



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE – 6407 – TDI / 617

**DESEMPENHO DAS PREVISÕES E VARIÁVEIS SIMPLES E
DERIVADAS OBTIDAS PELO MODELO GLOBAL DO
CPTEC/COLA PARA ALGUNS CASOS SIGNIFICATIVOS
OCORRIDOS SOBRE O CENTRO-SUL DO BRASIL.**

Daniel Pires Bitencourt

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelo Dr. Prakki Satyamurty,
aprovada em dezembro de 1996.

INPE
São José dos Campos
1996

551.509.313

BITENCOURT, D. P.

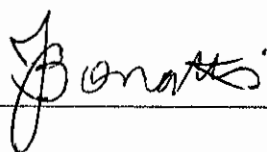
Desempenho das previsões de variáveis simples e derivadas obtidas pelo modelo global do CPTEC/COLA para alguns casos significativos ocorridos sobre o Centro-Sul do Brasil / D. P. Bitencourt. - São José dos Campos: INPE, 1996.

138 p. - (INPE-6407-TDI/617)

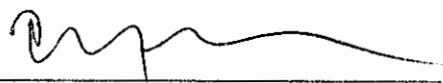
1. Modelo global. 2. Modelos atmosféricos. 3. Previsão numérica de tempo. 4. Região Centro-Sul.
I. Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia

Dr. José Paulo Bonatti


Presidente

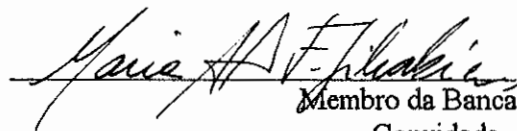
Dr. Prakki Satyamurty


Orientador

Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti


Membro da Banca

Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias


Membro da Banca
- Convidada -

Candidato: Daniel Pires Bitencourt

São José dos Campos, 03 de dezembro de 1996

À minha sobrinha e afillhada

Marina Rodrigues Bitencourt

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Sr. **Dr. Prakki Satyamurty** por orientar-me nesse trabalho. Sua colaboração foi incessante e extremamente rica durante todo período de desenvolvimento dessa dissertação.

Agradeço aos demais pesquisadores integrantes da banca examinadora, **Dra. Iracema Cavalcante** e, em especial, ao **Dr. José Paulo Bonatti** pela intensa colaboração em transmitir seus conhecimentos de modelagem numérica.

Agradeço a todos os colegas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) que colaboraram direta ou indiretamente com essa dissertação. Dentre estes, destaco a paciência e boa vontade de colaborar do assistente de pesquisa **Sr. Mario Francisco Leal Quadro**. Agradeço também aos colegas meteorologistas que trabalham em outras instituições, universidades ou iniciativa privada, por também terem contribuído com essa dissertação.

Agradeço imensamente aos meus pais, **Eduardo Moraes Bitencourt** e **Thereza Maria Pires Bitencourt**, ao meu irmão, **Adriano Pires Bitencourt** e à minha cunhada, **Tatiana Rodrigues Bitencourt** pelo apoio e incentivo que sempre transmitiram-me.

RESUMO

A introdução de modelos numéricos tornou possível fazer previsão de tempo com melhor confiabilidade e maior prazo de antecedência. A partir de Novembro de 1994, com a inauguração do CPTEC, o Brasil vem realizando previsões operacionais com seu modelo numérico, chamado Modelo Global do CPTEC/COLA. Em busca de melhores resultados é necessário aprimorar este modelo e, para isso, é preciso ter conhecimento do desempenho do mesmo. As estatísticas de desempenho são geralmente obtidas para previsões de variáveis simples, como Altura Geopotencial, Temperatura Virtual, Vento e Umidade Específica. Neste trabalho aplica-se métodos comuns de estatística para testar o desempenho do modelo para variáveis derivadas, tais como Divergência, Vorticidade, Espessura, Advecção Térmica, Advecção de Vorticidade, Convergência de Fluxo de Umidade, Água Precipitável e Vetor $\mathbf{Q}$. A performance das previsões é testada em quatro estudos de caso. No primeiro caso faz-se uma comparação das previsões realizadas sobre as regiões tropical e extratropical do continente Sul-americano. Os demais estudos de caso destacam as diferenças entre as previsões de variáveis simples e derivadas, assim como a previsibilidade da situação sinótica de cada caso. Através de análise matemática demonstrou-se que, para alguns casos simples e hipotéticos, a correlação entre variáveis simples é diferente da correlação entre variáveis derivadas. Notou-se que a onda de menor comprimento contribui mais para o valor da correlação de variáveis derivadas. O estudo de caso 1 confirma que o modelo apresenta melhor performance sobre os extratropicais. A previsibilidade nos extratropicais, em termos da variável geopotencial, é de 96 horas e nos trópicos a previsibilidade, em termos da variável vento, é menos de 48 horas. Com os estudos de caso 2, 3 e 4, observou-se que o vento é melhor previsto para a situação de ciclogênese e que a temperatura é melhor prevista para as situações de geada e neve. Observou-se também, em todos os casos e para todas as variáveis em geral, que a correlação diminui e o erro quadrático médio e o desvio padrão aumentam com o prazo de previsão e, ainda, as previsões de variáveis simples apresentam melhor ou igual performance que as previsões de variáveis derivadas. Um resultado interessante, embora independente, é que a Água Precipitável tem melhor previsibilidade do que a

unidade específica, que apresenta previsões úteis somente até 24 horas. Através de comparações visuais entre previsão e análise, conclui-se que os critérios de validação, apesar de serem simples, foram eficientes no intuito de aprovar ou não as previsões. Isto sugere que tais critérios sejam aplicados a outras situações de tempo, por exemplo, para uma situação de Zona de Convergência do Atlântico Sul.

**PERFORMANCE OF SIMPLE AND DERIVED VARIABLE FORECASTS
OBTAINED BY THE CPTEC/COLA GLOBAL MODEL FOR SOME
SIGNIFICANT CASES OCURRED OVER SOUTH-CENTRAL BRAZIL**

ABSTRACT

The Center for Weather Prediction and Climate Studies (CPTEC), inaugurated in November 1994, is running operationally a global Numerical Weather Prediction (NWP) model known as CPTEC/COLA. To obtain increased reliability of weather forecasts it is necessary to constantly improve the model, and to achieve this, it is necessary to estimate the prediction skill of the model and to study the magnitude and nature of systematic and sporadic errors in the forecasts. Traditionally the performance statistics of the NWP models are calculated by quantitatively comparing the forecast fields and the corresponding analysis fields of simple model variables such as geopotential height at 500 hPa, wind components at 850 and 200 hPa. In the present study the statistics to test the performance of the model are obtained also with important derived variables, namely, divergence, vorticity, thickness, thermal advection, vorticity advection, water vapor convergence and Q-vector. It is demonstrated, through simple mathematical analysis, that, the "anomaly correlation" of a derived variable (such as thermal gradient) is different from that of a simple variable (such as temperature) when the field is composed of more than one wave number. The shorter wave number performance has a larger weight in the anomaly correlation of the composed field of the derived variable. The performance of CPTEC/COLA is tested in four case studies over the South American region. In general, the spatial variability and the root mean square error of the forecast fields increase and the anomaly correlation decreases with the forecast range for all the variables. The derived fields have worse performance statistics than the simple variables. The first case shows the essential differences in the predictability in the extratropics and in the tropics of the region. The other cases provide an idea of the reliability of each of

the meteorological variables used for estimating the model performance, and indicate the variables having best predictability for each situation. For the cyclogenesis situation in the southern region of Brazil the wind has the best performance and for the frontal passages and snow occurrence situations the best variable is the surface air virtual temperature. Precipitable water shows a better predictability than the specific humidity at individual levels in the lower troposphere. Visual comparisons of the positions and intensities of the synoptic systems in the forecasts and in the corresponding analyses show that the criteria used for the statistical evaluation of the model performance are indeed efficient.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xxi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiii
LISTA DE SIGLAS.....	xxvii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - ESTATÍSTICAS DE DESEMPENHO DAS PREVISÕES.....	7
2.1 - Expressões Analíticas.....	7
2.2 - Expressões Discretas.....	8
2.3 - Coeficiente de Correlação de Variáveis Derivadas.....	9
CAPÍTULO 3 - MODELO GLOBAL, VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA TESTES DE DESEMPENHO E METODOLOGIA.....	17
3.1 - Breve Descrição do Modelo Global do CPTEC/COLA.....	17

3.2 - Variáveis Meteorológicas Utilizadas nos Testes de Desempenho do Modelo.....	19
3.2.1 - Variáveis Simples.....	19
3.2.2 - Variáveis Derivadas.....	20
3.3 - Metodologia Utilizada para Teste de Desempenho do Modelo.....	27
3.3.1 - Estatísticas Ponderadas.....	28
3.3.2 - Obtenção dos Campos Anômalos.....	29
3.3.3 - Critérios para Teste de Desempenho.....	31
 CAPÍTULO 4 - TESTE DE DESEMPENHO DO MODELO	
GLOBAL DO CPTEC/COLA.....	33
4.1 - Diferenças nas Previsões para Trópicos e Extratropicos (Estudo de Caso 1).....	34
4.2 - Diferenças nas Previsões de Variáveis Simples e Derivadas (Estudo de Casos 2, 3 e 4).....	43
4.2.1 - Descrição dos Casos Estudados.....	45
4.2.2 - Estatísticas de Desempenho (σ , rms, cor)....	48
4.2.3 - Observações Gerais.....	88
 CAPÍTULO 5 - DISCUSSÕES FINAIS.....	
5.1 - Estudo de Caso 1.....	94
5.2 - Estudo de Casos 2, 3 e 4.....	96

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
APÊNDICE A.....	A1
APÊNDICE B.....	B1

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pag</u>
2.1 - Esboço das ondas analisada e prevista, com n=1.....	11
3.1 - Esquema de interpolação linear para cálculo da climatologia diária a partir da climatologia mensal.....	31
4.1 - Regiões extratropical (a) e tropical (b) do continente Sul Americano.....	35
4.2 - Seqüência de imagens GOES-8 dos dias 06, 07 e 08/05/96 (caso 1).....	36
4.3 - Valores médio de cor (dias 06, 07 e 08/05) da altura geopotencial em 850 hPa.....	41
4.4 - Valores médio de cor (dias 06, 07 e 08/05) da altura geopotencial em 500 hPa.....	41
4.5 - Seqüência de imagens GOES-8 dos dias 26, 27 e 28/05/96 (caso 2).....	45
4.6 - Seqüência de imagens GOES-8 dos dias 02, 03 e 04/06/96 (caso 3).....	46
4.7 - Seqüência de imagens GOES-8 dos dias 28, 29 e 30/06/96 (caso 4).....	47
4.8 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise correspondente de Temperatura (°K) em 850 hPa (caso 3).....	72

4.9	- Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise correspondente de Temperatura ($^{\circ}\text{K}$) em 850 hPa (caso 3).....	73
4.10	- Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Umidade Específica (KgKg^{-1}) em 850 hPa (caso 3).....	74
4.11	- Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Umidade Específica (KgKg^{-1}) em 850 hPa (caso 3).....	75
4.12	- Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 500 hPa (caso 2).....	76
4.13	- Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 500 hPa (caso 2).....	77
4.14	- Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Advecção Térmica ($^{\circ}\text{Ks}^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).....	78
4.15	- Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Advecção Térmica ($^{\circ}\text{Ks}^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).....	79
4.16	- Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Divergência (s^{-1}) em 850 hPa (caso 4).....	80
4.17	- Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Vorticidade (s^{-1}) em 500 hPa (caso 2).....	81

4.18 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Vorticidade (s^{-1}) em 500 hPa (caso 2).....	82
4.19 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Advecção de Vorticidade (s^{-2}) em 500 hPa (caso 4).....	83
4.20 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Advecção de Vorticidade (s^{-2}) em 500 hPa (caso 4).....	84
4.21 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($KgKg^{-1}s^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).....	85
4.22 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($KgKg^{-1}s^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).....	86
4.23 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($KgKg^{-1}s^{-1}$) em 850 hPa (Caso 4).....	87
4.24 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($KgKg^{-1}s^{-1}$) em 850 hPa (Caso 4).....	88
4.25 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 850 hPa (caso 4).....	91

4.26 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 850 hPa (caso 4).....	92
---	----

LISTA DE TABELAS

	<u>Pag</u>
4.1 - Valores de cor entre anomalias de previsões e análise para Variáveis Simples.....	38
4.2 - Valores de cor entre anomalias de previsões e análise para Variáveis Derivadas.....	40
4.3 - Valores do rms das previsões de Variáveis Simples.....	43
4.4 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Simples - Estudo de Caso 2.....	57
4.5 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Derivadas - Estudo de Caso 2.....	59
4.6 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Simples - Estudo de Caso 3.....	62
4.7 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Derivadas - Estudo de Caso 3.....	64
4.8 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Simples - Estudo de Caso 4.....	67
4.9 - Valores de $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms e cor para Variáveis Derivadas - Estudo de Caso 4.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

a	- Amplitude da onda V_A
a_m	- Amplitude da onda V_A de número de onda m
a_n	- Amplitude da onda V_A de número de onda n
Adv	- Advecção Horizontal (s^{-1})
Adv_T	- Advecção de Temperatura Virtual ($^{\circ}K\ s^{-1}$)
Adv_{ζ}	- Advecção de Vorticidade Relativa (s^{-2})
b	- Amplitude da onda V_p
b_m	- Amplitude da onda V_p de número de onda m
b_n	- Amplitude da onda V_p de número de onda n
cor	- Coeficiente de Correlação Ponderado
C	- Campo Analisado ou Previsto
C_A	- Campo de Anomalia
C_c	- Campo de Climatologia Diária
CC	- Coeficiente de correlação (expressão analítica)
CC_d	- Coeficiente de correlação (expressão discreta)
CC^{λ}	- Coeficiente de correlação entre V_A^{λ} e V_p^{λ}
CV	- Covariância (expressão analítica)
CV^{λ}	- Covariância de V_A^{λ} ou V_p^{λ}
$Convq$	- Convergência de Fluxo de Umidade ($Kg\ Kg^{-1}\ s^{-1}$)

eqm	- Erro quadrático médio (expressão analítica)
eqm _d	- Erro quadrático médio (expressão discreta)
EX	- Região Extratropical da América do Sul
f	- Parâmetro de Coriolis Constante (s^{-1})
g	- Gravidade ao Nível Médio do Mar ($m\ s^{-2}$)
h	- Água Precipitável (mm)
m	- Número de pontos na direção leste/oeste
n	- Número de onda
n	- Número de pontos na direção norte/sul
N	- Tamanho da amostra
N	- Freqüência de Brunt-Väisälä (s^{-1})
p	- Pressão (hPa)
p_0	- Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa)
p_1	- Pressão no Nível Atmosférico 1 (hPa)
p_2	- Pressão ao Nível Atmosférico 2 (hPa)
p_s	- Pressão na Superfície (hPa)
p_t	- Pressão no Topo da Troposfera (hPa)
P_i	- Peso Proporcional ao i -ésimo Quadrículo da Grade
q	- Umidade Específica ($Kg\ Kg^{-1}$)
$\vec{Q}$	- Vetor Q ($m^2\ s^{-1}\ Kg^{-1}$)
Q_x	- Componente de $\vec{Q}$ na direção x ($m^2\ s^{-1}\ Kg^{-1}$)
Q_y	- Componente de $\vec{Q}$ na direção y ($m^2\ s^{-1}\ Kg^{-1}$)
rms	- Erro Quadrático Médio Ponderado

R	- Constante de Gás do Ar Seco ($J^{\circ}K Kg^{-1}$)
T	- Temperatura Absoluta do Bulbo Seco ($^{\circ}K$)
T_v	- Temperatura Virtual ($^{\circ}K$)
$\bar{T}_v$	- Temperatura Virtual Média na Camada ($^{\circ}K$)
TR	- Região Tropical da América do Sul
u	- Vento Zonal ($m s^{-1}$)
v	- Vento Meridional ($m s^{-1}$)
V_A	- Variável analisada
V_p	- Variável prevista
$\bar{V}_g$	- Vento Geostrófico ($m s^{-1}$)
V_A^{λ}	- Derivada de V_A em relação a λ
V_p^{λ}	- Derivada de V_p em relação a λ
w	- Velocidade Vertical em Coord. Cartesianas ($cm s^{-1}$)
X	- Campo de análise de uma Variável Meteorológica
Y	- Campo de previsão de uma Variável Meteorológica
z	- Altura (m)
Z	- Altura Geopotencial (m)
δ	- Divergência (s^{-1})
ΔZ	- Espessura da Camada Atmosférica (m)
ε	- Defasagem da onda prevista com a onda analisada
λ	- Longitude
σ	- Desvio padrão (expressão analítica)

σ_d	- Desvio padrão (expressão discreta)
σ_{V_A}	- Desvio padrão de V_A
σ_{V_P}	- Desvio padrão de V_P
$\sigma_{V_A^\lambda}$	- Desvio padrão de V_A^λ
$\sigma_{V_P^\lambda}$	- Desvio padrão de V_P^λ
σ^S	- Parâmetro de Estabilidade Estática ($m^2 s^2 Kg^{-2}$)
$\sigma(x)$	- Desvio Padrão da Análise
$\sigma(y)$	- Desvio Padrão da Previsão
ω	- Velocidade Vertical em Coord. Isobáricas ($hPa s^{-1}$)
ζ	- Vorticidade Relativa (s^{-1})

LISTA DE SIGLAS

COLA	- Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
GrADS	- Grid Analysis and Display System
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MRF	- Medium-Range Forecast
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NMC	- National Meteorological Center
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
PNT	- Previsão Numérica de Tempo
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A previsão de tempo tem grande importância para diversos segmentos sociais e econômicos de um País. A agricultura, pecuária, indústria e turismo, por exemplo, certamente apresentam maiores lucros quando são feitos planejamentos prevendo os acontecimentos futuros do comportamento atmosférico e suas conseqüências. Outro papel importante da previsão de tempo é a sua utilização na proteção do tráfego aéreo, naval e terrestre, assim como alertas à defesa civil e sociedade, de eventos extremos como intensa queda de temperatura ou forte precipitação. Este último, durante as estações chuvosas de diferentes regiões do Brasil, provoca sérios danos materiais e humanos, inclusive com vítimas fatais em casos de deslizamento de encostas/morros ou enchentes sobre áreas próximas a rios.

Com a evolução da meteorologia, os métodos de previsão de tempo tem se tornado cada vez mais eficientes, possibilitando que a margem de erro dos meteorologistas previsores seja cada vez menor. A introdução de modelos numéricos de previsão de tempo tornou possível previsões com melhor qualidade e maior antecedência. Diversos centros de previsão numérica de tempo espalhados pelo mundo possuem seu próprio modelo global de previsão de tempo. É o caso do Japão, Inglaterra, Estados Unidos da América (EUA) e do Brasil, que a partir de novembro de 1994, com a implantação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Cachoeira Paulista - SP, tem realizado as suas próprias previsões com um modelo de circulação geral da atmosfera desenvolvido no "Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA)". Este modelo, chamado de modelo global do CPTEC/COLA, utiliza um truncamento do espectro no número de onda 62 (T62) e uma estrutura vertical de 28 camadas sigma (L28).

O uso dos resultados de modelos numéricos de previsão de tempo possibilita previsões com antecedência de aproximadamente oito dias para a região extratropical do Hemisfério Norte e de aproximadamente cinco dias para a região extratropical do Hemisfério Sul (Bonatti, 1996). Sobre a região tropical a previsibilidade dos modelos numéricos diminui, ou seja, o prazo de antecedência para previsão de tempo nos trópicos é menor do que nos extratropicais (Moura, 1984).

No entanto, a previsão climática para a região tropical promete maior sucesso. O Nordeste brasileiro, por exemplo, possui uma boa resposta para os sinais de escala global. Os trabalhos de Caviedes (1973) e de Hastenrath e Heller (1977) mostraram que as secas no Nordeste brasileiro estão relacionadas, entre outros fatores, com os episódios quentes (El Niño) ocorridos no Pacífico equatorial. Estes autores associaram anomalias de precipitação na Região Nordeste com o índice de Oscilação Sul.

Para que o modelo global do CPTEC/COLA apresente resultados cada vez melhores nas previsões de fenômenos meteorológicos sobre a América do Sul e, em especial, sobre o território brasileiro é necessário um monitoramento

diário das previsões a fim de avaliar o desempenho do modelo para diferentes estações do ano. Para tanto, os meteorologistas operacionais do CPTEC realizam diariamente comparações subjetivas das previsões com previsões de horários anteriores, imagens de satélite e dados observados. No "National Centers for Environmental Prediction (NCEP)" faz-se além disso, uma comparação subjetiva das previsões do modelo global MRF com as previsões de outros centros de previsão (Wobus e Kalnay, 1995), como "Japan Meteorological Agency", "United Kingdom Meteorological Office" e "European Centre for Medium-Range Weather Forecasts". Outra prática comum é a aplicação de métodos estatísticos para comparações entre a análise e a previsão. Essa prática objetiva identificar e quantificar erros sistemáticos e esporádicos das previsões do modelo. A redução desses erros, através de novas parametrizações dos processos físicos, é essencial para o aprimoramento do modelo (Chen e Dool, 1995). Uma melhor inicialização, com maior quantidade e melhor qualidade de dados observacionais, também contribui muito para melhores resultados nas previsões.

Métodos estatísticos são usados para quantificar as semelhanças e diferenças entre campos previstos e campos analisados correspondentes. Tradicionalmente, os métodos estatísticos são aplicados somente para campos de variáveis simples, tais como altura geopotencial, temperatura virtual, ventos zonal e meridional e umidade específica. Entretanto, também é importante aplicar métodos estatísticos para testar o desempenho das previsões de campos derivados, tais como a advecção térmica, pois esses são os diagnósticos que realmente mostram, para o

meteorologista, a estrutura física e dinâmica dos sistemas meteorológicos responsáveis pelas condições de tempo.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os resultados das previsões do modelo global do CPTEC/COLA, com seis dias de antecedência, para alguns casos de fenômenos meteorológicos significativos ocorridos sobre o centro-sul do Brasil em 1996. Para tanto, utiliza-se os campos de variáveis simples e derivadas, como divergência, vorticidade relativa, advecção térmica, convergência de fluxo de umidade, espessura, vetor Q , advecção de vorticidade relativa e água precipitável. Assim, pretende-se chamar a atenção, principalmente dos meteorologistas previsores, a respeito dos limites de confiabilidade que as variáveis simples e derivadas possuem. Ressalta-se também as diferenças no desempenho obtido para uma região tropical e para uma região extratropical do continente Sul-americano.

Existem diversos métodos estatísticos para teste de desempenho de modelos numéricos. Chen e Dool (1995) utilizaram "bias" para uma série de 90 dias de integração do modelo global do "National Meteorological Center (NMC)" com baixa resolução (T40) em um experimento chamado "dynamical extended-range forecasts (DERF90)". Savijarvi (1995) calculou a variação do erro quadrático médio com o tempo e demonstrou como o erro aumenta ao longo das previsões de 0 - 10 dias.

No Capítulo 2 apresenta-se os métodos estatísticos aplicados nesse trabalho, que são o erro quadrático médio das previsões, o coeficiente de correlação entre campos anômalos de análise e previsão e o desvio

padrão dos campos anômalos de análise e previsão. Faz-se também, uma demonstração matemática simples das possíveis discrepâncias de correlações entre duas variáveis simples e entre duas variáveis derivadas.

No Capítulo 3 descreve-se sucintamente a estrutura do modelo global do CPTEC/COLA, assim como as expressões das variáveis simples e derivadas utilizadas nos testes de desempenho do modelo. Apresenta-se, também, a metodologia utilizada para realização desses testes.

No Capítulo 4 aplica-se os métodos estatísticos em quatro estudos de casos para testar o desempenho do modelo global do CPTEC/COLA. O primeiro caso estudado é uma situação em que não ocorreu fenômeno meteorológico significativo, apenas passagens de sistemas frontais de fraca a moderada intensidade sobre a América do Sul. Neste primeiro caso obtém-se a performance do modelo global do CPTEC/COLA separadamente para as regiões tropical e extratropical do continente Sul-americano. As previsões apresentam destrezas diferentes para as duas regiões estudadas. Estes resultados tornam-se importantes quando lembra-se que o Brasil possui uma extensão de proporções continentais, sobre a qual atuam fenômenos meteorológicos de características tropicais e extratropicais. Os três outros casos estudados são situações em que ocorreram fenômenos meteorológicos ou tempo significativo sobre o centro-sul do Brasil. Procura-se enfatizar as diferenças entre as previsões de variáveis simples e derivadas para a região extratropical da América do Sul. Para isso utiliza-se de métodos estatísticos simples e comparações visuais entre campos previstos e analisados.

No Capítulo 5 faz-se as discussões finais enfatizando o comportamento dos diagnósticos de variáveis simples e derivadas para cada caso estudado. Posteriormente apresenta-se as referências bibliográficas e os Apêndices A e B. No Apêndice A apresenta-se o cálculo no GrADS do coeficiente de correlação, erro quadrático médio e desvio padrão. O Apêndice B contém o programa em "fortran" utilizado para calcular o campo de climatologia diária.

CAPÍTULO 2

ESTATÍSTICAS DE DESEMPENHO DAS PREVISÕES

Este Capítulo destina-se a apresentar as expressões matemáticas dos métodos estatísticos utilizados para avaliar o desempenho das previsões do modelo global do CPTEC/COLA. Mostra-se as expressões analíticas e as expressões discretas correspondentes ao coeficiente de correlação entre campos previstos e analisados, erro quadrático médio das previsões e desvio padrão das análises e previsões. Também demonstra-se matematicamente, para alguns casos simples e hipotéticos, as correlações entre variáveis simples e entre variáveis derivadas.

2.1 - Expressões Analíticas

A covariância (CV) entre duas variáveis $X(\lambda)$ e $Y(\lambda)$ definidas no intervalo $0 \leq \lambda \leq 2\pi$ é dada por

$$CV = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} X' Y' d\lambda \quad (2.1)$$

onde $X' = X - \bar{X}$ e $Y' = Y - \bar{Y}$ são os desvios e $\bar{X}$ e $\bar{Y}$ são as médias.

O desvio padrão de X e Y são respectivamente

$$\sigma_x = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} X'^2 d\lambda \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\sigma_y = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Y'^2 d\lambda \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

O coeficiente de correlação (CC) é dado por

$$CC = \frac{CV}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} X' Y' d\lambda}{\left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} X'^2 d\lambda \right)^{1/2} \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Y'^2 d\lambda \right)^{1/2}} \quad (2.4)$$

Se X representa a análise e Y a previsão de uma variável meteorológica, a Expressão matemática do erro quadrático médio (eqm) da previsão é dada por

$$eqm = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (X' - Y')^2 d\lambda \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

2.2 - Expressões Discretas

Quando os valores numéricos das variáveis são disponíveis apenas em alguns pontos discretos regularmente espaçados, o coeficiente de correlação (CC_d) é dado pela Expressão

$$CC_d = \frac{\sum_{i=1}^N X_i' Y_i'}{\left[\left(\sum_{i=1}^N X_i'^2 \right) \left(\sum_{i=1}^N Y_i'^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (2.6)$$

onde N é o tamanho da amostra. No caso de uma grade regular de m pontos no leste/oeste por n pontos no norte/sul, $N = m \times n$.

A Expressão discreta do erro quadrático médio (eqm_d) é

$$eqm_d = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i' - Y_i')^2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

As expressões discretas do desvio padrão da análise (σ_{x_d}) e previsão (σ_{y_d}) são, respectivamente

$$\sigma_{x_d} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i'^2) \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

$$\sigma_{y_d} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i'^2) \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

2.3 - Coeficiente de Correlação de Variáveis Derivadas

Faz-se uma comparação matemática, para casos simples e hipotéticos, de correlações entre análise e

previsão de uma variável simples, assim como as correlações entre análise e previsão de variáveis derivadas. Nessa demonstração verifica-se que para muitos casos a correlação entre a análise e a previsão de uma variável simples qualquer é diferente da correlação entre a análise e a previsão de sua derivada. Como exemplo, podemos considerar o vento como uma variável simples e a divergência como uma variável derivada desta variável.

i) Caso 1

Seja X a variável analisada (V_A) e Y a variável prevista (V_P) e considere que V_A e V_P são compostas de uma única onda senoidal, com $\bar{V}_A = 0$ e $\bar{V}_P = 0$, ou seja, $V'_A = V_A$ e $V'_P = V_P$. Assim

$$V_A = a \operatorname{sen} n \lambda$$

$$V_P = b \operatorname{sen} n (\lambda + \varepsilon)$$

onde a e b são as amplitudes das ondas V_A e V_P , respectivamente, n é o número de onda, λ é a longitude e ε é a defasagem da onda prevista em relação a onda analisada (ver Figura 2.1).

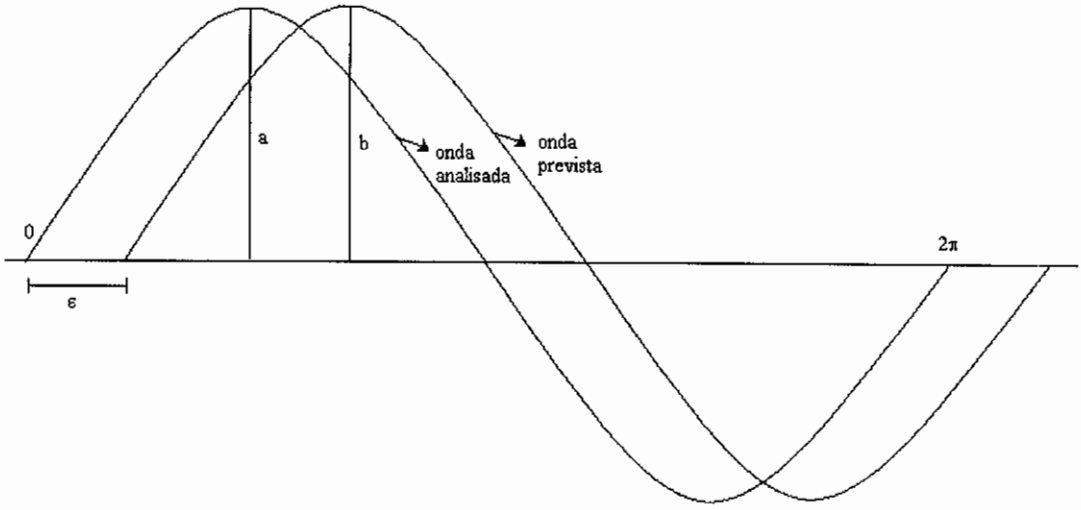


Fig. 2.1 - Esboço das ondas analisada e prevista, com $n=1$.

A partir da Expressão 2.1, a covariância entre V_A e V_P torna-se

$$CV = \frac{1}{2} a b \cos n \epsilon \quad (2.10)$$

Tomando as derivadas de V_A e V_P , obtém-se

$$V_A^\lambda = a n \cos n \lambda$$

$$V_P^\lambda = b n \cos n (\lambda + \epsilon)$$

$$\text{sendo } V_A^\lambda = \frac{dV_A}{d\lambda} \text{ e } V_P^\lambda = \frac{dV_P}{d\lambda}.$$

Usando a definição dada em 2.1 calcula-se a covariância das variáveis derivadas V_A^λ e V_P^λ e obtém-se

$$CV^\lambda = \frac{1}{2} a b n^2 \cos n \varepsilon \quad (2.11)$$

O desvio padrão das variáveis analisada e prevista e de suas derivadas são dados por

$$\sigma_{V_A} = \frac{a}{\sqrt{2}} \quad ; \quad \sigma_{V_P} = \frac{b}{\sqrt{2}} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{V_A^\lambda} = \frac{a n}{\sqrt{2}} \quad ; \quad \sigma_{V_P^\lambda} = \frac{b n}{\sqrt{2}} \quad (2.13)$$

Usando os resultados de (2.10) e (2.12) obtém-se a correlação entre as variáveis analisada e prevista, dada por

$$CC = \cos n \varepsilon \quad (2.14)$$

e com os resultados de (2.11) e (2.13) obtém-se a correlação entre as variáveis derivadas analisada e prevista, dada por

$$CC^\lambda = \cos n \varepsilon \quad (2.15)$$

Assim verifica-se que, quando as variáveis correlacionadas são compostas de uma única onda n , a correlação entre as variáveis analisada e prevista (CC) e a correlação entre as variáveis derivadas analisada e prevista (CC^λ) são iguais.

É importante lembrar que, para

$$\begin{aligned} n\epsilon = 180^\circ &\Rightarrow CC = CC^\lambda = -\cos n\epsilon = -1 && (\text{correlação inversa}) \\ n\epsilon = 90^\circ \text{ ou } 270^\circ &\Rightarrow CC = CC^\lambda = 0 && (\text{correlação nula}) \\ n\epsilon = 0, 2\pi &\Rightarrow CC = CC^\lambda = 1 && (\text{correlação perfeita}) \end{aligned}$$

Os resultados obtidos acima são válidos tanto para ondas de amplitudes iguais ($a = b$) como para ondas de amplitudes diferentes ($a \neq b$).

ii) Caso 2

Quando as variáveis analisada e prevista são compostas de ondas com número de onda diferentes ($n \neq m$) da seguinte forma

$$V_A = a \sin n\lambda$$

$$V_P = b \sin m\lambda$$

sendo suas derivadas dadas por

$$V_A^\lambda = an \cos n\lambda$$

$$V_P^\lambda = bm \cos m\lambda$$

as correlações são nulas, com $CC = CC^\lambda = 0$.

Isso demonstra que o campo previsto deve, pelo menos, indicar o mesmo número de onda que o campo analisado para que estes tenham alguma correlação.

iii) Caso 3

Supondo-se agora que as variáveis a serem correlacionadas sejam compostas de duas ondas diferentes, tem-se

$$V_A = a_m \sin m \lambda + a_n \sin n \lambda$$

$$V_P = b_m \sin m (\lambda + \epsilon_m) + b_n \sin n (\lambda + \epsilon_n),$$

suas derivadas são

$$V_A^\lambda = m a_m \cos m \lambda + n a_n \cos n \lambda$$

$$V_P^\lambda = m b_m \cos m (\lambda + \epsilon_m) + n b_n \cos n (\lambda + \epsilon_n)$$

As covariâncias de V_A e V_P e de suas derivadas são, respectivamente

$$CV = \frac{1}{2} (a_m b_m \cos m \epsilon_m + a_n b_n \cos n \epsilon_n) \quad (2.16)$$

$$CV^\lambda = \frac{1}{2} (m^2 a_m b_m \cos m \epsilon_m + n^2 a_n b_n \cos n \epsilon_n) \quad (2.17)$$

O desvio padrão de V_A , V_P , V_A^λ e V_P^λ são, respectivamente

$$\sigma_{V_A} = \left(\frac{a_m^2 + a_n^2}{2} \right)^{1/2} ; \quad \sigma_{V_P} = \left(\frac{b_m^2 + b_n^2}{2} \right)^{1/2} \quad (2.18)$$

$$\sigma_{v_A^\lambda} = \left(\frac{m^2 a_m^2 + n^2 a_n^2}{2} \right)^{1/2} ; \quad \sigma_{v_P^\lambda} = \left(\frac{m^2 b_m^2 + n^2 b_n^2}{2} \right)^{1/2} \quad (2.19)$$

Usando os resultados (2.16) e (2.18) obtém-se a correlação entre as variáveis analisada e prevista, dada por

$$CC = \frac{a_m b_m \cos m \varepsilon_m + a_n b_n \cos n \varepsilon_n}{(a_m^2 + a_n^2)^{1/2} (b_m^2 + b_n^2)^{1/2}} \quad (2.20)$$

e com os resultados (2.17) e (2.19) obtém-se a correlação entre as variáveis derivadas analisada e prevista, dada por

$$CC^\lambda = \frac{m^2 a_m b_m \cos m \varepsilon_m + n^2 a_n b_n \cos n \varepsilon_n}{(m^2 a_m^2 + n^2 a_n^2)^{1/2} (m^2 b_m^2 + n^2 b_n^2)^{1/2}} \quad (2.21)$$

Portanto, quando as variáveis correlacionadas são compostas de duas (ou mais) ondas com números de onda m e n distintas, a correlação entre as variáveis analisada e prevista é diferente da correlação entre as suas derivadas, ou seja, $CC \neq CC^\lambda$. Para o caso de $m = n$ ou $m \approx n$, volta-se ao caso 1 onde as variáveis são compostas de uma única onda, fazendo com que as correlações sejam iguais ou próximas ($CC = CC^\lambda$ ou $CC \approx CC^\lambda$).

iv) Caso 4

Com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados obtidos em 2.20 e 2.21 considere-se que as

amplitudes das ondas são todas iguais e unitárias, $a_m = a_n = b_m = b_n = 1$. Nesse caso obtém-se

$$CC = \frac{\cos m\epsilon_m + \cos n\epsilon_n}{2} \quad (2.22)$$

$$CC^\lambda = \frac{m^2 \cos m\epsilon_m + n^2 \cos n\epsilon_n}{m^2 + n^2} \quad (2.23)$$

Para apreciar a diferença entre 2.22 e 2.23 considere o exemplo de $n = 4m$. Tem-se

$$CC = \frac{\cos m\epsilon_m + \cos 4m\epsilon_n}{2} \quad (2.24)$$

$$CC^\lambda = \frac{\cos m\epsilon_m + 16 \cos 4m\epsilon_n}{17} \quad (2.25)$$

É fácil notar, através dos resultados 2.24 e 2.25, que na CC^λ o que domina é a onda curta (isto é, onda número $4m$), entretanto na CC as duas ondas contribuem com pesos iguais. Assim, qualquer erro que ocorra nas previsões de ondas curtas ($\cos 4m\epsilon_n$) será mais sensível aos resultados de correlação entre variáveis derivadas do que entre variáveis simples. O erro ocorrido nas ondas curtas será mais prejudicial as previsões de variáveis derivadas.

Lembrando que as amplitudes das ondas são todas iguais, ressalta-se que as ondas curtas são importantes quando tem amplitude significativa e o erro da fase das ondas são relativamente pequenos.

CAPÍTULO 3

MODELO GLOBAL, VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA TESTES DE DESEMPENHO E METODOLOGIA

Neste Capítulo demonstra-se sucintamente a estrutura do modelo global do CPTEC/COLA e apresenta-se as expressões matemáticas das variáveis simples e derivadas utilizadas para teste de desempenho das previsões do modelo. Indica-se qual região e nível atmosférico as variáveis derivadas são mais úteis, assim como as ordens de magnitude típicas dessas variáveis. O conhecimento das magnitudes típicas é essencial para os meteorologistas operacionais validarem as previsões do modelo. Posteriormente apresenta-se a metodologia utilizada para testar o desempenho das previsões do modelo.

3.1 - Breve Descrição do Modelo Global do CPTEC/COLA

O modelo de circulação geral da atmosfera CPTEC/COLA é uma versão do modelo global americano, conhecido como modelo MRF. Este último, possui uma dinâmica espectral desenvolvida no "National Meteorological Center"¹ (NMC)" e parametrizações físicas, na escala da subgrade, desenvolvida no "Geophysical Fluid Dynamics Laboratory" do "National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)" e na "Princeton University". O modelo do CPTEC/COLA foi

¹ Nome atual: National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

modificado pelo "Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA)", principalmente nos processos de superfície.

As maiores diferenças entre o modelo global do CPTEC/COLA e modelo MRF são percebidas no tratamento da radiação de onda longa, parametrização de cumulus, física da superfície e propagação das ondas de gravidade. Os dois modelos operacionais diferem na resolução horizontal também.

O modelo global do CPTEC/COLA é modularmente codificado de maneira que muitas parametrizações e as resoluções horizontal e vertical, possam ser incluídas, excluídas ou trocadas. Existem também outras flexibilidades nas variáveis diagnosticadas pelo modelo. O modelo global operacional do CPTEC/COLA é T062L28 (utiliza número de onda 62 e possui estrutura vertical com 28 camadas sigma).

As leis físicas básicas que governam os movimentos atmosféricos e o modelo global do CPTEC/COLA são conservação de massa (ar seco e úmido tratados separadamente), energia e momentum angular. As equações principais são: equação do movimento, equação da continuidade para o ar seco e vapor d'água e a primeira lei da termodinâmica. A equação da componente vertical da velocidade é substituída por uma relação diagnostica que supõe, para as escalas espacial e temporal de interesse, movimentos em equilíbrio hidrostático.

As principais variáveis que são prognosticadas pelo modelo são pressão na superfície, vorticidade, divergência, temperatura virtual e umidade específica. As

componentes zonal e meridional do vento são obtidas a partir da divergência e vorticidade. Maiores detalhes podem ser encontrados em NMC (1988) e Fennessy et al. (1990).

3.2 - Variáveis Meteorológicas Utilizadas nos Testes de Desempenho do Modelo

A seguir apresenta-se as expressões matemáticas das variáveis simples e derivadas utilizadas para testes de desempenho no Capítulo posterior. Denomina-se variável simples àquela que é obtida diretamente pelo modelo global². A variável derivada é obtida, através de alguma operação matemática, a partir de uma ou mais variáveis simples.

3.2.1 - Variáveis Simples

As variáveis simples utilizadas para teste de desempenho do modelo global do CPTEC/COLA são altura geopotencial (Z), temperatura virtual (T_v), ventos zonal (u) e meridional (v) e umidade específica (q).

A variação do geopotencial com respeito a pressão depende somente da temperatura (Holton, 1992). A equação para altura geopotencial é dada por

$$Z(p) = \frac{R}{g} \int_{p_0}^p T_v \, d \ln p \quad (3.1)$$

² Exceto a Divergência e Vorticidade, que são obtidas diretamente pelo modelo global do CPTEC/COLA, mas são consideradas variáveis derivadas

onde R é a constante de gás do ar seco, g ($9,80665 \text{ ms}^{-2}$) é a gravidade ao nível médio do mar, T_v é a temperatura virtual, p a pressão e p_0 é a pressão no nível médio do mar, onde a altura (Z) é zero.

Usou-se a relação abaixo da temperatura virtual absoluta (T_v) com a temperatura absoluta do bulbo seco (T) e umidade específica (q):

$$T_v = T + (0,609 \cdot q \cdot T) \quad (3.2)$$

Operacionalmente utiliza-se a temperatura absoluta (T) na prática de previsão de tempo, no entanto, aqui os testes são realizados com a temperatura virtual (T_v) devido ser esta a variável disponível em climatologia.

3.2.2 - Variáveis Derivadas

Neste trabalho os campos de divergência e vorticidade são obtidos diretamente pelo modelo global do CPTEC/COLA e os demais campos derivados são calculados através de comandos internos do "Grid Analysis and Display System" (GrADS), a partir de variáveis simples. A seguir descreve-se o conceito, expressões matemáticas e ordens de magnitudes das variáveis derivadas.

i) Divergência (δ)

Divergência horizontal é a medida da capacidade das parcelas de fluido (atmosfera) afastarem-se uma da outra no plano horizontal. A aproximação das parcelas de fluido é denominada convergência ou divergência negativa.

$$\delta = \nabla \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.3)$$

A divergência é calculada a partir de informações das componentes zonal e meridional do vento (u, v), para qualquer nível. Essa variável é importante na baixa e alta troposfera. Em geral, a média troposfera (exemplo: 500 hPa) apresenta pouca divergência. A ordem de magnitude da divergência horizontal em escala sinótica é 10^{-6} s^{-1} .

O campo de divergência horizontal é útil para diagnosticar as áreas com movimento vertical ascendente ou descendente mais significativo. Se o escoamento, em uma determinada região, apresenta forte convergência em baixos níveis, deduz-se, por continuidade de massa, que esta região deve ter movimento vertical ascendente na média troposfera e uma divergência associada na alta troposfera.

ii) Vorticidade Relativa (ζ)

A componente vertical da vorticidade relativa (ζ) é a medida da rotação das parcelas de fluido (atmosfera) no plano horizontal e é dada por

$$\zeta = \vec{k} \cdot \nabla \times \vec{V} = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.4)$$

O campo de ζ também pode ser calculado em vários níveis da atmosfera. Esta análise pode ser utilizada nos extratrópicos e trópicos para diagnosticar vórtices ciclônicos tropicais, vórtice do Nordeste, alta da Bolívia, ciclogênese, etc. A vorticidade relativa tem ordem de magnitude nos trópicos de 10^{-6} s^{-1} e para latitudes médias 10^{-5} s^{-1} .

O campo de vorticidade relativa é útil na localização de cristas e cavados ou circulações fechadas (ciclônicas e anticiclônicas). Na análise de um campo previsto de vorticidade relativa para o hemisfério sul, sabe-se que vorticidade negativa ($\zeta < 0$) corresponde a um escoamento ciclônico (sistema de baixa pressão) e vorticidade positiva ($\zeta > 0$) indica um escoamento anticiclônico (sistema de alta pressão). No hemisfério norte esta relação torna-se inversa.

iii) Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ)

A espessura ($\Delta Z = Z_2 - Z_1$) entre dois níveis isobáricos p_1 e p_2 é dada pela equação hipsométrica

$$\Delta Z = \frac{R \bar{T}_v}{g} \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.5)$$

onde $\bar{T}_v$ é a temperatura virtual média da camada limitada pelos níveis isobáricos p_1 e p_2 .

De acordo com a Equação 3.5 a espessura é diretamente proporcional a temperatura virtual média da camada. Por exemplo, para um acréscimo de 1°K, a espessura entre 1000 e 500 hPa aumenta em aproximadamente 20 m. Portanto o campo de espessura representa o campo de temperatura virtual média, podendo ser usado na localização de regiões de intensa baroclinia e sistemas frontais. O campo de espessura pode ser analisado em qualquer parte do globo e a espessura nos subtrópicos entre 850 e 500 hPa é de aproximadamente 4.500 m.

iv) Advecção Horizontal (Adv)

Advecção horizontal é a medida da variação de uma grandeza qualquer devido ao efeito do transporte pelo vento horizontal. Nesse trabalho utiliza-se, para teste de desempenho das previsões do modelo, os campos de advecção de temperatura virtual (Adv_T) e advecção de vorticidade relativa (Adv_ζ), dados pelas seguintes expressões:

$$Adv_T = -\vec{V} \cdot \nabla T_v = -\left(u \frac{\partial T_v}{\partial x} + v \frac{\partial T_v}{\partial y}\right) \quad (3.6)$$

$$Adv_\zeta = -\vec{V} \cdot \nabla \zeta = -\left(u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y}\right) \quad (3.7)$$

Para cálculo da advecção de uma dada variável (simples ou derivada) é necessário a disponibilidade das componentes zonal e meridional do vento (u,v) e da própria variável à ser advectada. A advecção pode ser analisada tanto sobre os trópicos como sobre os extratrópicos. Nos

extratropicos, onde a geostrofia domina, a advecção pode ser calculada com o vento geostrofico.

A Adv_T é mais significativa na baixa troposfera, nas zonas frontais, onde o gradiente térmico é mais relevante. Para sistemas sinóticos de latitudes médias a Adv_T é tipicamente de $10^{-4} \text{ }^\circ\text{K s}^{-1}$ ou $10 \text{ }^\circ\text{K dia}^{-1}$. No entanto, muito raramente quando as friagens intensas penetram sobre os trópicos, esse valor pode ocorrer até na região amazônica do Brasil.

A Adv_ζ é mais significativa na média e alta troposfera, onde a velocidade do vento é maior. Para sistemas de escala sinótica, em latitudes médias, a Adv_ζ possui ordem de magnitude de 10^{-10} s^{-2} .

v) Convergência de Fluxo de Umidade (Convq)

A convergência de fluxo de umidade nos baixos níveis é essencial no desenvolvimento de sistemas meteorológicos através do abastecimento de água. Apenas os níveis mais baixos terão efeito significativo nesse processo, pois a quantidade d'água acima de 500 hPa é desprezível em relação a baixa troposfera. Isto ocorre porque a quantidade vapor d'água que uma parcela pode manter é função de sua temperatura.

A convergência de fluxo de umidade por unidade de área é dada por:

$$\text{Convq} = -\nabla \cdot (\vec{V}q) = -\left(\frac{\partial(uq)}{\partial x} + \frac{\partial(vq)}{\partial y} \right) \quad (3.8)$$

onde a umidade específica (q) (aproximadamente igual a razão de mistura) é expressa em KgKg^{-1} .

O jato em baixos níveis que ocorre à leste da Cordilheira dos Andes (Virji, 1981), na América do Sul, é um bom exemplo para que se tenha uma idéia aproximada da magnitude da convergência de umidade. Este jato, que transporta meridionalmente ar úmido proveniente da Amazônia, tem velocidade aproximada de 15 ms^{-1} . Na faixa de $15 - 30^\circ\text{S}$ o jato perde sua intensidade no final de sua trajetória em $30 - 35^\circ\text{S}$. Supondo uma umidade específica de $10^{-2} \text{ KgKg}^{-1}$ para o ar na corrente de jato tem-se que $\text{Convq} \approx 9 \times 10^{-8} \text{ KgKg}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

A convergência de fluxo de umidade é um fator determinante na formação de complexos convectivos de meso escala na região do Paraguai em estações de transição (primavera e outono). Estes sistemas muitas vezes deslocam-se para leste atingindo, com intensa precipitação, a Região Sul do Brasil (Custódio e Herdies, 1994).

Quadro e Abreu (1994) verificaram que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), principal sistema sinótico responsável pela estação chuvosa da Região Sudeste do Brasil, apresenta em média convq de até $6 \times 10^{-8} \text{ KgKg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ no nível de 850 hPa.

vi) Água Precipitável (h)

Água precipitável (h) é a massa total de água por área limitada que seria obtida se todo o vapor d'água de uma coluna atmosférica se condensasse. Água precipitável é

uma variável usada para estimar o vapor d'água total sobre uma região e ela representa a disponibilidade d'água para o processo de precipitação. O valor típico da h em latitudes médias é de aproximadamente 30 mm, sendo que nos subtrópicos varia entre 35 e 40 mm. Na região tropical, por exemplo região Amazônica, este valor pode chegar a 60 mm.

O método para estimativa da h consiste em se integrar a umidade específica (q) com relação a altura. Tomando-se a pressão atmosférica como coordenada vertical, a Expressão matemática para o cálculo da h é dada por

$$h = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_T} q dp \quad (3.9)$$

onde p_s é a pressão na superfície e p_T é a pressão no topo da troposfera (aqui toma-se $p_T = 300$ hPa).

vii) Vetor Q

O método alternativo, para estimativa da velocidade vertical em termos do vetor Q foi desenvolvido por Hoskins et al. (1978) e é dado por

$$N^2 \nabla^2 w + f^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = 2 \nabla \cdot \vec{Q} \quad (3.10)$$

onde N é a frequência de Brunt-Väisällä, w é a velocidade vertical em coordenadas cartesianas, f é o parâmetro de Coriolis constante, z é a altura e $\vec{Q}$ é definido como

$$\vec{Q} = (Q_x, Q_y) = \left(-\frac{R}{p} \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla T_v, -\frac{R}{p} \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla T_v \right) \quad (3.11)$$

onde Q_x e Q_y são as componentes de $\vec{Q}$ nas direções x e y respectivamente, p é a pressão, $\vec{V}_g$ é o vento geostrófico e ∇T_v é o gradiente térmico.

A Expressão 3.10 em coordenadas isobáricas (Holton, 1992) é

$$\sigma^s \nabla^2 \omega + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot \vec{Q} \quad (3.12)$$

O lado esquerdo da Equação 3.12 é proporcional a $-\omega$ (velocidade vertical em coordenadas isobáricas), portanto a divergência de $\vec{Q}$ está associada com subsidência do ar e a convergência com o movimento ascendente. A ordem de magnitude de $\vec{Q}$, para sistemas de escala sinótica em latitudes médias é $10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$.

3.3 - Metodologia Utilizada para Teste de Desempenho do Modelo

As variáveis simples e derivadas descritas na Seção 3.2 são utilizadas para testar o desempenho das previsões do modelo global do CPTEC/COLA. Os testes são simples e efetuados através de cálculos do coeficiente de

correlação, erro quadrático médio e desvio padrão ponderados com a área representada pelo ponto de grade.

Primeiramente calcula-se o coeficiente de correlação ponderada para as variáveis simples e algumas variáveis derivadas e o erro quadrático médio ponderado para as componentes zonal e meridional do vento, em um estudo de caso, com o objetivo de demonstrar as diferenças das previsões realizadas sobre as regiões tropical e extratropical do continente Sul-americano.

Posteriormente calcula-se o coeficiente de correlação, erro quadrático médio e desvio padrão ponderados para três outros estudos de caso, afim de identificar diferenças entre as previsões de campos de variáveis simples e campos de variáveis derivadas. Os testes de desempenho, nesse caso, são efetuados apenas para a região extratropical da América do Sul. Utiliza-se as variáveis simples e derivadas apresentadas nas Seções 3.2.1 e 3.2.2 desse Capítulo. Os testes são realizados utilizando-se os campos anômalos da análise e previsão do modelo global do CPTEC/COLA.

3.3.1 - Estatísticas Ponderadas

As Expressões discretas apresentadas na Seção 2.2 do Capítulo 2, são descritas agora considerando pesos diferentes para os quadrículos dos campos analisados e previstos. Esses quadrículos diminuem sua extensão em direção aos pólos, devido a curvatura da terra. Assim o cálculo do coeficiente de correlação (cor) realizado no GrADS é dado por

$$\text{cor} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i Y_i) \cdot P_i}{\left[\left(\sum_{i=1}^N X_i^2 \cdot P_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Y_i^2 \cdot P_i \right) \right]^{1/2}} \quad (3.13)$$

onde $P_i = \frac{a_i}{A}$ é o peso proporcional à área (a_i) representada pelo i -ésimo ponto. A letra A representa a área total.

A Expressão do erro quadrático médio (rms) calculada no GrADS é

$$\text{rms} = \left[\sum_{i=1}^N (X_i' - Y_i')^2 \cdot P_i \right]^{1/2} \quad (3.14)$$

As Expressões do desvio padrão da análise ($\sigma(x)$) e previsão ($\sigma(y)$) calculada no GrADS são, respectivamente

$$\sigma(x) = \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \cdot P_i \right]^{1/2} \quad (3.15)$$

$$\sigma(y) = \left[\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \cdot P_i \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

O "script" do GrADS utilizado para calcular as expressões dadas acima é mostrado no apêndice A.

3.3.2 - Obtenção dos Campos Anômalos

A correlação entre campos de análise e previsão muitas vezes apresenta ótimos resultados, principalmente

para as previsões com 24 e 48 horas de antecedência. Com a finalidade de descobrir qual o real desempenho das previsões, em termos de anomalia, os testes de desempenho são aplicados usando os campos de análise e previsão anômalos. O rms das previsões não apresenta valores diferentes quando utiliza-se campos de análise e previsão anômalos.

Os campos anômalos analisados e previstos são obtidos através da subtração da análise/previsão pelo campo de climatologia diária, da seguinte forma

$$C_A = C - C_C$$

onde, C_A é o campo anômalo, C é o campo analisado ou previsto e C_C é o campo de climatologia diária, a qual é obtida pela interpolação linear dos campos climatológicos mensais, através de um programa fortran, apresentado no apêndice B. Posteriormente todos os testes de desempenho são feitos com os campos anômalos de previsão e análise.

Para calcular a climatologia do dia 06 de maio, por exemplo, considera-se a climatologia do mês de abril como sendo a climatologia do dia 15 de abril (V''') e a climatologia do mês de maio como sendo a climatologia do dia 15 de maio (V'). Interpola-se linearmente para o dia 06 de maio, conforme Figura 3.1, e obtém-se a climatologia diária (V'') desse dia. As climatologias do vento, temperatura virtual e geopotencial são obtidas pela média de 30 anos (1961 - 90) de dados do NCEP, enquanto que a climatologia da umidade específica é obtida a partir de uma média de 13 anos (1982 - 94) dos dados de reanálise do

NCEP. Esta última é menor devido a indisponibilidade dessa variável em uma sequência maior de dados.

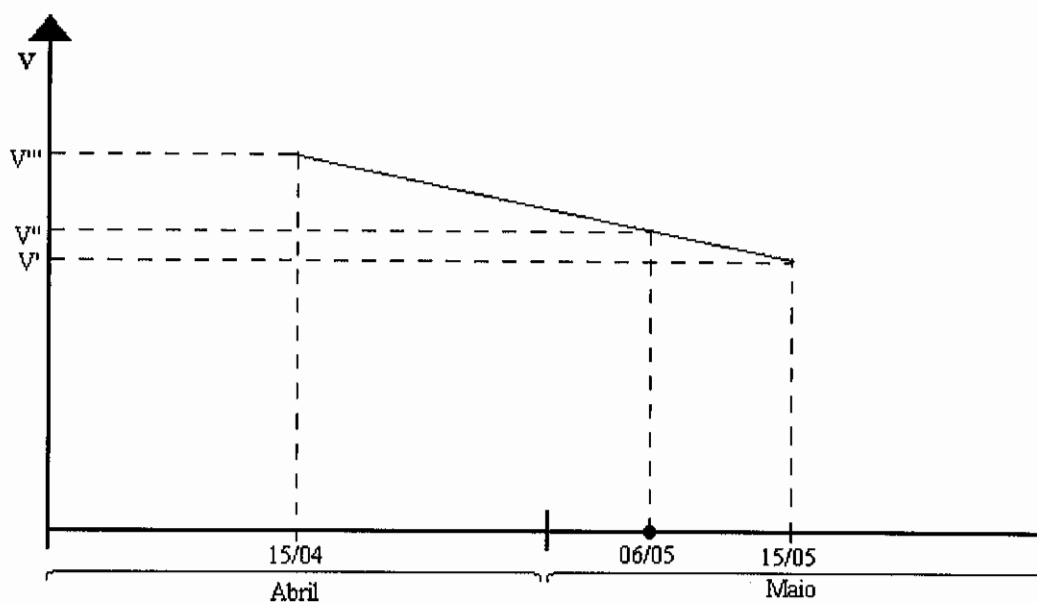


Fig. 3.1 - Esquema de interpolação linear para cálculo da climatologia diária a partir da climatologia mensal.

3.3.3 - Critérios para Teste de Desempenho

Considera-se que a previsão é adequada quando o valor do desvio padrão da anomalia da análise ($\sigma(x)$) está próximo do valor do desvio padrão da anomalia da previsão ($\sigma(y)$). A proximidade desses dois parâmetros não existe quando o valor do desvio padrão de um campo é o dobro ou mais do valor do desvio padrão do outro campo. Verifica-se depois, se o erro quadrático médio da previsão (rms) é menor ou próximo do desvio padrão da anomalia da previsão ($\sigma(x)$) e, por fim, se o coeficiente de correlação (cor) entre

os campos anômalos analisados e previstos é igual ou maior que 0.6. Assim, os critérios para validar a previsão são os seguintes:

- a) $\sigma(x) \approx \sigma(y)$
- b) $\text{rms} < \text{ou} \approx \sigma(y)$
- c) $\text{cor} > \text{ou} = 0.6$

Estes critérios são adotados para testar o desempenho do modelo em três estudos de caso na Seção 4.2 do Capítulo 4. Assim, espera-se identificar características diferentes nas previsões de variáveis simples e derivadas.

Define-se previsibilidade como o prazo máximo em que o cor é maior ou igual a 0.6 entre o campo de análise e o campo previsto pelo modelo da variável considerada. Isto é, a previsibilidade do modelo varia de uma variável meteorológica para outra.

CAPÍTULO 4

TESTE DE DESEMPENHO DO MODELO GLOBAL DO CPTEC/COLA

Apresenta-se o desempenho das previsões do modelo global do CPTEC/COLA aplicando métodos estatísticos em quatro estudos de caso.

O primeiro caso é uma situação em que não houve fenômeno meteorológico extremo ou tempo significativo sobre o Brasil. Através de cálculos do coeficiente de correlação (cor) e erro quadrático médio (rms) identifica-se, para algumas variáveis simples e derivadas, diferenças nas previsões efetuadas para duas regiões distintas do continente Sul-americano, trópicos e extratropicais.

Os outros três casos estudados são situações extremas de fenômenos meteorológicos, nas quais verificou-se a ocorrência de tempo significativo no centro-sul do Brasil. Para esses casos utiliza-se, além do cor e rms , o cálculo do desvio padrão (σ) das anomalias das previsões e análises. Essa Seção tem como prioridade identificar diferenças entre as previsões de variáveis simples e derivadas, para a região extratropical da América do Sul.

4.1 - Diferenças nas Previsões para Trópicos e Extratrópicos (Estudo de Caso 1)

Sobre a América do Sul atuam tanto sistemas meteorológicos de características tropicais como extratropicais (Climanálise, 1986). No Brasil observa-se sistemas tropicais, como linhas de instabilidade e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT determina a estação chuvosa do norte do Nordeste e contribui com uma grande parte das chuvas sobre o setor norte da Região Norte. Os vórtices ciclônicos de altos níveis inibem a precipitação sobre boa parte da Região Nordeste durante os meses de verão. Sistemas frontais e ciclones de latitudes médias são exemplos de sistemas de características extratropicais que atuam principalmente sobre o centro-sul do Brasil, causando fenômenos extremos como intensa precipitação, declínio significativo de temperatura, formação de geada ou ocorrência de neve.

O desempenho do modelo global do CPTEC/COLA é testado para diferentes regiões do continente Sul-americano. Para fins desse estudo denomina-se região extratropical a área compreendida entre as latitudes de 55°S e 15°S e entre as longitudes de 90°W e 20°, mesmo sabendo que estes limites também incluem a região subtropical. A região tropical é limitada pelas latitudes 15°S e 15°N e longitudes 90°W e 20°W (Figura 4.1), sendo que esta inclui parte da América Central também. A região extratropical possui área maior que a região tropical e, conseqüentemente, maior número de pontos de grade, que corresponde ao tamanho da amostra nas estatísticas. Assim, os resultados obtidos pelos métodos estatísticos devem

possuir maior significância para a região extratropical do que para a região tropical. No entanto, isso não deve prejudicar os resultados em termos de comparação das duas regiões, já que estas não são correlacionadas uma com a outra.

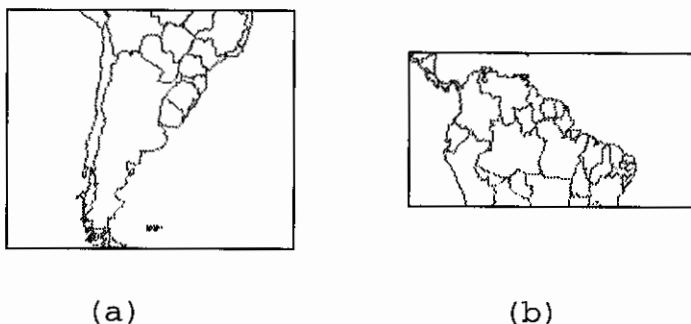


Fig. 4.1 - Regiões extratropical (a) e tropical (b) do continente Sul-americano.

Os cálculos do cor são aplicados para campos de anomalia da análise e anomalia da previsão. O rms é o erro quadrático médio das previsões em relação aos campos analisados.

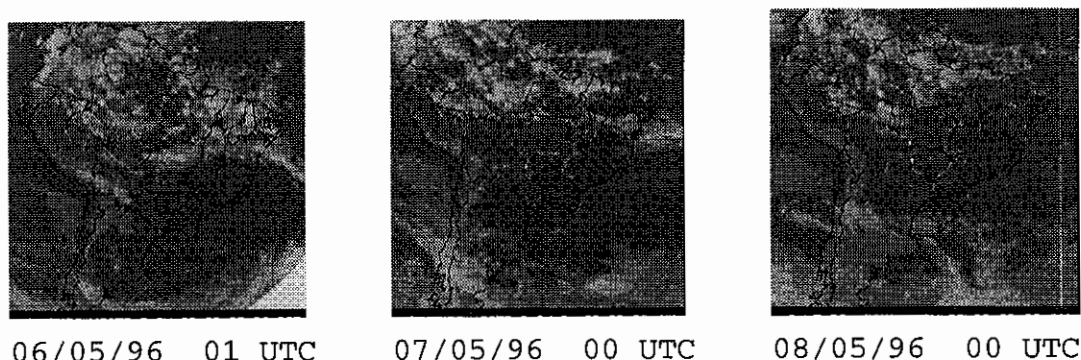
Embora utilize-se apenas um estudo de caso (previsão para três dias), é possível se ter uma idéia de como as previsões do modelo global do CPTEC/COLA apresentam-se com resultados diferentes sobre as regiões tropical e extratropical.

Estudo de Caso 1 - Sem Situação Extrema

Durante os dias 06, 07 e 08 de maio de 1996, não ocorreu tempo significativo como precipitação intensa sobre

a região tropical ou formação de geada sobre a região extratropical. Escolheu-se um caso assim para que os campos de análise e previsão apresentem pouca anomalia. Uma forte anomalia na região extratropical e situação próxima da média climatológica na região tropical, poderia atrapalhar as comparações do desempenho do modelo para essas duas regiões.

De acordo com a Figura 4.2 observou-se que no dia 06 de maio de 1996 à 01 UTC, um sistema frontal deslocava-se sobre o Oceano Atlântico, na altura do litoral norte baiano. Este sistema estimulou a formação de nebulosidade sobre a Região Nordeste. Às 00 UTC do dia 07 de maio notou-se um novo sistema frontal que passava pela Cordilheira dos Andes no sul da Argentina. Este segundo sistema atingiu o extremo sul do Brasil às 00 UTC do dia 08 de maio.



06/05/96 01 UTC

07/05/96 00 UTC

08/05/96 00 UTC

Fig. 4.2 - Seqüência de imagens GOES-8 dos dias 06, 07 e 08/05/96 (caso 1).

Nas tabelas a seguir a região tropical é representada pelas letras TR e a região extratropical é representada pelas letras EX. Os pares de números

(correlações para TR e EX) destacados em cinza indicam as previsões que a região TR apresentou maiores valores de cor (melhores resultados) que a região EX.

A Tabela 4.1 mostra os valores de cor para as previsões, com até 144 horas de antecedência para os dias 06, 07 e 08 de maio de 1996, das variáveis simples, Z , T_v , u , v e q em alguns níveis da baixa (850 e 700 hPa), média (500 hPa) e alta (200 hPa) troposfera. De acordo com essa tabela, até 72 horas de antecedência, apenas o vento zonal e umidade específica apresentaram, em algumas vezes, previsão melhor para os trópicos do que para os extratropicos. Após 96 horas de antecedência, aumenta o número de pares destacados em cinza. Ressalta-se que na maioria das vezes em que a previsão foi melhor para os trópicos, os valores de cor ficaram abaixo de 0.6, indicando a inutilidade das previsões para ambas as regiões, segundo o critério de validação "c" apresentado na Seção 3.3.3.

TABELA 4.1 - VALORES DO cor ENTRE ANOMALIAS DE PREVISÕES E
ANÁLISE PARA VARIÁVEIS SIMPLES

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Altura Geopotencial (Z)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.420	0.933	0.193	0.876	-0.03	0.870	0.342	0.766	0.360	0.769	0.227	0.409
	07/05	0.279	0.941	0.246	0.812	0.278	0.703	0.257	0.714	0.369	0.704	0.620	0.322
	08/05	0.512	0.959	0.138	0.909	0.106	0.684	0.387	0.304	0.485	0.578	0.493	0.448
500	06/05	0.808	0.985	0.527	0.942	0.614	0.930	0.540	0.751	0.767	0.667	0.545	0.519
	07/05	0.696	0.974	0.715	0.936	0.757	0.888	0.789	0.878	0.849	0.796	0.763	0.740
	08/05	0.707	0.952	0.391	0.880	0.457	0.665	0.733	0.497	0.565	0.795	0.584	0.546

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Temperatura Virtual (T_v)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.668	0.922	0.421	0.872	0.143	0.856	0.319	0.774	0.344	0.602	0.334	0.646
	07/05	0.688	0.962	0.517	0.925	0.345	0.875	0.351	0.864	0.442	0.589	0.376	0.21
	08/05	0.660	0.915	0.500	0.873	0.534	0.719	0.594	0.581	0.681	0.744	0.667	0.207
700	06/05	0.658	0.928	0.501	0.822	0.063	0.859	-0.06	0.650	0.087	0.037	0.093	0.594
	07/05	0.413	0.951	0.329	0.905	0.200	0.835	0.270	0.772	0.198	0.701	0.212	-0.03
	08/05	0.697	0.929	0.511	0.811	0.351	0.579	0.247	0.322	0.265	0.589	0.168	0.284

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Vento Zonal (u)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.718	0.806	0.690	0.646	0.586	0.565	0.339	0.430	0.130	0.145	0.115	0.305
	07/05	0.654	0.791	0.691	0.651	0.487	0.405	0.319	0.466	0.303	0.593	0.227	0.296
	08/05	0.399	0.846	0.268	0.704	0.258	0.438	0.296	-0.06	0.237	0.383	0.141	0.396
500	06/05	0.915	0.939	0.857	0.858	0.727	0.796	0.923	0.599	0.582	0.312	0.463	0.644
	07/05	0.901	0.882	0.837	0.767	0.781	0.577	0.629	0.658	0.631	0.806	0.373	0.261
	08/05	0.895	0.896	0.758	0.757	0.737	0.548	0.721	0.204	0.383	0.578	0.564	0.521
200	06/05	0.837	0.964	0.723	0.937	0.362	0.918	0.390	0.758	0.465	0.586	0.450	0.727
	07/05	0.869	0.923	0.596	0.788	0.359	0.757	0.132	0.748	0.090	0.702	0.257	0.462
	08/05	0.766	0.946	0.540	0.845	0.487	0.773	0.289	0.667	0.007	0.664	0.036	0.594

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Vento Meridional (v)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.632	0.892	0.552	0.766	0.392	0.792	0.327	0.668	0.217	0.236	0.248	0.583
	07/05	0.619	0.903	0.450	0.804	0.438	0.632	0.448	0.586	0.459	0.500	0.342	0.168
	08/05	0.505	0.870	0.549	0.822	0.352	0.588	0.368	0.302	0.316	0.599	0.254	0.335
500	06/05	0.818	0.969	0.514	0.909	0.533	0.911	0.342	0.821	0.332	0.211	0.365	0.737
	07/05	0.612	0.953	0.584	0.885	0.585	0.724	0.269	0.757	0.183	0.602	0.181	0.100
	08/05	0.726	0.907	0.397	0.832	0.357	0.459	0.272	0.413	0.123	0.666	0.050	0.313
200	06/05	0.901	0.971	0.815	0.942	0.764	0.907	0.661	0.882	0.581	0.433	0.279	0.792
	07/05	0.886	0.943	0.764	0.873	0.742	0.785	0.676	0.801	0.743	0.729	0.602	0.334
	08/05	0.825	0.963	0.654	0.879	0.577	0.715	0.564	0.630	0.431	0.603	0.486	0.532

TABELA 4.1 - Continuação

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Umidade Específica (g)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.745	0.787	0.449	0.706	0.357	0.583	0.249	0.405	0.050	0.161	0.065	0.405
	07/05	0.622	0.574	0.554	0.418	0.477	0.356	0.394	0.437	0.289	0.278	0.115	0.124
	08/05	0.688	0.835	0.540	0.565	0.396	0.295	0.329	0.013	0.200	0.183	0.096	0.069
700	06/05	0.740	0.865	0.599	0.700	0.463	0.579	0.137	0.511	-0.09	0.269	-0.04	0.292
	07/05	0.859	0.763	0.559	0.643	0.330	0.470	0.209	0.545	0.065	0.459	-0.09	0.224
	08/05	0.742	0.868	0.555	0.496	0.378	0.328	0.327	0.269	0.149	0.255	0.221	0.242

A Tabela 4.2 mostra os valores de cor para as variáveis derivadas, Adv_T , $Conv_q$ em 850 e 700 hPa, ΔZ (1000 e 500 hPa), ΔZ (1000 e 700 hPa) e água precipitável. Examinando a tabela, nota-se que o único campo de variável derivada melhor previsto para os trópicos foi o campo de convergência de fluxo de umidade. Ressalta-se que foram poucos os casos (somente nas previsões de 24 horas) em que as previsões de convergência de fluxo de umidade indicaram $cor \geq 0.6$, valores estes que tornam as previsões úteis, segundo os critérios adotados. As previsões de advecção de temperatura virtual e espessura da camada mostraram, claramente, que os melhores resultados foram obtidos para região extratropical, principalmente até 72 horas. O campo de água precipitável também foi melhor previsto sobre a área extratropical, embora os valores de cor para as duas regiões não tenham apresentado grandes diferenças.

**TABELA 4.2 - VALORES DE cor ENTRE ANOMALIAS DE PREVISÕES E
ANÁLISE PARA VARIÁVEIS DERIVADAS**

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.623	0.872	0.505	0.674	0.369	0.766	0.366	0.553	0.242	0.109	0.344	0.466
	07/05	0.604	0.885	0.454	0.751	0.255	0.512	0.238	0.472	0.286	0.372	0.298	0.372
	08/05	0.586	0.894	0.450	0.817	0.291	0.567	0.236	0.222	0.377	0.501	0.334	0.276
700	06/05	0.637	0.925	0.497	0.804	0.375	0.851	0.142	0.683	0.143	0.148	0.166	0.569
	07/05	0.656	0.930	0.423	0.801	0.231	0.636	0.108	0.623	0.025	0.505	-0.01	0.225
	08/05	0.636	0.894	0.480	0.816	0.157	0.657	0.298	0.439	0.328	0.574	0.296	0.393

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Convergência de Fluxo de Umidade (Convq)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	0.660	0.514	0.493	0.336	0.389	0.271	0.376	0.240	0.111	0.296	0.288	0.218
	07/05	0.521	0.481	0.484	0.387	0.370	0.335	0.268	0.257	0.262	0.238	0.201	0.181
	08/05	0.639	0.521	0.443	0.697	0.212	0.295	0.079	0.318	0.141	0.163	0.230	0.196
700	06/05	0.720	0.459	0.489	0.251	0.463	0.143	0.092	0.198	-0.01	0.236	0.015	0.149
	07/05	0.598	0.499	0.279	0.335	0.148	0.208	0.403	0.083	0.214	0.200	0.214	0.220
	08/05	0.661	0.468	0.346	0.308	-0.05	0.013	0.072	0.043	-0.03	0.105	0.070	0.180

Camada Atm. (hPa)	Dia da Análise	Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
1000 e 500	06/05	0.832	0.953	0.647	0.902	0.544	0.908	0.596	0.684	0.615	0.604	0.475	0.660
	07/05	0.782	0.972	0.610	0.945	0.649	0.878	0.616	0.859	0.615	0.707	0.471	0.712
	08/05	0.779	0.946	0.576	0.900	0.620	0.737	0.671	0.341	0.633	0.750	0.616	0.326
1000 e 700	06/05	0.708	0.946	0.489	0.904	0.205	0.909	0.356	0.787	0.456	0.02	0.422	0.656
	07/05	0.737	0.973	0.528	0.934	0.433	0.880	0.361	0.874	0.455	0.652	0.460	0.70
	08/05	0.655	0.932	0.455	0.887	0.539	0.695	0.604	0.478	0.617	0.742	0.635	0.202

Camada Atm. (hPa)	Dia da Análise	Água Precipitável (h)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
1000 e 300	06/05	0.900	0.925	0.798	0.859	0.704	0.780	0.512	0.706	0.341	0.541	0.416	0.613
	07/05	0.985	0.890	0.797	0.821	0.709	0.775	0.597	0.786	0.489	0.729	0.395	0.530
	08/05	0.906	0.941	0.841	0.830	0.680	0.718	0.678	0.599	0.534	0.656	0.537	0.577

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram o cor médio entre as anomalias de previsões e análises, dos dias 06, 07 e 08/05, da altura geopotencial nos baixos e médios níveis da troposfera. Nota-se que nos extratropicais o cor diminui gradativamente conforme aumenta o prazo de previsão, entretanto nos trópicos este parâmetro diminui até 48 e 72 horas e aumenta depois. A aparente melhora do cor para os trópicos a partir de 48 e 72 horas, se deve à pouca

variabilidade espacial da variável nos trópicos e à falta de dados observacionais nessa região. Na ausência de dados observacionais, o campo de "first guess" prevalece e a análise e previsão do modelo são parecidos, resultando em uma boa correlação entre eles. Essa situação cria uma falsa impressão de que para prazos superiores a 48 e 72 horas o modelo prevê melhor nos trópicos que nos extratropicos. Os meteorologistas operacionais precisam estar cientes dessas limitações, para poder interpretar corretamente os campos meteorológicos gerados pelos modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT).

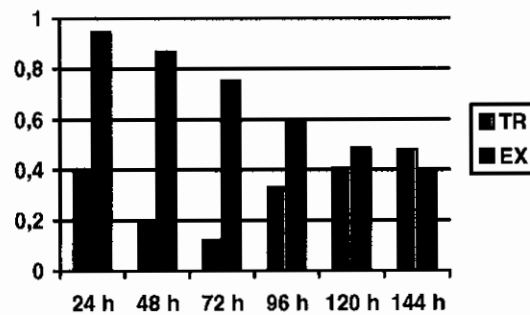


Fig. 4.3 - Valores médio do cor (dias 06, 07 e 08/05) da altura geopotencial em 850 hPa

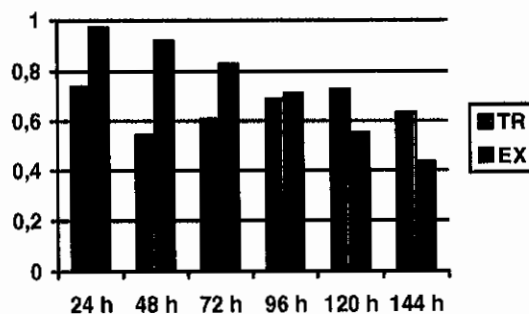


Fig. 4.4 - Valores médio do cor (dias 06, 07 e 08/05) da altura geopotencial em 500 hPa

Os resultados do rms para as componentes zonal e meridional do vento (Tabela 4.3) nos níveis de 850, 700, 500 e 200 hPa indicam que, na grande maioria dos casos, a previsão realizada para os extratropicos tem maior erro quadrático médio, em relação ao erro quadrático médio das previsões realizadas para os trópicos. Isso se deve a maior variabilidade espacial natural nos extratropicos. Apenas nos altos níveis e, principalmente nas previsões do vento zonal, observou-se situação inversa. É importante notar que o rms das previsões de ventos aumentam, em geral, com o prazo de previsão tanto nos trópicos como nos extratropicos e são maiores nos altos níveis onde essa variável é mais forte.

**TABELA 4.3 - VALORES DO rms DAS PREVISÕES DE VARIÁVEIS
SIMPLES**

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Vento Zonal - ms ⁻¹ (u)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	2.56	3.02	3.17	4.14	3.37	4.80	4.30	5.92	5.47	8.54	5.58	6.94
	07/05	2.92	2.84	2.76	3.60	4.02	4.89	4.50	4.60	4.88	4.84	4.71	6.35
	08/05	3.34	3.11	3.83	4.32	4.30	5.93	4.71	8.14	4.79	5.91	5.23	6.43
700	06/05	2.37	2.70	3.40	3.73	3.47	4.60	3.98	5.97	4.39	8.27	5.73	6.34
	07/05	1.88	2.64	3.05	3.77	3.75	4.80	3.61	4.24	3.74	4.91	4.41	6.27
	08/05	2.50	2.86	3.63	4.48	4.34	6.13	3.48	8.28	3.54	5.14	4.30	6.12
500	06/05	1.97	3.06	2.51	4.69	3.44	5.44	3.22	8.50	4.03	11.47	4.64	8.21
	07/05	2.33	3.42	2.93	4.89	3.28	6.87	4.12	5.61	4.25	7.08	5.11	9.74
	08/05	2.06	3.41	2.98	5.41	3.85	7.97	3.42	10.59	3.99	6.37	4.34	7.96
200	06/05	3.93	3.85	5.51	4.87	9.31	5.39	9.73	9.67	8.71	14.27	7.88	12.38
	07/05	3.60	4.69	6.88	8.02	9.06	8.70	10.53	7.95	10.64	9.17	10.30	12.74
	08/05	5.27	4.24	6.84	7.18	8.25	9.35	8.84	11.46	9.30	10.16	10.35	12.05

Nível Atm. (hPa)	Dia da Análise	Vento Meridional - ms ⁻¹ (v)											
		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas	
		TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX	TR	EX
850	06/05	2.23	3.57	2.68	5.23	3.54	4.81	3.69	6.16	3.79	9.38	3.18	6.25
	07/05	2.33	2.80	2.82	4.50	3.07	5.82	3.39	5.75	3.35	7.04	3.65	9.96
	08/05	2.21	3.45	2.24	4.30	2.69	6.88	2.87	8.11	2.92	6.28	2.94	8.48
700	06/05	2.26	2.80	2.47	4.58	2.92	4.15	3.78	5.52	3.29	9.58	3.59	6.20
	07/05	1.85	2.66	2.42	4.71	3.51	6.05	3.59	5.61	3.72	7.47	3.55	10.56
	08/05	2.13	3.34	2.15	4.59	2.99	6.99	3.23	8.06	3.21	5.87	3.05	8.69
500	06/05	1.63	3.06	2.57	5.03	2.49	4.85	2.84	6.78	2.71	12.89	2.60	8.46
	07/05	2.38	3.90	2.63	6.49	2.88	9.34	3.14	8.13	3.24	10.90	3.12	16.32
	08/05	2.00	4.47	3.10	6.35	3.12	12.04	2.98	12.56	3.47	8.20	3.40	13.34
200	06/05	3.38	3.92	4.83	5.58	5.48	6.92	5.85	7.75	6.70	15.51	8.05	10.14
	07/05	3.31	4.79	5.08	7.28	5.61	9.43	6.40	8.63	4.91	10.97	6.16	17.25
	08/05	4.22	3.88	5.88	6.76	6.76	10.81	6.28	12.21	7.03	11.24	6.74	14.65

4.2 - Diferenças nas Previsões de Variáveis Simples e Derivadas (Estudo de Casos 2, 3 e 4)

Na Seção 2.3 demonstrou-se matematicamente que o coeficiente de correlação (cor) apresenta, em geral, valores diferentes quando correlacionam-se duas variáveis simples e duas variáveis derivadas. Vale lembrar que quando as variáveis são campos meteorológicos de análise e

previsão de um modelo de PNT, o cor quantifica o acerto da previsão do modelo, para o parâmetro ou campo meteorológico utilizado.

Nesse Capítulo calcula-se o coeficiente de correlação, em três situações reais de tempo significativo, utilizando os campos anômalos das previsões e análises do modelo global do CPTEC/COLA, a fim de comprovar o que antes foi mostrado matematicamente. Calcula-se também, para cada um dos três estudos de caso, o erro quadrático médio (rms) das previsões e o desvio padrão (σ) dos campos anômalos de previsão e análise. Os cálculos são realizados para três dias seguidos, em cada estudo de caso, de análise e as respectivas previsões de 24 a 144 horas de antecedência à esses dias. Os estudos são feitos apenas para a região extratropical da América do Sul (ver Figura 4.1 (a)).

Os campos de variáveis simples e de δ e ζ são obtidos diretamente pelo modelo global do CPTEC/COLA. Os demais campos de variáveis derivadas são obtidos através de cálculos no GrADS a partir dos campos de variáveis simples.

Para realização dos testes de desempenho das previsões do modelo global do CPTEC/COLA, separou-se situações extremas (estudo de casos 2, 3 e 4) para que os campos de análise mostrem configurações suficientemente diferentes dos campos climatológicos. Assim, a situação de um determinado dia, a ser prevista pelo modelo, será suficientemente diferente da situação média desse dia. Com isso, supõe-se que quando as previsões indicam bons resultados nos testes de desempenho, o modelo global simula

a situação anômala ocorrida no dia em questão, e não simplesmente a situação climatológica.

4.2.1 - Descrição dos Casos Estudados

i) Estudo de Caso 2 - Ciclogênese

A ciclogênese é uma das principais causas de precipitação nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Através de estudos estatísticos, Gan e Rao (1991) verificaram que a maior frequência de ciclogênese ocorre no inverno, com máximo sobre o Uruguai. Na média anual a frequência de ciclogênese é de 60 por ano nas proximidades da Região Sul do Brasil.

Este caso é um episódio de ciclogênese que ocorreu nos dias 26, 27 e 28 de maio de 1996 sobre o Oceano Atlântico, a leste da Região Sul do Brasil. A sequência de imagens de satélite na Figura 4.5 mostra claramente a evolução do ciclone no oceano próximo ao litoral sul do Brasil.

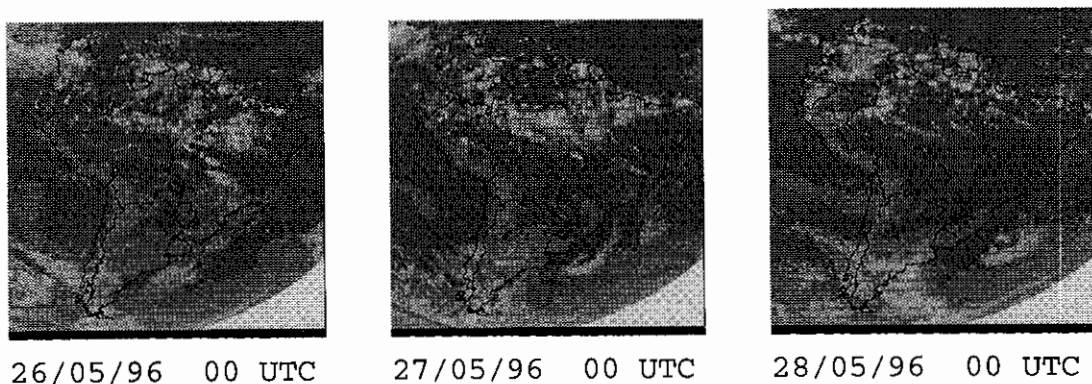


Fig. 4.5 - Sequência de imagens GOES-8 dos dias 26, 27 e 28/05/96 (caso 2).

ii) Estudo de Caso 3 - Geada

O terceiro caso estudado trata-se do avanço de uma massa de ar frio ocorrida durante os dias 02, 03 e 04 de junho de 1996. Este sistema provocou significativa queda de temperatura no centro-sul do Brasil, com formação de geada de moderada a forte intensidade, principalmente nos Estados da Região Sul. A Figura 4.6 mostra a abrangência da massa de ar frio (região mais clara, porém sem nebulosidade).

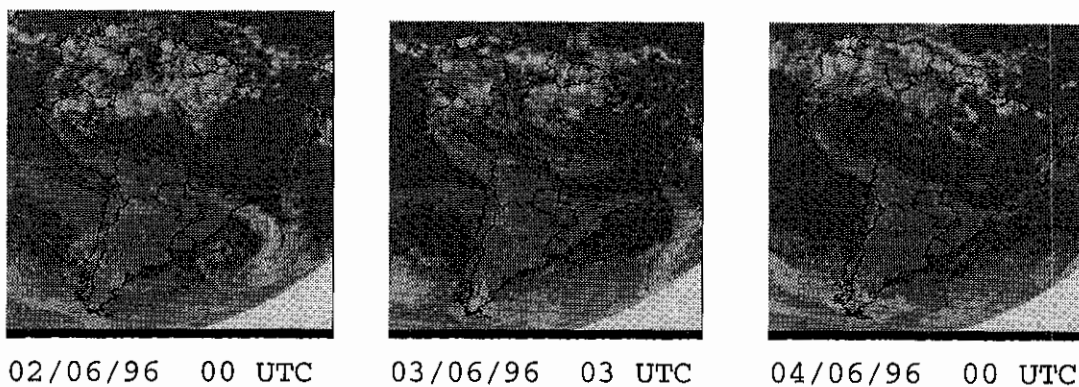


Fig. 4.6 - Sequência de imagens GOES-8 dos dias 02, 03 e 04/06/96 (caso 3).

iii) Estudo de Caso 4 - Neve

O quarto caso estudado é a passagem de um sistema frontal de moderada intensidade sobre o centro-sul do Brasil, onde as temperaturas já encontravam-se baixas. Observou-se a ocorrência de neve na serra catarinense e, após a passagem do sistema frontal, ocorreu formação de geada em toda a Região Sul, associado ao avanço do sistema

de alta pressão que acompanhou a frente fria. A sequência de imagens de satélite é apresentada na Figura 4.7.

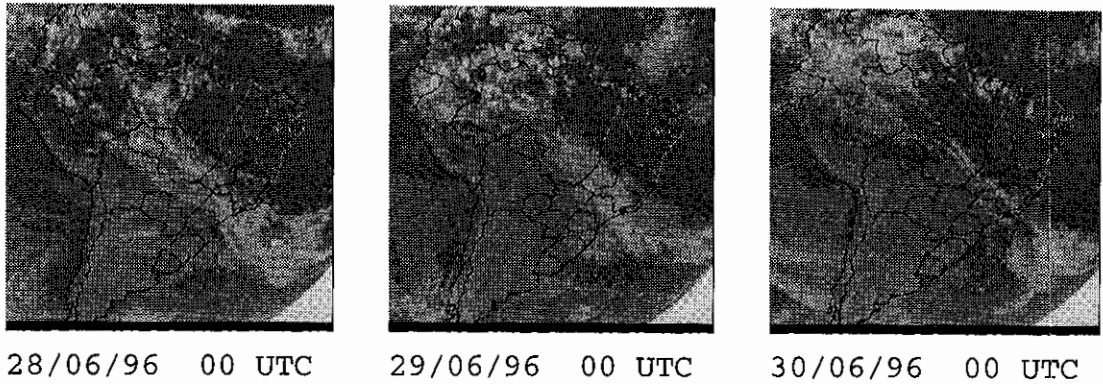


Fig. 4.7 - Sequência de imagens GOES-8 dos dias 28, 29 e 30/06/96 (caso 4).

A seguir apresenta-se os valores do desvio padrão (σ) das anomalias da análise e previsão, erro quadrático médio (rms) das previsões e coeficiente de correlação (cor) entre as anomalias da análise e previsão, para os estudos de casos 2, 3 e 4. As previsões destacadas em cinza são previsões que não obedeceram os critérios de validação apresentados na Seção 3.3.3 do Capítulo 3.

É necessário lembrar que, o não cumprimento dos critérios não significa que a previsão seja absolutamente inválida. Por vezes, os campos previstos indicam configurações que podem ser aproveitadas pelos meteorologistas para prever o possível curso de um determinado sistema. Por exemplo, uma configuração errônea de um sistema meteorológico sobre a Cordilheira dos Andes pode tornar as estatísticas de desempenho desfavoráveis, de acordo com os critérios adotados. No entanto, os campos

previstos podem apresentar configurações corretas especificamente em relação a um sistema meteorológico que ocorre no centro-sul do Brasil. Por isso, apresenta-se também a comparação visual das previsões com as análises de algumas variáveis para alguns casos, enfatizando o fenômeno meteorológico em questão, afim de confirmar os resultados obtidos nos testes de desempenho.

4.2.2 - Estatísticas de Desempenho (σ , rms, cor)

As estatísticas de desempenho dos três casos (2, 3 e 4) são mostradas nas Tabelas 4.4-9, tendo duas tabelas para cada caso. A primeira das tabelas, de cada caso, refere-se às variáveis simples e a segunda às variáveis derivadas. Lembra-se que $\sigma(x)$ é o desvio padrão da análise e $\sigma(y)$ é o desvio padrão da previsão.

Em análise geral dos três casos estudados, nota-se que, na grande maioria das vezes, o coeficiente de correlação diminui e o erro quadrático médio aumenta com o prazo de previsão. Além disso, muitas vezes o segundo critério ($\text{rms} < \text{ou} \approx \sigma(y)$) não é satisfeito e o coeficiente de correlação fica com valor inferior a 0.6. Assim, cada vez que o erro quadrático médio da previsão atinge valor muito alto, verifica-se que o campo anômalo da previsão não correlaciona-se satisfatoriamente com o campo anômalo da análise em todos os três casos estudados. Observa-se também que o primeiro critério ($\sigma(x) \approx \sigma(y)$) sempre foi obedecido, ou seja, o desvio padrão da anomalia da análise esteve sempre próximo ao desvio padrão da anomalia da previsão, embora o $\sigma(y)$ tenda a aumentar com o prazo de previsão. Ressalta-se ainda que o motivo responsável pela

grande maioria das previsões inválidas foi o fato do primeiro critério não ter sido atingido ($\text{cor} > \text{ou} = 0.6$).

Nos três estudos de caso, verifica-se que, em geral, as previsões de variáveis simples apresentam melhor performance em relação as previsões de variáveis derivadas. A seguir apresenta-se, em síntese, o desempenho de cada variável simples e derivada. Para tanto avalia-se os resultados obtidos pelos métodos estatísticos (Tabelas 4.4-9) e, em algumas situações, compara-se visualmente os campos previstos e analisados correspondentes (Figuras 4.8-24).

a) Componentes Zonal (u) e Meridional (v) do Vento:

Essas variáveis apresentaram previsões úteis até 72 horas no estudo de caso 2 (Tabela 4.4) e 48 horas nos estudos de caso 3 (Tabela 4.6) e 4 (Tabela 4.8), com poucas exceções. Assim, sabe-se que, dentre os casos estudados, o vento foi melhor previsto no caso de ciclogênese. A performance das previsões são melhores nos médios e altos níveis da troposfera, principalmente nos casos 2 e 4. É difícil dizer se a razão se deve a pouca variabilidade do escoamento nos altos níveis ou falta de dados observacionais no ar superior, apesar dos produtos de satélite suprirem esta carência. Em geral os ventos são melhor previstos nos níveis superiores onde os efeitos de atrito e de topografia são desprezíveis.

b) Temperatura Virtual (T_v):

Com algumas exceções, a previsão obteve boa performance até 72 horas no estudo de caso 2, 96 horas no estudo de caso 3 e até o último dia de previsão no estudo de caso 4. Ressalta-se que em baixos níveis essa variável é a mais importante numa situação de entrada de massa de ar frio com ocorrência de geada (caso 3).

Visualmente, as previsões de temperatura virtual em 850 hPa, sobre o centro/sul do Brasil, para o dia 03/06 (caso 3, Figuras 4.8 e 4.9) apresentam bom desempenho, exceto a partir de 96 horas que indica a massa de ar frio com posição mais continental do que mostra a análise. Os testes de desempenho do modelo para o dia 03/06 indicam que as previsões são inadequadas a partir de 96 horas (Tabela 4.6).

c) Umidade Específica (q):

Essa variável apresentou previsões válidas somente com até 48 horas de antecedência. A partir de 72 horas os casos 2, 3 e 4 indicam pouca confiabilidade devido ao significativo aumento no número de previsões que não satisfizeram os critérios de validação (Tabelas 4.4, 4.6 e 4.8).

Durante as madrugadas dos dias 01, 02, 03 e 04/06 houve formação de geada com intensidade variada em diversas localidades do Rio Grande do Sul, segundo informações do VIII DISME-PA/RS. A umidade específica exerce um importante papel na formação da geada e, por isso, é um importante diagnóstico para previsão desse fenômeno. Em situações em

que existe bastante umidade, a formação de neblina impede a queda radiativa de temperatura, fazendo com que a formação de geada não ocorra. Restringindo a atenção para o centro-sul do Brasil, onde a massa de ar frio e seco atuou durante os dias 02, 03 e 04/06, as previsões de umidade específica em 850 hPa para o dia 03/06 (Figuras 4.10 e 4.11) foram boas até 48 horas, razoável em 72 horas e ruins a partir de 96 horas. Esse resultado é refletido perfeitamente pelas estatísticas de desempenho (Tabela 4.6), principalmente para o dia 03/06.

d) Altura Geopotencial (Z):

Essa é a variável mais usada nas estatísticas de avaliação dos modelos. Os campos previstos de Z apresentaram, em geral, bons desempenhos para as previsões com antecedência de até 144 horas nos casos 2 e 4 (Tabelas 4.4 e 4.8) e até 72 horas no caso 3 (Tabela 4.6). As previsões de 48 a 144 horas em 850 hPa para o dia 30/06 (Tabela 4.8) foram ruins em termos de cor.

Os testes de desempenho aplicados à previsão para o dia 27/05 no nível de 500 hPa (Tabela 4.4) validaram as previsões, de 24 a 144 horas de antecedência, com bons resultados. O coeficiente de correlação, por exemplo, obteve valor de 0.983 em 24 horas, diminuindo para 0.705 em 144 horas. Através da comparação visual dessas previsões com a análise do dia 27/05 (caso 2, Figuras 4.12 e 4.13) nota-se que a posição do cavado em 500 hPa, associado a ciclogênese em superfície, foi bem previsto até 72 horas de antecedência. Quanto a intensidade do sistema, as previsões indicaram um cavado menos profundo do que o mostrado pela

análise. A análise mostra uma baixa fechada bem definida no Atlântico Sul, enquanto as previsões não fecham as isolinhas de 5650 e 5600 metros.

e) Componentes Zonal (Q_x) e Meridional (Q_y) do Vetor Q:

Essa variável apresentou, para os três estudos de caso, a maioria das previsões válidas somente até 48 horas. A partir de 72 horas é notório que as previsões apresentam pouca confiabilidade e verifica-se um grande número de previsões que não atingem os critérios de validação.

A T_v , Z (utilizada no cálculo do vento geostrófico), u e v são as variáveis simples utilizadas no cálculo do vetor Q. Essas variáveis apresentaram melhor performance do que o vetor Q nos três casos estudados. Assim, nota-se que o vetor Q embora seja muito útil para avaliar e diagnosticar as situações observadas e previsões de curto prazo, não é um diagnóstico muito útil para previsões de médio e longo prazos. Os resultados desfavoráveis apresentados nos testes de desempenho das previsões do vetor Q, provavelmente deve-se à grande quantidade de cálculos envolvidos na obtenção dessa variável. Cada cálculo em diferenças finitas contribuem para aumentar o erro numérico. Notou-se nos três casos estudados, que a componente zonal do vetor Q é melhor prevista em relação a componente meridional, na maioria das vezes.

f) Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T):

Entre as variáveis derivadas estudadas a advecção térmica foi uma das melhores previstas. Para a situação de ciclogênese sobre o Oceano Atlântico (caso 2), as previsões dessa variável apresentaram excelentes resultados nos testes de desempenho (Tabela 4.5) até 144 horas de antecedência. No estudo de caso 3 as previsões forneceram bons resultados até 72 horas (Tabela 4.7). Para o caso 4, as previsões respectivas aos dias 28, 29 e 30/06 forneceram resultados bastante diferentes (Tabela 4.9). As previsões para o dia 28/06 apresentaram bons desempenhos até 144 horas de antecedência. As previsões para o dia 29/06 não atingiram os critérios a partir de 96 horas no nível de 850 hPa e a partir de 120 horas no nível de 700 hPa. No entanto, das previsões realizadas para o dia 30/06, apenas a previsão com 24 horas de antecedência obteve resultado satisfatório.

Especificamente para o centro-sul do Brasil, a comparação visual da previsão com a análise para o dia 27/05 no nível de 850 hPa, mostra bons resultados qualitativos (Figuras 4.14 e 4.15). A partir de 120 horas, a região onde verifica-se advecção térmica negativa na análise está deslocada um pouco mais para oeste (Figura 4.15) nas previsões, mas isso não as torna completamente inúteis. Todas as previsões, com 24 a 144 horas de antecedência, para o dia 27/05 foram validadas pelos testes de desempenho (Tabela 4.4).

As componentes zonal e meridional do vento e a temperatura virtual apresentaram performance semelhantes aquelas demonstradas pela Adv_T .

g) Divergência (δ):

Esta variável obteve desempenho fraco com validade apenas para a previsão de 24 horas de antecedência nos três estudos de caso (Tabelas 4.5, 4.7 e 4.9). As variáveis u e v obtidas da ζ e δ apresentaram melhor performance nos três casos estudados.

A análise do dia 29/06 indica convergência dos ventos em 850 hPa sobre parte de Minas Gerais e Rio de Janeiro (caso 4). Esta situação foi bem prevista, pelo menos qualitativamente, até 72 horas de antecedência (Figura 4.16).

h) Vorticidade Relativa (ζ):

Esta variável obteve desempenho com alguma validade nas previsões com 24 e 48 horas de antecedência, nos três estudos de caso (Tabelas 4.5, 4.7 e 4.9). Após este prazo poucas previsões foram validadas de acordo com os critérios adotados. As variáveis u e v apresentaram melhor performance, em relação a ζ , nos três estudos de caso. Para a previsão de ciclogênese (caso 2), a vorticidade é um importante diagnóstico. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram as previsões de 24 a 144 horas dessa variável no nível de 500 hPa para o dia 27/05. A posição do ciclone no Atlântico Sul próximo ao Uruguai foi bem prevista somente até 72 horas. A partir de 96 horas as previsões indicam a localização do ciclone sobre a Região Sul do Brasil, diferente do que mostra a análise (Figuras 4.17 e 4.18) e imagem de satélite (Figura 4.5). Além disso, as

previsões mostraram este sistema com menor intensidade em relação ao que mostra os campos analisados.

i) Advecção de Vorticidade Relativa (Adv_{ζ}):

Algumas previsões de 24 horas forneceram desempenho aproveitável, mas após esse prazo nenhuma previsão passou nos testes de desempenho, nos três estudos de caso (Tabelas 4.5, 4.7 e 4.9). Tomando como exemplo as previsões dessa variável no nível de 500 hPa para o dia 29/06 (Figuras 4.19 e 4.20), observa-se que visualmente as previsões de 24 e 48 horas de antecedência possuem alguma confiabilidade. No entanto, até mesmo para essas previsões, a advecção de vorticidade ciclônica em 500 hPa está presente um pouco ao sul da região da frente fria que está sobre São Paulo (Figura 4.20). Esse comportamento das previsões foi confirmado nos testes de desempenho, para o dia 29/06 (Tabela 4.9).

As componentes zonal e meridional do vento, assim como a própria vorticidade relativa, apresentaram melhor performance, em relação a performance apresentada pela Adv_{ζ} .

j) Convergência de Fluxo de Umidade ($Conv_q$):

Entre as variáveis derivadas, essa foi a que apresentou o maior número de previsões sem validade nos três estudos de caso (Tabelas 4.5, 4.7 e 4.9). Até as previsões de 24 horas de antecedência ficaram com cor menor que 0.6. As comparações entre previsões e análises (Figuras 4.21-24) para os dias 27/05 e 29/06 (casos 2 e 4) confirmam

os resultados obtidos pelos testes de desempenho. As variáveis simples, u e v , apresentaram melhor performance. A q , variável simples também utilizada para calcular $\text{Conv}q$, apresentou melhor performance apesar de suas previsões terem sido validadas somente até 48 horas.

1) Água Precipitável (h):

As previsões dessa variável apresentaram bons resultados nos testes de desempenho até 120 horas de antecedência no caso 2 (Tabela 4.5), 96 horas no caso 3 (Tabela 4.7) e até 144 horas no caso 4 (Tabela 4.9).

Esses resultados são muito melhores que os obtidos por q , apesar de que para o cálculo de h utiliza-se os valores de q até o topo da troposfera (300 hPa). Estes resultados sugerem que a umidade específica média, integrada na vertical, da coluna tem uma boa previsibilidade enquanto a q nos níveis individuais tem pouca ou nenhuma previsibilidade.

m) Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ):

Essa variável apresentou previsões com bons resultados com até 72 horas de antecedência no caso 2 (Tabela 4.5), 96 horas no caso 3 (Tabela 4.7) e 144 horas no caso 4. A performance de Z foi semelhante a performance de ΔZ nos três estudos de caso.

TABELA 4.4 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS SIMPLES - ESTUDO DE CASO 2

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Vento Zonal (u) - ms ⁻¹											
		24 horas				48 horas				72 horas			
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	26/05	5.35	6.09	3.38	0.834	5.35	6.09	3.65	0.804	5.35	5.05	4.21	0.676
	27/05	5.89	6.64	3.22	0.875	5.89	6.25	3.77	0.811	5.89	5.52	4.80	0.653
	28/05	6.90	7.26	2.81	0.922	6.90	6.79	4.42	0.793	6.90	5.53	4.91	0.709
	26/05	6.74	7.16	2.83	0.919	6.74	6.82	3.83	0.841	6.74	6.07	4.33	0.777
700	27/05	6.89	7.51	3.44	0.890	6.89	6.59	3.90	0.836	6.89	6.12	4.79	0.740
	28/05	7.68	7.74	2.56	0.946	7.68	7.67	4.60	0.824	7.68	6.36	4.87	0.775
	26/05	10.6	10.7	3.50	0.947	10.6	9.15	5.05	0.880	10.6	8.49	6.03	0.824
	27/05	8.95	9.12	3.70	0.919	8.95	8.26	4.01	0.896	8.95	7.95	5.41	0.805
500	28/05	10.2	9.52	3.19	0.951	10.2	8.49	5.38	0.851	10.2	7.96	6.43	0.780
	26/05	15.6	15.1	3.89	0.969	15.6	13.0	7.13	0.896	15.6	13.3	9.84	0.780
	27/05	12.0	12.4	3.65	0.956	12.0	11.2	4.14	0.939	12.0	11.2	7.37	0.801
	28/05	14.0	13.3	2.99	0.978	14.0	12.1	5.40	0.925	14.0	11.3	6.96	0.868
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Vento Meridional (v) - ms ⁻¹											
		24 horas				48 horas				72 horas			
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	26/05	8.56	8.81	3.10	0.937	8.56	8.62	4.08	0.888	8.56	7.78	5.08	0.811
	27/05	8.37	9.11	3.23	0.935	8.37	7.42	3.92	0.883	8.37	7.84	5.51	0.783
	28/05	7.31	7.15	2.99	0.914	7.31	7.22	4.41	0.817	7.31	6.45	5.04	0.747
	26/05	9.17	9.53	2.17	0.974	9.17	9.55	3.77	0.920	9.17	9.12	4.19	0.895
700	27/05	9.57	10.1	3.21	0.948	9.57	8.62	3.54	0.929	9.57	8.63	6.19	0.783
	28/05	8.37	8.67	2.71	0.950	8.37	8.40	4.08	0.882	8.37	7.63	4.30	0.864
	26/05	11.4	10.8	3.14	0.961	11.4	12.1	5.06	0.909	11.4	12.3	5.58	0.894
	27/05	12.8	12.6	3.90	0.953	12.8	11.8	4.28	0.943	12.8	11.7	8.33	0.778
500	28/05	12.4	12.5	3.33	0.964	12.4	12.1	5.52	0.899	12.4	10.9	6.00	0.881
	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	16.5	8.46	0.872
	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	15.4	8.16	0.861
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	15.1	6.28	0.923
200	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799
	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
200	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799
	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799
200	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799
	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
200	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799
	26/05	12.9	11.7	3.92	0.958	12.9	14.8	6.76	0.892	12.9	17.5	12.8	0.697
	27/05	15.4	15.4	4.09	0.966	15.4	15.0	4.98	0.947	15.4	16.6	8.27	0.870
	28/05	15.9	15.2	3.28	0.979	15.9	14.6	5.45	0.941	15.9	13.4	10.3	0.799

TABELA 4.4 - Continuação

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Temperatura Virtual (T _v) - ° K																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor
850	26/05	4.20	3.63	1.57	0.942	4.20	3.84	1.86	0.901	4.20	3.96	2.39	0.857	4.20	3.63	1.48	0.910	4.20	3.42	1.20	0.923	4.20	4.76	3.82	0.720
	27/05	4.74	4.18	1.80	0.927	4.74	3.97	1.90	0.922	4.74	3.62	3.07	0.797	4.74	3.90	1.96	0.923	4.74	4.25	3.49	0.816	4.74	4.49	4.04	0.786
	28/05	5.12	4.64	1.36	0.966	5.12	4.05	2.11	0.921	5.12	3.93	2.85	0.840	5.12	3.92	4.37	0.855	5.12	3.83	2.84	0.837	5.12	4.24	3.74	0.722
700	26/05	3.23	3.32	1.49	0.916	3.23	3.31	1.90	0.880	3.23	3.55	2.71	0.786	3.23	3.29	5.08	0.935	3.23	4.60	5.38	0.938	3.23	5.06	4.33	0.660
	27/05	3.91	3.43	1.57	0.932	3.91	3.42	2.00	0.906	3.91	3.60	3.01	0.793	3.91	3.16	2.24	0.881	3.91	4.49	4.94	0.571	3.91	5.00	5.44	0.585
	28/05	4.79	4.17	1.60	0.948	4.79	3.92	2.05	0.915	4.79	3.71	2.77	0.833	4.79	3.62	4.32	0.934	4.79	3.42	2.93	0.795	4.79	4.04	4.32	0.585
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Umidade Específica (q) - 10 ⁻² KgKg ⁻¹																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor
850	26/05	0.16	0.16	0.10	0.825	0.16	0.19	0.14	0.699	0.16	0.16	0.13	0.667	0.16	0.17	0.13	0.717	0.16	0.17	0.14	0.629	0.16	0.18	0.13	0.732
	27/05	0.17	0.18	0.10	0.855	0.17	0.17	0.11	0.827	0.17	0.17	0.13	0.717	0.17	0.16	0.13	0.723	0.17	0.14	0.14	0.629	0.17	0.13	0.14	0.584
	28/05	0.14	0.17	0.10	0.819	0.14	0.16	0.12	0.712	0.14	0.16	0.14	0.635	0.14	0.16	0.14	0.576	0.14	0.17	0.16	0.500	0.14	0.15	0.15	0.165
700	26/05	0.13	0.11	0.09	0.735	0.13	0.13	0.11	0.656	0.13	0.14	0.12	0.601	0.13	0.12	0.12	0.545	0.13	0.14	0.16	0.287	0.13	0.13	0.13	0.179
	27/05	0.14	0.13	0.10	0.761	0.14	0.12	0.11	0.686	0.14	0.12	0.13	0.591	0.14	0.12	0.11	0.646	0.14	0.14	0.13	0.516	0.14	0.12	0.14	0.472
	28/05	0.12	0.13	0.09	0.770	0.12	0.12	0.10	0.658	0.12	0.13	0.12	0.551	0.12	0.11	0.12	0.459	0.12	0.13	0.14	0.390	0.12	0.10	0.15	0.172
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Altura Geopotencial (Z) - m																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor
850	26/05	67.2	71.4	16.8	0.974	67.2	70.5	21.0	0.958	67.2	70.7	26.5	0.930	67.2	76.8	47.6	0.789	67.2	75.6	48.3	0.796	67.2	67.2	38.8	0.844
	27/05	90.7	102	16.9	0.992	90.7	88.4	20.0	0.978	90.7	77.7	37.1	0.918	90.7	87.3	23.2	0.975	90.7	82.3	34.1	0.934	90.7	74.1	61.8	0.800
	28/05	85.7	90.0	14.7	0.994	85.7	90.0	23.9	0.976	85.7	71.4	30.1	0.949	85.7	78.5	46.7	0.845	85.7	86.8	33.7	0.977	85.7	76.1	44.3	0.880
500	26/05	93.3	91.2	23.9	0.976	93.3	92.2	32.6	0.940	93.3	93.4	36.6	0.929	93.3	112	109	0.936	93.3	118	107	0.836	93.3	117	82.6	0.723
	27/05	122	125	24.1	0.983	122	113	26.2	0.980	122	109	62.9	0.868	122	119	34.1	0.961	122	123	84.2	0.794	122	128	97.8	0.705
	28/05	139	139	19.6	0.991	139	131	29.3	0.979	139	111	44.8	0.961	139	107	87.4	0.781	139	124	54.6	0.922	139	108	75.6	0.843

TABELA 4.5 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS DERIVADAS - ESTUDO DE CASO 2

Nível	Dia	Componente Zonal do Vetor $Q(Q_x) - 10^{-12} m^2 s^{-1} Kg^{-1}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
850	Análise																																				
	26/05	22.6	23.9	12.9	0.846	22.6	19.6	17.9	0.648	22.6	18.7	22.7	0.407	22.6	22.9	18.9	0.688	22.6	25.3	20.1	0.652	22.6	20.4	19.3	0.602												
	27/05	23.6	22.1	13.0	0.839	23.6	19.4	15.2	0.767	23.6	21.4	23.8	0.448	23.6	18.0	17.9	0.661	23.6	18.8	18.6	0.637	23.6	18.1	21.2	0.508												
	28/05	22.9	20.0	11.3	0.871	22.9	21.6	20.6	0.572	22.9	19.7	18.6	0.631	22.9	22.4	25.2	0.378	22.9	22.0	24.7	0.396	22.9	14.6	23.7	0.405												
700	Análise																																				
	26/05	25.0	25.0	9.7	0.925	25.0	22.2	18.8	0.689	25.0	19.6	21.7	0.548	25.0	27.8	21.3	0.682	25.0	26.5	21.3	0.663	25.0	24.6	20.2	0.673												
	27/05	30.0	27.5	13.3	0.897	30.0	23.0	16.7	0.833	30.0	25.9	30.1	0.430	30.0	22.5	21.8	0.691	30.0	24.3	26.0	0.563	30.0	23.0	25.3	0.567												
	28/05	27.7	24.8	12.4	0.894	27.7	25.9	20.6	0.708	27.7	24.0	22.0	0.643	27.7	26.0	27.3	0.436	27.7	23.4	23.6	0.505	27.7	20.6	24.7	0.517												
Componente Meridional do Vetor $Q(Q_y) - 10^{-12} m^2 s^{-1} Kg^{-1}$																																					
Nível	Dia	Componente Meridional do Vetor $Q(Q_y) - 10^{-12} m^2 s^{-1} Kg^{-1}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
850	Análise																																				
	26/05	12.5	12.4	9.3	0.735	12.5	10.9	9.2	0.468	12.5	9.7	17.3	0.515	12.5	10.7	13.7	0.301	12.5	10.0	11.6	0.488																
	27/05	13.5	10.7	8.3	0.785	13.5	11.0	9.8	0.699	13.5	10.4	14.0	0.335	13.5	10.5	13.0	0.558	13.5	9.5	13.3	0.405	13.5	10.3	14.3	0.311												
	28/05	12.4	10.8	6.6	0.838	12.4	12.2	10.3	0.649	12.4	11.5	10.9	0.578	12.4	10.6	10.4	0.558	12.4	10.3	12.3	0.440																
700	Análise																																				
	26/05	15.1	15.3	8.2	0.855	15.1	12.8	12.8	0.566	15.1	11.5	13.3	0.535	15.1	13.0	16.9	0.285	15.1	11.7	15.2	0.387	15.1	11.6	13.8	0.403												
	27/05	17.0	14.2	9.6	0.828	17.0	13.1	10.9	0.767	17.0	12.9	13.4	0.246	17.0	12.2	13.9	0.584	17.0	11.7	16.4	0.381	17.0	11.6	16.5	0.378												
	28/05	14.8	13.2	7.5	0.858	14.8	13.5	11.5	0.673	14.8	12.8	12.4	0.615	14.8	13.5	13.9	0.590	14.8	11.5	13.0	0.538	14.8	12.3	13.8	0.505												
Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T) - $10^{-4} ^\circ K s^{-1}$																																					
Nível	Dia	Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T) - $10^{-4} ^\circ K s^{-1}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
850	Análise																																				
	26/05	3.67	4.01	1.57	0.921	3.67	3.59	2.09	0.836	3.67	3.21	2.73	0.694	3.67	4.28	2.61	0.822	3.67	4.22	2.63	0.813	3.67	3.65	2.63	0.782												
	27/05	3.76	4.09	1.29	0.950	3.76	3.19	1.64	0.902	3.76	3.81	2.90	0.713	3.76	3.39	1.87	0.869	3.76	3.88	2.10	0.864	3.76	3.44	2.50	0.804												
	28/05	3.25	3.17	1.33	0.914	3.25	3.27	1.98	0.817	3.25	2.95	2.38	0.716	3.25	3.94	3.64	0.514	3.25	3.01	2.53	0.676	3.25	3.08	3.21	0.493												
700	Análise																																				
	26/05	4.05	4.16	1.03	0.969	4.05	3.74	1.85	0.890	4.05	3.53	2.26	0.830	4.05	4.46	2.55	0.837	4.05	4.19	2.38	0.846	4.05	4.02	2.35	0.843												
	27/05	4.11	4.31	1.24	0.958	4.11	3.48	1.49	0.936	4.11	3.94	3.02	0.725	4.11	3.72	1.96	0.880	4.11	4.09	2.53	0.818	4.11	3.80	2.78	0.776												
	28/05	3.54	3.58	1.26	0.937	3.54	3.60	1.84	0.867	3.54	3.29	2.04	0.827	3.54	4.06	3.04	0.699	3.54	3.21	2.36	0.761	3.54	3.57	2.85	0.680												

TABELA 4.5 - Continuação

Nível	Dia	Divergência (δ) - $10^{-6} s^{-1}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
850	Análise																																				
	26/05	8.14	7.51	7.40	0.538	8.14	7.01	7.02	0.529	8.14	7.73	8.66	0.414	8.14	8.37	9.13	0.389	8.14	8.57	9.97	0.277	8.14	8.52	9.59	0.344												
	27/05	7.78	8.68	6.83	0.660	7.78	7.73	6.84	0.593	7.78	8.36	8.00	0.534	7.78	7.57	7.54	0.518	7.78	7.16	8.52	0.387																
	28/05	8.45	8.03	7.06	0.634	8.45	7.59	7.52	0.564	8.45	7.62	8.08	0.511	8.45	7.91	9.64	0.308	8.45	8.24	8.85	0.445																
200	26/05	10.3	8.49	8.75	0.585	10.3	8.40	10.4	0.367	10.3	8.82	11.3	0.117	10.3	9.34	11.9	0.275	10.3	9.15	10.2	0.456																
	27/05	11.3	11.0	7.81	0.756	11.3	7.78	7.73	0.839	11.3	8.75	10.1	0.354	11.3	7.45	9.81	0.519	11.3	7.35	10.4	0.452																
	28/05	11.3	9.63	5.87	0.855	11.3	8.78	10.0	0.522	11.3	8.24	9.71	0.544	11.3	7.00	9.97	0.488	11.3	7.29	10.8	0.395																
Nível	Dia	Vorticidade Relativa (ζ) - $10^{-5} s^{-1}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
500	Análise																																				
	26/05	3.15	2.92	1.49	0.882	3.15	2.86	2.20	0.736	3.15	2.63	2.60	0.607	3.15	3.27	3.98	0.243	3.15	3.30	3.96	0.235	3.15	3.33	3.78	0.223												
	27/05	3.17	2.95	1.69	0.850	3.17	2.59	1.99	0.778	3.17	2.77	2.93	0.523	3.17	2.58	2.83	0.534	3.17	2.86	3.72	0.266	3.17	2.86	3.72	0.244												
	28/05	3.19	3.00	1.65	0.859	3.19	2.74	2.42	0.675	3.19	2.42	2.71	0.562	3.19	2.59	3.10	0.433	3.19	2.46	3.40	0.497	3.19	2.46	3.40	0.300												
200	26/05	3.91	3.64	1.52	0.921	3.91	3.58	2.68	0.747	3.91	3.82	3.29	0.639	3.91	4.18	4.29	0.446	3.91	3.88	4.20	0.402	3.91	4.46	4.07	0.535												
	27/05	3.43	3.37	1.56	0.895	3.43	3.18	2.10	0.802	3.43	3.25	2.88	0.630	3.43	3.38	2.64	0.699	3.43	3.42	3.42	0.552	3.43	3.95	3.46	0.557												
	28/05	3.40	3.24	1.29	0.926	3.40	3.04	2.21	0.772	3.40	3.25	2.31	0.760	3.40	2.99	3.22	0.811	3.40	2.69	2.95	0.562	3.40	2.91	3.46	0.434												
Nível	Dia	Advecção de Vorticidade Relativa (Adv_{ζ}) - $10^{-10} s^{-2}$																																			
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas						120 horas						144 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor								
500	Análise																																				
	26/05	12.6	9.79	9.93	0.630	12.6	8.88	11.9	0.478	12.6	7.56	13.3	0.364	12.6	9.60	15.7	0.014	12.6	9.37	16.1	0.014	12.6	9.37	16.1	0.16												
	27/05	12.9	11.1	10.8	0.605	12.9	7.75	11.7	0.413	12.9	11.9	16.9	0.019	12.9	9.03	12.8	0.463	12.9	9.88	16.7	0.06	12.9	7.53	13.2	0.251												
	28/05	10.6	10.9	11.0	0.479	10.6	10.8	10.6	0.513	10.6	8.61	10.8	0.269	10.6	6.85	11.7	0.151	10.6	11.5	14.9	0.151	10.6	11.5	14.9	0.097												
200	26/05	17.0	13.8	14.1	0.587	17.0	14.8	17.0	0.459	17.0	17.9	18.9	0.417	17.0	16.7	20.3	0.277	17.0	15.5	18.2	0.372	17.0	15.4	17.1	0.375												
	27/05	18.9	15.6	13.7	0.701	18.9	13.1	13.6	0.374	18.9	11.9	19.6	0.255	18.9	14.5	21.3	0.215	18.9	13.5	19.9	0.215	18.9	13.5	19.9	0.280												
	28/05	19.0	16.7	10.8	0.824	19.0	14.6	18.3	0.430	19.0	15.7	17.7	0.454	19.0	10.6	18.0	0.305	19.0	11.3	22.0	0.305	19.0	11.3	22.0	0.018												

TABELA 4.5 - Continuação

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Convergência de Fluxo de Umidade (Convq) - $10^{-8} s^{-1}$																							
		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas			
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	26/05	5.95	5.99	5.66	0.550	5.95	5.99	5.58	0.592	5.98	6.10	6.55	0.414	5.95	5.95	6.58	0.331	5.98	5.95	6.68	0.327	5.95	5.98	7.07	0.221
	27/05	4.69	5.30	4.91	0.512	4.69	5.21	5.31	0.496	4.69	5.24	5.88	0.303	4.69	5.06	5.92	0.335	4.69	4.90	5.90	0.392	4.69	4.57	6.04	0.151
	28/05	4.42	4.68	4.55	0.508	4.42	4.58	4.64	0.502	4.42	4.79	5.12	0.272	4.42	5.22	5.75	0.308	4.42	5.35	5.87	0.293	4.42	4.91	6.09	0.151
700	26/05	3.71	3.46	3.51	0.513	3.71	3.55	4.30	0.275	3.77	3.54	4.41	0.275	3.77	3.64	5.44	-0.08	3.77	3.08	4.73	0.037	3.77	3.02	4.50	0.134
	27/05	3.65	3.35	3.40	0.529	3.65	2.42	3.40	0.365	3.65	3.68	4.36	0.279	3.65	3.40	3.88	0.246	3.65	2.70	3.96	0.274	3.65	2.68	4.72	0.174
	28/05	3.31	2.80	3.00	0.531	3.32	3.26	3.54	0.421	3.32	2.88	3.76	0.271	3.32	3.38	4.18	0.221	3.32	3.14	3.79	0.313	3.32	2.85	4.28	0.045
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Água Precipitável (h) - mm																							
		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas			
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
1000 e 300	26/05	6.5	6.1	3.1	0.888	6.5	7.3	4.3	0.829	6.5	6.9	4.3	0.819	6.5	6.9	5.5	0.666	6.5	7.6	6.2	0.625	6.5	7.9	7.1	0.376
	27/05	6.3	6.2	3.0	0.894	6.3	6.5	3.6	0.864	6.3	6.2	4.2	0.787	6.3	6.0	4.2	0.796	6.3	6.0	4.1	0.772	6.3	6.1	4.5	0.736
	28/05	6.4	6.9	3.1	0.902	6.4	6.7	3.6	0.865	6.4	7.0	4.4	0.818	6.4	6.6	5.1	0.699	6.4	7.1	5.5	0.704	6.4	6.9	6.2	0.579
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ) - m																							
		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas			
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850 e 500	26/05	51.1	48.3	21.2	0.926	51.1	48.2	27.7	0.870	51.1	53.4	38.2	0.797	51.1	60.7	72.9	0.340	51.1	68.9	80.0	0.340	51.1	74.7	62.1	0.654
	27/05	58.7	50.6	20.4	0.950	58.7	50.9	25.3	0.941	58.7	52.0	43.7	0.790	58.7	50.3	31.1	0.887	58.7	66.5	67.2	0.846	58.7	76.9	74.1	0.685
	28/05	73.7	64.2	19.7	0.970	73.7	58.6	28.0	0.940	73.7	53.3	38.1	0.883	73.7	55.7	67.4	0.517	73.7	50.9	43.0	0.822	73.7	58.8	63.7	0.572

TABELA 4.6 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS SIMPLES - ESTUDO DE CASO 3

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Vento Zonal (u) - ms ⁻¹											
		24 horas			48 horas			72 horas			96 horas		
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	02/06	4.09	4.38	2.47	0.832	4.09	5.62	5.72	0.343	4.09	5.41	7.01	0.202
	03/06	5.10	5.11	2.61	0.869	5.10	4.87	4.97	0.306	5.10	4.87	6.40	0.176
	04/06	6.13	5.50	2.94	0.879	6.13	5.22	5.30	0.319	6.13	5.45	6.01	0.608
	02/06	5.08	5.52	2.81	0.863	5.08	7.44	6.40	0.343	5.08	7.53	6.71	0.475
700	03/06	5.76	5.48	2.78	0.879	5.76	5.75	5.78	0.344	5.76	5.48	7.06	0.208
	04/06	7.50	6.70	2.69	0.934	7.50	5.71	5.24	0.726	7.50	6.90	4.62	0.799
	02/06	8.98	8.81	3.65	0.916	8.98	9.68	4.78	0.872	8.98	9.50	6.66	0.745
	03/06	8.65	7.70	3.10	0.936	8.65	7.64	4.82	0.833	8.65	9.97	9.93	0.307
500	04/06	11.9	11.2	3.45	0.957	11.9	10.3	4.82	0.915	11.9	9.92	6.56	0.833
	02/06	10.8	10.4	4.07	0.927	10.8	10.1	4.17	0.922	10.8	11.3	7.86	0.749
	03/06	11.5	11.1	2.95	0.968	11.5	11.0	5.97	0.864	11.5	12.1	7.98	0.781
	04/06	15.8	15.3	3.64	0.974	15.8	14.9	5.74	0.932	15.8	13.8	7.20	0.891
Vento Meridional (v) - ms ⁻¹													
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	24 horas			48 horas			72 horas			96 horas		
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	02/06	6.48	5.86	2.71	0.908	6.48	4.93	6.01	0.483	6.48	4.59	5.99	0.339
	03/06	7.60	7.45	2.41	0.951	7.60	7.34	4.73	0.801	7.60	5.26	4.91	0.524
	04/06	7.22	7.43	2.96	0.919	7.22	6.76	5.11	0.736	7.22	6.60	5.65	0.670
	02/06	6.89	6.47	2.39	0.938	6.89	6.00	3.47	0.872	6.89	4.65	4.16	0.446
700	03/06	8.82	8.12	2.69	0.954	8.82	7.03	4.75	0.844	8.82	6.74	4.12	0.491
	04/06	8.71	8.71	2.63	0.955	8.71	8.66	3.65	0.911	8.71	7.14	5.82	0.749
	02/06	9.52	9.15	2.97	0.953	9.52	9.26	4.61	0.883	9.52	6.79	3.01	0.562
	03/06	12.8	11.4	3.66	0.962	12.8	10.2	5.84	0.898	12.8	9.84	11.4	0.528
500	04/06	13.6	12.3	4.25	0.951	13.6	11.4	6.01	0.897	13.6	10.0	8.87	0.759
	02/06	10.9	9.18	3.50	0.881	10.9	8.23	5.93	0.849	10.9	9.01	10.6	0.455
	03/06	12.9	12.0	4.20	0.947	12.9	11.3	7.08	0.841	12.9	11.3	13.2	0.489
	04/06	14.6	14.1	4.67	0.950	14.6	13.7	4.57	0.950	14.6	12.7	6.77	0.889
200	02/06	15.8	15.3	3.64	0.974	15.8	14.9	5.74	0.932	15.8	13.8	7.20	0.891
	03/06	11.5	11.1	2.95	0.968	11.5	11.0	5.97	0.864	11.5	12.1	7.98	0.781
	04/06	15.8	15.3	3.64	0.974	15.8	14.9	5.74	0.932	15.8	13.8	7.20	0.891
	02/06	10.8	10.4	4.07	0.927	10.8	10.1	4.17	0.922	10.8	11.3	7.86	0.749
200	03/06	11.5	11.1	2.95	0.968	11.5	11.0	5.97	0.864	11.5	12.1	7.98	0.781
	04/06	15.8	15.3	3.64	0.974	15.8	14.9	5.74	0.932	15.8	13.8	7.20	0.891
	02/06	10.8	10.4	4.07	0.927	10.8	10.1	4.17	0.922	10.8	11.3	7.86	0.749
	03/06	11.5	11.1	2.95	0.968	11.5	11.0	5.97	0.864	11.5	12.1	7.98	0.781
	04/06	15.8	15.3	3.64	0.974	15.8	14.9	5.74	0.932	15.8	13.8	7.20	0.891

TABELA 4.6 - Continuação

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Temperatura Virtual (T _v) - ° K																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	02/06	3.73	3.43	1.31	0.942	3.73	3.66	1.79	0.891	3.73	3.71	3.23	0.626	3.73	4.05	3.11	0.638	3.73	3.74
	03/06	3.43	3.13	1.19	0.942	3.43	3.25	2.02	0.839	3.43	3.67	2.61	0.749	3.43	4.04	3.55	0.738	3.43	3.24
	04/06	4.81	4.38	1.70	0.936	4.81	4.29	1.81	0.927	4.81	4.25	2.34	0.889	4.81	4.38	2.72	0.834	4.81	4.37
	02/06	3.75	3.44	1.63	0.912	3.75	3.44	2.31	0.836	3.75	3.23	2.94	0.657	3.75	3.26	2.48	0.766	3.75	2.96
700	03/06	4.05	3.51	1.47	0.958	4.05	3.69	2.71	0.841	4.05	3.64	3.02	0.775	4.05	3.93	3.69	0.572	4.05	3.78
	04/06	5.12	4.90	1.35	0.974	5.12	4.61	2.10	0.950	5.12	4.43	2.94	0.894	5.12	4.28	3.27	0.860	5.12	4.22
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Umidade Específica (q) - 10 ⁻² KgKg ⁻¹																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	02/06	0.19	0.19	0.10	0.853	0.19	0.19	0.13	0.755	0.19	0.17	0.16	0.690	0.19	0.17	0.16	0.608	0.19	0.19
	03/06	0.20	0.19	0.10	0.868	0.20	0.19	0.15	0.724	0.20	0.19	0.17	0.651	0.20	0.18	0.19	0.594	0.20	0.20
	04/06	0.17	0.18	0.10	0.853	0.17	0.18	0.09	0.762	0.17	0.18	0.12	0.780	0.17	0.18	0.11	0.793	0.17	0.18
	02/06	0.13	0.12	0.08	0.826	0.13	0.13	0.11	0.654	0.13	0.12	0.14	0.368	0.13	0.13	0.14	0.452	0.13	0.13
700	03/06	0.13	0.12	0.07	0.840	0.13	0.11	0.11	0.623	0.13	0.12	0.13	0.460	0.13	0.13	0.15	0.243	0.13	0.13
	04/06	0.15	0.14	0.08	0.860	0.15	0.12	0.09	0.814	0.15	0.12	0.11	0.685	0.15	0.12	0.10	0.732	0.15	0.15
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Altura Geopotencial (Z) - m																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	02/06	36.3	34.3	14.6	0.927	36.3	39.3	22.7	0.861	36.3	39.8	32.6	0.829	36.3	43.5	50.6	0.341	36.3	34.4
	03/06	53.1	51.9	15.3	0.972	53.1	47.2	25.1	0.905	53.1	46.6	30.5	0.845	53.1	45.5	31.8	0.459	53.1	48.9
	04/06	50.9	52.6	18.5	0.971	50.9	56.7	23.9	0.940	50.9	48.3	31.7	0.846	50.9	55.1	33.8	0.821	50.9	47.6
	02/06	73.0	67.7	20.2	0.962	73.0	70.3	32.0	0.901	73.0	72.8	66.5	0.617	73.0	72.2	58.1	0.710	73.0	71.7
500	03/06	91.6	82.6	19.3	0.984	91.6	79.9	38.6	0.918	91.6	73.7	49.8	0.853	91.6	75.1	80.5	0.565	91.6	83.0
	04/06	105	102	16.7	0.989	105	99.3	22.4	0.978	105	85.1	39.4	0.938	105	83.6	50.4	0.885	105	89.1

TABELA 4.7 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS DERIVADAS - ESTUDO DE CASO 3

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Componente Zonal do Vetur $Q(Q_x) - 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	cor
850	02/06	21.2	16.2	12.9	0.794	21.2	16.6	11.9	0.577	21.2	17.3	12.3	0.284	21.3	18.4	12.8	0.350	21.2	0.434
	03/06	22.1	19.7	10.6	0.880	22.1	18.6	17.8	0.627	22.1	17.8	18.9	0.574	22.1	22.1	25.7	0.325	22.1	0.099
	04/06	21.2	18.7	12.8	0.800	21.2	21.6	16.8	0.691	21.2	20.1	20.9	0.438	21.2	19.8	20.2	0.513	21.2	0.425
	02/06	27.6	23.5	11.9	0.904	27.6	22.3	16.3	0.809	27.6	18.3	27.5	0.441	27.6	21.3	26.1	0.434	27.6	0.491
700	03/06	29.1	26.4	10.8	0.928	29.1	22.6	18.8	0.764	29.1	21.4	18.9	0.761	29.1	23.1	29.3	0.388	29.1	0.111
	04/06	27.4	24.6	12.4	0.891	27.4	25.7	16.3	0.813	27.4	21.3	22.8	0.588	27.4	24.2	25.5	0.518	27.4	0.487
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Componente Meridional do Vetur $Q(Q_y) - 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	cor
850	02/06	10.9	9.56	6.66	0.785	10.9	10.4	8.32	0.704	10.9	11.3	12.5	0.366	10.9	10.8	11.6	0.428	10.9	0.163
	03/06	12.9	12.2	6.12	0.875	12.9	10.7	10.4	0.622	12.9	12.7	11.0	0.634	12.9	13.5	12.4	0.555	12.9	0.465
	04/06	15.7	12.4	9.25	0.812	15.7	14.2	11.7	0.696	15.7	13.3	17.0	0.391	15.7	11.4	15.5	0.444	15.7	0.377
	02/06	14.1	12.1	7.32	0.850	14.1	12.3	9.22	0.772	14.1	12.6	15.0	0.331	14.1	13.6	14.2	0.480	14.1	0.221
700	03/06	16.5	15.5	6.70	0.914	16.5	12.3	11.4	0.726	16.5	14.7	11.8	0.724	16.5	14.3	13.5	0.625	16.5	0.232
	04/06	18.7	16.0	8.84	0.881	18.7	16.7	11.4	0.797	18.7	14.6	16.3	0.552	18.7	14.3	16.0	0.561	18.7	0.405
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T) - $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{K s}^{-1}$																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	cor
850	02/06	2.91	2.55	1.21	0.911	2.91	2.59	1.68	0.821	2.91	2.29	2.34	0.480	2.91	1.96	2.35	0.390	2.91	0.463
	03/06	3.07	3.10	1.06	0.942	3.07	2.85	2.00	0.774	3.07	3.05	2.24	0.734	3.07	2.83	3.07	0.469	3.07	0.02
	04/06	2.92	2.90	1.45	0.876	2.92	2.98	1.79	0.819	2.92	2.92	2.76	0.613	2.92	2.76	3.01	0.445	2.92	0.371
	02/06	3.09	2.65	1.14	0.933	3.09	2.77	1.62	0.853	3.09	2.78	2.98	0.415	3.09	1.92	3.02	0.346	3.09	0.605
700	03/06	3.38	3.22	0.99	0.956	3.38	2.88	2.02	0.803	3.38	3.07	1.99	0.814	3.38	2.84	3.06	0.449	3.38	0.404
	04/06	3.18	3.21	1.20	0.930	3.18	3.19	1.69	0.859	3.18	2.70	2.39	0.682	3.18	2.81	2.64	0.620	3.18	0.634

Nível Atm.		Divergência ($\bar{\delta}$) - 10^{-6} s^{-1}																								
		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas				
Dia	da	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	
850	hPa	02/06	8.03	6.95	6.90	0.532	8.00	5.87	7.14	0.552	8.06	7.79	8.71	0.397	8.00	7.73	8.41	0.433	8.00	6.75	7.26	0.531	8.00	5.72	7.47	0.456
		03/06	7.64	8.02	6.99	0.604	7.64	7.48	7.98	0.457	7.64	7.93	7.77	0.502	7.64	8.60	7.99	0.523	7.64	7.81	7.48	0.571	7.64	8.36	8.05	0.503
		04/06	7.80	7.68	6.75	0.620	7.80	8.28	8.08	0.499	7.80	9.17	10.61	0.257	7.80	1.90	8.73	0.389	7.80	7.70	8.83	0.354	7.80	8.32	8.80	0.457
200		02/06	10.2	9.28	8.27	0.649	10.2	8.80	10.1	0.441	10.2	9.60	12.21	0.199	10.2	8.46	11.6	0.233	10.2	8.56	12.5	0.125	10.2	7.62	12.5	0.040
		03/06	10.5	9.31	7.40	0.734	10.5	9.41	10.5	0.454	10.5	9.73	10.6	0.467	10.5	9.98	10.9	0.439	10.5	9.01	12.3	0.229	10.5	9.00	12.9	0.167
		04/06	10.3	9.44	8.13	0.664	10.3	8.84	11.2	0.323	10.3	8.48	11.5	0.272	10.3	8.89	10.7	0.376	10.3	11.0	12.9	0.271	10.3	9.68	12.4	0.335
Vorticidade Relativa ($\bar{\zeta}$) - 10^{-5} s^{-1}																										
Nível Atm.		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas				
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	
500	hPa	02/06	3.26	2.91	1.63	0.867	3.26	3.08	2.15	0.771	3.36	2.63	3.54	0.372	3.26	2.75	3.32	0.472	3.26	2.71	3.67	0.246	3.26	2.34	3.70	0.157
		03/06	3.59	3.14	1.85	0.857	3.59	2.69	2.55	0.704	3.59	2.82	3.15	0.546	3.59	2.82	3.09	0.210	3.59	2.73	4.24	0.133	3.59	2.54	4.60	0.098
		04/06	3.84	3.26	1.79	0.885	3.84	3.10	2.37	0.787	3.84	2.61	3.32	0.527	3.84	2.91	3.40	0.593	3.84	3.49	3.31	0.574	3.84	3.00	3.57	0.491
200		02/06	3.26	2.84	1.81	0.834	3.26	2.70	2.10	0.766	3.26	2.48	3.21	0.470	3.26	2.99	3.35	0.897	3.26	3.17	3.93	0.310	3.26	3.86	4.17	0.041
		03/06	3.22	3.06	1.46	0.892	3.22	2.81	2.17	0.750	3.22	2.75	2.41	0.687	3.22	3.05	2.84	0.600	3.22	3.20	3.45	0.455	3.22	3.19	4.04	0.206
		04/06	3.80	3.56	1.55	0.913	3.80	3.49	2.13	0.833	3.80	3.27	2.29	0.800	3.80	3.29	2.54	0.752	3.80	3.37	3.66	0.532	3.80	3.33	3.98	0.451
Advecção de Vorticidade Relativa (Adv_{ζ}) - 10^{-10} s^{-2}																										
Nível Atm.		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas				
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	
500	hPa	02/06	11.5	10.3	8.40	0.708	11.5	12.3	13.1	0.366	11.5	6.98	13.6	0.146	11.5	8.05	12.2	0.253	11.5	7.20	14.3	0.092	11.5	8.34	13.7	0.081
		03/06	18.4	13.5	14.0	0.636	18.4	10.4	17.0	0.315	18.4	12.3	19.6	0.236	18.4	9.46	21.1	0.186	18.4	9.57	20.5	0.027	18.4	8.24	19.7	0.152
		04/06	17.8	13.2	14.0	0.630	17.8	9.65	16.8	0.371	17.8	9.95	19.6	0.091	17.8	10.6	17.5	0.301	17.8	12.8	20.9	0.098	17.8	11.5	19.1	0.196
200		02/06	16.8	12.8	12.9	0.615	16.0	11.9	14.7	0.475	16.0	13.5	18.3	0.239	16.0	13.7	18.0	0.269	16.0	13.4	19.5	0.123	16.0	12.9	20.5	0.007
		03/06	19.1	16.7	13.6	0.719	19.1	13.1	16.2	0.547	19.1	14.0	19.0	0.374	19.1	13.0	19.4	0.322	19.1	15.5	20.0	0.135	19.1	12.0	22.8	0.017
		04/06	16.7	12.8	12.7	0.659	16.7	13.5	16.3	0.327	16.7	11.6	16.0	0.158	16.7	13.4	16.9	0.275	16.7	14.9	20.0	0.247	16.7	14.7	19.7	0.058

TEBELA 4.7 - Continuação

Nível	Dia	Convergência de Fluxo de Umidade (Convq) - 10 ⁻⁸ s ⁻¹																										
		24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas						
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor			
Atm.	da	Análise	02/06	4.25	4.47	4.44	0.482	4.28	4.60	4.56	0.447	4.25	4.16	5.18	0.244	4.25	4.40	4.98	0.330	4.25	4.26	5.73	0.275	4.25	3.84	5.03	0.237	
			03/06	4.86	5.89	4.94	0.599	4.86	5.63	4.90	0.577	4.86	5.86	5.82	0.496	4.86	5.24	5.91	0.330	4.86	4.82	5.34	0.340	4.86	4.89	5.36	0.202	
			04/06	5.26	5.66	5.14	0.563	5.26	5.96	5.42	0.540	5.26	5.48	6.46	0.278	5.26	5.68	5.89	0.422	5.26	5.27	5.96	0.363	5.26	6.67	8.35	0.042	
700	da	Análise	02/06	3.27	2.54	2.99	0.535	3.27	2.98	3.39	0.418	3.27	2.61	3.67	0.238	3.27	2.34	3.58	0.222	3.27	2.37	3.51	0.263	3.27	2.18	3.53	0.197	
			03/06	4.11	3.54	3.14	0.674	4.11	3.02	4.02	0.398	4.11	3.20	5.43	0.499	4.11	3.17	5.11	0.407	4.11	2.89	4.68	0.080	4.11	2.89	4.94	0.042	
			04/06	5.01	4.38	3.87	0.636	5.01	3.22	4.05	0.521	5.01	3.29	5.66	0.100	5.01	3.07	5.49	0.177	5.01	2.98	3.45	0.143	5.01	4.27	7.43	4.19	
Nível	Dia	da	Atm.	hPa	Água Precipitável (h) - mm																							
					24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas			
					σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor
1000 e	02/06	7.5	7.8	2.8	0.938	7.5	8.0	4.2	0.858	7.5	7.4	6.4	0.640	7.5	7.5	5.7	0.742	7.5	7.4	7.5	0.500	7.5	6.8	7.6	0.459			
		03/06	7.4	7.3	3.3	0.909	7.4	7.5	4.8	0.800	7.4	7.6	5.8	0.710	7.4	7.6	7.3	0.860	7.4	7.2	7.2	0.557	7.4	7.9	8.9	0.392		
		04/06	7.3	7.2	3.1	0.927	7.3	7.1	2.9	0.934	7.3	7.6	4.3	0.840	7.3	7.0	4.3	0.821	7.3	6.9	6.9	0.365	7.3	7.4	7.5	0.365		
Nível	Dia	da	Atm.	hPa	Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ) - m																							
					24 horas				48 horas				72 horas				96 horas				120 horas				144 horas			
					σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor
850 e	02/06	53.2	49.2	18.1	0.950	53.2	50.0	28.5	0.876	53.2	48.3	41.6	0.668	53.2	48.9	34.3	0.779	53.2	47.8	39.4	0.709	53.2	44.1	52.6	0.465			
		03/06	57.0	50.7	17.9	0.976	57.0	52.4	33.3	0.877	57.0	51.3	39.5	0.795	57.0	57.4	50.4	0.615	57.0	45.2	39.0	0.536	57.0	47.6	64.4	0.254		
		04/06	79.1	71.6	18.0	0.981	79.1	69.9	25.5	0.969	79.1	67.8	39.8	0.908	79.1	65.4	41.2	0.896	79.1	58.9	58.3	0.543	79.1	47.1	63.5	0.397		

TABELA 4.8 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS SIMPLES - ESTUDO DE CASO 4

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Vento Zonal (u) - ms ⁻¹											
		24 horas			48 horas			72 horas			96 horas		
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	6.26	6.60	2.85	0.903	6.26	7.16	4.90	0.745	6.26	8.02	6.50	0.615
	29/06	4.71	4.56	2.76	0.827	4.71	5.96	4.81	0.581	4.71	5.96	4.81	0.581
	30/06	4.33	4.69	2.43	0.857	4.33	3.94	3.84	0.584	4.33	4.08	4.49	0.421
	28/06	8.72	8.25	2.88	0.944	8.72	8.69	4.57	0.864	8.72	9.70	6.69	0.749
700	29/06	6.77	6.62	3.11	0.896	6.77	6.55	4.08	0.812	6.77	7.17	5.09	0.735
	30/06	5.11	5.21	2.47	0.886	5.11	4.97	4.10	0.669	5.11	5.43	5.27	0.511
	28/06	13.5	12.9	3.73	0.961	13.5	13.3	6.00	0.900	13.5	15.3	8.83	0.825
	29/06	11.7	11.6	3.82	0.947	11.7	11.8	5.06	0.908	11.7	11.5	6.86	0.826
500	30/06	9.03	8.63	3.38	0.928	9.03	9.18	4.73	0.868	9.03	8.85	6.58	0.729
	28/06	17.8	19.1	4.56	0.972	17.8	19.4	7.18	0.930	17.8	20.8	10.8	0.870
	29/06	19.5	18.7	4.48	0.973	19.5	17.6	6.04	0.952	19.5	16.8	9.64	0.869
	30/06	15.6	16.5	3.92	0.972	15.6	14.8	6.14	0.920	15.6	14.5	7.68	0.874
Vento Meridional (v) - ms ⁻¹													
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	24 horas			48 horas			72 horas			96 horas		
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	6.90	6.53	2.83	0.912	6.90	6.12	4.33	0.787	6.90	6.28	4.36	0.801
	29/06	5.22	5.12	2.62	0.872	5.22	4.92	3.71	0.738	5.22	4.98	4.00	0.696
	30/06	5.38	5.68	2.99	0.855	5.38	4.51	4.13	0.682	5.38	4.93	4.98	0.584
	28/06	6.59	7.02	2.83	0.917	6.59	6.46	4.41	0.776	6.59	6.41	4.39	0.780
700	29/06	6.22	5.73	2.79	0.894	6.22	5.69	4.38	0.734	6.22	5.26	5.16	0.611
	30/06	5.51	5.52	3.04	0.850	5.51	4.90	4.03	0.707	5.51	4.36	5.46	0.428
	28/06	11.7	11.5	3.93	0.943	11.7	10.6	6.89	0.814	11.7	10.5	7.12	0.802
	29/06	10.9	10.7	3.85	0.938	10.9	10.6	5.62	0.864	10.9	9.19	8.25	0.681
500	30/06	9.44	9.03	3.02	0.949	9.44	8.01	5.25	0.832	9.44	7.75	6.77	0.706
	28/06	19.2	18.8	4.08	0.977	19.2	17.5	10.3	0.949	19.2	16.3	12.7	0.756
	29/06	21.1	20.4	3.52	0.986	21.1	19.2	5.28	0.970	21.1	16.3	13.0	0.787
	30/06	18.5	17.5	3.22	0.986	18.5	15.2	6.17	0.952	18.5	13.2	8.93	0.898
200	28/06	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594
	29/06	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594
	30/06	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594
	28/06	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594	15.6	15.7	14.2	0.594

TABELA 4.8 - Continuação

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Temperatura Virtual (T _v) - ° K																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	28/06	5.05	4.48	1.88	0.936	5.05	4.31	3.06	0.810	5.05	4.62	3.11	0.814	5.05	4.35	3.38	0.751	5.05	4.73
	29/06	5.05	4.64	1.35	0.965	5.05	4.60	2.39	0.887	5.05	4.44	3.55	0.738	5.05	4.01	3.60	0.713	5.05	4.47
	30/06	3.82	3.74	1.45	0.936	3.82	3.80	2.05	0.864	3.82	3.74	2.41	0.808	3.82	3.68	3.14	0.686	3.82	4.58
	28/06	6.33	6.15	1.45	0.974	6.33	5.85	2.60	0.917	6.33	6.05	3.23	0.869	6.33	5.55	4.04	0.813	6.33	6.04
700	29/06	5.67	5.55	1.06	0.985	5.67	5.48	1.87	0.957	5.67	5.20	2.93	0.861	5.67	4.89	3.94	0.752	5.67	4.82
	30/06	4.05	3.60	1.57	0.922	4.05	3.69	1.58	0.926	4.05	3.65	2.64	0.798	4.05	3.97	3.07	0.740	4.05	4.10
	28/06	4.05	3.60	1.57	0.922	4.05	3.69	1.58	0.926	4.05	3.65	2.64	0.798	4.05	3.97	3.07	0.740	4.05	4.10
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Umidade Específica (q) - 10 ⁻² KgKg ⁻¹																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	28/06	0.17	0.17	0.10	0.828	0.17	0.16	0.15	0.602	0.17	0.15	0.15	0.474	0.17	0.15	0.16	0.589	0.17	0.15
	29/06	0.18	0.18	0.08	0.907	0.18	0.18	0.10	0.842	0.18	0.16	0.14	0.680	0.18	0.15	0.15	0.554	0.18	0.17
	30/06	0.20	0.21	0.08	0.917	0.20	0.22	0.10	0.893	0.20	0.20	0.11	0.837	0.20	0.17	0.16	0.679	0.20	0.20
	28/06	0.13	0.14	0.08	0.844	0.13	0.14	0.12	0.566	0.13	0.13	0.14	0.433	0.13	0.10	0.13	0.403	0.13	0.14
700	29/06	0.14	0.12	0.07	0.864	0.14	0.13	0.09	0.786	0.14	0.13	0.11	0.691	0.14	0.11	0.12	0.518	0.14	0.14
	30/06	0.13	0.12	0.07	0.858	0.13	0.12	0.07	0.837	0.13	0.12	0.12	0.438	0.13	0.12	0.16	0.285	0.13	0.10
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Altura Geopotencial (Z) - m																	
		24 horas						48 horas						72 horas					
		σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)	rms	cor	σ(x)	σ(y)
850	28/06	83.7	78.7	11.0	0.993	83.7	82.5	30.3	0.956	83.7	93.6	33.9	0.952	83.7	100	43.7	0.904	83.7	69.6
	29/06	42.3	40.9	13.2	0.950	42.3	47.7	18.6	0.924	42.3	50.6	24.4	0.897	42.3	84.2	58.3	0.769	42.3	55.8
	30/06	27.0	24.1	11.0	0.915	27.0	20.1	25.7	0.435	27.0	25.9	33.3	0.247	27.0	39.0	43.4	0.117	27.0	92.4
	28/06	149	140	19.1	0.993	149	141	45.3	0.954	149	156	56.8	0.933	149	139	60.4	0.919	149	66.4
500	29/06	106	102	18.1	0.986	106	103	28.4	0.965	106	102	46.9	0.900	106	131	74.7	0.827	106	126
	30/06	64.1	53.4	18.3	0.967	64.1	51.8	39.0	0.798	64.1	56.1	47.7	0.720	64.1	74.1	68.8	0.532	64.1	123
	28/06	101	99.4	19.1	0.993	101	100	45.3	0.954	101	102	46.9	0.900	101	131	74.7	0.827	101	126
	29/06	106	102	18.1	0.986	106	103	28.4	0.965	106	102	46.9	0.900	106	131	74.7	0.827	106	126
	30/06	64.1	53.4	18.3	0.967	64.1	51.8	39.0	0.798	64.1	56.1	47.7	0.720	64.1	74.1	68.8	0.532	64.1	123
	28/06	149	140	19.1	0.993	149	141	45.3	0.954	149	156	56.8	0.933	149	139	60.4	0.919	149	66.4
	29/06	106	102	18.1	0.986	106	103	28.4	0.965	106	102	46.9	0.900	106	131	74.7	0.827	106	126
	30/06	64.1	53.4	18.3	0.967	64.1	51.8	39.0	0.798	64.1	56.1	47.7	0.720	64.1	74.1	68.8	0.532	64.1	123
	28/06	149	140	19.1	0.993	149	141	45.3	0.954	149	156	56.8	0.933	149	139	60.4	0.919	149	66.4
	29/06	106	102	18.1	0.986	106	103	28.4	0.965	106	102	46.9	0.900	106	131	74.7	0.827	106	126
	30/06	64.1	53.4	18.3	0.967	64.1	51.8	39.0	0.798	64.1	56.1	47.7	0.720	64.1	74.1	68.8	0.532	64.1	123

TABELA 4.9 - VALORES DE $\sigma(x)$, $\sigma(y)$, rms E cor PARA VARIÁVEIS DERIVADAS - ESTUDO DE CASO 4

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Componente Zonal do Vetur $Q(Q_x) - 10^{-12} m^2 s^{-1} Kg^{-1}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	22.2	20.4	11.6	0.853	22.2	19.6	14.8	0.757	22.2	19.8	15.3	0.738	22.2	19.1	18.5	0.608	22.2	16.8	17.3	0.615	22.2	21.5	18.2	0.656
	29/06	18.6	14.4	12.1	0.761	18.6	15.6	14.4	0.659	18.6	15.7	17.0	0.594	18.6	21.7	22.3	0.500	18.6	22.4	23.6	0.393	18.6	19.4	21.7	0.447
	30/06	18.1	17.6	10.4	0.828	18.1	14.8	15.0	0.802	18.4	14.3	16.9	0.476	18.1	13.9	18.5	0.412	18.1	12.2	26.1	0.111	18.1	17.9	22.3	0.230
700	28/06	26.6	26.4	13.4	0.872	26.6	26.3	20.0	0.714	26.6	25.8	20.2	0.703	26.6	22.0	20.2	0.672	26.6	20.9	19.5	0.689	26.6	23.1	19.8	0.694
	29/06	24.9	20.9	13.6	0.837	24.9	21.0	17.5	0.723	24.9	22.2	20.8	0.620	24.9	28.7	24.8	0.580	24.9	23.7	27.3	0.372	24.9	19.8	24.0	0.441
	30/06	23.3	22.8	12.1	0.863	23.3	19.1	17.5	0.678	23.3	17.9	19.8	0.565	23.3	21.2	22.4	0.495	23.3	29.0	29.1	0.399	23.3	20.1	24.5	0.371
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Componente Meridional do Vetur $Q(Q_y) - 10^{-12} m^2 s^{-1} Kg^{-1}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	13.6	12.5	6.97	0.871	13.6	13.8	9.60	0.754	13.6	13.2	11.0	0.659	13.6	10.9	12.8	0.468	13.6	10.3	10.4	0.654	13.6	13.4	11.0	0.665
	29/06	10.4	10.3	6.57	0.817	10.4	10.2	7.72	0.750	10.4	11.5	9.69	0.627	10.4	11.0	10.9	0.473	10.4	11.3	10.8	0.537	10.4	9.88	9.43	0.556
	30/06	10.3	10.0	6.08	0.807	10.3	9.54	8.88	0.601	10.3	10.9	10.0	0.536	10.3	9.53	10.6	0.432	10.3	11.0	13.6	0.194	10.3	11.1	10.7	0.518
700	28/06	16.1	15.0	7.75	0.877	16.1	16.8	11.4	0.758	16.1	17.1	13.3	0.677	16.1	12.4	13.4	0.582	16.1	12.5	11.1	0.721	16.1	16.3	13.1	0.674
	29/06	14.9	14.7	7.47	0.870	14.9	14.5	10.3	0.752	14.9	14.4	11.3	0.710	14.9	14.9	13.3	0.557	14.9	12.2	11.3	0.664	14.9	11.4	11.6	0.635
	30/06	13.2	13.0	7.26	0.847	13.2	12.8	10.6	0.671	13.2	12.7	12.2	0.559	13.2	13.1	12.9	0.500	13.2	14.4	13.0	0.240	13.2	12.2	13.1	0.487
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Advecção de Temperatura Virtual (Adv_T) - $10^{-4} ^\circ K s^{-1}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	2.88	2.74	1.11	0.922	2.88	2.64	1.75	0.804	2.88	2.79	1.84	0.797	2.88	3.05	2.24	0.720	2.88	3.03	2.02	0.767	2.88	3.01	2.35	0.685
	29/06	2.06	1.87	1.07	0.856	2.06	1.82	1.40	0.755	2.06	2.05	1.63	0.688	2.06	3.19	3.16	0.354	2.06	3.08	3.07	0.339	2.06	2.84	2.75	0.404
	30/06	2.03	1.92	1.13	0.838	2.03	1.62	1.84	0.557	2.03	1.49	2.16	0.362	2.03	1.86	2.33	0.463	2.03	3.42	1.86	0.185	2.03	2.67	2.98	0.335
700	28/06	2.78	2.75	1.09	0.923	2.78	2.52	1.88	0.756	2.78	2.70	1.90	0.765	2.78	2.91	1.89	0.780	2.78	2.75	2.01	0.738	2.78	2.70	2.44	0.607
	29/06	2.26	1.86	1.15	0.860	2.26	1.90	1.69	0.685	2.26	2.00	1.81	0.647	2.26	3.32	2.64	0.625	2.26	2.97	2.78	0.466	2.26	2.84	2.88	0.528
	30/06	1.95	1.77	1.11	0.827	1.95	1.30	1.74	0.518	1.95	1.79	2.17	0.188	1.95	1.84	2.37	0.259	1.95	3.39	1.38	0.235	1.95	2.55	2.54	0.421

TABELA 4.9 - Continuação

Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Divergência (δ) - $10^{-6} s^{-1}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850	28/06	11.2	10.1	8.14	0.715	11.2	9.61	9.49	0.597	11.2	8.77	10.4	0.489	11.2	8.99	11.5	0.370	11.2	8.29	10.8	0.477	11.2	10.6	12.0	0.403
	29/06	7.86	7.70	6.65	0.637	7.86	7.08	6.44	0.443	7.86	6.31	6.83	0.403	7.86	6.12	10.9	0.301	7.86	6.09	9.66	0.366	7.86	8.38	8.38	0.458
	30/06	9.13	9.67	7.26	0.703	9.13	7.23	9.08	0.415	9.13	5.91	9.31	0.299	9.13	9.32	11.2	0.177	9.13	9.32	11.2	0.177	9.13	6.90	7.92	0.557
200	28/06	13.1	10.8	8.52	0.767	13.1	10.2	13.32	0.384	13.1	9.17	13.9	0.264	13.1	7.77	13.9	0.201	13.1	8.43	14.1	0.188	13.1	11.0	13.8	0.356
	29/06	11.7	10.8	6.81	0.822	11.7	11.2	9.65	0.646	11.7	10.4	12.6	0.364	11.7	9.75	13.4	0.314	11.7	7.95	11.2	0.423	11.7	7.93	11.3	0.390
	30/06	11.0	10.3	6.66	0.809	11.0	9.87	9.66	0.579	11.0	10.2	11.7	0.397	11.0	8.98	13.1	0.163	11.0	9.42	14.2	0.038	11.0	9.19	11.7	0.539
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Vorticidade Relativa (ζ) - $10^{-5} s^{-1}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
500	28/06	3.59	3.18	2.06	0.822	3.59	3.11	2.99	0.609	3.59	2.40	3.45	0.304	3.59	2.89	3.73	0.383	3.59	3.10	3.37	0.596	3.59	3.18	3.09	0.594
	29/06	3.06	2.89	1.94	0.789	3.06	2.84	2.48	0.649	3.06	2.73	2.84	0.522	3.06	2.47	3.58	0.394	3.06	2.64	3.14	0.454	3.06	2.95	3.90	0.396
	30/06	3.07	2.96	1.60	0.862	3.07	2.76	2.17	0.731	3.07	2.57	2.74	0.581	3.07	2.36	3.14	0.357	3.07	3.20	3.91	0.253	3.07	2.41	3.04	0.409
200	28/06	4.09	4.21	1.56	0.930	4.09	4.09	2.76	0.772	4.09	4.07	3.74	0.579	4.09	3.02	3.57	0.531	4.09	3.70	3.69	0.558	4.09	4.52	3.23	0.726
	29/06	4.54	4.25	1.59	0.937	4.54	3.98	2.13	0.884	4.54	3.60	3.56	0.638	4.54	3.87	4.09	0.537	4.54	3.05	2.95	0.768	4.54	3.73	3.59	0.639
	30/06	3.94	3.96	1.30	0.946	3.94	3.26	2.67	0.741	3.94	3.26	3.38	0.518	3.94	3.26	3.38	0.518	3.94	3.42	3.43	0.299	3.94	3.23	2.84	0.707
Nível Atm. hPa	Dia da Análise	Advecção de Vorticidade Relativa (Adv ζ) - $10^{-10} s^{-2}$																							
		24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
		$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
500	28/06	13.8	11.0	12.5	0.486	13.8	9.19	15.1	0.192	13.8	9.67	15.7	0.138	13.8	8.61	16.4	0.01	13.8	9.47	15.2	0.195	13.8	10.0	16.2	0.200
	29/06	11.2	9.80	9.96	0.556	11.2	9.65	11.8	0.366	11.2	8.97	12.7	0.216	11.2	10.9	15.8	0.027	11.2	8.74	12.7	0.284	11.2	8.17	12.5	0.189
	30/06	13.0	13.1	11.5	0.611	13.0	9.14	12.3	0.396	13.0	11.2	15.5	0.190	13.0	6.94	14.7	0.089	13.0	9.09	14.2	0.146	13.0	8.69	15.5	0.024
200	28/06	20.6	16.5	15.4	0.679	20.6	13.2	19.8	0.379	20.6	12.8	22.9	0.138	20.6	11.8	23.1	0.052	20.6	12.6	21.9	0.262	20.6	18.1	20.7	0.432
	29/06	19.2	15.5	12.9	0.746	19.2	14.0	16.2	0.566	19.2	12.1	20.7	0.189	19.2	12.3	22.0	0.016	19.2	9.97	19.7	0.416	19.2	11.1	19.4	0.281
	30/06	19.1	16.4	12.1	0.778	19.1	14.2	15.3	0.614	19.1	12.5	16.6	0.520	19.1	12.3	20.7	0.188	19.1	12.5	22.1	0.070	19.1	11.1	18.9	0.312

TABELA 4.9 - Continuação

Nível Atm.	hPa	Dia da Análise	Convergência de Fluxo de Unidade (Convq) - $10^{-8} s^{-1}$																							
			24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
			$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850		28/06	5.65	4.97	4.94	0.583	5.65	4.97	4.94	0.472	5.65	4.97	4.94	0.472	5.65	4.97	4.94	0.472	5.65	4.97	4.94	0.408	5.65	4.97	4.94	0.295
		29/06	4.35	3.52	3.61	0.599	4.35	3.52	3.61	0.484	4.35	3.52	3.61	0.484	4.35	3.52	3.61	0.484	4.35	3.52	3.61	0.365	4.35	3.52	3.61	0.413
		30/06	4.34	4.92	4.11	0.616	4.34	4.92	4.11	0.467	4.34	4.92	4.11	0.467	4.34	4.92	4.11	0.467	4.34	4.92	4.11	0.186	4.34	4.92	4.11	0.123
700		28/06	3.82	3.39	3.30	0.587	3.83	3.01	3.24	0.653	3.83	3.01	3.24	0.653	3.83	3.01	3.24	0.653	3.83	3.01	3.24	0.270	3.83	3.01	3.24	0.215
		29/06	3.93	2.53	2.16	0.596	3.93	2.18	4.25	0.188	3.93	2.53	2.16	0.188	3.93	2.53	2.16	0.188	3.93	2.53	2.16	0.085	3.93	2.53	2.16	0.13
		30/06	3.87	3.39	3.49	0.547	3.87	2.65	3.26	0.556	3.87	2.65	3.26	0.556	3.87	2.65	3.26	0.556	3.87	2.65	3.26	0.406	3.87	2.65	3.26	0.175
Nível Atm.	hPa	Dia da Análise	Água Precipitável (h) - mm																							
			24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
			$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
1000		28/06	6.5	6.8	3.0	0.910	6.5	6.5	4.8	0.738	6.5	6.9	5.5	0.676	6.5	6.3	5.4	0.645	6.5	6.4	5.4	0.649	6.5	6.7	4.8	0.748
		29/06	7.2	7.2	2.4	0.949	7.2	7.2	3.1	0.922	7.2	7.0	4.9	0.789	7.2	6.6	5.3	0.721	7.2	6.7	5.6	0.679	7.2	6.9	5.0	0.752
		30/06	8.1	8.0	2.4	0.956	8.1	8.2	2.9	0.942	8.1	7.4	4.5	0.849	8.1	7.2	6.4	0.695	8.1	6.3	7.2	0.728	8.1	7.4	4.6	0.829
Nível Atm.	hPa	Dia da Análise	Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ) - m																							
			24 horas						48 horas						72 horas						96 horas					
			$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	rms	cor
850		28/06	90.9	86.3	17.7	0.982	90.9	83.2	37.0	0.919	90.9	87.7	43.8	0.884	90.9	74.5	53.8	0.836	90.9	78.4	49.9	0.870	90.9	90.2	39.0	0.911
		29/06	80.3	75.1	15.3	0.985	80.3	73.0	26.1	0.952	80.3	71.7	42.5	0.851	80.3	69.2	54.9	0.751	80.3	67.2	42.9	0.870	80.3	68.2	50.3	0.787
		30/06	56.8	49.0	19.0	0.947	56.8	48.2	23.8	0.912	56.8	46.8	32.6	0.832	56.8	51.9	41.0	0.740	56.8	51.8	59.6	0.463	56.8	60.0	42.1	0.803

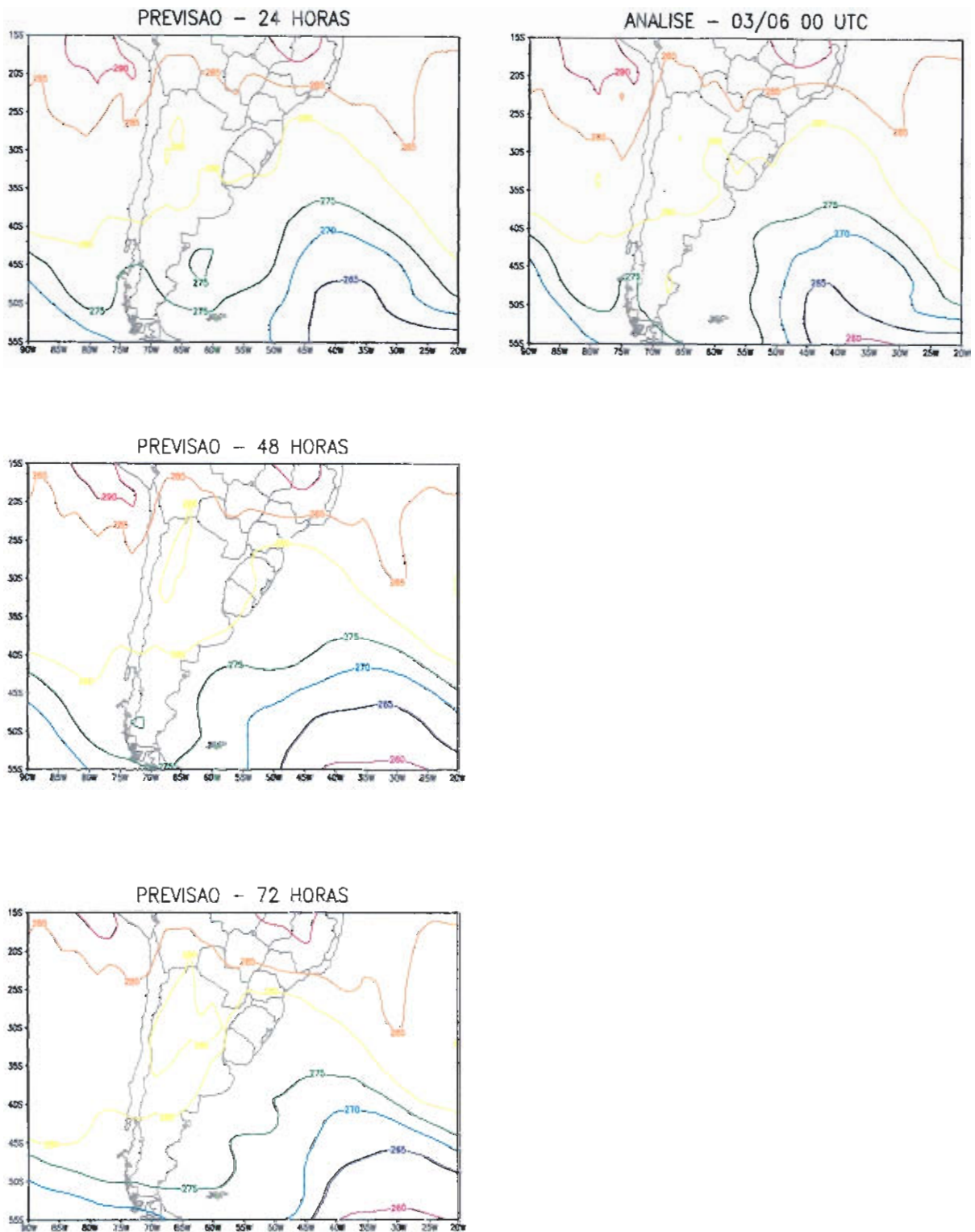


Fig. 4.8 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise correspondente de Temperatura Virtual ($^{\circ}\text{K}$) em 850 hPa (caso 3).

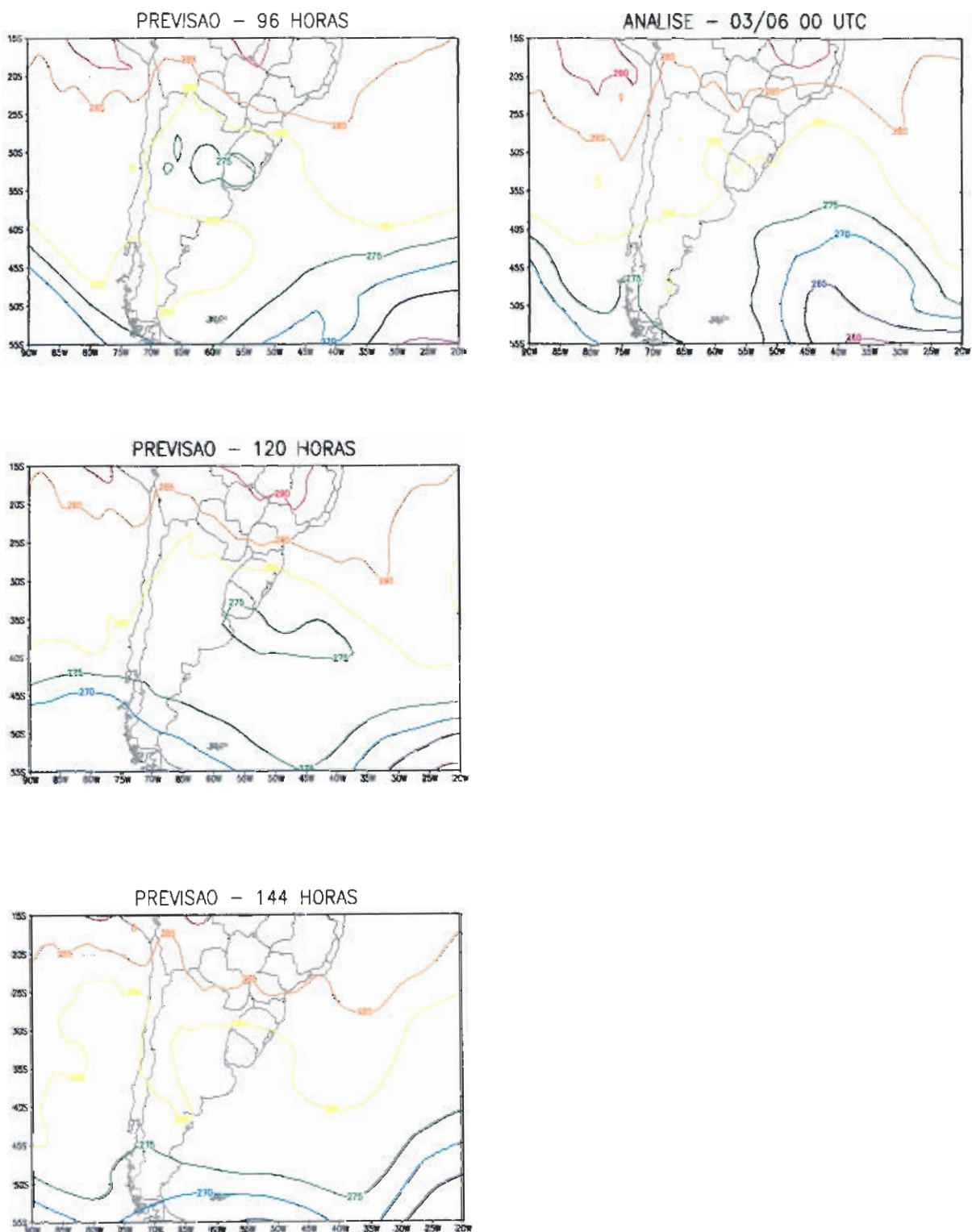


Fig. 4.9 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise correspondente de Temperatura Virtual (°K) em 850 hPa (caso 3).

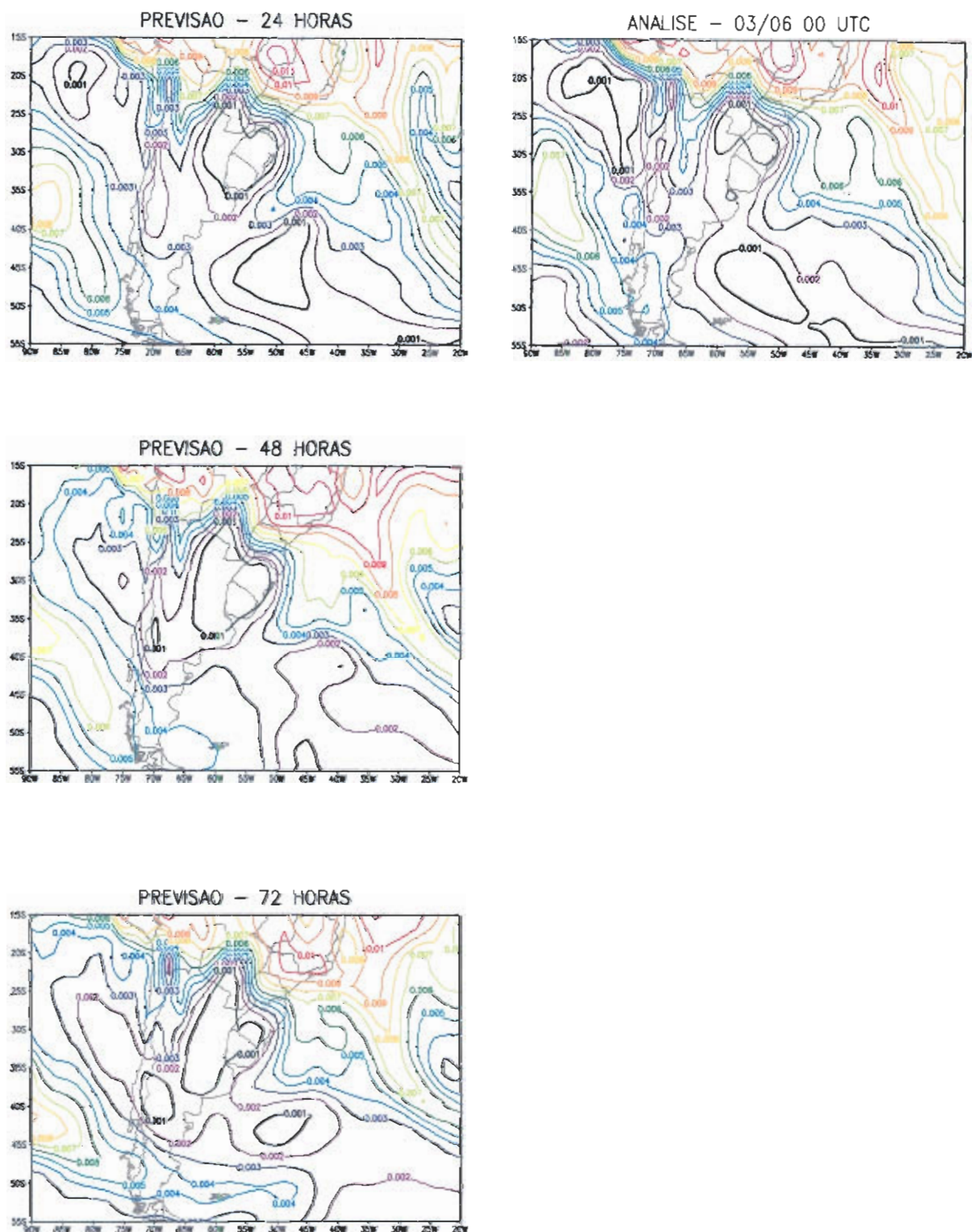


Fig. 4.10 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Umidade Específica (KgKg^{-1}) em 850 hPa (caso 3).

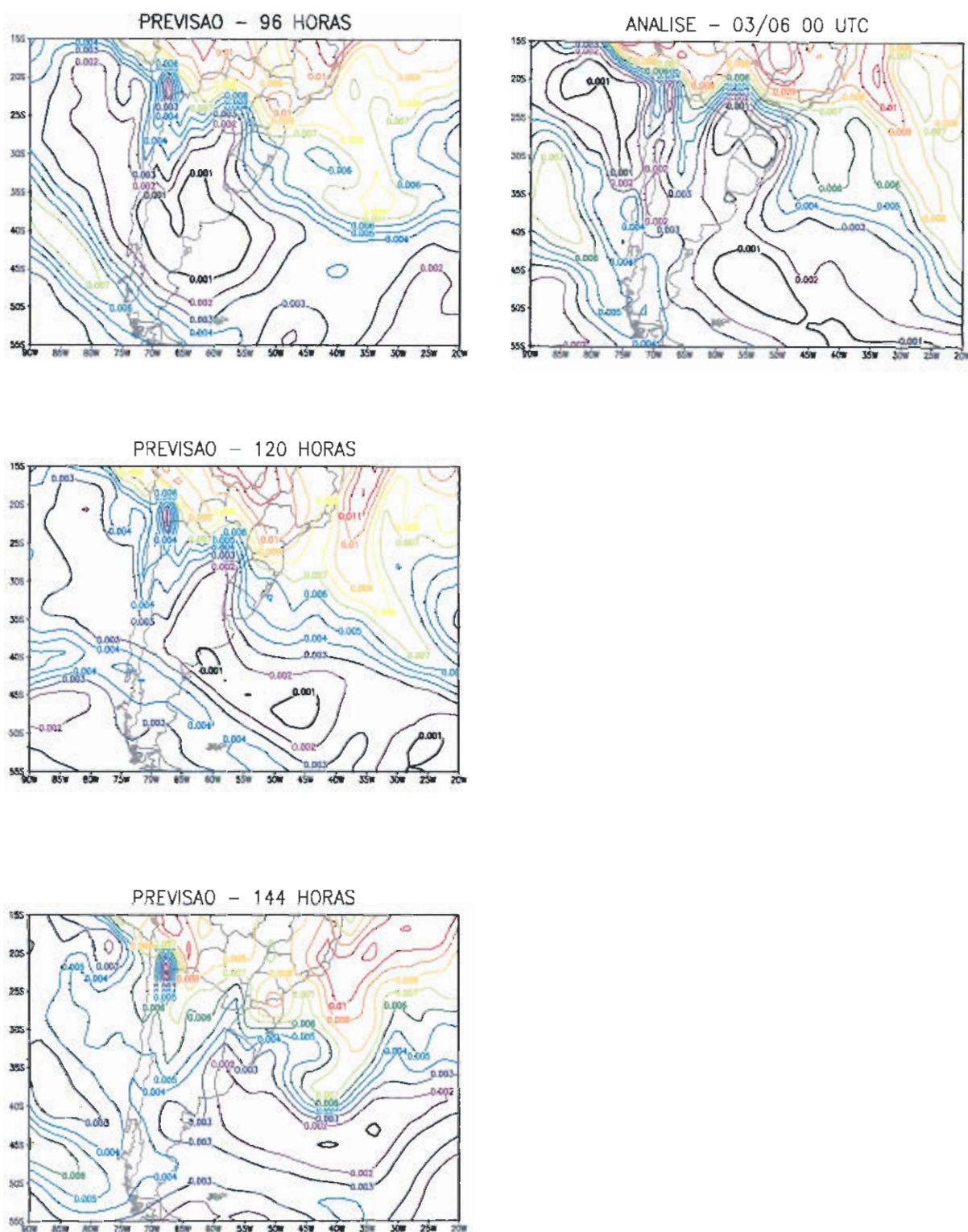


Fig. 4.11 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Umidade Específica (KgKg^{-1}) em 850 hPa (caso 3).

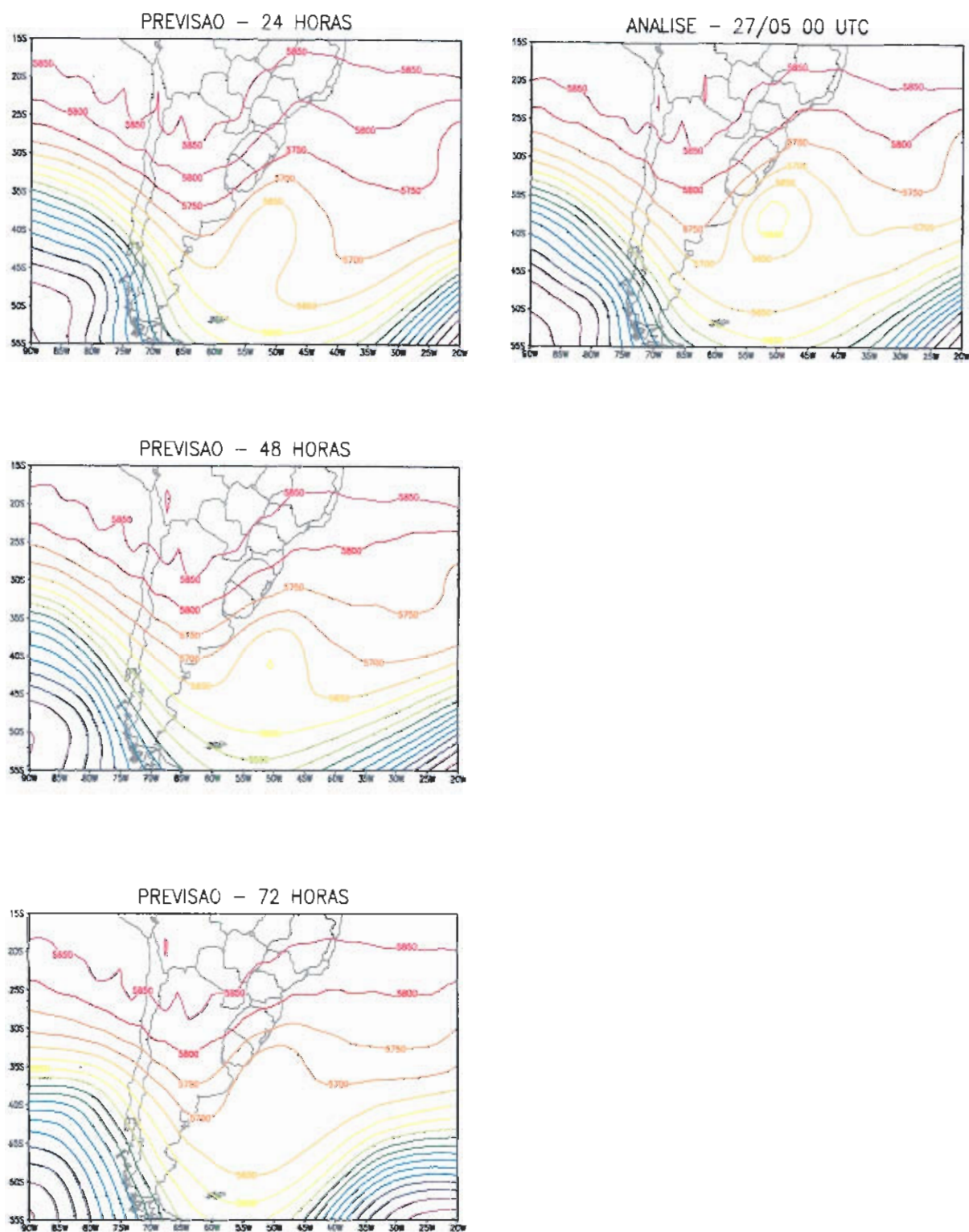


Fig. 4.12 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 500 hPa (caso 2).

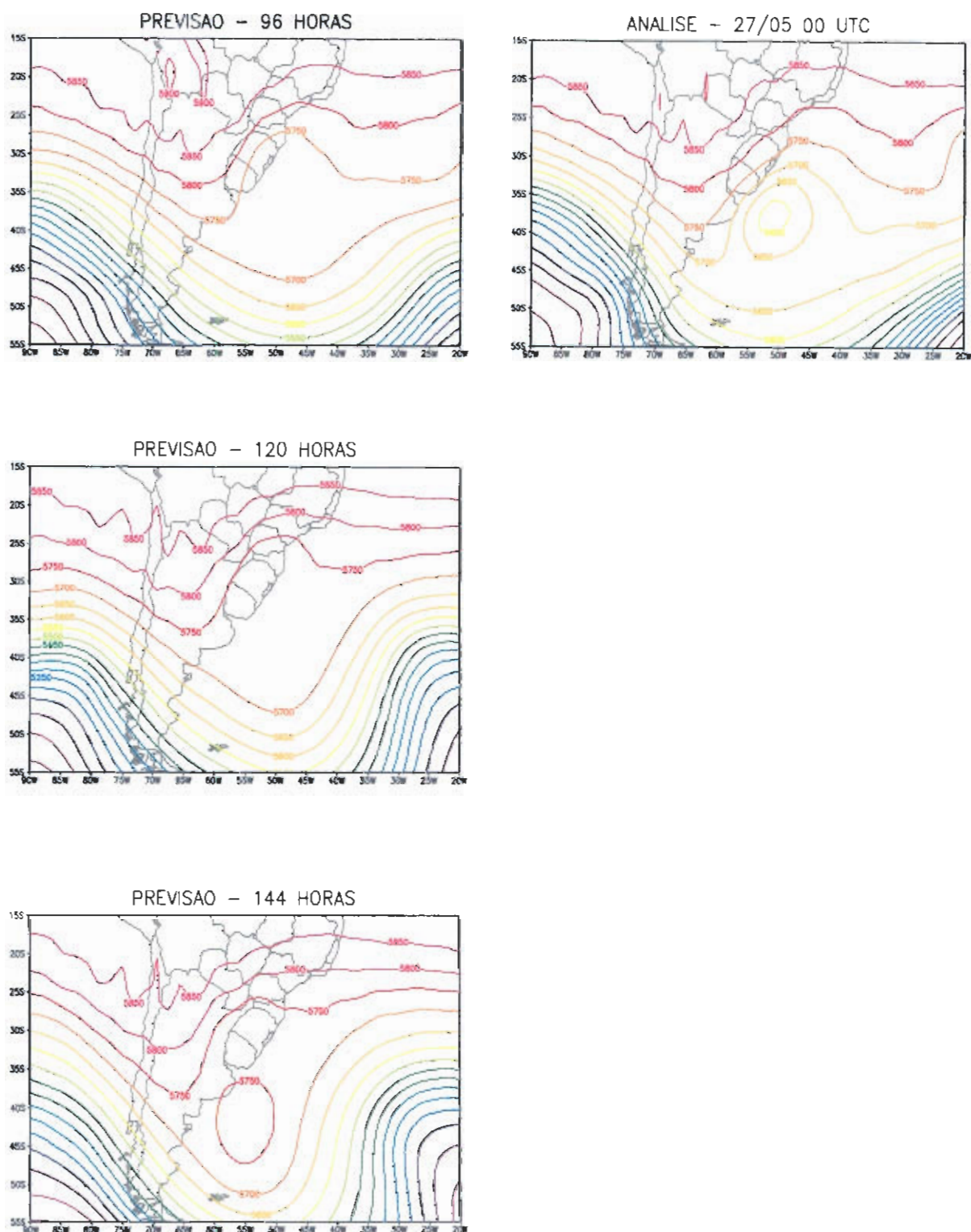


Fig. 4.13 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 500 hPa (caso 2).

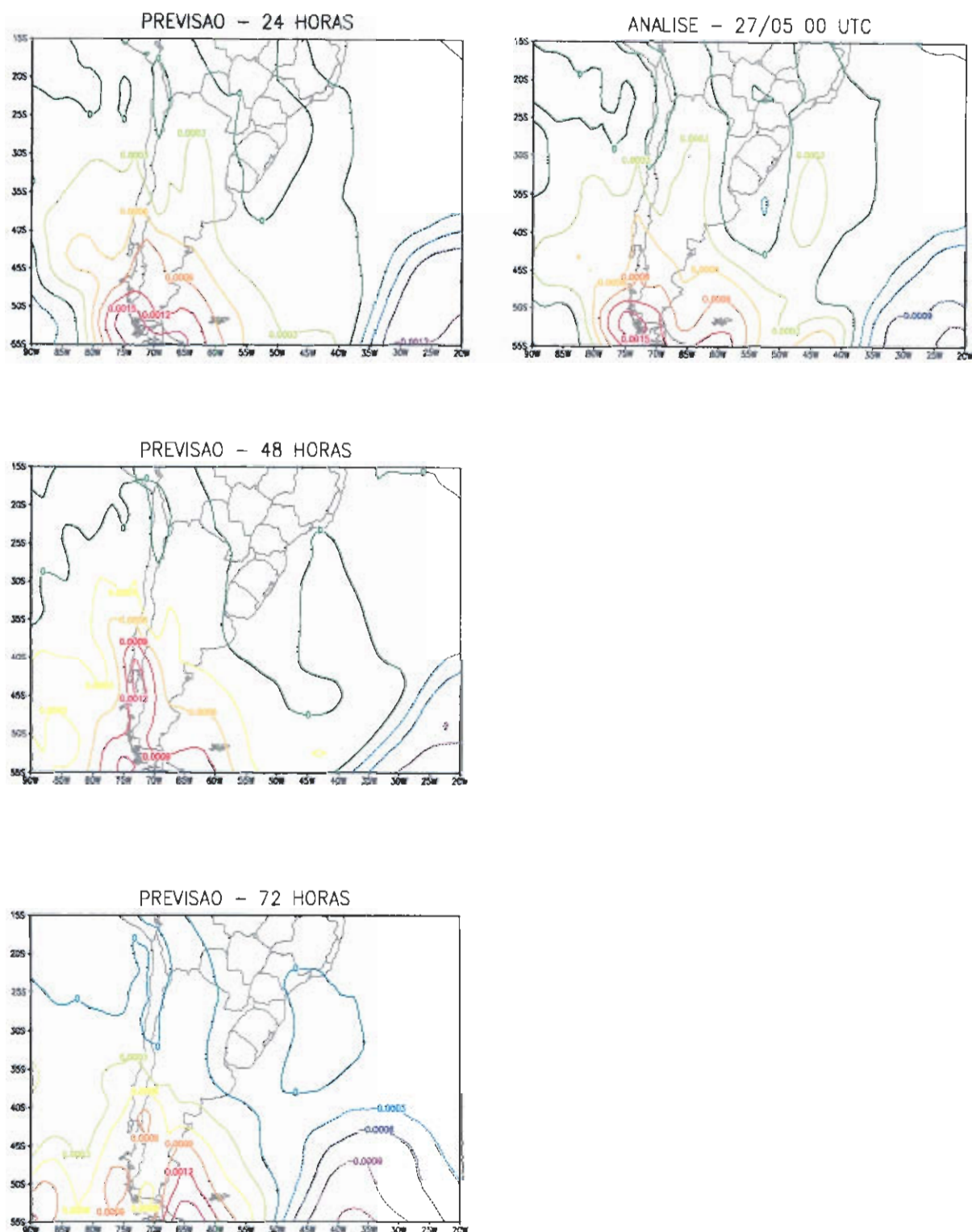


Fig. 4.14 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Advecção Térmica ($^{\circ}\text{Ks}^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).

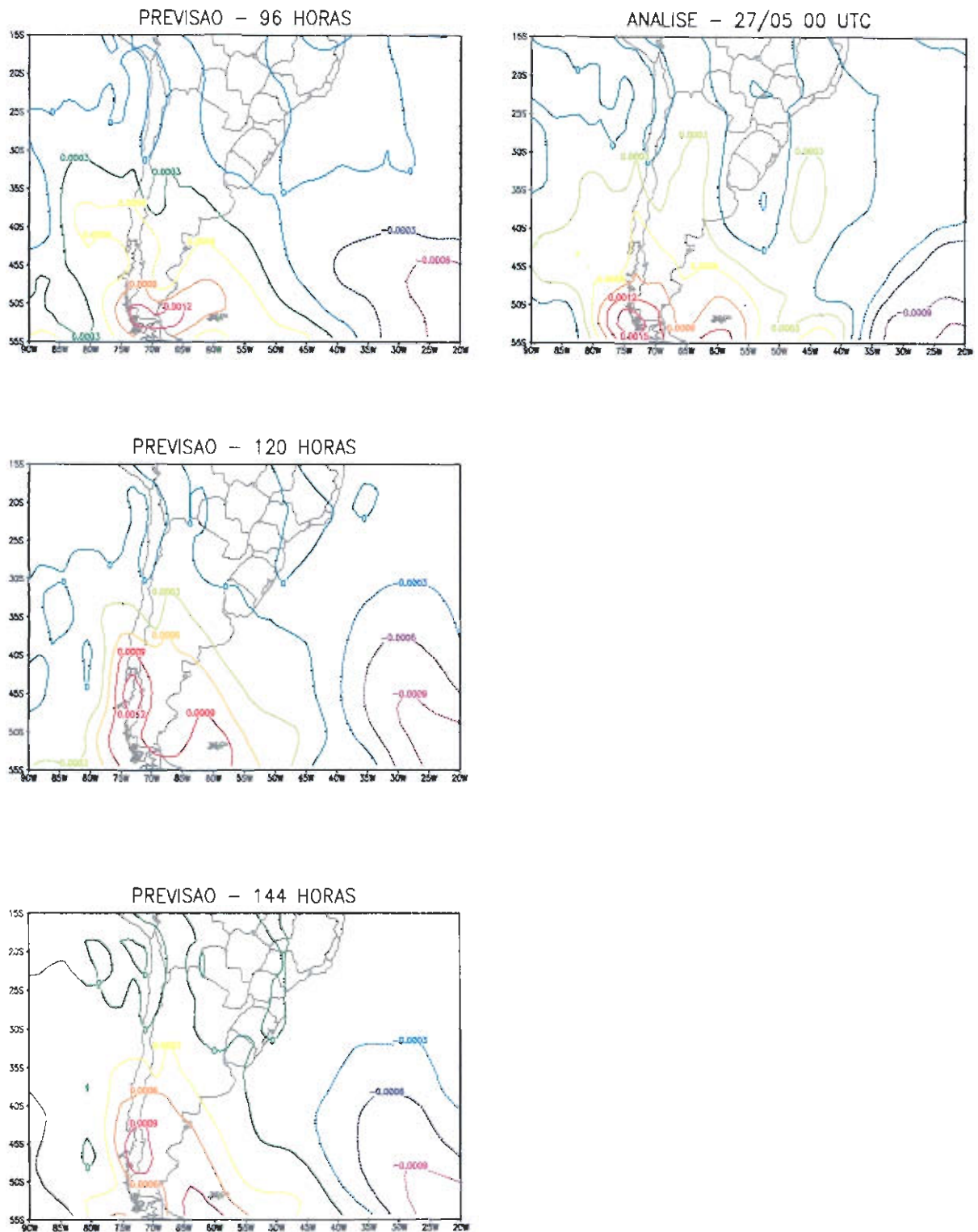


Fig. 4.15 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Advecção Térmica ($^{\circ}\text{Ks}^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).

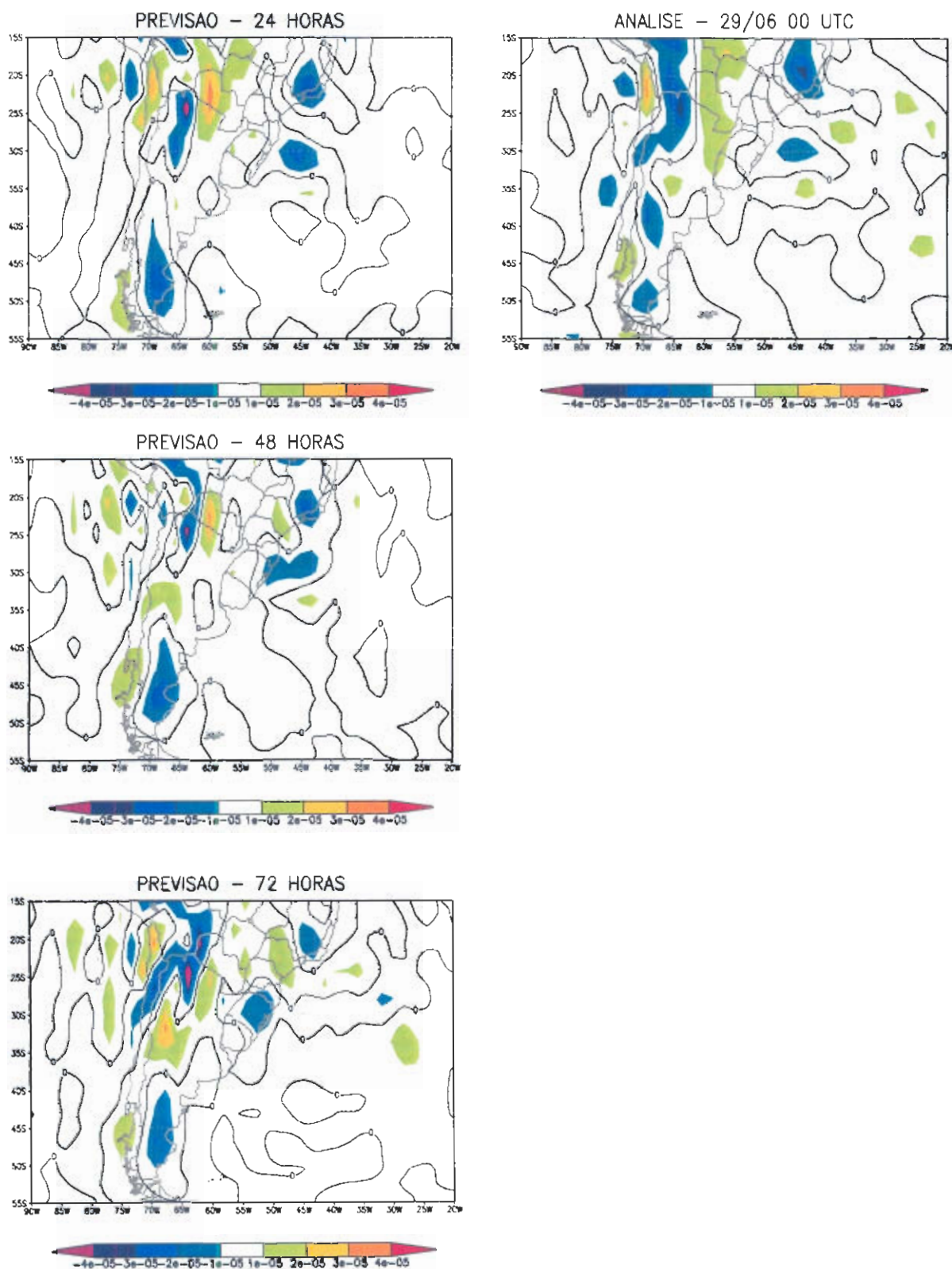


Fig. 4.16 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Divergência (s^{-1}) em 850 hPa (caso 4).

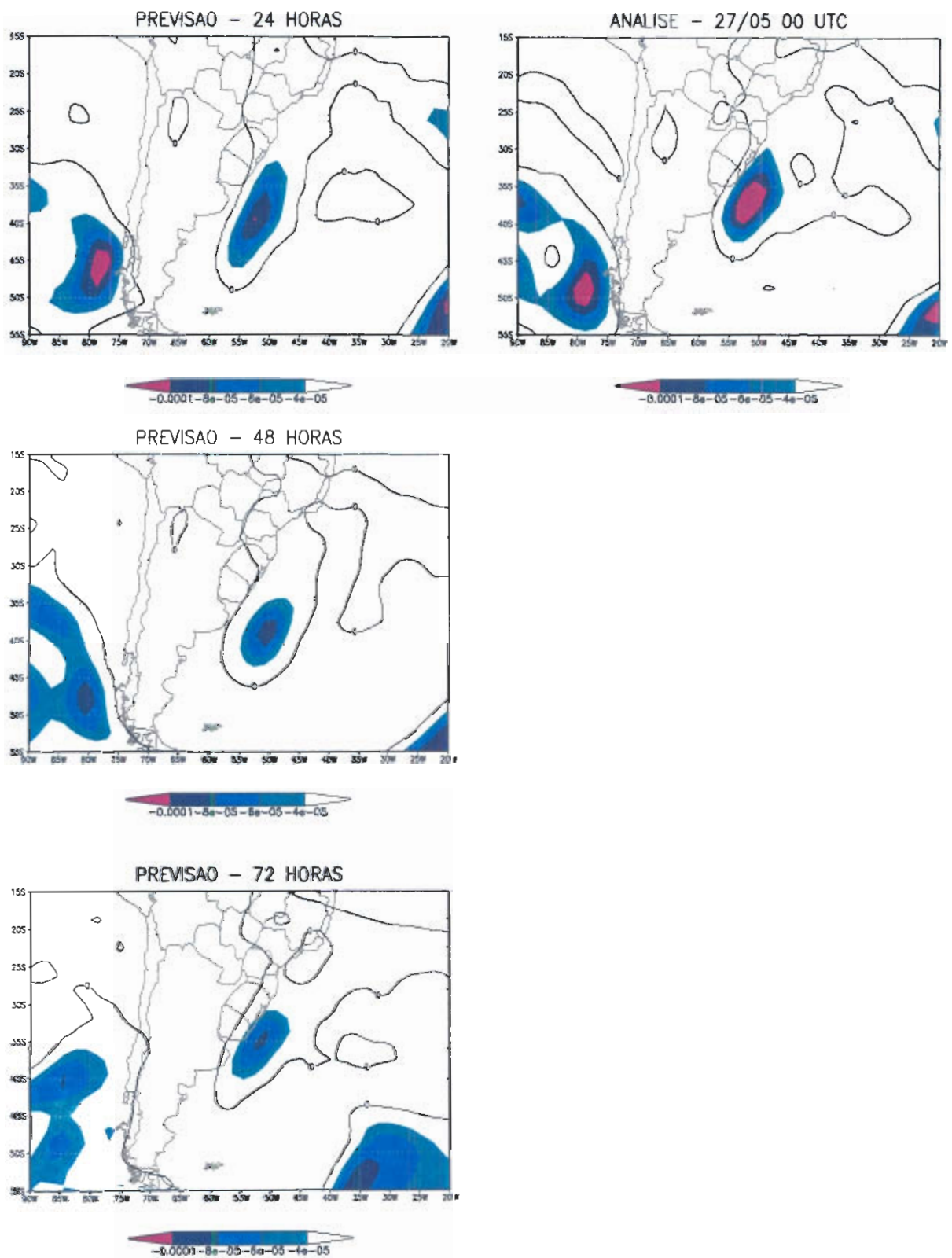


Fig. 4.17 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Vorticidade (s^{-1}) em 500 hPa (caso 2).

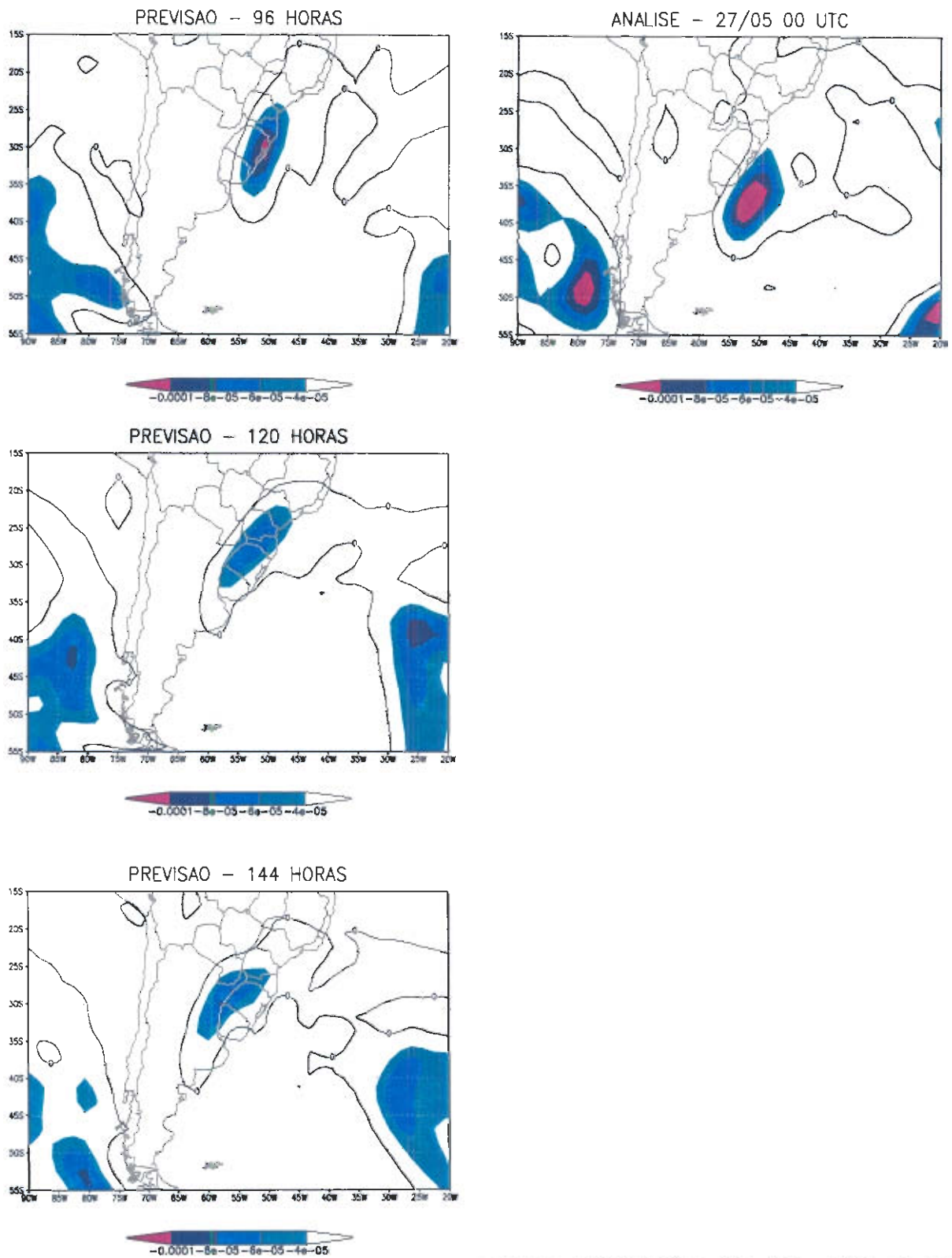


Fig. 4.18 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Vorticidade (s^{-1}) em 500 hPa (caso 2).

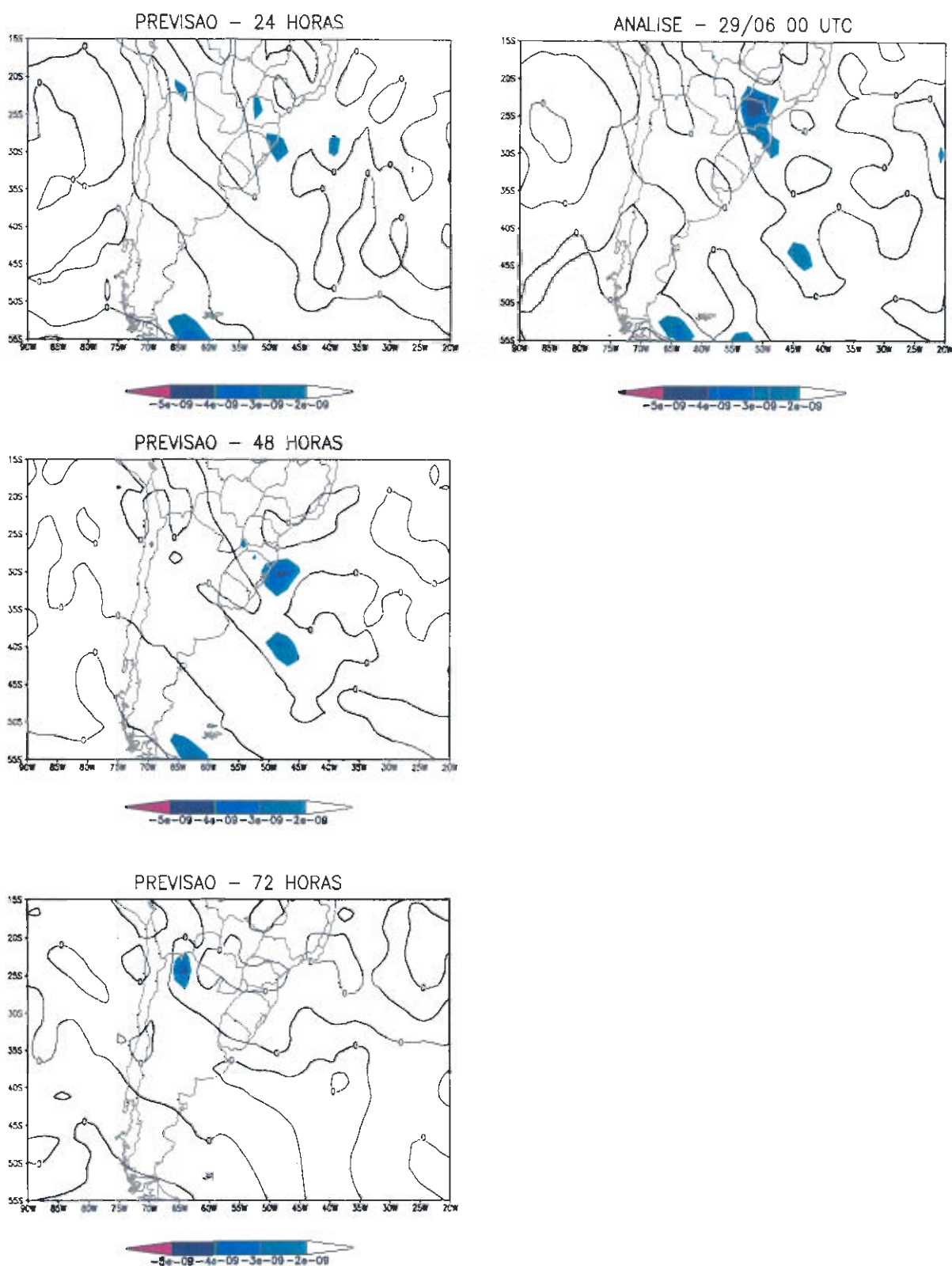


Fig. 4.19 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Advecção de Vorticidade (s^{-2}) em 500 hPa (caso 4).

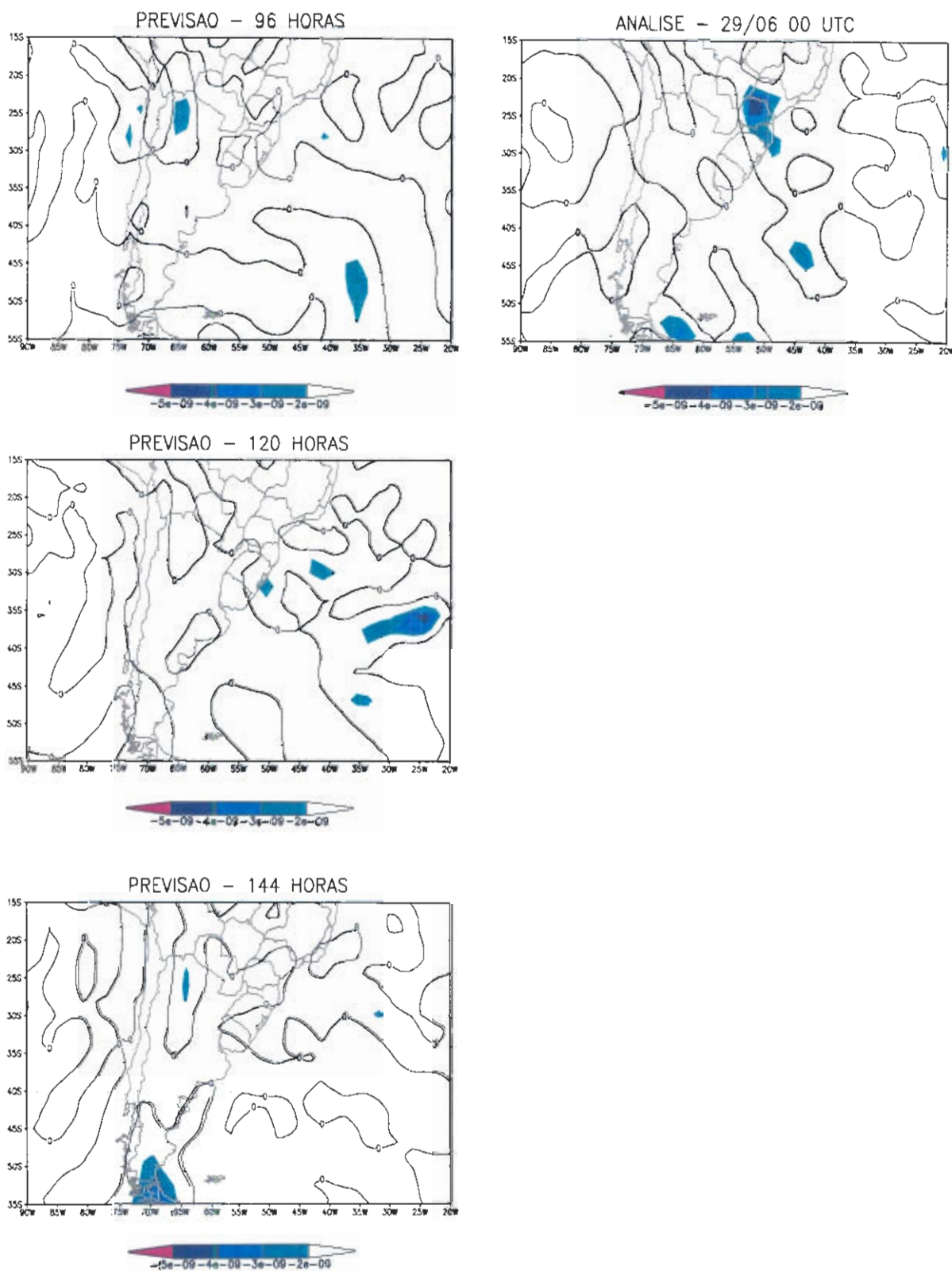
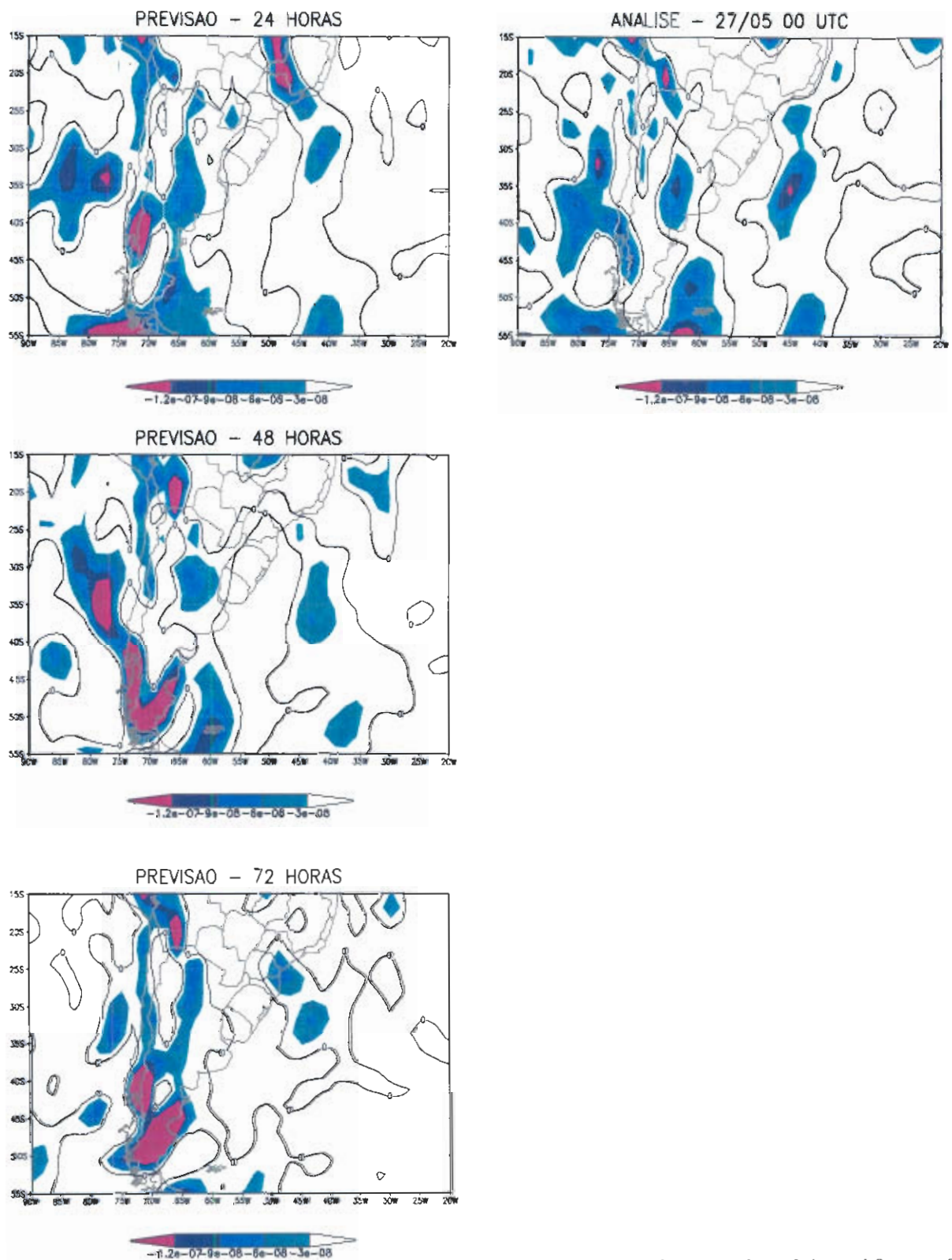


Fig. 4.20 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Advecção de Vorticidade (s^{-2}) em 500 hPa (caso 4).



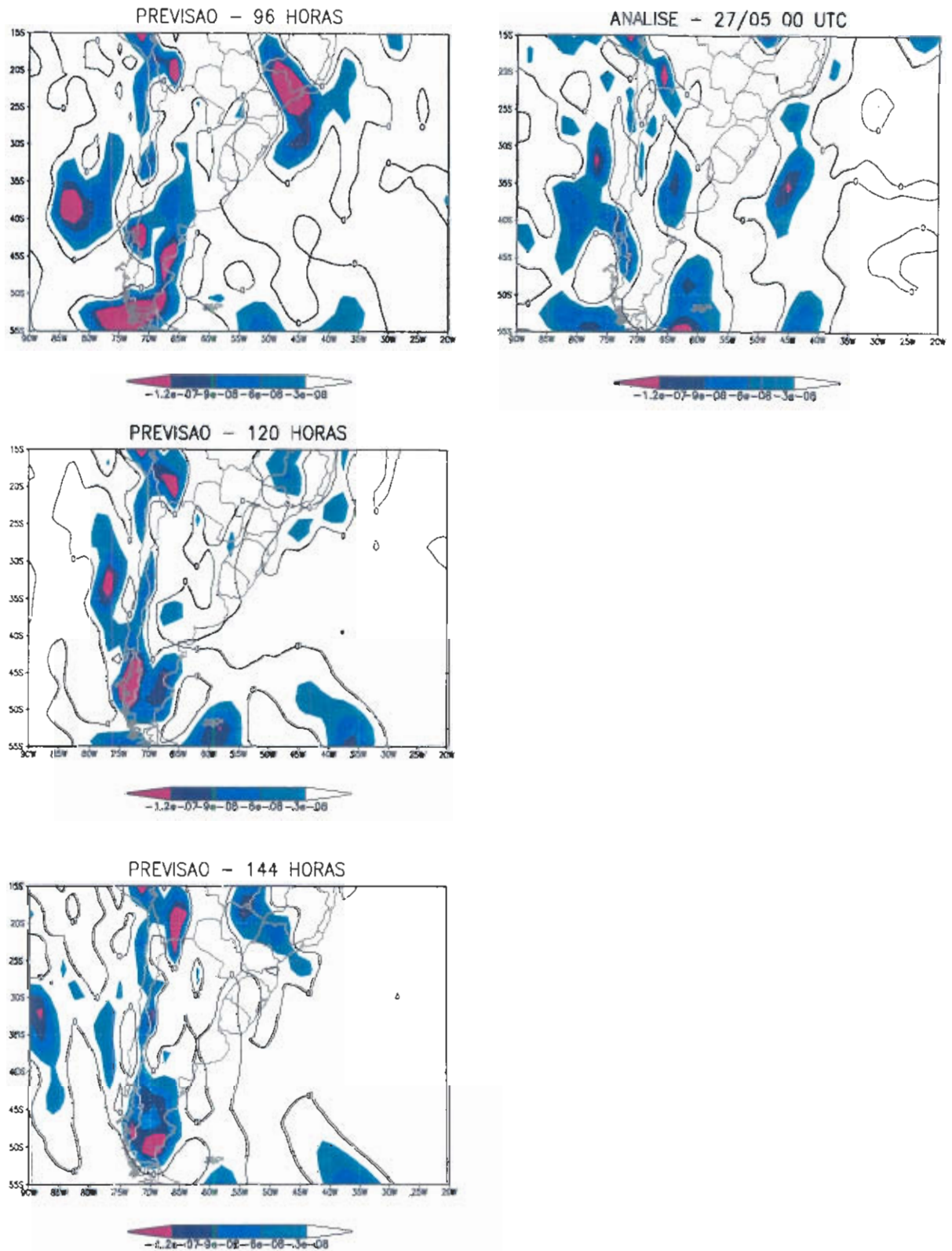


Fig. 4.22 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($\text{KgKg}^{-1}\text{s}^{-1}$) em 850 hPa (caso 2).

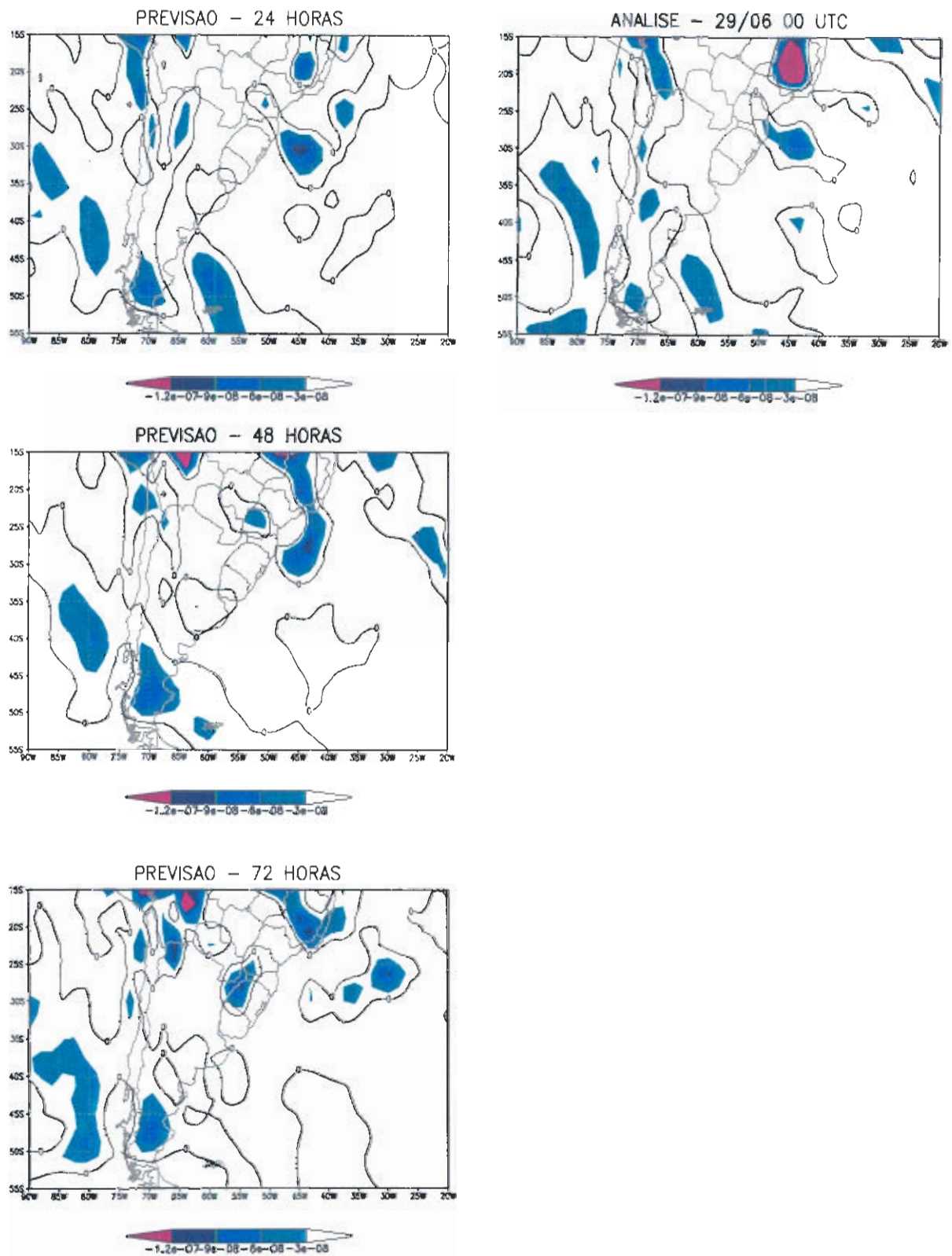


Fig. 4.23 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($\text{KgKg}^{-1}\text{s}^{-1}$) em 850 hPa (caso 4).

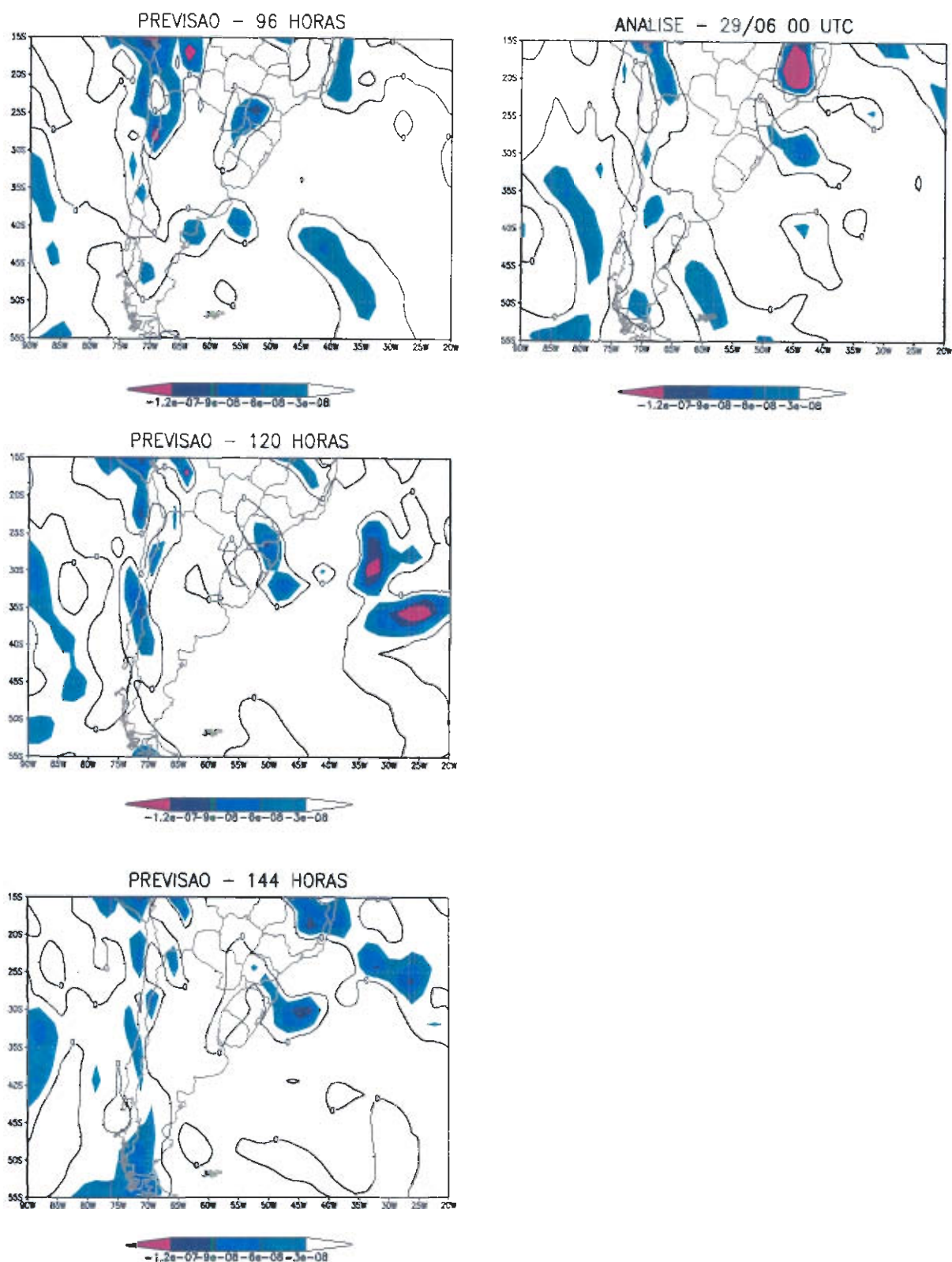


Fig. 4.24 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Convergência de Fluxo de Umidade ($\text{KgKg}^{-1}\text{s}^{-1}$) em 850 hPa (caso 4).

4.2.3 - Observações Gerais

É gratificante notar que o prazo das previsões úteis é maior para a variável vento no caso da ciclogênese (caso 2) e para a variável temperatura virtual no caso de ocorrência de geada (caso 3) e passagem de sistema frontal (caso 4).

A umidade específica (q) foi o diagnóstico que apresentou menor performance entre as variáveis simples submetidas aos testes de desempenho. No entanto, a água precipitável (h), resultado da integração de q com a altura, apresentou boa previsibilidade em relação às demais variáveis obtidas a partir de variáveis simples. Suspeita-se que a distribuição de vapor d'água no plano vertical no modelo estaria sendo processada inadequadamente, no entanto, o vapor d'água integrado na vertical estaria sendo bem previsto.

Grande parte das previsões para o dia 30 de junho (estudo de caso 4) de 1996 não apresentou boa performance, principalmente para prazos maiores que 24 horas. Supõe-se que parte do problema esteja na análise da baixa troposfera e, para tanto, levanta-se algumas hipóteses. Uma hipótese para explicar a possível má qualidade da análise no dia 30 de junho é que esta tenha sido elaborada com poucos dados. Nessa situação o campo analisado representa simplesmente o "first-guess", ou seja, a última previsão (6, 12 ou 24 horas, dependendo do ciclo de assimilação). Assim, espera-se que o cor de 24 horas apresente valor elevado.

As Figuras 4.25 e 4.26 mostram a análise do dia 30/06 e as respectivas previsões de 24 a 144 horas de antecedência para a altura geopotencial em 850 hPa. De acordo com essas figuras, nota-se que o sistema de alta pressão atuante sobre o centro-sul do Brasil, a crista em 52 °W e o cavado sobre o oceano Atlântico em 35 °W foram bem simulados apenas com 24 e 48 horas de antecedência. As previsões acima de 72 horas de antecedência apresentaram padrões completamente diferentes dos analisados, aparentemente por razões complexas.

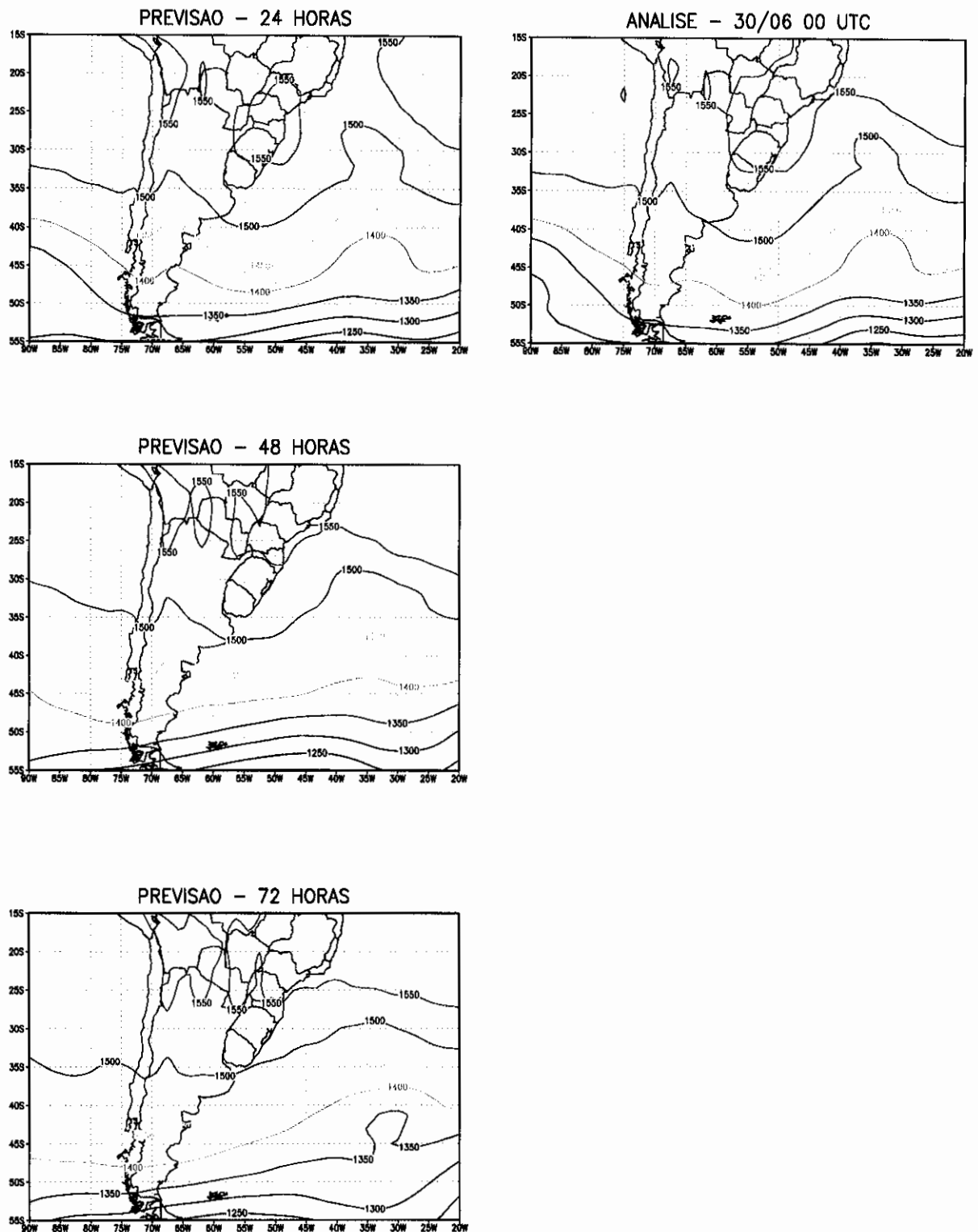


Fig. 4.25 - Comparação entre previsão de 24, 48 e 72 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 850 hPa (caso 4).

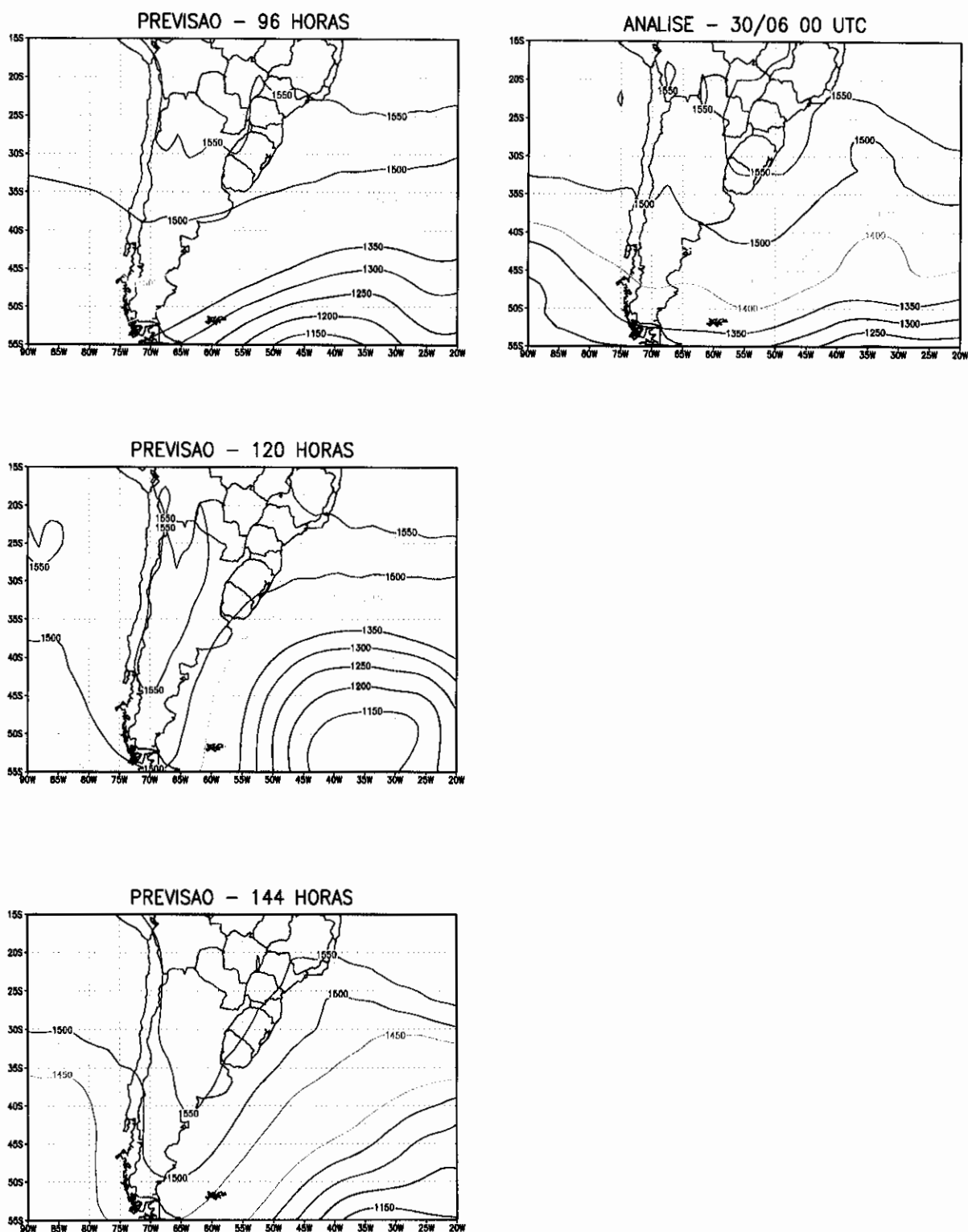


Fig. 4.26 - Comparação entre previsão de 96, 120 e 144 horas e análise de Altura Geopotencial (m) em 850 hPa (caso 4).

CAPÍTULO 5

DISCUSSÕES FINAIS

As discrepâncias entre previsões de variáveis simples e derivadas foram enfatizadas matematicamente no Capítulo 2. Para tanto, correlacionou-se duas variáveis simples e duas variáveis derivadas, supondo alguns casos simples e hipotéticos.

Quando as variáveis prevista e analisada, a serem correlacionadas, são compostas de uma única onda número n , a correlação entre variáveis simples tem o mesmo valor da correlação entre variáveis derivadas, sendo que este resultado não torna-se diferente até quando as ondas previstas e analisadas possuem amplitudes diferentes. No entanto, quando a onda prevista possui número de onda diferente da onda analisada, tanto as correlações entre variáveis simples como as correlações entre variáveis derivadas são nulas. Assim, o campo previsto deve pelo menos ter o mesmo número de onda do campo analisado para que esses possuam alguma correlação. Portanto, para o caso de uma única onda, as correlações entre variáveis simples e as correlações entre variáveis derivadas não diferem, mas são nulas quando o número de onda é diferente.

Na hipótese das variáveis analisadas e previstas serem compostas de duas (ou mais) ondas diferentes, com números de onda m e n , a correlação entre variáveis simples e a correlação entre variáveis derivadas são

diferentes. Considerando que as amplitudes de todas as ondas possuem valores iguais e unitários e que estas ondas possuem um número de onda quatro vezes maior que o outro ($n = 4m$), nota-se que o valor da correlação entre duas variáveis derivadas é 16 vezes mais influenciado pela onda curta (onda número 4m) e que o valor da correlação entre duas variáveis simples é influenciado igualmente pelas duas ondas. Assim, um erro ocorrido nas ondas curtas é mais prejudicial às previsões de variáveis derivadas.

O estudo de caso 1, realizado no Capítulo 4, mostrou que as previsões do modelo global do CPTEC/COLA tem desempenho diferente sobre as regiões tropical e extratropical do continente Sul-americano. Através dos estudos de casos 2, 3 e 4, apresentados também no Capítulo 4, comprovou-se que as previsões de variáveis derivadas possuem performance diferentes das previsões de variáveis simples. Além disso, notou-se que a previsibilidade das variáveis simples e das variáveis derivadas variam de acordo com o tipo de sistema meteorológico predominante.

5.1 - Estudo de Caso 1

O primeiro caso estudado (caso 1) é uma situação em que não ocorreu tempo significativo sobre as regiões tropical e extratropical. Calculou-se o coeficiente de correlação entre os campos anômalos previstos e analisados de Z , T_v , u , v , q , Adv_T , $Convq$, ΔZ , e h (ver lista de símbolos), assim como o erro quadrático médio de u e v . As correlações das variáveis simples mostraram que até 72 horas de antecedência, apenas u e q apresentaram, em algumas vezes, previsão melhor para a região tropical do

que para a região extratropical. Entre as variáveis derivadas, o campo melhor previsto para a região tropical foi o campo de Convq . No entanto foram poucas as vezes em que as previsões dessa variável indicaram correlação igual ou superior a 0.6, valores estes que tornam válidas as previsões segundo os critérios adotados neste trabalho. As demais variáveis derivadas também mostraram maiores vantagens para as previsões sobre a região extratropical, principalmente até 72 horas de antecedência.

Notou-se que nos extratrópicos a correlação diminui gradativamente conforme aumenta o prazo de previsão, entretanto nos trópicos os valores de correlação diminuem até 48 e 72 horas de antecedência e aumentam depois. A aparente melhora das previsões, a partir de 48 e 72 horas de antecedência, se deve à pouca variabilidade espacial da variável nos trópicos e à falta de dados observacionais nessa região. Essa situação cria uma falsa impressão de que o modelo prevê melhor, a partir de 48 e 72 horas, para a região tropical do que para a região extratropical.

O erro quadrático médio de u e v , em geral, são maiores nos extratrópicos do que nos trópicos. Isso se deve a maior variabilidade espacial do vento existente nos extratrópicos. Na maioria das vezes o erro quadrático médio aumenta com o prazo de previsão tanto nos trópicos como nos extratrópicos. Ressalta-se ainda que o erro quadrático médio dos ventos cresce com a altura, da mesma forma que a magnitude do próprio vento.

5.2 - Estudo de Casos 2, 3 e 4

Os casos 2, 3 e 4 são, respectivamente, ciclogênese sobre o Oceano Atlântico, friagem com ocorrência de geada sobre o centro-sul do Brasil e passagem de sistema frontal sobre o centro-sul do Brasil com ocorrência de neve na serra catarinense e, após a passagem desse sistema, ocorrência de geada sobre toda a Região Sul. Calculou-se o coeficiente de correlação (cor), erro quadrático médio (rms) e desvio padrão (σ) para u , v , T_v , q , Z , Q_x , Q_y , Adv_T , δ , ζ , Adv_ζ , $Convq$, h , e ΔZ , somente para a região extratropical da América do Sul. Em algumas situações, comparou-se visualmente os campos previstos e analisados.

Notou-se que na grande maioria das vezes dos três casos estudados o cor diminui e o rms aumenta com o prazo de previsão. Além disso, muitas vezes que o rms atinge valor muito alto, verifica-se que o campo anômalo da previsão não correlaciona-se satisfatoriamente com o campo anômalo da análise. Observa-se também que o desvio padrão da anomalia da análise ($\sigma(x)$) esteve sempre próximo ao desvio padrão da anomalia da previsão ($\sigma(y)$), embora este último tenda a aumentar com o prazo de previsão. Ressalta-se ainda que o principal responsável pelas previsões inválidas foi o fato do cor não ter atingido o valor mínimo de 0.6.

De acordo com os resultados estatísticos de cada variável simples e derivada e também pela comparação visual, em alguns casos, dos campos previstos e analisados, notou-se claramente que as previsões de variáveis simples

apresentam igual ou melhor performance em relação as previsões de variáveis derivadas.

As previsões para o dia 30 de junho (caso 4) apresentaram performance diferente das previsões para os demais dias desse caso e dos outros dois (casos 2 e 3). Supõe-se que haja algum problema no campo analisado do dia 30 de junho. Uma hipótese para explicar a possível má qualidade da análise no dia 30 de junho é que esta tenha sido elaborada com poucos dados ou, até mesmo, com dados errôneos. No caso de carência de dados, o campo analisado representa simplesmente o "first-guess", tornando essa análise bastante semelhante dos campos previstos com 24 horas de antecedência. Por razões complexas as previsões para esse dia com prazo superior a 24 horas não assemelham-se às análises.

Felizmente, notou-se que o prazo das previsões úteis é maior para a variável vento no caso de ciclogênese (caso 2) e para a variável temperatura nos casos de friagem (caso 3) e passagem de frente fria (caso 4).

Entre as variáveis derivadas, a Adv_T e h foram as que apresentaram melhor performance, inclusive com desempenhos semelhantes aos obtidos pelas variáveis simples utilizadas em seus cálculos. As componentes Zonal e Meridional do Vento e a Temperatura Virtual apresentaram performance tão boa quanto a Adv_T . A Umidade Específica obteve menor previsibilidade do que a Água Precipitável.

Outra variável derivada que apresentou desempenho semelhante ao obtido pela variável simples utilizada em seu

cálculo foi a Espessura da Camada Atmosférica (ΔZ). A performance de Z foi semelhante a performance de ΔZ nos estudos de casos 2, 3 e 4.

Nas ocasiões em que foram feitas análises visuais entre os campos previstos e analisados, percebeu-se que quando a previsão de um determinado horário não apresentou-se com boa concordância com a análise correspondente, essa mesma previsão não passou pelos testes de desempenho segundo os critérios adotados. Assim, conclui-se que os métodos estatísticos utilizados para teste de desempenho nesta dissertação, apesar de serem simples, foram eficientes no intuito de aprovar ou reprovar as previsões nas três situações de tempo estudadas (casos 2, 3 e 4). Sugere-se a utilização destes critérios para outras situações extremas de tempo, para que se possa identificar se as variáveis utilizadas aqui comportam-se da mesma forma em outros casos. Por exemplo, a previsão de Convq, que não comportou-se satisfatoriamente nos casos 2, 3 e 4, talvez apresente melhores resultados em um caso de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), situação de verão na qual o diagnóstico Convq é extremamente importante.

As principais conclusões desse estudo são resumidas abaixo:

i) As ondas curtas tem maior impacto do que as ondas longas sobre a correlação de variáveis derivadas.

ii) Em geral, erro quadrático médio aumenta e o coeficiente de correlação diminui com o prazo das previsões.

iii) As estatísticas de desempenho, em geral, mostram menor previsibilidade para as variáveis derivadas do que para as variáveis simples. Uma exceção notável é a Água Precipitável, h , que mostra maior previsibilidade que a Umidade Específica, q , nos níveis individuais (700 e 850 hPa).

iv) A previsibilidade das variáveis depende da situação sinótica predominante. Na situação de ciclogênese o vento apresenta maior previsibilidade e nas situações de ocorrência de geada e neve a temperatura em 850 hPa foi melhor prevista.

v) Os critérios estatísticos, adotados nesse estudo, baseados no coeficiente de correlação, desvio padrão e erro quadrático médio concordam bem com as comparações visuais das previsões e análises correspondentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonatti, J. P. Verificação Estatística do Modelo Global do CPTEC. Comunicação Pessoal, 1996.
- Caviedes, C. N. Two Simultaneous Climatological Hazards in the South America. **Proceedings of the Association of American Geographers**, 5: 44 - 49, 1973
- Chen, W. Y.; Dool, H. M. Forecast Skill and Low-Frequency Variability in NMC DERF90 Experiments. **Monthly Weather Review**, 123(8): 2491 - 2514, Aug. 1995.
- CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, São José dos Campos, SP. Número Especial, INPE/CPTEC, 1986.
- Custódio, M. A. M. ; Herdies, D. L. O Jato dos Baixos Níveis a Leste da Cordilheira dos Andes - Um Estudo de Caso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8. Belo Horizonte, 1994. **Anais** 2. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994, p. 617 - 619.
- Fennessy, M. J.; Marx, L.; Schneider, E. K. ; Straus, D. M. **COLA / GCM: Documentation of the Atmospheric General Circulation Model (DRAFT)**, Calverton, MD. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, 1990. 26 p.

- Gan, M. A. ; Rao V. B. Surface Cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, 119(5): 1293 - 1302, May. 1991.
- Hastenrath, S. ; Heller, L. Dynamics of Climate Hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, 103(435): 77 - 92, 1977.
- Holton, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. 3 ed. New York, Academic Press, 1992.
- Hoskins, B. J.; Draghici, I.; Davies, H. C. A new look at the ω -equation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 104(439): 31-38, 1978.
- Moura, A.D. **The ocean and the dynamics of the tropical atmosphere; its possible predictability**. São José dos Campos, INPE, 1984. 8 p. (INPE-2998-PRE/450).
- NMC Development Division Staff. **Research Version of the Medium Range Forecast Model**. Washington, NMC, 1988. (NMC Documentation Series, 1).
- Meyer, P. L. **Probabilidade Aplicações à Estatística**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1969.
- Quadro, M. F. L. ; Abreu M. L. Estudo de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8. Belo Horizonte, 1994. **Anais** 2. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994, p. 620 - 623.

Savijarvi, H. Error Growth in a Large Numerical Forecast System. **Monthly Weather Review**, **123**(1): 212 - 221, January 1995.

Virji, H. A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South America Estimated from Cloud Winds. **Monthly Weather Review**, **109**(3): 599 - 610, March 1981.

Wilks, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. v. 59. San Diego, Academic Press, 1995.

Wobus, R. L. ; Kalnay E. Three Years of Operational of Forecast Skill at NMC. **Monthly Weather Review**, **123**(7): 2132 - 2148, July 1995.

APÊNDICE A

Os cálculos do coeficiente de correlação, erro quadrático médio e desvio padrão são feitos através de um "script" do GrADS, dado a seguir:

*cálculo do coeficiente de correlação, erro quadrático médio e desvio padrão

*

```
say 'ENTER var1'
pull x
say 'ENTER var2'
pull y
'query dims'
lo=sublin(result,2)
lon1=subwrd(lo,6)
lon2=subwrd(lo,8)
la=sublin(result,3)
lat1=subwrd(la,6)
lat2=subwrd(la,8)
lv=sublin(result,4)
levl=subwrd(lv,6)
tm=sublin(result,5)
tim=subwrd(tm,6)
'define xb=aave('x',lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define yb=aave('y',lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define sigx=sqrt(aave(pow('x'-xb,2),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2'))'
'define sigy=sqrt(aave(pow('y'-yb,2),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2'))'
'define xlyl=aave(('x'-xb)*('y'-yb),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define xl2=aave(('x'-xb)*('x'-xb),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define yl2=aave(('y'-yb)*('y'-yb),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define cor=xlyl/sqrt(xl2*yl2)'
'define xy=aave(('x'-y)*('x'-y),lon='lon1',lon='lon2',lat='lat1',lat='lat2')'
'define rms=sqrt(xy)'
say ''
say 'Results for x = 'x' and y = 'y' :'
say 'Level: 'levl' Time: 'tim'
```

```

say 'Lon: 'lon1' to 'lon2
say 'Lat: 'lat1' to 'lat2
'undefine xlyl'
'undefine xl2'
'undefine yl2'
'undefine xy'
'query define'
say result
'undefine xb'
'undefine yb'
'undefine sigx'
'undefine sigy'
'undefine cor'
'undefine rms'

```

onde "x" é a anomalia da variável analisada, "y" é a anomalia da variável prevista, "cor" é o coeficiente de correlação, "rms" é o erro quadrático médio, "sigx" é o desvio padrão da variável analisada e "sigy" é o desvio padrão da variável prevista.

APÊNDICE B

O programa em fortran utilizado para calcular o campo de climatologia diária e construir o arquivo ".ctl" é dado por:

```
PROGRAM CLDIARIA
C*
  INTEGER LONI,LATI
  PARAMETER (LONI=192,LATI=97)
C*
  INTEGER KMAX
  PARAMETER (KMAX=8)
C*
C*  AMERICA DO SUL: ams
  INTEGER IA,IB,JA,JB,IN,JN
  PARAMETER (IA=139,IB=187,JA=41,JB=81,
*           IN=IB-IA+1,JN=JB-JA+1)
C*
  INTEGER N,K,L,I,J,MONTH,IDAY,IUTC,
*   IYEAR,JYEAR,MON,MF,MN
  REAL YDAY,ADD,F1,F2
  INTEGER MONL(12)
  CHARACTER*12 FNMI(12)
  CHARACTER*2 AMON,ADAY
  CHARACTER*9 FNMD
  CHARACTER*49 FNMANL
  LOGICAL EXANL
  REAL BUFA(LONI,LATI),BUFB(LONI,LATI),BUFI(LONI,LATI)
C*
  DATA MONL /31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
  DATA FNMI /'clima.mth.01','clima.mth.02','clima.mth.03',
*   'clima.mth.04','clima.mth.05','clima.mth.06',
*   'clima.mth.07','clima.mth.08','clima.mth.09',
*   'clima.mth.10','clima.mth.11','clima.mth.12'/
  DATA FNMD /'clima.day'/
C*
  WRITE(*,*)' Enter: Day, Month, Year, UTC'
  READ(*,*)IDAY,MONTH,IYEAR,IUTC
```

```

C*
WRITE(ADAY,"(I2.2)")IDAY
WRITE(AMON,"(I2.2)")MONTH

IF (IYEAR .GT. 1900) THEN
  JYEAR=IYEAR-1900
ELSE
  JYEAR=IYEAR
ENDIF
C*
MON=MONTH
YDAY=FLOAT(IDAY)+FLOAT(IUTC)/24.0
MF=MON-1
IF(YDAY.GT.1.0+FLOAT(MONL(MON))/2.0)MF=MON
MN=MF+1
IF(MF.LT.1)MF=12
IF(MN.GT.12)MN=1
ADD=FLOAT(MONL(MF))/2.0-1.0
IF(MF.EQ.MON)ADD=-ADD-2.0
F1=2.0*(YDAY+ADD)/FLOAT(MONL(MF)+MONL(MN))
F2=1.0-F1
C*
C*  WRITE(FNMD(11:12),'(I2.2)')IDAY
C*  WRITE(FNMA(12:13),'(I2.2)')IDAY
C*
OPEN(10,FILE=FNMI(MF),STATUS='OLD',
*   FORM='UNFORMATTED',READONLY,
*   ACCESS='DIRECT',RECL=LONI*LATI,
*   CONVERT='BIG_ENDIAN')
C*
OPEN(11,FILE=FNMI(MN),STATUS='OLD',
*   FORM='UNFORMATTED',READONLY,
*   ACCESS='DIRECT',RECL=LONI*LATI,
*   CONVERT='BIG_ENDIAN')
C*
OPEN(12,FILE='clima//ADAY//AMON,STATUS='UNKNOWN',
*   FORM='UNFORMATTED',
*   ACCESS='DIRECT',RECL=LONI*LATI,
*   CONVERT='BIG_ENDIAN')
C*
OPEN(20,FILE='clima//ADAY//AMON//'.ctl',STATUS='UNKNOWN')
C*
N=0
DO K=1,8
DO L=1,4
C*
N=N+1
READ(10,REC=N)((BUFA(I,J),I=1,LONI),J=1,LATI)
READ(11,REC=N)((BUFB(I,J),I=1,LONI),J=1,LATI)

```

```

      DO J=1,LATI
      DO I=1,LONI
      BUFI(I,J)=F2*BUFA(I,J)+F1*BUFB(I,J)
      ENDDO
      ENDDO
C*
      WRITE(12,REC=N)((BUFI(I,J),I=1,LONI),J=1,LATI)
C*
      ENDDO
      ENDDO
C*
      CLOSE(10)
      CLOSE(11)
      CLOSE(12)
C*
      CALL CLMDY(IDAY,MONTH,IYEAR,IUTC)
C*
      STOP
      END
C*
      SUBROUTINE CLMDY(IDAY,MONTH,IYEAR,IUTC)
C*
      INTEGER IDAY,MONTH,IYEAR,IUTC,JYEAR,KYEAR
      CHARACTER*3 MON(12)
      DATA MON/'JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN',
      *      'JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','DEC'/
C*
      IF (IYEAR .GT. 1900) THEN
      JYEAR=IYEAR-1900
      KYEAR=IYEAR
      ELSE
      JYEAR=IYEAR
      KYEAR=IYEAR+1900
      ENDIF
C*
C*   OPEN(20,FILE='clima//ADAY//AMON//'.ctl,STATUS='UNKNOWN')
C*
      WRITE(20,'(A15)')DSET ^clima',IDAY,MONTH
      WRITE(20,'(A1)')'*'
      WRITE(20,'(A23)')OPTIONS YREV BIG_ENDIAN'
      WRITE(20,'(A1)')'*'
      WRITE(20,'(A14)')UNDEF -2.56E33'
      WRITE(20,'(A1)')'*'
      WRITE(20,'(A22)')TITLE Climatologia NMC'
      WRITE(20,'(A1)')'*'
      WRITE(20,'(A27)')XDEF 192 LINEAR 0.0 1.875'
      WRITE(20,'(A27)')YDEF 97 LINEAR -90.0 1.875'
      WRITE(20,'(A48)')ZDEF 8 LEVELS 1000 850 700 500 '//
      *      '300 250 200 100'

```

```

WRITE(20,'(A16,I2.2,A1,I2.2,A3,I4.4,A4)')
*      'TDEF 1 LINEAR ',IUTC,'Z',IDAY,
*      MON(MONTH),KYEAR,' IDY'
WRITE(20,'(A1)')'*'
WRITE(20,'(A6)')'VARS 4'
WRITE(20,'(A25)')'U 8 99 VENTO ZONAL (M/S)'
WRITE(20,'(A30)')'V 8 99 VENTO MERIDIONAL (M/S)'
WRITE(20,'(A31)')'TV 8 99 TEMPERATURA VIRTUAL (K)'
WRITE(20,'(A31)')'Z 8 99 ALTURA GEOPOTENCIAL (M)'
WRITE(20,'(A7)')'ENDVARS'
C*
CLOSE(20)
C*
RETURN
END

```