

# ANÁLISE DO BALANÇO DE VORTICIDADE 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](mailto:renata@cptec.inpe.br)), José Paulo Bonatti ([bonatti@cptec.inpe.br](mailto: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 vorticity budget is 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 vorticity sources and sinks based on residuals. The results indicate that the vertical advection terms play an important contribution to the residuals especially 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

A ocorrência de processos físicos pode ser identificada através de análises diagnósticas de parâmetros meteorológicos indispensáveis no monitoramento e previsão de tempo. Uma forma de análise diagnóstica consiste, basicamente, no cálculo dos diversos termos das equações que governam um determinado fenômeno, identificação da variação temporal e espacial dos diversos termos individuais e interpretação do resíduo da equação em função dos fenômenos de escala subgrade não mensuráveis pela rede de informações.

Neste trabalho é apresentado um estudo do balanço da equação de vortacidade durante o episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB), ocorrido em 17 a 23 de março de 1997, obtido a partir das análises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), a fim de 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 (2000a).

## 2. DESCRIÇÃO DO EPISÓDIO ZCAS E AB

A análise do balanço de vortacidade foi realizada no período de 17 a 23 de março de 1997. De acordo com a revista Climanálise (1997), 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. Associada a uma região de pressões relativamente mais baixas (Fig. 2.1), observa-se, através da Fig. 2.2, uma região de convergência dos ventos (850 hPa) entre os dias 16 (dia da rodada do modelo) e 21, que se estende pela Região Nordeste até o Oceano Atlântico, típico de episódios de ZCAS. No dia 22, verifica-se um vórtice ciclônico próximo ao litoral da Região Sudeste, associado a um centro de baixa pressão que se formou nesta região. No dia 23, com a penetração da alta da retaguarda na região de convergência, permaneceu apenas um cavado nesta região, caracterizando o enfraquecimento da ZCAS e seu desaparecimento. Em 200 hPa (Fig. 2.3), observa-se entre os dias 16 e 19, 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 apresenta-se 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 resolução T62L28. 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.

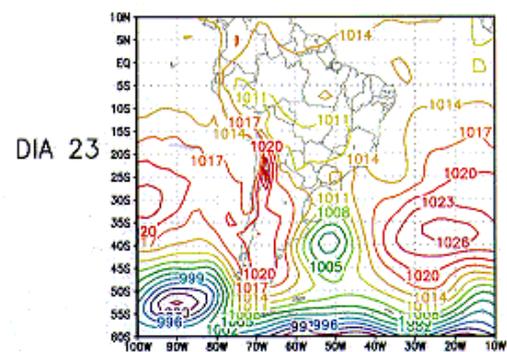
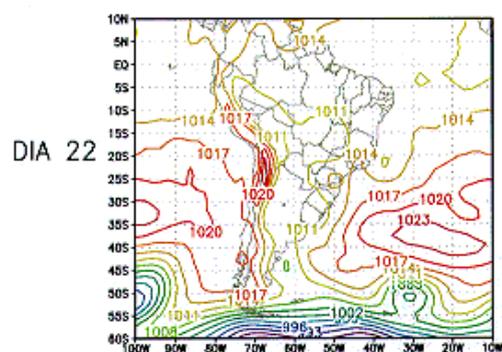
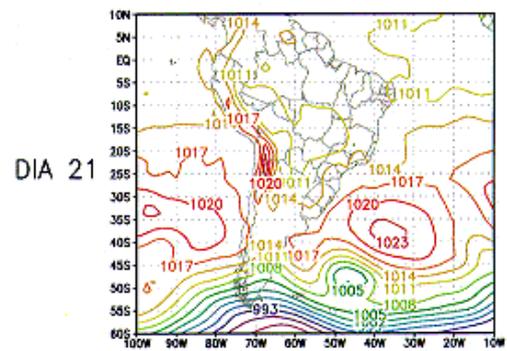
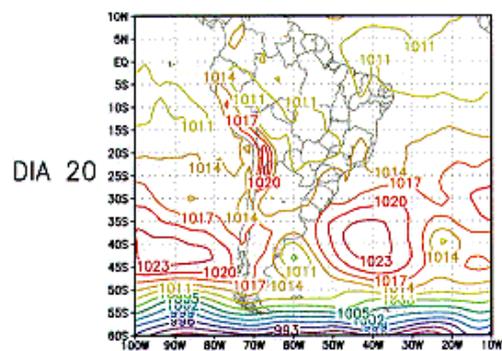
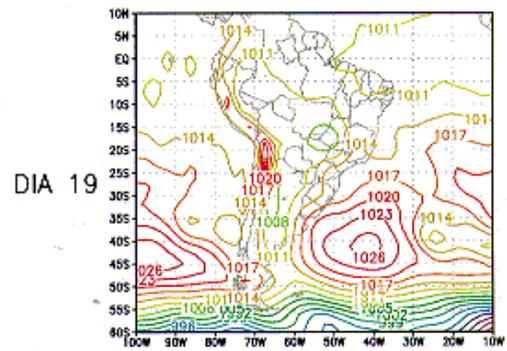
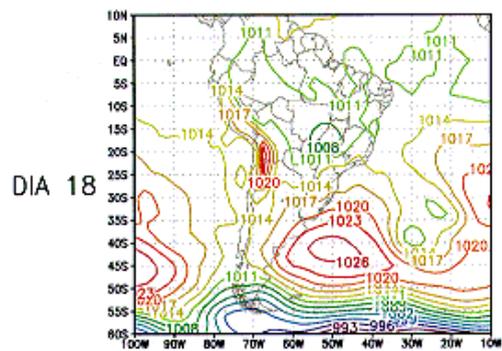
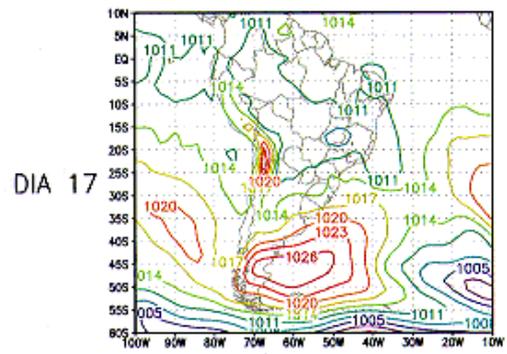
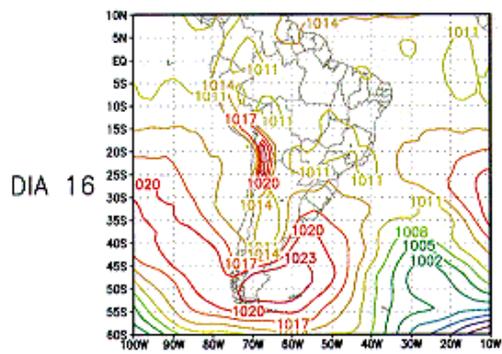


Fig. 2.1 - Campo de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa)

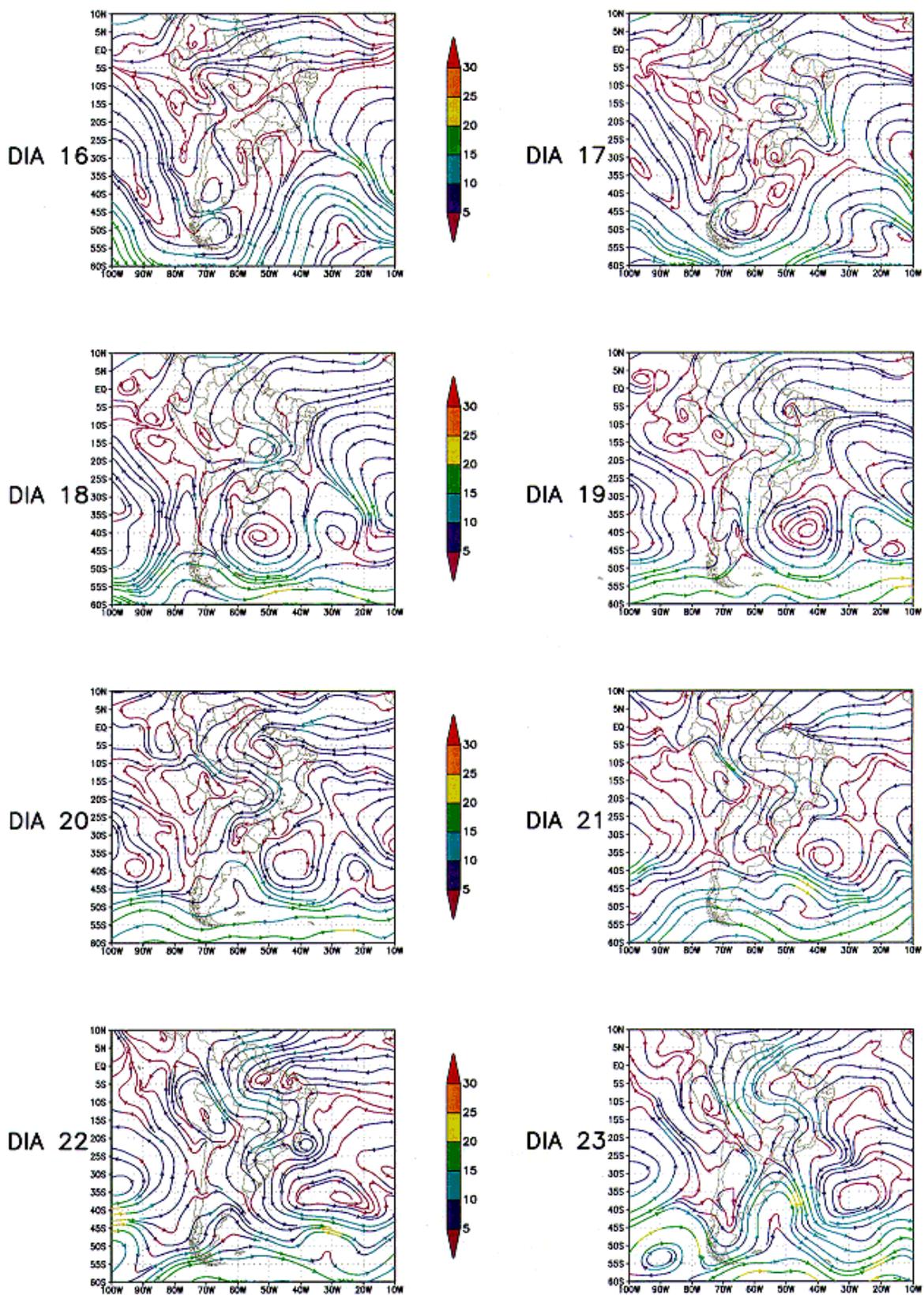


Fig. 2.2 - Campo de Vento (linhas de corrente) em 850 hPa

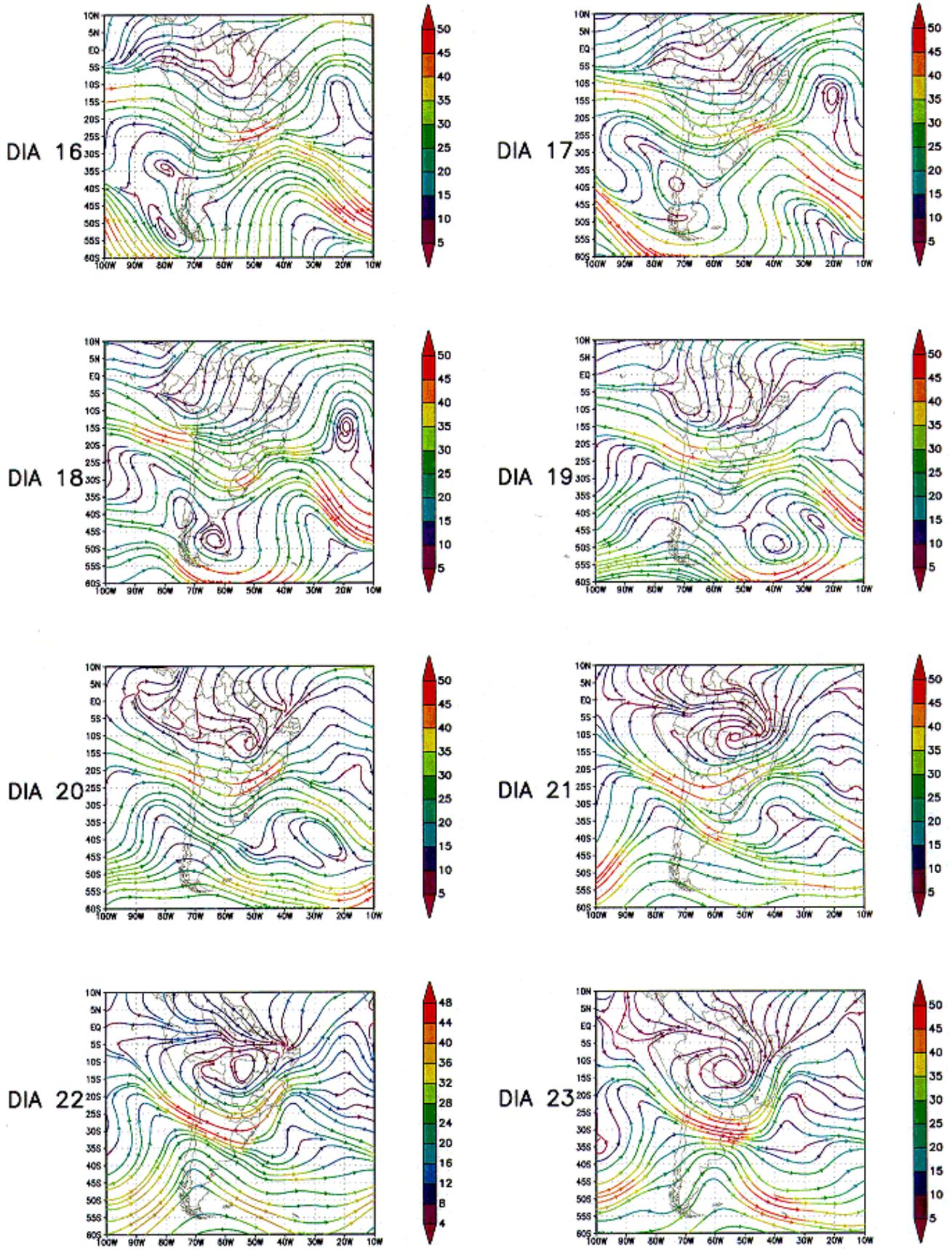


Fig. 2.3 - Campo de Vento (linhas de corrente) em 200 hPa

A equação empregada para examinar o balanço de vorticidade em coordenadas isobáricas é descrita abaixo:

$$\underbrace{\frac{\partial \xi}{\partial t}}_{(i)} + \underbrace{\vec{V} \cdot \nabla \zeta}_{(ii)} + \underbrace{\omega \frac{\partial \xi}{\partial p}}_{(iii)} + \underbrace{\zeta \nabla \cdot \vec{V}}_{(iv)} + \underbrace{\vec{k} \cdot \left( \nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \right)}_{(v)} = \underbrace{F_{\xi}}_{(vi)} \quad (3.1)$$

onde: Termo (i) → tendência local da vorticidade relativa  $\xi$ ,  
 Termo (ii) → advecção horizontal de vorticidade absoluta  $\zeta = f + \xi$ ,  
 Termo (iii) → advecção vertical de vorticidade relativa  $\xi$ ,  
 Termo (iv) → estiramento dos vórtices (“stretching”),  
 Termo (v) → torção dos vórtices (“twisting”),  
 Termo (vi) → resíduo.

Neste estudo, como a atmosfera é representada de forma tri-dimensional, com uma razoável resolução vertical, foram mantidos e avaliados os termos de advecção vertical de vorticidade e de torção dos vórtices (comumente omitidos na definição da forçante em modelos barotrópicos, no estudo da interação trópico-extratrópicos) para verificar qual sua magnitude e importância no balanço de vorticidade. A análise do balanço de vorticidade foi realizada na área compreendida entre 10° N - 60° S e 100° W - 10° W conforme Mendonça (2000b).

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

Os campos de vorticidade e divergência indicam valores relativamente maiores de vorticidade ciclônica (Fig. 4.1 (a)) e convergência (Fig. 4.1(b)), respectivamente, na região da Zona de Convergência associada à ZCAS, em 850 hPa. No nível de 200 hPa, o campo de vorticidade (Fig. 4.2 (a)) apresenta vorticidade anticiclônica sobre o continente, onde encontra-se uma crista no dia 17 e a Alta da Bolívia no dia 20 e vorticidade ciclônica na região do vórtice do Nordeste e do cavado ao sul deste vórtice. Nos painéis 4.2 (b), nota-se um centro de divergência em 200 hPa, associado à zona de convergência nos baixos níveis. Analisando os termos da equação da vorticidade no nível de 850 hPa (Fig. 4.1), verifica-se que, nos dias 17 e 18 (não apresentado), o resíduo na região da ZCAS deve-se aos termos de divergência (painéis (g) e (h)). Ao norte da ZCAS e nas latitudes ao sul de 40° S, verifica-se que há uma maior contribuição da advecção horizontal de vorticidade relativa. A partir do dia 19 (não apresentado), quando há um enfraquecimento da ZCAS, os termos de advecção vertical de vorticidade e torção tendem a dominar nesta região. O termo de advecção horizontal de vorticidade planetária ( $-\beta v$ ), apesar de ter uma ordem de grandeza menor, apresenta valores máximos e positivos na região da zona de convergência. Além disso, verifica-se que os termos de divergência e advecção horizontal apresentam sinais opostos. Em 200 hPa, Fig. 4.2 e 4.4, observa-se que o termo de advecção horizontal de vorticidade relativa é o que mais contribui para o resíduo. Além disso, verifica-se que em algumas regiões o termo de tendência local e advecção horizontal de vorticidade relativa tendem a se compensar, assim como as componentes do termo de divergência. O termo  $-\beta v$  apresenta valores máximos na vizinhança da Alta da Bolívia, sendo que na região onde os ventos são de sul, os valores são negativos e na região onde prevalecem ventos de norte, os valores são positivos. Os termos de advecção vertical de vorticidade e torção são relativamente pequenos, não exercendo muita influência no balanço.

Da comparação entre as análises e previsões, pode-se observar que, já em 24 horas (850 hPa), a previsão do modelo (Fig. 4.3) apresenta diferenças significativas em relação a estes campos. Estas diferenças refletem-se nas previsões dos termos da equação da vorticidade, sendo que os termos  $-\beta v$  e advecção vertical de vorticidade relativa são melhor previstos (comparando com Fig. 4.1), os demais termos, inclusive o resíduo apresentam muitas diferenças.

No nível de 200 hPa em 24 horas (Fig. 4.4), observa-se que o campo de vorticidade é melhor previsto, enquanto que o campo de divergência, apresenta muitas diferenças, diminuindo a qualidade da previsão dos termos da equação da vorticidade, principalmente, das componentes do termo de estiramento (painéis (g) e (h)), que são calculados a partir da divergência. Os melhores resultados são obtidos para os termos de tendência local de vorticidade, advecção horizontal de vorticidade relativa e o termo  $-\beta v$ . A partir de 48 horas, essas diferenças tornam-se mais significativas, indicando que o modelo não apresenta bom desempenho em prever os termos da equação da vorticidade a partir deste prazo. Em ambos os níveis, o resíduo não foi bem previsto pelo modelo, tanto em relação à posição dos núcleos, como em relação à intensidade dos mesmos, dificultando portanto, a previsão de fontes e sumidouros de vorticidade.

## 5. Conclusões

A análise dos termos da equação da vorticidade mostra que em 850 hPa, no início da ZCAS (dias 17 e 18), o termo de divergência é o que mais contribui para o resíduo. À medida que a ZCAS tende a desintensificar-se, os termos de advecção vertical de vorticidade e torção exercem uma maior influência no resíduo. Nas latitudes ao sul de 40° S, o termo de advecção horizontal de vorticidade é o que melhor explica o resíduo. Em 200 hPa, o resíduo é melhor explicado pelo termo de advecção horizontal de vorticidade, que indica a produção de tendência de vorticidade positiva, ou seja, advecção de vorticidade anticiclônica a leste do eixo da crista.

A avaliação do desempenho do modelo em simular a evolução dos termos da equação da vorticidade 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 da equação da vorticidade está associada ao fato destes termos apresentarem comportamentos semelhantes ao de variáveis derivadas. 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
- 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, 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**, 2000a.
- Mendonça, R.W.B. 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. Trabalho submetido ao XI CBMET, 2000b.
- Silva Dias, M.A.F. **Balanço de Vorticidade em Mesoescala: Algumas Aplicações**. São Paulo. 118p. Tese de Livre Docência - Departamento de Meteorologia do Instituto Astronômico e Geofísico da USP, 1987.

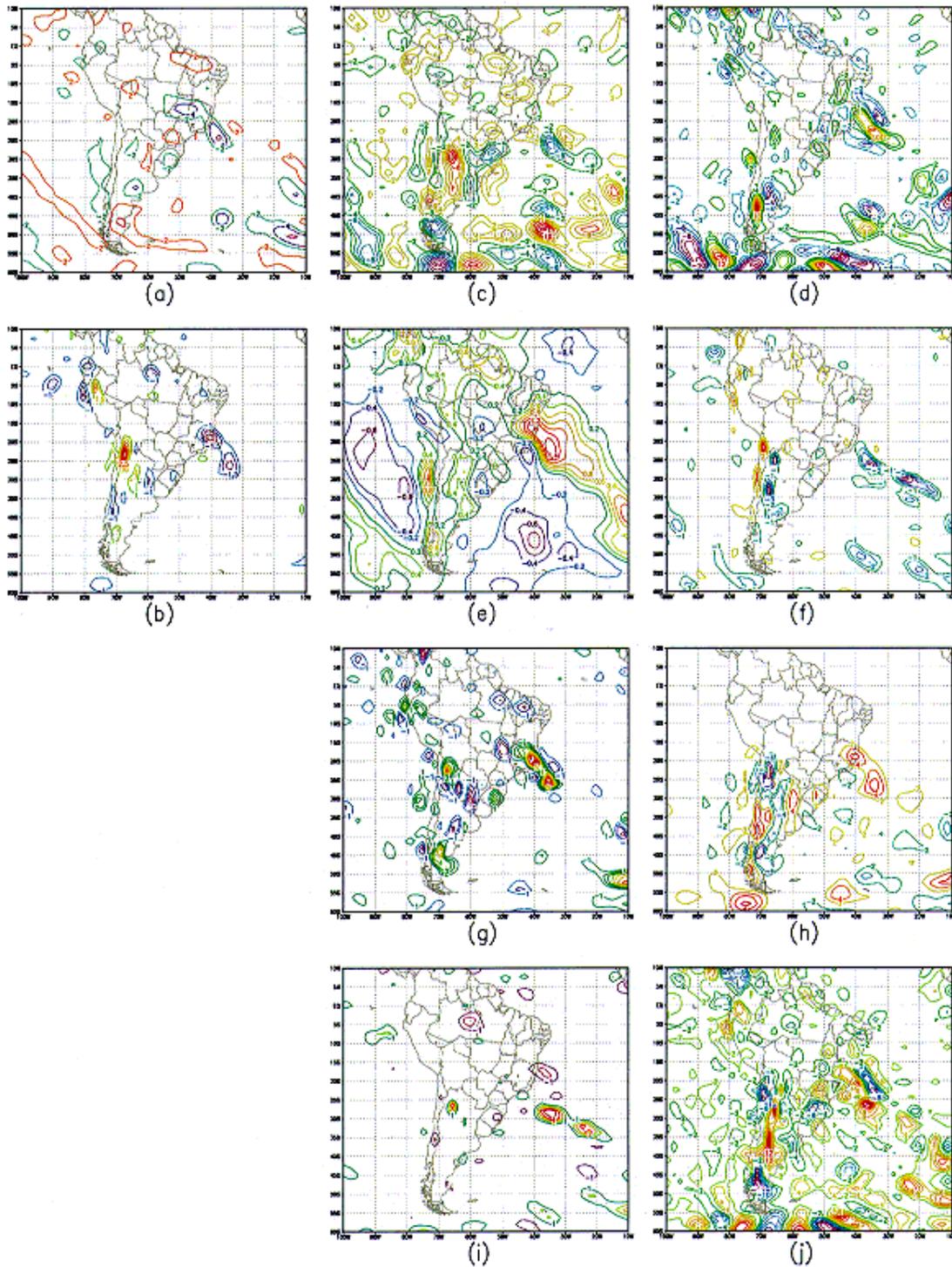


Fig. 4. 1: Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Análise - 17/03/97: (a) Vorticidade Relativa [ $dia^{-1}$ ]; (b) Divergência [ $dia^{-1}$ ]; (c)  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (d)  $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (e)  $-\beta v$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (f)  $-\omega \frac{\partial \xi}{\partial p}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (g)  $\xi \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (h)  $f \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (i)  $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p})$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (j) Resíduo [ $Hz dia^{-1}$ ].

\*Os valores das figuras estão multiplicados por  $10^5$

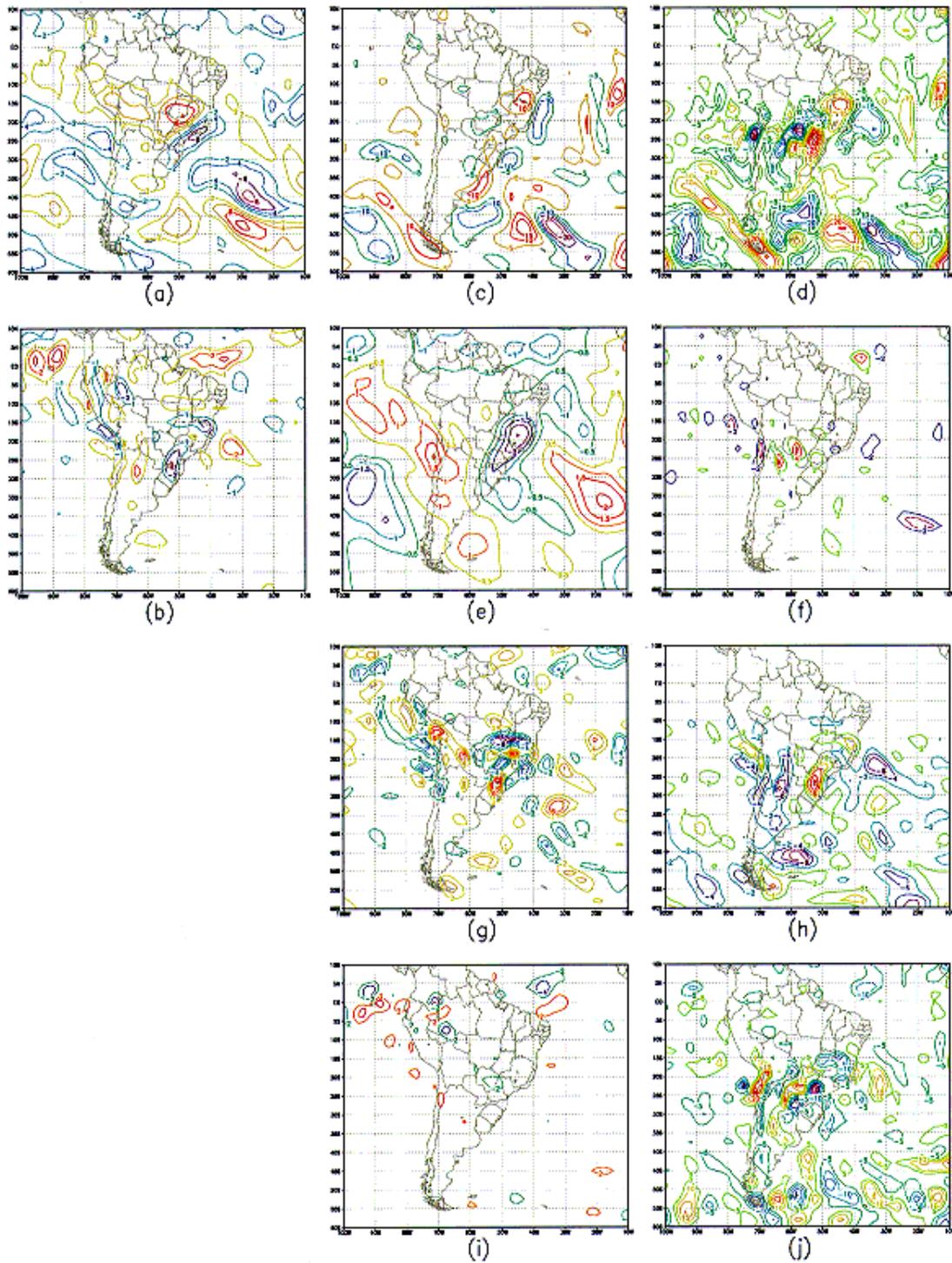


Fig. 4. 2: Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Análise - 20/03/97: (a) Vorticidade Relativa [ $dia^{-1}$ ]; (b) Divergência [ $dia^{-1}$ ]; (c)  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (d)  $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (e)  $-\beta v$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (f)  $-\omega \frac{\partial \xi}{\partial p}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (g)  $\xi \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (h)  $f \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (i)  $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p})$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (j) Resíduo [ $Hz dia^{-1}$ ].

\*Os valores das figuras estão multiplicados por  $10^5$

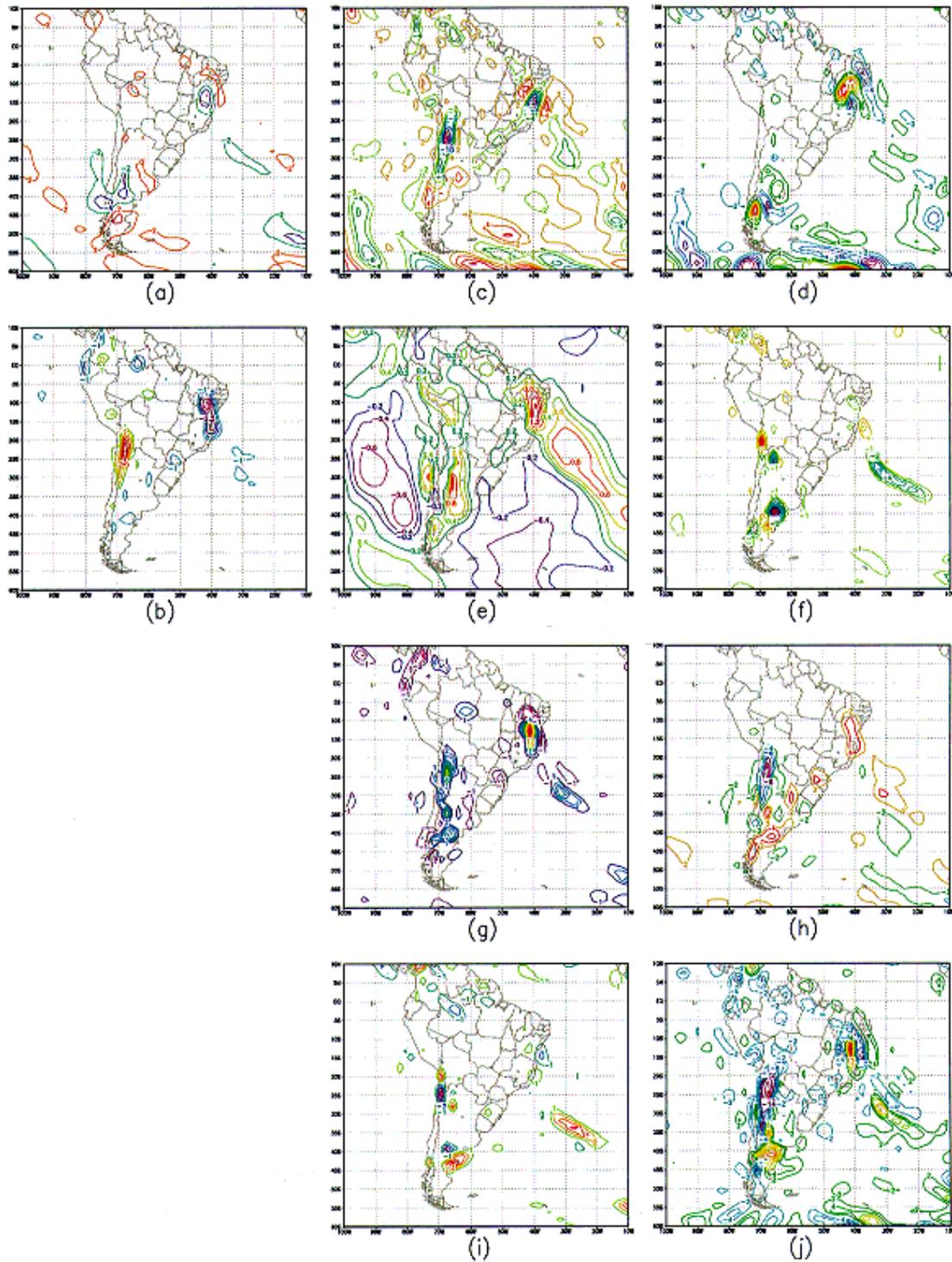


Fig. 4.3 : Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Vorticidade Relativa [ $dia^{-1}$ ]; (b) Divergência [ $dia^{-1}$ ]; (c)  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (d)  $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (e)  $-\beta v$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (f)  $-\omega \frac{\partial \xi}{\partial p}$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (g)  $\xi \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (h)  $f \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (i)  $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p})$  [ $Hz\ dia^{-1}$ ]; (j) Resíduo [ $Hz\ dia^{-1}$ ].

\*Os valores das figuras estão multiplicados por  $10^5$

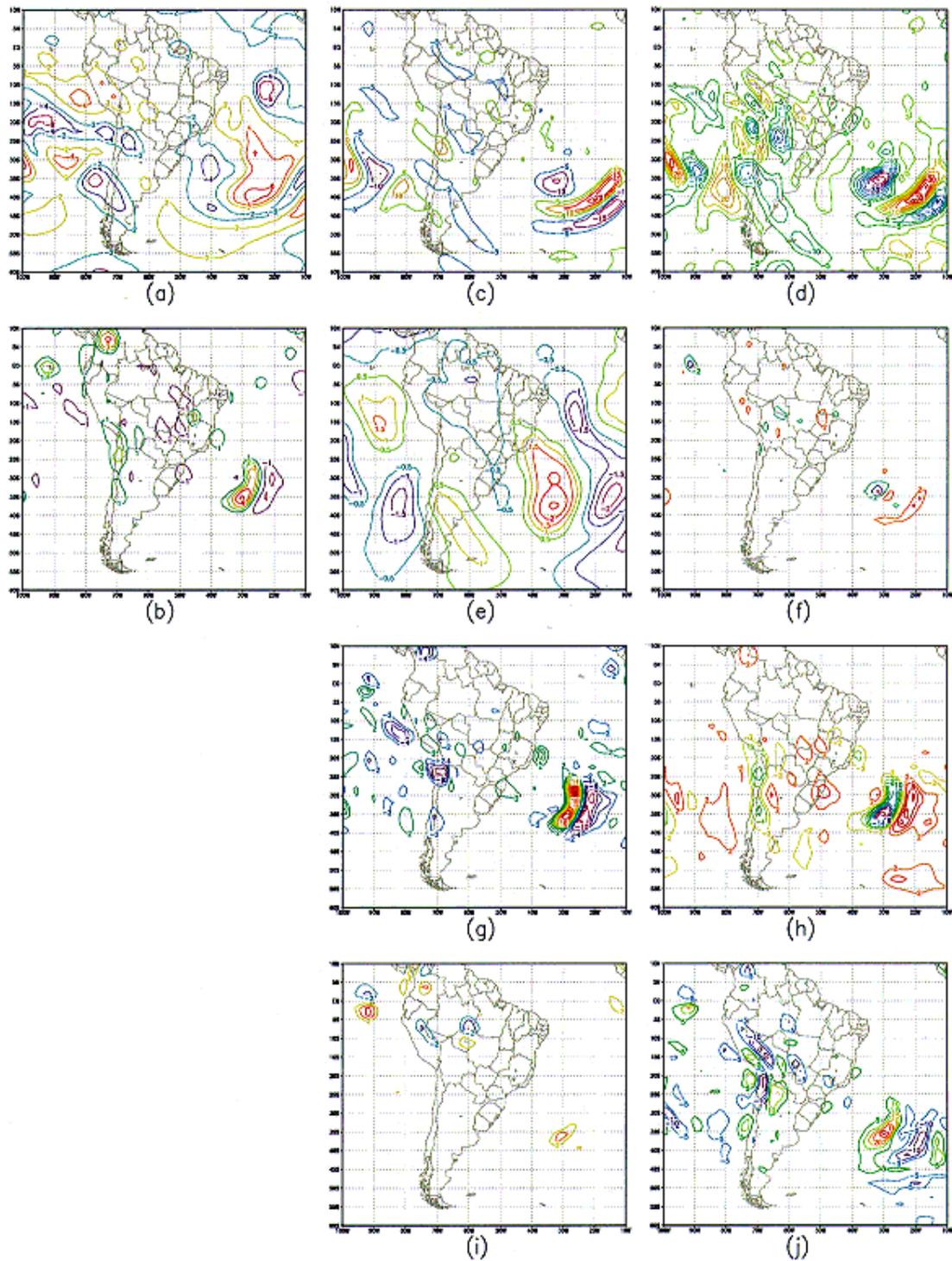


Fig. 4.4 : Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Vorticidade Relativa [ $dia^{-1}$ ]; (b) Divergência [ $dia^{-1}$ ]; (c)  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (d)  $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (e)  $-\beta v$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (f)  $-\omega \frac{\partial \xi}{\partial p}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (g)  $\xi \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (h)  $f \nabla \cdot \vec{V}$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (i)  $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p})$  [ $Hz dia^{-1}$ ]; (j) Resíduo [ $Hz dia^{-1}$ ].

\*Os valores das figuras estão multiplicados por  $10^5$