT	NO_GPS
Radiossonda	•	-	•	•
Dropsonda	•	•	•	•
Balão Piloto	•	•	•	•
Perfiladores	•	•	•	•
Superfície Continental	•	•	•	•
Aeronave	•	•	•	•
Vento por Satélite	•	•	•	•
Superfície Oceanica	•	•	•	•
Sintéticos	•	•	•	•
Vento por Radar	•	•	•	•
GPS RO	•	•	•	-
AMSU-A *	•	•	-	•
MHS *	•	•	-	•
HIRS-4 *	•	•	-	•
IASI *	•	•	-	•
AIRS *	•	•	-	•

*dados de radiâncias

3.4.2 Acréscimo de dados

Nessa etapa foram feitos mais oito experimentos, onde foram acrescentadas observações ao sistema de assimilação de dados, de modo a avaliar o impacto desses

sistemas de observações quando isoladas ou combinadas com outros sistemas. De modo similar ao feito na primeira etapa, foi simulado um experimento para servir de referência e outros sete com combinações dos sistemas de observações utilizados nos experimentos anteriores. Tal metodologia foi aplicada por [Stein e Alpert \(1992\)](#), onde todos os itens estudados foram colocados em forma de combinação linear. Para este trabalho foram feitas sete combinações como mostradas abaixo. As configurações desses experimentos são mostrados também na Tabela [3.7](#).

- NO_CTRL: nenhum dado foi assimilado;
- RAD: apenas dados de radiossondas foram assimilados;
- SAT: apenas dados de radiâncias de satélites foram assimilados;
- GPS: apenas dados de GPS foram assimilados;
- RS: apenas dados de radiossondas e radiâncias foram assimilados;
- GS: apenas dados de GPS e radiâncias foram assimilados;
- GR: apenas dados de GPS e radiossondas foram assimilados;
- SRG: apenas dados de radiâncias, radiossondas e GPS foram assimilados.

3.5 Avaliação Objetiva

Para avaliar os resultados obtidos foram calculadas métricas de acordo com o utilizado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) como RMSE (do inglês *Root Mean Square Error*) e correlação de anomalia (mostradas abaixo), e ainda métricas adicionais como diferenças entre os experimentos. Tais métricas foram aplicadas para regiões distintas, conforme mostrado na Figura [3.4](#), essa divisão foi feita para se obter uma análise mais precisa. As regiões de estudo foram: Hemisfério Sul, compreendendo as regiões entre 20°S e 80°S; Hemisfério Norte, compreendendo áreas entre 20°N e 80°N; região Tropical, compreendendo a região entre 20°S e 20°N; América do Sul e Oceanos Adjacentes (ASOA), cobrindo a área entre 0° a 120°O e 60°S a 12°N; além do Globo todo. Todos os experimentos foram avaliados contra suas próprias análises.

- RMSE da altura geopotencial no nível de 500hPa para os Hemisférios, América do Sul e Oceanos Adjacentes e Globo todo, e da componente

Tabela 3.7 - Configuração dos experimentos (acrésimo de dados).

Descrição	NO_CTRL	RAD	SAT	GPS	RS	GS	RG	SRG
Radiossonda	-	●	-	-	●	-	●	●
Dropsonda	-	-	-	-	-	-	-	-
Balão Piloto	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfiladores	-	-	-	-	-	-	-	-
Superfície Continental	-	-	-	-	-	-	-	-
Aeronave	-	-	-	-	-	-	-	-
Vento por Satélite	-	-	-	-	-	-	-	-
Superfície Oceânica	-	-	-	-	-	-	-	-
Sintéticos	-	-	-	-	-	-	-	-
Vento por Radar	-	-	-	-	-	-	-	-
GPS RO	-	-	-	●	-	●	●	●
AMSU-A *	-	-	●	-	●	●	-	●
MHS *	-	-	●	-	●	●	-	●
HIRS-4 *	-	-	●	-	●	●	-	●
IASI *	-	-	●	-	●	●	-	●
AIRS *	-	-	●	-	●	●	-	●

*dados de radiâncias

zonal e meridional do vento em 250hPa e 850hPa para a Região Tropical, mostrado na Equação 3.3,

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iprev})^2}{N}} \quad (3.3)$$

onde ϕ_i é o valor da análise em cada ponto i , ϕ_{iprev} é o valor previsto em cada ponto, N é o número de pontos observados;

- Correlação de Anomalia da altura geopotencial em 500hPa para os Hemisférios, América do Sul e Oceanos Adjacentes e Globo todo, e da componente zonal e meridional do vento em 250hPa e 850hPa para a Região Tropical, mostrada na Equação 3.4,

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi'_i - \bar{\phi}') (\phi'_{iprev} - \bar{\phi}')^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\phi'_i - \bar{\phi}')^2 \sum_{i=1}^N (\phi'_{iprev} - \bar{\phi}')^2}} \quad (3.4)$$

onde ϕ_i é o valor da análise em cada ponto i , ϕ_{iprev} é o valor previsto em cada ponto, N é o número de pontos observados, a barra superior indica a média para o período e $\phi'_i = \phi_i - C$, e $\phi'_{iprev} = \phi_{iprev} - C$, sendo C o valor da climatologia. Para este trabalho, será utilizada a climatologia do

NCEP.

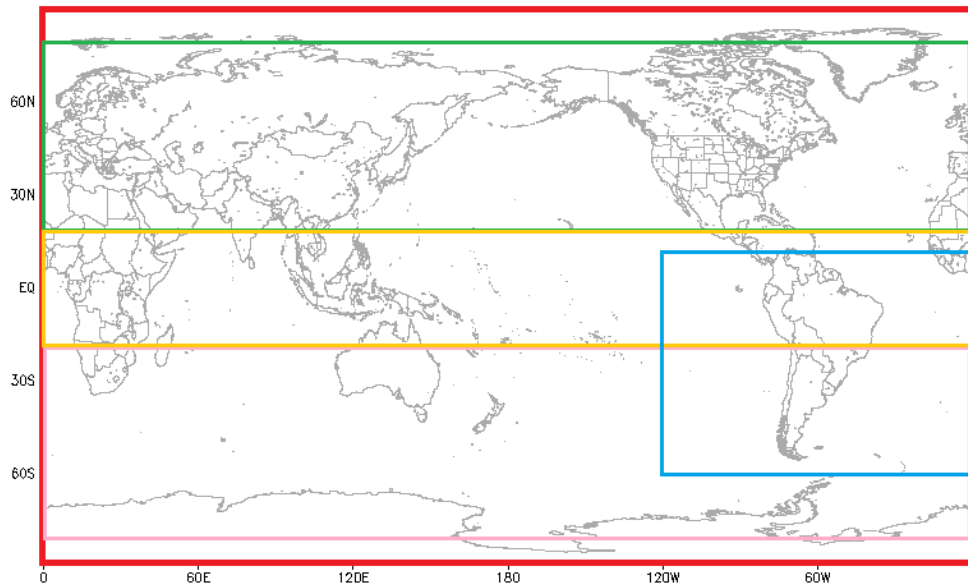


Figura 3.4 - Regiões que foram avaliadas: Globo (vermelho), Região Tropical (amarelo), Hemisfério Norte (verde), Hemisfério Sul (rosa) e América do Sul e Oceanos Adjacentes (azul).

3.6 Estudo de caso

Além da avaliação apresentada anteriormente, os resultados ainda foram avaliados de modo subjetivo, onde um evento de tempo significativo foi escolhido para ser estudado, sendo este um evento de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) que ocorreu entre os dias 10 e 15 de janeiro de 2013. Tal evento foi escolhido pelo seu impacto significativo, com repercussão na sociedade. De acordo com os boletins do Grupo de Previsão de Tempo do CPTEC/INPE (GPT/CPTEC/INPE), algumas estações meteorológicas mostraram índices pluviométricos significativos. Também se observou alagamentos, muitas descargas elétricas, quedas de árvores, quedas de barrancos, deslizamento de terra e mortes. Esse sistema meteorológico é definido como sendo uma banda de nebulosidade e chuvas com orientação noroeste-sudeste, que se estende da Amazônia até o Sudeste do Brasil. Associado a essa banda de nebulosidade há um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera. Em

níveis superiores, a configuração mais favorável corresponde a um cavado a leste dos Andes de maneira que a divergência em altitude seja incentivada. Ocorre durante o período de verão austral. Para que seja definida como ZCAS, esse sistema precisa persistir por no mínimo quatro dias. De acordo com [Quadro et al. \(2012\)](#) durante os meses de verão do Hemisfério Sul, esse sistema é o fenômeno meteorológico que exerce um papel preponderante no regime de chuvas na região onde atua, acarretando altos índices pluviométricos na América do Sul.

Nesta seção foi avaliada a configuração dos ventos nas análises conforme a metodologia proposta por [Herdies et al. \(2002\)](#). Essa metodologia consiste em avaliar a componente horizontal do vento em 850hPa, tendo como base a localidade específica (10,77°S, 62,33°O) mostrada na Figura 3.5 como um ponto em vermelho, localizado no estado de Rondônia. Quando ocorre a caracterização da ZCAS, o vento zonal observado no ponto indicado é de componente oeste (positivo) e quando não ocorre a caracterização da ZCAS o vento zonal observado é de componente leste (negativos). Foram também avaliados campos médios para o período de atividade da ZCAS para as seguintes variáveis: pressão em superfície, água precipitável, ômega em 500hPa, divergência em 200hPa e ventos em baixos, médios e altos níveis.

Para análise das previsões foram calculadas diferenças entre as análises e as previsões geradas por cada experimento para 24h, 48h, 72h, 96h e 120h. Será mostrada uma descrição mais detalhada do dia em que a ZCAS esteve mais intensa: 12 de janeiro de 2013.

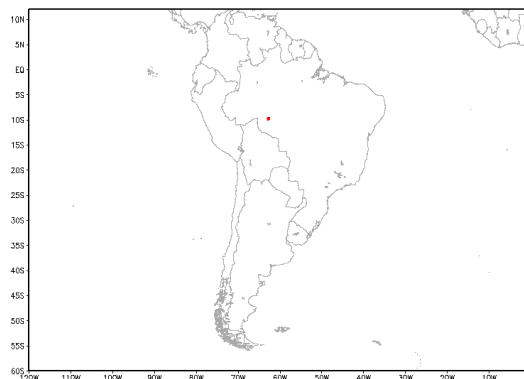


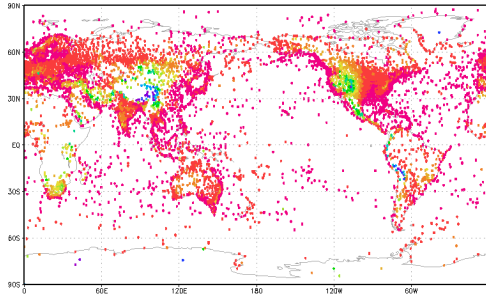
Figura 3.5 - Ponto específico sobre 10,77°S e 62,33°O.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

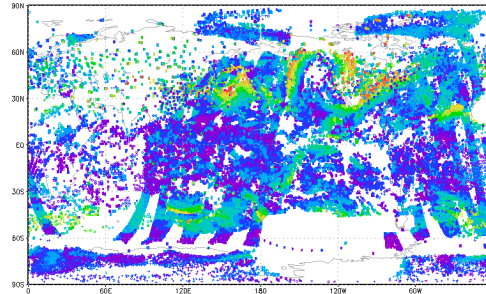
Ao todo foram realizados 12 experimentos para o período de Janeiro de 2013 com o objetivo de avaliar o impacto de alguns sistemas de observação nas análises e previsões geradas pelo G3DVar. Tais experimentos foram avaliados conforme mencionado na Seção 3. Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o presente trabalho. Inicialmente será apresentado o fluxo de dados, incluindo a distribuição espacial dos dados para o dia 15 de Janeiro de 2013 às 00Z e ainda a contagem dos dados para cada experimento, seguido pela avaliação objetiva, onde serão mostrados resultados estatísticos.

4.1 Fluxo de dados

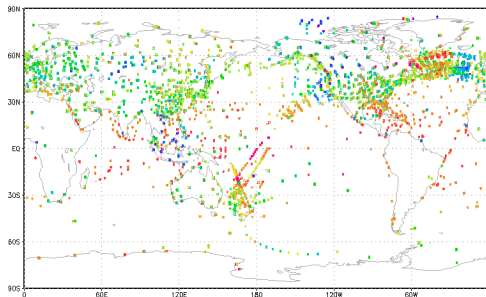
Como item fundamental no processo de AD, os dados apresentam distribuição espacial diferente conforme cada fonte de observação. Nas Figuras 4.1 e 4.2 são apresentadas a distribuição espacial dos dados assimilados conforme a variável fornecida. Na Figura 4.1 é mostrada a distribuição espacial para cada variável que foi assimilada pelo experimento CONTROLE, no dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z, sendo elas: (a) pressão em superfície, (b) componente zonal e meridional do vento, (c) temperatura, (d) umidade específica e (e) refratividade. Nessa figura não se incluem os dados de água precipitável (pw), uma vez que estes encontram-se monitorados no sistema. A distribuição dos dados de satélites que foram assimilados pelo experimento CONTROLE, no dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z são mostrados na Figura 4.2. Eles estão divididos em (a) METOP-A (incluindo canais dos sensores AMSU-A, MHS, HIRS-4 e IASI), (b) AQUA (incluindo canais dos sensores AMSU-A e AIRS), (c) NOAA-15 (incluindo canais do sensor AMSU-A), (d) NOAA-18 (incluindo canais dos sensores AMSU-A e MHS) e (e) NOAA-19 (incluindo canais dos sensores AMSU-A, HIRS-4 e IASI). Na Figura 4.1 é possível atentar que a cobertura espacial de dados convencionais se mantem restrita aos continentes e que a maioria dos dados sobre oceanos são provenientes de satélites, podendo observar isso nos campos de vento por satélite. Quando se observa a Figura 4.2, nota-se a quantidade massiva de dados de radiâncias que são assimilados, esses dados conseguem cobrir além de áreas continentais povoadas, as áreas remotas como desertos e áreas oceânicas. Com isso reafirma-se então a importância desses dados para compor campos de estado atual da atmosfera.



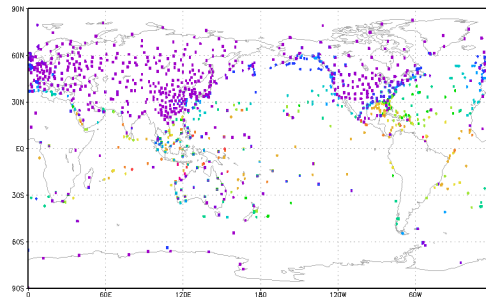
(a)



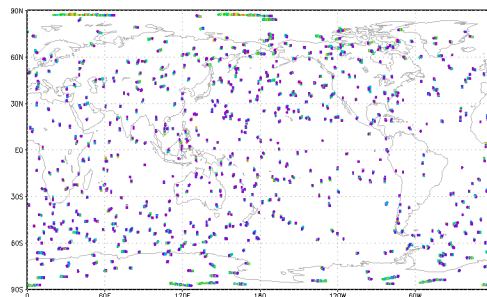
(b)



(c)

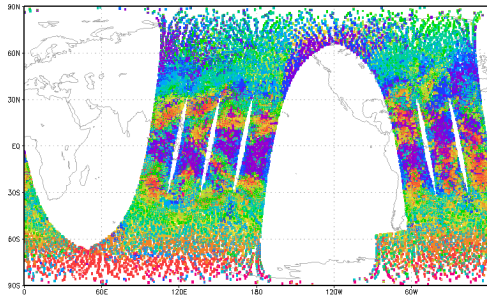


(d)

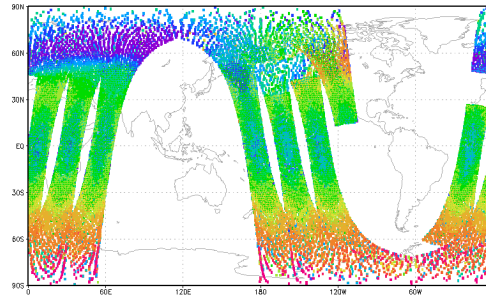


(e)

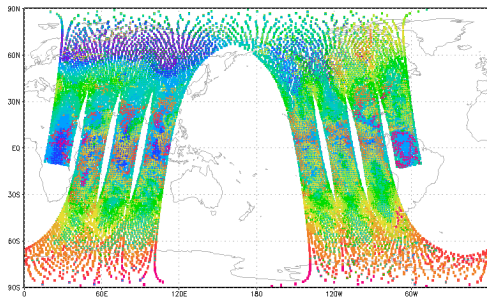
Figura 4.1 - Distribuição espacial dos dados convencionais assimilados pelo CONTROLE dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z. Em (a) pressão em superfície, (b) componente zonal e meridional do vento, (c) temperatura, (d) umidade específica e (e) refratividade.



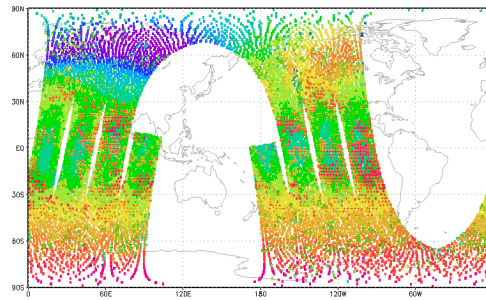
(a)



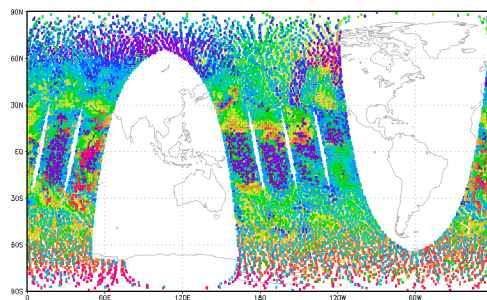
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4.2 - Distribuição espacial dos dados de radiâncias assimilados pelo CONTROLE dia 15 de janeiro de 2013 às 00Z. Em (a) METOP-A, (b) AQUA, (c) NOAA-15, (d) NOAA-18 e (e) NOAA-19.

Como mostrado na seção Materiais e Métodos, os dados podem ser classificados dentro do Sistema de Assimilação de Dados em: Rejeitados, Monitorados, Não Usados e Assimilados. Desses, a soma dos dados Monitorados com os Rejeitados, resultam nos Não Usados. Os dados Monitorados são definidos pelo usuário do Sistema, sendo assim neste trabalho esse conjunto de dados tem a mesma quantidade para todos os experimentos, conforme mostrado na Figura 4.3. Por conseguinte, os conjuntos de dados que apresentam maior alteração com relação à quantidade de dados são os dados Rejeitados e Assimilados, que serão mostrados a seguir. Sabe-se ainda que os dados assimilados variam conforme o conjunto de dados que são fornecidos ao sistema.

4.1.1 Fluxo de dados para os experimentos de negação de dados

As figuras que seguem mostram o total de dados Monitorados, Rejeitados, Não Usados e Assimilados, foram somados dados de pressão em superfície, água precipitável, componentes do u e v do vento, temperatura, umidade específica e refratividade, ou seja, o apresentado será o total desses dados em todos os níveis. Na Figura 4.4 é mostrada a quantidade de dados convencionais que são rejeitados pelo sistema G3DVar onde nota-se que o experimento no qual teve um índice maior de rejeição de dados foi o NO_RAD, seguido pelo NO_SAT, CONTROLE e por fim o NO_GPS. Na Figura 4.5 é apresentada a quantidade de dados convencionais Não Usados pelo G3DVar, confirmando assim o que foi mencionado anteriormente, esse conjunto de dados é apenas a soma dos dados Rejeitados com os Monitorados. Quando se observa o número total de dados convencionais Assimilados pelo G3DVar (Figura 4.6), nota-se uma proximidade da quantidade assimilada pelo CONTROLE e pelo NO_SAT, porém para alguns dias o CONTROLE assimila mais que o NO_SAT, sendo esses os experimentos que mais assimilaram dados convencionais. Os experimentos NO_RAD e NO_GPS assimilaram menos dados, mantendo o NO_RAD assimilando mais até dia 24 e depois desse dia, esses experimentos apresentaram uma alternância entre eles durante o período de estudo. É possível observar que o experimento NO_SAT em todas as figuras mostradas anteriormente, possui contagem de dados até o dia 24 de janeiro, isso ocorreu devido a instabilidades numéricas do modelo de PNT, impedindo assim que o restante das integrações fossem realizadas. Na Figura 4.7, é apresentada a quantidade de dados de radiâncias que foram Assimiladas pelos experimentos CONTROLE (vermelho), NO_GPS (verde) e NO_RAD (azul). Nessa figura o experimento NO_SAT não foi apresentado, pois este não assimila dados de radiâncias. Nota-se que até o dia 5 de janeiro os experimentos CONTROLE, NO_GPS e NO_RAD assimilam uma quantidade similar, porém, a partir deste dia ocorre uma

diminuição dos dados assimilados de radiâncias por parte dos experimentos NO_GPS e NO_RAD.

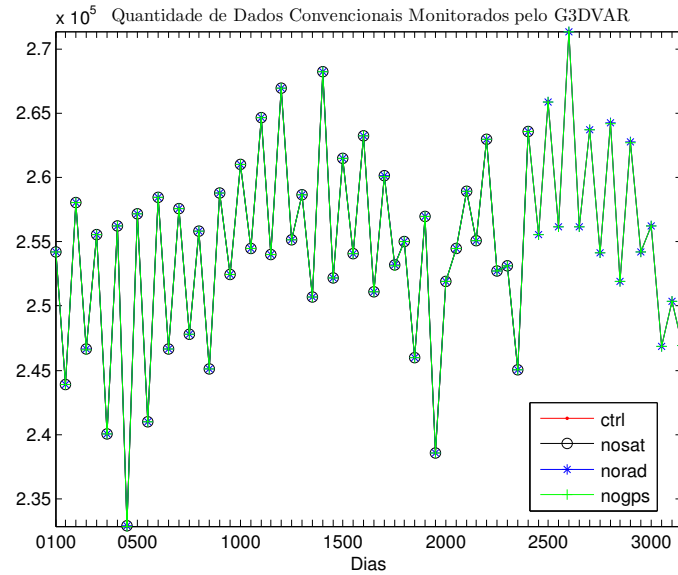


Figura 4.3 - Quantidade de dados convencionais Monitorados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

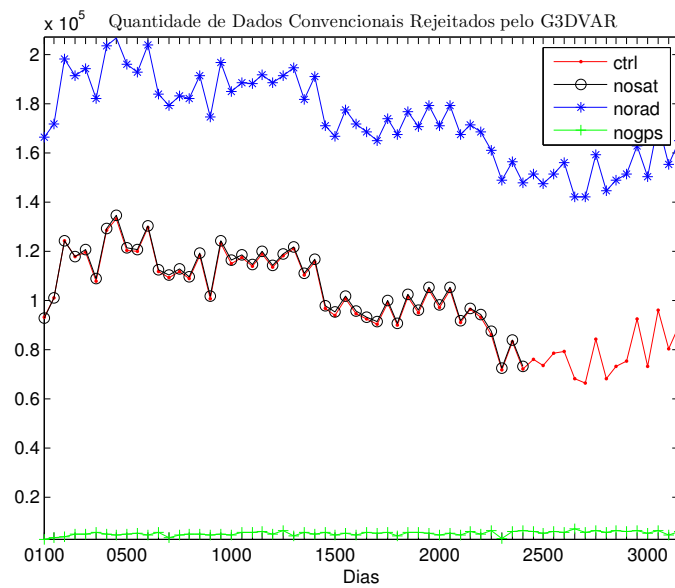


Figura 4.4 - Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

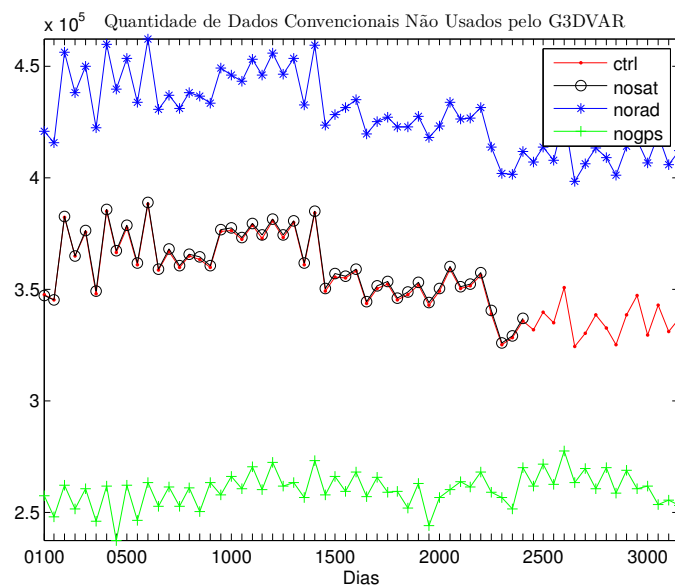


Figura 4.5 - Quantidade de dados convencionais Não Usados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

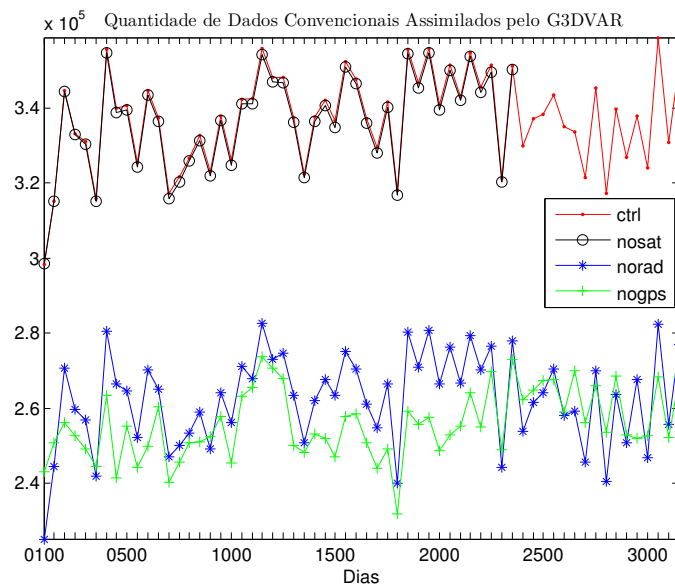


Figura 4.6 - Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_SAT (preto), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

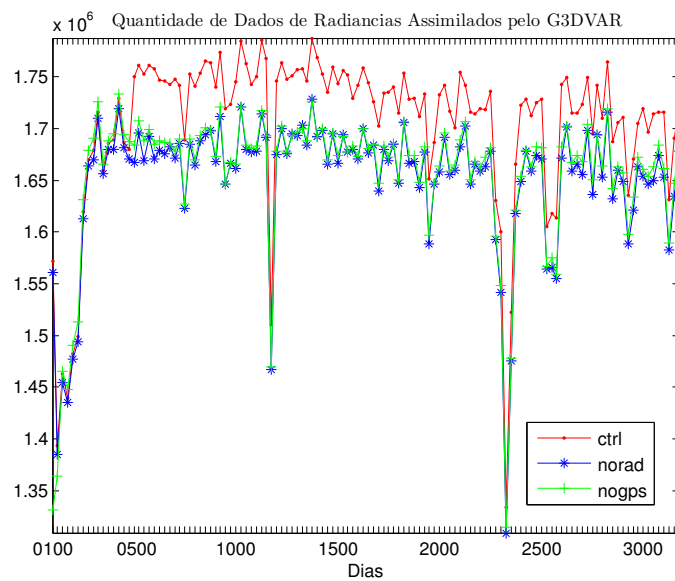


Figura 4.7 - Quantidade de dados de Radiancias Assimiladas ($\times 10^6$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos CONTROLE (vermelho), NO_RAD (azul) e NO_GPS (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

4.1.2 Fluxo de dados para os experimentos de acréscimos de dados

Como mencionado anteriormente, os dados que sofrem maior alteração quando há mudanças no fluxo de dados são os dados Rejeitados e os Assimilados. Sendo assim, nesta subseção apenas esses dois grupos de dados serão apresentados.

Na Figura 4.8 é apresentada a quantidade de dados convencionais Rejeitados pelo G3DVar, nos experimentos GPS (vermelho) e RAD (preto) para o mês de Janeiro de 2013, enquanto que na Figura 4.9 está sendo mostrada a quantidade de dados convencionais que foram assimilados pelo G3DVar nesse mesmo período. O mesmo é mostrado nas Figuras 4.10 e 4.11, para os dados Rejeitados e Assimilados, respectivamente, nos experimentos RS (vermelho), GS (preto), RG (azul) e SRG (verde). Se observa uma grande diferença na quantidade de dados Rejeitados do RAD e GPS. Já quando se observa total de dados Assimilados desses dois experimentos, nota-se que o fluxo de dados do experimento GPS se mantém mais constante que o experimento RAD, onde apresenta o fluxo oscilando bastante, isso é reflexo de regiões onde apenas uma radiossondagem é feita ao dia. Quando se observa as curvas das combinações, nota-se que a diferença maior entre o experimento RG e o experimento SRG são os dados de satélites, uma vez que as curvas verde e azul estão muito próximas, ou seja, não é porque está sendo assimilado uma quantidade significativa de dados de radiâncias que a quantidade de dados convencionais foi afetada. O mesmo é visto para os dados Rejeitados. Na Figura 4.12 são mostrados os totais de radiâncias assimiladas por cada experimento: SAT (vermelho), RS (azul), GS (verde) e SRG (preto). É possível notar que o experimento onde se assimilam apenas dados de satélites acaba por assimilar menos dados que quando comparado aos outros experimentos, enquanto que os outros experimentos se mantêm próximos.

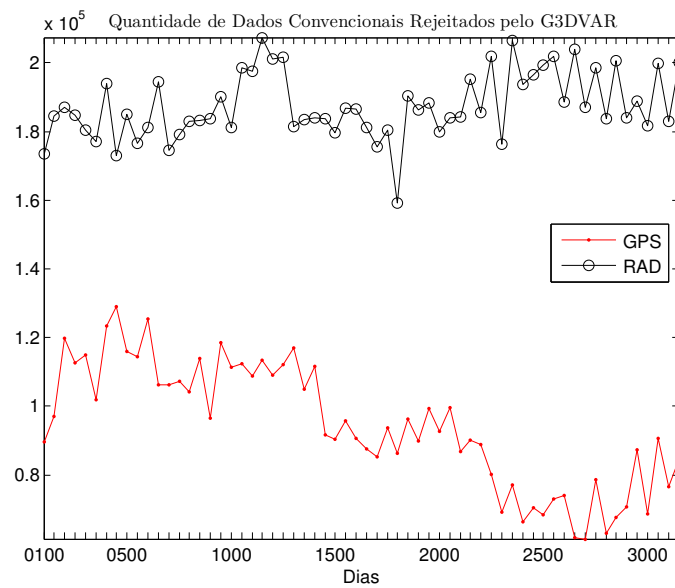


Figura 4.8 - Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos GPS (vermelho) e RAD (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

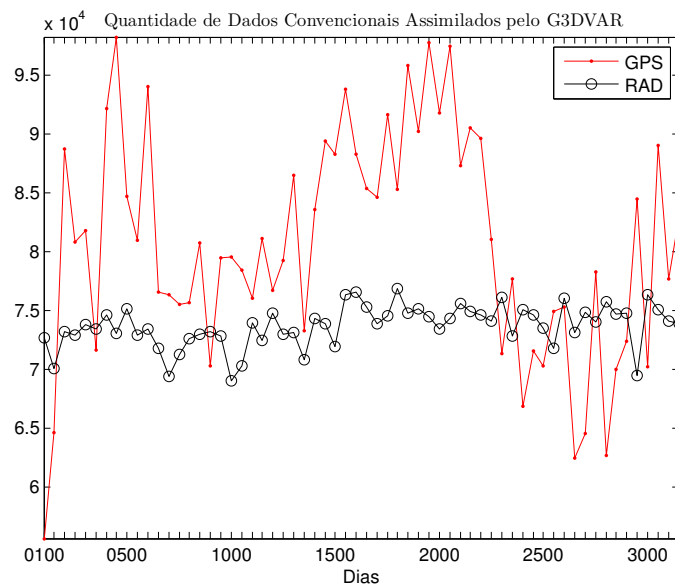


Figura 4.9 - Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^4$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos GPS (vermelho) e RAD (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

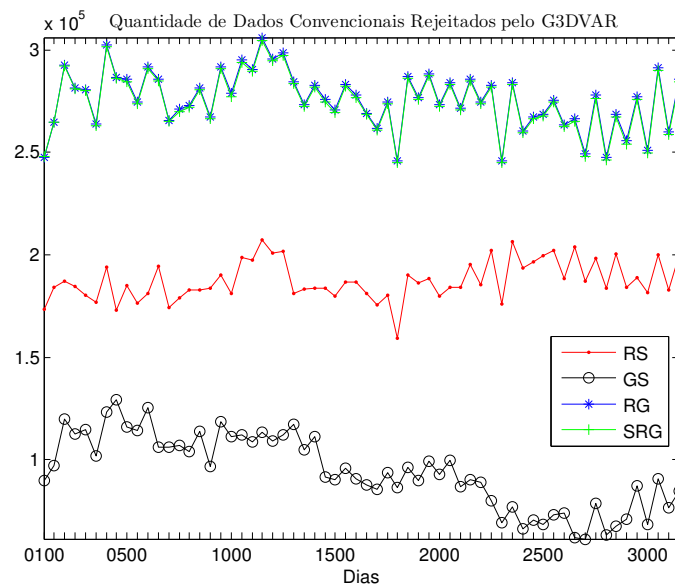


Figura 4.10 - Quantidade de dados convencionais Rejeitados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos RS (vermelho), GS (preto), RG (azul) e SRG (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

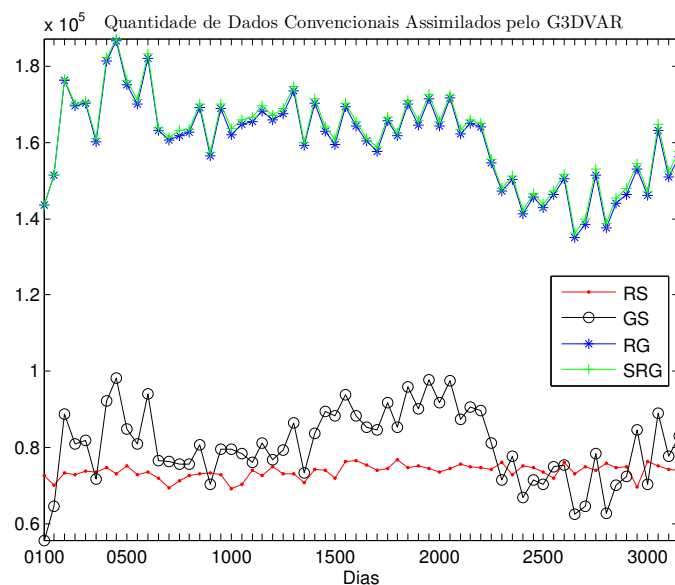


Figura 4.11 - Quantidade de dados convencionais Assimilados ($\times 10^5$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos RS (vermelho), GS (preto), RG (azul) e SRG (verde). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

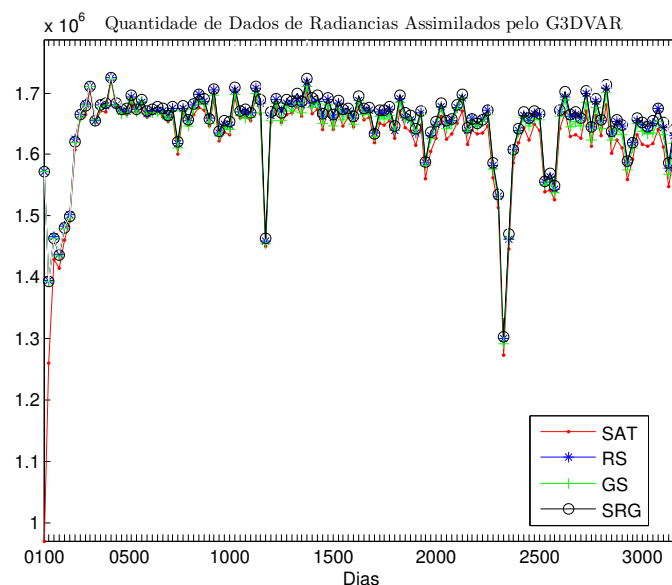


Figura 4.12 - Quantidade de dados de Radiâncias Assimiladas ($\times 10^6$) pelo G3DVar no mês de Janeiro de 2013, para os experimentos SAT (vermelho), RS (azul), GS (verde) e SRG (preto). No eixo das ordenadas está a quantidade de dados e no eixo das abscissas os dias, variando do dia 1 de janeiro de 2013 às 00Z até dia 31 de janeiro de 2013 às 12Z.

4.2 Avaliação Objetiva

Neste item, serão apresentados e discutidos os resultados que foram obtidos utilizando a avaliação objetiva descrita na Seção 3. Primeiramente serão apresentados os resultados relacionados às previsões e posteriormente relacionados às análises.

4.2.1 Avaliação das previsões

Na Figura 4.13 são mostrados gráficos de correlação de anomalia para altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. O eixo das ordenadas representa os valores de Correlação de Anomalia, e no eixo das abscissas são as horas de previsão, chegando a 108 horas, cada curva representa um experimento: em vermelho o experimento CONTROLE, em verde o experimento NO_GPS, em azul escuro o experimento NO_RAD e em azul claro o experimento NO_SAT. É possível notar que para o Hemisfério Norte os experimentos apresentaram diferenças entre eles em 60 horas de previsão, enquanto que para o Hemisfério Sul e América do Sul essa diferença já foi observada nas primeiras 24 horas de previsão, o que mostra um impacto maior dos dados nessa região. Analisando as curvas separadamente, pode-se dizer que o experimento CONTROLE teve um melhor desempenho na ASOA, chegando

em 108 horas de previsão com aproximadamente 80% de correlação, seguido pelo HN, GL e HS, respectivamente. Isso mostra que o desempenho do atual sistema, para a região de maior interesse do CPTEC/INPE, se mostra melhor do que quando comparado com outras regiões. Quando se observa as curvas dos experimentos, nota-se uma coerência com a literatura sobre a curva do experimento NO_SAT (BOUTTIER; KELLY, 2001; KELLY et al., 2007). Este experimento se apresenta com uma correlação menor nas três regiões, sendo que para o HN a diferença com os demais experimentos foi menor, apresentando uma perda de 12 horas na previsão quando comparado ao controle para 108 horas. No HS nota-se que a perda na previsibilidade aumenta para aproximadamente 18 horas quando retirado os dados de radiâncias. Já para a ASOA, essa diferença aumenta ainda mais, chegando a 24 horas de perda. Essa diferença de 24 horas de previsibilidade já é observada a partir dos 90% de correlação. Para o Hemisfério Norte as curvas dos experimentos NO_RAD e NO_GPS se mantêm próximas durante todo o período de previsão, enquanto que para o Hemisfério Sul em 84 horas de previsão eles já apresentam diferenças, apresentando um impacto maior o experimento NO_RAD. Já na AS, essa diferença ocorre em 60 horas de previsão, também com o experimento NO_RAD apresentando um impacto maior. Ao observarmos o Globo todo, é notável a semelhança com as curvas do HN, porém o sinal do impacto dos dados de satélite aparecem por volta de 40 horas de previsão, onde para o HN seria por volta das 60 horas de previsão. Isso se deve ao fato de o impacto dos dados de satélites no HS estarem embutidos nessa região.

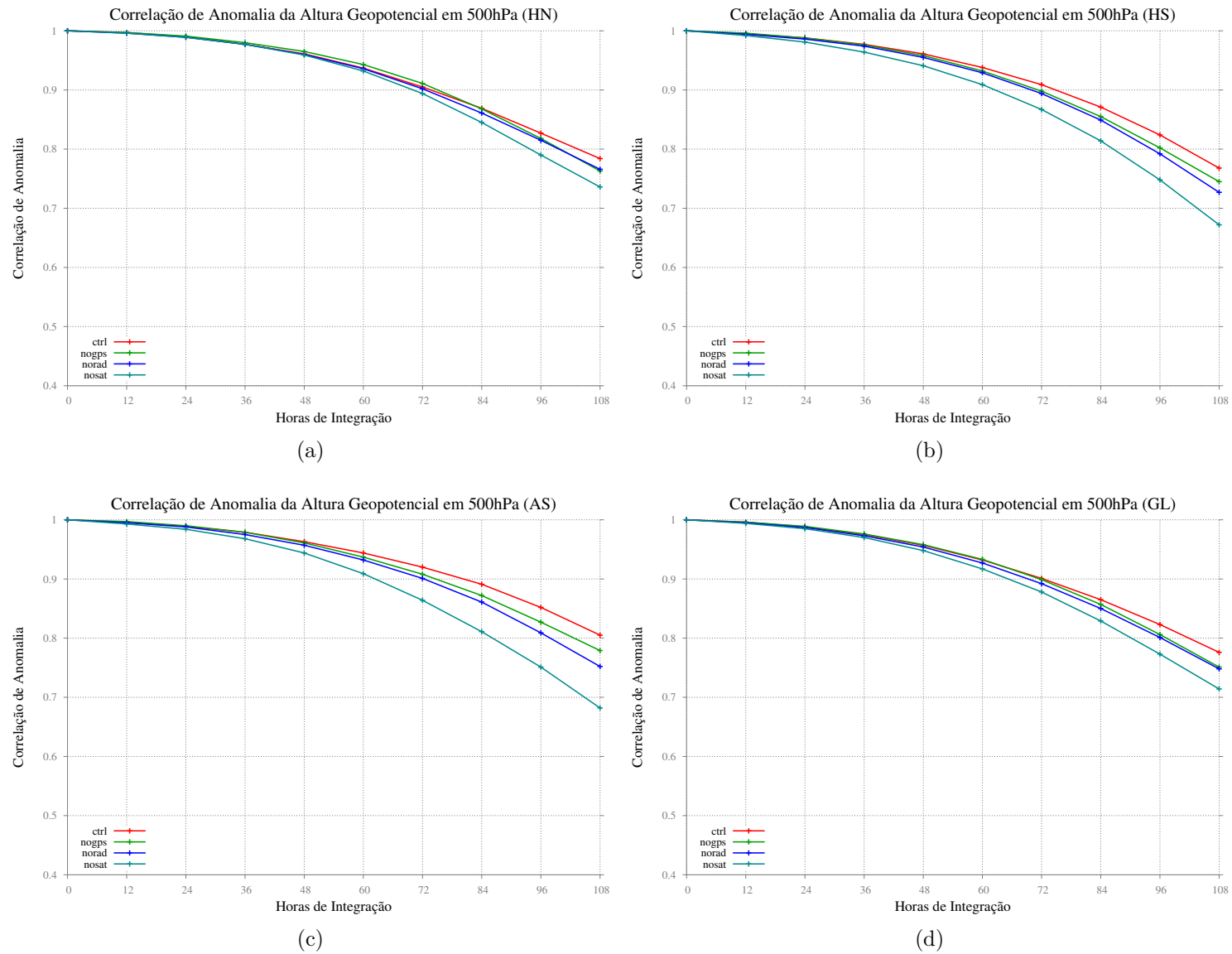


Figura 4.13 - Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

Na Figura 4.14 é mostrado o RMSE da altura geopotencial em 500hPa para as quatro regiões mostradas anteriormente: (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. O eixo das ordenadas representa os valores do RMSE, e no eixo abscissas são as horas de previsão, cada curva representa um experimento: em vermelho CONTROLE, em verde NO_GPS, em azul escuro NO_RAD e em azul claro NO_SAT. Observando as figuras, é possível ver que o Hemisfério Norte foi o que apresentou um erro maior para todos os experimentos e que mais uma vez o experimento CONTROLE mostrou um desempenho melhor na região da América do Sul. O padrão visto no HS e na ASOA são próximos, porém os erros no HS são maiores. Ambos mostram o experimento CONTROLE com erro menor, seguindo das curvas dos experimentos NO_RAD e NO_GPS que ficam próximas, e por fim, apresentando um erro maior o experimento NO_SAT. No caso do HN, o controle se mostra com erros maiores que os três experimentos até às 72 horas de previsão, depois este erro se mantém menor que o experimento NO_SAT apenas, continuando com erros maiores que os experimentos NO_RAD e NO_GPS. Isso mostra que ao retirar as observações, as previsões, para essa região, são melhores do que ao utilizar um conjunto mais robusto. Para o Globo todo nota-se muita semelhança com o Hemisfério Sul, apresentando erros menores que para o Hemisfério Norte. Ainda, é possível notar, no Globo todo, que em até 84 horas de previsão, as observações apresentam um impacto negativo, ou seja, degradam as previsões. Após esse horário o experimento CONTROLE se mostrou com erros menores, tendo uma diferença entre CONTROLE e NO_SAT em 108 horas de previsão de aproximadamente 7mgp. Quando se compara as quatro regiões é possível notar no último horário de previsão que os erros na ASOA ficam em torno de 55mgp, enquanto que o HS e o GL apresentam esse mesmo erro próximo das 84 horas de previsão e o HN próximo de 64 horas de previsão.

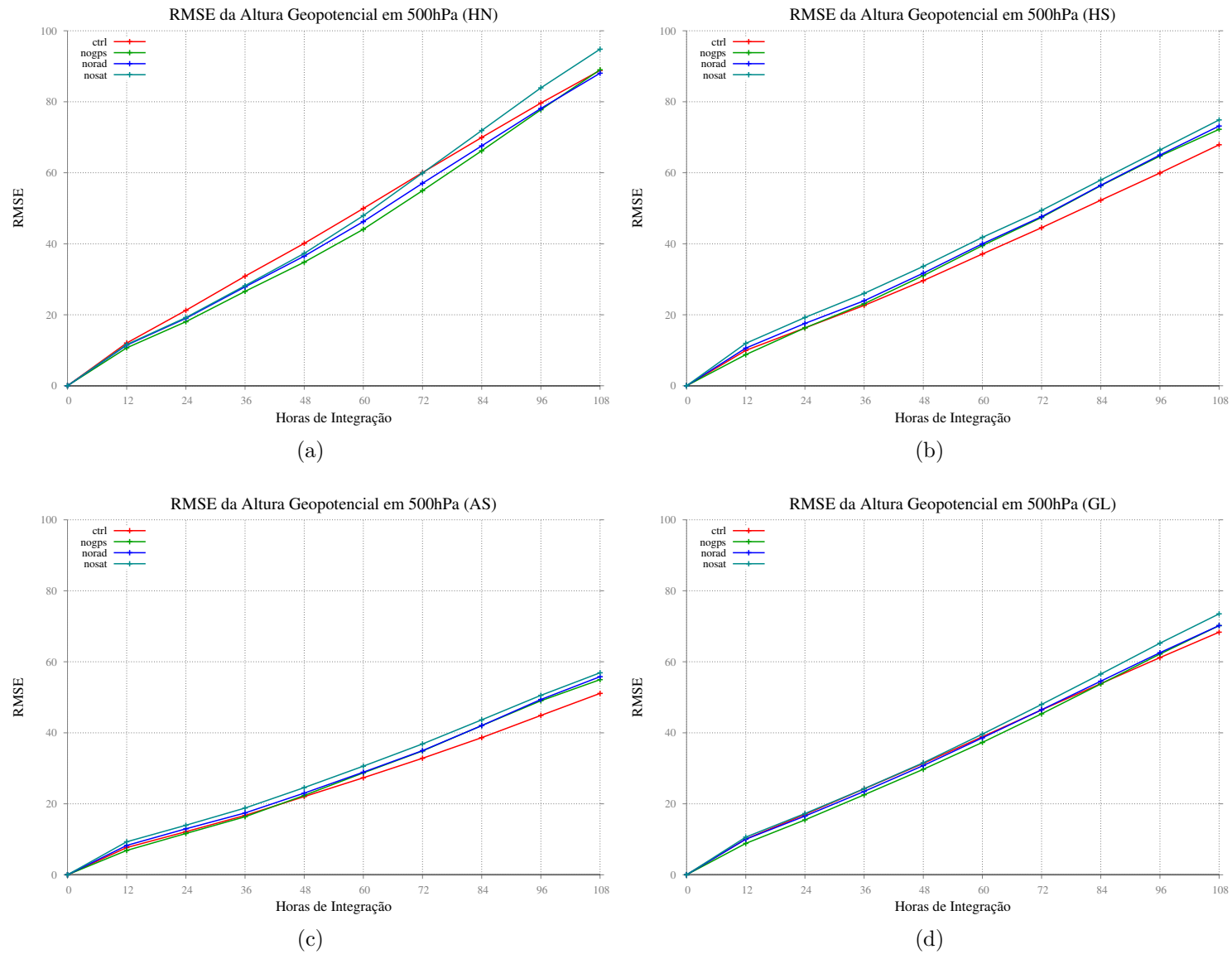


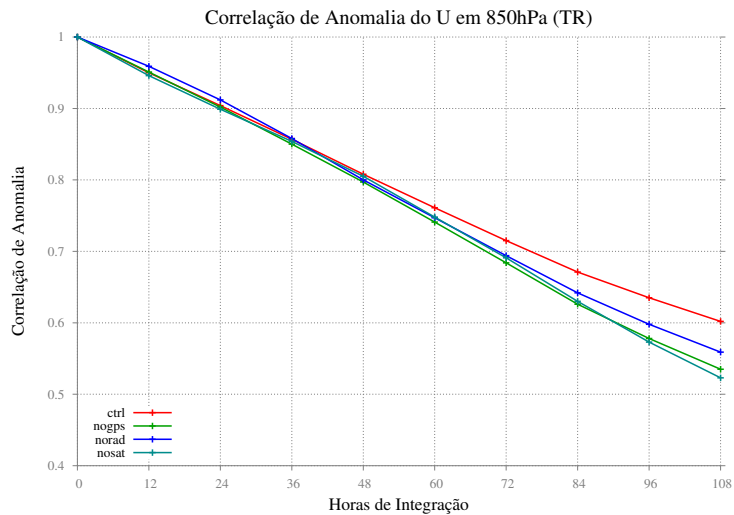
Figura 4.14 - Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.

Quando se trata das componentes horizontais do vento na região Tropical, é possível observar na Figura 4.15, onde são mostradas as curvas de correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa, que para a componente zonal do vento, as curvas de correlação de anomalia nos dois níveis para o experimento CONTROLE, ficaram próximas, porém se observa que em 850hPa, quando há a falta de radiossonda ocorre uma melhora no desempenho para as primeiras horas (leia-se 36 horas) de previsão. Quando se analisa o tempo útil de previsão, o CONTROLE é o único experimento que em ambos os níveis se mostrou dentro dos 60% de correlação até as 108 horas de previsão. Para os dois níveis, o experimento NO_SAT se mostrou mais deficiente, mostrando ainda a importância dos dados de satélites nessa região. A sua previsão útil em 250hPa fica restrita em apenas três dias, seguido pelo experimento NO_RAD e NO_GPS.

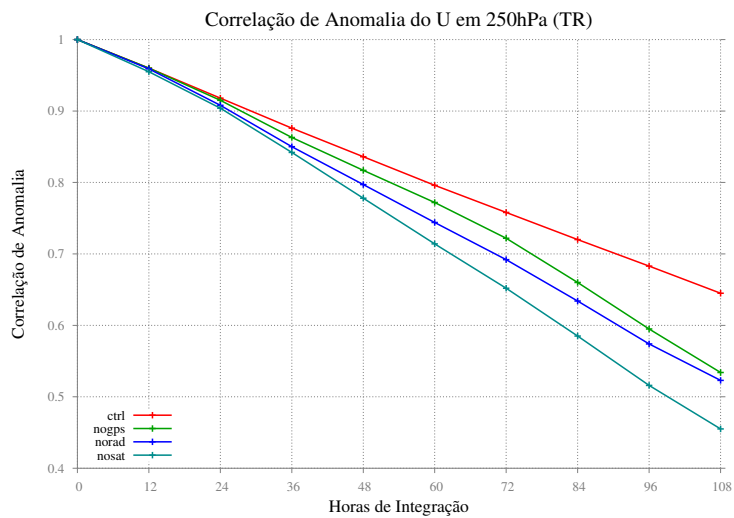
Na Figura 4.16 são mostrados os valores de correlação de anomalia para a componente meridional do vento em (a) 850hPa e (b) 250hPa. Nota-se uma queda brusca na previsibilidade quando comparado com a componente zonal. Para o nível de 250hPa nota-se que o experimento CONTROLE se mostra melhor do que os demais, porém no nível de 850hPa até 48 horas de previsão quem se mantém melhor foi o experimento NO_RAD. Também é possível notar mais uma vez a degradação das previsões quando há a falta de dados de satélites. As previsões úteis ficam restritas, em 850hPa e 250hPa, para o experimento CONTROLE, respectivamente, em 72 e 84 horas, enquanto que o NO_SAT em 60 horas e 56 horas.

Nas Figuras 4.17 e 4.18 são apresentados, respectivamente, os valores de RMSE para o vento zonal e meridional, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. O eixo das ordenadas representa os valores do RMSE, e no eixo abscissas são as horas de previsão, cada curva representa um experimento: CONTROLE (vermelho), NO_GPS (verde), NO_RAD (azul escuro) e NO_SAT (azul claro). É possível notar que para baixos níveis, tanto o vento zonal quanto o vento meridional, não apresentam diferenças nos erros quando comparados os quatro experimentos. Os erros para o vento zonal em baixos níveis foram maiores que os observados no vento meridional. Em altos níveis os valores de RMSE foram próximos entre as componentes horizontais do vento, com o experimento CONTROLE apresentando erros menores, seguido do NO_GPS, NO_RAD e NO_SAT. Para o vento meridional até as primeiras 60 horas de previsão os experimentos CONTROLE e NO_GPS se mantiveram com erros similares, enquanto que em 108 horas de previsão o experimento NO_GPS se iguala ao experimento NO_RAD. Pode-se inferir através desses resultados, que para baixos níveis o impacto desses sistemas de observação foi quase nulo, enquanto que para altos níveis nota-

se um impacto para os três sistemas de observação apresentados, porém dados de radiâncias de satélites apresentaram um impacto maior tanto para vento meridional quanto para vento zonal.

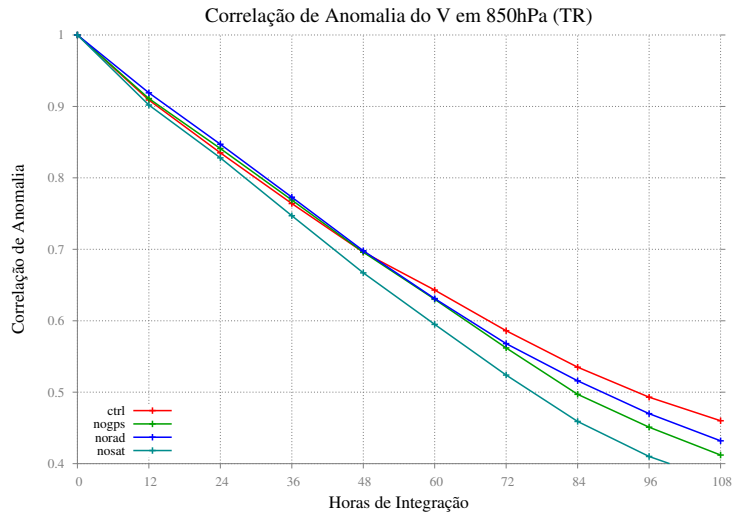


(a)

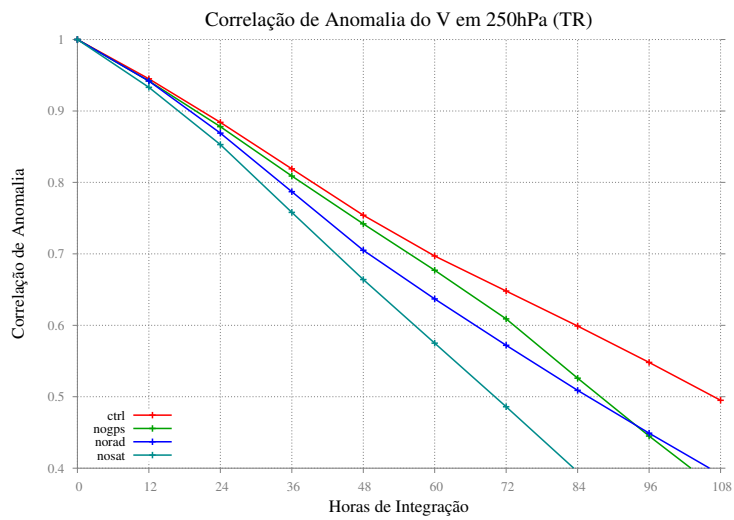


(b)

Figura 4.15 - Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

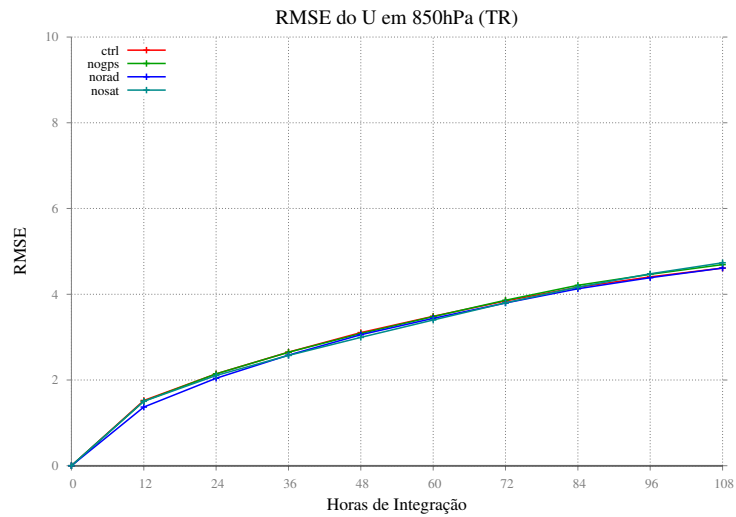


(a)

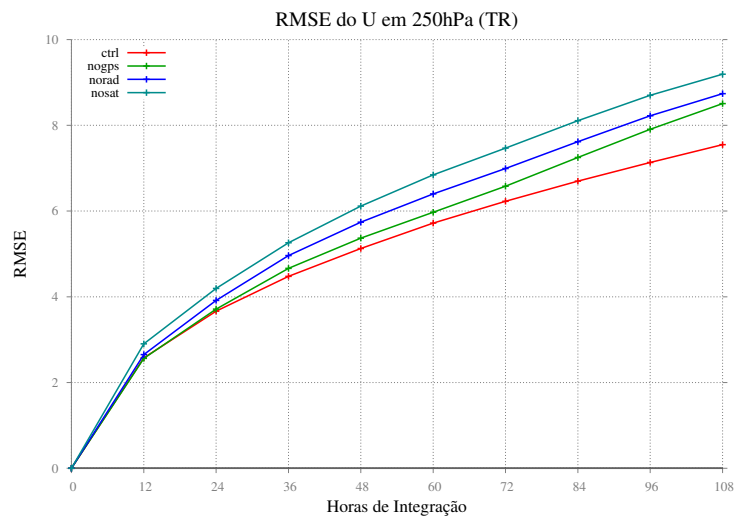


(b)

Figura 4.16 - Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

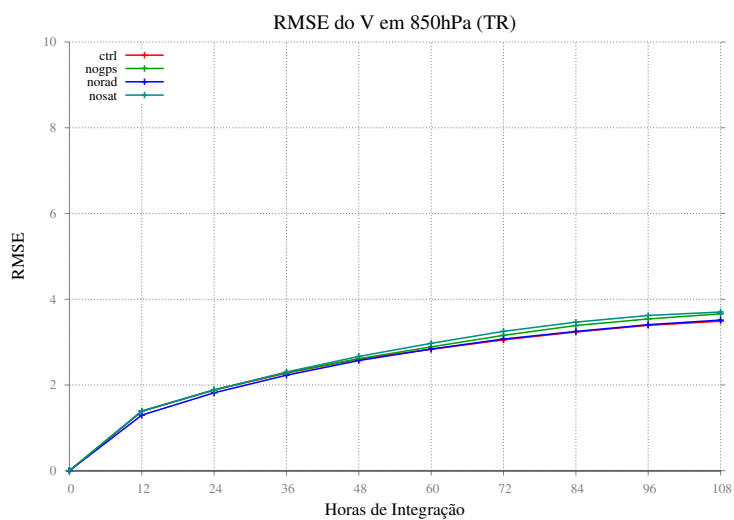


(a)

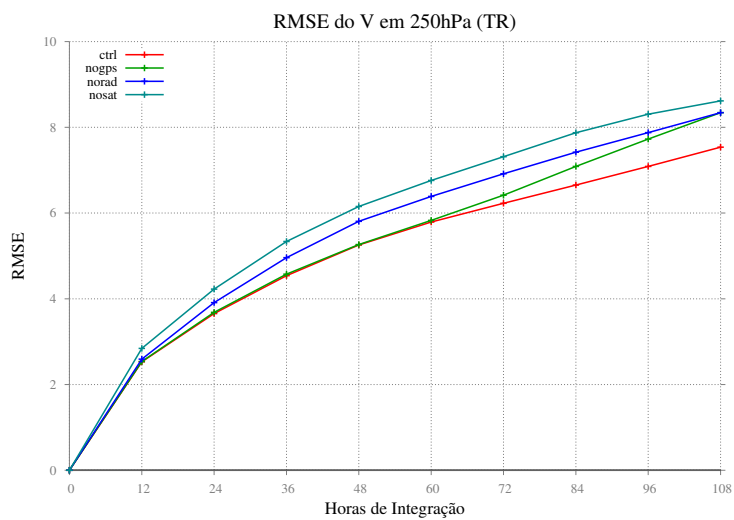


(b)

Figura 4.17 - RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.



(a)



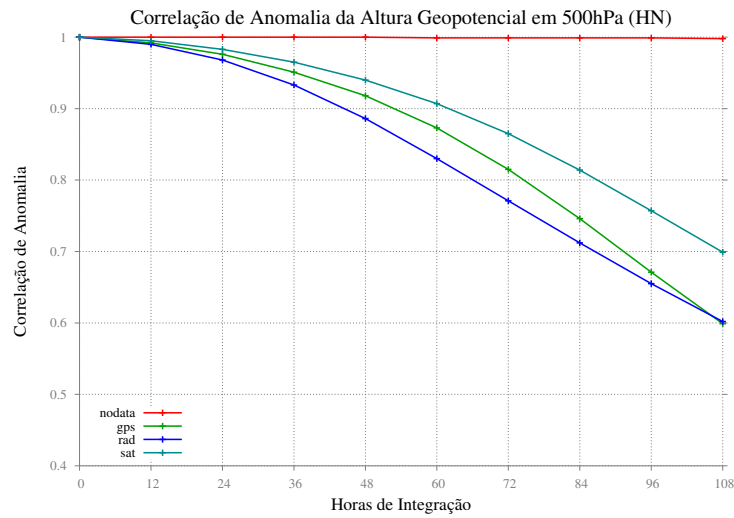
(b)

Figura 4.18 - RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.

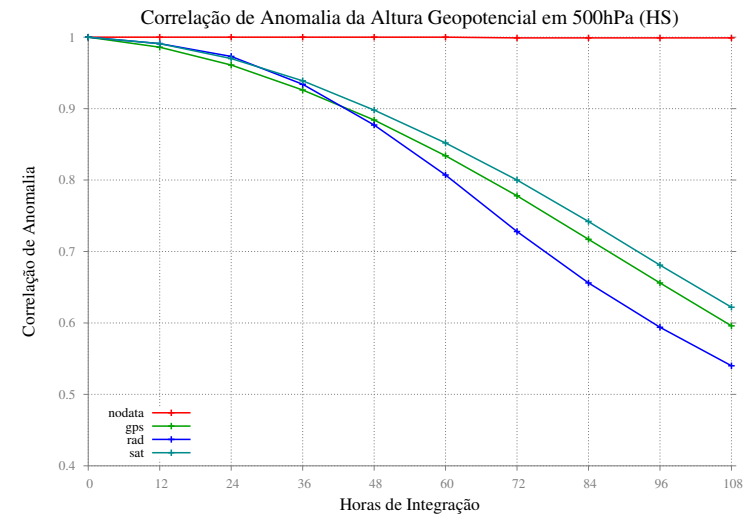
Na Figura 4.19 são apresentadas as curvas de correlação de anomalia para a Altura Geopotencial em 500hPa, para (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo, dos experimentos GPS (verde), RAD (azul escuro), SAT (azul claro) e NO_CTRL (vermelho). Nota-se que ao assimilar apenas um tipo sistema de observação não se obtém resultados satisfatórios. É possível inferir que ao assimilar apenas dados de GPS se obtém um melhor desempenho, na ASOA, do que assimilar apenas dados de radiâncias de satélites ou então radiossondas, sendo que, nessa região, para as primeiras 24 horas de previsão, o experimento RAD se mostrou com uma correlação maior. Ainda, o experimento GPS se mantém com previsões úteis até o último horário, enquanto que o RAD e SAT apresentam 60% de correlação em 80 horas e 83 horas, respectivamente. Ao analisar os Hemisférios, nota-se uma semelhança nas curvas do experimento GPS, onde em 108 horas de previsão alcança os 60% de correlação. Nessas regiões ainda, é possível apontar a importância dos dados de satélites, sendo esses os com uma correlação maior. Para o HN, as radiossondas não apresentaram um impacto grande, enquanto que quando se observa os resultados para o HS, nota-se que esse sistema de observação se mostrou melhor que os outros em até 36 horas de previsão, semelhante ao que ocorreu na ASOA. Para o Globo todo nota-se um padrão de curvas semelhante ao Hemisfério Norte. É possível observar ainda um indicio do observado no HS sobre as radiossondas nos primeiros horários, porém ela se mostra melhor apenas que o experimento GPS nas primeiras horas. Para melhor explicar a curva que representa o experimento NO_CTRL, onde nenhum dado foi assimilado, é apresentada a Figura 4.20. Nela são apresentadas duas situações, as linhas em preto estão simulando as análises e os horários em que foram geradas, em verde e amarelo são os erros associados as previsões e por fim em azul e vermelho a curva das previsões para cada horário. Na ilustração superior, representa uma simulação onde são assimilados dados, ou seja, além das restrições e erros do modelo de PNT e do ciclo de assimilação, ainda existem erros inerentes as observações, tais erros estão sendo demonstrados nas setas em verde. Na ilustração inferior, é apresentada a realidade vista no experimento NO_CTRL, onde erros relacionados as observações não interferem, gerando assim erros menores, mostrados em amarelo. Se dentro do ciclo de assimilação de dados não houvesse fontes de erros, tais como mudanças de resolução, por exemplo, e se ainda a climatologia utilizada fosse a climatologia do próprio modelo, o esperado seria uma curva sobre o zero (linha preta). Ainda, é necessário lembrar que a previsão gerada as 00Z para as seis horas subsequentes, será utilizada como análise das 06Z, e que a previsão gerada para as 12Z de ambos os horários devem ser diferentes apenas por passar pelo ciclo de assimilação de dados

e carregar os erros mencionados anteriormente.

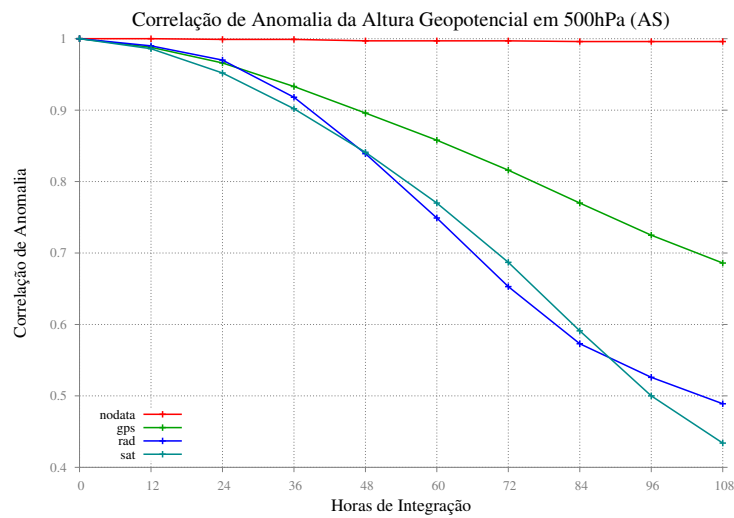
Nos gráficos de RMSE mostrados na Figura 4.21, nota-se um quadro diferente do que o visto anteriormente. Nesses gráficos, o experimento RAD apresenta um erro maior em todos, de modo que na ASOA, no HS e no GL esses erros são bem maiores que no HN. No caso do HN o experimento que apresentou um erro menor foi o utilizando apenas dados de satélites, o que está de acordo com a curva de correlação de anomalia. Já para as regiões do sul, notam-se erros menores no experimento GPS. Quando se observa as curvas em vermelho, o esperado é que esta curva estivesse sobre o zero, uma vez que não assimilando observações não há correções na análise, porém este erro está associado ao erro sistemático do modelo de PNT para essas regiões e variáveis.



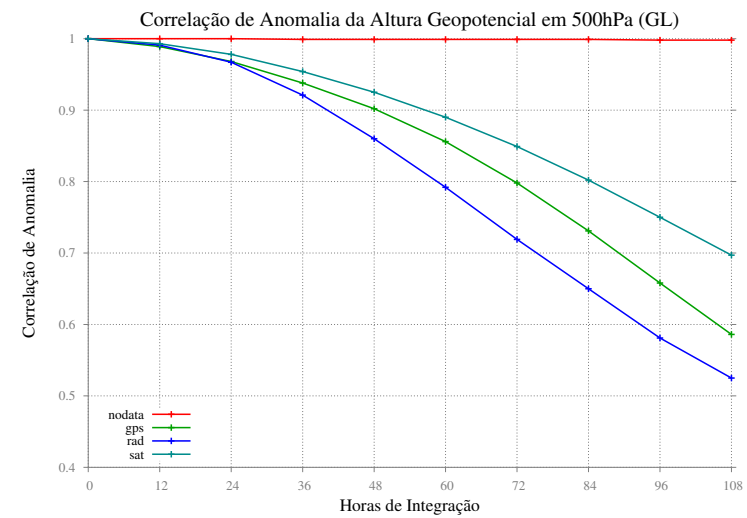
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.19 - Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

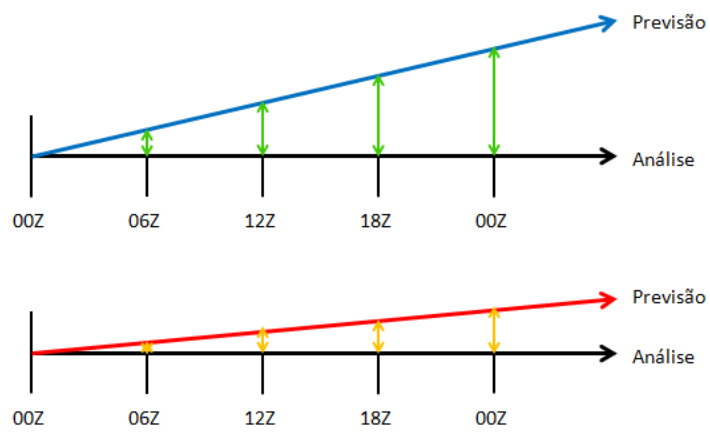
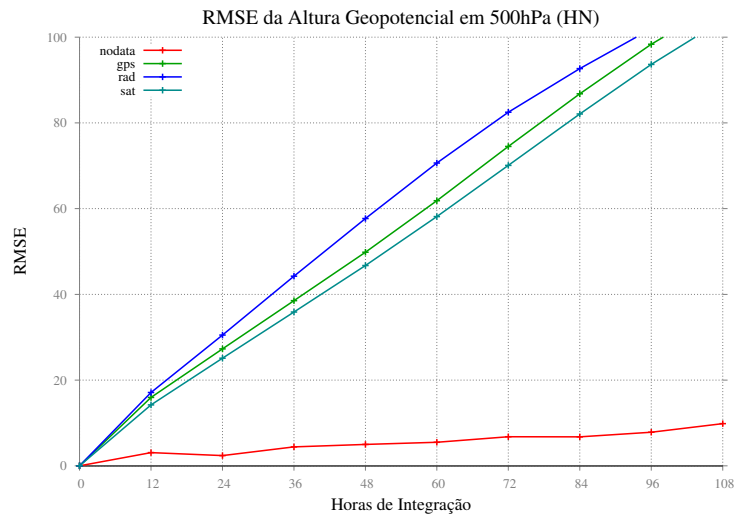
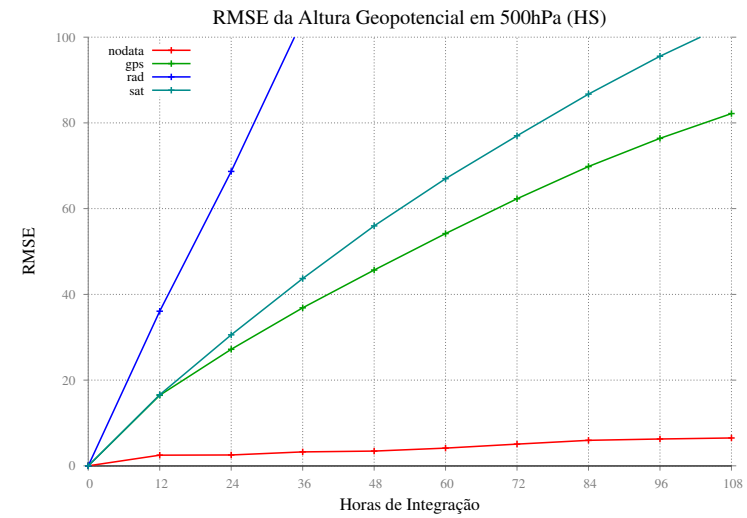


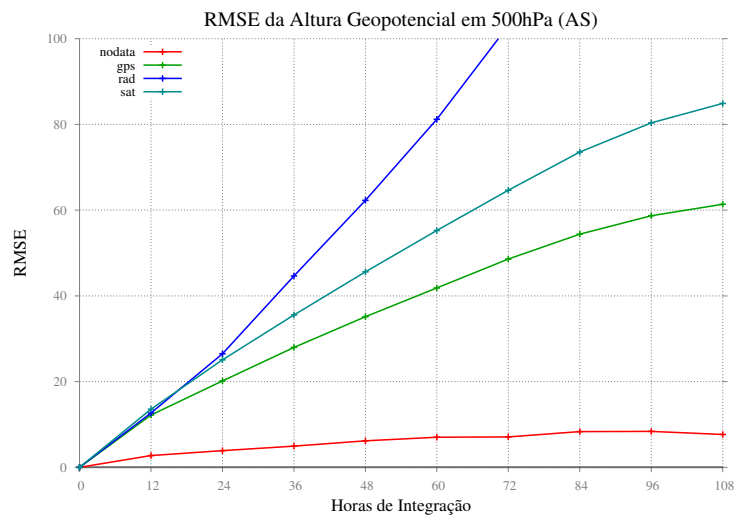
Figura 4.20 - Previsões e erros associados quando ocorre a assimilação de qualquer fonte de dado (superior) e quando não ocorre assimilação de nenhum dado (inferior).



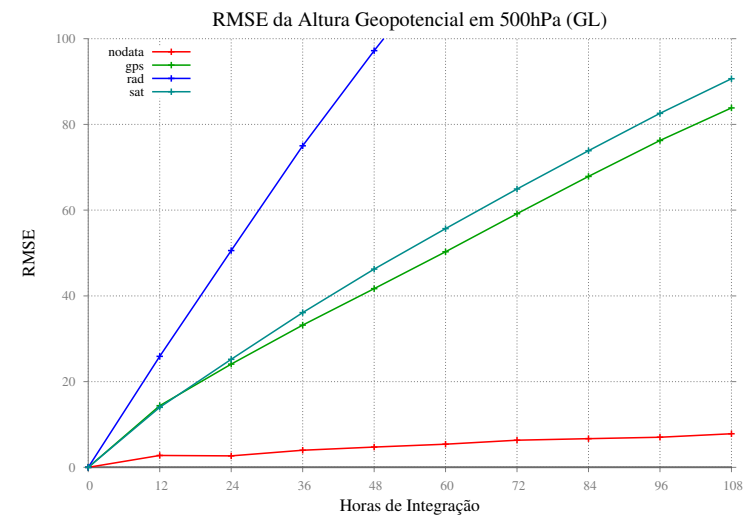
(a)



(b)



(c)

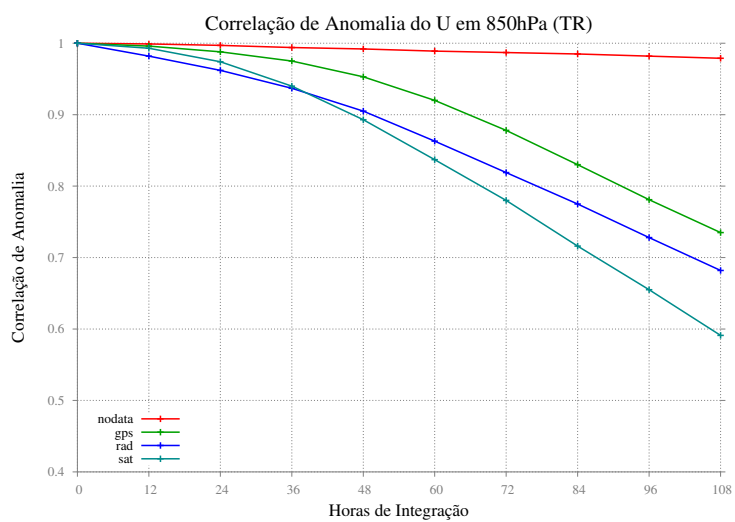


(d)

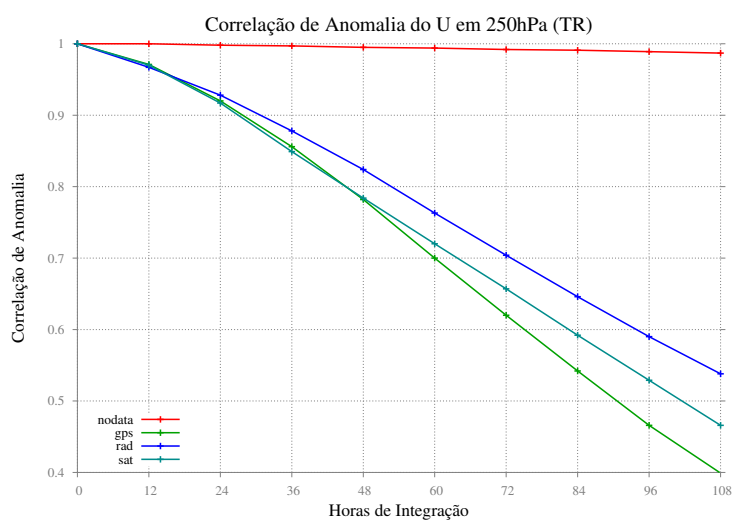
Figura 4.21 - Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores RMSE.

Na Figura 4.22 são apresentadas curvas de Correlação de Anomalia para a componente zonal (u) do vento em (a) 850hPa e (b) 250hPa na região Tropical. Nela é possível observar que assimilar dados de GPS, para baixos níveis, se mostrou mais válido que assimilar apenas dados de satélites e radiossondas, o que para altos níveis já não se observa, sendo as radiossondas melhores nesse nível. Em baixos níveis, o primeiro experimento a chegar a 60% de correlação foi no experimento SAT, isso ocorreu próximo das 108 horas de previsão, enquanto que em altos níveis, esse limiar foi alcançado primeiro pelo experimento GPS em aproximadamente 72 horas de previsão. Isso mostra a importância de não apenas assimilar um tipo de observação, mas sim uma gama delas, pois elas diferem em suas importâncias dependendo da região e o nível em que se encontra. Na Figura 4.23, nota-se um perfil similar ao analisado antes, em baixos níveis a curva do experimento GPS se mostrou melhor e em altos níveis o experimento RAD. Um dos motivos pelo qual se tem um melhor desempenho do RAD em altos níveis é pelo fato de dados de vento serem originados de informações de radiossondas, então com dados desse nível sendo assimilados, há uma correção das previsões por parte desses dados.

São apresentados nas Figuras 4.24 e 4.25 valores de RMSE para as componentes horizontais do vento, em (a) 850hPa e (b) 250hPa, para os experimentos: NO-CTRL (vermelho), GPS (verde), RAD (azul escuro) e SAT (azul claro). Diferente do visto anteriormente no nível de 850hPa, esses experimentos apresentam impactos nas previsões tanto na componente zonal como na componente meridional do vento. Nota-se que quando se assimila apenas dados de GPS os erros são menores que apenas satélites ou radiossondas. Para a componente zonal, em 850hPa, nota-se que o experimento SAT apresentou erros maiores que os demais experimentos a partir de 36 horas de previsão enquanto que para a componente meridional o SAT apresenta erros maiores em 48 horas. Em altos níveis, onde se observou erros maiores, assimilar apenas dados de radiossondas apresenta erros menores do que assimilar apenas dados de satélites e GPS, sendo que para a componente zonal os dados de GPS apresentaram um impacto maior a partir de 48 horas de previsão. Já para a componente meridional o experimento SAT apresentou erros maiores. Esses resultados concordam com os resultados mostrados na correlação de anomalia, onde apresenta a mesma ordem com relação aos impactos, sendo o GPS o que apresentou menor impacto em baixos níveis e as radiossondas em altos níveis.

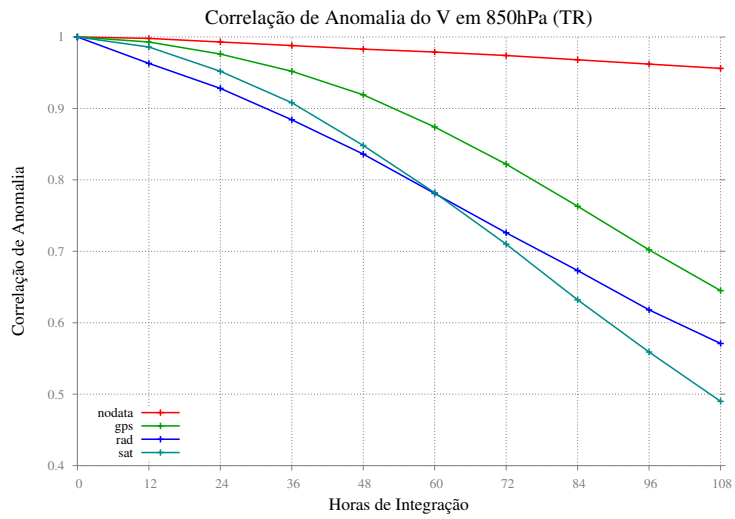


(a)

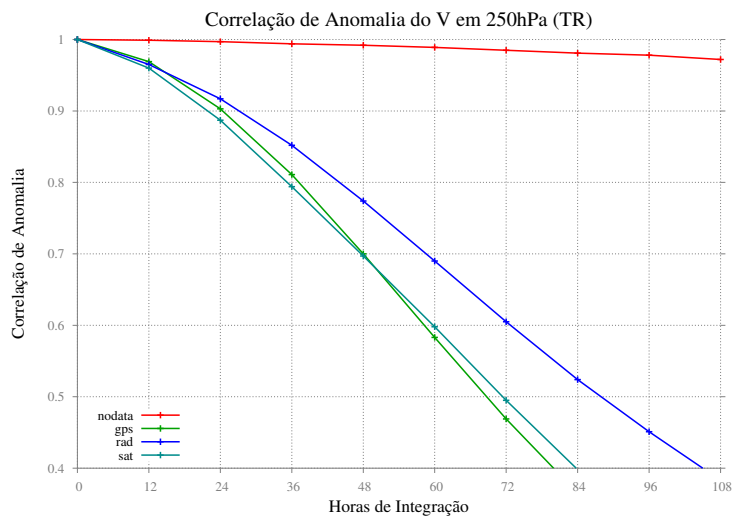


(b)

Figura 4.22 - Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

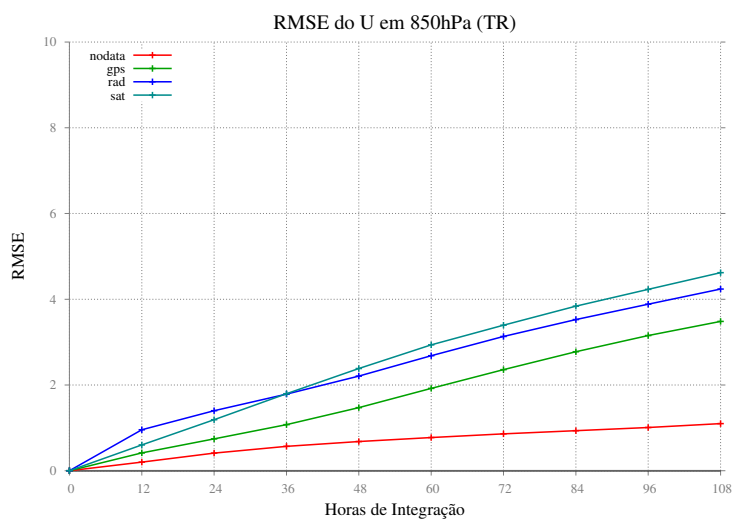


(a)

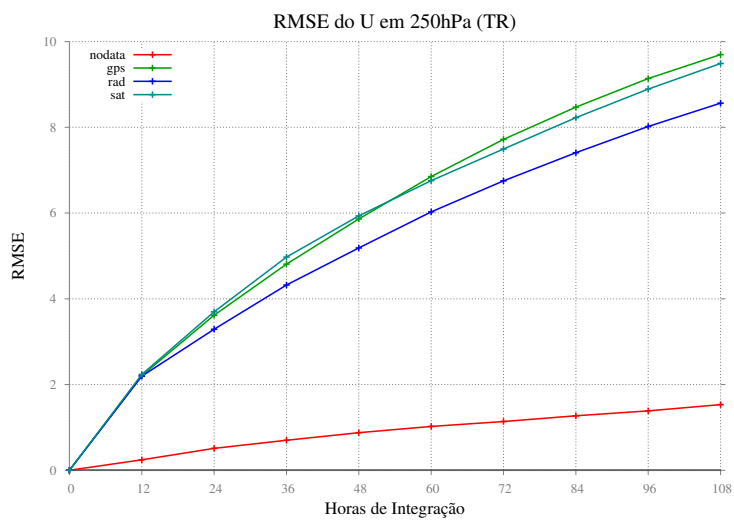


(b)

Figura 4.23 - Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

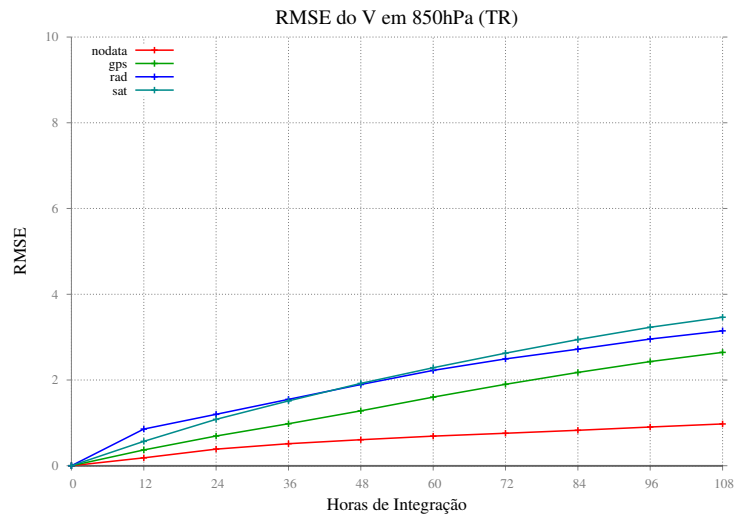


(a)

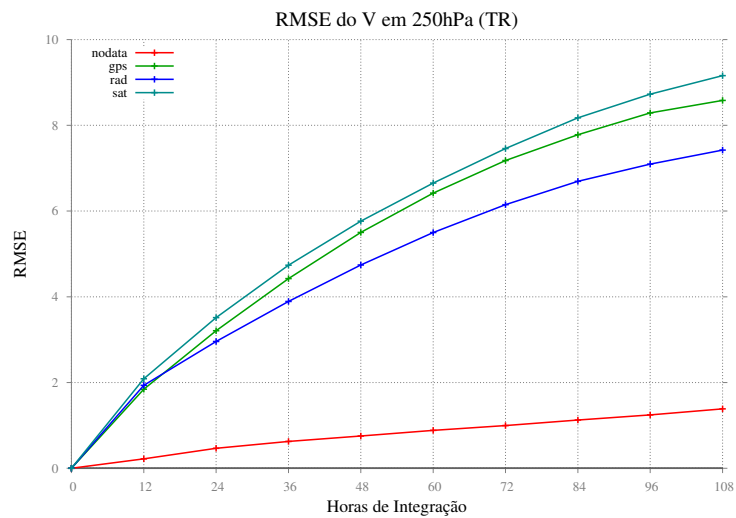


(b)

Figura 4.24 - RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.



(a)



(b)

Figura 4.25 - RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.

Na Figura 4.26 são mostrados os gráficos de correlação de Anomalia, da altura geopotencial em 500hPa para (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. Os experimentos estão distribuídos em GS (verde), RS (azul escuro), RG (azul claro), SRG (rosa) e CONTROLE (vermelho). Nesses gráficos são mostradas as interações dos três sistemas de observações mostrados acima. É notável que a soma dos três sistemas de observações (SRG) se mostrou com uma correlação maior que as outras interações para as quatro regiões de estudo, sendo para o HN, HS, ASOA e GL, 77%, 73%, 75% e 75% de correlação no último horário de previsão, respectivamente. Observando o gráfico do Hemisfério Norte, o esperado de acordo com a Figura 4.19 (a) seria que as interações entre dados de satélites e GPS (GS) mostrassem uma correlação maior, uma vez que foram os dois sistemas de observações que apresentaram uma maior correlação quando isolados, porém se observa que quando assimilados dados de satélites junto de radiossondas o resultado apresenta-se melhor do que quando assimilados satélites e GPS. A curva do experimento RS se manteve sobre a curva do experimento CONTROLE e SRG até 60 horas de previsão. Para essa região o experimento RG foi o que se mostrou pior, entretanto, sua combinação foi melhor do que cada um desses sistemas separadamente. Ainda, nota-se uma proximidade entre os experimentos CONTROLE e SRG, essa diferença pode estar relacionada aos outros sistemas de observações que diferem esses dois experimentos, como por exemplo, dados de boias, aeronaves, vento por radar e satélites, entre outros. Para o Hemisfério Sul, nota-se que a combinação dos dois experimentos que tiveram uma correlação maior na Figura 4.19 (b) foi a combinação que apresentou uma maior correlação na Figura 4.23 (b) (GS). A combinação entre radiossondas e GPS foi a que se mostrou pior no HS, e quando comparada as figuras anteriores, nota-se que em relação a curva do RAD houve uma melhora, porém em relação a curva do GPS houve uma piora. Ou seja, assimilar apenas dados de GPS, para essa região e variável, se mostrou melhor do que combinar essa informação com a de radiossondas. Nota-se ainda uma importância maior dos outros sistemas de observação quando comparado ao Hemisfério Norte. Para essa região (HS), a diferença entre as curvas do SRG e CONTROLE se mostrou maior. No caso da América do Sul e Oceanos Adjacentes, as curvas dos experimentos GS, RS e SRG ficaram sobrepostas até as primeiras 24 horas de previsão, após esse horário a curva do SRG se mostrou com uma correlação maior, seguido pela GS, RS e por fim RG. Isso condiz com a Figura 4.19 (c), onde até as 24 horas de previsão o experimento RAD se mostrou melhor, a partir disso, o GPS se manteve mais coerente. Quando se compara as curvas do SRG e CONTROLE, nota-se aqui uma diferença ainda maior que a apresentada no HS, mostrando assim a falta que os outros sistemas de

observações fazem. Para o Globo todo foi visto um padrão nas curvas de correlação de anomalia similares ao HN, mostrando a curva do experimento RG com uma correlação menor, seguido pelo GS, RS e por fim o SRG, sendo esses três últimos com pouca variação entre si. Vale lembrar que o experimento CONTROLE se manteve com uma correlação maior para ASOA, HS e HN, respectivamente. Essas interações mostraram o quão útil são os dados de radiâncias de satélites, e que apenas a combinação de sistemas de observação, para alguns casos, não resultam em uma melhora nas previsões, ainda, mostram a importância das demais fontes de dados no sistema de assimilação de dados.

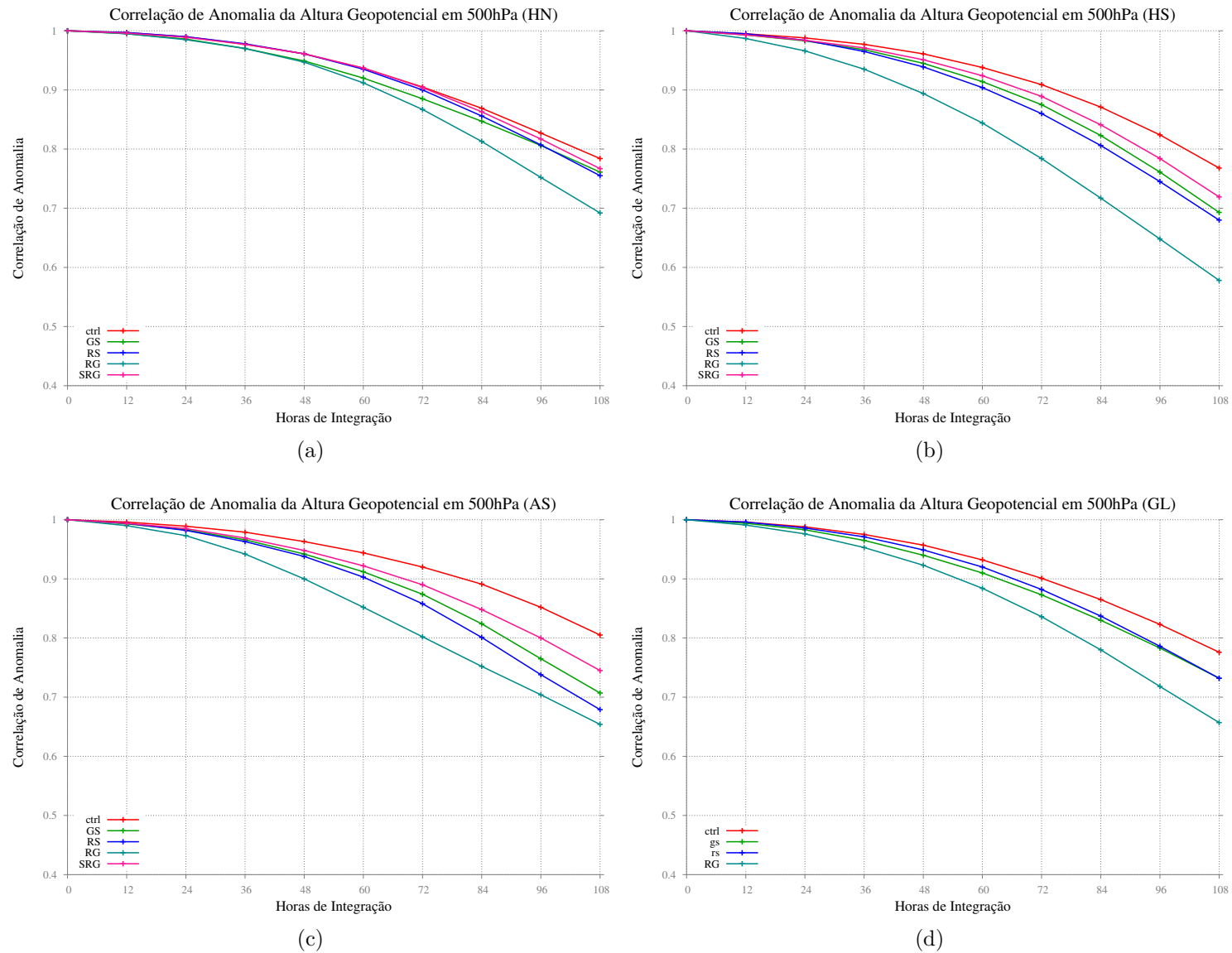


Figura 4.26 - Correlação de anomalia da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

Na Figura 4.27 são mostrados gráficos de RMSE da altura geopotencial em 500hPa. São apresentados os experimentos GS (verde), RS (azul escuro), RG (azul claro), SRG (rosa) e CONTROLE (vermelho), para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. É possível notar uma diminuição brusca nos erros quando comparados os experimentos de um sistema de observação com as suas interações, reafirmando assim a importância de um conjunto robusto de observações. Nota-se que o experimento CONTROLE se mostrou com erros menores para o HS e ASOA, enquanto que para o HN isso não se verifica. Já para o Globo todo percebe-se que em até 72 horas de previsão as curvas dos experimentos CONTROLE e SRG se mantem sobrepostas, permanecendo após esse horário o CONTROLE com erros menores. No Hemisfério Norte até as 48 horas de previsão os experimentos SRG e RS se mantiveram juntos, porém após esse horário o SRG mostrou um erro menor. Quando se comparam os erros da Figura 4.21 (a) com a Figura 4.26 (a), se observa que a combinação entre o RAD e GPS, que apresentaram erros maiores quando separados, nessa Figura (4.27) apresentam o erro maior. Para o Hemisfério Sul foram observados erros menores, sendo o experimento CONTROLE o que apresentou menores erros. É possível notar ainda que a soma dos piores experimentos de uma fonte só (Figura 4.21 (b)), acaba não sendo o que apresenta maior erro quando combinadas essas fontes. A combinação dos três sistemas se mostrou melhor do que as demais combinações, seguido pela combinação entre GPS e satélite, radiossonda e satélite e por fim radiossonda e GPS. Isso mostra mais uma vez a importância das radiâncias em regiões onde há carência de sistemas convencionais de observações. A América do Sul se mostra com menores erros que as demais regiões, confirmando assim que a região de maior importância para o CPTEC/INPE está sendo bem atendida. Ela apresenta o experimento CONTROLE com menor erro, seguido pela combinação entre satélite, GPS e radiossonda, sendo que este é acompanhado pelo experimento GS até as 48 horas de previsão. Seguindo o GS, está o RS e por fim o RG. Em até 18 horas os experimentos SRG, GS E RS se mantêm com erros aproximadamente iguais, coerente com o apresentado na Figura 4.21 (c), onde os três sistemas se mantiveram iguais até aproximadamente 12 horas de previsão. Nota-se ainda que em 108 horas, a combinação entre os dados de radiossonda e GPS se mostrar com erros um pouco acima do que quando apenas é assimilado dados de GPS.

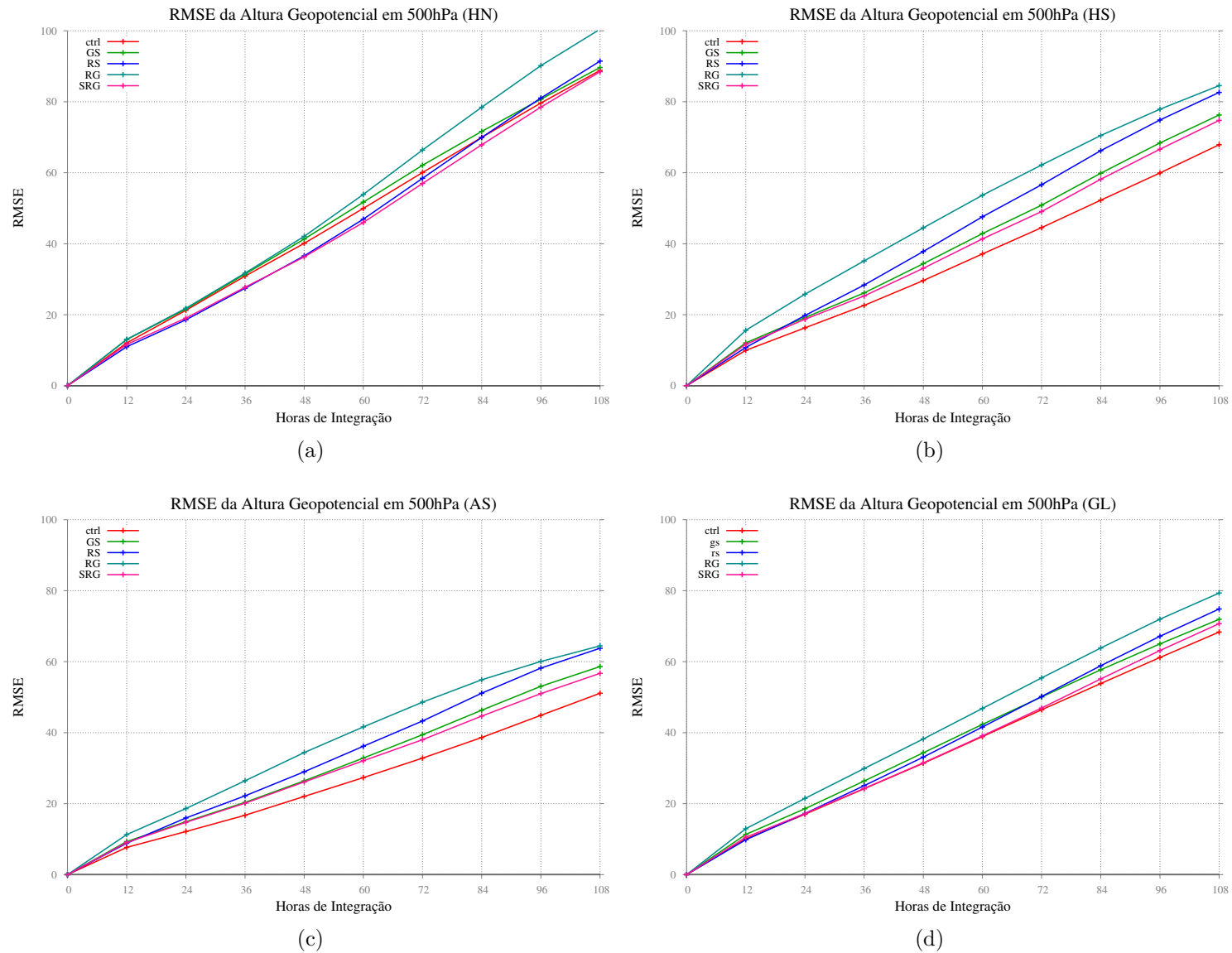
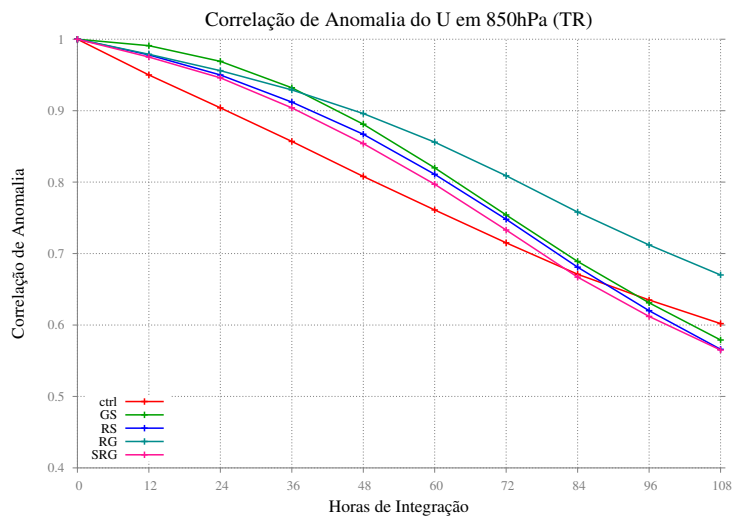


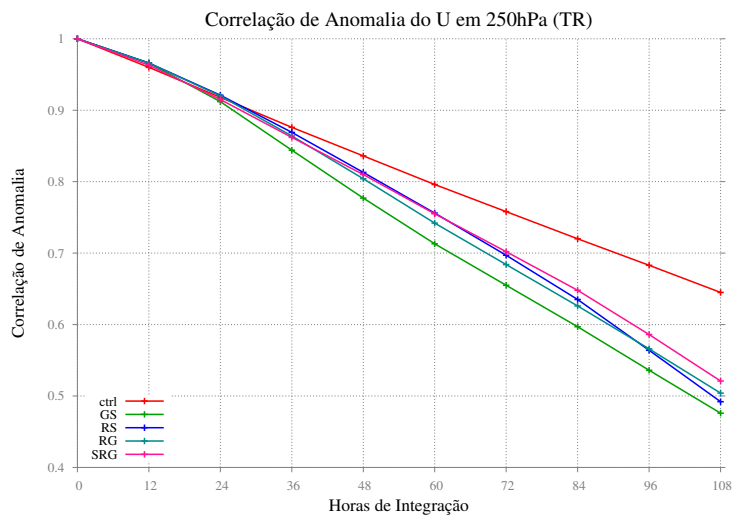
Figura 4.27 - Valores de RMSE da altura geopotencial em 500hPa para o (a) Hemisfério Norte, (b) Hemisfério Sul, (c) América do Sul e Oceanos Adjacentes e (d) Globo todo. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.

A correlação de anomalia das componentes zonal e meridional do vento são apresentadas nas Figuras 4.28 e 4.29, respectivamente, sendo em (a) 850hPa e (b) 250hPa. Nota-se tanto na componente zonal quanto na meridional, em 850hPa, que os experimentos que se mostraram melhores foram RG e GS, sendo que desses dois, nas primeiras horas de integração, o GS se manteve com uma correlação mais alta. Quando se compara com a curva apresentada pelo experimento CONTROLE, nota-se que as combinações de dados feitas obtiveram uma correlação melhor. Ao comparar com os experimentos de negação de dados percebe-se que algumas fontes de dados apresentam resultados melhores do que conjuntos mais robustos. Isso pode-se notar ao comparar as figuras 4.15 (a), 4.16 (a), 4.22 (a), 4.23 (a), 4.28 (a) e 4.29 (a), onde afirmar-se que assimilar apenas dados de GPS mantém uma correlação maior para esta região. Entretanto, quando se observa as componentes do vento em 250hPa, nota-se que ao combinar os dados, tem-se um resultado melhor do que quando se assimila apenas uma fonte de dados, e ainda, que o conjunto mais robusto (SRG) apresentou uma maior correlação. Porém quando são comparados contra os experimentos de negação de dados, nota-se que esses experimentos são melhores apenas que o NO_SAT, reafirmando a importância desses dados, e ainda que as outras fontes não trabalhadas aqui, quando não há a presença de dados de radiâncias afetam a previsibilidade, isso é observado comparando as curvas dos experimentos NO_SAT e RG, onde se diferem apenas por esses outros dados.

Na Figura 4.30 e 4.31 são apresentadas curvas de RMSE para a região Tropical nos níveis de (a) 850hPa e (b) 250hPa. Nessas figuras são observadas as combinações entre GPS, satélite e radiossonda, e ainda o experimento CONTROLE. Foi possível notar que nem sempre o experimento CONTROLE se manteve com erros menores. Isso se observa comparando as Figuras 4.24 e 4.25 com esse experimento. Quando se observa todos os experimentos nota-se que o CONTROLE se manteve com erros menores para a componente zonal em altos níveis e componente meridional em baixos níveis. Para baixos níveis nota-se erros maiores na componente zonal, Já os erros menores foram apresentados pelos experimentos GS e RG, sendo que o GS se manteve com erros menores até as primeiras 36 horas e 48 horas na componente zonal e meridional, respectivamente. Mais uma vez os resultados obtidos com o RMSE concordam com os resultados vistos na correlação de anomalia, onde a ordem dos impactos se manteve o mesmo para todos os níveis e componentes horizontais.

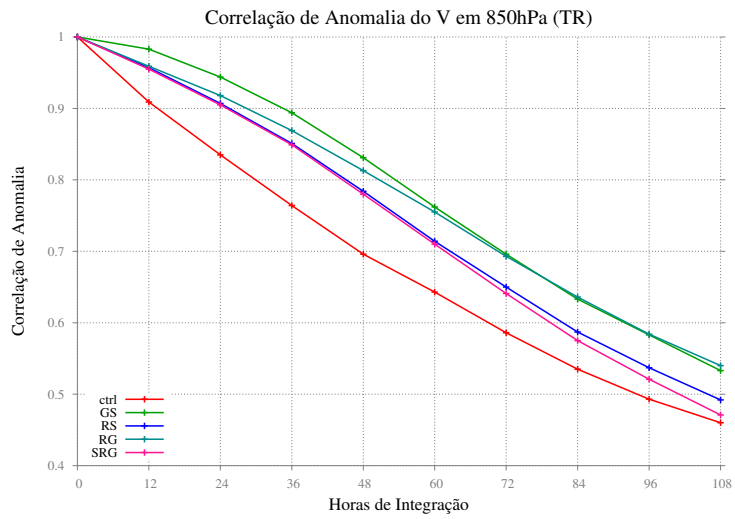


(a)

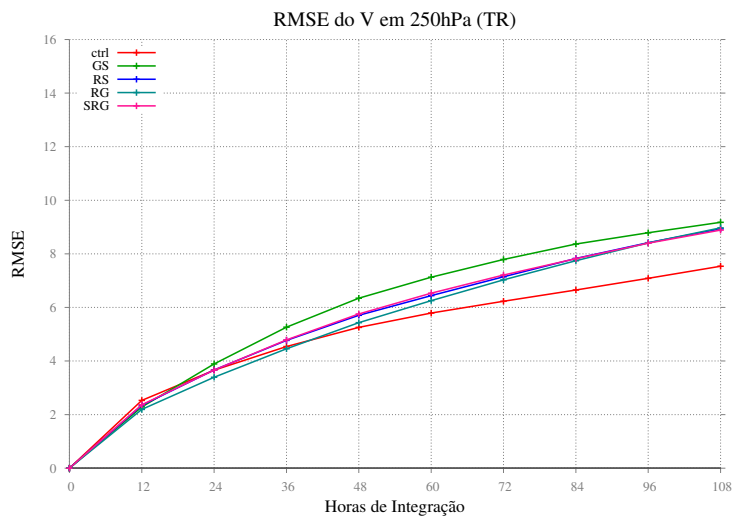


(b)

Figura 4.28 - Correlação de anomalia da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

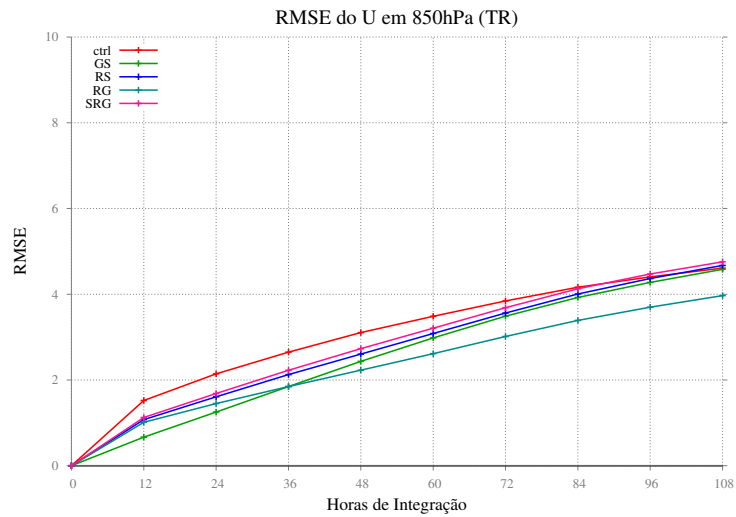


(a)

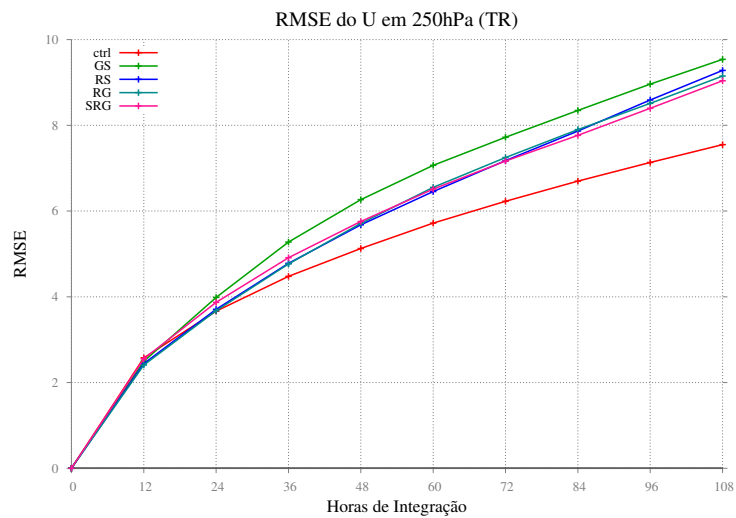


(b)

Figura 4.29 - Correlação de anomalia da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de correlação de anomalia.

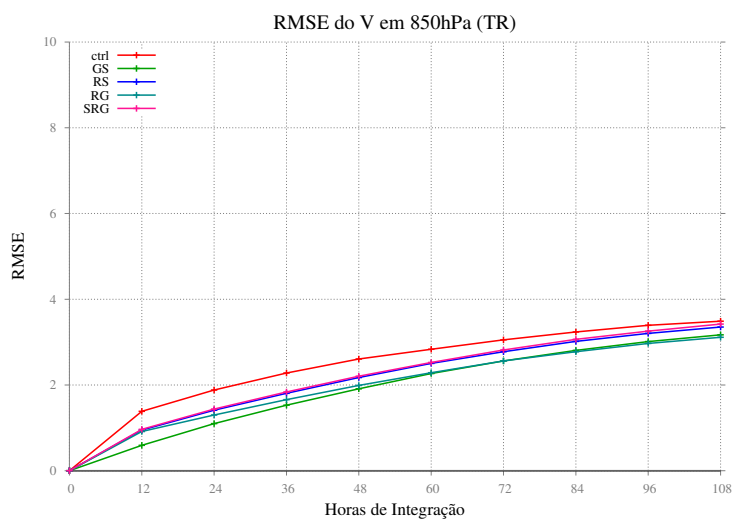


(a)

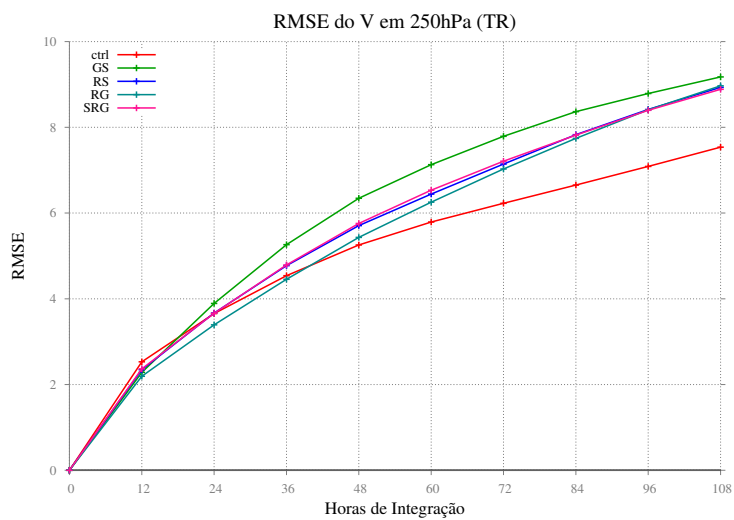


(b)

Figura 4.30 - RMSE da componente zonal do vento (u) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.



(a)



(b)

Figura 4.31 - RMSE da componente meridional do vento (v) na região Tropical, em (a) 850hPa e (b) 250hPa. No eixo das abscissas encontram-se as horas de previsão e no eixo das ordenadas os valores de RMSE.

4.2.2 Avaliação das análises

Com relação às análises, foram feitos cortes médios meridionais integrados no tempo, para todo o período de estudo, e as diferenças dos experimentos de negação de dados com relação ao experimento CONTROLE. As figuras abaixo são compostas por: eixo das abscissas as latitudes, de 90°S a 90°N; eixo das ordenadas com os níveis verticais. As figuras de cima são os experimentos: NO_GPS, NO_RAD e NO_SAT, respectivamente; as figuras do centro são o experimento CONTROLE e por fim, as figuras de baixo referem-se às diferenças entre os experimentos de negação de dados e o experimento CONTROLE, respectivamente. Na Figura 4.32 são mostrados os cortes médios meridionais para a variável temperatura e na Figura 4.33 são mostrados os cortes médios meridionais para a variável umidade específica. Pode-se observar que para a temperatura, o impacto maior se dá sobre o HS, em aproximadamente 60°S, entre os níveis de 1000hPa e 700hPa, onde a diferença entre o experimento NO_SAT e o experimento CONTROLE é de 3°C. Nos demais experimentos esse erro se mantém próximo a superfície. Em relação à umidade, pode-se dizer que para os experimentos NO_GPS e NO_RAD, o observado foi próximo ao que foi encontrado para a temperatura, mostrando um erro próximo a superfície, entre 30°S e 60°S. Já para o experimento NO_SAT observa-se uma diferença que abrange parte da região tropical até 60°S, sendo que na região tropical esta diferença chega a níveis próximos a 400hPa, e sobre 60°S essa diferença cai e fica próxima a 850hPa. Ainda no experimento NO_SAT, também se pode observar uma bolha sobre a região tropical, ao lado norte, um aumento da umidade naquela região quando comparado com o controle.

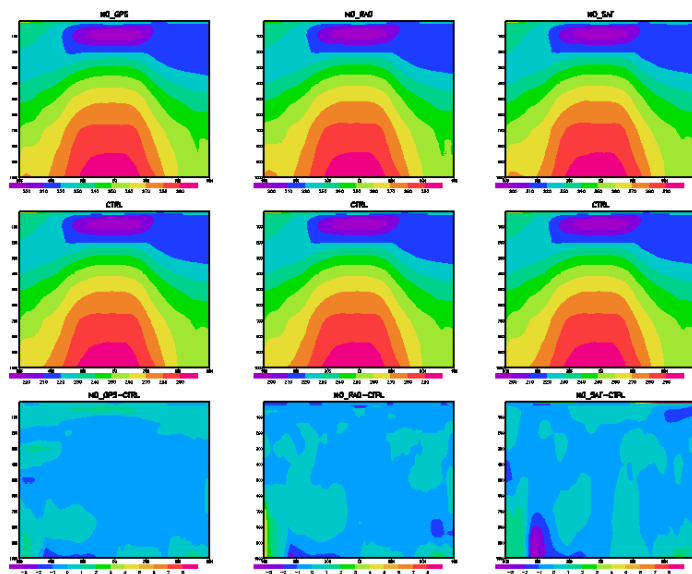


Figura 4.32 - Corte médio meridional da temperatura integrado no tempo. No topo cortes dos experimentos NO_GPS (esquerda), NO_RAD (centro) e NO_SAT (direita). No centro cortes do experimento CONTROLE. Na base diferença entre NO_GPS e CONTROLE (esquerda), NO_RAD e CONTROLE (centro) e NO_SAT e CONTROLE (direita).

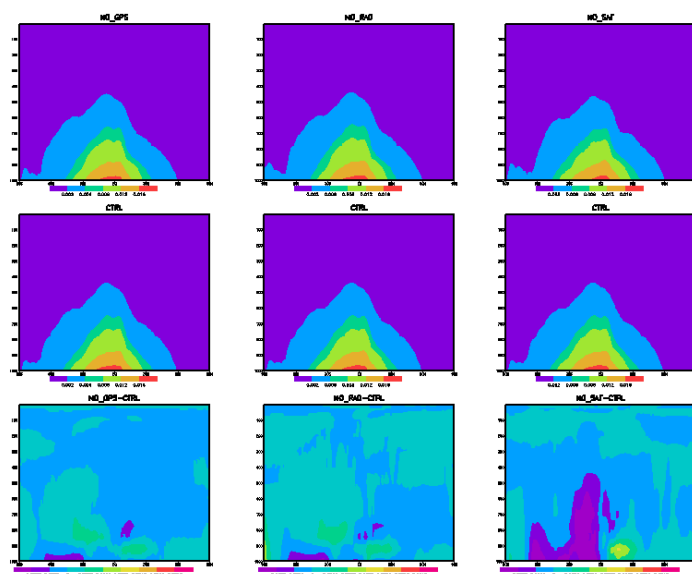


Figura 4.33 - Corte médio meridional integrado no tempo da umidade. No topo cortes dos experimentos NO_GPS (esquerda), NO_RAD (centro) e NO_SAT (direita). No centro cortes do experimento CONTROLE. Na base diferença entre NO_GPS e CONTROLE (esquerda), NO_RAD e CONTROLE (centro) e NO_SAT e CONTROLE (direita).

5 ESTUDO DE CASO

Conforme descrito na Seção 3, os experimentos foram avaliados em um caso de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Tal sistema tem um papel preponderante no regime de chuvas na região Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Norte do País. Esse sistema apresenta altos índices pluviométricos durante os meses em que está ativa, normalmente ocorrendo em meses de verão. Em Janeiro de 2013 foram observados três períodos distintos de ocorrência da ZCAS. Para o presente trabalho foi escolhido o caso que compreende o período entre 10 de janeiro a 15 de janeiro de 2013.

5.1 Análise sinótica de 10 a 15 de janeiro de 2013

Baseado nas cartas sinóticas e boletins técnicos do Grupo de Previsão de Tempo do CPTEC/INPE, observou-se que no dia 10 de Janeiro houve a configuração da ZCAS, com a presença de um Vórtice Ciclônico (VCAN) e da Alta da Bolívia (AB), no segundo dia houve a manutenção desses sistemas, bem como no terceiro dia. O VCAN perdurou até o quarto dia, onde mais uma vez a ZCAS se manteve ativa, perdurando até dia 15, onde passou a ser apenas uma zona de convergência de umidade, se mantendo mais ao norte da sua posição usual.

Na Figura 5.1 são apresentadas imagens do satélite GOES 10 para os dias (a) 10, (b) 11, (c) 12, (d) 13, (e) 14 e (f) 15 de janeiro de 2013. Nessas imagens é possível observar o posicionamento do sistema em questão, nota-se sua configuração noroeste-sudeste (NO-SE) com a nebulosidade associada, e ainda observa-se nuvens com desenvolvimento vertical mais intenso na zona de atuação da ZCAS.

Na Figura 5.2 são apresentadas as cartas sinóticas para os dias (a) 10, (b) 11, (c) 12, (d) 13, (e) 14 e (f) 15 de janeiro de 2013 para o nível de 250hPa. No dia 10, se observa a presença da Alta da Bolívia (AB), próxima da sua posição climatológica e o VCAN centrado sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral do NE brasileiro. A circulação combinada desses sistemas provoca forte difluência no escoamento, provocando assim divergência de massa neste mesmo nível e a conseqüente convergência nas camadas mais baixas da troposfera, favorecendo e intensificando a convecção notada nas imagens de satélite. No segundo e terceiro dia nota-se a circulação semelhante ao dia 10, ainda com a presença do VCAN e da AB, mantendo o padrão de difluência em altos níveis dando assim suporte para a ZCAS. No dia 13 o VCAN começa a se desintensificar e continua centrado sobre o Oceano Atlântico, enquanto que a Alta da Bolívia se mantém ainda próxima de sua posição climatológica. Mesmo assim o

padrão de difluência é mantido, colaborando portanto para a manutenção da ZCAS. No dia 14 a AB se encontra a oeste de sua posição climatológica. No último dia (15 de janeiro) o Vórtice Ciclônico se desconfigurou, originando um cavado, este encontra-se afastado do continente e a AB também encontra-se mais afastada (sudeste) de sua posição climatológica. Ainda há algum sinal de difluência em altos níveis, porém o padrão de ZCAS foi desconfigurado.

Na Figura 5.3, são mostradas cartas de Superfície para os dias de estudo, em (a) dia 10, (b) dia 11, (c) dia 12, (d) dia 13, (e) dia 14 e (f) dia 15. No primeiro dia aparece a ZCAS estabelecida devido aos padrões de altos níveis e devido ao avanço de um sistema frontal para o sudeste. Essa ZCAS se estende desde a divisa de MT e PA até o sudoeste do Atlântico, organizando uma densa faixa de nebulosidade (vista na imagem de satélite) com indícios de precipitação intensa principalmente na região Centro-Oeste do Brasil, Bolívia e Paraguai. No segundo dia, em superfície, a ZCAS permanece atuante desde o MT até o sudoeste do Atlântico, passando por GO, SP, MG e parte do RJ. Acoplada a ela ainda se encontra o sistema frontal observado no oceano no dia anterior, agora estacionário, além de uma área de baixa pressão relativa na costa do RJ. Durante o terceiro dia a ZCAS permaneceu atuante se estendendo desde a divisa entre MT e AM até o sudoeste do Atlântico, porém mais deslocada para norte em relação ao dia anterior, passando por GO, MG, RJ e parte do ES. Acoplado a ZCAS encontra-se um área de baixa pressão, bem configurada por ser reflexo da circulação de altos níveis. No quarto dia, a ZCAS se estendeu desde a divisa entre AM, PA e MT até o sudoeste do Atlântico, passando por GO, MG, RJ e parte de SP, apresentando ainda o sistema de baixa pressão sobre o Oceano visto no dia anterior. Durante o quinto dia a ZCAS ainda está ativa se estendendo desde o MT até o sudoeste do Atlântico passando por GO, SP, RJ e partes de MS e MG. No último dia, ela passou a ser classificada como ZCOU por já ter perdido algumas das suas características.

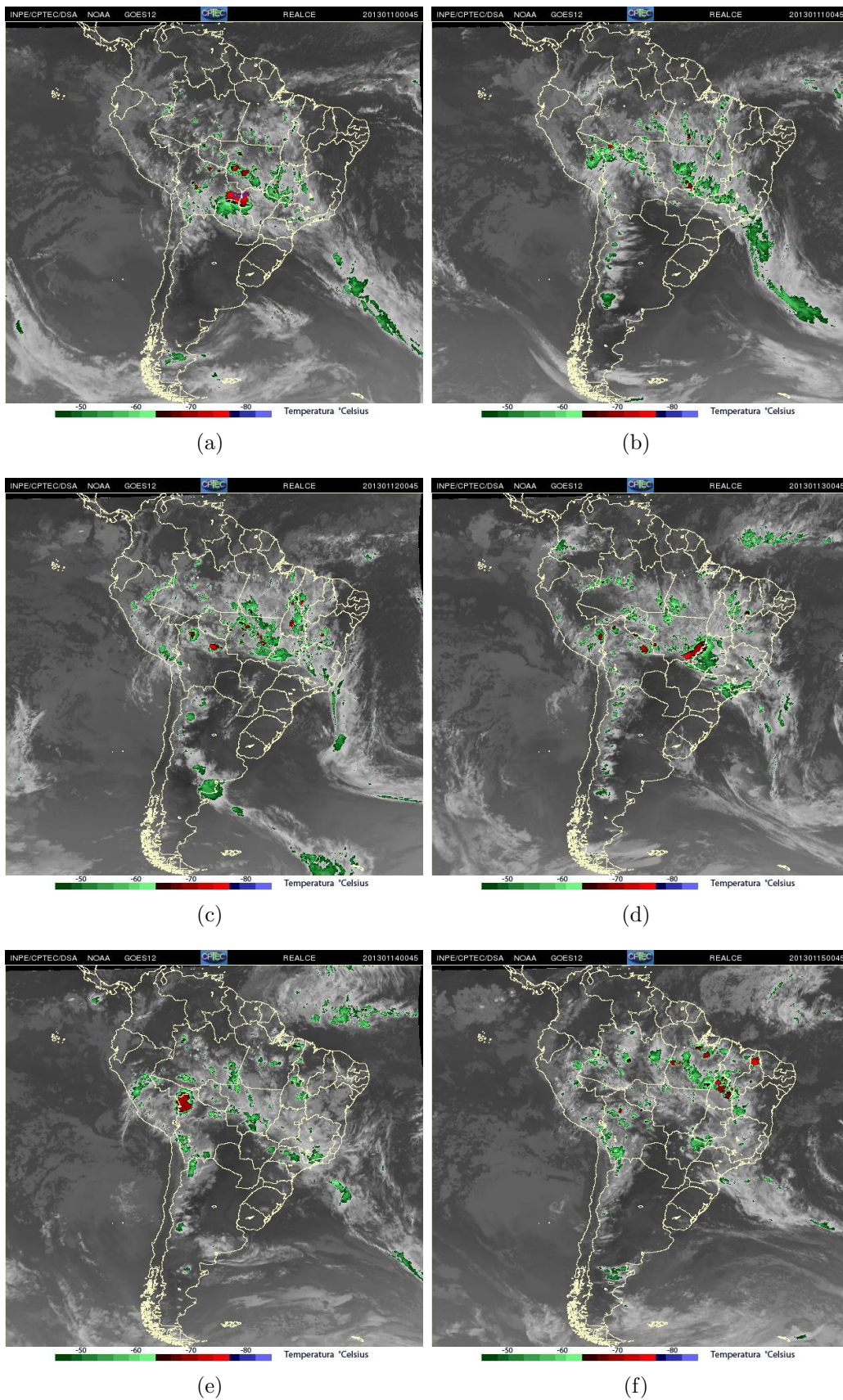


Figura 5.1 - Imagem do Satélite GOES 10 para os dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013.

Fonte: GPT/CPTEC/INPE 69

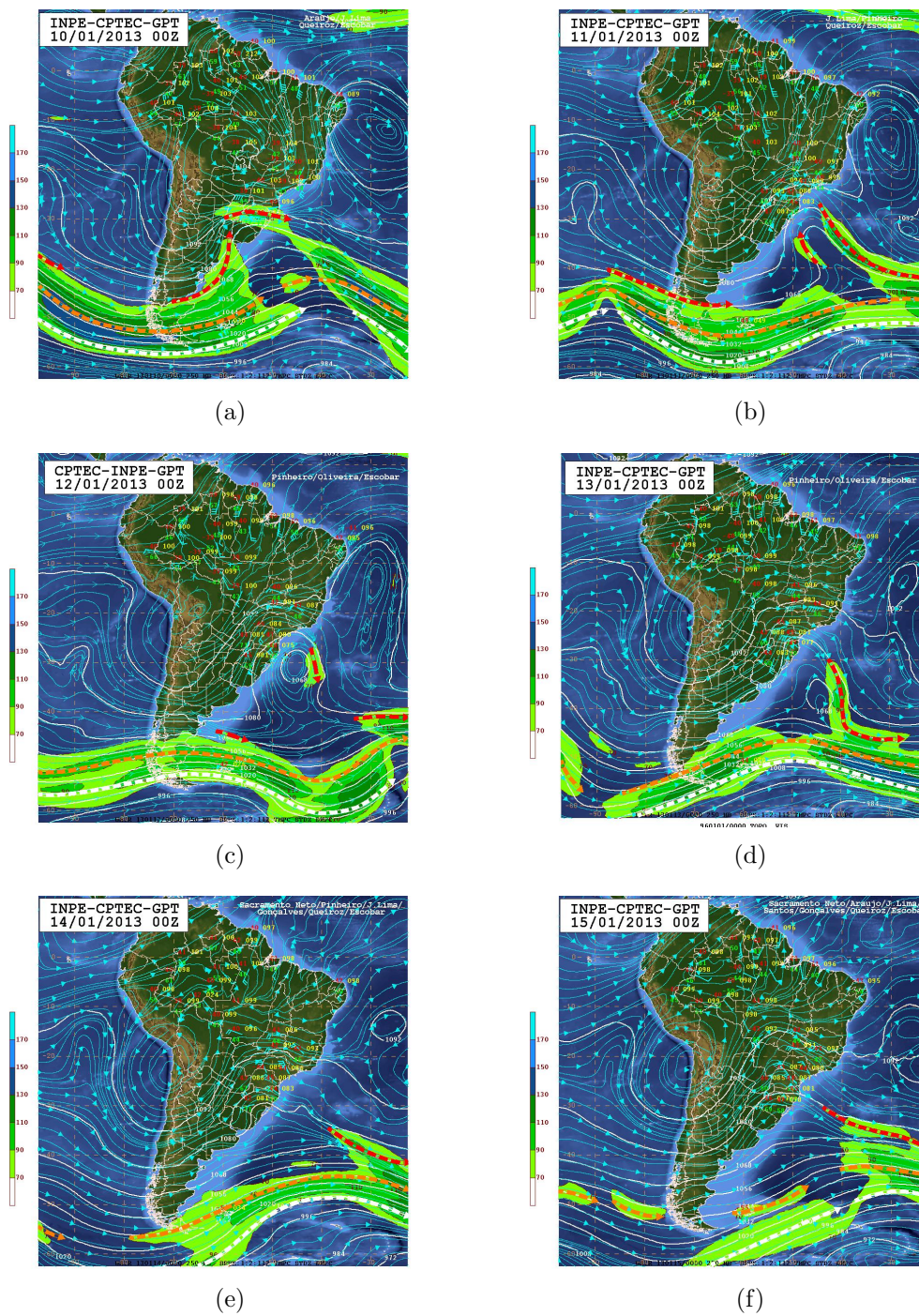
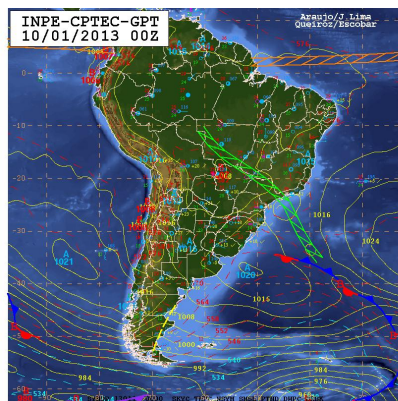
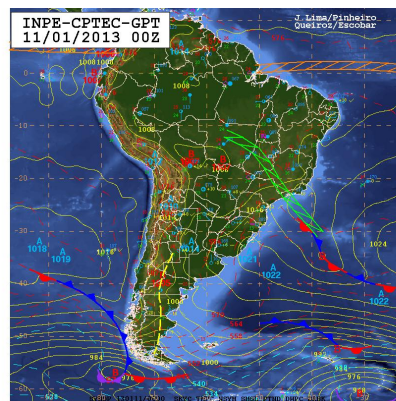


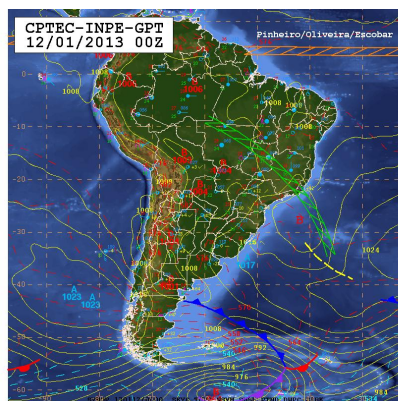
Figura 5.2 - Cartas sinóticas para o nível de 250hPa, nos dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013. Fonte: GPT/CPTEC/INPE



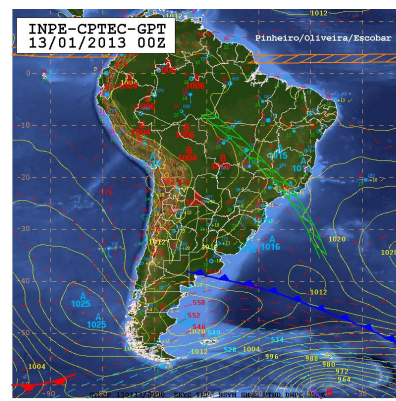
(a)



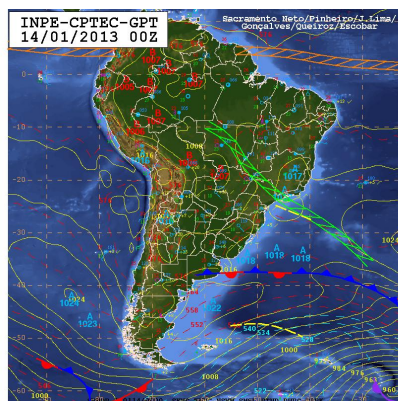
(b)



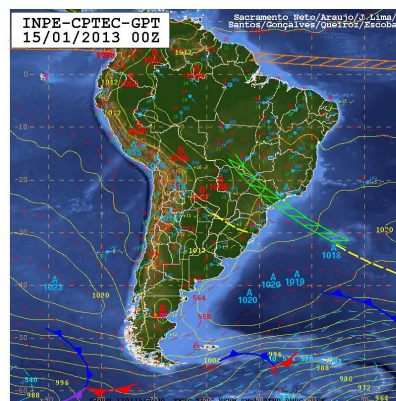
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.3 - Cartas sinóticas de superfície para os dias (a) 10/01/2013, (b) 11/01/2013, (c) 12/01/2013, (d) 13/01/2013, (e) 14/01/2013 e (f) 15/01/2013.

Fonte: GPT/CPTEC/INPE

5.2 Avaliação das análises

Para esta avaliação, conforme mencionado no capítulo anterior, foi escolhida uma localidade, seguindo a metodologia proposta por [Herdies et al. \(2002\)](#), sobre o estado de Rondônia, para analisar a ocorrência da ZCAS em janeiro de 2013. Tal localidade foi escolhido devido às sondagens apresentarem um determinado comportamento conforme a ocorrência ou não de ZCAS. De acordo com a Figura 5.4. é possível notar que no experimento CONTROLE (a), há uma inversão na componente do vento zonal em 850hPa a partir do dia 11 de janeiro, esses ventos de oeste se mantêm até aproximadamente dia 18 de janeiro. Já para o experimento NO_SAT (b) essa inversão ocorre no dia 10 de janeiro e os ventos de oeste permanecem até dia 20 de janeiro. O experimento NO_RAD (c) a inversão dos ventos ocorrem entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2013 e perduram até aproximadamente dia 14, invertendo novamente dia 16 e se mantendo de oeste até dia 18 de janeiro. Para o experimento NO_GPS (d) a inversão ocorreu no dia 11 de janeiro e se manteve até dia 18. O experimento CONTROLE caracterizou bem a situação de ZCAS de acordo com o critério proposto e com o simulado durante o mês, com o vento de componente oeste nos períodos mais ativos do fenômeno. Ainda, nota-se que ao retirarmos dados de radiossondas do sistema, utilizando a metodologia proposta, configura-se a ZCAS, porém apresenta uma quebra neste sistema e depois se configura novamente. Quando comparados os experimentos de negação de dados com o CONTROLE, pode-se dizer que ao retirarmos dados de satélites o período da ZCAS se mantêm o mesmo, já ao retirar dados de radiossonda, houve um impacto maior.

Quando observamos a série temporal da componente zonal do vento dos experimentos de acréscimo de dados (mostrados na Figura 5.5) nota-se que quando não se assimila nenhum tipo de dado o perfil observado se mantêm muito diferente quando se compara com o experimento CONTROLE mostrado anteriormente (Figura 5.4.a). Ao adicionarmos dados ao sistema de assimilação pode-se notar uma melhora nas análises, tornando os primeiros 10 dias do mês de janeiro com ventos de leste. Para o experimento SAT (b), é possível notar a inversão dos ventos em 850hPa próximo ao dia 11 de janeiro e se mantendo de oeste até o dia 17, configurando assim, o período de ZCAS. Quando se assimilam apenas dados de radiossonda (c) os ventos de oeste começam no dia 8 de janeiro e se estendem até o dia 27 de janeiro, configurando para esse período condições para a existência de ZCAS, o que não concorda com o período definido da ZCAS estudada. Quando assimilados apenas dados de GPS (d) o período fica reduzido do dia 11 ao dia 14 de janeiro. No experimento RG (e) os ventos de oeste ocorrem de 10 de janeiro ao dia 20. Para o experimento

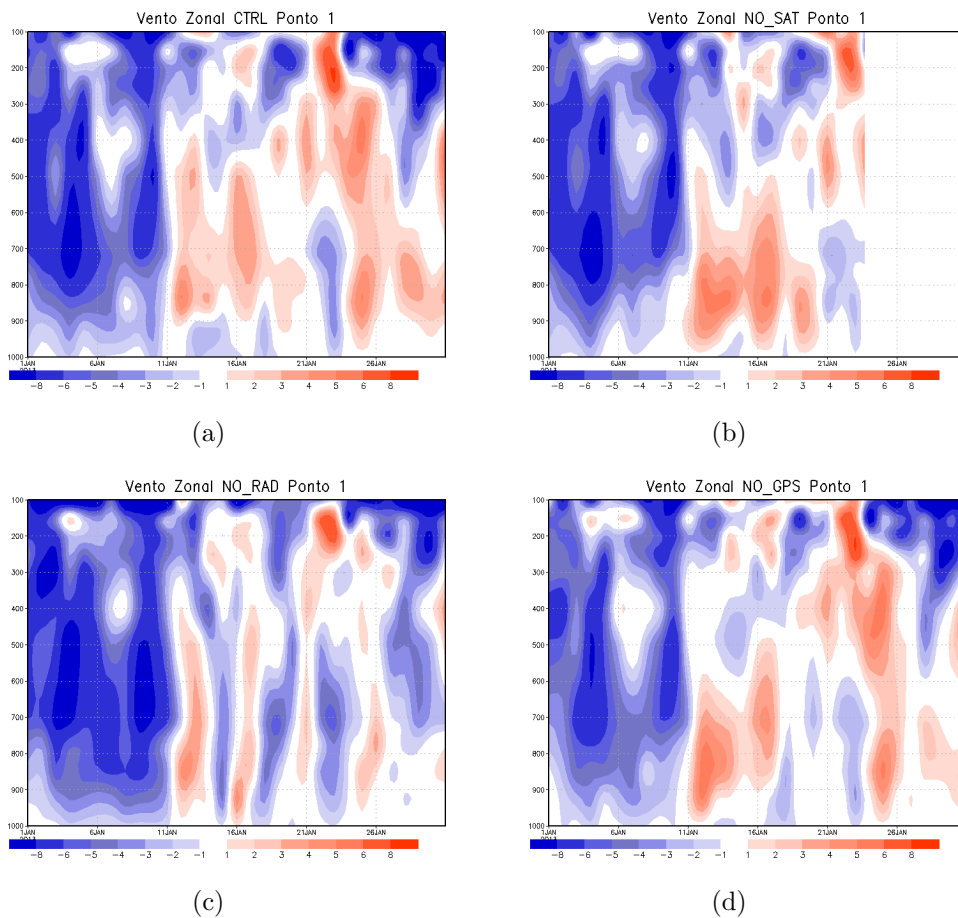
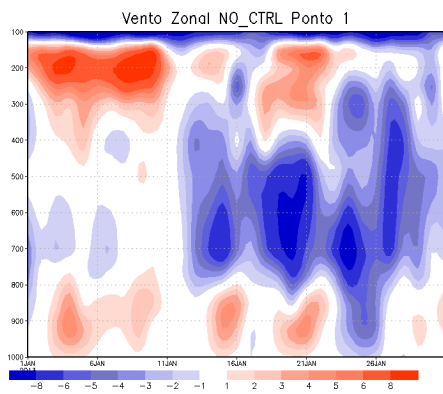


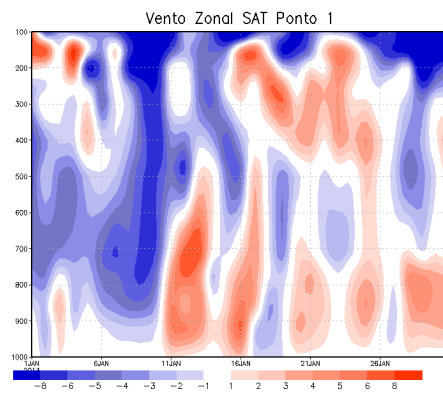
Figura 5.4 - Série temporal da componente zonal do vento na Localidade ($10,77^{\circ}\text{S}$, $62,33^{\circ}$) de acordo com as análises dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_SAT, (c) NO_RAD e (d) NO_GPS.

assimilando apenas GPS e radiâncias (f) se observam dois pequenos períodos, o primeiro de 11 a 14 de janeiro, e um segundo de 15 a 20 de janeiro. O experimento RS (g) apresenta uma inversão dos ventos no dia 10, se mantendo de oeste até dia 20 de janeiro. Por fim, o experimento SRG (h), o qual se mostrou mais próximo ao CONTROLE mostrado anteriormente. Na Tabela 5.1, é mostrado um resumo das direções dos ventos em 850hPa para cada experimento para todo o mês de janeiro de 2013. O retângulo representa o período em que a ZCAS esteve ativa, de acordo com o GPT/CPTEC/INPE. As caixas cinza claro são os dias em que há a inversão dos ventos para que haja a configuração da ZCAS, já as caixas em cinza escuro representam o final do período da ZCAS, onde os ventos invertem novamente, e por fim as caixas em tons intermediários mostram o período em que, de acordo com essa metodologia, ela esteve ativa. Caixas onde tem asteriscos significam que não houveram análises nesses dias. Nota-se que para o período de estudo da ZCAS os

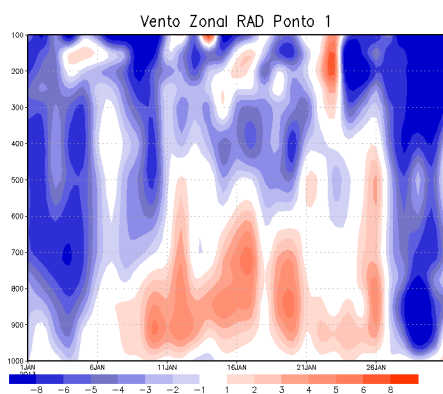
experimentos que mostraram ventos de oeste em todo o período foram o RAD e SRG, sendo que esses apresentaram um período maior desse sistema. Assimilando apenas radiossondas a inversão dos ventos ocorreu dias antes do esperado e inverteu novamente próximo ao final do mês, mostrando assim um período muito maior que o período em que a ZCAS esteve ativa. Outros experimentos, como NO_SAT, NO_GPS, RG, RS e SAT apresentaram ventos de oeste nesse período, porém com alguns dias em que não foram muito intensos. Os experimentos que mostraram uma pior configuração foram NO_RAD, GPS e GS. Isso mostra uma dependência grande por parte dos dados de radiossonda.



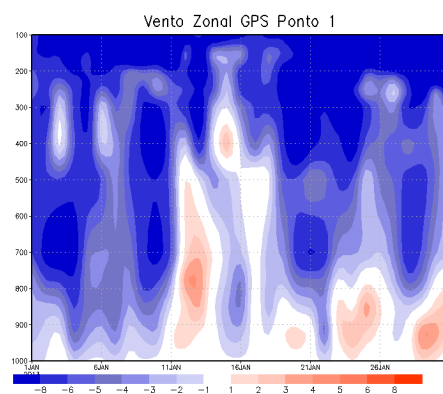
(a)



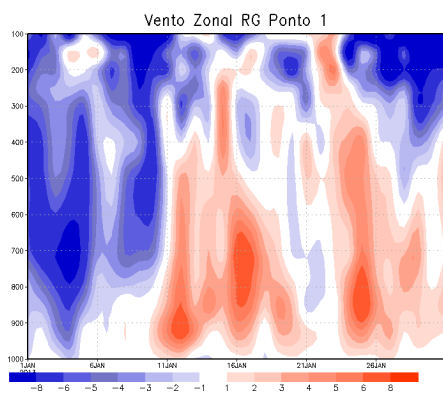
(b)



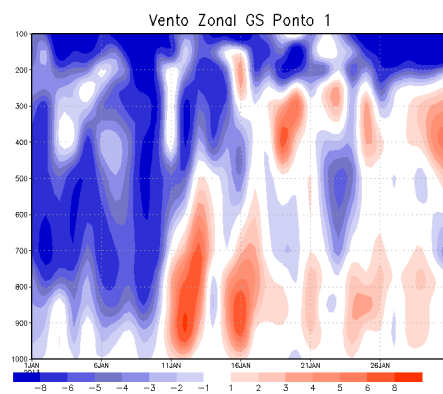
(c)



(d)



(e)



(f)

Continua

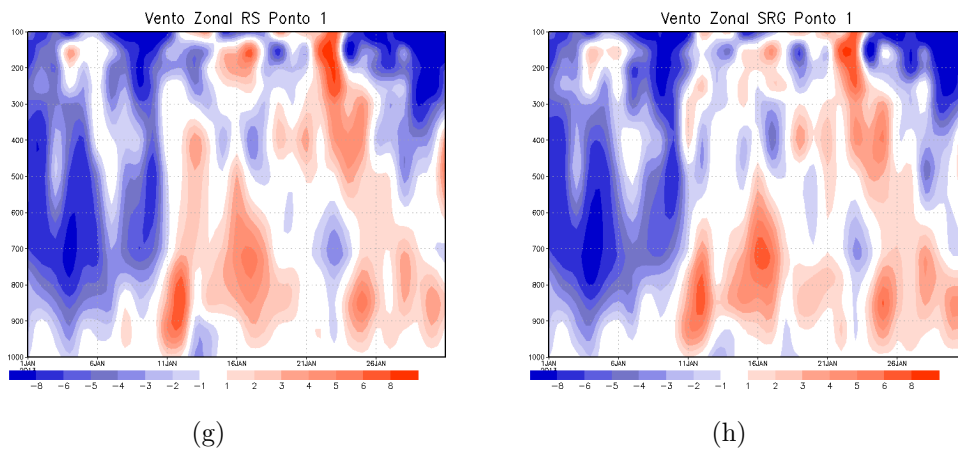


Figura 5.5 - Série temporal da componente zonal do vento na Localidade ($10,77^{\circ}\text{S}$, $62,33^{\circ}$) de acordo com as análises dos experimentos: (a) controle (sem dados), (b) SAT, (c) RAD, (d) GPS, (e) RG, (f) GS, (g) RS e (h) SRG.

Tabela 5.1 - Configuração do vento zonal em 850hPa.

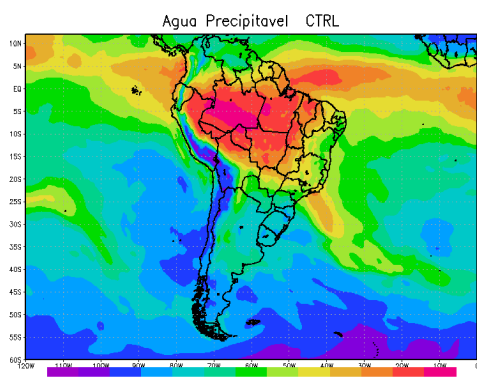
DIAS	CTRL	NO_SAT	NO_RAD	NO_GPS	NO_CTRL	SAT	RAD	GPS	RG	GS	RS	SRG
01	←	←	←		←	←	←	←	←	←	←	←
02	←	←	←	←		←	←	←	←	←	←	←
03	←	←	←	←	→	→	←	←	←		←	←
04	←	←	←	←	→	←	←	←	←	←	←	←
05	←	←	←	←	→	←	←	←	←	←	←	←
06	←	←	←	←	→	←	←	←	←	←	←	←
07	←	←	←	←	→	←	←	←	←	←	←	←
08	←	←	←	←	→	←	→	←		←		←
09	←	←	←	←	→	←	→	←		←		←
10	←		←		→		→	←			→	→
11		→	←	→		→	→		→	→	→	→
12	→	→	→	→		→	→	→	→	→	→	→
13	→	→	→	→			→	→	→	→	→	→
14	→	→	→	→	→	→	→	→	→	←		→
15		→	←	→	→	→	→	←	→	→	→	→
16	→	→	→	→	→	→	→	←	→	→	→	→
17	→	→	→	→	→	→	→		→	→	→	→
18			←	←				←	→	→	→	
19	→	→	←				→		→	→	→	→
20		→			→	→	→		→		→	→

(Continua)

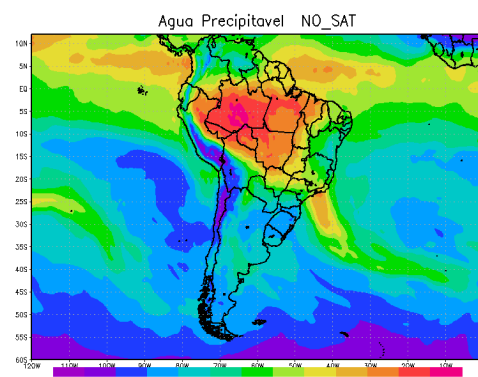
Tabela 5.1 - Configuração do vento zonal em 850hPa.

DIAS	CTRL	NO_SAT	NO_RAD	NO_GPS	NO_CTRL	SAT	RAD	GPS	RG	GS	RS	SRG
21	←	←	→		→	→	→		←	→		→
22	←	←	←	←	→	→	→	←	←	←		→
23	←	←	←	←			→	→		→	←	
24	→	*	←	→	←	→	→	→	→	→	→	→
25	→	*		→	←	→	→	→	→	→	→	→
26	→	*	→	→	←	→	→	→	→	→	→	→
27		*				←			→			→
28	→	*		→		→	←	←	→	→	→	→
29	→	*		→		→	←	→	→	→	→	→
30	→	*		→		→	←	→	→		→	→
31	→	*	→	→	→	→	←	→	→		→	→

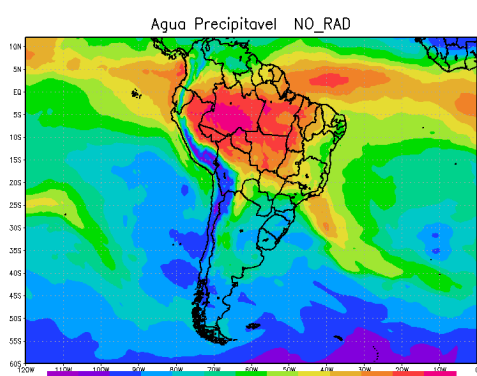
Nas figuras a seguir são mostrados campos médios para o período em que a ZCAS esteve ativa (10 a 15 de janeiro) para todos os experimentos. Na Figura 5.6 são apresentados os campos médios de água precipitável. É possível observar que nos experimentos de negação de dados (a, b, c e d) todos mantêm um conteúdo de água precipitável maior na região onde a ZCAS atuou, porém, nota-se que ao retirar dados de satélite houve uma diminuição do valor dessa variável, principalmente sobre região Norte e Nordeste do Brasil, região de atuação da Zona de Convergência Intertropical e sobre oeste dos Andes sobre o Oceano Pacífico. Ao observar os experimentos de acréscimo de dados (e, f, g, h, i, j, l e m) foi possível observar que os dados de satélite mais uma vez se mostraram importantes, podendo-se notar que nos experimentos nos quais esses dados foram utilizados o conteúdo de água precipitável apresentou uma configuração mais condizente com a região de atuação do sistema, apresentando poucas diferenças entre o CONTROLE e o SRG. O experimento apenas utilizando dados de GPS e radiossonda, se mostrou mais seco nas mesmas regiões onde o experimento NO_SAT também. Já no experimento NO_CTRL, onde não foi assimilado nenhum dado, ele mantém uma região de água precipitável maior na região da ZCAS, porém muito seco. Isso é esperado, uma vez que o escoamento desse experimento já não fica bem configurado, como é possível notar nas figuras seguintes. Na Figura 5.7 são mostrados os campos médios de pressão ao nível médio do mar e vento horizontal em superfície para todos os experimentos. No experimento CONTROLE (a) é possível notar o escoamento convergindo na região onde a ZCAS atuou e ainda a Alta Subtropical do Atlântico Sul e Alta Subtropical do Pacífico Sul. Os experimentos de negação de dados se mantiveram próximos ao CONTROLE, representando bem os sistemas. Dos demais experimentos, o que se aproximou ao CONTROLE foram novamente aqueles onde os dados de satélites estiveram presentes, porém o RS e GS intensificam a ASAS. Os outros experimentos intensificaram as altas pressões e tanto para o RAD quanto para o GPS já houve alteração no escoamento. Quando se observa o experimento NO_CTRL nota-se além de uma desintensificação nas baixas pressões uma pequena alteração na posição dos sistemas de alta pressão. Sobre o escoamento, nota-se uma convergência dos ventos sobre norte da Argentina e Paraguai, não tendo assim suporte para a ocorrência de ZCAS. Em médios níveis (500hPa), possível de observar na Figura 5.8 linhas de corrente e Omega, apresentam um escoamento e áreas de levantamento similares nos experimentos de negação de dados e CONTROLE. Já para o experimento NO_CTRL o escoamento passa a ser mais linear e abaixo de 35°S e não possui áreas de Omega significativo, ou seja, não há um potencial para tal sistema ocorrer.



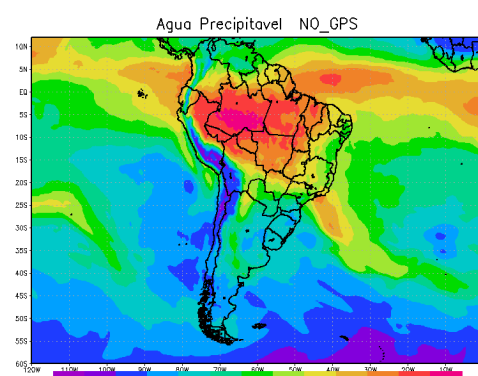
(a)



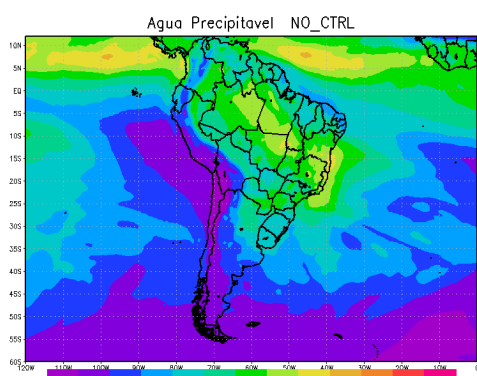
(b)



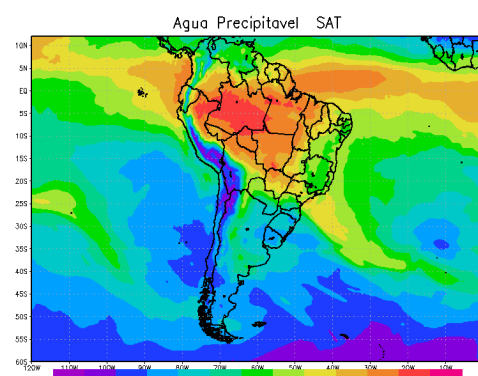
(c)



(d)

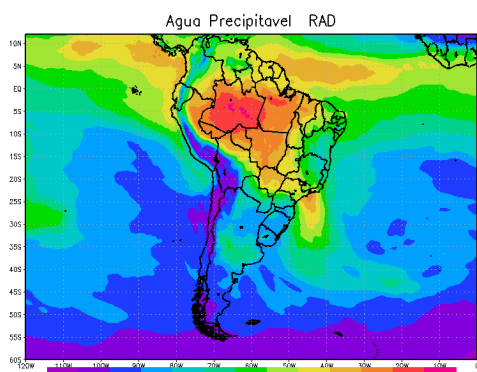


(e)

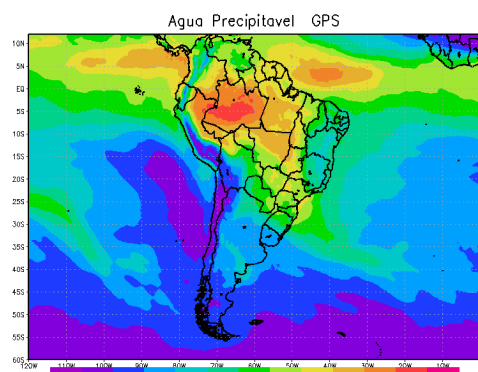


(f)

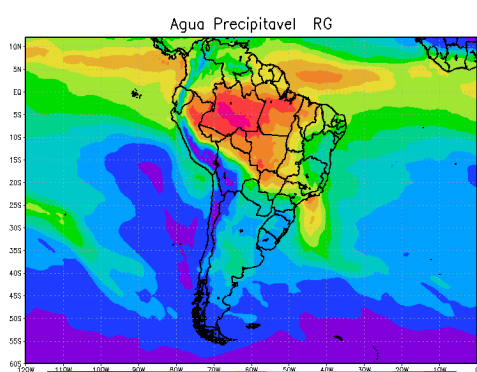
Continua



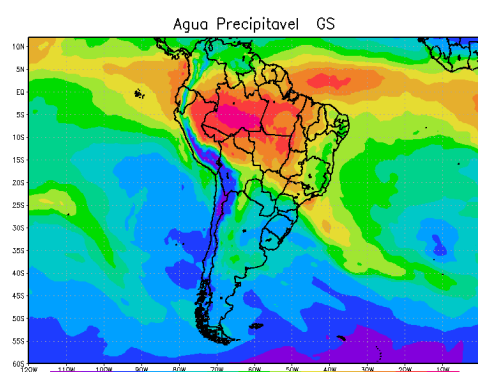
(g)



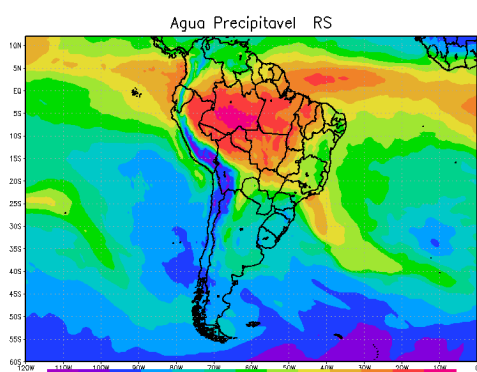
(h)



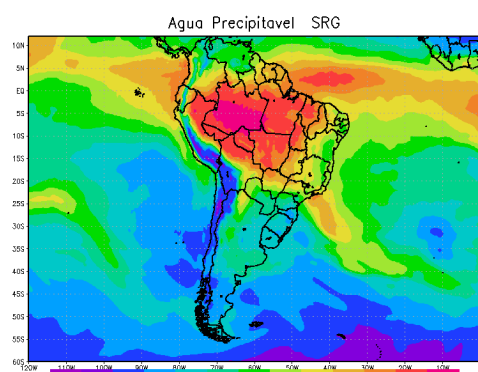
(i)



(j)

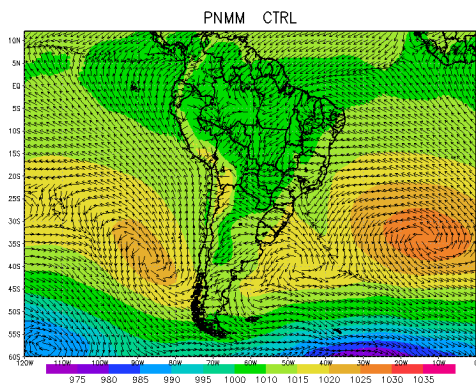


(k)

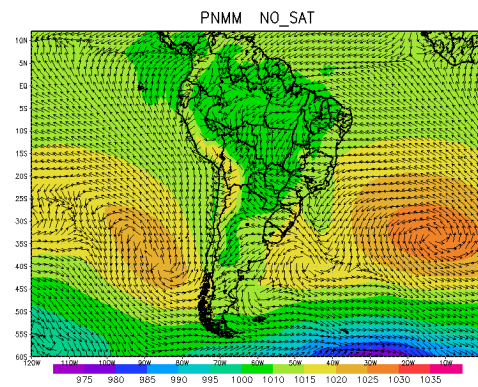


(l)

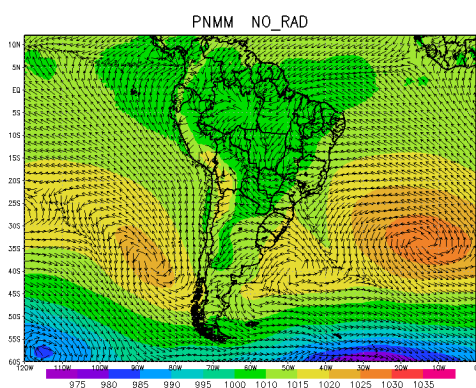
Figura 5.6 - Média do conteúdo de água precipitável para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.



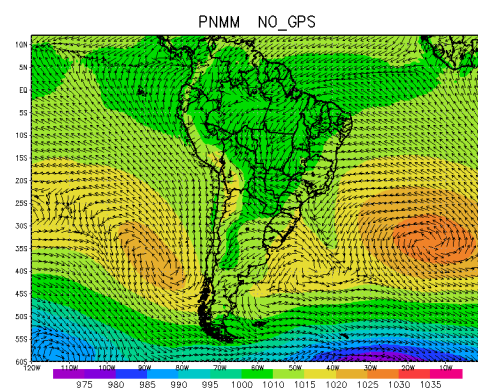
(a)



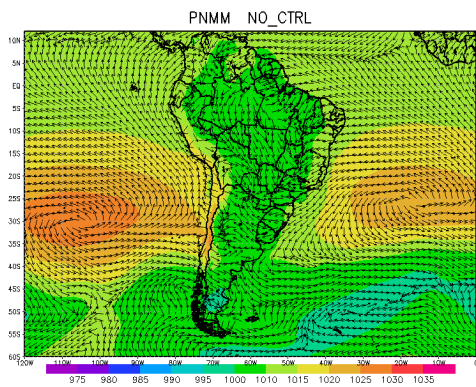
(b)



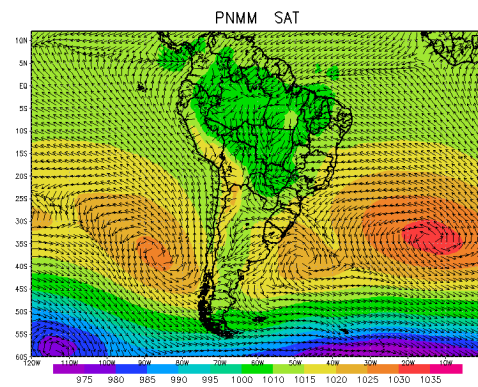
(c)



(d)



(e)



(f)

Continua

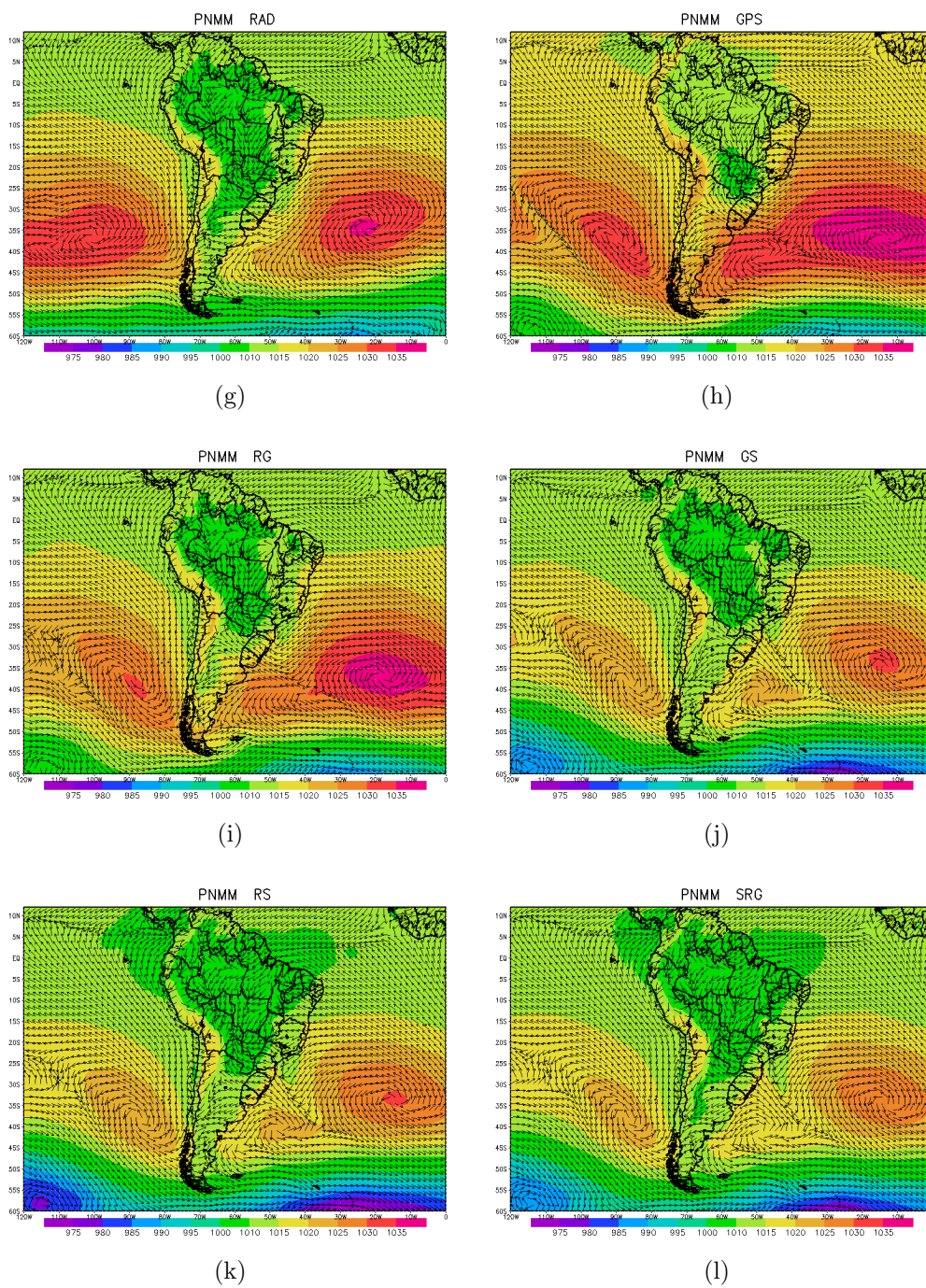
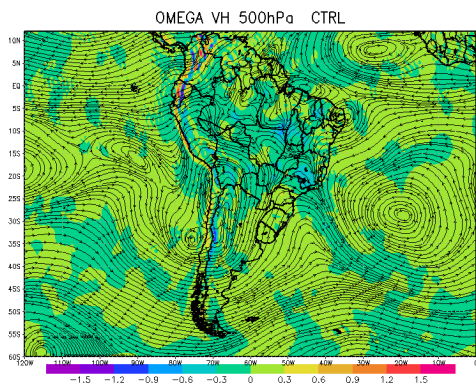
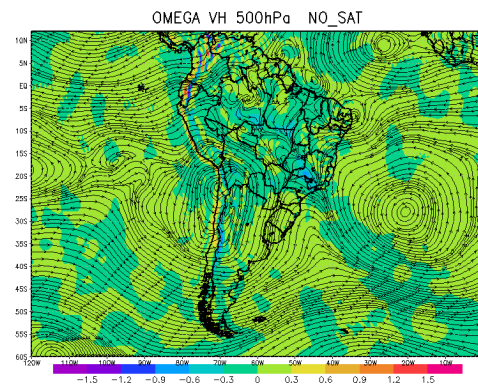


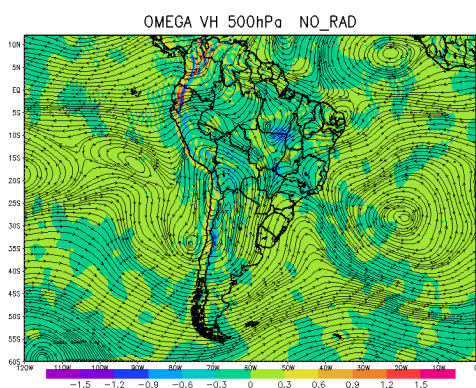
Figura 5.7 - Média da pressão ao nível médio do mar e do vento horizontal em superfície para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.



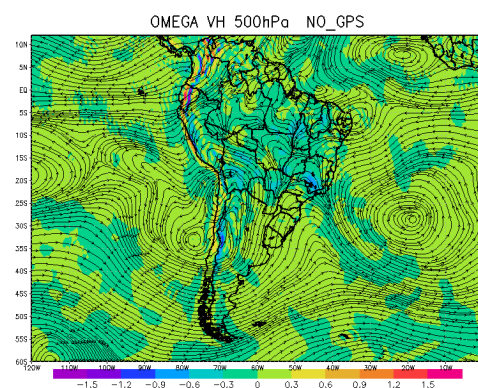
(a)



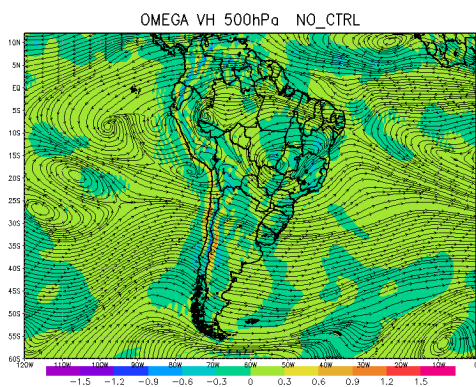
(b)



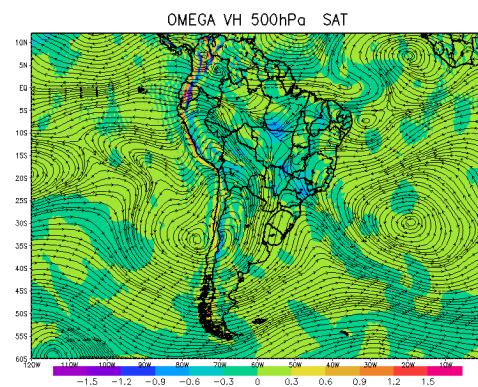
(c)



(d)



(e)



(f)

Continua

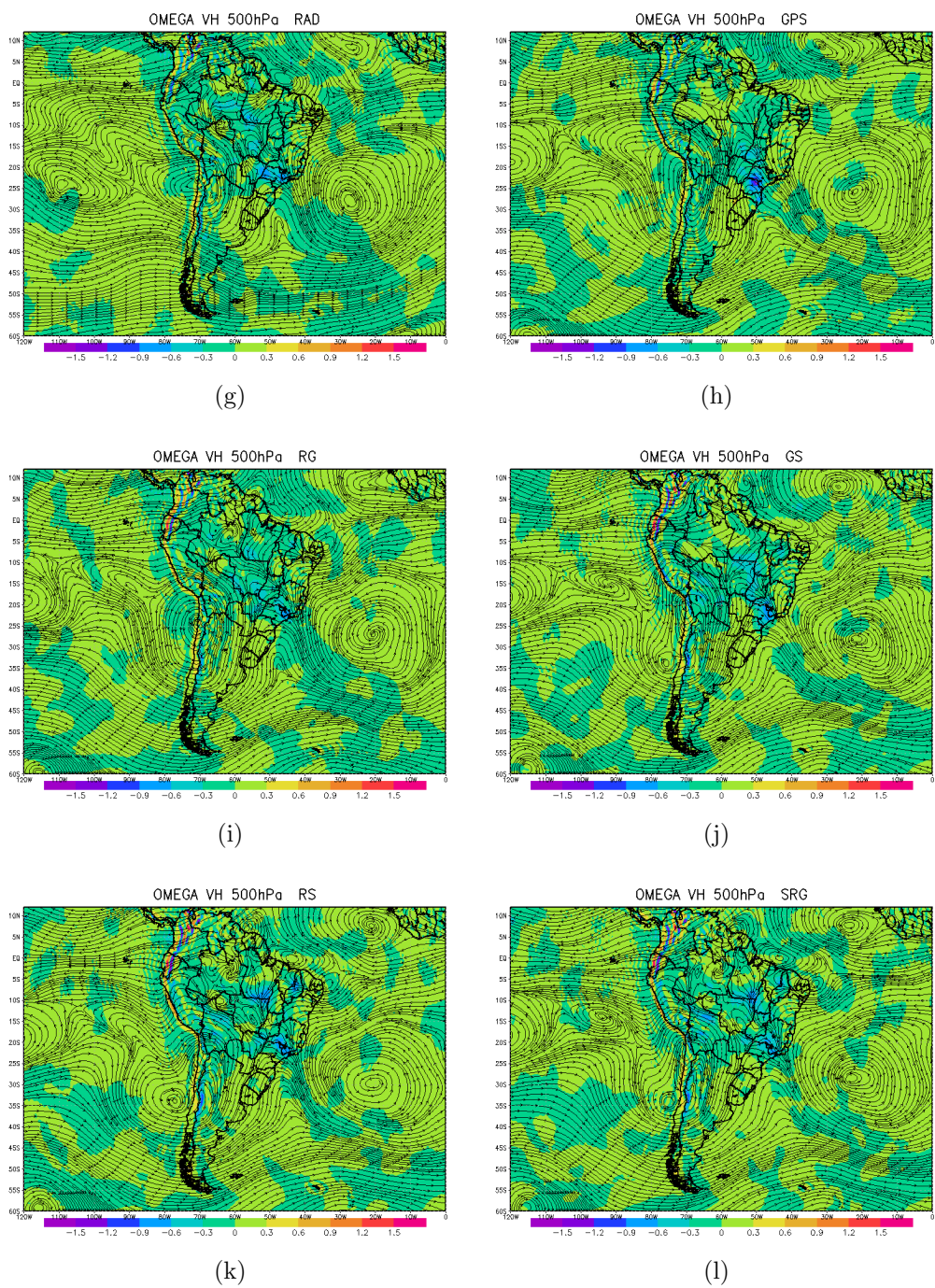
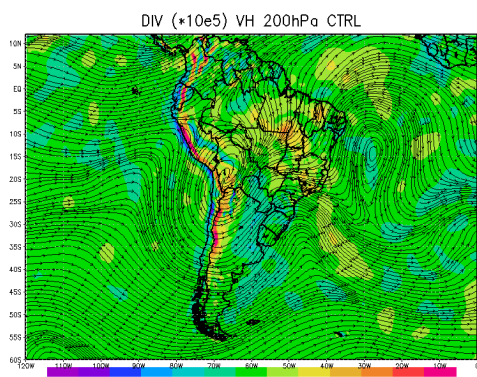
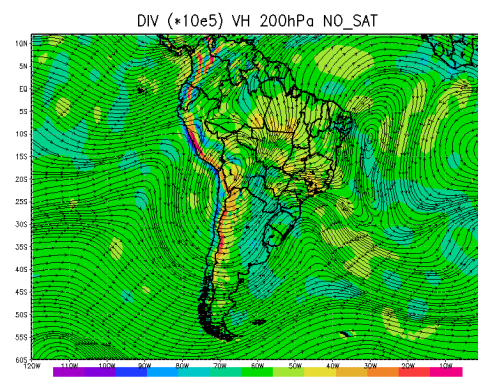


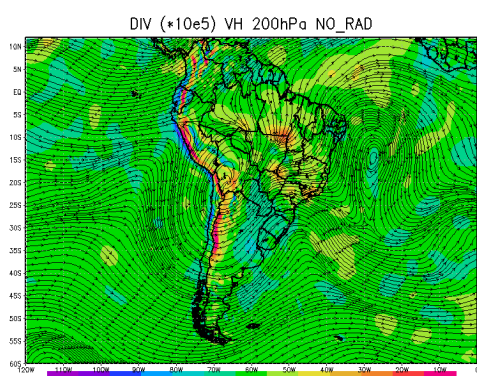
Figura 5.8 - Média do Omega e do vento horizontal em 500hPa para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.



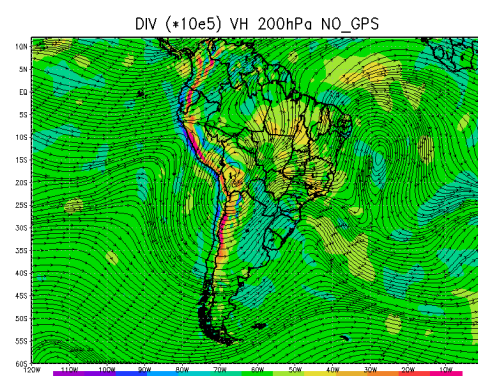
(a)



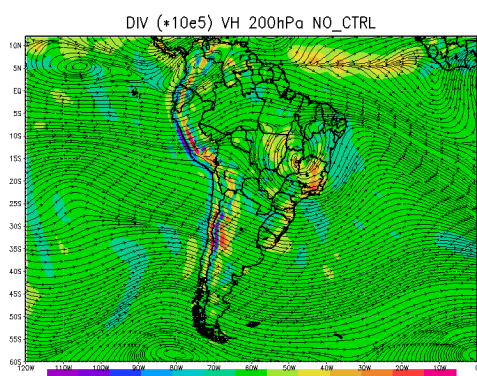
(b)



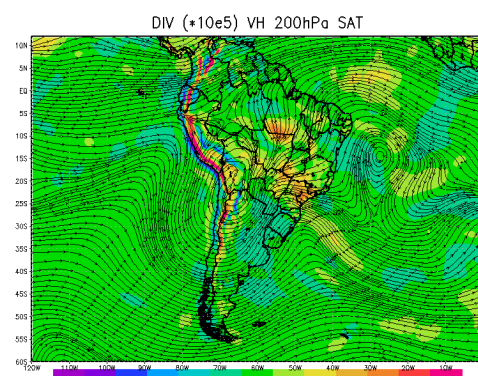
(c)



(d)



(e)



(f)

Continua

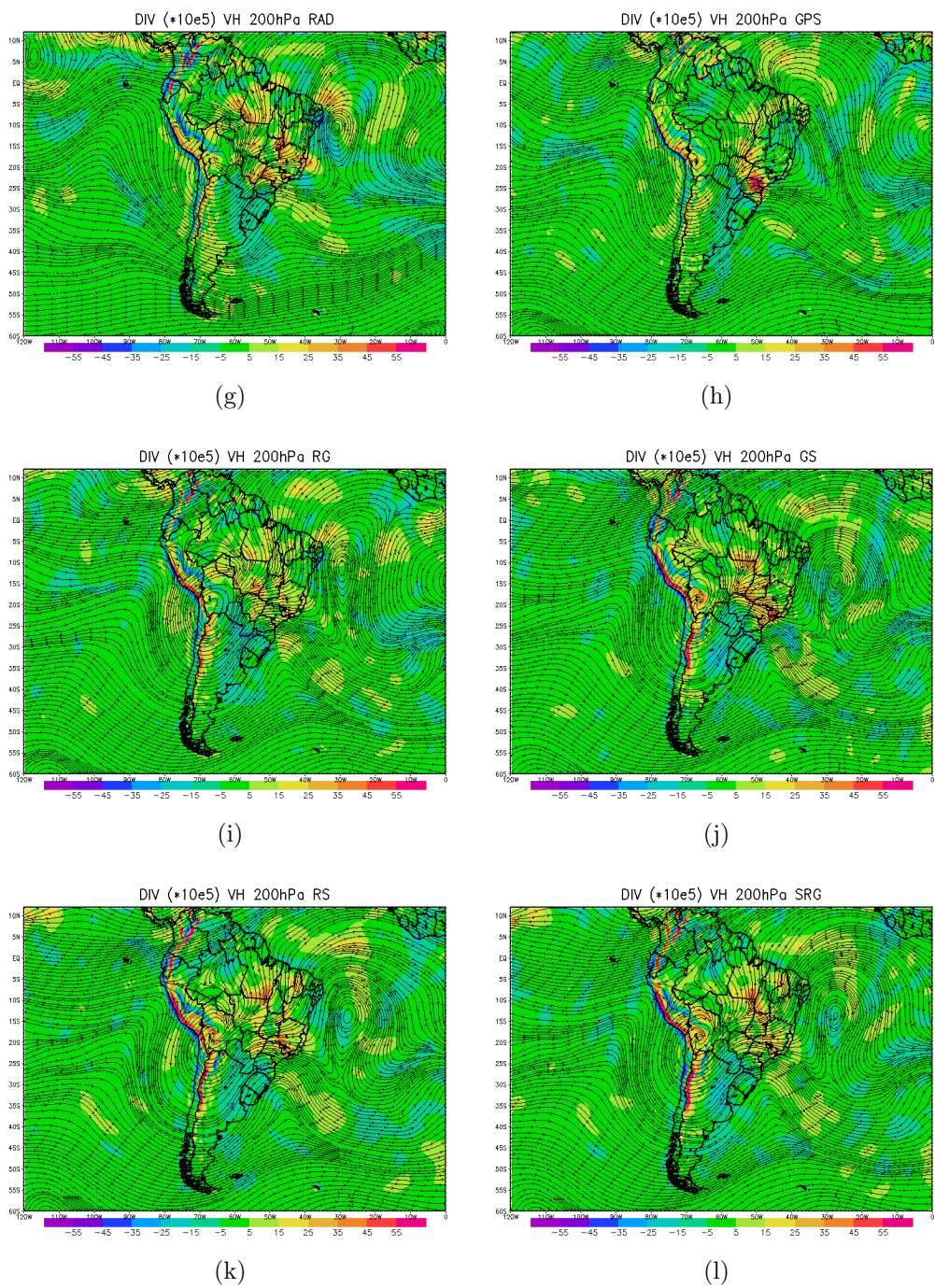


Figura 5.9 - Média da divergência e do vento horizontal em 200hPa para o período de 10 de janeiro de 2013 a 15 de janeiro de 2013 para os experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG.

5.3 Comparação análise X previsão

Sabe-se que o resultado de uma boa previsão não é apenas a soma da melhor análise com o melhor modelo numérico, mas sim, uma análise que seja mais adequada para determinado modelo. Diante disso nota-se a importância em avaliar não só as análises geradas pelos sistemas de assimilação de dados como também o resultado final quando se é integrado no tempo.

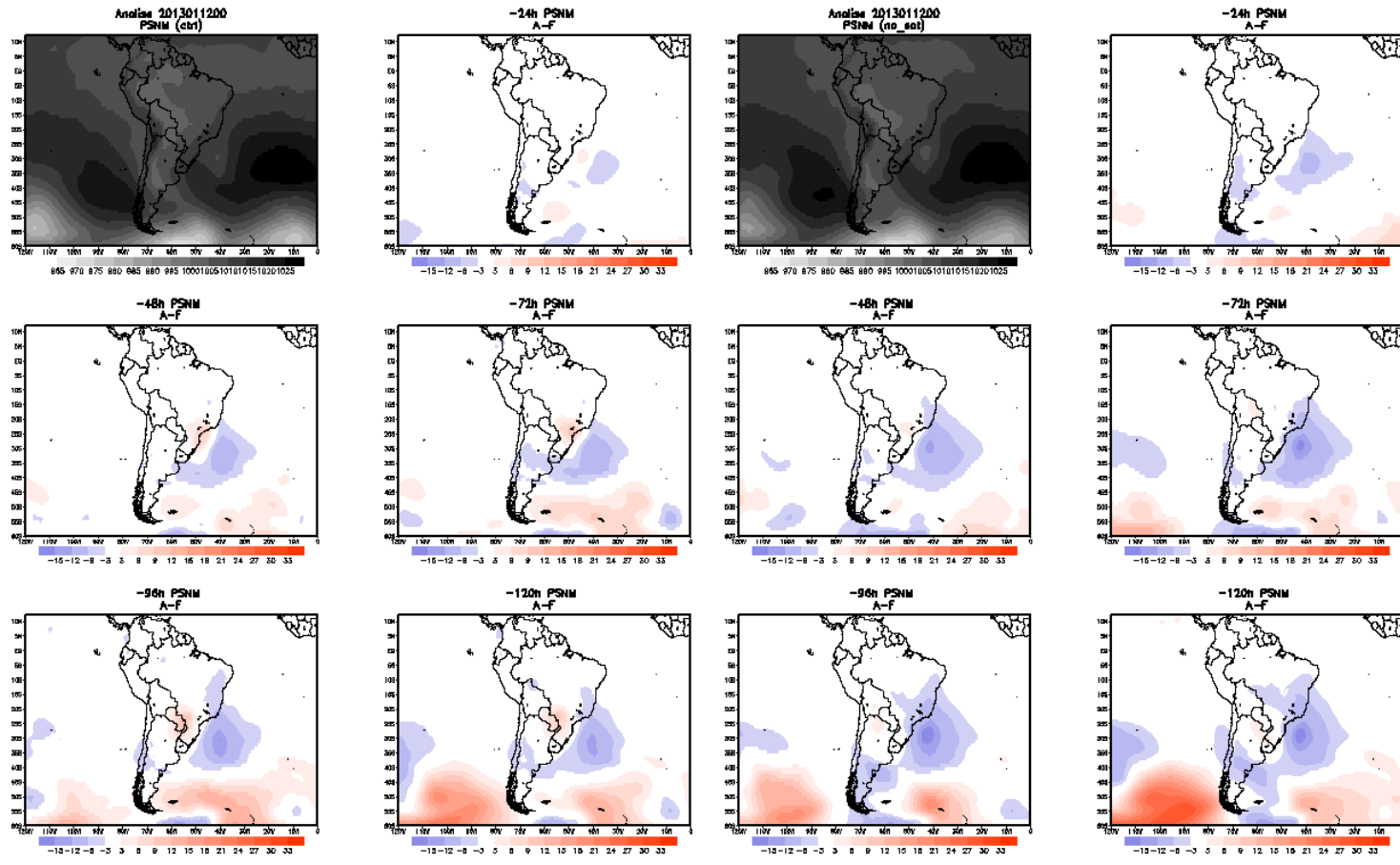
Para análise das previsões foram calculadas diferenças entre as análises e as previsões geradas por cada experimento para 24h, 48h, 72h, 96h e 120h. As figuras para todos os dias em quem as ZCAS esteve ativa não foram mostradas, apenas uma descrição mais detalhada foi feita para o dia em que ela esteve mais intensa, este dia foi dia 12 de janeiro de 2013. Para valores negativos (azul) ocorre uma superestimativa por parte do modelo com relação a análise, já para valores positivos (vermelho) ocorre uma subestimativa. Foram avaliadas pressão em superfície, temperatura e umidade relativa em 850hPa. Na Figura 5.10 estão as análises e as diferenças entre elas e suas respectivas previsões para todos os experimentos ((a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG) para a pressão em superfície do dia 12 de janeiro de 2013. Comparando os campos de análise nota-se que as análises dos experimentos de negação de dados se mantém próximas, as quatro apresentam a ASAS e a ASPS aproximadamente sobre a mesma região e com a mesma intensidade, porém ao analisar as análises geradas pelos experimentos de acréscimo de dados nota-se que aquelas as quais tiveram dados de satélites sendo assimilados mostraram um padrão mais condizente com o CONTROLE, exceto o experimento GS, onde amplificou os sistemas de alta pressão. Os experimento GPS, RAD e a combinação desses dois além de intensificarem os sistemas de alta pressão ainda aumentam a área de abrangência delas. Ao avaliar as previsões geradas, nota-se que a maioria dos experimentos apresentam núcleos pequenos de superestimativa, exceto os experimentos SAT e GS que apresentam uma pequena subestimativa. Nos demais dias de previsão, para os experimentos de negação de dados e CONTROLE, nota-se uma superestimativa por parte do modelo na região onde houve a formação de um ciclone, a leste do Rio Grande do Sul, e ainda uma subestimativa no ultimo horário na região dos cinturões de baixa. Os demais experimentos se mantém próximos, sendo o experimento RAD o que apresenta erros menores no decorrer de suas previsões. Para o experimento NO_CTRL, as diferenças começam a aparecer nas 96 horas de previsão, e estes erros sendo muito pequenos quando comparados aos outros experimentos. Uma das hipóteses para isso é que como é feita uma diferença entre análise e modelo e ape-

nas passou pelo ciclo de assimilação de dados sem assimilar dado algum, a análise tende a ser igual a previsão, porém como dentro do ciclo existem alguns erros associados, como mudança de resolução, por exemplo, isso faz com que erros pequenos comecem a aparecer. Como a escala da figura o zero está compreendido entre -3 e 3, pode ser que erros menores que esses valores estejam ocorrendo.

O campo de temperatura é mostrado na Figura 5.11. Nas análises desse campo para os experimentos no dia 12 de janeiro não mostraram muitas diferenças entre si. Com relação as previsões é possível inferir que os experimentos de negação de dados e CONTROLE apresentaram em sua grande maioria subestimativas e a pequena área de superestimativa na região do ciclone tem haver possivelmente com o mau posicionamento do sistema. Desses experimentos o que apresentou diferenças maiores foi retirando dados de satélite. Para os experimentos de acréscimo de dados, essa afirmação sobre o posicionamento vale para aqueles experimentos onde se assimilou dados de satélite, para os demais as superestimativas e subestimativas provavelmente não tenham ficado atreladas só ao posicionamento, mostrando diferenças de até 8°C já em 72 horas. Para o experimento NO_CTRL diferenças pequenas começam a aparecer com 24 horas de previsão, porém muito pequenas e localizadas, essas diferenças aumentam no decorrer das previsões, porém mesmo com 120 horas acabam sendo muito pequenas quando comparadas com qualquer outro experimento.

Na Figura 5.13 são apresentados os campos de umidade específica em 850hPa e as diferenças entre as análises e suas respectivas previsões. Ao avaliar as análises dos experimentos de negação de dados, é possível inferir que ao retirar dados de GPS e radiossonda do sistema, suas análises se mostram mais úmidas do que a do CONTROLE, já para a retirada de dados de satélite ocorre o inverso, a análise é apresentada mais seca, mostrando com isso o impacto que esses três conjuntos de observações tem na variável estudada. Quando se observa as previsões geradas por essas análises, nota-se que a que apresenta menos diferenças entre análise e previsão em 24 e 48 horas de previsão é o experimento NO_SAT, porém quando ocorre superestimativas e subestimativas, esse apresenta valores, em módulo, maiores que os do CONTROLE. A respeito dos demais experimentos é possível inferir que não assimilar dado algum compromete a análise gerada pelo sistema. Isso é possível notar na análise gerada pelo experimento NO_CTRL, onde apresenta um campo de umidade específica completamente diferente do padrão apresentado pelo CTRL, ele apresenta a região onde seria a área de atuação da ZCAS deslocada e ainda áreas sobre os oceanos com umidade específica próxima ao zero. Sobre suas previsões, como mencionado anteriormente, a diferença entre análise e previsão é esperada

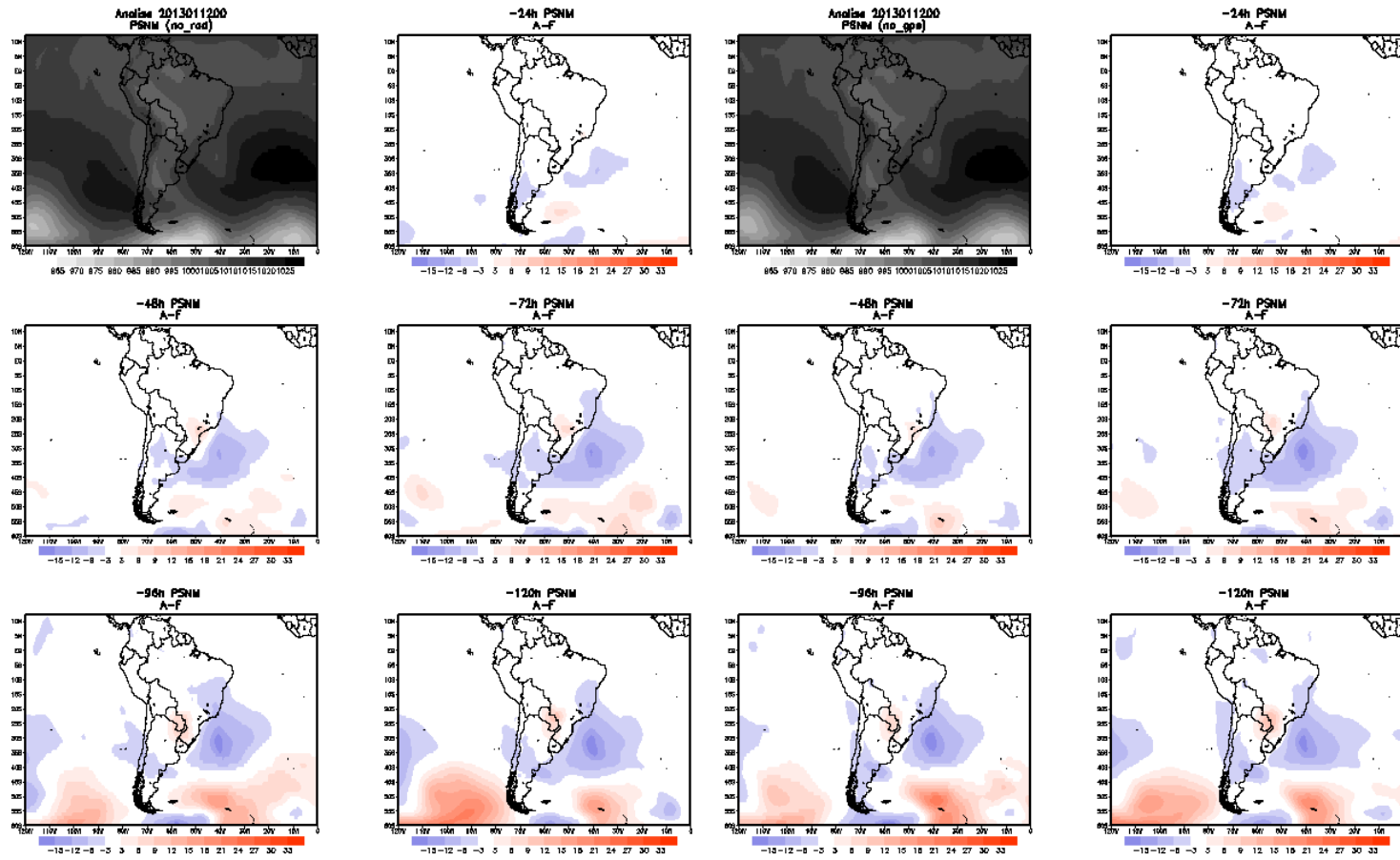
que fosse próxima do zero, e que os erros comecem a aparecer ao decorrer das horas de previsão. As análises dos outros experimentos mostram que, quando há a utilização de dados de satélites o perfil se aproxima mais do perfil visto no CTRL, enquanto que assimilar apenas GPS, radiossonda ou a combinação dos dois (RG), torna a análise mais seca que a CTRL. Isso indica mais uma vez a importância desse sistema de observação, não apenas sozinho, mas também com a sua interação com os demais. Com relação às previsões, quando ocorre assimilação de satélite, seja só ou combinado com outros sistemas, notam-se áreas maiores de subestimativa do modelo perante a análise, enquanto que nos outros experimentos as áreas com diferenças são menores, porém mais intensas em módulo. Tais resultados condizem com as análises dos campos médios de água precipitável, onde os experimentos os quais apresentaram padrões com menos água precipitável, no campo de umidade específica ficaram mais secos, já os que apresentaram mais água precipitável, tiveram mais umidade em suas análises.



(a)

(b)

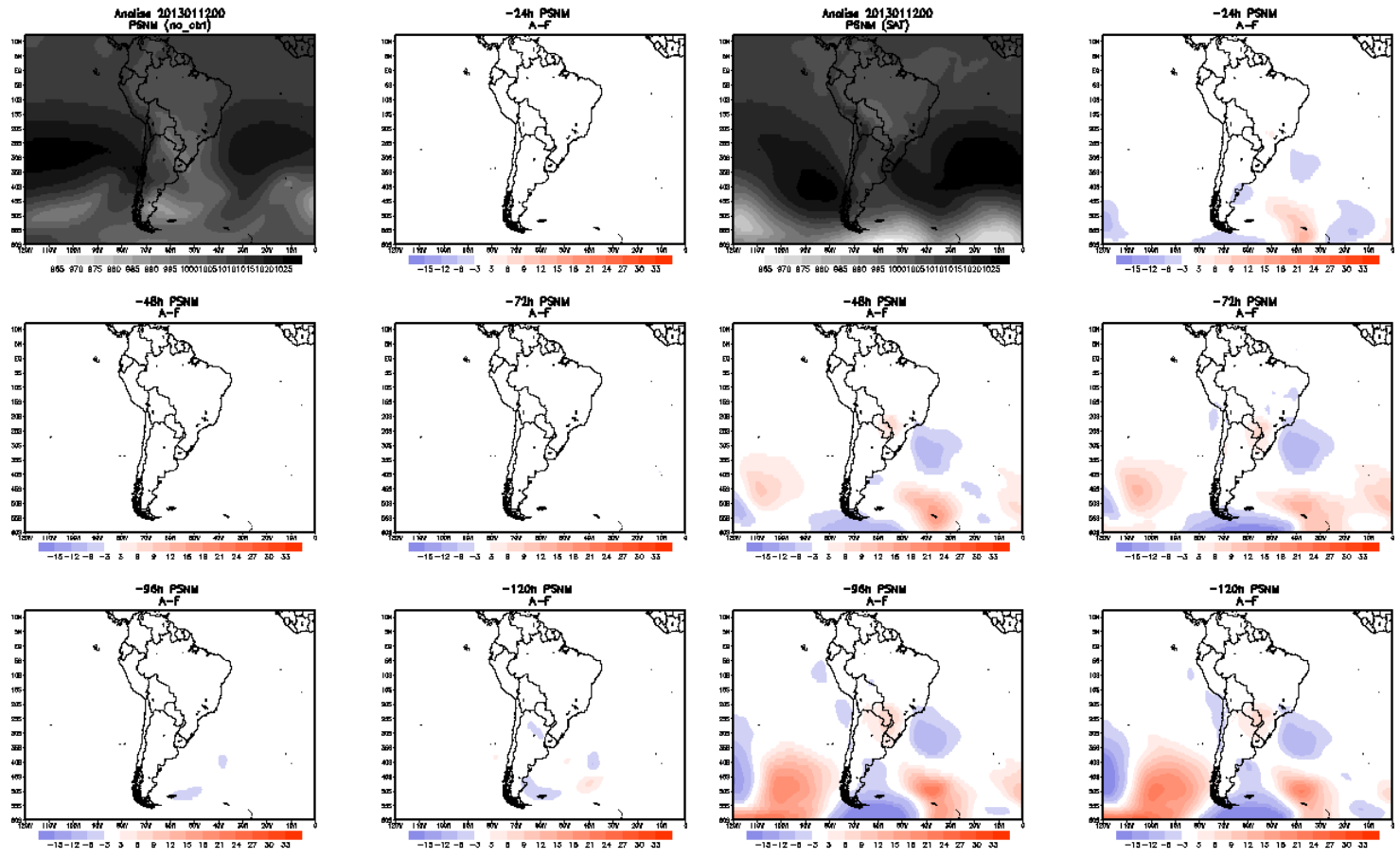
Continua



(c)

(d)

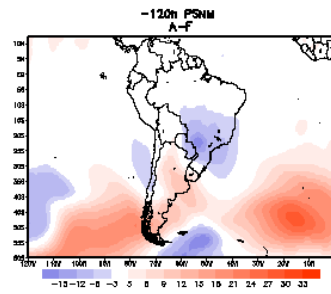
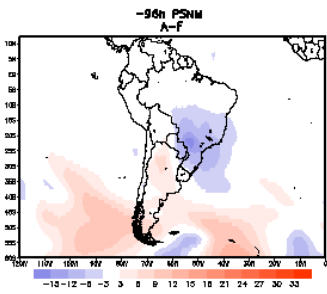
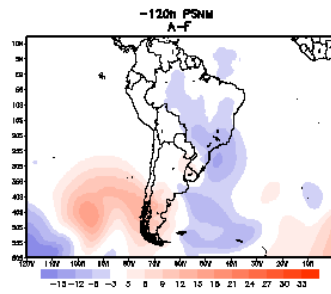
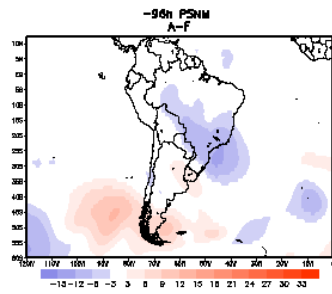
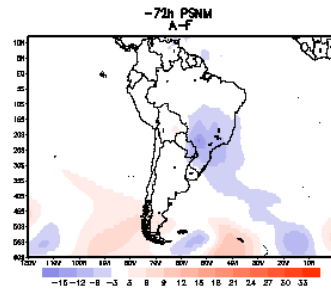
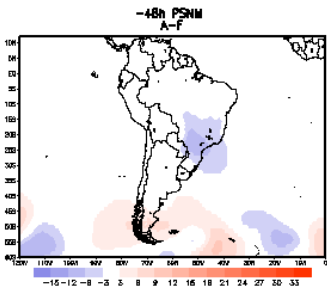
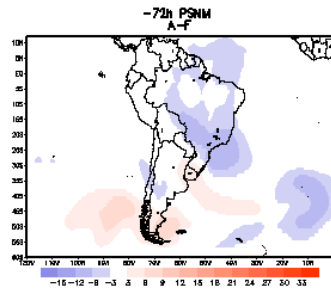
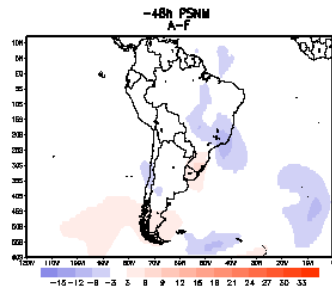
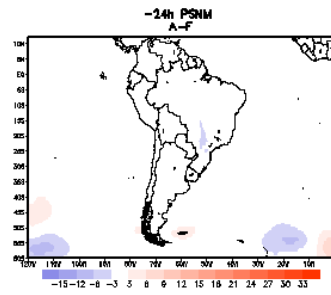
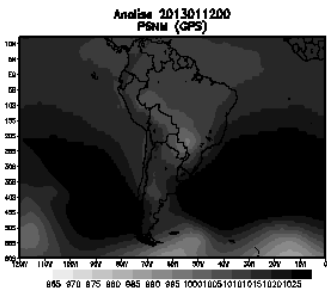
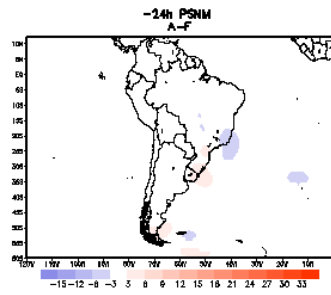
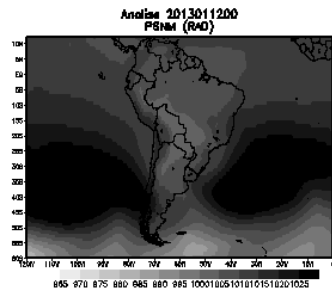
Continua



(e)

(f)

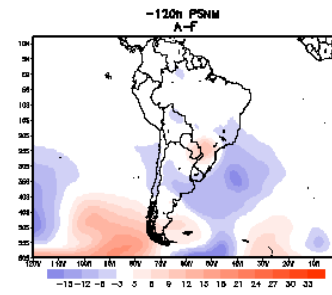
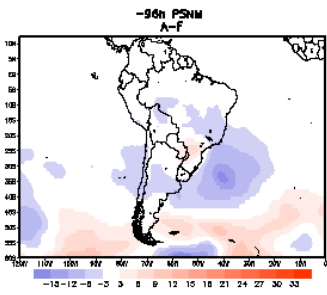
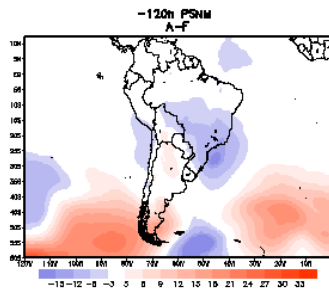
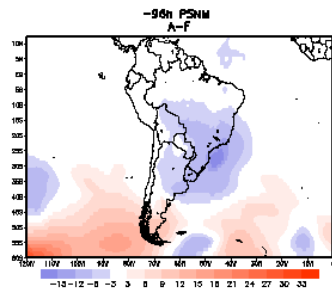
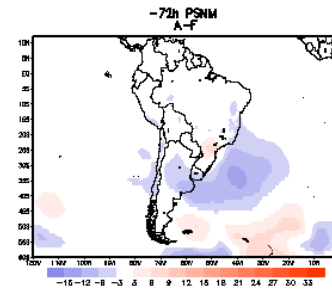
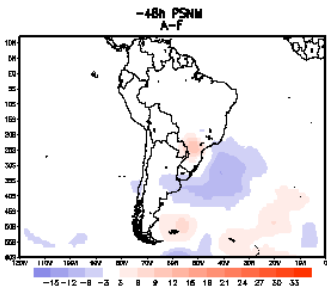
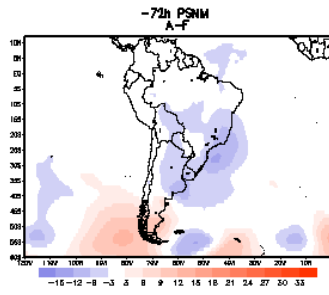
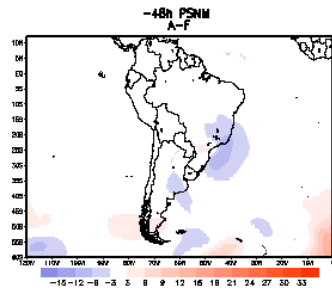
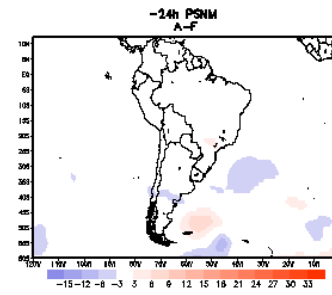
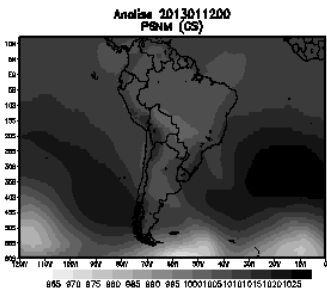
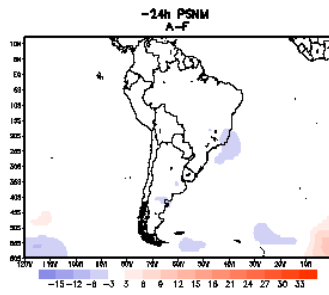
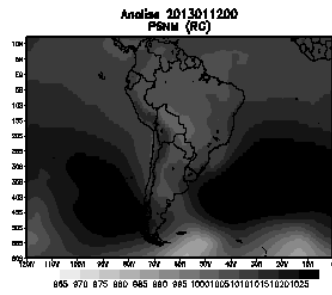
Continua



(g)

(h)

Continua



(i)

(j)

Continua

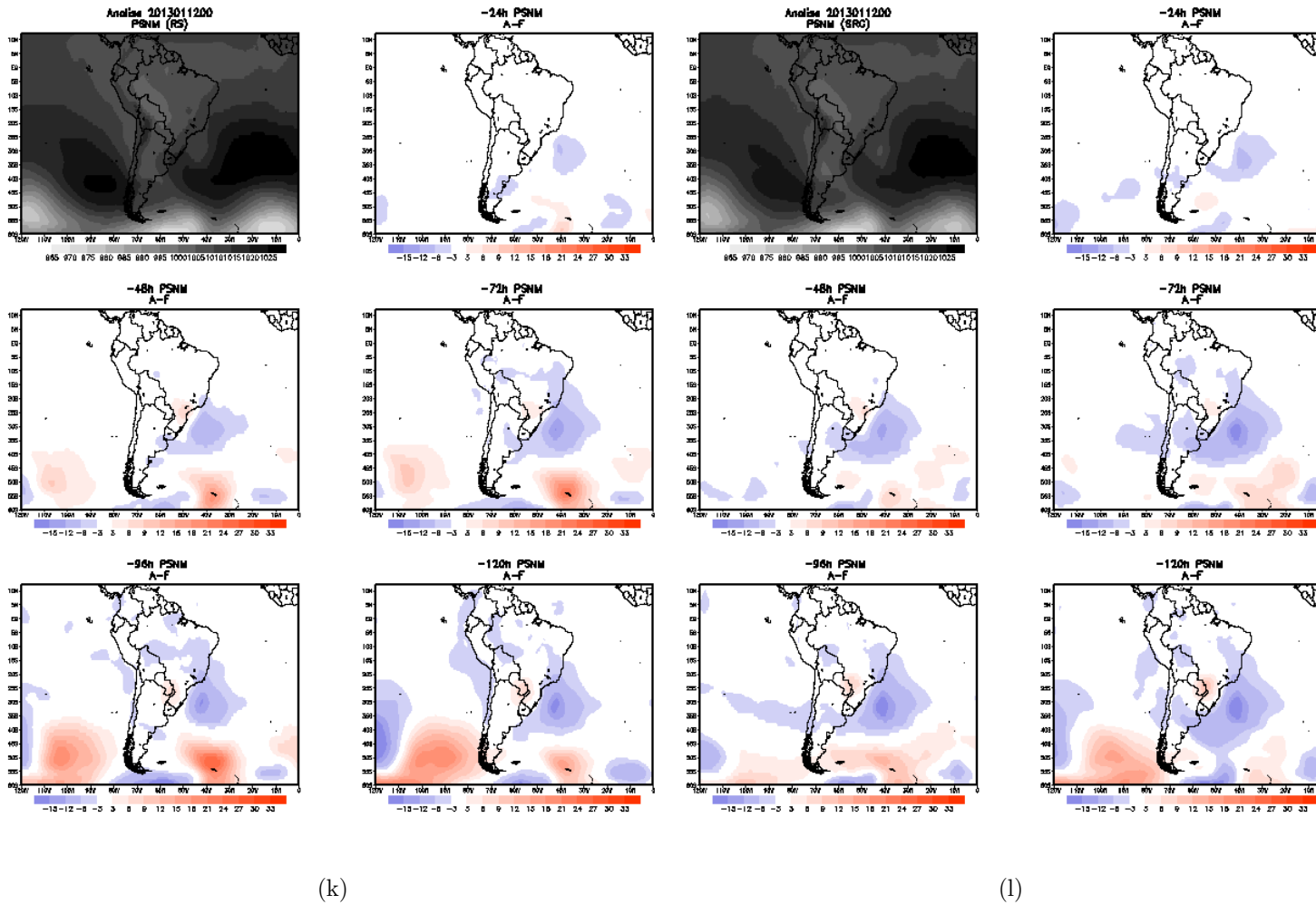
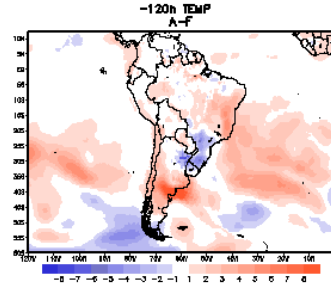
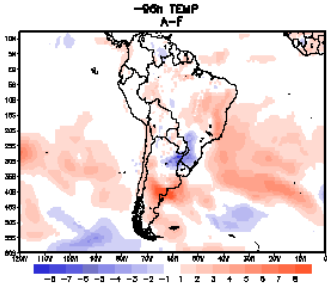
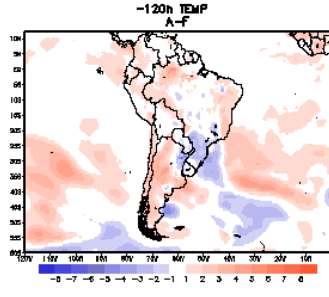
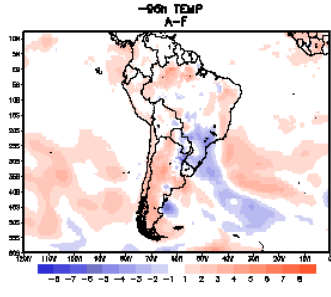
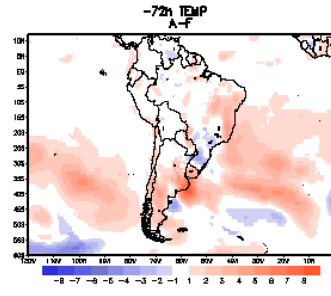
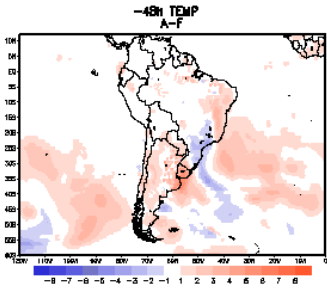
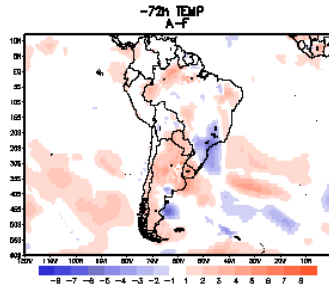
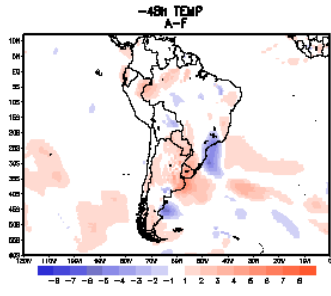
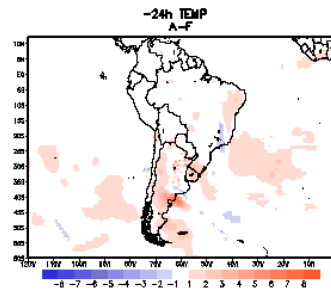
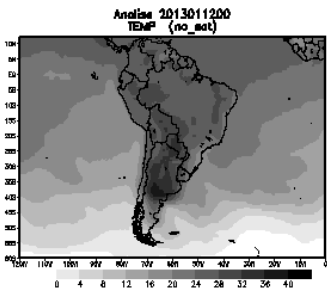
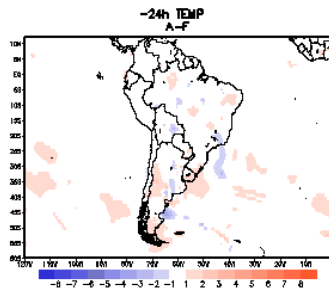
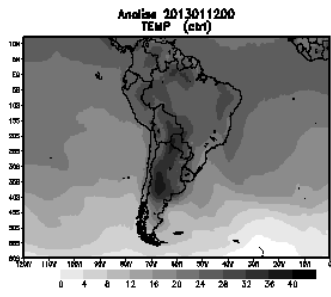


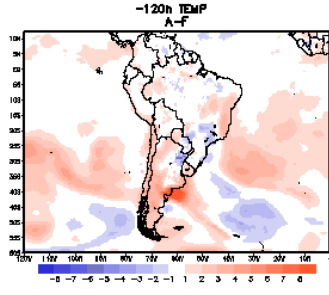
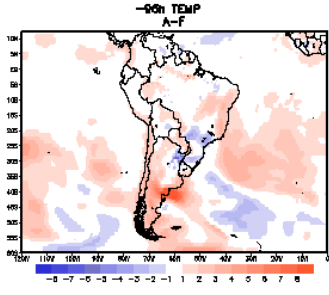
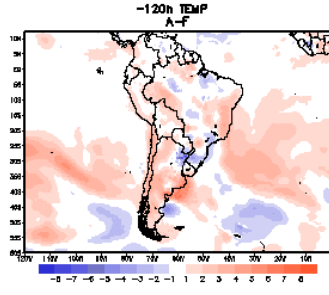
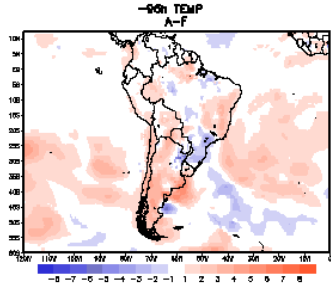
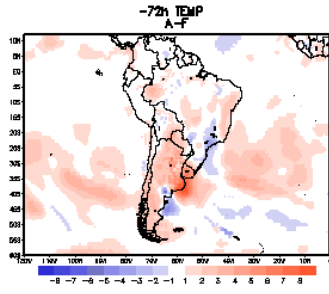
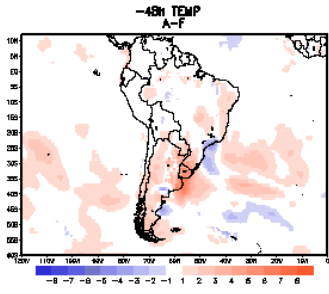
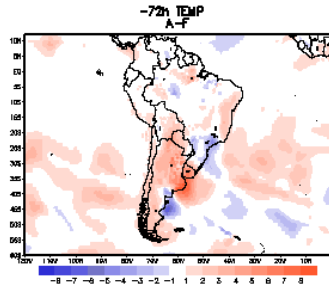
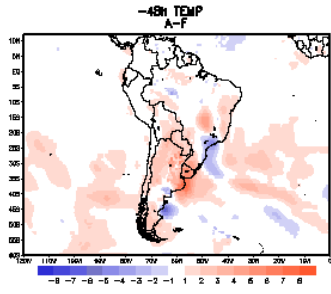
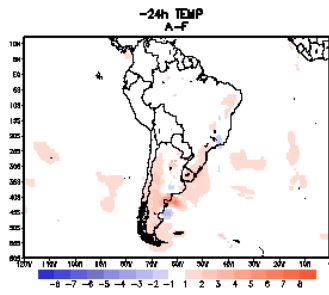
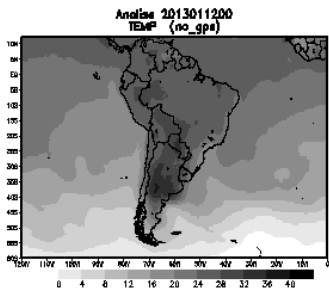
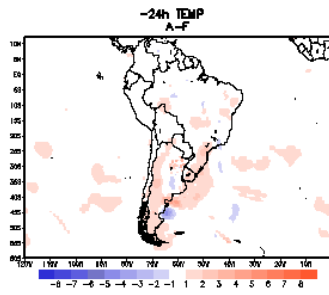
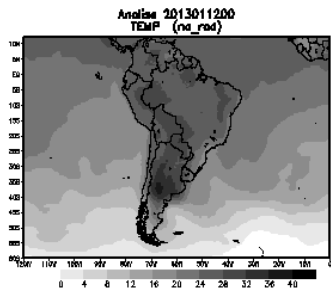
Figura 5.10 - Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas da pressão em superfície (hPa), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013.



(a)

(b)

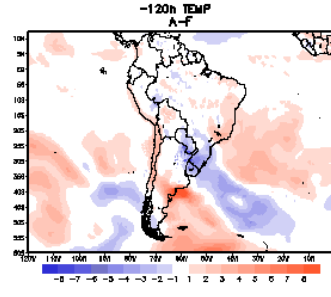
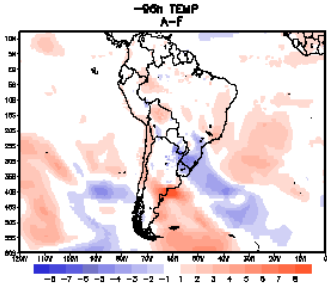
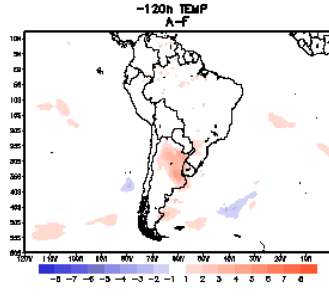
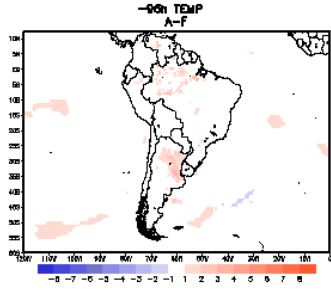
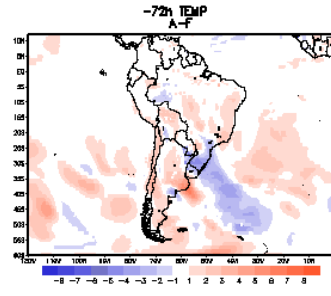
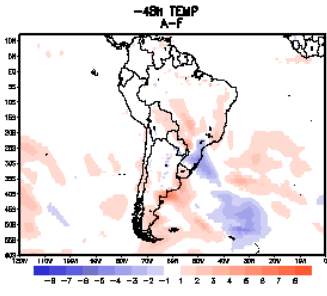
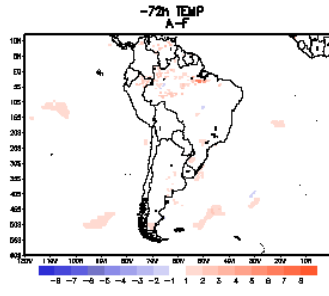
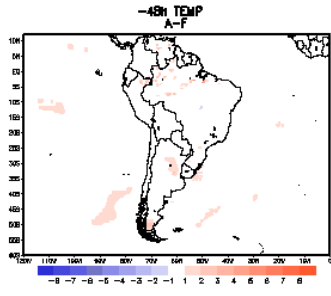
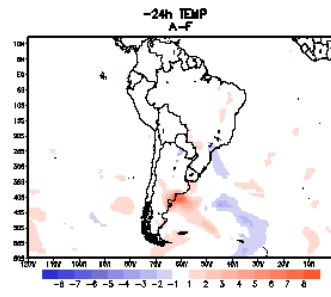
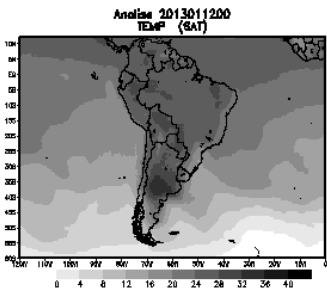
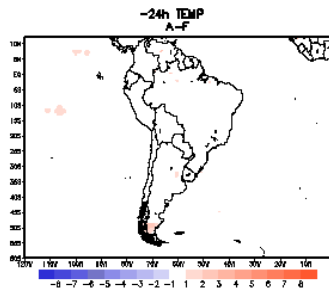
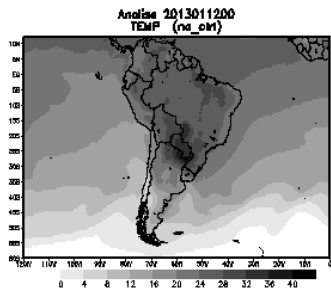
Continua



(c)

(d)

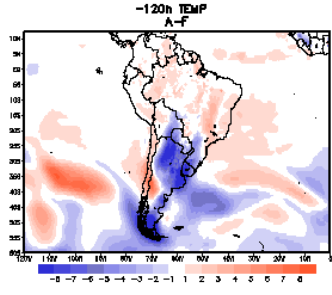
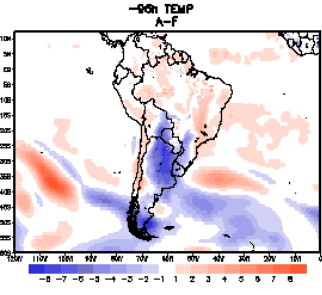
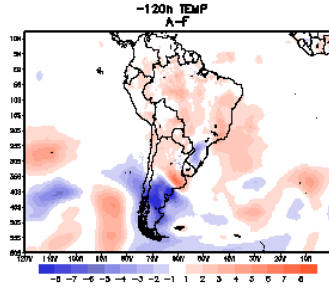
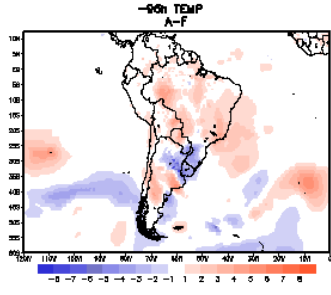
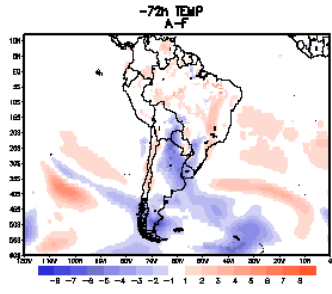
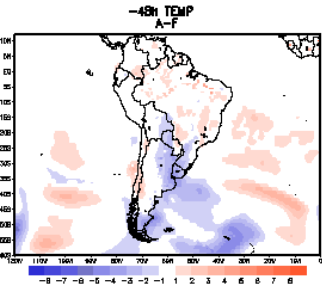
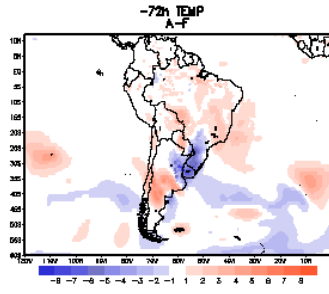
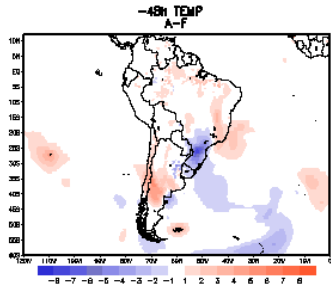
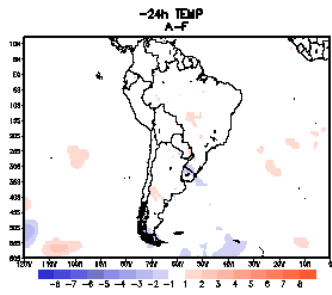
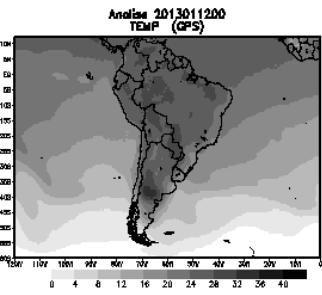
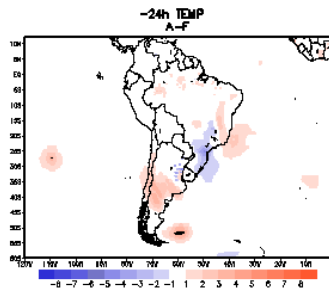
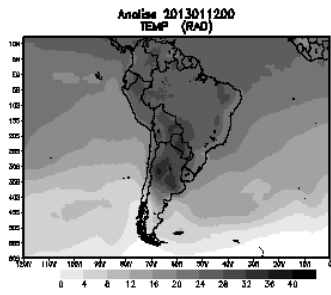
Continua



(e)

(f)

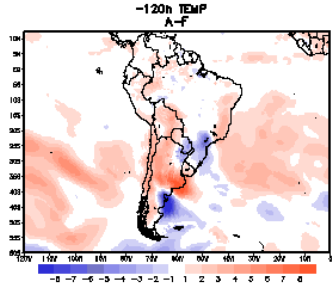
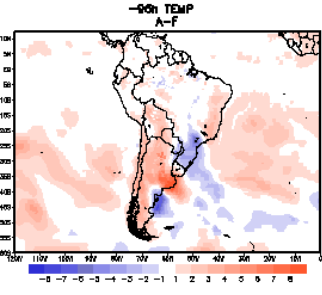
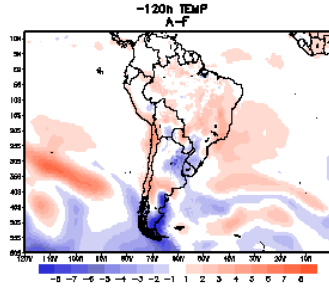
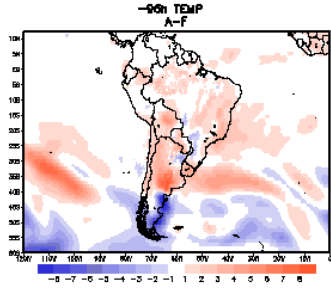
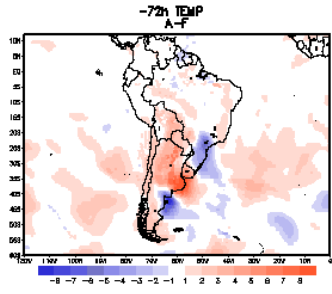
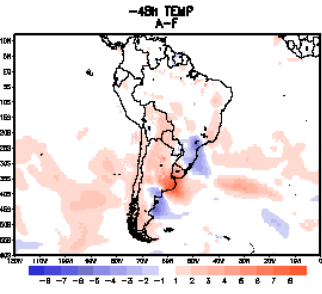
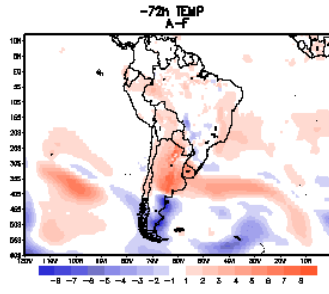
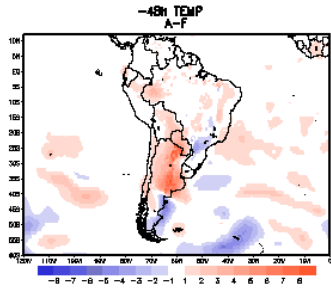
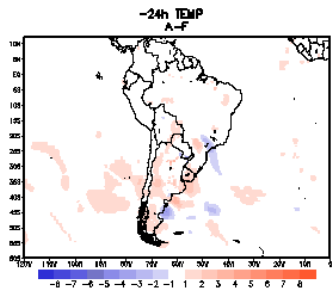
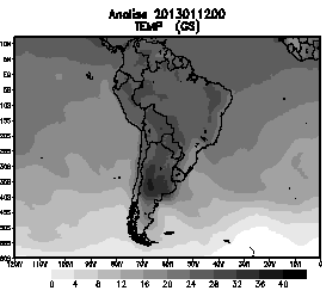
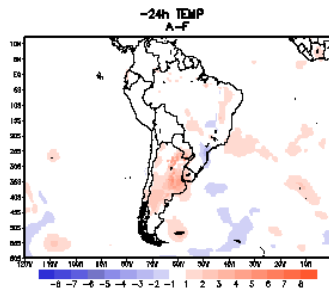
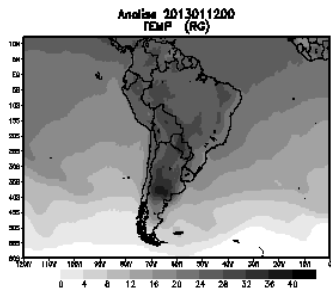
Continua



(g)

(h)

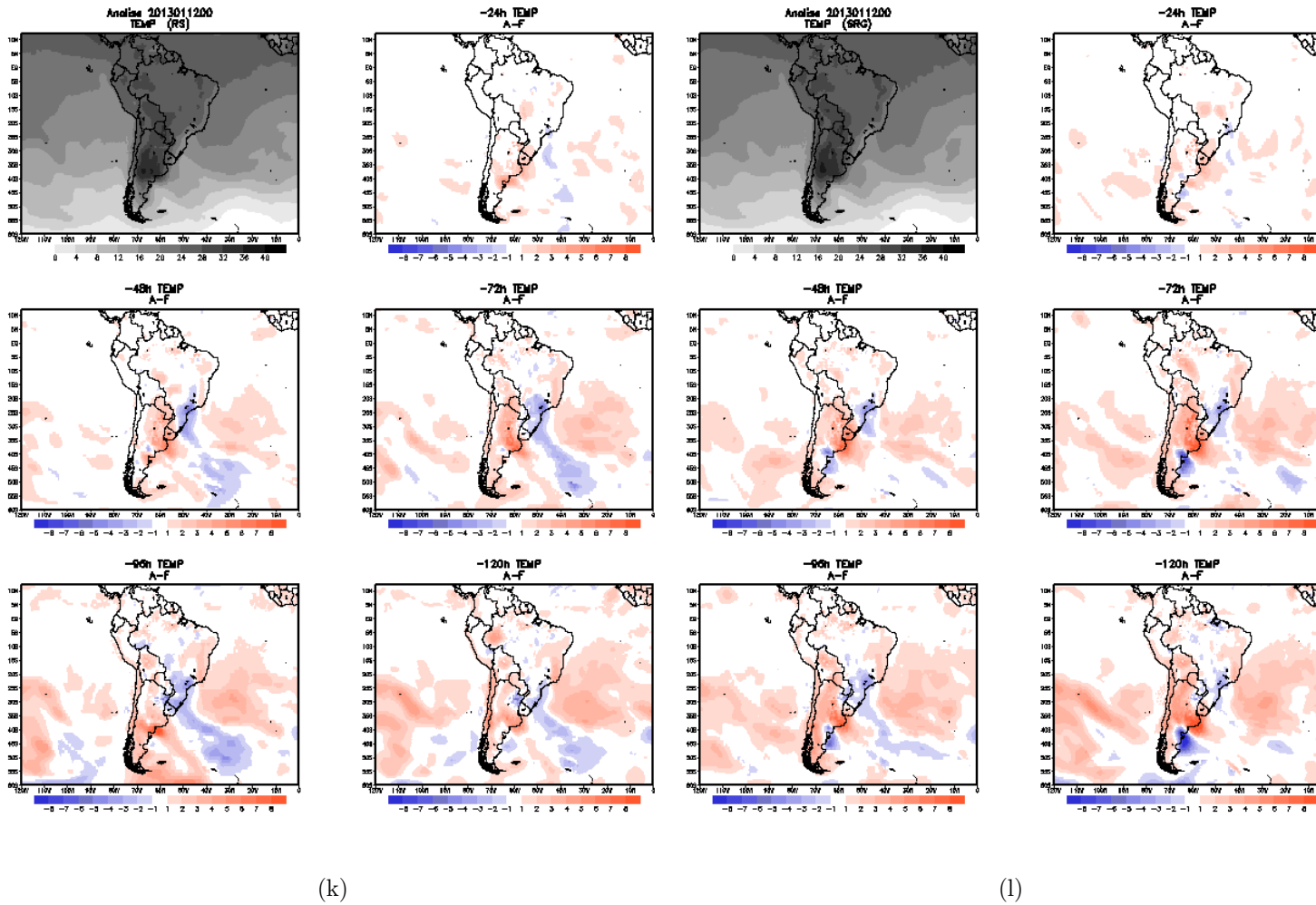
Continua



(i)

(j)

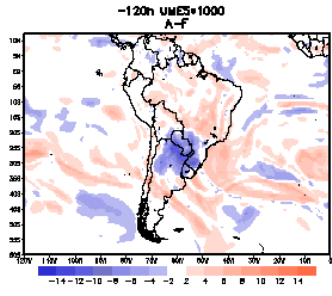
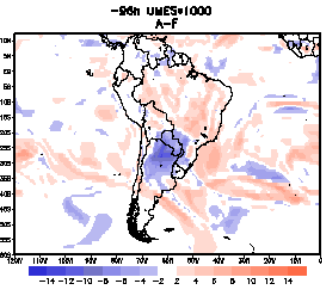
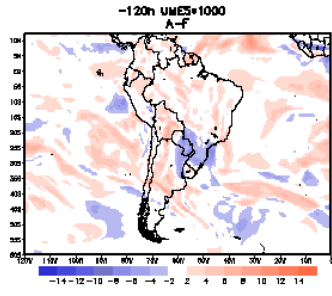
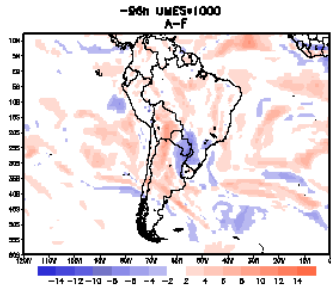
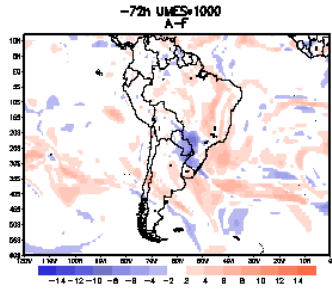
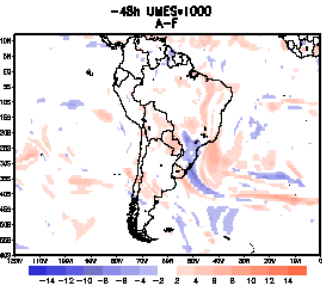
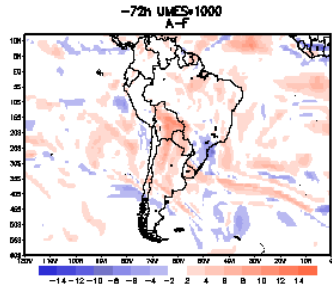
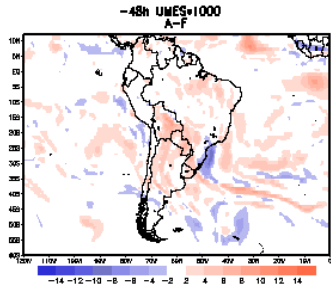
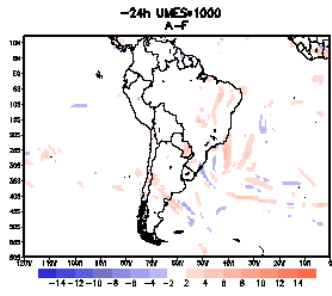
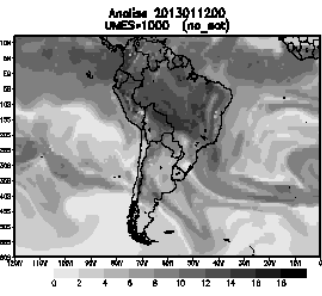
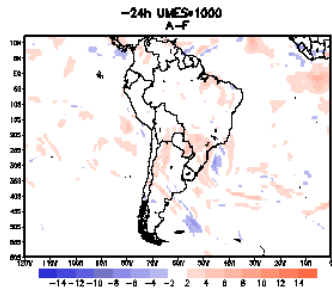
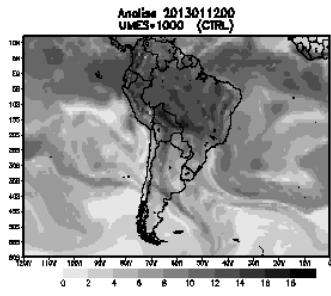
Continua



(k)

(l)

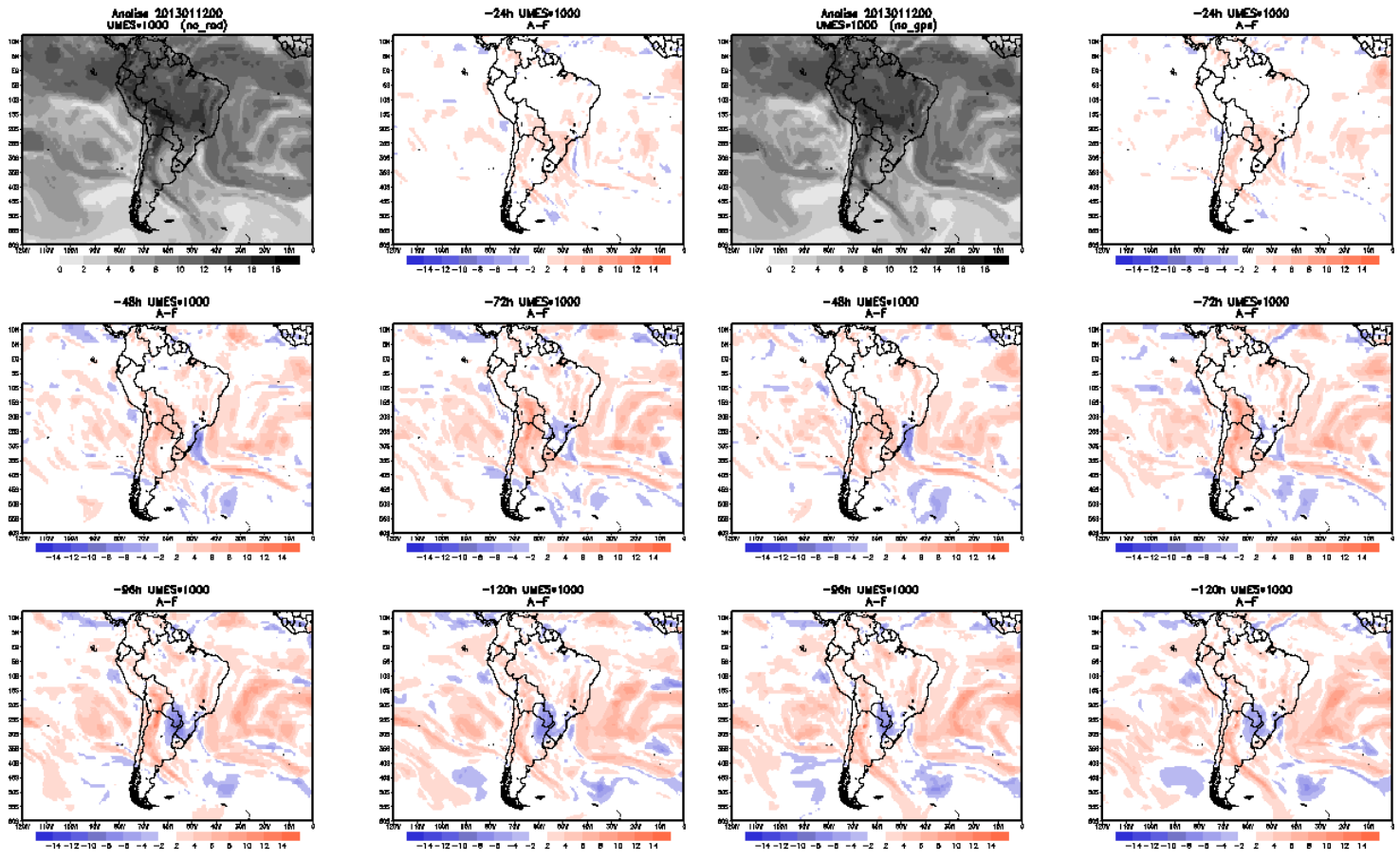
Figura 5.11 - Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013.



(a)

(b)

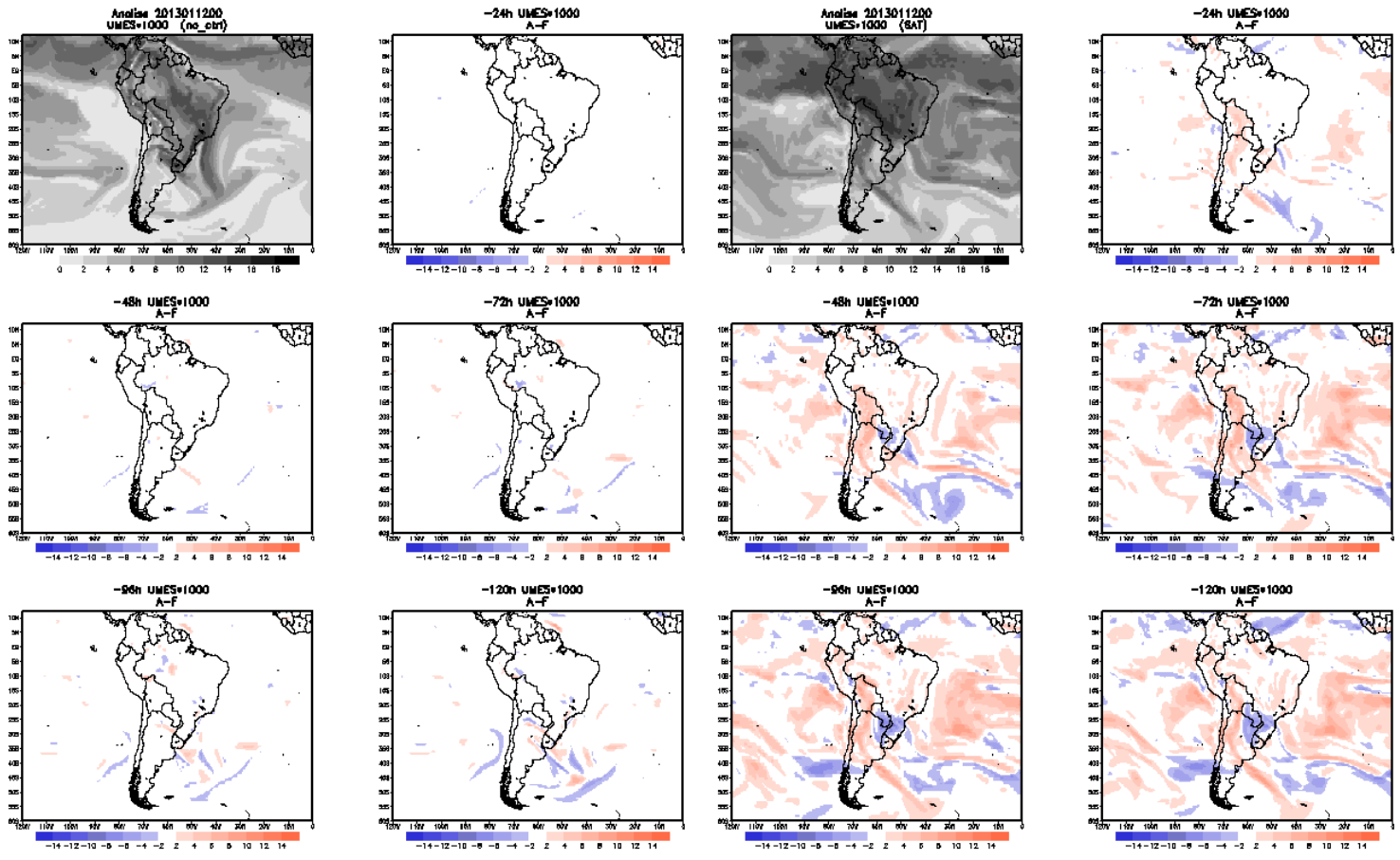
Continua



(c)

(d)

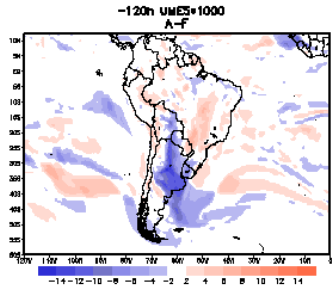
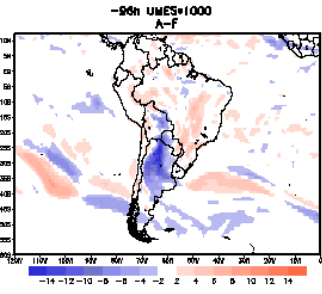
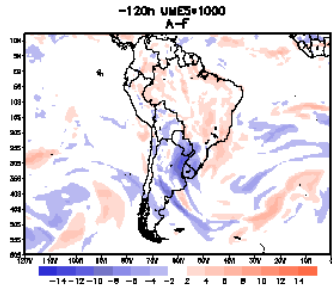
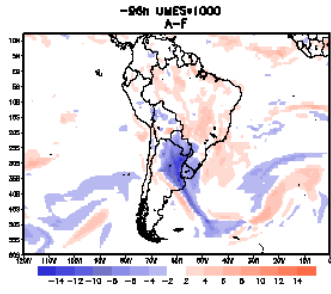
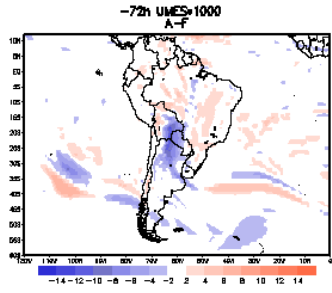
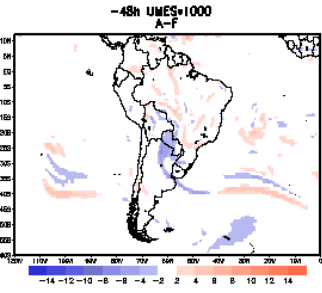
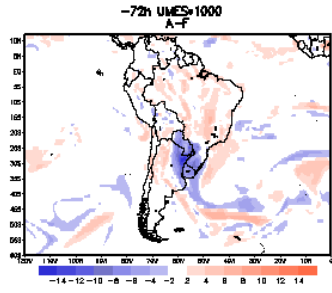
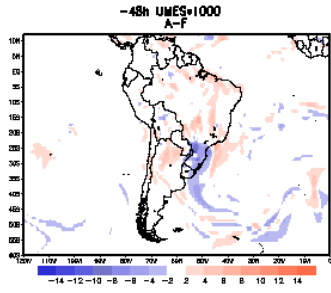
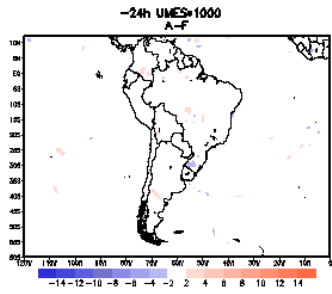
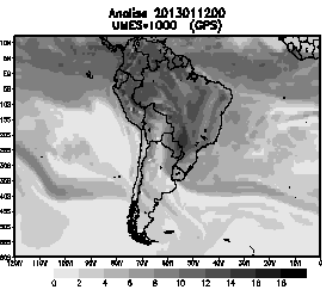
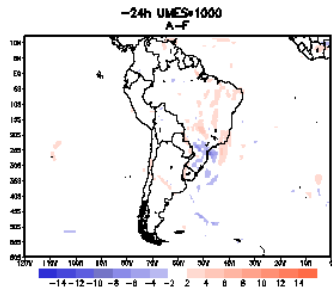
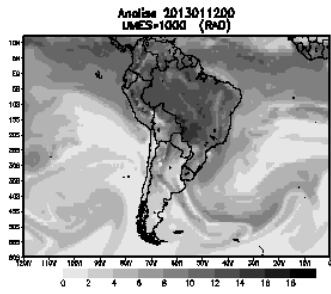
Continua



(e)

(f)

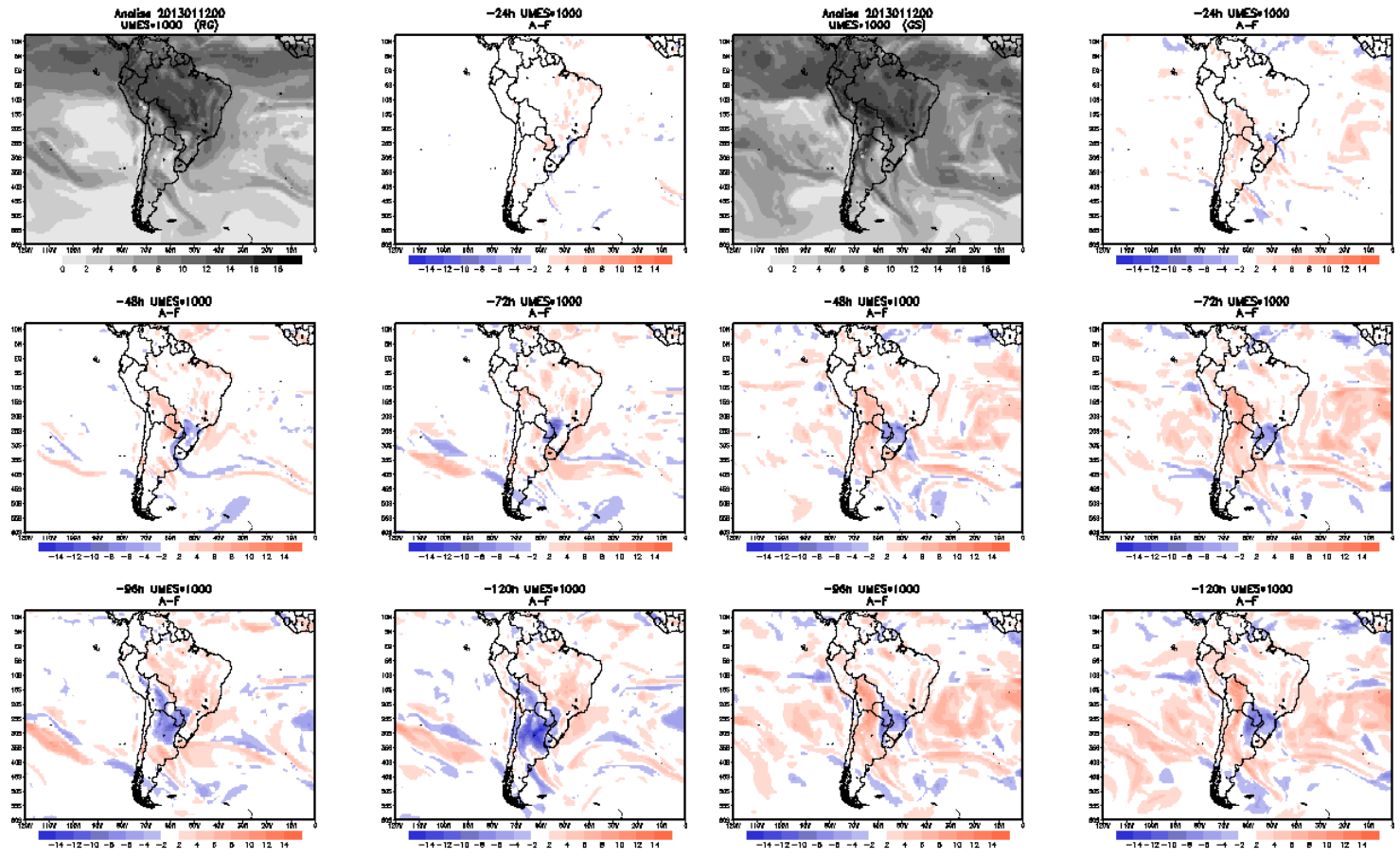
Figura 5.12 - Continua



(a)

(b)

Continua



(c)

(d)

Continua

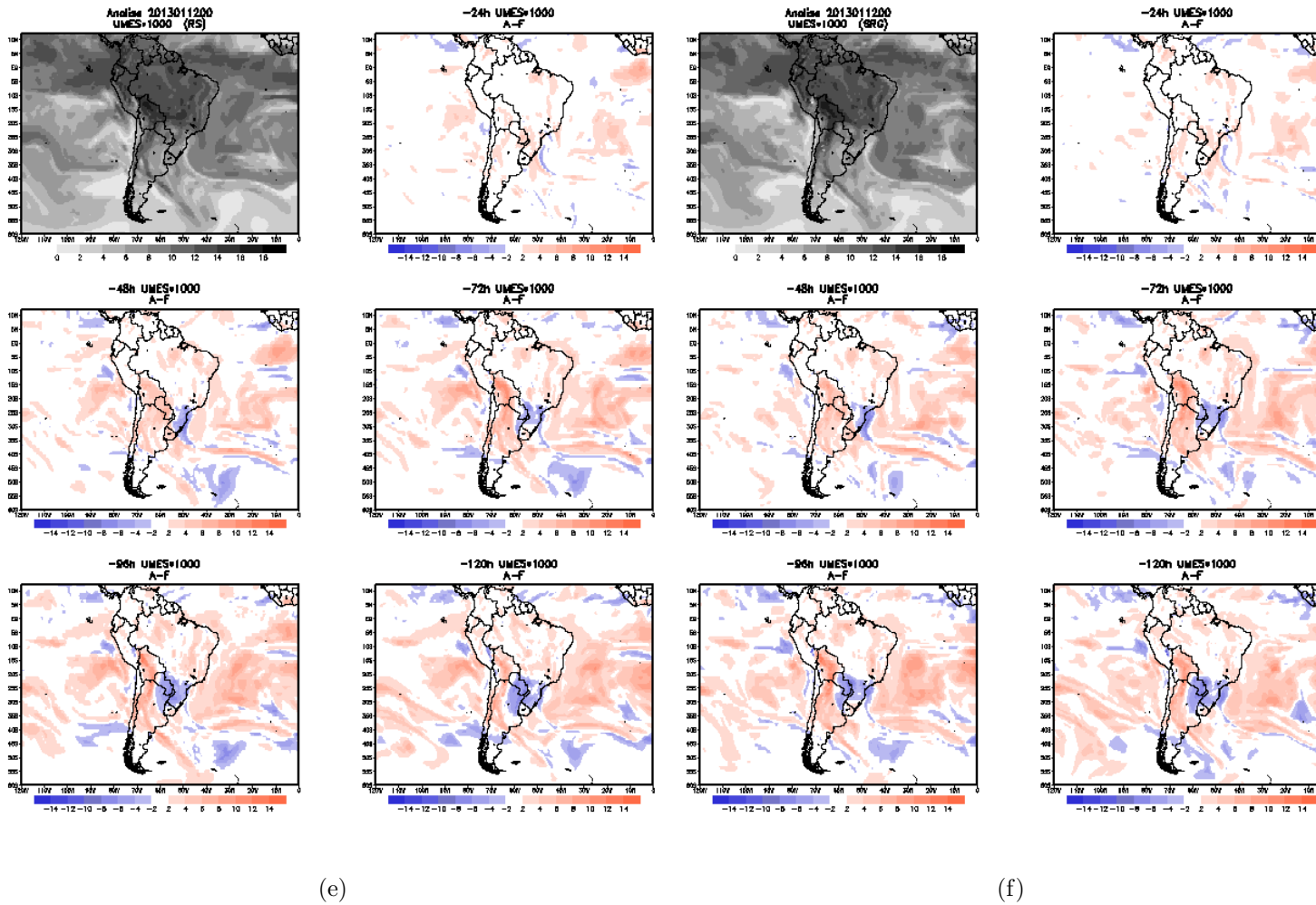


Figura 5.13 - Diferenças entre análise e previsão de até 120 horas de umidade específica em 850hPa (kg/kg), dos experimentos: (a) CONTROLE, (b) NO_GPS, (c) NO_SAT, (d) NO_RAD, (e) NO_CTRL, (f) GPS, (g) SAT, (h) RAD, (i) GS, (j) RG, (l) RS e (m) SRG, para o dia 12 de janeiro de 2013.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve a finalidade de avaliar o impacto de alguns sistemas de observação assimilados pelo G3DVar e seus impactos nas subsequentes análises e previsões. Para isso foram identificados os sistemas de observação assimilados que exercem os maiores impactos nas análises e previsões entre satélites, GPS e radiossondas. Foram avaliadas também a qualidade das análises e previsões quando submetidas a diferentes conjuntos de dados assimilados. Ainda, foi quantificado o número de observações assimiladas, rejeitadas, monitoradas e não usadas para todos os experimentos realizados e por fim, um estudo de caso foi conduzido, a fim de avaliar subjetivamente a performance de cada experimento diante de um sistema de tempo severo. Doze experimentos foram realizados utilizando a técnica de OSE para o período que compreende 01 de dezembro de 2012 a 31 de janeiro de 2013, sendo avaliado apenas o período que compreende o mês de Janeiro. Desses doze experimentos quatro deles foram de negação de dados (CTRL, NO_RAD, NO_SAT e NO_GPS) e oito de acréscimo de dados (NO_CTRL, RAD, SAT, GPS, RG, RS, GS e SRG). Todas as avaliações foram feitas contrastando as previsões contra suas próprias análises.

Foi observado que o número total de dados Assimilados e Rejeitados variam conforme cada conjunto de dados utilizado onde os dados Não Usados representam a soma dos dados Rejeitados e Monitorados. Ainda, como os dados Monitorados são configurados pelo usuário, neste trabalho optou-se por manter o mesmo número para todos os experimentos. Ao comparar os experimentos de negação de dados, observou-se que os experimentos CONTROLE e NO_SAT assimilaram mais dados convencionais que os outros dois experimentos, o que era esperado, uma vez que dados de radiossondas e GPS não foram assimilados nos outros dois experimentos. Sobre os dados de radiação, o experimento CONTROLE assimilou mais que os experimentos NO_RAD e NO_GPS. Isso mostra que a quantidade de dados realmente varia conforme o conjunto de dados que é utilizado, para esse caso, o experimento que tinha um conjunto mais robusto e variado de observações foi o que assimilou mais dados de satélites. Para os experimentos de acréscimo de dados, notou-se que os experimentos apresentaram diferenças entre si, tanto nos dados Rejeitados quanto nos dados Assimilados devido a quantidade total de dados que foi fornecido ao sistema. Ainda, para dados de satélites não houve uma variação significativa, quando se assimila dados de satélites combinados com dados convencionais, tais dados não sofreram alteração brusca em sua quantidade total de dados assimilados. Porém, quando se assimila apenas dados de satélites, nota-se uma diminuição desses dados quando comparado aos demais experimentos.

Os experimentos apresentados na Seção 4 estão coerentes com o esperado de acordo com a literatura. Para o Hemisfério Norte e Globo todo, o impacto apresentado com a exclusão de alguns sistemas de observações foi pequeno quando comparado com as demais regiões de estudo. No Hemisfério Sul notou-se um impacto grande nas variáveis estudadas, principalmente por parte dos dados de radiâncias. Já para a América do Sul e Oceanos Adjacentes, notou-se que foi a região onde o desempenho do experimento CONTROLE se manteve melhor, por ser uma região carente de dados, ao retirar dados de GPS, radiossonda e satélite houve um impacto grande, principalmente por parte desse último. Para o HS e ASOA esses resultados são esperados, como mencionado anteriormente, essas regiões são regiões cobertas na maior parte por oceanos, onde a cobertura de dados se dá por satélites. Então, para que o G3DVar possa manter seu desempenho na principal região de interesse do CPTEC, tais sistemas de observações são fundamentais. Dados de sensoriamento remoto, tal como radiâncias de satélites são de extrema importância. Foi observado que ao realizarmos simulações sem esse tipo de observação, são geradas instabilidades que por fim impedem que o modelo de PNT continue a ser integrado, tal problema foi observado apenas para experimento NO_SAT. Para a região Tropical, os dados de radiossondas se mostraram fundamentais, principalmente em altos níveis.

Quando foram avaliados os experimentos de acréscimo de dados, observou-se que ao assimilar apenas um tipo sistema de observação (seja apenas satélites, GPS ou radiossondas) não se obtém resultados satisfatórios, o que passa a ser alterado quando ocorrem combinações entre eles. Para os Hemisférios e América do Sul e Oceanos Adjacentes, os dados de satélites se mostraram fundamentais, sejam dentro de um conjunto robusto de dados ou quando apenas se assimila ele combinado a outro. Notou-se também que ao assimilar dois sistemas de observação, quando assimilados sozinhos possuem um bom desempenho, não necessariamente o desempenho final será melhor. Observou-se ainda importância dos demais sistemas de observações para que se tenha o melhor desempenho para o sistema de assimilação de dados, dados estes que não foram trabalhados nesses experimentos.

Nas análises, foram avaliadas as variáveis: temperatura e umidade. Foi observado que o experimento NO_SAT se mostrou com diferenças maiores que os outros quando comparado com o experimento CONTROLE, mostrando diferenças grandes em regiões do Hemisfério Sul, incluindo parte sul da região Tropical, enquanto que para o Hemisfério Norte pouco foi visto. Isso mostra uma degradação das análises quando retirado os dados de satélite, o que pode ser um dos fatores que contribuíram para os resultados obtidos com relação às previsões.

Ao avaliar os experimentos em um episódio de ZCAS ocorrido de 10 de janeiro a 15 de janeiro de 2013, concluiu-se que, de acordo com a metodologia proposta por [Herdies et al. \(2002\)](#), a não utilização de dados no sistema de assimilação de dados, além de não caracterizar o evento estudado ainda inverte o perfil observado no experimento CONTROLE. Para tal evento houve um impacto maior sobre o experimento NO_RAD, mostrando assim a eficiência desse sistema de observação na análise da ZCAS, porém quando utilizado sozinho, não apresenta resultados satisfatórios. Ao utilizar os três sistemas de observação (SRG), notou-se uma proximidade maior do CONTROLE. Quando foram avaliados os campos médios, notou-se mais uma vez a importância dos dados de satélites, sejam eles sozinhos ou combinados com um ou mais sistemas de observação. Na ausência desse tipo de dado, o sinal da ZCAS foi observado, mostrando assim que os outros sistemas de observação não trabalhados aqui nessa dissertação, supriram de algum modo a ausência dele. Sobre os campos de divergência, ventos e pressão em superfície, para os experimentos de negação não apresentaram grandes diferenças, porém nos experimentos de acréscimo notou-se a importância das radiâncias, mais uma vez.

Na avaliação das análises contra suas previsões, se observou que, para os experimentos de negação de dados, suas análises foram similares, exceto para a Umidade Específica em 850hPa onde o experimento NO_SAT apresentou uma análise mais seca. As análises do campo de pressão em superfície mostram altas mais intensas nos experimentos de acréscimo de dados e diferenças menores entre suas análises e previsões. No campo de temperatura, houve uma superestimativa por grande parte dos experimentos, exceto pelo GPS que subestimou em grande parte as previsões.

Em outras palavras conclui-se que:

- Ao assimilar diferentes conjuntos de dados, aqueles que foram assimilados tentam compensar em quantidade aqueles que não entraram no processo;
- Os experimentos CONTROLE e NO_SAT assimilaram mais dados convencionais que os demais experimentos, da mesma forma o experimento CONTROLE foi o que mais assimilou dados de radiâncias, seguido pelo experimento NO_RAD e NO_GPS;
- Para os experimentos de acréscimo de dados, não houve variação brusca quando se assimilou dados de radiâncias combinados com outros, porém notou-se uma diminuição no número de dados assimilados quando este é assimilado sozinho;

- Um conjunto de dados robusto é sempre melhor do que quando se deixa de assimilar um determinado conjunto de dados;
- Dados de satélite (radiâncias) são de extrema importância, principalmente para regiões no Hemisfério Sul e dados de radiossondas para os Trópicos;
- Para o Hemisfério Norte e Globo todo não se observou grandes impactos;
- Os sistemas de observações que não foram trabalhados isoladamente nessa dissertação (boias, SYNOP, METAR, aeronaves...) tem uma importante contribuição dentro do Sistema de Assimilação de Dados;
- A não utilização de observações no processo de assimilação de dados não caracteriza o evento de ZCAS estudado;
- Os experimentos os quais utilizaram dados de radiâncias conseguiram posicionar bem a ZCAS, enquanto que a não utilização desses dados torna as análises mais secas.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

A partir do resultado desse trabalho foi observada a importância de se investigar futuramente outros pontos, como, por exemplo, os mostrados a seguir:

- Realizar a contagem percentual dos dados Assimilados, Rejeitados, Não Usados e Monitorados;
- Realizar testes estatísticos para avaliar os resultados obtidos;
- Comparar os resultados obtidos com resultados obtidos utilizando outras técnicas de avaliação de impacto;
- Realizar OSEs apenas alterando os sensores;
- Realizar estudos que visem a minimização dos erros inerentes ao SAD, como por exemplo ajustar o thinning, selecionar melhor os canais e erros relacionados a interface;
- Avaliar os mecanismos de início e término da ZCAS e como cada tipo de observação impacta neles.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, E.; SATO, Y. **Outcome and recommendations of the WMO workshop on the Impact of various Observing System on NWP**. Geneva: ECMWF, 2012. 20
- ANDREOLI, R. V.; FERREIRA, S. H. S.; SAPUCCI, L. F.; SOUZA, R. A. F.; MENDONÇA, R. W. B.; HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A. Contribuição de diversos sistemas de observação na previsão de tempo no cptec/inpe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 218–237, 2008. 2, 6
- ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. de; SAPUCCI, L. F.; SOARES, S. H. F.; HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A. Inclusão das sondagens airs/amsu no sistema global de assimilação/previsão de tempo do cptec/inpe: estudo de impacto. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 88–102, 2008. 7
- ATLAS, R. **Observing system forecast experiments at the DAO**. Greenbelt: NASA, 2001. Disponível em:
<<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20020060754>>. 5
- AZEVEDO, H. B.; GONCALVES, L. G. G.; SILVEIRA, B. B.; MATTOS, J. G. Z.; BASTARZ, C. F. Estudo preliminar do fluxo atual de observações convencionais utilizadas pelo g3d-var no cptec/inpe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado, RS, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: SBMET, 2012. 2
- BOUTTIER, F.; KELLY, G. Observing-system experiments in the ecmwf 4d-var data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 127, p. 1469–1488, 2001. 8, 36
- CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; BONATTI, J. P.; MANZI, A. O.; PEZZI, L. P.; CASTRO, C.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H. . Global climatological features in a simulation using cptec/cola agcm. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2965 – 2988, 2002. 11
- COHN, S. E.; SILVA, A. da; GUO, J.; SIENKIEWICZ, M.; LAMICH, D. Assessing the effects of data selection with the dao physical-space statistical analysis system*. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 2913–2926, 1998. 1
- CRESSMAN, G. P. An operational objective analyses system. **Monthly Weather Review**, v. 87, p. 367–374, 1959. 1

- DINIZ, F. L. **Impacto das observações nas previsões de curto prazo.** Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3D559CB>>. 9
- DUMELOW, R. **Overview of observing system experiments.** 2003. Disponível em: <http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/annual_seminar/seminar2003_presentations/Dumelow.pdf>. 7, 8
- EVENSEN, G. Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using monte carlo methods to forecast error statistics. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 10143–10162, 1994. 2
- GANDIN, L. S. Objective analysis of meteorological fields. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 92, 1965. 1
- GRELL, G. A.; DEVENYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, p. 38–1–38–4, 2002. 12
- HARSHVARDHAN, R.; DAVIS, D. A.; RANDALL; CORSETTI, T. G. A fast radiation parameterization for general circulation models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 92, p. 1009–1016, 1987. 12
- HERDIES, D.; SILVA, A. d.; DIAS, M. S.; FERREIRA, R. N. The moisture budget of the bi-modal pattern of the summer circulation over south america. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, 2002. 24, 72, 111
- HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A.; FERREIRA, S. H. S.; SOUZA, R. V. A.; SAPUCCI, L. F.; MATTOS, J. G. Z. A assimilação de dados no cptec/inpe. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 57–64, 2008. 1
- HU, M.; SHAO, H.; STARK, D.; NEWMAN, K.; ZHOU, C.; HUANG, X.; DERBER, J.; TREADON, R.; LUEKEN, M.; WU, W.; RIZVI, S.; LIU, Z.; AULIGNE, T.; MIZZI, A.; WEYGANDT, S.; DEVENYI, D.; OLSON, J. **Gridpoint Statistical Interpolation (GSI). Version 3.0 User's Guide.** Bolder, abril 2011. 15, 17
- _____. **Gridpoint Statistical Interpolation (GSI). Version 3.1 User's Guide.** Bolder, Julho 2012. 12, 15, 17
- JULIAN, P. R.; THIEBAUX, H. J. On some properties of correlation functions used in optimum interpolation schemes. **Monthly Weather Review**, v. 103, p. 605–616, 1975. 1

JUNG, J. Impacts on global forecasts: Conventional vs satellite data. 2013. 7

KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability**. Cambridge university press. Cambridge, England: Cambridge University, 2003. 341 p. 1, 14

KELLY, G.; THÉPAUT, J. N.; BUIZZA, R.; CARDINALI, C. The value of observations. i: Data denial experiments for the atlantic and the pacific. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 133, p. 1803–1815, 2007. 36

KEYSER, D. **Observational data processing at NCEP**. Julho 2011.

Disponível em:

<http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/data_processing/data_processing>.

17

KINTER, L. K.; DEWITT, D.; DIRMEYER, P. A.; FENNESSY, M. J.; KIRTMAN, B. P.; MARX, L.; SCHNEIDER, E. K.; SHUKLA, J.; STRATUS, D. M. The cola atmosphere-biosphere general circulation model. 1997. 11

KLEIST, D. T.; PARRISH, D. F.; DERBER, J. C.; TREADON, R.; WU W. ; LORD, S. Introduction of the gsi into de ncep global data assimilation system. **Weather and Forecasting**, v. 24, p. 1691–1705, 2009. 2, 12

KUBOTA, P. Y. **Variabilidade da energia armazenada na superfície e seu impacto na definição do padrão de precipitação na América do Sul**. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CCP5R2>>. 11

KUNII, M.; MIYOSHI, T.; KALNAY, E. Estimating the impact of real observations in regional numerical weather prediction using an ensemble kalman filter. **Monthly Weather Review**, v. 140, p. 1975–1987, 2012. 3

LEWIS, J.; DERBER, J. The use of adjoint equations to solve a variational adjustment problem with advective constraint. **Tellus**, v. 37A, p. 309–322, 1985. 1

LUPU, C.; GAUTHIER, P.; LAROCHE, S. Assessment of the impact of observations on analyses derived from observing system experiments. **Monthly Weather Review**, v. 140, p. 245–257, 2012. 3

LUPU, C.; GAUTHIER, P.; S., L. Evaluation of the impact of observations on analyses in 3d- and 4d-var based information content. **Monthly Weather Review**, v. 139, p. 726–737, 2011. 3, 5

MACIEL, A. P. R. **Avaliação do novo modelo global do CPTEC/INPE na previsão numérica de tempo de fenômenos tropicais**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/03.23.18.09>>. 11

MASUTANI, M.; RIISHOJGAARD, L. P.; ANDERSSON, E.; WOOLLEN, J. S.; STOFFELEN, A.; MARSEILLE, G. J.; XIE, Y.; PRIVE, N.; ERRICO, R.; YANG, R.; ZHU, T.; WENG, F.; EMMITT, G. D.; GRECO, S.; WOOD, S. A.; REALE, O.; SCHLATTER, T. W.; LORD, S. J.; SIUN, H.; KLEESPIES, T. J.; SONG, Y. International collaborative joint asses. **American Meteorological Society**, 2009. 3, 5

MATTOS, J. G. Z. **Sensibilidade do uso de "Pseudo-temps" na assimilação de dados do modelo de circulação geral atmosférica do CPTEC/COLA**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/02.15.17.37>>. 6

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, p. 851–875, 1982. 12

OTT, E.; HUNT B. H. AND SZUNYOGH, I.; ZIMIN, A. V.; KOSTELICH, E. J. A local ensemble kalman filter for atmospheric data assimilation. **Tellus**, v. 56, p. 415–428, 2004. Disponível em: <<http://www.tellusa.net/index.php/tellusa/article/view/14462>>. 2

OTT, E.; HUNT, B. R.; SZUNYOGH, I.; CORAZZA, M.; KALNAY, E.; PATIL, D. J.; YORKE, J. A. Exploiting local low dimensionality of the atmospheric dynamics for efficient ensemble kalman filtering. 2002. 2

PANETTA, J.; BARROS, S. R. M.; BONATTI, J. P.; TOMITA, S. S.; KUBOTA, P. Y. Computational cost of cptec agcm at use of high performance computing in meteorology. 2007. 11

QUADRO, M. F. L.; S., S. D. M. A. F.; HERDIES, D. L.; GON, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da zcas através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 287 – 294, 2012. 24

- RABIER, F.; FOURRIÉ, N.; CHAFAI, D.; PRUNET, P. Channel selection methods for infrared atmospheric sounding interferometer radiances. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 128, p. 1011–1027, 2001. 3
- SASAKI, Y. Some basic formalisms in numerical variational analysis. **Monthly Weather Review**, v. 98, p. 875–883, 1970. 1
- SILVEIRA, B. B.; GON, L. G. G.; BASTARZ, C. F.; AZEVEDO, H. B. O uso de radiâncias na assimilação de dados globais 3dvar do cptec/inpe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado, RS, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: SBMET, 2012. 2
- STEIN, U.; ALPERT, P. Factor separation in numerical simulations. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 50, p. 2107–2115, 1992. 21
- TIEDTKE, M. The sensitivity of the time mean large scale flow to cumulus convection in the ecmwf model. In: **Workshop on Convection in Large Scale Numerical Models**. United Kingdom: ECMWF, 1983. p. 297–316. 12
- TIMMERMANS, R. M. A.; SCHAAP, M.; ELBERN, H.; SIDDANS, R.; TJEMKES, S.; VAUTARD, R.; P., B. An observing system simulation experiment (osse) for aerosol optical depth from satellites. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 26, p. 2673–2682, 2009. 5
- TSUYUKI, T.; MIYOSHI, T. Recent progress of data assimilation methods in meteorology. **J. Meteor. Soc. Japan.**, v. 85B, p. 331–361, 2007. 1
- WMO. <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/GOS.html>: [s.n.], 2013. 16
- XUE, Y.; SELLERS, P. J.; III, J. L. K.; SHUKLA, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, v. 4, p. 345–364, 1991. 12

