

ANÁLISE DOS BALANÇOS DE CALOR E UMIDADE NO MODELO GLOBAL DO CPTEC/COLA PARA PREVISÃO DE TEMPO DURANTE UM EPISÓDIO DE ZCAS E ALTA DA BOLÍVIA

Renata Weissmann Borges Mendonça (renata@cptec.inpe.br), José Paulo Bonatti (bonatti@cptec.inpe.br)

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE

Rodovia Presidente Dutra, km 40

Cachoeira Paulista – SP

ABSTRACT

The large scale heat and moisture budgets are studied during a SACZ and Bolivian High Episode for a NCEP analyses and CPTEC Global Model forecasts. It is analyzed the predominant components and interpreted the heat and moisture sources and sinks based on residuals. The results indicate that the vertical advection terms play an important contribution to the residuals specially in the regions with intense convective activity. The best performance of CPTEC Global Model is obtained in the 24, 48 and 72 hours forecasts.

1. INTRODUÇÃO

Os balanços de calor e umidade são comumente utilizados no estudo do comportamento atmosférico na presença de forçantes térmicas e dinâmicas. Yanai et al (1973) introduziram um método para o cálculo do que chamaram de fonte aparente de calor (Q_1) e sumidouro aparente de umidade (Q_2), obtidos como resíduos dos balanços de calor e umidade em grande escala. Paulino (1995) estimou os balanços de calor e umidade sobre regiões convectivamente ativas no continente sul-americano. Yanai et al (1998) usando as reanálises do NCEP-NCAR, determinaram as distribuições de fontes de calor Q_1 e sumidouro de umidade Q_2 , entre 50° N e 50° S para um período de 15 anos, de 1980 à 1994. Neste trabalho, os balanços de calor e umidade obtidos a partir das análises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) são apresentados como uma forma de análise diagnóstica de parâmetros meteorológicos para identificação de processos físicos durante um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB), ocorrido em 17 a 23 de março de 1997. O objetivo é identificar os termos predominantes e suas evoluções temporal e espacial e interpretar as fontes/sumidouros de vortacidade, através do cálculo e análise dos resíduos do balanço. O desempenho do Modelo Global do CPTEC/COLA em simular o balanço de vortacidade é também avaliado, comparando-se as análises e as previsões. Este trabalho é parte da dissertação de mestrado de Mendonça (2000).

2. DESCRIÇÃO DO EPISÓDIO ZCAS E AB

Os balanços de calor e umidade foram empregados para o episódio de ZCAS e AB ocorrido no período de 17 a 23 de março de 1997. De acordo com a Revista Climanálise, a partir do dia 17, uma banda de nebulosidade esteve atuante sobre o norte da Região Centro-Oeste, e em grande parte da Região Nordeste, estendendo-se para o Oceano Atlântico, pelo litoral da Bahia. A partir do dia 23, foi caracterizado o enfraquecimento da ZCAS e seu desaparecimento. Em 200 hPa, entre os dias 16 e 19, observou-se a presença de uma crista na região da Alta da Bolívia e o vórtice ciclônico do Nordeste sobre o Oceano Atlântico. A partir do dia 20, a Alta da Bolívia esteve configurada, com o centro sobre o Estado do Mato Grosso, em torno de 10° - 15° S e 50° - 60° W.

3. METODOLOGIA

Os estudos deste trabalho foram realizados utilizando o Modelo Global do CPTEC/COLA em que está implementada a parametrização de convecção profunda tipo Kuo (1965) e modificada por Anthes (1977), e com resolução horizontal T62L28, isto é, truncamento triangular na onda zonal de número 62 e estrutura vertical de 28 níveis, o que equivale a uma grade de aproximadamente 200 x 200 km próximo ao equador.

As análises do episódio selecionado foram recuperadas para os horários sinóticos 00, 06, 12 e 18Z e o modelo foi rodado por um prazo de 168 horas (7dias), partindo-se sempre do horário das 12Z, com saídas de 6 em 6 horas de previsão. A partir daí, foram calculados, através de scripts desenvolvidos em GRADS, os termos da equação da vortacidade para as análises e previsões, e obtidos os resíduos.

A equação que será utilizada para o cálculo do balanço termodinâmico é dada por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T + \omega \frac{\partial T}{\partial p} + \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p} = \frac{J}{c_p} \quad (3.1)$$

(i) (ii) (iii) (iv) (v)

onde: Termo (i) → tendência local de temperatura T,
 Termo (ii) → advecção horizontal de temperatura,
 Termo (iii) → advecção vertical de temperatura,
 Termo (iv) → advecção de espessura,
 Termo (v) → taxa de aquecimento/resfriamento diabático.

O balanço de umidade específica pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} = F_q \quad (3.2)$$

(i) (ii) (iii) (iv)

onde: Termo (i) → tendência local de umidade específica q,
 Termo (ii) → advecção horizontal de umidade específica,
 Termo (iii) → advecção vertical de umidade específica,
 Termo (iv) → fonte/sumidouro de umidade específica.

A área utilizada para a análise dos balanços de calor e umidade é indicada na Fig. 3.1, abaixo:

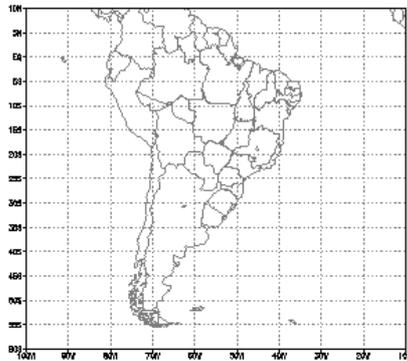


Fig. 3.1 - Área utilizada no cálculo dos balanços de calor e umidade.

A avaliação dos resultados consistiu de duas etapas: - primeiramente, foram analisados individualmente os termos das equação de balanço para as análises do horário 12Z, visando identificar os termos predominantes e suas respectivas evoluções temporal e espacial. As “fontes” e “sumidouros” de vorticidade, foram interpretados a partir dos resíduos; na segunda etapa, avaliou-se o desempenho do Modelo Global do CPTEC em prever os termos das equações de vorticidade, calor e umidade durante os episódios estudados, comparando-se as previsões com as respectivas análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a equação da termodinâmica (Fig. 4.1), verifica-se que, no nível de 850 hPa, os termos de advecção vertical de temperatura, advecção vertical de geopotencial e o resíduo apresentam basicamente a mesma evolução e ordem de grandeza na zona de convergência associada à ZCAS. Através do balanço termodinâmico, os movimentos ascendentes ocorrem associados às regiões de liberação de calor latente, enquanto o movimento subsidente compensador se distribui pela região tropical e subtropical (Gandu, 1993). O resíduo, neste caso, apresenta valores positivos, indicando uma fonte de calor na região da ZCAS e representa o aquecimento diabático, devido à liberação de calor latente (nas regiões convectivas) e ao aquecimento/resfriamento radiativo. No nível de 200 hPa, a partir do dia 19 (não apresentado) observa-se que na região da AB (15S, 55W-60W) o resíduo novamente deve-se basicamente aos termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial. Os termos de tendência local de temperatura e advecção horizontal de temperatura na região tropical apresentam valores pequenos, exceto sobre a Região Nordeste do Brasil, onde observa-se tendência local de temperatura positiva.

Em 925 hPa (painel 4.2(a)) e 850 hPa (painel 4.2 (b)), observa-se forte gradiente positivo de umidade específica em direção à região de atuação da ZCAS, conseqüentemente, grandes valores de água precipitável são encontrados também nesta região (Painel 4.2 (c)). A análise da equação da conservação de umidade específica (Fig. 4.2), nos níveis de 925 e 850 hPa, indica que a tendência local de umidade específica e o resíduo apresentam mesma evolução e ordem de grandeza sobre o continente. Na região de convergência associada a ZCAS, sobre o Oceano Atlântico, verifica-se que o resíduo deve-se, principalmente à advecção vertical de umidade.

Da avaliação do desempenho do modelo global, verifica-se que para a equação da termodinâmica, no nível de 850 hPa, o modelo tem deficiência em prever a posição e intensidade dos termos conforme Fig. 4.3. O modelo apresenta melhor desempenho nas previsões de 24 e 48 horas, sendo que a fonte de calor na região da ZCAS é bem simulada. A partir de 72 horas, a qualidade das previsões tende a diminuir, verificando-se diversos erros na posição, intensidade e sinais dos termos. Em 200 hPa, os erros do modelo em relação à posição e intensidade dos termos são mais frequentes, sendo que em alguns dias foram previstos núcleos com sinais opostos como por exemplo na previsão de 120 horas (não apresentada). Para os termos de advecção vertical de temperatura e advecção de espessura verifica-se que o modelo tende a deslocar para norte os centros que aparecem próximo ao litoral da Região Sudeste, deslocando conseqüentemente o resíduo. Novamente, os melhores resultados foram obtidos nas previsões de 24 e 48 horas. O modelo consegue prever corretamente a fonte de calor, próximo à zona de convergência associada à ZCAS porém, nota-se alguns deslocamentos na posição e diferenças de intensidade. A partir de 72 horas, as previsões apresentam alguns padrões distintos dos observados na análise.

A umidade específica e a água precipitável são variáveis bem previstas pelo Modelo Global do CPTEC/COLA (Mendonça, 1999). Entretanto no nível de 925 hPa, verifica-se que desde as primeiras 24 horas de previsão, o modelo não apresenta bom desempenho em prever os termos da equação da conservação de umidade, principalmente sobre o Continente Sul Americano onde, em alguns pontos de grade, os campos de tendência local de umidade apresentam sinais opostos aos observados na análise. Em 850 hPa, o melhor desempenho do modelo é obtido na previsão de 24 horas, em que os termos da equação não apresentam diferenças significativas. A partir de 48 horas, a deficiência do modelo em prever os termos da equação de umidade torna-se mais evidente, diminuindo a qualidade das previsões (Fig. 4.4). Desta forma, nota-se pelo termo de resíduo, que o modelo apresenta deficiência em prever corretamente as fontes e sumidouros de umidade.

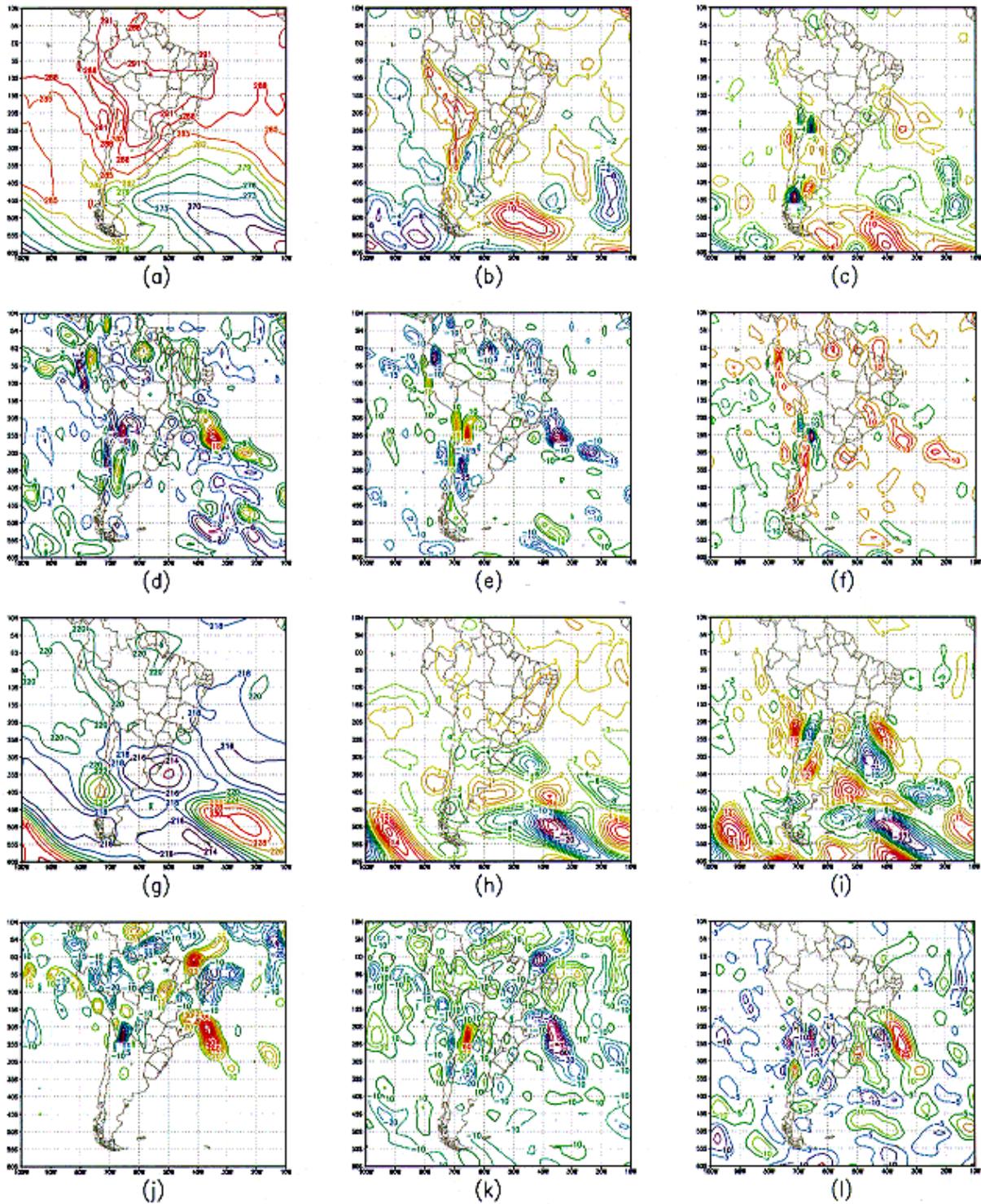


Fig. 4. 1: Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Análise - 17/03/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\frac{\partial T}{\partial t}$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V}_H \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \frac{\partial T}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (e) $-\frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\frac{\partial T}{\partial t}$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V}_H \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \frac{\partial T}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (k) $-\frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹].

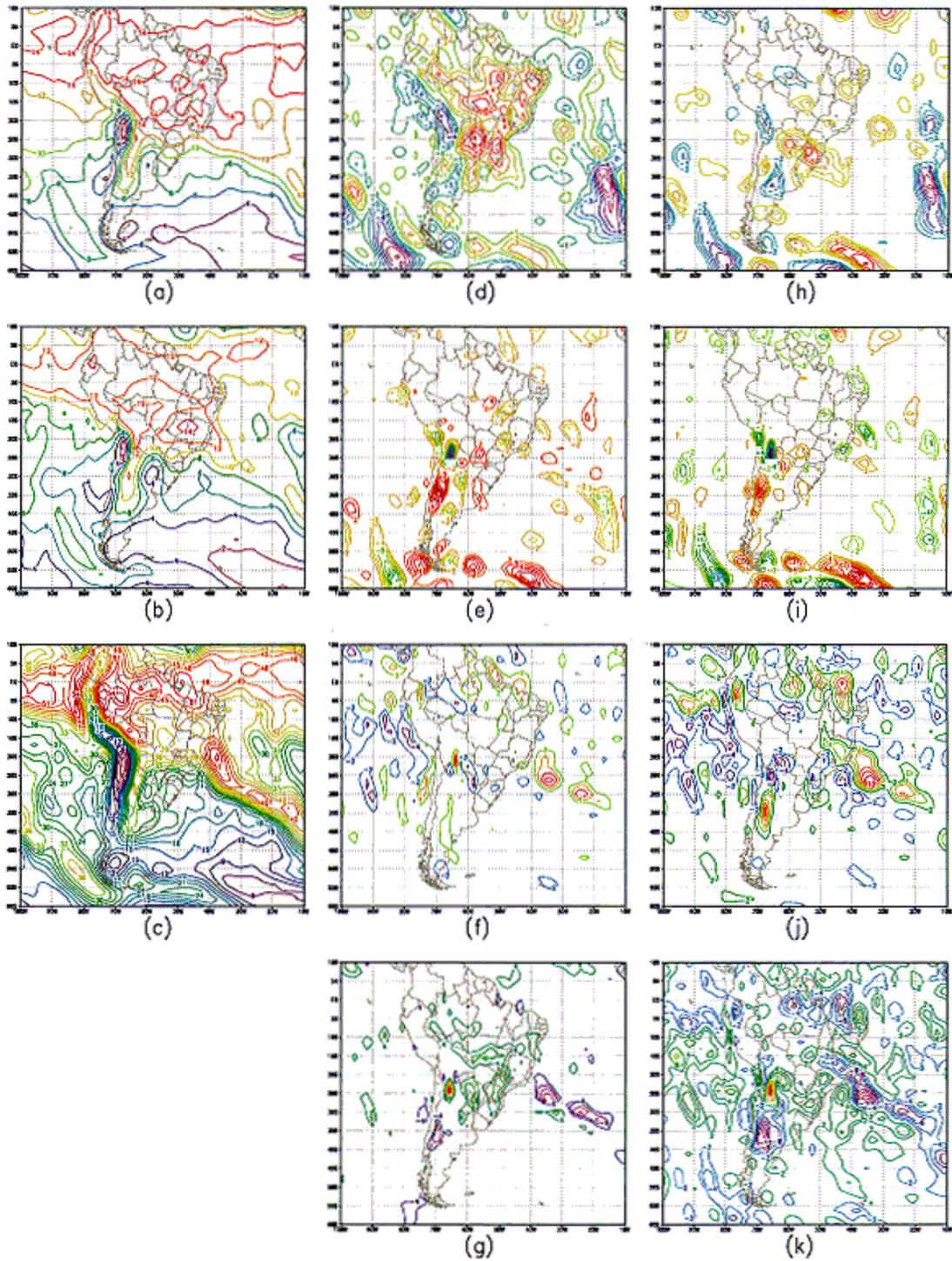


Fig. 4.2 : Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Análise - 17/03/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [$g Kg^{-1}$]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [$g Kg^{-1}$]; (c) Água Precipitável [$Kg m^{-2}$]. Nível 925 hPa (d) $\frac{\partial q}{\partial t}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (e) $-\vec{V}_H \cdot \nabla q$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (f) $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (g) Resíduo [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\frac{\partial q}{\partial t}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (i) $-\vec{V}_H \cdot \nabla q$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (j) $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (k) Resíduo [$g Kg^{-1} dia^{-1}$].

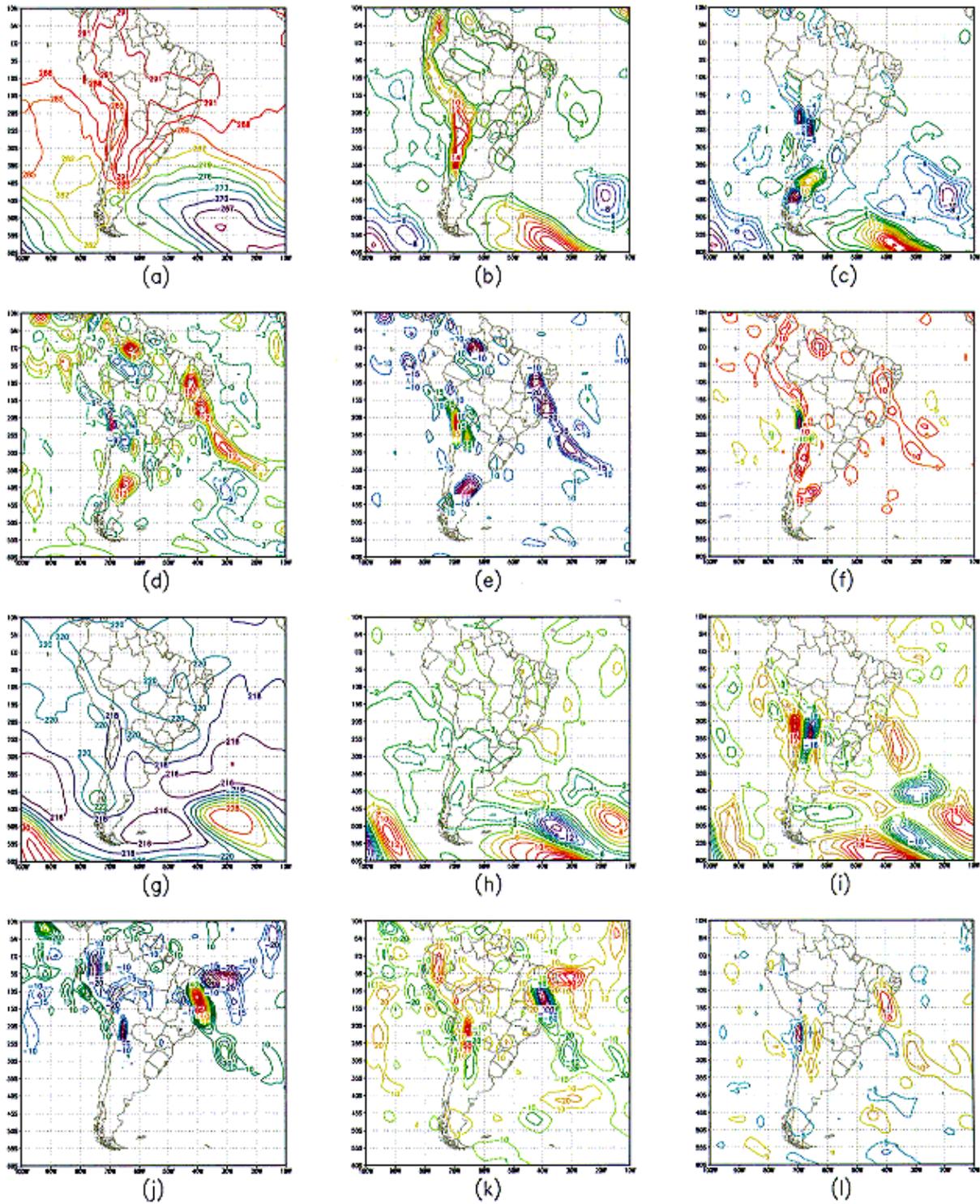


Fig. 4.3 : Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712). Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\frac{\partial T}{\partial t}$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V}_H \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \frac{\partial T}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (e) $\frac{-\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\frac{\partial T}{\partial t}$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V}_H \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \frac{\partial T}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (k) $\frac{-\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹].

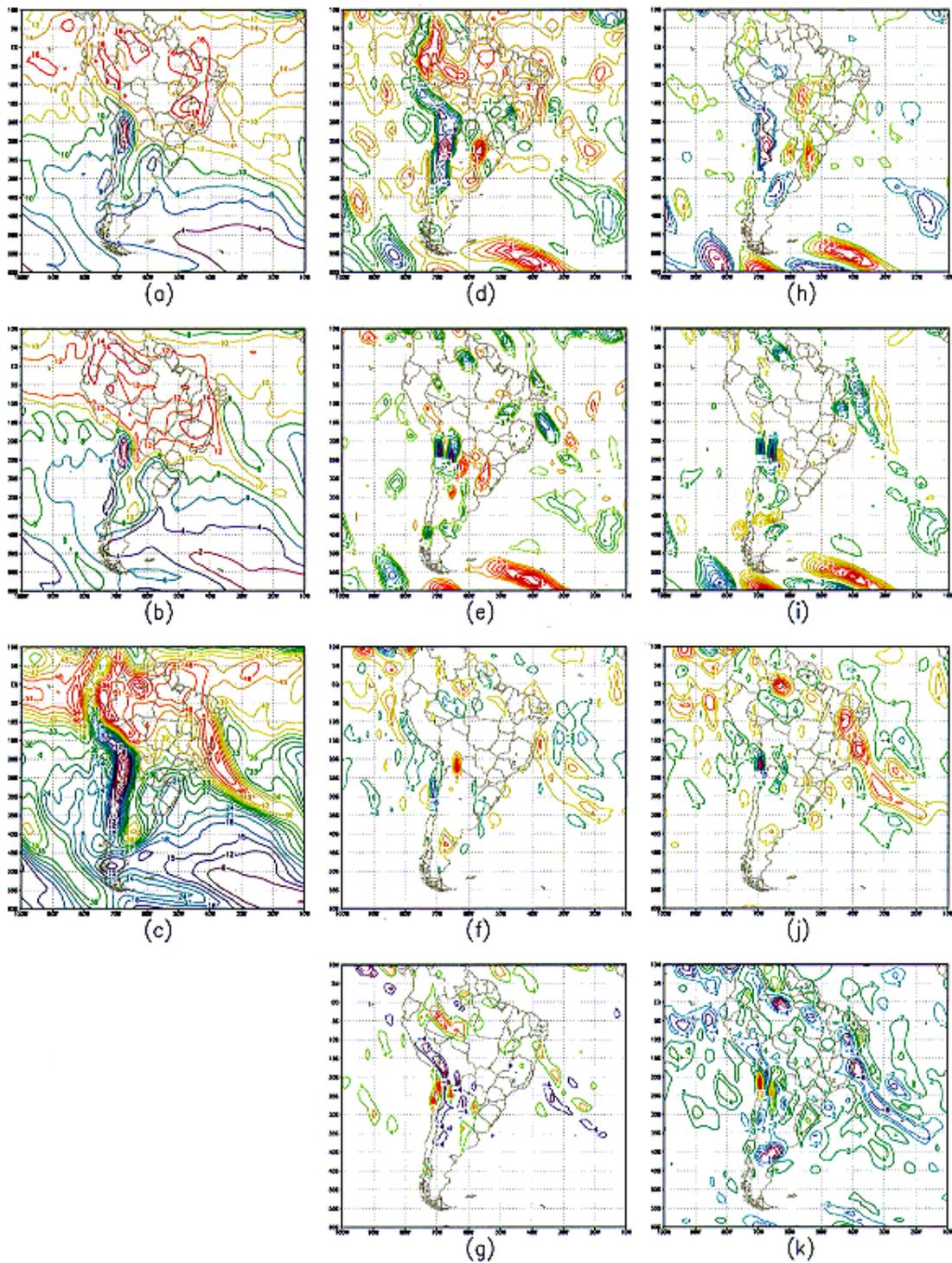


Fig. 4.4 : Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Umidade Específica (925 hPa) [$g Kg^{-1}$]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [$g Kg^{-1}$]; (c) Água Precipitável [$Kg m^{-2}$]. Nível 925 hPa (d) $\frac{\partial q}{\partial t}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (e) $-\vec{V}_H \cdot \nabla q$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (f) $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (g) Resíduo [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\frac{\partial q}{\partial t}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (i) $-\vec{V}_H \cdot \nabla q$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (j) $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}$ [$g Kg^{-1} dia^{-1}$]; (k) Resíduo [$g Kg^{-1} dia^{-1}$].

5. Conclusões

Os termos da equação da termodinâmica indicam que as advecções verticais de temperatura e geopotencial dominam o balanço ao longo do período enquanto que os demais termos influenciam somente em algumas regiões. Este resultado está de acordo com o obtido por Paulino (1995), para as estimativas do balanço de calor sobre regiões convectivamente ativas no continente sul-americano.

Para a equação do balanço de umidade, observa-se que em ambos os níveis, 925 e 850 hPa, os termos de tendência local e advecção horizontal de umidade tendem a se compensar em vários pontos de grade. O resíduo sobre o continente sul-americano é explicado pelo termo de tendência local de vorticidade, enquanto que na região do Oceano Atlântico, onde a banda de nebulosidade se estende, o termo que mais contribui para o resíduo é a advecção vertical de umidade. Observa-se que, em geral, sobre o continente o resíduo é positivo, enquanto que na região da ZCAS, o resíduo é negativo, indicando um sumidouro de umidade que pode estar associado ao fato da umidade estar sendo advectada para os níveis mais altos ou à condensação, visto que esta é uma região convectiva.

A avaliação do desempenho do modelo em simular a evolução dos termos das equações da energia termodinâmica e da conservação de umidade durante o episódio de ZCAS e AB mostra que o modelo apresentou melhores resultados nas previsões de até 72 horas. A partir de 96 horas, os erros com relação à posição, intensidade e sinal dos termos tende a aumentar, diminuindo substancialmente a qualidade das previsões.

Em analogia ao discutido por Bittencourt (1996), pode-se dizer que a deficiência do modelo global em prever os termos dos balanços de calor e umidade está associada ao fato destes termos apresentarem comportamentos semelhantes ao de variáveis derivadas, em relação às observações. Além disso, deve-se salientar que a comparação entre as análises e previsões foi realizada em regiões (basicamente as regiões de atuação dos sistemas) bastante localizadas, o que também contribui para a diminuição eficiência do modelo.

Um fator que pode contribuir para melhorias na qualidade das previsões é o emprego de modelos com maiores resoluções horizontal e vertical, e a incorporação de parametrizações de escala subgrade que representem melhor os efeitos relacionados à convecção, visto que os termos de advecção vertical em escala subgrade nas regiões de intensa convecção são componentes importantes no estudo do balanço de vorticidade.

6. Bibliografia

Anthes, R.A. A Cumulus Parametrization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model. **Monthly Weather Review**, v. 105, p. 270-286, 1977.

Bittencourt, 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. São José dos Campos. 103p. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 1996.

Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 1997, v.12, n.3, 47p

Gandu, A.W. **Modelagem Numérica da Resposta Troposférica Regional a Fontes Tropicais de Calor**. Tese de Doutorado - Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da USP, 1993.

Kuo, H.L. On the Formation and Intensification of Tropical Cyclones Through Latente Heat Release by Cumulus Convection. **Journal Atmospheric Science**, v.22, nº 1, p.40-63, 1965.

Mendonça, A.M. Desempenho do Modelo Global CPTEC/COLA Durante Episódios de ZCAS, Utilizando os Esquemas de Convecção Profunda Tipo Kuo e Arakawa-Schubert Relaxada. São José dos Campos. 114p. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 1999. (Não Publicada)

Mendonça, R.W.B. Análises dos Balanços de Vorticidade, Calor e Umidade no Modelo Global do CPTEC/COLA para Previsão de Tempo. São José dos Campos. 140p. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2000.

Paulino, L.E.B. **Balanços de Calor e Umidade em Grande Escala na América do Sul - Situações Convectivas no Verão**. São Paulo. 98p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Meteorologia - Instituto Astronômico e Geofísico da USP, 1995.

Yanai, M.; Esbensen, S.; Chu, J. Determination of Bulk Properties of Tropical Cloud Clusters from Large - Scale Heat and Moisture Budgets. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 30, 611 - 627, 1973.

Yanai, M.; Tomita, T. Seasonal and Interannual Variability of Atmospheric Heat Sources and Moisture Sinks as Determined from NCEP - NCAR Reanalysis. **Journal of Climate**, 11, 463 - 482, 1998.