



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12994-PRE/8271

AVALIAÇÃO DO MODELO ETA EM SITUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS

Fernanda Araújo Cerqueira*

*Bolsista IBTA

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela
Dra. Chou Sin Chan

INPE
São José dos Campos
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DO MODELO ETA EM SITUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Fernanda Araújo Cerqueira (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: f.a.cerqueira@gmail.com

Dra. Chou Sin Chan (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)
E-mail: chou@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)
Dra. Margarete O Domingues (LAC/CTE/INPE)

Junho de 2005

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – DADOS E METODOLOGIA	1
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS	4
3.1 Descrição dos Casos de ZCA estudados.....	5
3.2 Previsões do modelo regional Eta	12
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	41

1. INTRODUÇÃO

As previsões numéricas de tempo produzidas atualmente ainda não permitem determinar com grande precisão e confiabilidade a localização exata de um evento chuvoso intenso.

Indicadores do potencial de ocorrência de um evento crítico são importantes para que um alerta seja emitido com suficiente antecedência à defesa civil e população em geral, para tomadas de providências que reduzam os possíveis prejuízos. Para se ter uma idéia da gravidade dos eventos chuvosos nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil apenas no período de 10 de janeiro a 8 de março de 2004, as chuvas causaram deslizamentos de terra com 230.000 desabrigados e 161 mortes, totalizando prejuízos materiais de 117 milhões de dólares (<http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/2004sum.html>).

O presente trabalho tem como objetivo identificar condições atmosféricas típicas que auxiliem na interpretação das previsões do modelo Eta, utilizando e combinando índices que indiquem com maior confiabilidade o risco de ocorrência de um evento mais intenso em um determinado local.

Espera-se como resultado obter ferramentas que auxiliem os previsores a identificar os eventos intensos de chuva com maior antecedência. Este projeto se enquadra dentro dos objetivos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de gerar melhores previsões de tempo sobre a América do Sul, e aprimorar a detecção de eventos extremos de chuva.

2. DADOS E METODOLOGIA

Inicialmente foram selecionados para o presente estudo 8 casos de eventos de chuva intensa entre os anos de 2002 e 2005 na Região Sudeste e sul da Região Nordeste do Brasil. Todos os casos ocorreram durante períodos de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A tabela abaixo resume a localização, a data e a intensidade máxima da chuva (obtida visualmente a partir do mapa de precipitação da análise do CPTEC) ocorrida em cada área delimitada para cada caso estudado.

Tabela 1 – Localização, data e precipitação acumulada dos eventos estudados.

Caso	Estado	Dia	Área delimitada para estudo	Precipitação Acumulada (mm)
1	ES	12/12/2002	Lat: 19,9°S-19,7°S Lon: 40,3°W-40,2°W	110
2	MG	01/01/2003	Lat: 21,4°S-21,0°S Lon: 46,2°W-46,0°W	90
3	MG	14/01/2003	Lat: 21,8°S-21,7°S Lon: 46,0°W-45,9°W	160
4	RJ	25/01/2003	Lat: 23,2°S-23,1°S Lon: 43,2°W-43,0°W	200
5	GO	08/02/2004	Lat: 16,6°S-16,2°S Lon: 51,3°W-50,9°W	90
6	BA	14/12/2004	Lat: 14,5°S-14,4°S Lon: 42,2°W-42,0°W	110
7	MG	22/12/2004	Lat: 17,9°S-17,7°S Lon: 41,5°W-41,4°W	100
8	MG	18/01/2005	Lat: 21,7°S-21,5°S Lon: 46,0°W-45,8°W	90

Para realizar os estudos de casos foram utilizados os dados de observação de precipitação acumulados diariamente das estações de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estações automáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Plataformas de Coleta de Dados – PCD). Este conjunto de dados denominado “análise do CPTEC” foi interpolado em uma grade de resolução 0,5° x 0,5° latitude-longitude.

Para analisar os campos atmosféricos foram utilizados os dados de reanálise do NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996) na resolução espacial de 2,5° X 2,5° latitude-longitude e temporal de 6 em 6 horas. Foram utilizados dados de baixos (850 hPa), médios (500 hPa) e altos (200 hPa) níveis. Estes dados de reanálise resultam de uma combinação de dados observados e modelagem numérica e representam o estado da atmosfera mais próximo da observação.

Imagens dos satélites METEOSAT e GOES no canal infravermelho, com frequência horária, foram utilizadas para localizar a posição da ZCAS e sistemas frontais em deslocamento pela região.

A tabela 2 apresenta as datas das rodadas do modelo Eta de 40 x 40 km com sempre com 48 h de antecedência com relação a data do evento. Este modelo é rodado operacionalmente no CPTEC (Chou, 1996) para previsões de curto prazo. Ressalta-se que até 2003, as previsões do modelo Eta eram rodadas para até três dias e a partir de 2004, as previsões passaram a ser rodadas para até 7 dias. Os parâmetros precipitação, vento, umidade específica, movimento vertical (omega), temperatura potencial equivalente (Θ_e), energia cinética e divergência de ventos são analisados para cada caso estudado.

Tabela 2 – Datas das condições iniciais utilizadas para cada caso estudado.

Caso	Data de ocorrência do evento	Data da condição inicial
1	12/12/2002 – 00 Z	10/12/2002 – 00 Z
2	01/01/2003 – 00 Z	30/12/2002 – 00 Z
3	14/01/2003 – 00 Z	12/01/2003 – 00 Z
4	25/01/2003 – 00 Z	23/01/2003 – 00 Z
5	08/02/2004 – 00 Z	06/02/2004 – 00 Z
6	14/12/2004 – 00 Z	12/12/2004 – 00 Z
7	22/12/2004 – 00 Z	20/12/2004 – 00 Z
8	18/01/2005 – 00 Z	16/01/2005 – 00 Z

Inicialmente, para cada caso, o ambiente atmosférico de grande escala foi descrito a partir dos dados de renálise do NCEP-NCAR e das informações do Climanalise (CPTEC/INPE). Posteriormente, foi feita uma avaliação comparativa do modelo Eta para os episódios citados acima.

Os índices de instabilidade Convective Available Potential Energy (CAPE) e Bulk Richardson Number Shear (BRNSH) (BROOKS *et al.*,2003) foram calculados a partir das saídas no modelo Eta, da seguinte forma:

$$CAPE = g \int_{CCL}^{EL} \theta_v / \bar{\theta}_v \quad (\text{J.kg}^{-1} \text{ ou } \text{m}^2.\text{s}^{-2})$$

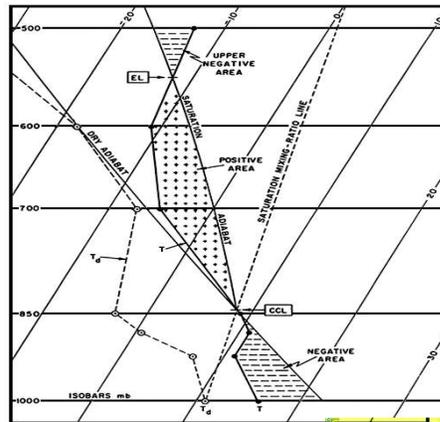


Figura 1: Diagrama Skew T-Log P esquemático mostrando a área da CAPE e os limites inferior (CCL) e superior (EL) da integração.

$$BRNSH = \frac{1}{2}([u]^2 + [v]^2)$$

$$[u] = u_2 - u_1$$

$$u_1 = \frac{1}{2} (u_{(10m)} + u_{(925hPa)})$$

$$u_2 = \frac{1}{2} (u_{(500hPa)} + u_{(10m)})$$

$$[v] = v_2 - v_1$$

$$v_1 = \frac{1}{2} (v_{(10m)} + v_{(925hPa)})$$

$$v_2 = \frac{1}{2} (v_{(500hPa)} + v_{(10m)})$$

Os valores de CAPE são classificados por classe de estabilidade, desde estável até extremamente instável (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes de instabilidade de CAPE

Valores de CAPE (J.kg ⁻¹ ou m ² .s ⁻²)	Classe
0	Estável
0-1000	Marginalmente instável
1000-2500	Moderadamente instável
2500-3500	Muito instável
3500 +	Extremamente instável

Em ambientes de CAPE alta (>1500 J.kg⁻¹), as correntes ascendentes nas tempestades (caso estas ocorram) serão potencialmente mais intensas. Contudo, deve-se notar que i) um valor alto de CAPE não significa, necessariamente, que o ambiente seja favorável à correntes ascendentes intensas; ii) A magnitude da CAPE é altamente sensível à escolha da parcela de ar amostrada; iii) CAPE é altamente sensível à temperatura e umidade na camada limite planetária. Nem sempre bem representadas em modelos numéricos e iv) A CAPE não considera outros processos importantes que modulam a aceleração vertical.

No Hemisfério Norte, o BRNSH $\geq 35-40 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ é favorável para tempestades severas. A experiência para o Hemisfério Sul tem mostrado que valores de BRNSH $\geq 20 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ já são favoráveis para tempestades severas. (http://www.lemma.ufpr.br/ernani/IIencontroRJ_ernani.pdf).

A temperatura potencial equivalente (ou TETA E como é usualmente chamada) é a temperatura que uma amostra de ar teria se toda a sua umidade fosse condensada por um processo pseudo-adiabático e a amostra fosse assim reconduzida adiabaticamente seca ao nível de 1000 hPa (Ministério da Aeronáutica, 1969).

Quanto mais umidade a parcela tiver, mais calor latente pode ser liberado. A TETA E é usada operacionalmente para mapear regiões com ar mais instável, ou seja, regiões com empuxo positivo. A TETA E de uma parcela de ar aumenta com o aumento da temperatura e com o aumento do conteúdo de umidade. Então, numa região com certa instabilidade, áreas de relativamente alta TETA E (chamadas cristas de TETA E) são frequentemente os pontos propícios para ocorrência de tempestades termodinamicamente induzidas e sistemas convectivos de mesoescala (<http://www.theweatherprediction.com/habyhints/162/>).

3. RESULTADOS

Inicialmente é feita uma pequena descrição sobre o comportamento da ZCAS em cada evento. Em seguida, apresenta-se o comportamento da previsão de cada caso em relação aos índices e parâmetros citados anteriormente. Foram também verificadas as previsões de horários anteriores ao dia do evento a fim de considerar a presença da instabilidade anterior ou de um possível erro temporal ao mesmo.

3.1 Descrição dos Casos de ZCAS estudados

O caso 1 (12/12/2002) ocorreu durante um período de ZCAS decorrido entre os dias 10 e 16 de dezembro de 2002. A região preferencial de atuação da banda de nebulosidade associada à ZCAS neste período foi o sul da Região Norte, grande parte da Região Centro-Oeste e o Sudeste, estendendo-se para o oceano na altura do litoral dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (Fig. 2 a e b). Nesta situação foi intensa a convecção no centro da Região Sudeste (Fig. 2 c). Em altos níveis, destacou-se a presença da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico do Nordeste (Fig. 2 d), fatores estes concordantes com o modelo conceitual de ZCAS. Ressalta-se que a ausência de precipitação no setor sul do Brasil concorda com o fato da circulação da ZCAS gerar uma subsidência ao sul da banda de nebulosidade.

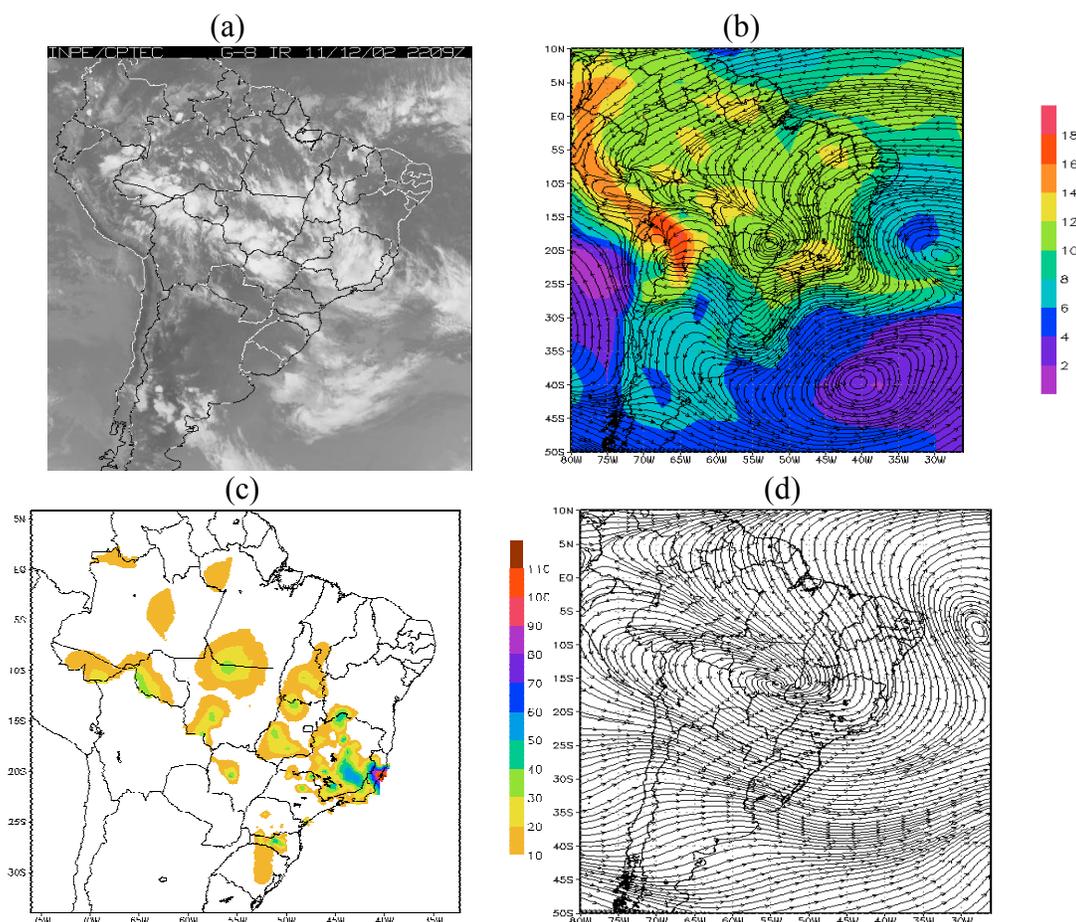


Figura 2 – (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 11/12/2002, 22:09 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 10/12 às 00Z e 13/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 11 às 12Z e 12/12/2002, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 10/12 às 00Z e 13/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 2 (01/01/2003) ocorreu durante o período de ZCAS estabelecido entre os dias 27 de dezembro de 2002 e 07 de janeiro de 2003, atuando, preferencialmente, no sul da Região Norte, grande parte da Região Centro-Oeste e o Sudeste,

estendendo-se para o oceano na altura do litoral dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (Fig. 3a, b e c). A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal. Em altos níveis destacou-se a presença da Alta da Bolívia, ao sul de sua posição climatológica (sobre o norte da Região Sul) e a atuação do cavado próximo ao litoral do Nordeste, em diferentes posições, causando a redução da nebulosidade principalmente sobre o leste da Bahia e norte de Minas Gerais (Fig. 3d).

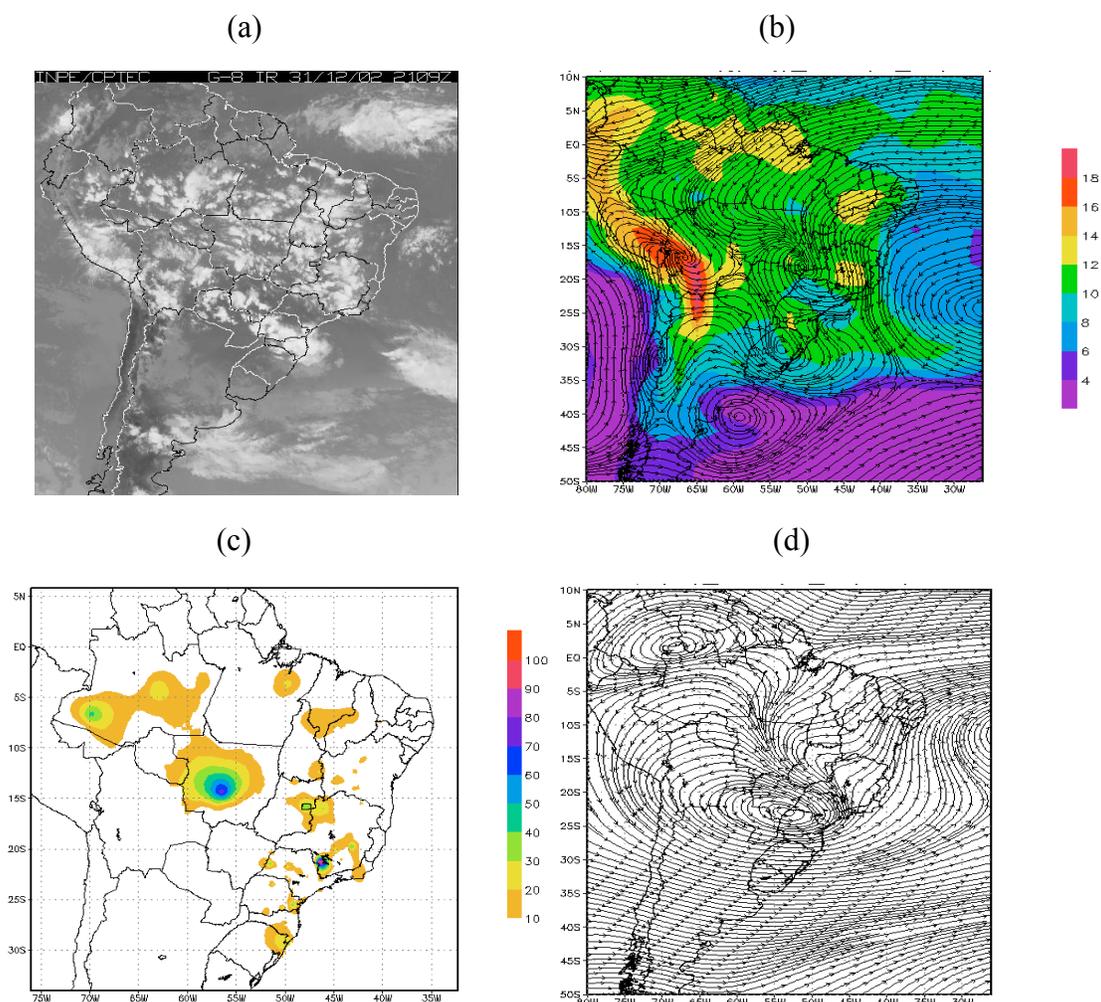


Figura 3 – (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 31/12/2002, 21:09 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 30/12/2002 às 00Z e 02/01/2003 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 31 de dezembro de 2002, às 12Z e 01 de janeiro de 2003, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 30/12/2002 às 00Z e 02/01/2003 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 3 (14/01/2003) ocorreu durante um período de ZCAS estabelecido entre os dias 13 e 19 de janeiro de 2003, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre grande parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste, estendendo-se para o oceano na altura do litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo (Fig 4a e b). Durante o dia do evento (14/01) a precipitação não apresentou-se

uniformemente distribuída, verificando-se núcleos isolados de intensa precipitação (Fig 4c). Em altos níveis, notou-se que a Alta da Bolívia esteve configurada, assim como a atuação do cavado próximo ao litoral do Nordeste, em diferentes posições, causando a redução da nebulosidade principalmente sobre o leste da Bahia e norte de Minas Gerais (Fig. 4d).

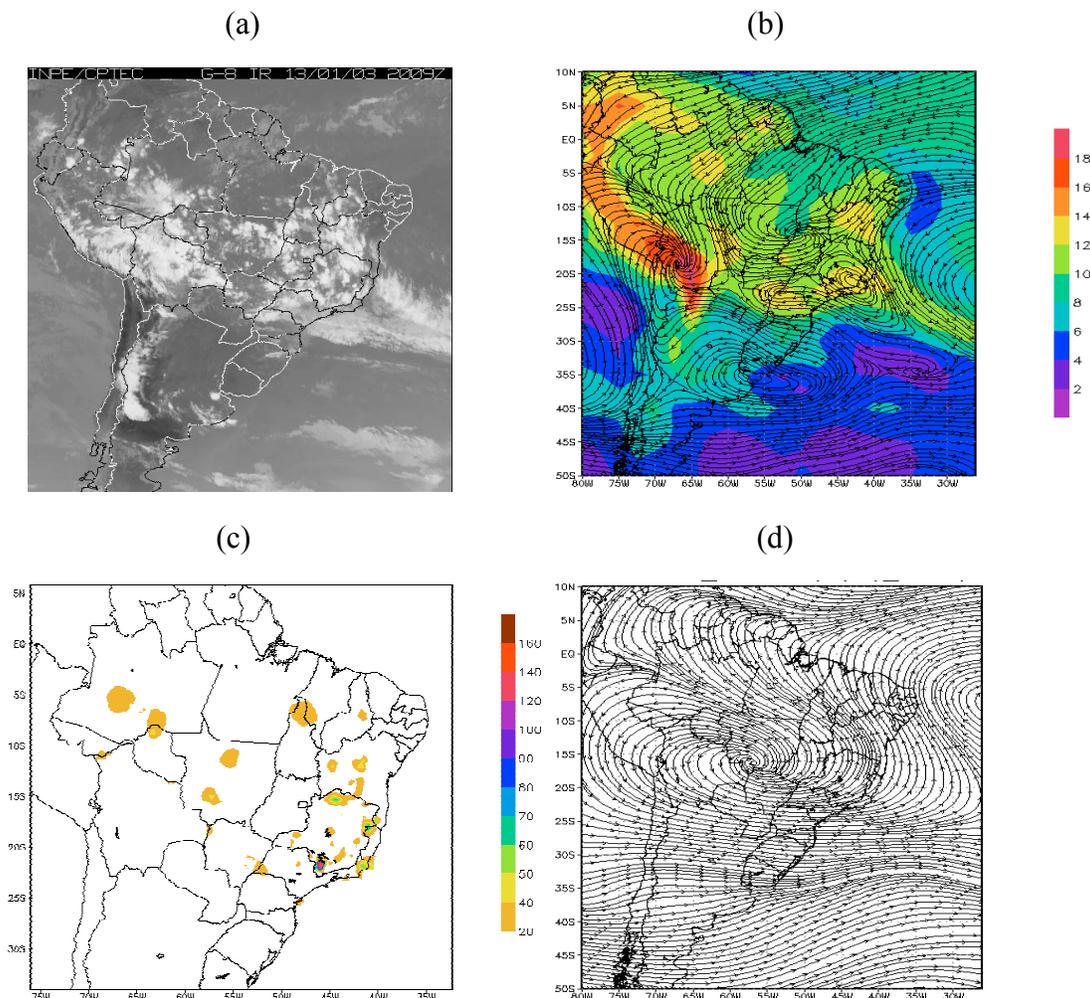


Figura 4 – (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 13/01/2003, 20:09 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 12/01 às 00Z e 15/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13, às 12Z e 14 de janeiro de 2003, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 12/01 às 00Z e 15/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 4 (25/01/2003) ocorreu durante um período de ZCAS estabelecido entre os dias 25 de janeiro e 01 de fevereiro de 2003, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre grande parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste, deslocando-se para o oceano na altura dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Fig. 5a e b). Durante o dia do evento (25/01) a precipitação não apresentou-se uniformemente distribuída, porém pequenas áreas com grande intensidade de precipitação foram observadas (Fig 5c). Ressalta-se que, no início deste episódio, a banda de nebulosidade foi mantida pelas incursões de frentes frias e pela formação de

vórtices ciclônicos em altos níveis sobre o Nordeste. Em altos níveis, notou-se que a Alta da Bolívia esteve configurada, com grande extensão zonal, assim como o cavado, destacando-se a sua atuação sobre o Nordeste, causando a redução da nebulosidade principalmente sobre o leste da Bahia e norte de Minas Gerais (Fig. 5d).

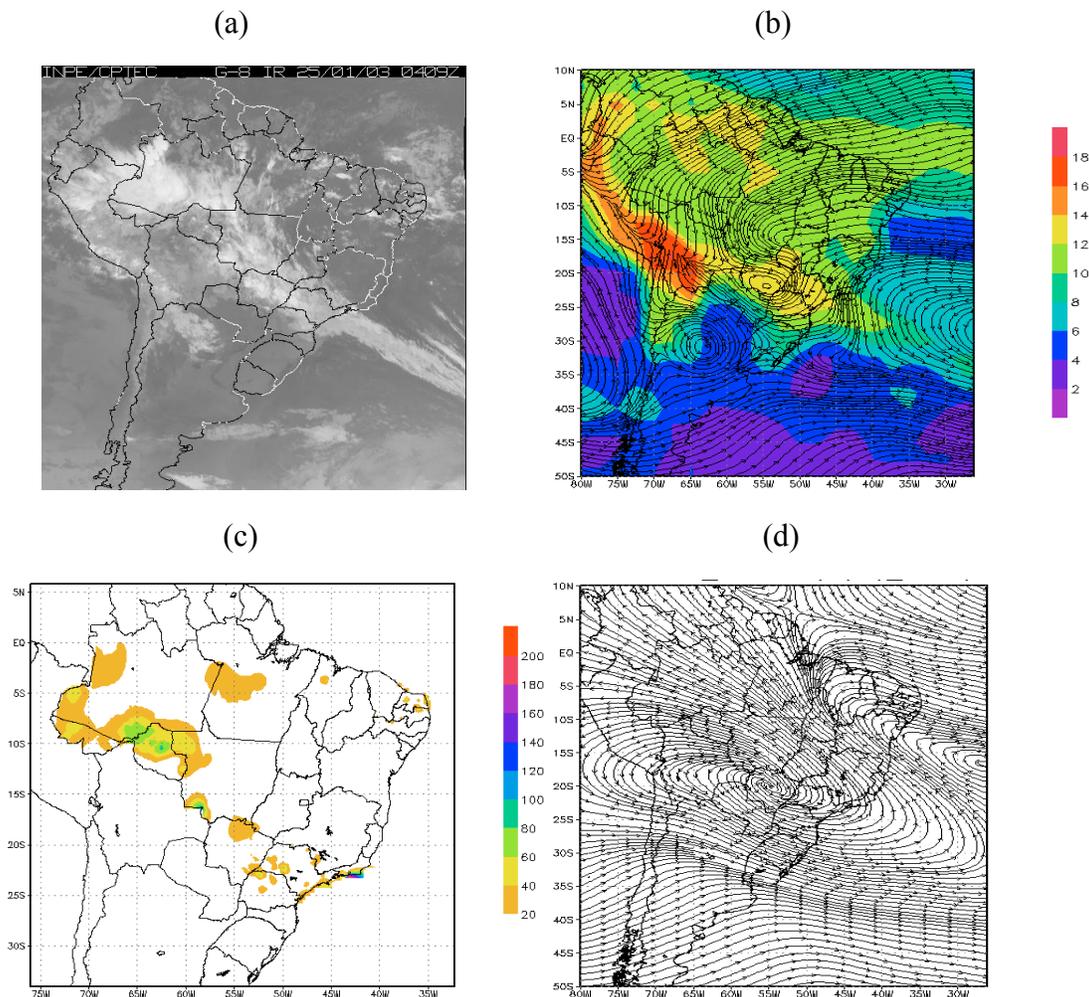


Figura 5 – (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 25/01/2003, 04:09 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 23/01 às 00Z e 26/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 24, às 12Z e 25 de janeiro de 2003, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 23/01 às 00Z e 26/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 5 (08/02/2004) ocorreu durante um período de ZCAS decorrido entre os dias 07 e 11 de agosto de 2004, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre o norte da Região Centro-Oeste, a fronteira de Minas Gerais com a Bahia e o Espírito Santo e também sobre a Região Norte (Fig.6a e c). Ressalta-se, também, a área de intensa confluência em baixo níveis ao longo da região de máxima umidade (Fig. 6b). Em altos níveis, verificou-se a persistência da Alta da Bolívia e do Vórtice do Nordeste, condições médias que colaboraram para o padrão estacionário da ZCAS (Fig. 6d).

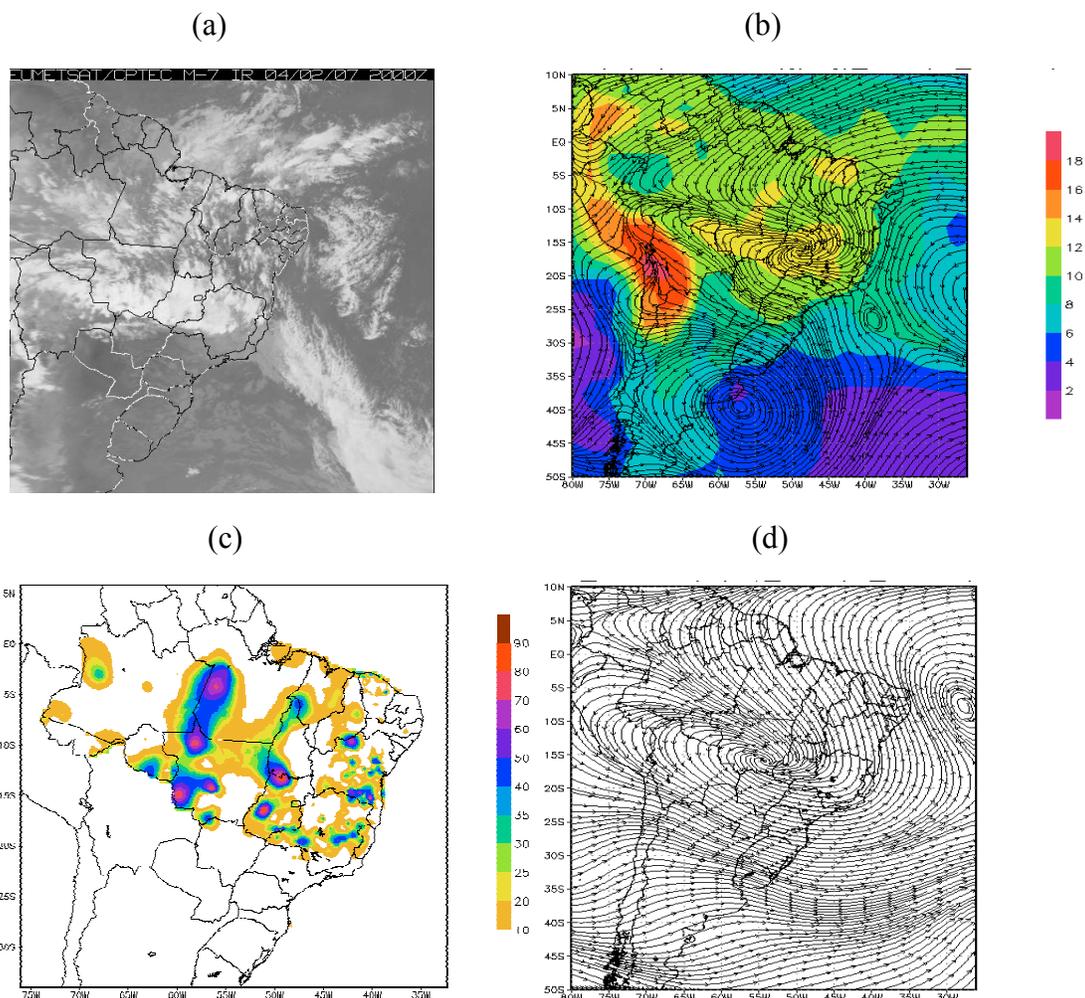


Figura 6 – (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 07/02/2004, 20:00 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 06/02 às 00Z e 09/02 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 07, às 12Z e 08 de fevereiro de 2004, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 06/02 às 00Z e 09/02 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 6 (14/12/2004) ocorreu durante um período de ZCAS decorrido entre os dias 10 e 14 de dezembro de 2004. A região preferencial de atuação da banda de nebulosidade associada à ZCAS foram as Regiões Sudeste e Centro-Oeste e o sul da Bahia (Fig. 7a e b). Durante o dia do evento a precipitação não estava uniformemente distribuída, contudo verificou-se concentração da precipitação em áreas isoladas (Fig 7c). A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal. Em altos níveis, destacou-se a presença da Alta da Bolívia, deslocada para oeste em relação a sua posição climatológica, e a atuação do cavado sobre o Nordeste, (Fig. 7d).

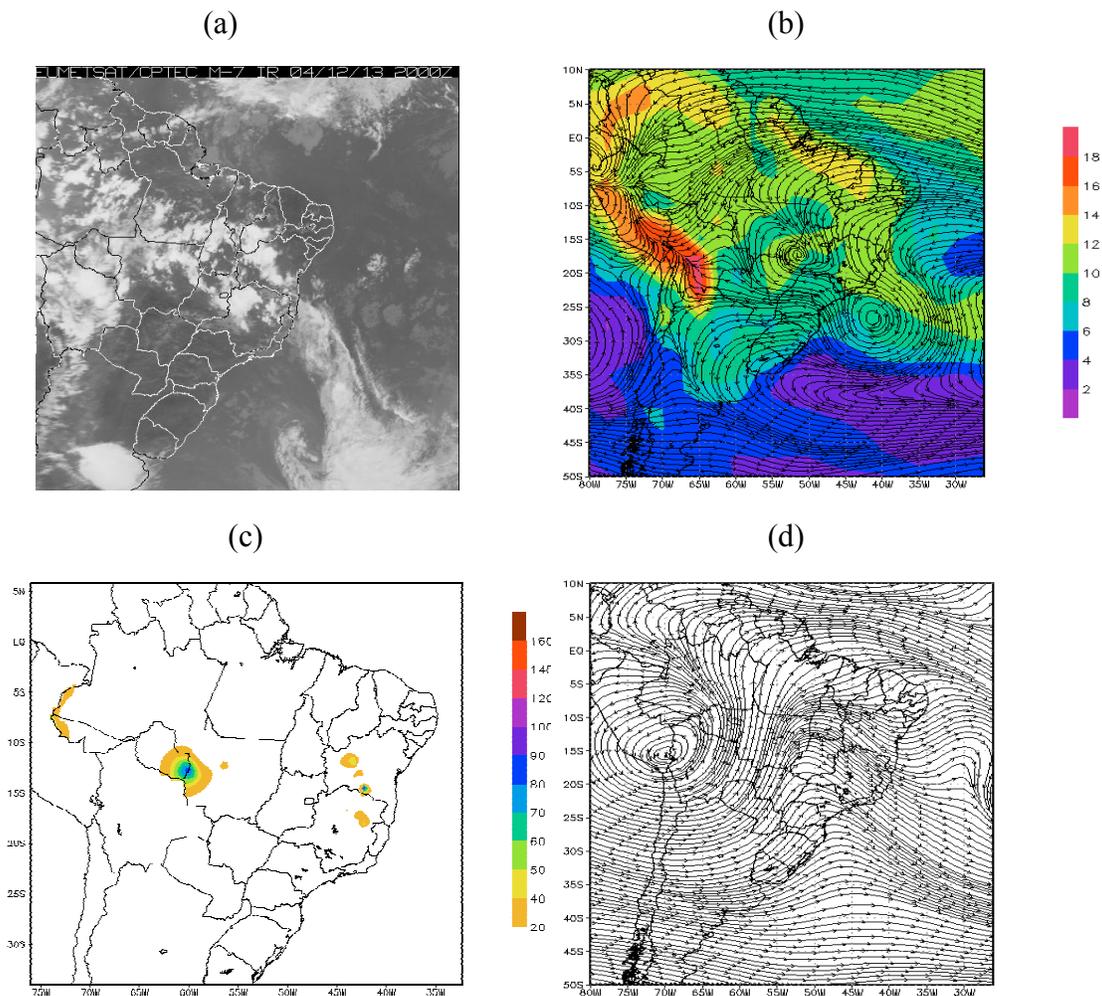


Figura 7 – (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 13/12/2004, 20:00 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 12/12 às 00Z e 15/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13, às 12Z e 14 de dezembro de 2004, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 12/12 às 00Z e 15/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 7 (22/12/2004) ocorreu durante um período de ZCAS estabelecido entre os dias 21 e 25 de dezembro de 2004, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste. A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal (Fig. 8a, b e c). Em altos níveis, destacou-se a presença da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico do Nordeste, fatores estes concordantes com o modelo conceitual de ZCAS (Fig. 8d).

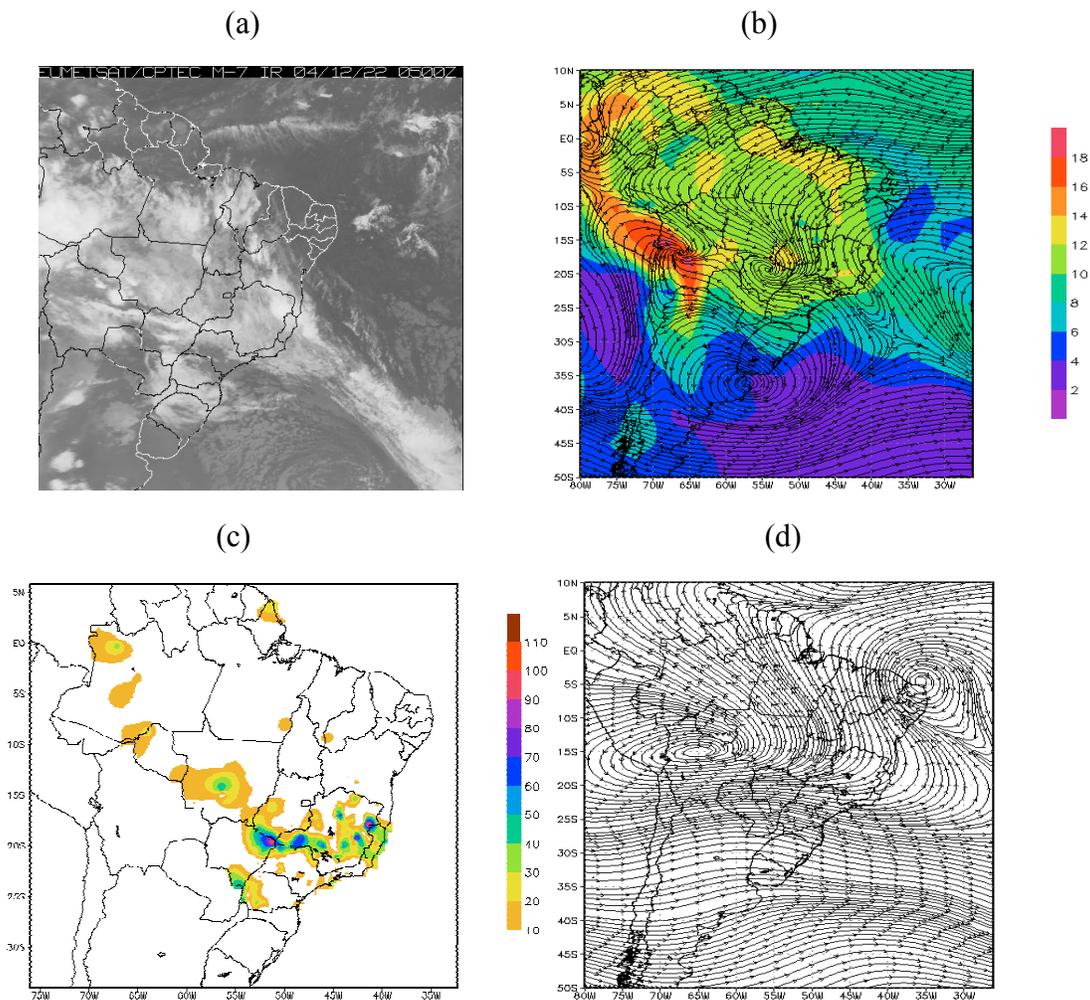


Figura 8 – (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 22/12/2004, 05:00 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 20/12 às 00Z e 23/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 21, às 12Z e 22 de dezembro de 2004, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 20/12 às 00Z e 23/12 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

O caso 8 (18/01/2005) ocorreu durante um período de ZCAS decorrido entre os dias 16 e 20 de janeiro de 2005, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre a Amazônia, Brasil Central e Sudeste, estendendo-se sobre o Oceano Atlântico Sul (Fig. 9a e b). Durante o dia do evento a precipitação não encontrava-se uniformemente distribuída, contudo nota-se pequenas áreas com grande intensidade de precipitação (Fig 9c). Ressalta-se que, no início deste episódio, a banda de nebulosidade foi mantida pelas incursões de frentes frias. Em altos níveis, destacou-se a presença da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste, fatores estes concordantes com o modelo conceitual de ZCAS (Fig. 9d).

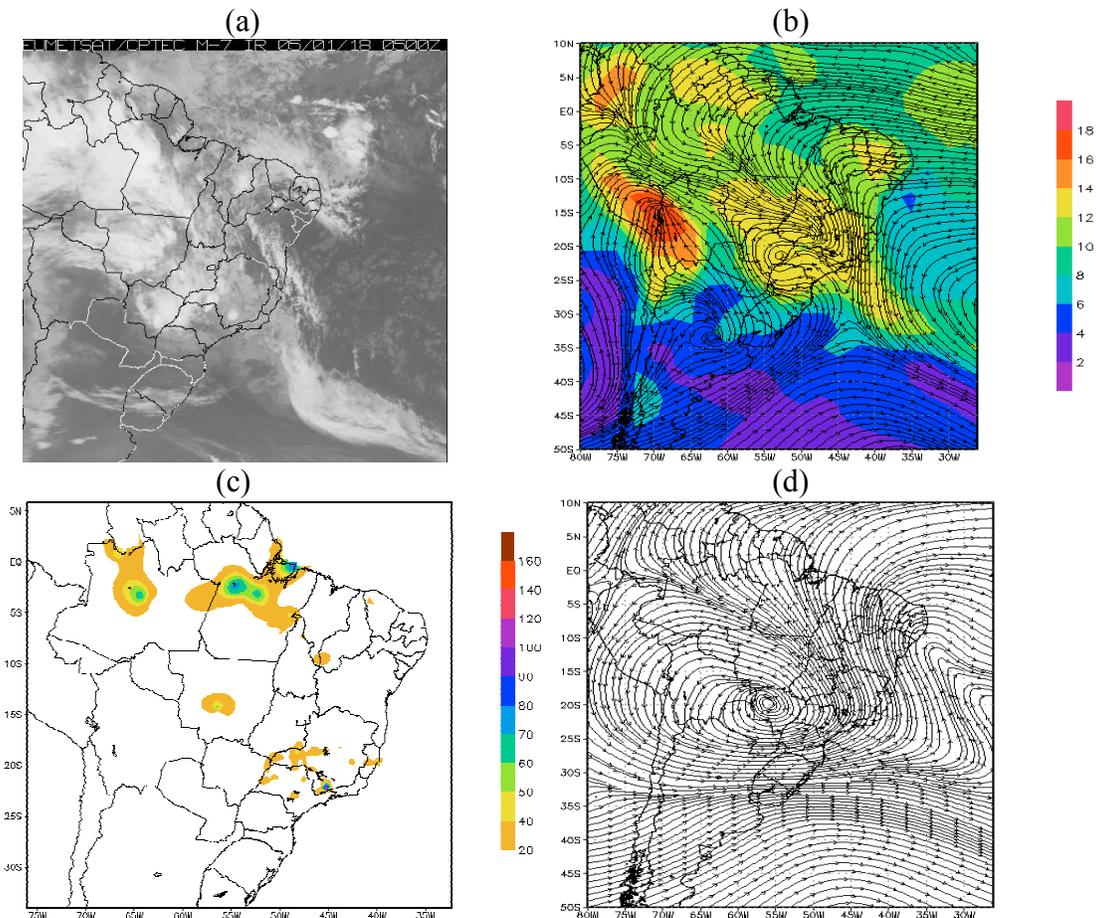


Figura 9 – (a) Imagem do satélite METEOSAT, dia 18/01/2005, 05:00 Z; (b) Linhas de corrente e umidade específica ao nível de 850 hPa média entre 16/01 às 00Z e 19/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR); (c) Precipitação (mm) acumulada entre os dias 17, às 12Z e 18 de janeiro de 2005, 12Z (Fonte: Análise do CPTEC) e (d) Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média entre 16/01 às 00Z e 19/01 às 00Z (Reanálise NCEP/NCAR).

3.2 - Previsões do modelo regional ETA

LINHA DE CORRENTE E UMIDADE ESPECÍFICA EM 850 e 200hPa

- Caso 1

A figura 10 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 2 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever adequadamente a localização do máximo de umidade, da confluência associada à ZCAS, da região de baixa pressão, e a posição da Alta do Atlântico Sul, inclusive com seus dois núcleos anticiclônicos. Em altos níveis, o modelo conseguiu prever a localização da Alta da Bolívia e o do Vórtice Ciclônico do Nordeste (Fig. 10b).

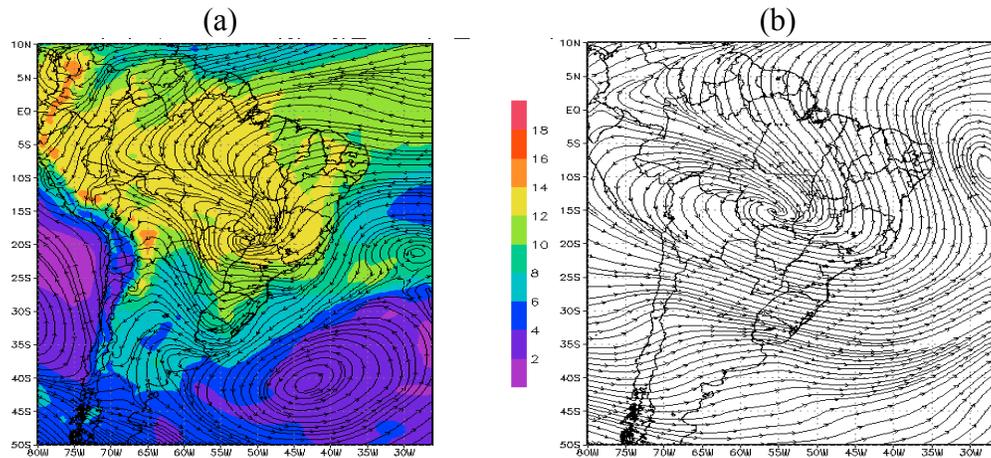


Figura 10 - Campos médios entre 12/12 às 00Z e 15/12 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 2

A figura 11 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 3 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade, da Baixa e da confluência associada à ZCAS, bem como a posição do centro do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (Fig. 11a). Em altos níveis, o modelo conseguiu prever a Alta da Bolívia, localizando-a porém a noroeste de sua posição observada e o cavado no litoral do Nordeste (Fig. 11b).

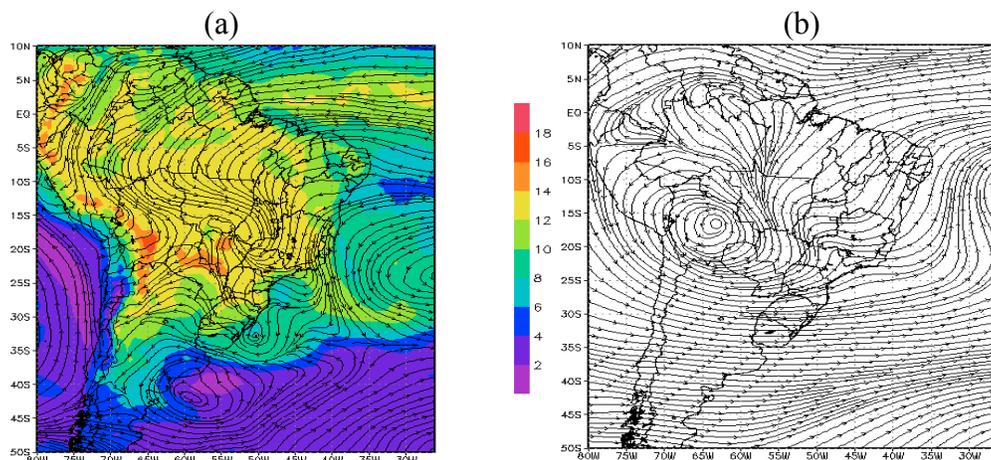


Figura 11 - Campos médios entre 30/12/2002 às 00Z e 02/01/2003 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 3

A figura 12 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 4 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade, do centro de baixa pressão e da confluência associada à ZCAS, bem como as posições da alta migratória e do ASAS (Fig. 12a). Em altos níveis, o modelo

conseguiu prever a localização da Alta da Bolívia (um pouco deslocada para oeste com relação à observação) e o do cavado no litoral do Nordeste (Fig. 12b).

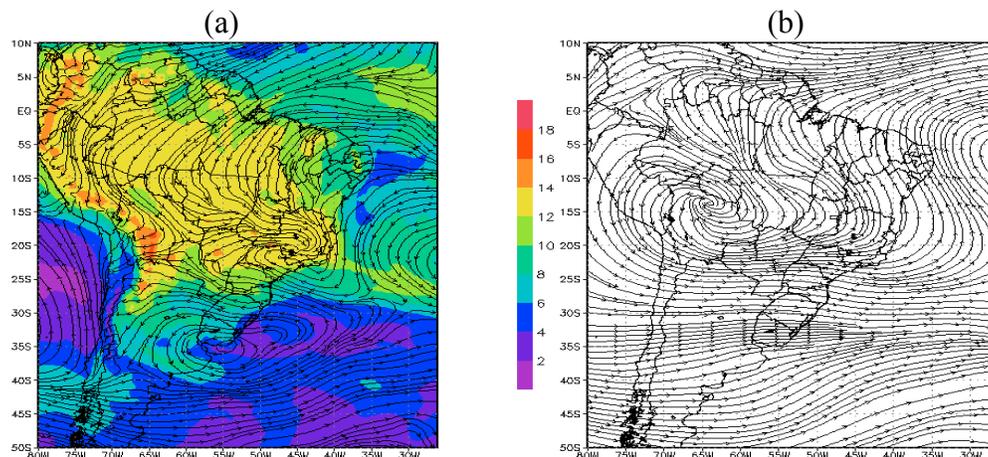


Figura 12 - Campos médios entre 12/01 às 00Z e 15/01 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linhas de corrente em 200hPa.

- Caso 4

A figura 13 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 5b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade e da confluência associada à ZCAS, bem como a posição do ASAS (Fig. 13a). Em altos níveis, o modelo previu muito bem a localização da Alta da Bolívia e o do cavado no litoral do Nordeste (Fig. 13b).

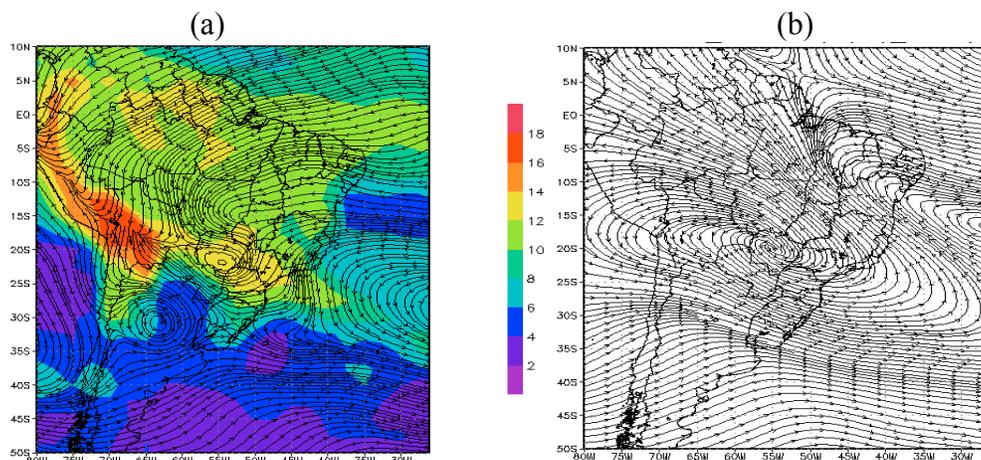


Figura 13 - Campos médios entre 23/01 às 00Z e 26/01 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 5

A figura 14 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 6 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de

umidade, da região ciclônica sobre o Atlântico Sul, da confluência associada à ZCAS, bem como as posições do ASAS e da alta migratória (Fig. 14a). Em altos níveis, o modelo conseguiu prever a localização da Alta da Bolívia, ligeiramente deslocada para oeste e o cavado no litoral do Nordeste, apesar de não configurar um vórtice cilônico fechado (Fig. 14b).

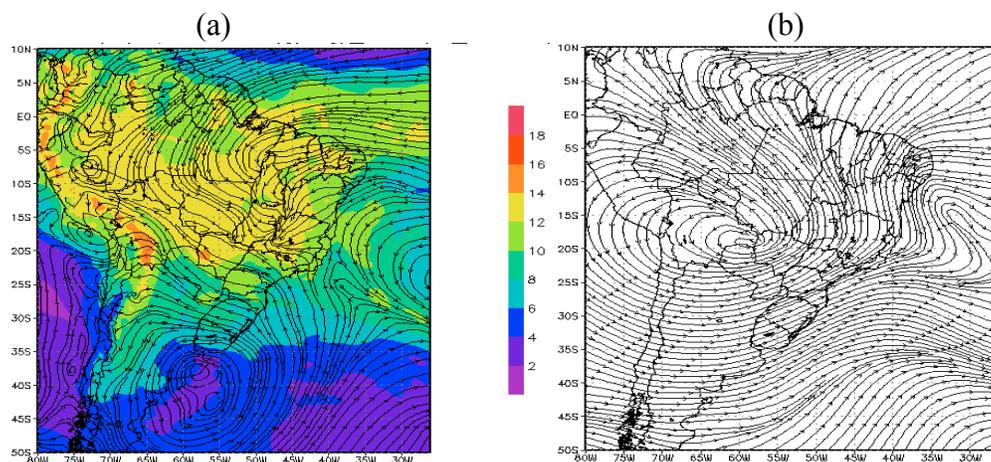


Figura 14 - Campos médios entre 06/02 às 00Z e 09/02 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 6

A figura 15 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 7 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade, dos dois centros ciclônicos e da confluência associada à ZCAS, bem como as posições do ASAS (Fig. 15a). Em altos níveis, o modelo conseguiu prever a localização da Alta da Bolívia e o do cavado cujo eixo estendeu-se sobre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste (Fig. 15b).

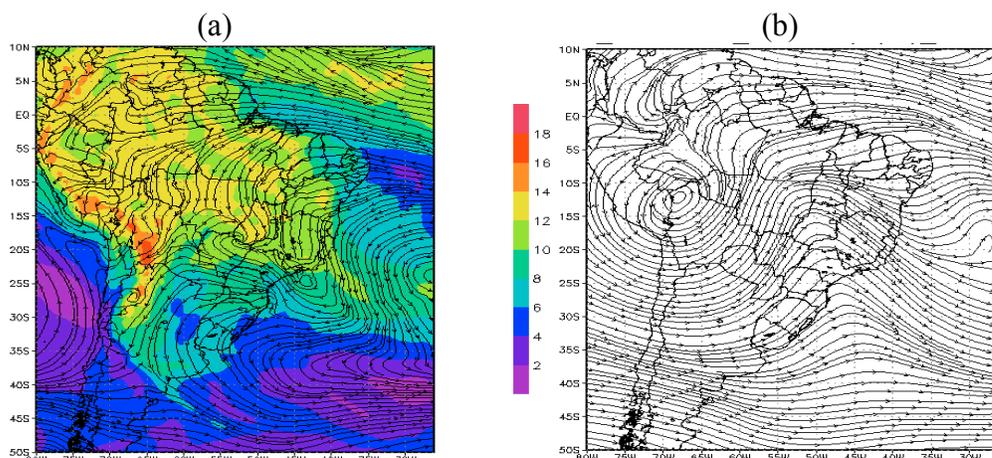


Figura 15- Campos médios entre 12/12 às 00Z e 15/12 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 7

A figura 16 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 8 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade, a região de colo e a confluência associada à ZCAS, bem como as posições das altas sobre o Atlântico do Sul (ASAS e alta migratória) (Fig. 16a). Em altos níveis, o modelo previu muito bem a localização da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico do Nordeste (Fig. 16b).

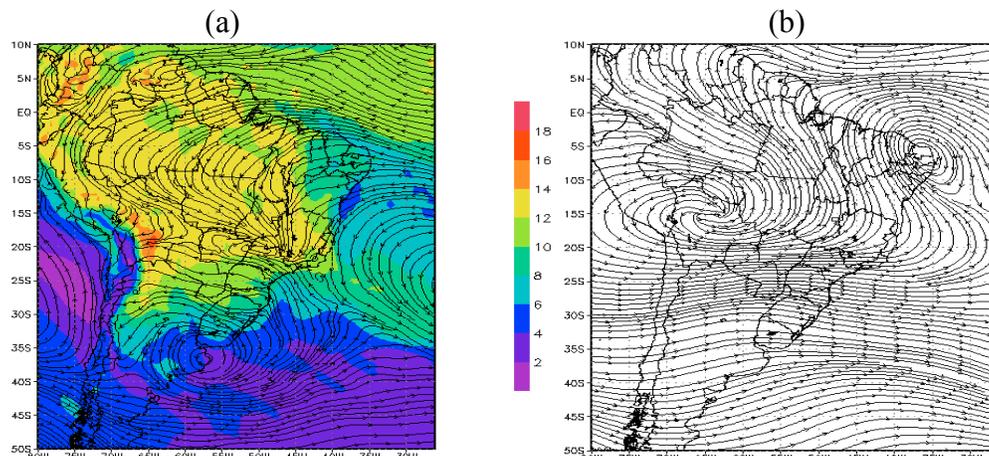


Figura 16- Campos médios entre 20/12 às 00Z e 23/12 às 00Z previstos pelo modelo regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

- Caso 8

A figura 17 mostra os campos médios de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (a) e os campos médios de linha de corrente em 200 hPa (b) previstos pelo modelo regional Eta. Comparando-se estes campos com os da Fig. 9 b e d, respectivamente, nota-se que o modelo conseguiu prever a localização do máximo de umidade, da região de colo sobre o Atlântico e da confluência associada à ZCAS, bem como a posição do ASAS (Fig. 17a). Em altos níveis, o modelo conseguiu prever a localização da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste, apesar de ter sido representado pelo modelo como um vórtice fechado (Fig. 17b).

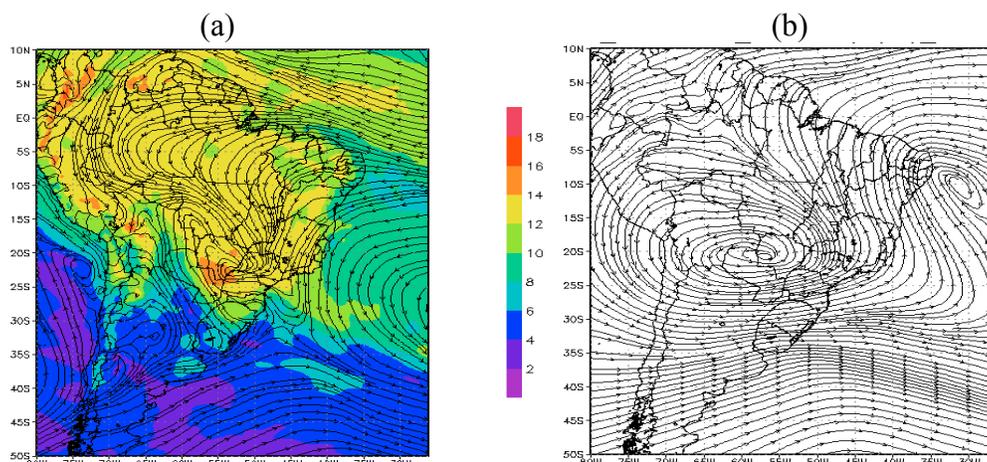


Figura 17- Campos médios entre 16/01 às 00Z e 19/12 às 00Z previstos pelo modelo

regional Eta: (a) linha de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) em 850hPa e (b) linha de corrente em 200hPa.

PRECIPITAÇÃO

A precipitação foi acumulada das 12Z anteriores ao evento até as 12Z do dia em questão. Como esperado, em nenhum dos casos o modelo conseguiu prever exatamente a intensidade da precipitação observada. Isto se deve ao fato da resolução do modelo ser pequena quando comparada à dimensão dos eventos. O maior detalhamento da precipitação prevista pode ser consequência da maior resolução do modelo quando comparada à análise do CPTEC.

- Caso 1

A Figura 18 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 12/12/02. O modelo não conseguiu prever a localização e a intensidade da chuva, contudo o modelo previu alguma chuva para o dia anterior (não mostrado), indicando um possível erro temporal da previsão.

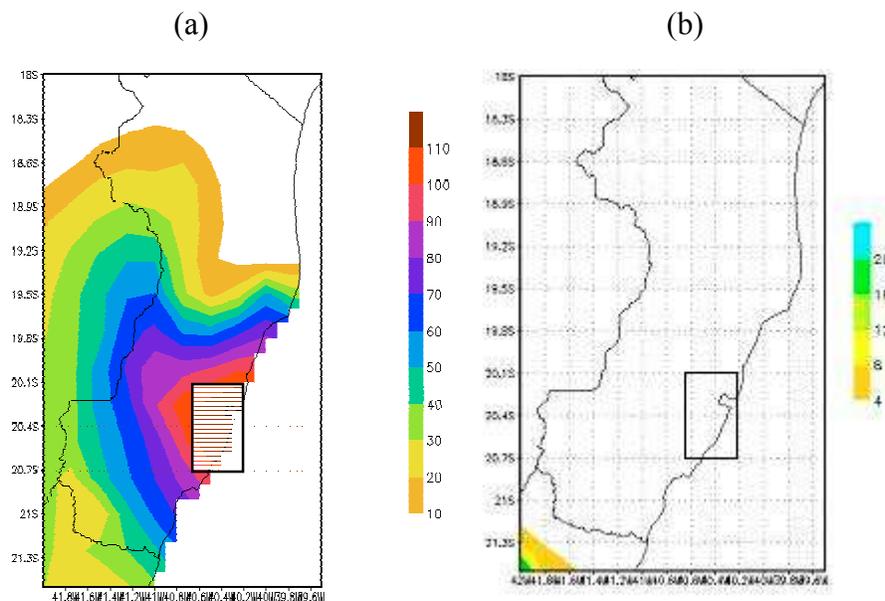


Figura 18- Campos da precipitação acumulada entre os dias 11/12 - 12Z e 12/12/02 - 12Z; (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 2

A Figura 19 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 01/01/03. Apesar do modelo ter previsto uma quantidade menor de precipitação na região delimitada pela caixa (núcleo de máxima precipitação), alguma precipitação foi prevista para o local.

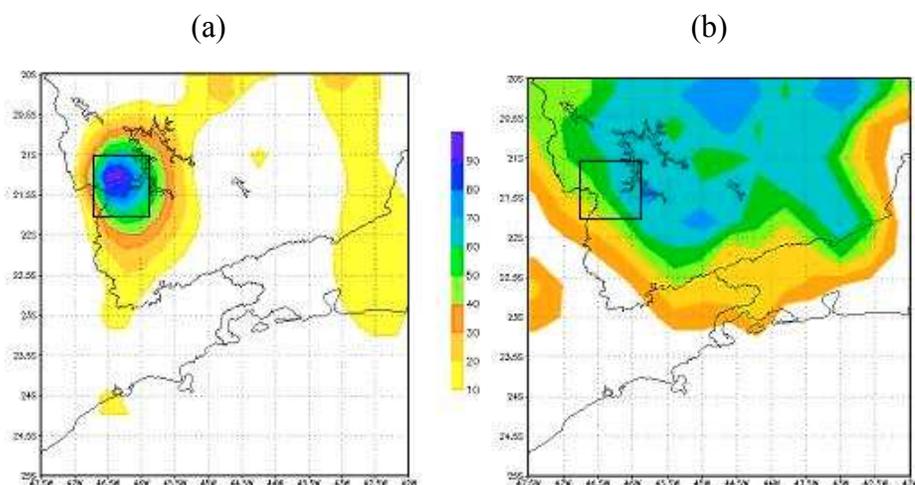


Figura 19 - Campos da precipitação acumulada entre os dias 31/12/2002 - 12Z e 01/01/2003 - 12Z; (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 3

A Figura 20 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 14/01/03. O modelo conseguiu prever a localização do máximo de precipitação, no entanto, ele previu uma intensidade inferior à observada.

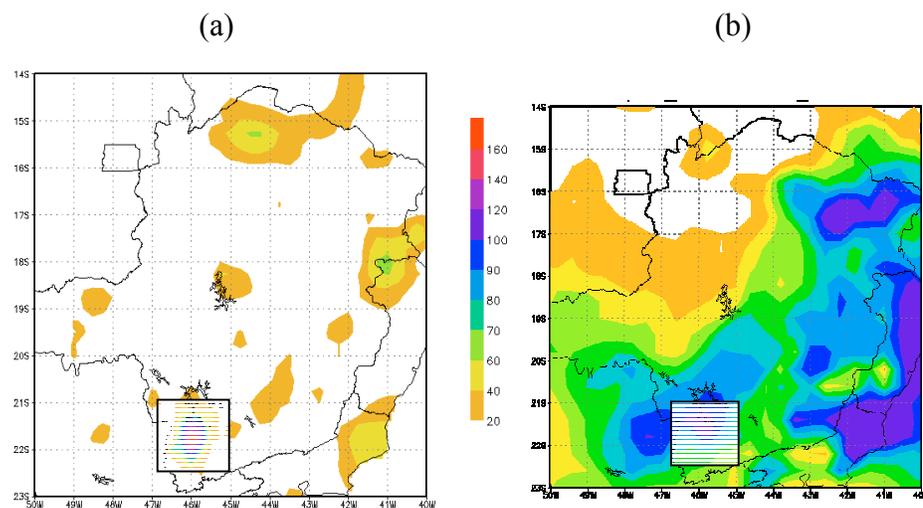


Figura 20 - Campos da precipitação acumulada do dia 13/01 - 12Z até 14/01/2003 - 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 4

A Figura 21 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 25/01/03. O modelo não conseguiu prever a localização e tão pouco a intensidade da precipitação (muito inferior à observada), mas previu alguma precipitação para o local.

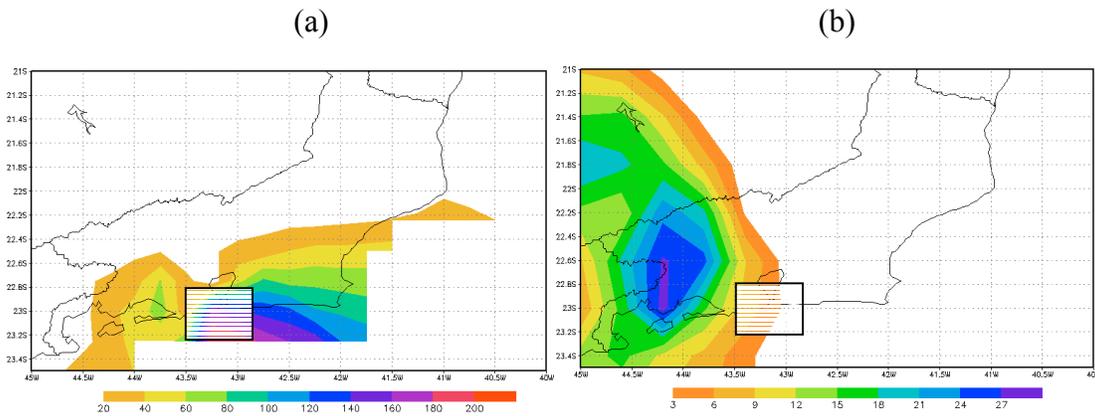


Figura 21- Campos da precipitação acumulada do dia 24/01 - 12Z até 25/01/2003 - 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 5

A Figura 22 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 08/02/04. O modelo conseguiu prever a localização do máximo de precipitação com um pequeno desvio para oeste, no entanto, ele previu uma intensidade muito inferior à observada.

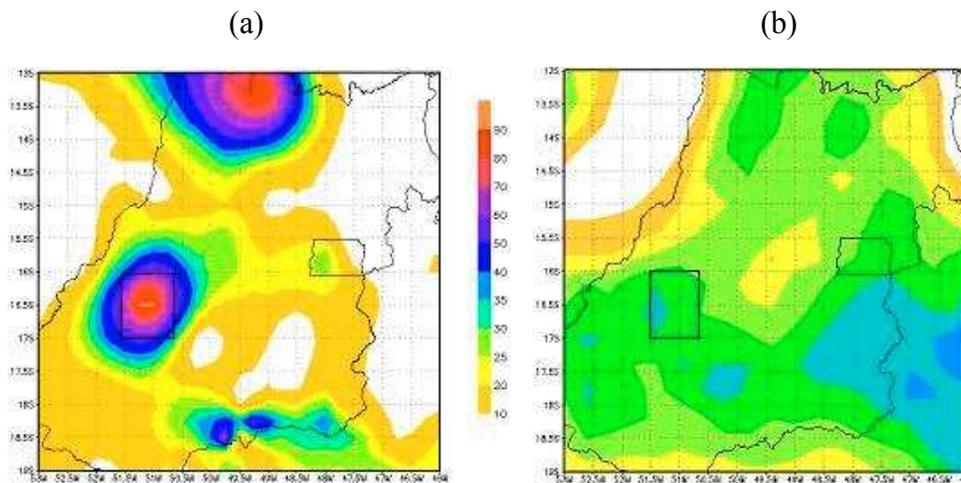


Figura 22- Campos da precipitação acumulada do dia 07/02 - 12Z até 08/02/2004 - 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 6

A Figura 23 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 14/12/04. O modelo não

conseguiu prever a localização e a intensidade da precipitação, mas previu alguma precipitação para o local. Salienta-se também que o modelo previu a precipitação com intensidade relativamente maior no dia anterior (não mostrado), indicando um possível erro temporal da previsão.

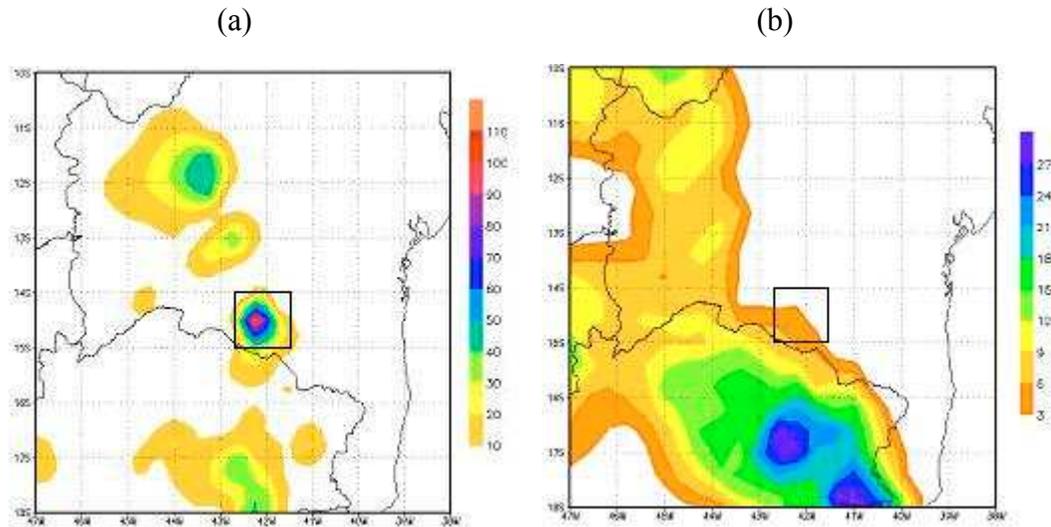


Figura 23- Campos da precipitação acumulada do dia 13/12 - 12Z até 14/12/2004 - 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 7

A Figura 24 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 22/12/04. O modelo não conseguiu prever a localização e previu uma intensidade bastante reduzida, com relação à observação, contudo o modelo captou o padrão de distribuição espacial da precipitação.

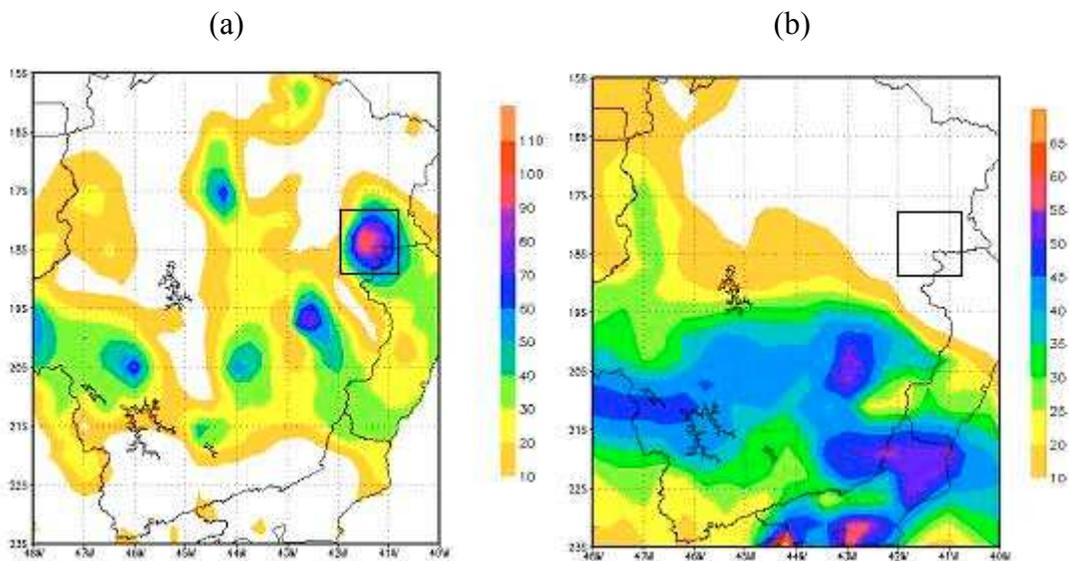


Figura 24- Campos da precipitação acumulada do dia 21/12/2004 às 12Z até 22/12/2004 às 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

- Caso 8

A Figura 25 mostra os campos da precipitação acumulada observada (a) e prevista (b) para a região de máxima precipitação para o dia 18/01/05. O modelo previu um máximo de precipitação na região próxima à área delimitada pela caixa. Ressalta-se, também, um máximo de precipitação previsto para o dia anterior.

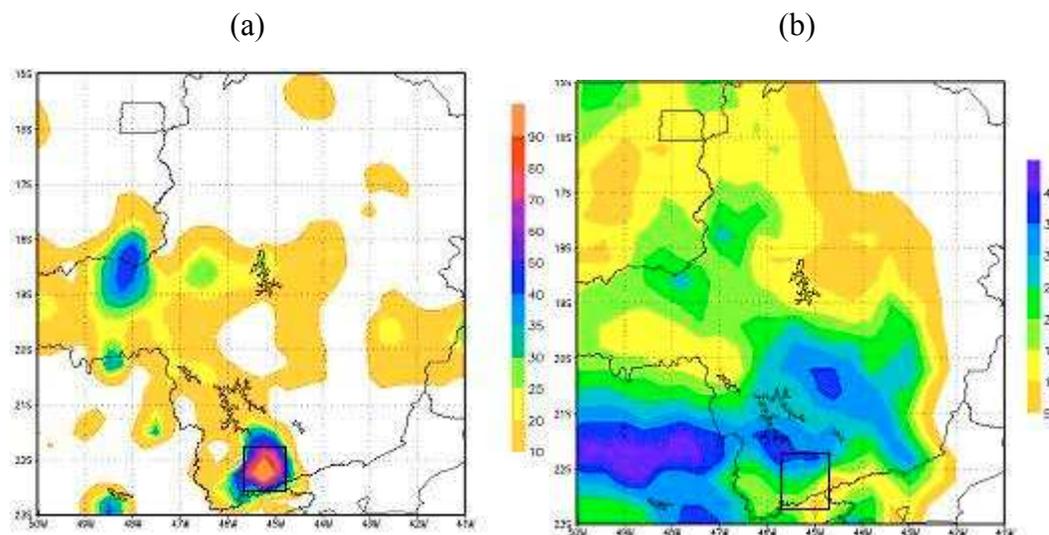


Figura 25- Campos da precipitação acumulada do dia 17/01 - 12Z até 18/01/2005 - 12Z. (a) observada (Análise do CPTEC) e (b) prevista pelo modelo regional Eta.

CAPE

A Figura 26 mostra o campo previsto da evolução temporal do CAPE.

O caso 1 (12/12/02) apresenta **valores moderadamente instáveis** durante o evento, com um máximo de aproximadamente 2200 J.kg^{-1} nas 6 horas anteriores ao evento (11/12/2002 - 18Z) e na data do evento (12/12/2002 - 00Z). Os valores aumentam até atingir a data do evento e após sua ocorrência decaem gradativamente.

O caso 2 (01/01/03) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante todo o período analisado, com um máximo de aproximadamente 750 J.kg^{-1} nas 6 horas anteriores a ocorrência do evento (31/12/2002 - 18Z).

O caso 3 (14/01/03) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante todo o período analisado, com um máximo de aproximadamente 800 J.kg^{-1} nas 6 horas anteriores ao evento (13/01/2003 - 18Z).

O caso 4 (25/01/03) apresenta **valores moderadamente instáveis** durante o período analisado, com um máximo de aproximadamente 1900 J.kg^{-1} no dia de ocorrência do evento (25/01/2003 - 00Z).

O caso 5 (08/02/04) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante todo o período, com um máximo de aproximadamente 750 J.kg^{-1} nas 6 horas anteriores (07/02/04 – 18Z) e posteriores (08/02/2004 - 06Z) à ocorrência do evento.

O caso 6 (14/12/04) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante todo o período analisado. Nota-se, contudo, um valor um pouco maior (aproximadamente 800 J.kg^{-1}) 30 h antes da ocorrência do evento (12/12/2004 - 18Z), condizente com a precipitação prevista para o dia anterior ao evento. Reforçando assim, a hipótese sobre um possível erro temporal da previsão.

O caso 7 (22/12/04) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante o período analisado. Nota-se, contudo, um valor alto (aproximadamente 1500 J.kg^{-1}) 24 horas antes da ocorrência do evento (21/12/2004 - 00Z), não condizente com o horário de máxima precipitação prevista pelo modelo.

O caso 8 (18/01/05) apresenta **valores marginalmente instáveis** durante o período analisado. Nota-se, contudo, um valor alto (aproximadamente 2000 J.kg^{-1}) 30 horas antes da ocorrência do evento (16/18/2005 - 18Z), condizente com a precipitação prevista no dia anterior.

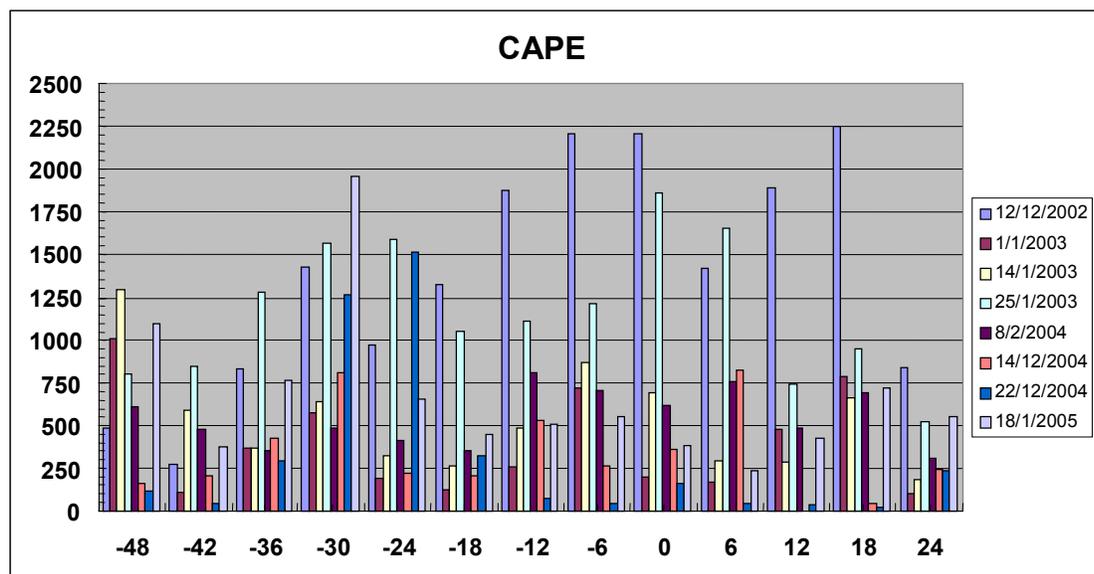


Figura 26 – Evolução temporal da CAPE para cada caso previsto pelo modelo, desde 48 h antes (-48) até 24 horas após (24) a ocorrência do evento (0)

BRNSH E PRECIPITAÇÃO

Os campos de BRNSH e precipitação previstos são apresentados a seguir para todos os casos estudados, gerados a partir das rodadas listadas na Tabela 2.

- Caso 1 (12/12/02)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 11/12 – 00 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 11/12 – 00Z e 11/12 – 06 Z, são apresentados na Figura 27 a. Os resultados indicam que o modelo previu para o horário de máxima precipitação, dia anterior ao evento, valores baixos de BRNSH, em torno de $4 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, e valores de precipitação variando entre 9 e 10 mm.

- Caso 2 (01/01/03)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 01/01/03 – 00 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 01/01 – 00Z e 01/01 – 06 Z, são apresentados na Figura 27 b. Os resultados mostram valores baixos de BRNSH, em torno de $4 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, e valores de precipitação entre 4 e 7 mm.

- Caso 3 (14/01/03)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 14/01 – 00 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 14/01 – 00Z e 14/01 – 06 Z, são apresentados na Figura 27 c. Os resultados mostram valores de BRNSH entre 25 e $30 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e valores de precipitação entre 8 e 14 mm.

- Caso 4 (25/01/03)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 25/01 – 06 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 25/01 – 06Z e 25/01 – 12 Z, são apresentados na Figura 27 d. Verifica-se a partir da Figura valores baixos de BRNSH (entre 1 e $2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) e valores de precipitação de até 4 mm.

- Caso 5 (08/02/04)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 08/02 – 06 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 08/02 – 06Z e 08/02 – 12 Z, são apresentados na Figura 27 e. Os resultados mostram valores baixos de BRNSH, em torno de $4 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, e valores de precipitação entre 7 e 12 mm.

- Caso 6 (14/12/04)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 14/12 – 00 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 14/12 – 00Z e 14/12 – 06 Z, são apresentados na Figura 27 f. Os resultados mostram valores baixos de BRNSH (em torno de $9 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) e valores de precipitação de até 2 mm

- Caso 7 (22/12/04)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 22/12 – 06 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 22/12 – 06 Z e 22/12 – 12 Z, são apresentados na Figura 27 g. Os resultados indicam valores baixos de BRNSH (em torno de $10\text{m}^2\text{s}^{-2}$). Como citado anteriormente, o modelo não previu precipitação para o dia do evento.

- Caso 8 (18/01/05)

Os campos previstos de BRNSH para o dia 17/01 – 06 Z e a precipitação acumulada em 6 horas, para o intervalo entre 17/01 – 06 Z e 17/01 – 12 Z, são apresentados na Figura 27 h. Os resultados indicam valores baixos de BRNSH (em torno de $9\text{m}^2\text{s}^{-2}$) e valores de precipitação entre 10 e 12 mm. No horário de máxima precipitação (prevista pelo modelo para o dia anterior), o modelo previu valores baixos de BRNSH (em torno de $9\text{m}^2\text{s}^{-2}$) e valores de precipitação entre 16 e 22 mm (não mostrado).

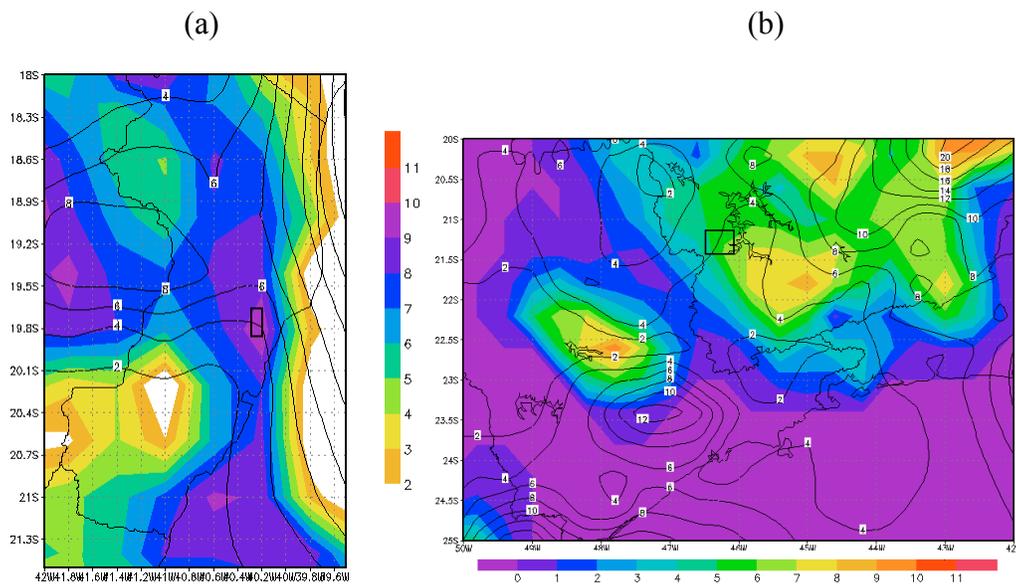


Figura 27 – Campos de BRNSH (linhas cheias em m^2s^{-2}) para a previsão do dia anterior à ocorrência do evento e precipitação acumulada entre o dia anterior a ocorrência do evento e as 6 horas posteriores. (a) 11/12/2002 - 00Z, (b) 01/01/2003 - 00Z, (c) 14/01/2003 - 00Z, (d) 25/01/2003 - 06Z, (e) 08/02/2004 - 06Z, (f) 14/12/2004 - 00Z, (g) 22/12/2004 - 06Z e (h) 17/01/2003 - 06Z.

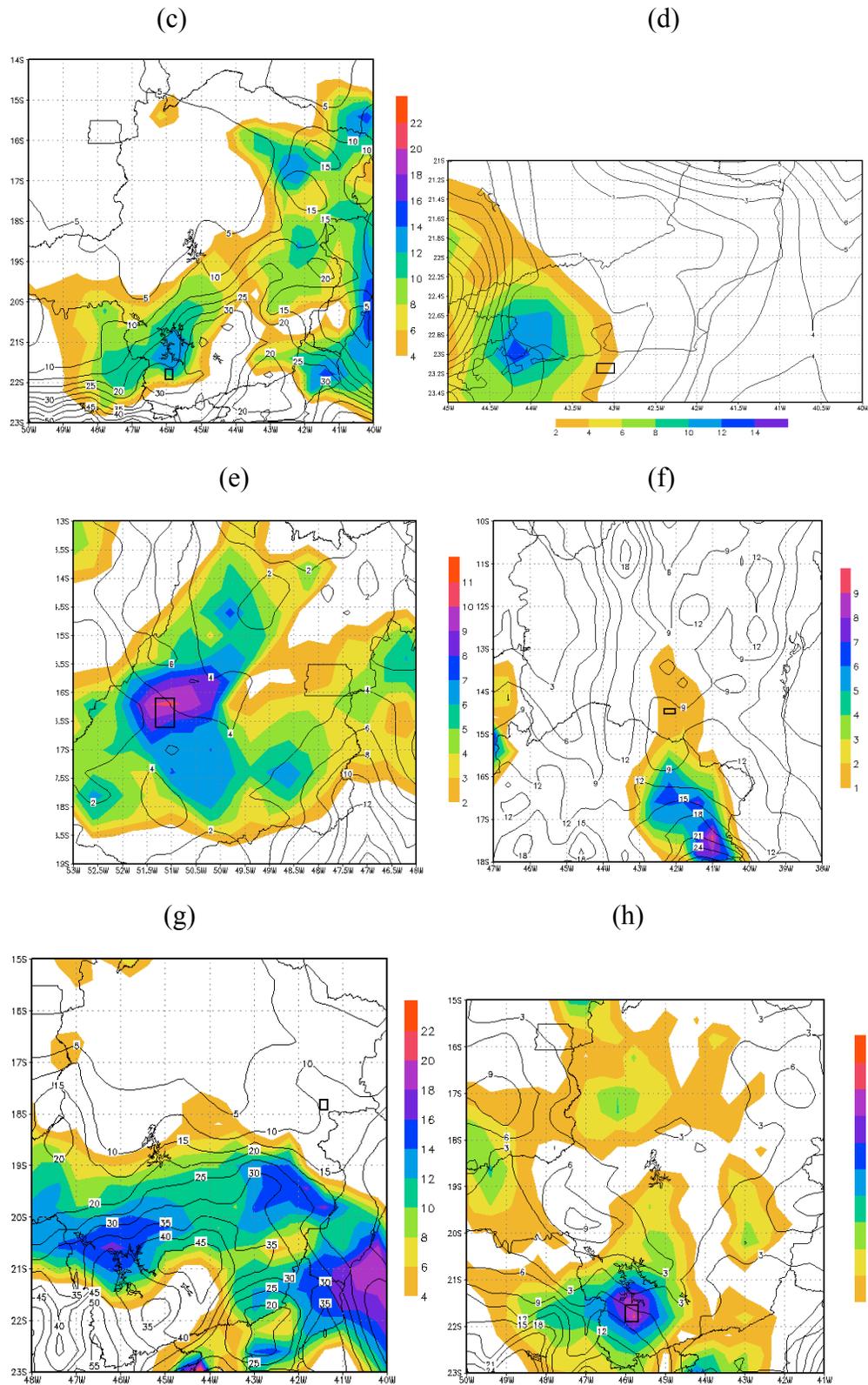


Figura 27 – Final.

OMEGA

O movimento vertical ($\omega = \frac{dp}{dt}$) é um indicativo da intensidade e da profundidade da convecção presente. Quando este valor é positivo (negativo) significa que há movimento subsidente (ascendente) na camada.

- Caso 1 (12/12/02)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 1 (Figura 28 a) previsto pelo modelo indica até o dia 11/12 – 06 Z movimento ascendente (omega negativo) em toda a troposfera e a partir desta data, movimento subsidente. Este fato reforça ainda mais a hipótese de erro temporal da previsão.

- Caso 2 (01/01/03)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 2 (Figura 28 b) previsto pelo modelo mostra movimento ascendente (omega negativo) praticamente em toda a camada desde o dia 30/12 – 12 Z até o final do período, e com um máximo de $-0,004 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ entre os níveis de 650 e 700 hPa no dia 01/01 - 12Z.

- Caso 3 (14/01/03)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 3 (Figura 28 c) previsto pelo modelo mostra um movimento ascendente (omega negativo) durante todo o evento, com um máximo $-0,006 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ no dia 14/01 – 00 Z entre os níveis de 600 e 650hPa.

- Caso 4 (25/01/03)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 4 (Figura 28 d) previsto pelo modelo mostra movimento subsidente antes, e movimento ascendente após o evento desde superfície até 600 hPa. Ressalta-se um máximo $-0,003 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ entre os níveis de 850 e 950 hPa no dia 25/01 – 00 Z.

- Caso 5 (08/02/04)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 5 (Figura 28 e) previsto pelo modelo mostra movimento ascendente (omega negativo) apenas para o dia 08/02/04 - 00 e 06 Z em toda a troposfera. Ressalta-se um máximo $-0,01 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ entre os níveis de 300 e 350 hPa em 08/02 – 06 Z.

- Caso 6 (14/12/04)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 6 (Figura 28 f) previsto pelo modelo mostra movimento ascendente (omega negativo) em toda a camada desde o dia 12/12/04 – 00 Z (mais intenso) até 14/12/04 (com menor intensidade). Ressalta-se que o movimento ascendente em toda a camada no dia 12/12 - 00 e 06 Z, reforça a hipótese do erro temporal da previsão.

- Caso 7 (22/12/04)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 7 (Figura 28 g) previsto pelo modelo mostra movimento ascendente (omega negativo) nos baixos níveis (até 650 hPa) na maior parte do período analisado. Ressalta-se um máximo no dia 23/12 – 00 Z nos baixos níveis e também movimento ascendente em toda a camada no dia 25/12 00 e 06 Z, reforçando a hipótese do erro temporal da previsão.

- Caso 8 (18/01/05)

O campo de evolução temporal do perfil de omega para o caso 8 (Figura 28 h) previsto pelo modelo mostra movimento ascendente (omega negativo) em toda a camada durante todo o evento, com exceção dia 18/01 às 12 Z entre os níveis de 600 e 800 hPa (horário de máxima precipitação). Nota-se também um movimento ascendente em toda a camada no dia 17/01 00 e 06Z que, junto com o movimento descendente no horário da precipitação, reforça a hipótese do erro temporal da previsão.

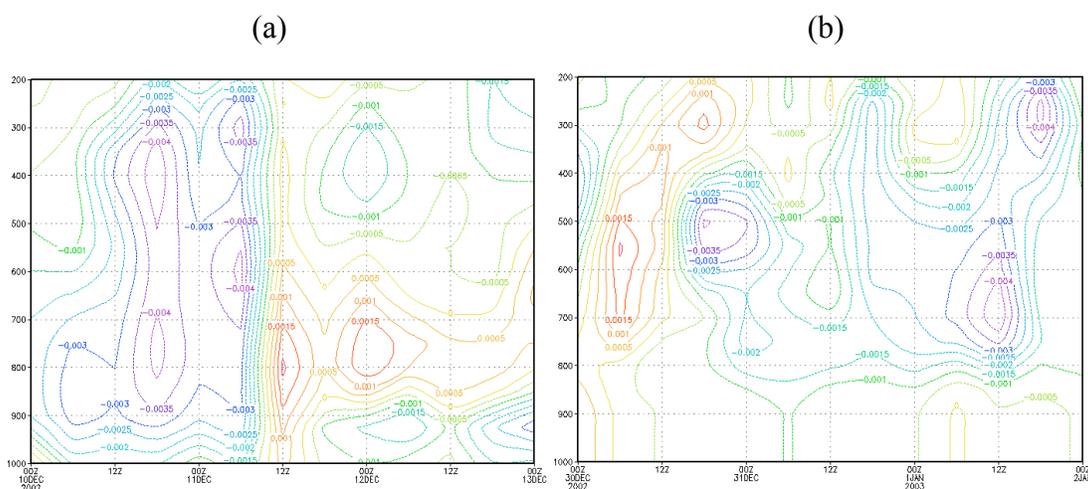


Figura 28 - Campos de evolução temporal do perfil de Omega ($\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) previstos pelo modelo Eta a partir das rodadas listadas na Tabela 2, mediados nas áreas listadas na Tabela 1. As datas nas abscissas referem-se às previsões de 00 (análise), até 72 horas a cada 6 horas. (a) caso 1, (b) caso 2, (c) caso 3, (d) caso 4, (e) caso 5, (f) caso 6, (g) caso 7 e (h) caso 8.

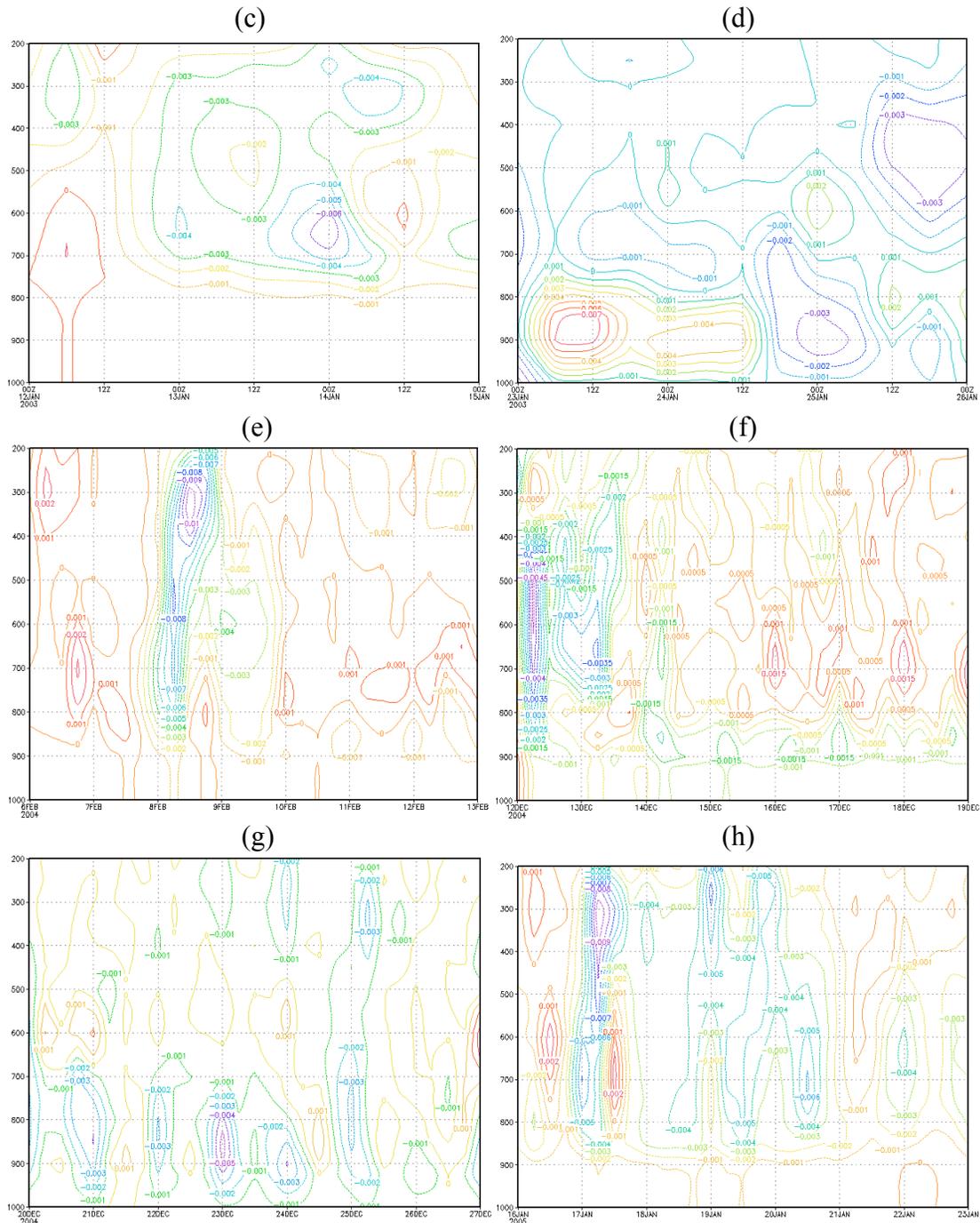


Figura 28 – Final.

UMIDADE ESPECÍFICA

- Caso 1 (12/12/02)

A Figura 29(a) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 1. Verifica-se na Figura altos valores em superfície durante todo o evento (máximo de 18 g.kg^{-1}) e valores baixos nos níveis mais altos. Nota-se, contudo, valores altos em superfície durante o dia anterior ao evento e uma

queda acentuada da umidade nos níveis baixos após este período. Este resultado reforça a hipótese de erro temporal da previsão.

- Caso 2 (01/01/03)

A Figura 29(b) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 2. Observa-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 24g.kg^{-1} no dia 31/12/2002 – 18 Z e valores mais baixos conforme aumenta o nível de pressão.

- Caso 3 (14/01/03)

A Figura 29(c) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 3. Nota-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 22g.kg^{-1} no dia 13/01/2003 - 18Z e valores mais baixos conforme aumenta o nível de pressão.

- Caso 4 (25/01/03)

A Figura 29(d) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 5. Observa-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 18g.kg^{-1} em 25/01/2003 - 06Z e com uma queda acentuada da umidade com a altura no dia 24/01/2003 - 12Z.

- Caso 5 (08/02/04)

A Figura 29(e) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 5. Nota-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 18g.kg^{-1} no dia 07/02/2004 - 18Z e com uma queda relativamente acentuada da umidade nos níveis baixos após o evento.

- Caso 6 (14/12/04)

A Figura 29(f) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica. Esta mostra valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 18g.kg^{-1} no dia 13/12/2004 - 18Z e com uma queda acentuada da umidade nos níveis baixos após o evento. Ressalta-se, também, valores altos de umidade específica na superfície (máximo de 22g.kg^{-1}) em 12/12/2004 - 12Z não condizentes com o horário de máxima precipitação do dia anterior.

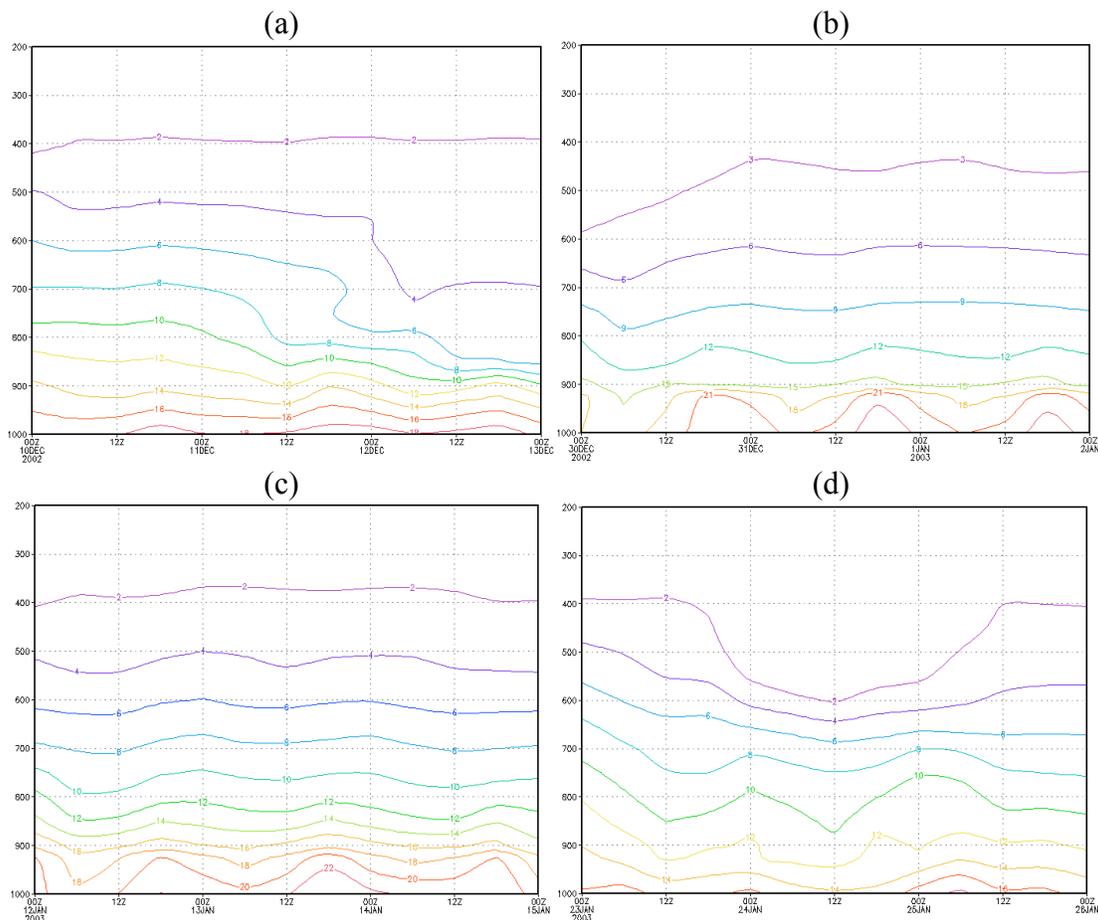
- Caso 7 (22/12/04)

A Figura 29(g) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 7. Verifica-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento, com máximo de 16g.kg^{-1} no dia 21/12/2004 - 12Z. Ressalta-se,

também valores altos de umidade específica na superfície (máximo de 16 g.kg^{-1}) no período de máxima precipitação previsto pelo modelo (dia 24/12/2004 - 12Z até o dia 25/12/2004 - 12Z).

- Caso 8 (18/01/05)

A Figura 29(h) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da umidade específica para o caso 8. Nota-se na Figura valores altos em superfície durante todo o evento (21 g.kg^{-1}). Ressalta-se, também, valores altos de umidade específica na superfície (máximo de 21 g.kg^{-1}) no dia 17/01/2005 - 06Z, condizentes com o período de máxima precipitação previsto pelo modelo para o dia anterior.



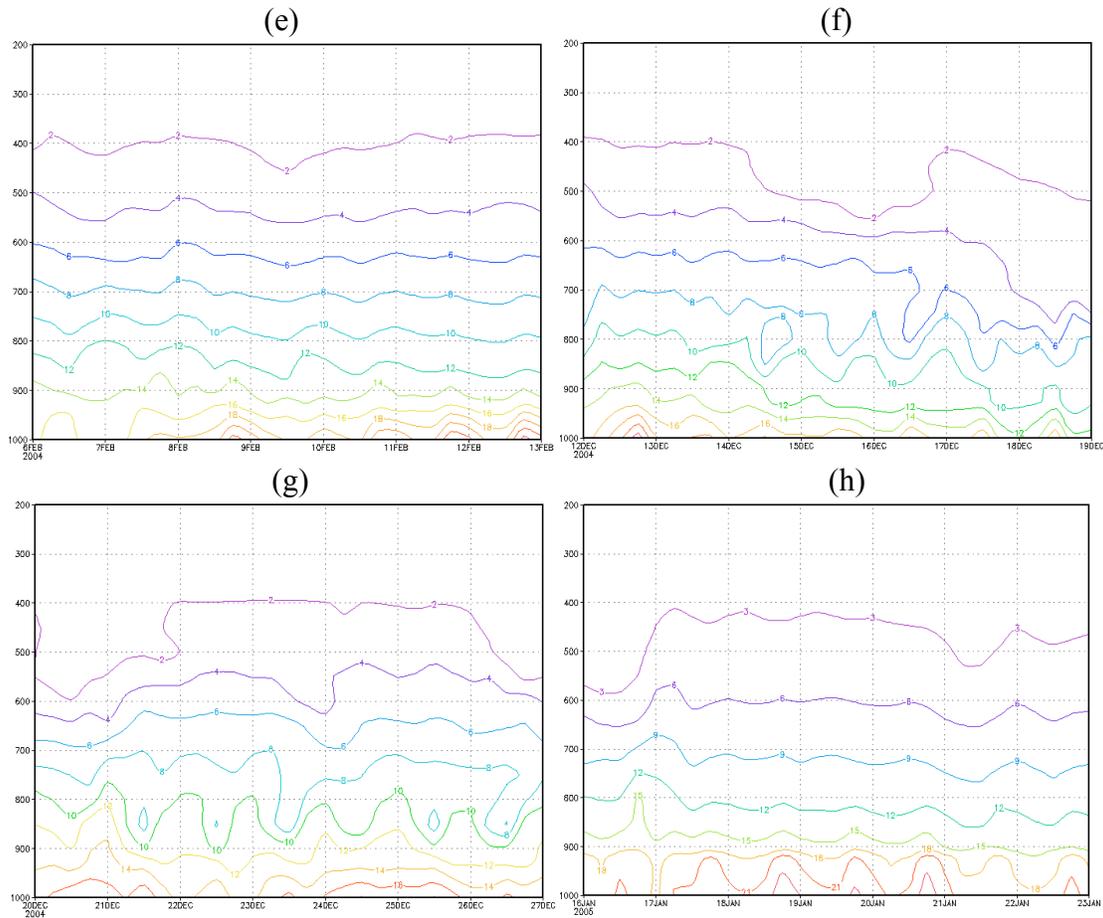


Figura 29 - Campos de evolução temporal do perfil de umidade específica (g.kg^{-1}) previstos pelo modelo Eta a partir das rodadas listadas na Tabela 2, mediados nas áreas listadas na Tabela 1. As datas nas abscissas referem-se às previsões de 00 (análise), até 72 horas a cada 6 horas. (a) caso 1, (b) caso 2, (c) caso 3, (d) caso 4, (e) caso 5, (f) caso 6, (g) caso 7 e (h) caso 8.

TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE (θ_e)

- Caso 1 (12/12/02)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 1 (Figura 30 a) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 355 K entre os dias 11/12/2002 - 12Z e 12/12/2002 às 00 Z. Ressalta-se uma instabilidade convectiva mais intensa no dia 10/12/2002 às 18Z com valor à superfície de 370 K. Isto condiz com a hipótese de erro temporal da previsão.

- Caso 2 (01/01/03)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 2 (Figura 30 b) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 375K no dia 31/12/2002 às 18Z.

- Caso 3 (14/01/03)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 3 (Figura 30 c) mostram instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 366 K no dia 13/01/2003 às 18Z.

- Caso 4 (25/01/03)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 4 (Figura 30 d) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 348 K no dia 25/01/2003 – 06 Z.

- Caso 5 (08/02/04)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 5 (Figura 30 e) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 355 K no dia 08/02/2004 – 12 Z.

- Caso 6 (14/12/04)

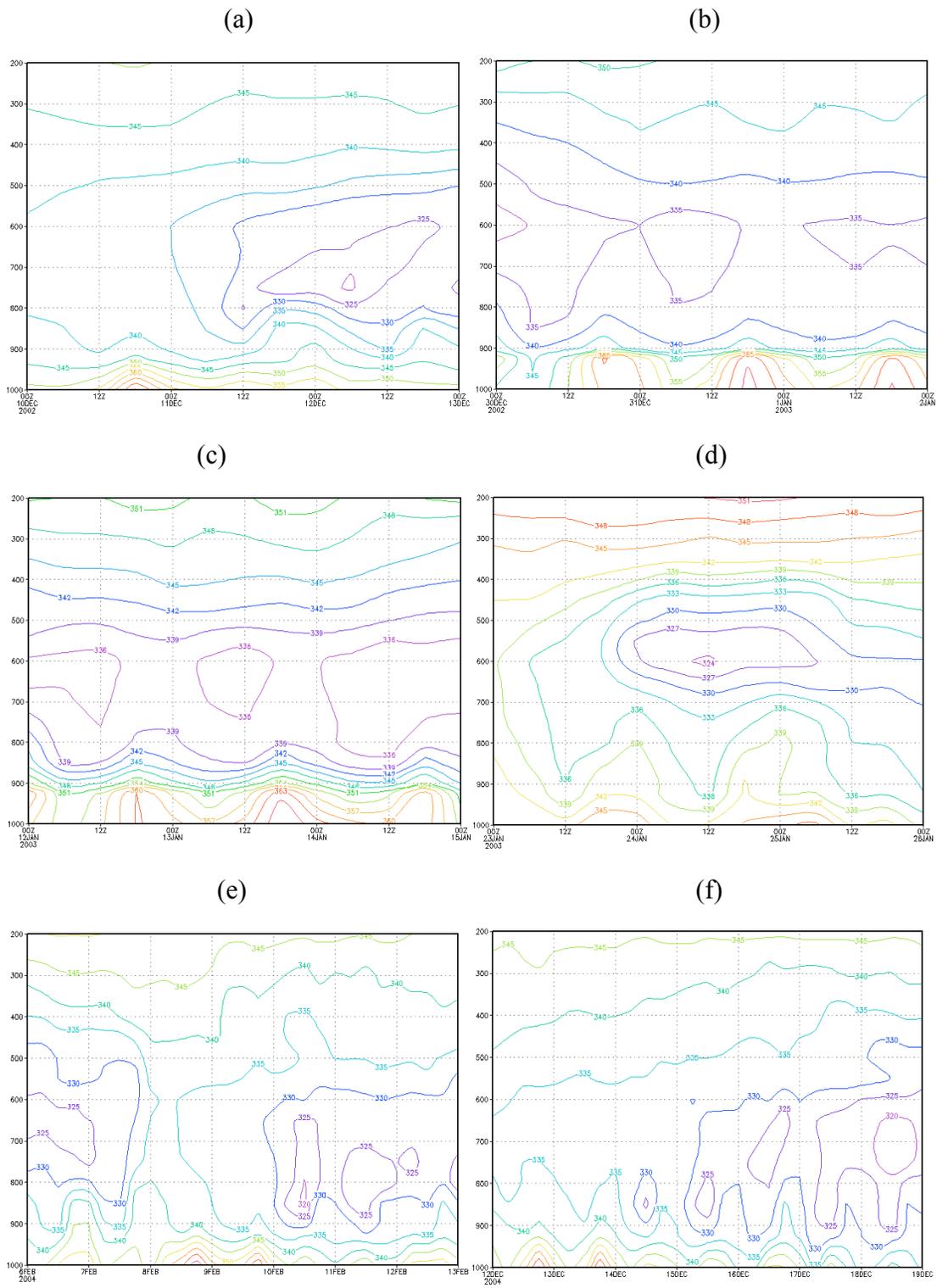
O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 6 (Figura 30 f) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 360 K no dia 13/12/2004 – 18 Z. Ressalta-se uma instabilidade convectiva de mesma magnitude no dia 12/12/2004 – 18 Z que não condiz com o período de máxima precipitação do dia anterior.

- Caso 7 (22/12/04)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 7 (Figura 30 g) mostra instabilidade convectiva para a maior parte da camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 350K no dia 21/12/2004 às 12Z. Ressalta-se uma instabilidade convectiva de mesma magnitude entre os dias 24/12/2004 - 12Z e 25/12/2004 - 12Z condizente com o período de máxima precipitação previsto pelo modelo.

- Caso 8 (18/01/05)

O campo da evolução temporal do perfil da θ_e para o caso 8 (Figura 30 h) mostra instabilidade convectiva para toda a camada e em todo o período, com valor máximo em superfície de 365 K no dia 17/01/2005 - 18Z. Ressalta-se uma instabilidade convectiva de mesma magnitude entre os dias 16/01/2005 - 12Z e 17/01/2005 - 12Z condizente com o período de máxima precipitação previsto pelo modelo.



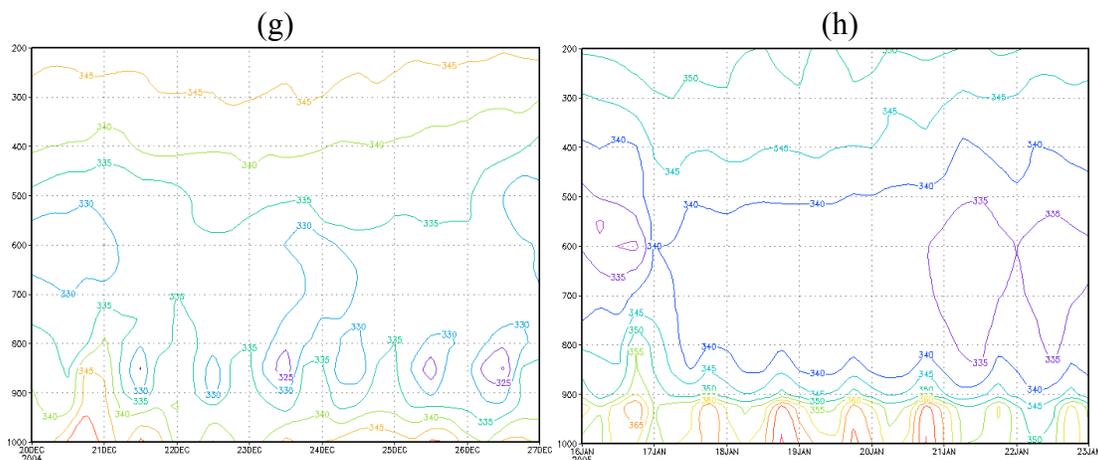


Figura 30 - Campos de evolução temporal do perfil de θ_e (K) previstos pelo modelo Eta a partir das rodadas listadas na Tabela 2, mediados nas áreas listadas na Tabela 1. As datas nas abscissas referem-se às previsões de 00 (análise), até 72 horas a cada 6 horas. (a) caso 1, (b) caso 2, (c) caso 3, (d) caso 4, (e) caso 5, (f) caso 6, (g) caso 7 e (h) caso 8.

ENERGIA CINÉTICA

- Caso 1 (12/12/02)

A Figura 31 (a) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 1. Verifica-se na Figura valores máximos de $80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (até 300hPa) entre os níveis de 650 a 750 hPa no dia 12/12/2002 - 06 e 12Z. Nota-se também um máximo de $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no dia 11/12/2002 - 06Z, no nível de 850hPa.

- Caso 2 (01/01/03)

A Figura 31 (b) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 2. Nota-se a partir da Figura máximos de $80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no nível 800hPa no dia 01/01/2003 - 00Z. Nota-se também um máximo de $60 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no dia 31/12/2002 - 06Z, no nível de 800hPa.

- Caso 3 (14/01/03)

A Figura 31 (c) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 3. De acordo com a Figura observa-se que os maiores valores ficaram concentrados entre os horários 14/01 - 00 Z e 12 Z.

- Caso 4 (25/01/03)

A Figura 31 (d) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 4. Nota-se na Figura valores abaixo de $20 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (até 350

hPa) durante todo o evento com exceção do dia 24/01/2003 - 12Z que assume valores maiores com um máximo de $80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no nível 850hPa.

- Caso 5 (08/02/04)

A Figura 31 (e) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética. Verifica-se a partir da Figura valores iguais ou inferiores a $50 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ durante todo o evento.

- Caso 6 (14/12/04)

A Figura 31 (f) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 6. Verifica-se através da Figura valores iguais ou abaixo de $50 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (até 400 hPa) durante todo o evento. Nota-se valores maiores durante o dia 12/12/2004, com máximos de $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ entre os níveis de 650 e 700hPa e em altos níveis. Este fato coincide com o máximo de precipitação previsto pelo modelo, reforçando a hipótese de erro temporal da previsão.

- Caso 7 (22/12/04)

A Figura 31 (g) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 7. Verifica-se na Figura máximos (até 300hPa) de $60 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no nível 850hPa no dia 22/12/2004 - 12Z e $80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no nível 850hPa no dia 21/12/2004 - 06Z. Nota-se também máximos (até 400hPa) de $140 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no dia 24/12/2002 - 06Z, no nível de 850hPa e $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no dia 25/12/2004 - 06Z, no nível de 850hPa. Este fato é condizente com o máximo de precipitação prevista pelo modelo.

- Caso 8 (18/01/05)

A Figura 31(h) mostra o campo previsto da evolução temporal do perfil da energia cinética para o caso 8. Nota-se na Figura máximos de $120 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ entre os níveis de 650 e 800 hPa no dia 18/01/200 - 06 e 12Z e $150 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ no nível 800hPa no dia 19/01/2005 - 12Z.

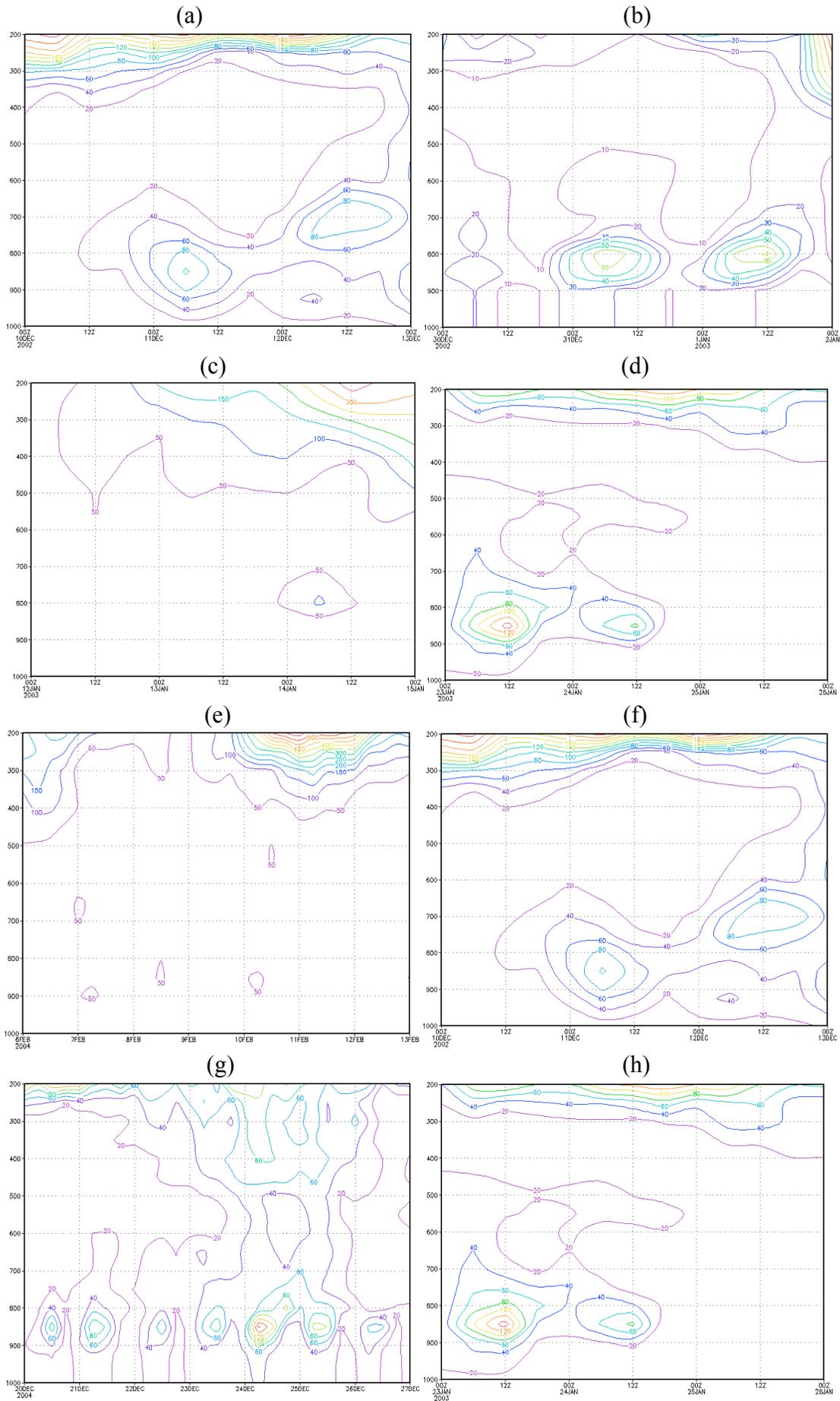


Figura 31 - Campos de evolução temporal do perfil de energia cinética (m^2s^{-2}) previstos pelo modelo Eta a partir das rodadas listadas na Tabela 2, mediados nas áreas listadas na Tabela 1. As datas nas abscissas referem-se às previsões de 00 (análise), até 72 horas a cada 6 horas. (a) caso 1, (b) caso 2, (c) caso 3, (d) caso 4, (e) caso 5, (f) caso 6, (g) caso 7 e (h) caso 8.

DIVERGÊNCIA DE VENTOS E UMIDADE ESPECÍFICA

- Caso 1 (12/12/02)

A Figura 32(a) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850 hPa para o caso 1. O modelo não previu valores pronunciados para o dia do evento, porém, como mostra a Figura abaixo, o modelo previu valores baixos de convergência do vento (divergência do vento negativa) de até $-0,9 \times 10^5 \text{s}^{-1}$ e valores de umidade entre 11 e 12 g.kg^{-1} na localização da máxima precipitação. Este resultado reforça a hipótese de um possível erro temporal da precipitação.

- Caso 2 (01/01/03)

A Figura 32(b) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850 hPa para o caso 2. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores entre -2 e -3.10^5s^{-1} e a presença de umidade variando entre 12 e 13 g.kg^{-1} .

- Caso 3 (14/01/03)

A Figura 32(c) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 3. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores entre -3 e -4.10^5s^{-1} e a presença de umidade variando entre 13 e 14 g.kg^{-1} .

- Caso 4 (25/01/03)

A Figura 32(d) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 4. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores entre -4 e -5.10^5s^{-1} e a presença de umidade variando entre 10 e 11 g.kg^{-1} .

- Caso 5 (08/02/04)

A Figura 32(e) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 5. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma pequena convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores de até $-0,5 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ e a presença de umidade variando entre 12 e 14 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Caso 6 (14/12/04)

A Figura 32(f) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 6. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, a presença de umidade variando entre 12 e 13 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Não há presença de convergência do vento em nenhum horário correspondente ao dia do evento.

- Caso 7 (22/12/04)

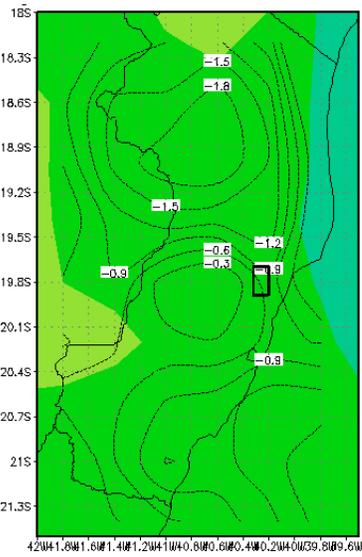
A Figura 32(g) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 7. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma pequena convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores de $-1 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ e a presença de umidade variando entre 11 e 12 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Caso 8 (18/01/05)

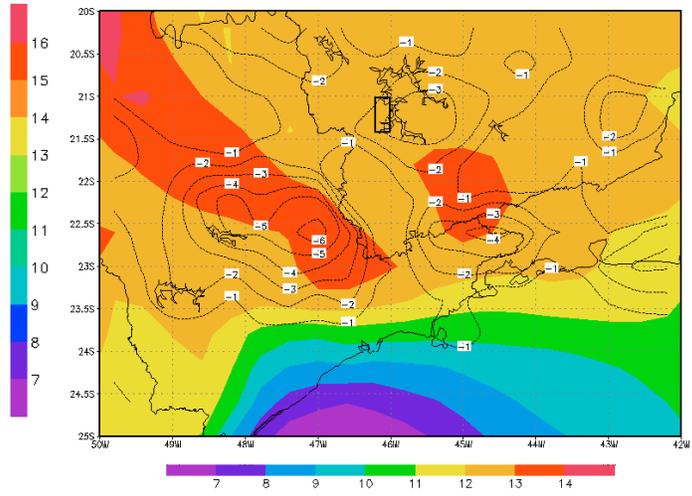
A Figura 32(g) mostra os campos de divergência de vento (isolinhas) e umidade específica (sombreado) em 850hPa para o caso 8. Estes campos mostram, na localização da precipitação máxima, uma convergência dos ventos (divergência do vento negativa) com valores entre -2 e $-3 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ e a presença de umidade variando entre 13 e 14 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ no dia do evento. No horário de máxima precipitação (prevista pelo modelo para o dia anterior), os valores de convergência dos ventos ficaram em torno de $-4 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ e os de umidade entre 14 e 15 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (não mostrado).

(a)

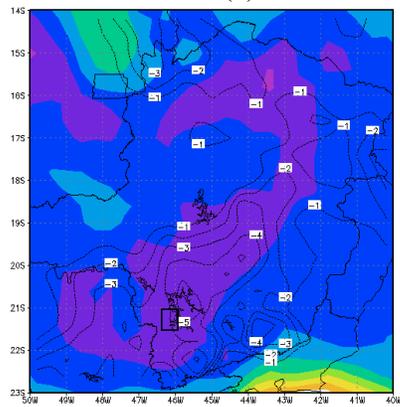
(b)



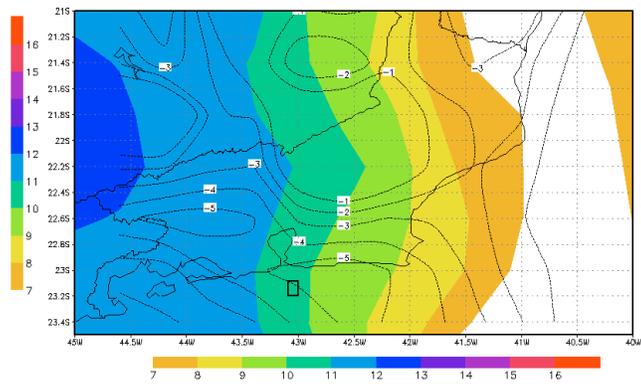
(c)



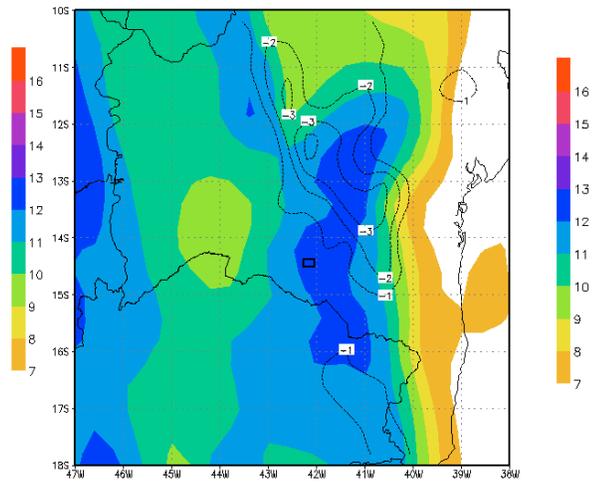
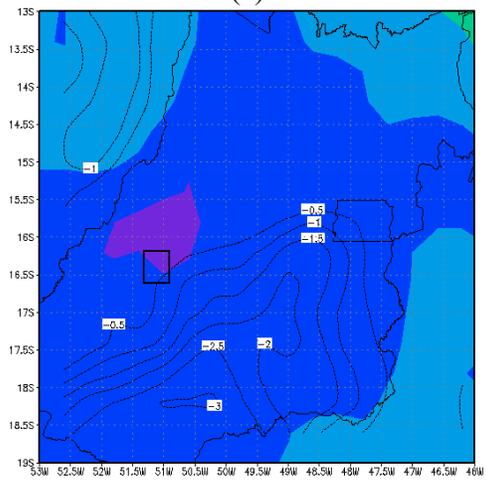
(d)



(e)



(f)



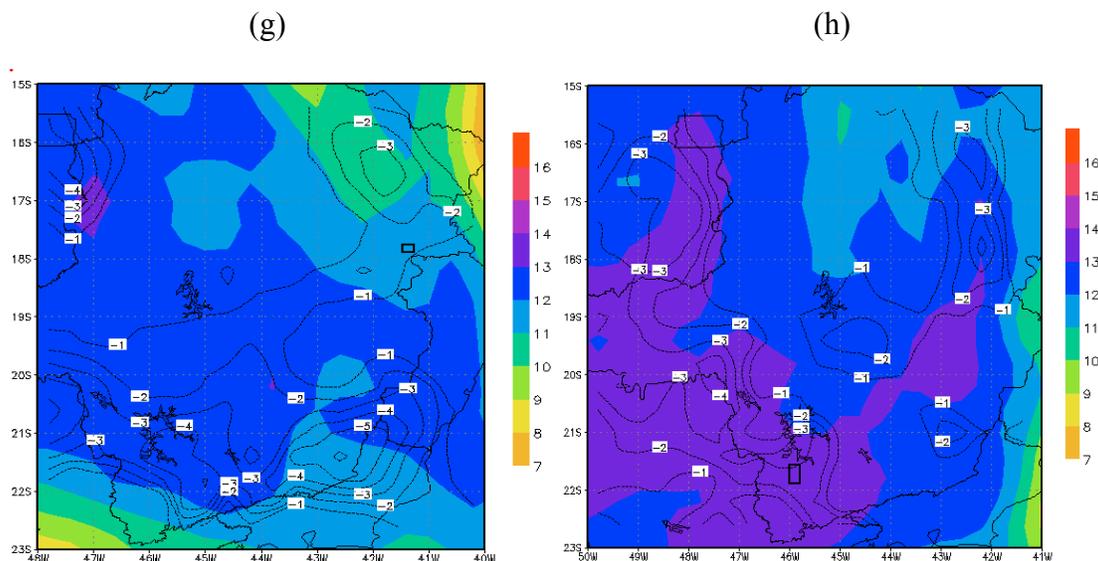


Figura 32- Campos de divergência de vento (linhas pontilhadas em 10^5 s^{-1}) e umidade específica (sombreado em g.kg^{-1}) em 850 hPa previstos pelo modelo para o dia (a) 11/12/2002 - 00Z (b) 01/01/2003 - 00Z (c) 14/01/2003 - 00Z (d) 24/01/2003 - 06Z (e) 08/02/2004 - 06Z (f) 14/12/2004 - 00Z (g) 22/12/2004 - 00Z e (h) 18/01/2005 - 00Z.

4. CONCLUSÕES

As avaliações comparativas da performance do modelo regional Eta foram elaboradas para 8 eventos de chuvas intensas ocorridos durante períodos de ZCAS, entre os anos de 2002 e 2005.

As características sinóticas típicas observadas durante um evento ZCAS ficaram evidentes através da reanálise do NCEP/NCAR: convergência de umidade nos baixos níveis desde a região Amazônica até o Oceano Atlântico, presença do cavado associado à ZCAS em altos e médios níveis, da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste, ambos em altos níveis.

As previsões de 48 horas do modelo Eta capturaram várias destas características em escala sinótica, incluindo o padrão geral da precipitação ao longo do período estudado (não mostrado). Contudo, como esperado, na maior parte dos casos, o modelo não foi capaz de captar os núcleos máximos de precipitação para as regiões previamente definidas na Tabela 1. Desta forma, algumas variáveis que poderiam indicar instabilidade ou possibilidade de convecção foram analisadas através de perfis verticais ou distribuições horizontais para verificar se o modelo seria capaz de prevê-las adequadamente.

Em resumo os resultados mostraram que a precipitação foi prevista com menor intensidade e sobre uma área mais abrangente nos casos 2, 3, 5 e 8 e nos demais casos (1, 4, 6 e 7) ela foi totalmente perdida. Destes últimos, suspeita-se de erro temporal nos casos 1, 6 e 7. Em todos os casos verificou-se convergência dos ventos (exceto no caso 6) e movimento ascendente. A partir da CAPE houve indícios de que a atmosfera fosse marginalmente instável (casos 2, 3, 5, 6, 7 e 8) ou moderadamente instável (casos 1 e 4). Para todos os eventos (com exceção do caso 3) o índice BRNSH foi

muito baixo (sem indicativo de instabilidades).

Futuramente, outros estudos de caso de diferentes sistemas sinóticos serão investigados para confirmar os resultados encontrados neste trabalho. Outros parâmetros que indiquem a instabilidade atmosférica serão avaliados a fim de gerar índices que apontem mais eficientemente à ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Bibliografia

CHOU, S. C., 1996. Modelo Regional Eta. Climanálise. Edição Comemorativa. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

KALNAY ET AL., 1996: The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. BAMS, 77, 437-471.

CHOU, S. C.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Objective evaluation of Eta Model precipitation forecasts over South America. *Climanálise*, Cachoeira Paulista, SP, v. 14, n. 1, 1999.

BROOKS et al, 2003

Climanálise-BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA (CPTEC/INPE)

Ministério da Aeronáutica, 1969. MANUAL DE ANÁLISE DO DIAGRAMA "SKEW-T, LOG P"