



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E
NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



NATALIA PARISOTTO SINHORI

**ESTRUTURA VERTICAL DAS FRENTES FRIAS DURANTE A
PASSAGEM DO SUL ATÉ O NORDESTE BRASILEIRO, ENTRE 2000
E 2012**

**Maceió - AL
2015**

NATALIA PARISOTTO SINHORI

**ESTRUTURA VERTICAL DAS FRENTES FRIAS DURANTE A
PASSAGEM DO SUL ATÉ O NORDESTE BRASILEIRO, ENTRE 2000
E 2012**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia no Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Dra. Natalia Fedorova.

**Maceió - AL
2015**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

S617e	<p>Sinhori, Natalia Parisotto. Estrutura vertical das frentes frias durante a passagem do Sul até o Nordeste brasileiro, entre 2000 e 2012 / Natalia Parisotto Sinhori. – 2015. 198 f. : il.</p> <p>Orientadora: Natalia Fedorova. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Maceió, 2015.</p> <p>Bibliografia: f. 193-198.</p> <p>1. Meteorologia sinótica. 2. Sistemas frontais. 3. Temperatura potencial equivalente. 4. Nebulosidade frontal. 5. Meteorologia – Nordeste. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 551.555</p>
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-126.

**“ESTRUTURA VERTICAL DAS FRENTE FRIAS DURANTE A PASSAGEM DO SUL
ATÉ O NORDESTE BRASILEIRO, ENTRE 2000 E 2012”**

Natalia Parisotto Sinhori

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dra. Natalia Fedorova
(Orientadora)

Prof. Dra. Maria Luciene Dias de Melo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Dirceu Herdies
(Membro Externo – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

Julho/2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização dessa conquista.

Principalmente à minha família, em especial aos meus pais e dindos por todo apoio sempre.

À minha orientadora Natalia pela orientação e paciência em todo o processo.

Aos meus colegas e acima de tudo amigos Helena Azevedo, Henrique Repinaldo, Isabela Vaz, Ludmila Pochmann, Ricardo Mollmann e Vinícius Pinho por toda paciência, motivação e força nessa fase tão desafiadora.

Aos amigos Aleochi Carvalho e Vanessa Tigre por me acolherem e me aguentarem e por fazer desse momento muito mais especial.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado.

Ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD) pelo apoio financeiro e oportunidade de aprendizado.

Aos doutores do INPE Dirceu Herdies e Marcelo Seluchi pela recepção no Instituto e contribuição nessa pesquisa.

Mar calmo nunca fez bom marinheiro

(Autor desconhecido)

RESUMO

Esse estudo objetivou analisar as modificações na estrutura vertical das frentes frias que atingiram o Estado de Alagoas entre 2000 e 2012. Para encontrar os melhores campos para a análise de frentes em baixas latitudes e definir padrões verticais à medida que o sistema se desloca para o equador, foram estudadas seções verticais das variáveis vento, vorticidade, temperatura e temperatura potencial equivalente, em 4 pontos de observação fixos (Porto Alegre, São Paulo, Salvador e Maceió) e outros, onde ocorreu regeneração e ciclogênese. Foram analisados 18 casos de sistemas frontais que influenciaram diretamente Alagoas, classificados pela nebulosidade apresentada no primeiro ponto de observação (Porto Alegre) em Tipo I: frente fria clássica, com nebulosidade sobre o continente e oceano; Tipo II: frente fria com extremidade provocando pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre o continente; Tipo III: frente fria associada a outros tipos de nebulosidade sobre o continente: IIIA: frente fria associada com nebulosidade convectiva sobre o continente e IIIB: frente fria associada com nebulosidade de corrente de jato; Tipo IV: frente fria secundária e Tipo V: frente fria com ciclogênese na região sudeste (não passando por Porto Alegre). Os sistemas frontais atingiram Maceió o ano todo: o tipo I variou entre outono e inverno; o tipo II apenas no outono; o tipo III, principalmente na primavera austral, com casos no inverno e no verão; o tipo IV somente no inverno e o tipo V, nas estações de transição. As regenerações e ciclogêneses influenciaram a chegada desses sistemas em baixas latitudes. As frentes foram identificadas por método sinótico clássico, imagens de satélite e campos horizontais de vento e temperatura potencial equivalente utilizando dados de reanálise do Centro Europeu (ECMWF) e imagens de satélite do canal infravermelho do CPTEC/INPE. Também foram analisados dados de precipitação de Alagoas (SEMARH-AL). Em latitudes baixas, a única variável capaz de registrar a superfície frontal até altos níveis foi a temperatura potencial equivalente. Os casos sofreram modificações em suas estruturas chegando ao último ponto de observação com apenas 3 tipos de nebulosidade: Tipo I; Tipo II e Tipo IIIA.

Palavras Chave: Meteorologia Sinótica. Sistemas Frontais. Nordeste do Brasil. Seções Verticais. Temperatura Potencial Equivalente. Nebulosidade Frontal.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the changes in the vertical structure of cold fronts that hit the state of Alagoas between 2000 and 2012. To find the best fields for the analysis of fronts at low latitudes and set vertical patterns as the system shifts to the equator, vertical sections of the variables wind, vorticity, temperature and equivalent potential temperature were studied on 4 fixed observation points (Porto Alegre, Sao Paulo, Salvador and Maceió) and others where there is regeneration and cyclogenesis. We analyzed 18 cases of frontal systems that directly influenced the state of Alagoas, ranked nebulosity presented in the first observation point (Porto Alegre) in Type I: classical cold front, with cloud cover on the continent and ocean; Type II: Cold front end with causing little or no cloud cover over the continent; Type III: Cold front associated with other types of cloud cover over the continent: IIIA: cold front associated with convective cloudiness over the continent and IIIB: cold front associated with jet stream of cloudiness; Type IV: secondary cold front and Type V: cold front with cyclogenesis in the southeast (not going through Porto Alegre). The frontal systems reached Maceió all year: type I ranged between autumn and winter; type II only in the fall; type III, mainly in the southern spring, with cases in winter and summer; type IV only in winter and type V in transitional seasons. The regeneration and cyclogenesis influenced the arrival of frontal systems at low latitudes. The fronts were identified by classical synoptic method, satellite and horizontal wind fields and equivalent potential temperature using reanalysis of the European Centre for image data (ECMWF), infrared channel satellite images of the CPTEC/INPE and Alagoas precipitation data SEMARH -AL. At lower latitudes, the only variable able to register the front surface to high levels was the equivalent potential temperature. The cases have been changed in their structures coming to the last observation point with just three types of cloudiness: Type I; Type II and Type IIIA.

Keywords: Synoptic Meteorology. Front Systems. Northeast Brazil. Vertical Sections. Equivalent Potential Temperature. Front Cloudiness.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 -	Localização aproximada da Baixa do Chaco (CHL) e da Baixa no Noroeste da Argentina (NAL). FONTE: SELUCHI <i>et al.</i> (2003)	21
FIGURA 2.2 -	Modelo conceitual da evolução de um ciclone mostrado na baixa troposfera, altura geopotencial e frentes (acima) e temperatura potencial (abaixo). (a) modelo ciclônico norueguês: (I) perturbação na onda, (II) e (III) estreitamento do setor quente, (IV) oclusão; (b) modelo de Shapiro-Keyser: (I) perturbação de onda. (II) fratura frontal, (III) frente em forma de T e frente curvada atrás, (IV) frente em de T e exclusão quente. FONTE: SCHULTZ <i>et al.</i> (1998)	23
FIGURA 2.3 -	Deslocamento sazonal da AB. FONTE: Kayano (1979)	24
FIGURA 2.4 -	Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul. FONTE: KOUSKY e GAN (1981)	25
FIGURA 2.5 -	Sistema Frontal em evolução no Hemisfério Sul, centro de baixa pressão (B), frentes fria e quente, isóbaras (linhas inteiras), regiões de precipitação (área hachurada). FONTE: Varejão-Silva, 2001.....	27
FIGURA 2.6 -	Diagrama esquemático de uma baixa polar com uma baixa de ar frio FONTE: Adaptada de REED (1979) para o HS.....	29
FIGURA 2.7 -	Descrição esquemática das três seqüências básicas de desenvolvimento de vórtices através de imagens de satélite: a) desenvolvimento de nuvem vírgula inteiramente dentro do ar frio; b) desenvolvimento de uma oclusão instantânea; c) desenvolvimento de uma onda frontal. Os algarismos romanos I, II e III indica respectivamente uma região de forte convecção, uma banda de nuvens em decaimento e uma banda de nuvens convectiva mergindo com uma banda de nuvens frontal. FONTE: adaptada de BROWNING (1986), citada por BONATTI (1988)	31
FIGURA 3.1 -	Mapa da região de estudo com pontos de observações identificados. FONTE: GrADS.....	36
FIGURA 3.2 -	Mapa do Estado de Alagoas dividido pelas regiões climáticas FONTE: SEMARH-AL.....	37
FIGURA 3.3 -	Seção Vertical para a cidade de Porto Alegre: a) vento; b) vorticidade relativa; c) temperatura e d) temperatura potencial equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	43
FIGURA 4.1 -	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 19/05/2002 às 06Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF	46
FIGURA 4.2 -	Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 19/05/2002 06Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. Fonte: Adaptada de CPTEC/INPE	47
FIGURA 4.3 -	Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 19/05/2002 às 06Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF	48
FIGURA 4.4 -	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 30/04/2006 às 12z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF	50
FIGURA 4.5 -	Imagem de satélite do canal infravermelho no dia 30/04/2006 às 12Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. Fonte: Adaptada de CPTEC/INPE	51
FIGURA 4.6 -	Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 30/04/2006 às 12Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF	52
FIGURA 4.7-	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 09/10/2003 às 06Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em	

	925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	54
FIGURA 4.8 -	Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 09/10/2003 06Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) linhas de correntes e 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	55
FIGURA 4.9 -	Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 09/10/2003 às 06Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.....	56
FIGURA 4.10 -	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 25/09/2012 às 00Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	58
FIGURA 4.11 -	Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 25/09/2012 00Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) campo de linha de corrente em 200hPa. Fonte: Adaptada de CPTEC/INPE	60
FIGURA 4.12 -	Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 25/09/2012 às 00Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.....	61
FIGURA 4.13 -	Imagens do satélite GOES-10 do canal infravermelho entre os dias 26/07/2007 e 27/07/2007: (a) 26/07/2007 às 12Z; (b) 26/07/2007 às 18Z; (c) 27/07/2007 às 00Z; (d) 27/07/2007 às 06Z e (e) 27/07/2007 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	63
FIGURA 4.14 -	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 27/07/2007 às 18Z: (a) Linhas de Corrente em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Advecção de Temperatura Potencial Equivalente (em cores) e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	65
FIGURA 4.15 -	Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 27/07/2007 às 18Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	66
FIGURA 4.16 -	Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 27/07/2007 às 18Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.....	67
FIGURA 4.17 -	Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 30/10/2011 às 18Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	69
FIGURA 4.18 -	Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 30/10/2011 18Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) campo de linha de corrente em 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	70
FIGURA 4.19 -	Seção Vertical sobre a longitude de São Paulo 46°W no dia 30/10/2011 às 18Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.....	72
FIGURA 4.20 -	Imagens de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 19/05/2002 06Z; b) 20/05/2002 06Z; c) 21/05/2002 08Z; d) 23/05/2002 12Z; e) 24/05/2002 00Z e f) 26/05/2002 00Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	75
FIGURA 4.21 -	Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	77
FIGURA 4.22 -	Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	79
FIGURA 4.23 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W)	

	– SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	81
FIGURA 4.24 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) – SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	83
FIGURA 4.25 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 19/04/2000 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 20/04/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 23/04/2000 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 24/04/2000 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	85
FIGURA 4.26 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 19/04/2000 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 20/04/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 23/04/2000 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 24/04/2000 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	86
FIGURA 4.27 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 06/08/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 08/08/2002 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 08/08/2004 às 06Z (lon 39°W) - ciclogênese; d) 10/08/2004 às 00Z (lon 38°W) - SALV e e) 11/08/2004 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	88
FIGURA 4.28 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 06/08/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 08/08/2002 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 08/08/2004 às 06Z (lon 39°W) - ciclogênese; d) 10/08/2004 às 00Z (lon 38°W) - SALV e e) 11/08/2004 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	90
FIGURA 4.29 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 13/08/2010 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 14/08/2010 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 14/08/2010 às 06Z (lon 40°W) - regeneração; d) 17/08/2010 às 00Z (lon 22°W) - regeneração; e) 17/08/2010 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 17/08/2010 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	92
FIGURA 4.30 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 13/08/2010 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 14/08/2010 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 14/08/2010 às 06Z (lon 40°W) - regeneração; d) 17/08/2010 às 00Z (lon 22°W) - regeneração; e) 17/08/2010 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 17/08/2010 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	94
FIGURA 4.31 -	Imagens de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z; b) 02/05/2006 às 18Z; c) 06/5/2006 às 00Z e d) 07/05/2006 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	97
FIGURA 4.32 -	Seção Vertical de Vento para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/5/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF....	98
FIGURA 4.33 -	Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/5/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.....	100
FIGURA 4.34 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/5/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.....	101
FIGURA 4.35 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/5/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.....	102
FIGURA 4.36 -	Seção Vertical Temperatura para os dias: a) 04/04/2010 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 04/04/2010 às 18Z (lon 45°W) - regeneração; c) 05/04/2010 às 18Z (lon 46°W) - SP; d) 06/04/2010 às 18Z (lon 40°W) - regeneração; e) 08/04/2010 às 06Z (lon 38°W) - SALV e f) 10/04/2010 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.....	105
FIGURA 4.37 -	Seção Vertical Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 04/04/2010 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 04/04/2010 às 18Z (lon 45°W) - regeneração; c) 05/04/2010 às 18Z (lon 46°W) - SP; d) 06/04/2010 às 18Z (lon 40°W) - regeneração; e) 08/04/2010	

	às 06Z (lon 38°W) - SALV e f) 10/04/2010 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE:Dados de Reanálises do ECMWF.....	107
FIGURA 4.38 -	Imagem de Satélite do canal infravermelho sobreposto com mapa de linha de corrente de 925hPa para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z; b) 10/10/2003 às 12Z; c) 15/10/2003 às 00Z e d) 15/10/2003 às 06Z e e) 17/10/2003 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	111
FIGURA 4.39 -	Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	113
FIGURA 4.40 -	Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	115
FIGURA 4.41 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	117
FIGURA 4.42 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	119
FIGURA 4.43 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 01/11/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 02/11/2003 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 03/11/2003 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 03/11/2003 às 12Z (lon 36°W) - regeneração; e) 04/11/2003 às 12Z (lon 38°S) - SALV e f) 05/11/2003 às 18Z (lon 36°S) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	122
FIGURA 4.44 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 01/11/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 02/11/2003 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 03/11/2003 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 03/11/2003 às 12Z (lon 36°W) - regeneração; e) 04/11/2003 às 12Z (lon 38°S) - SALV e f) 05/11/2003 às 18Z (lon 36°S) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	124
FIGURA 4.45 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 15/07/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 17/07/2004 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 17/07/2007 às 12Z (lon 25°W) - regeneração; d) 20/07/2007 às 06Z (lon 12°W) - regeneração; e) 21/07/2004 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 22/07/2004 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	126
FIGURA 4.46 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 15/07/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 17/07/2004 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 17/07/2007 às 12Z (lon 25°W) - regeneração; d) 20/07/2007 às 06Z (lon 12°W) - regeneração; e) 21/07/2004 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 22/07/2004 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	128
FIGURA 4.47 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 15/10/2006 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 17/10/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 20/10/2006 às 06Z (lon 21°W) - regeneração; d) 21/10/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 23/10/2006 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	130
FIGURA 4.48 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 15/10/2006 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 17/10/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 20/10/2006 às 06Z (lon 21°W) - regeneração; d) 21/10/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 23/10/2006 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	132
FIGURA 4.49 -	Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes para o dia 25/09/2012 às 00Z em: a) 925hPa e b) 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	135
FIGURA 4.50 -	Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes para o dia 26/09/2012 às 00Z em: a) 925hPa e b) 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	135

FIGURA 4.51 -	Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 27/09/2012 às 12Z e b) 29/09/2012 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	136
FIGURA 4.52 -	Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	137
FIGURA 4.53 -	Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	139
FIGURA 4.54 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	141
FIGURA 4.55 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	143
FIGURA 4.56 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 31/08/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/09/2000 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 05/09/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 05/09/2000 às 06Z (lon 38°W) - SALV e e) 06/09/2000 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	145
FIGURA 4.57 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 31/08/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/09/2000 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 05/09/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 05/09/2000 às 06Z (lon 38°W) - SALV e e) 06/09/2000 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	147
FIGURA 4.58 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 01/12/2005 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/12/2005 às 0Z (lon 46°W) - SP; c) 04/12/2005 às 00Z (lon 21°W) - regeneração; d) 04/12/2005 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/12/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	150
FIGURA 4.59 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 01/12/2005 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/12/2005 às 0Z (lon 46°W) - SP; c) 04/12/2005 às 00Z (lon 21°W) - regeneração; d) 04/12/2005 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/12/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	152
FIGURA 4.60 -	Imagem de satélite sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z; b) 29/07/2007 às 00Z; c) 30/07/2007 às 00Z e d) 31/07/2007 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	155
FIGURA 4.61 -	Seção Vertical de Linhas de Correntes para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	156
FIGURA 4.62 -	Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	157
FIGURA 4.63 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	158
FIGURA 4.64 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	159
FIGURA 4.65 -	Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 31/05/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/06/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; c) 01/06/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; d) 04/06/2000 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/06/2000 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	161

FIGURA 4.66 -	Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 31/05/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/06/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; c) 01/06/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; d) 04/06/2000 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/06/2000 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	163
FIGURA 4.67 -	Imagens de satélites do campo infravermelho sobrepostos com linhas de correntes para o dia 30/10/2011 às 18Z em: a)925hPa e b)200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	166
FIGURA 4.68 -	Imagens de satélites do campo infravermelho sobrepostos com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 01/11/2011 às 12Z; b) 02/11/2011 às 00Z e c) 04/11/2011 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF.....	166
FIGURA 4.69 -	Seções Verticais de Linhas de Correntes para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	167
FIGURA 4.70 -	Seções Verticais de Vorticidade Relativa para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	168
FIGURA 4.71 -	Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	169
FIGURA 4.72 -	Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	170
FIGURA 4.73 -	Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 30/04/2005 às 12Z (lon 46°W) - SP; b) 02/05/2005 às 06Z (lon 38°W) - SALV; c) 03/05/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	172
FIGURA 4.74 -	Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/04/2005 às 12Z (lon 46°W) - SP; b) 02/05/2005 às 06Z (lon 38°W) - SALV; c) 03/05/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	173
FIGURA 4.75 -	Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 10/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 13/05/2006 às 06Z (lon 25°W) - regeneração; c) 13/05/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 15/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	175
FIGURA 4.76 -	Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 10/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 13/05/2006 às 06Z (lon 25°W) - regeneração; c) 13/05/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 15/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	176

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 –	Tipos de frentes frias e suas respectivas datas	45
TABELA 4.2 –	Modificação do tipo de nebulosidade em cada ponto de observação. Fonte: Autora ...	73
TABELA 4.3 –	Precipitação registrada as zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 25, 26 e 27 de maio de 2002. Fonte: SEMARH-AL	74
TABELA 4.4 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 23, 24 e 25 de abril de 2000. FONTE: SEMARH-AL	84
TABELA 4.5 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 10, 11 e 12 de agosto de 2004. FONTE: SEMARH-AL	87
TABELA 4.6 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 16, 17 e 18 de agosto de 2010. FONTE: SEMARH-AL	91
TABELA 4.7 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo IV. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	95
TABELA 4.8 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 06, 07 e 08 de maio de 2006. FONTE: SEMARH-AL	96
TABELA 4.9 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 09, 10 e 11 de abril de 2010. FONTE: SEMARH-AL	103
TABELA 4.10 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo II. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	108
TABELA 4.11 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 16,17 e 18 de outubro de 2003. FONTE: SEMARH-AL.....	110
TABELA 4.12 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04,05 e 06 de novembro de 2003. FONTE: SEMARH-AL.....	120
TABELA 4.13 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 21, 22 e 23 de julho de 2004. FONTE: SEMARH-AL.....	125
TABELA 4.14 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 22, 23 e 24 de outubro de 2006. FONTE: SEMARH-AL.....	129
TABELA 4.15 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo III A. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	133
TABELA 4.16 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 28, 29 e 30 de setembro de 2012. FONTE: SEMARH-AL.....	134
TABELA 4.17 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 05,06 e 07 de agosto de 2000. FONTE: SEMARH-AL.....	144
TABELA 4.18 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04, 05 e 06 de dezembro de 2005. FONTE: SEMARH-AL.....	148
TABELA 4.19 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo III B. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	153
TABELA 4.20 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 30, 31 de julho e 01 de agosto de 2007. FONTE: SEMARH-AL.....	154
TABELA 4.21 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04, 05 06 de junho de 2000. FONTE: SEMARH-AL.....	160
TABELA 4.22 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo IV. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	164
TABELA 4.23 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 03, 04 e 05 de novembro de 2011. FONTE: SEMARH-AL.....	165
TABELA 4.24 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 02, 03 e 04 de maio de 2005. FONTE: SEMARH-AL.....	171
TABELA 4.25 –	Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 14,15 e 16 de maio de 2006. FONTE: SEMARH-AL.....	174

TABELA 4.26 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo V. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	177
TABELA 4.27 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis em Salvador. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	178
TABELA 4.28 –	Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis em Maceió. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.....	179
TABELA 4.29 –	Divisão sazonal dos casos de frentes frias em Alagoas.....	180

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AL	Alagoas
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CHL	Chaco Low (Baixa do Chaco)
CJ	Corrente de Jato
CJNEB	Corrente de Jato do Nordeste
CJP	Corrente de Jato Polar
CJS	Corrente de Jato Subtropical
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EF	Extremidade Frontal
FF	Frente Fria
FP	Frente Primária
FS	Frente Secundária
GOES	Satélite Meteorológico Geostacionário
GrADS	Grid Analysis and Display
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCZ	Maceió
MS	Mato Grosso do Sul
NAL	Northwestern Argentinean Low (Baixa do Noroeste da Argentina)
NEB	Nordeste do Brasil
OL	Ondas de Leste

PNM	Pressão ao Nível do Mar
POA	Porto Alegre
RS	Rio Grande do Sul
SALV	Salvador
SP	São Paulo
VCAF	Vórtice Ciclônico no Ar Frio
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VCBN	Vórtices Ciclônicos de Baixos Níveis
VCMN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1.	Ciclone Térmico ou Barotrópico	22
2.2.	Ciclone Baroclínico	23
2.3.	Alta da Bolívia	24
2.4.	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis	25
2.5.	Frentes	27
2.6.	Método de Identificação de Frentes	28

2.7.	Vórtices de Ar Frio, Frentes secundárias e Oclusão Instantânea	30
2.8.	Ligações das Frentes com Ciclones Térmicos.....	32
2.9.	Influências Frontais no Nordeste Brasileiro	33
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1.	Região de Estudo.....	37
3.1.1.	Estado de Alagoas	37
3.2.	Dados.....	38
3.2.1.	Imagens de Satélite	38
3.2.2.	Dados de Reanálise	39
3.3.	Software Utilizado.....	39
3.4.	Metodologia	40
3.4.1.	Método Utilizado para a Identificação das Zonas Frontais	40
3.4.2.	Escolha e Agrupamento dos Casos	40
3.4.3.	Variáveis Utilizadas	41
3.4.4.	Seção Vertical	43
4.	RESULTADOS	45
4.1.	Tipos de Frentes	45
4.1.1.	Tipo I: frente fria clássica, com nebulosidade sobre o continente.....	46
4.1.2.	Tipo II: frente fria com extremidade provocando pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre o continente	50
4.1.3.	Tipo III: frente fria associada com nebulosidade sobre o continente	53
4.1.3.1.	Tipo IIIA: frente fria associada com nebulosidade convectiva sobre o continente.....	53
4.1.3.2.	Tipo IIIB: frente fria associada com nebulosidade de corrente de jato...58	
4.1.4.	Tipo IV: frente secundária	63
4.1.5.	Tipo V: frente fria com ciclogênese na região sudeste (não passando por Porto Alegre).....	68
4.2.	Modificações dos tipos de nebulosidade durante a passagem da frente fria para o NEB.....	73
4.2.1.	Modificações das frentes do tipo I	74
4.2.1.1.	Modificações do caso padrão do tipo I.....	74
4.2.1.2.	Modificações dos outros casos do tipo I	85
4.2.2.	Modificações das frentes do tipo II.....	97
4.2.2.1.	Modificações do caso padrão do tipo II	97
4.2.2.2.	Modificações dos outros casos do tipo II.....	104
4.2.3.	Modificações das frentes do tipo III	110
4.2.3.1.	Modificações das frentes do tipo IIIA	110
4.2.3.1.1.	Modificações do caso padrão do tipo IIIA	110

4.2.3.1.2.	Modificações dos outros casos do tipo IIIA	121
4.2.3.2.	Modificações das frentes do tipo IIIB	135
4.2.3.2.1.	Modificações do caso padrão do tipo IIIB	135
4.2.3.2.2.	Modificações dos outros casos do tipo IIIB	145
4.2.4.	Modificações das frentes do tipo IV	155
4.2.4.1.	Modificações do caso padrão do tipo IV	155
4.2.4.2.	Modificações dos outros casos do tipo IV	160
4.2.5.	Modificações das frentes do tipo V	166
4.2.5.1.	Modificações do caso padrão do tipo V.....	166
4.2.5.2.	Modificações dos outros casos do tipo V.....	171
4.3.	Divisão Sazonal.....	180
4.4.	Descrição da Tabela 4.2.....	180
4.5.	Modelo Conceitual.....	186
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	189
6.	REFERÊNCIAS	192

1. INTRODUÇÃO

A precipitação no nordeste brasileiro (NEB) é influenciada por diversos sistemas meteorológicos. Um estudo feito por Pontes da Silva et al (2011) mostra que a Corrente de Jato do Nordeste (CJNEB) é o sistema que mais provoca dias com chuvas na região, seguido por: Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); anticlones em médios e/ou altos níveis; Extremidades Frontais (EF); Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN) e Ondas de Leste (OL).

Os sistemas frontais são um dos principais sistemas que ocorrem sobre a América do Sul, ativos durante o ano todo, podem penetrar até latitudes tropicais, com intensidade considerável (LEMOS e DE CALBETE, 1996). São sistemas de fundamental importância nos regimes de precipitação e temperatura em quase todo o continente (LEMOS e CALBETE, 1996; QUADRO *et al.*, 1996). Sobre o NEB, as frentes não apresentam grande contraste de temperatura, entretanto, ficam ativas devido ao grande contraste de umidade (Veber, 2011).

Ao adentrarem no continente sul americano, as frentes frias geralmente apresentam dois tipos de deslocamento: para leste, trajetória que só modifica o tempo no sul do continente; ou com uma componente para norte (nordeste) modificando o tempo em todo o continente sul americano, podendo chegar até latitudes tropicais com intensidade considerável (LEMOS E DE CALBETE, 1996).

Alguns autores como Kalnay (1996), Justi e Silva Dias (2002) e Cavalcanti e Kousky (2003), citados por Andrade (2005), Da Cruz (2008) e Veber (2011), mostram que a frequência de frentes frias cai à medida que a latitude diminui, e suas passagens estão ligadas à mudanças de tempo nas regiões afetadas. Em altas latitudes, as mudanças de tempo estão associadas com precipitações, queda de temperatura e mudanças na direção e intensidade dos ventos. Em latitudes mais baixas, os efeitos das frentes estão relacionados ao aumento da precipitação (Veber, 2011).

A identificação das frentes não é um processo simples, gerando discussões em relação ao seu posicionamento. Os principais métodos se baseiam nas imagens de satélite e nos campos de diferentes variáveis meteorológicas, principalmente nos campos béricos, térmicos e nos indicadores de umidade.

O objetivo desse trabalho é identificar as frentes frias que atingiram o Estado de Alagoas de janeiro de 2000 à dezembro de 2012 e estudar a mudança da estrutura vertical durante a passagem ao longo da costa brasileira desde o sul do país até o Estado de Alagoas. As cidades

de Porto Alegre, São Paulo, Salvador e Maceió consistem os quatro pontos de observação, juntamente com os mecanismos que influenciaram a chegada da frente até latitudes mais baixas, como: regeneração e ciclogênese.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclone Térmico ou Barotrópico

Uma baixa ao nível do mar, com núcleo quente irá enfraquecer com a altura, podendo passar a ser uma alta pressão nos níveis superiores. Esse tipo de ciclone é observado somente nos baixos níveis, quando o aquecimento próximo da superfície é maior que em outras regiões, podendo ser chamado de ciclone quente, ciclone térmico, ciclone local ou ciclone de baixos níveis (FEDOROVA, 2001).

Segundo Seluchi *et al.* (2003), Hoffmann (1975) analisou detalhadamente mapas de pressão na superfície, mostrando a existência de dois centros de baixa pressão separados. O primeiro localizado na região do Chaco (chamado de Baixa do Chaco – [CHL]) e o segundo no noroeste argentino (chamado de Baixa do Noroeste Argentino – [NAL]), como mostra a figura 2.1.

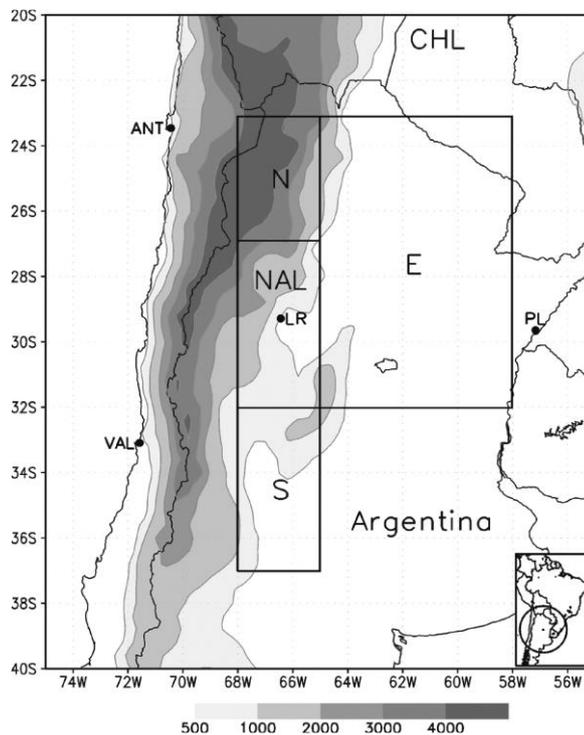


FIGURA 2.1 - Localização aproximada da Baixa do Chaco (CHL) e da Baixa no Noroeste da Argentina (NAL). FONTE: SELUCHI *et al.* (2003).

Para Seluchi, apesar de ambos os centros parecerem ser de apenas um único sistema ciclônico, algumas diferenças podem ser vistas:

- A CHL é situada em uma região de fortes chuvas anuais (1500 mm/ano), já a região da NAL apresenta valores abaixo de 300 mm/ano

- A CHL é associada com um anticiclone em altos níveis (AB) que desaparece gradualmente em direção a região da NAL, ao sul do trópico de Capricórnio
- A CHL possui um comportamento quase-permanente, enquanto a NAL, situada mais ao sul, é preferencialmente intermitente
- Durante o inverno, a CHL é praticamente ausente, a NAL enquanto intermitente, ainda é vista na baixa troposfera

2.2. Ciclone Baroclínico

O primeiro modelo conceitual ciclônico mais realístico, foi descrito por Bjerknes (1919) e aperfeiçoado por Bjerknes e Solberg (1922). Tal modelo introduz o conceito da *Teoria da Frente Polar*, indicando que ciclones extratropicais são formados numa onda de pequena amplitude, resultado da instabilidade na frente polar, intensificando-se até atingir o estágio maduro, chegando ao estágio de oclusão, onde torna-se um vórtice embebido dentro do ar frio. Fedorova (2001) resumiu o modelo em um sistema ciclônico com uma massa de ar frio, que forma uma rampa e eleva uma massa de ar quente. Já a distribuição das nuvens e da precipitação podem ser explicadas como resultado do resfriamento adiabático do ar quente ascendente sobre as frentes quente e fria.

Shultz *et al.* (1998), baseado em estudos anteriores (BROWNING, 1990; SHAPIRO e KEYSER, 1990; EVANS *et al.*, 1994; SMIGIELSKI e MOGIL, 1995; BOSART, 1998), dividiu os ciclones frontais em dois grupos: O primeiro foi caracterizado por ciclones alongados meridionalmente e frentes frias dominantes (modelo norueguês). O segundo apresentou ciclones alongados zonalmente com frentes quentes dominantes (modelo de Shapiro-Keyser), como mostrado na figura 2.2.

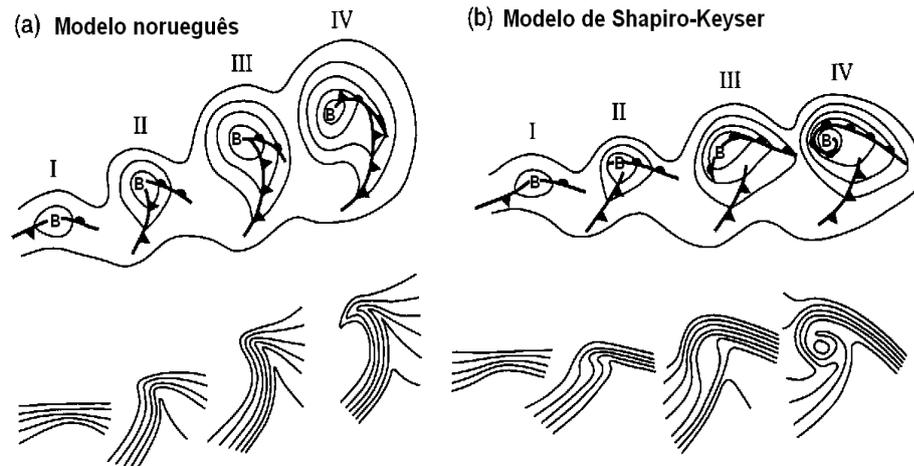


FIGURA 2.2 - Modelo conceitual da evolução de um ciclone mostrado na baixa troposfera, altura geopotencial e frentes (acima) e temperatura potencial (abaixo). (a) modelo ciclônico norueguês: (I) perturbação na onda, (II) e (III) estreitamento do setor quente, (IV) oclusão; (b) modelo de Shapiro-Keyser: (I) perturbação de onda, (II) fratura frontal, (III) frente em forma de T e frente curvada atrás, (IV) frente em forma de T e exclusão quente. FONTE: SCHULTZ et al. (1998).

Sutcliffe (1947) propôs o modelo de desenvolvimento de ciclones e anticiclone, estabelecendo que os principais mecanismos são: a advecção de vorticidade negativa no nível de não-divergência (HS) e o aquecimento entre a superfície e o nível de não-divergência.

2.3. Alta da Bolívia

A AB é um anticiclone de grande escala que ocorre nos altos níveis da troposfera, centrado em média, no platô boliviano, é associada com um ciclone barotrópico em superfície. Ocorre na primavera, verão e outono (SIGNORINI, 2001 e SELUCHI *et al.* 2003), e tem sua origem devido ao aquecimento de superfície e a manutenção da AB está ligado com liberação de calor latente (FIGUEROA *et al.*, 1995).

De acordo com Gan (1993), a AB é formada por um prévio aquecimento do continente e, conseqüentemente da troposfera, provocando uma queda na pressão local. Assim, pela instabilidade atmosférica, surge movimentos convectivos que favorecem a formação de nuvens, essas liberam calor latente, que aquecem e expandem o ar, formando a AB em altos níveis.

Ferreira (1995) concluiu que a AB estava ligada a processos térmicos e dinâmicos, tais como: forte aquecimento da superfície (calor sensível); convergência de umidade vinda da Amazônia (em baixos níveis); movimentos verticais ascendentes; formação de nuvens

convectivas; precipitação e a consequente liberação do calor latente que intensifica da circulação da AB.

Para Kousky e Kayano (1994), a baixa quente, associada à AB, se posiciona sobre a Bolívia no verão, sobre o oeste da Amazônia em outubro e se desloca para região central da Amazônia em abril, como mostra a figura 2.3.

Carvalho (1989) verificou a existência de uma conexão direta entre a intensidade da AB e o cavado em seu flanco nordeste. Quando intensificado o cavado, forma-se um vórtice ciclônico de altos níveis. A intensidade da convecção no VCAN está diretamente relacionada a AB.



FIGURA 2.3 - Deslocamento sazonal da AB. FONTE: Kayano (1979)

2.4. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

Vórtices ciclônicos de altos níveis são sistemas de escala sinótica, apresentam circulação fechada que se formam na alta troposfera, sendo observados de 200hPa até 500hPa (KOUSKY e GAN, 1981). Como proposto por Ferreira, Ramíres e Gan (2009), possuem centro mais frio que a sua periferia; convergência de massa; movimentos verticais subsidentes no seu centro, o que aumenta a pressão em superfície e inibe a formação de nuvens, e ascendentes na periferia; apresenta nebulosidade mais intensa principalmente na direção de seu deslocamento, produzindo chuvas e fenômenos adversos.

Sua origem e desenvolvimento diferem de um lugar para outro, assim Frank (1970) destacou dois tipos de vórtices, conforme sua formação: do tipo Palmén e do tipo Palmer.

- VCAN de Palmén: forma-se quando “bolsões” de ar frio, associados com extensos cavados no ar superior, se desprendem e são confinados do lado da corrente média dos ventos de oeste (PALMÉN, 1949). Tem sua origem nas latitudes subtropicais, surgindo mais comumente no outono, inverno e primavera, raramente ocorrendo no verão.
- VCAN de Palmer: forma-se em latitudes tropicais, principalmente durante os meses de verão e raramente durante o inverno (PALMER, 1951). Não é originado pelo mesmo processo do vórtice do tipo Palmén, pois aparece principalmente em latitudes tropicais e não envolvem ar polar em nenhum de seus estágios. (PALMÉN e NEWTON, 1969).

Kousky e Gan (1981), Gan (1982), Ramírez (1996) e Ramírez, Kayano e Ferreira (1999) estudaram VCAN's sobre o Atlântico Sul e regiões adjacentes ao NEB, mostrando que a maior frequência de formação de VCAN's ocorre durante o verão entre os meses de dezembro e fevereiro e tem um tempo de vida de 4 a 11 dias.

Kousky e Gan (1981) sugeriram que a penetração dos sistemas frontais induz a formação de VCAN's, especialmente em baixas e médias latitudes. Ocorrendo assim a amplificação da crista da AB e, conseqüentemente, a amplificação do cavado corrente abaixo, por fim, formando um vórtice sobre o Atlântico. Com o avanço do sistema frontais sobre regiões subtropicais, ocorre a advecção de ar quente na vanguarda, em baixos níveis, o que amplifica a crista em altos níveis e o cavado pré existente. Esse processo pode ser verificado na figura 2.4

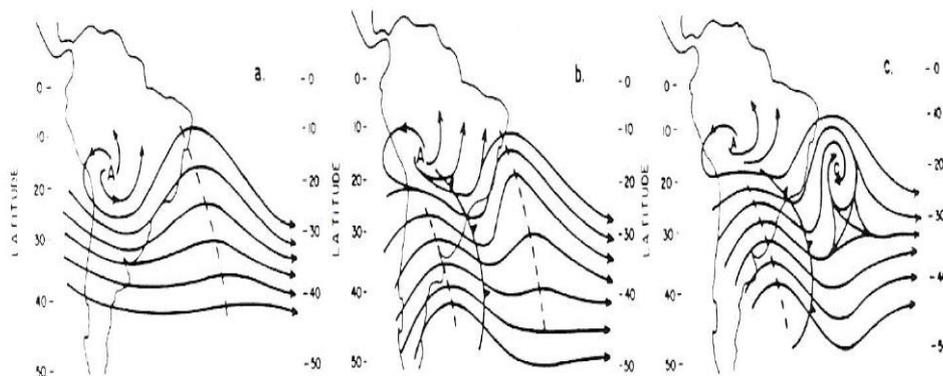


FIGURA 2.4 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul. FONTE: KOUSKY e GAN (1981).

2.5. Frentes

A definição de frente mais abrangente foi feita por HOLTON (1979): “Zonas frontais podem ser definidas por regiões com alta assimetria na forma, com fortes ventos e fortes gradientes de temperatura”. São sistemas altamente baroclínicos e apresentam perturbações na velocidade dos ventos com a altura (SAUCIER,1955; PETTERSEN, 1956; PALMEN e NEWTON, 1969; MEDINA, 1976 e DEFANT e MORTH, 1978).

Os sistemas frontais são constituídos de uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície denominado ciclone ou vórtice frontal, como mostra a figura 2.5.

Segundo Fedorova (1999) quando o ar frio avança e substituir o ar quente, a zona frontal é chamada de frente fria. Caso o ar quente se desloque e substituir o ar frio, é definida uma frente quente. Se nenhuma das massas de ar avança sobre a outra, a frente é chamada estacionária. O processo de oclusão, ou frente oclusa, ocorre quando frentes quentes e frias se alternam sucessivamente, formando chuvas leves e contínuas, sobre um mesmo local. Nesse caso, atuam três massas de ar, o ar mais quente entre duas massas de ar mais frio, frente oclusa podendo ser quente ou fria (FEDOROVA, 1999).

Bowditch (1977) usou a expressão *onda frontal* para duas massas de ar distintas, com movimentos independentes e cada uma delas irá alterar a outra, de modo que a interação das massas causa a formação característica de uma onda. Dessa forma, Oliveira *et al.* (2001) definiu onda frontal como uma deformação horizontal do tipo ondular nos baixos níveis, comumente associada a um máximo de circulação ciclônica no escoamento próximo, que pode evoluir para um ciclone ou uma frente.

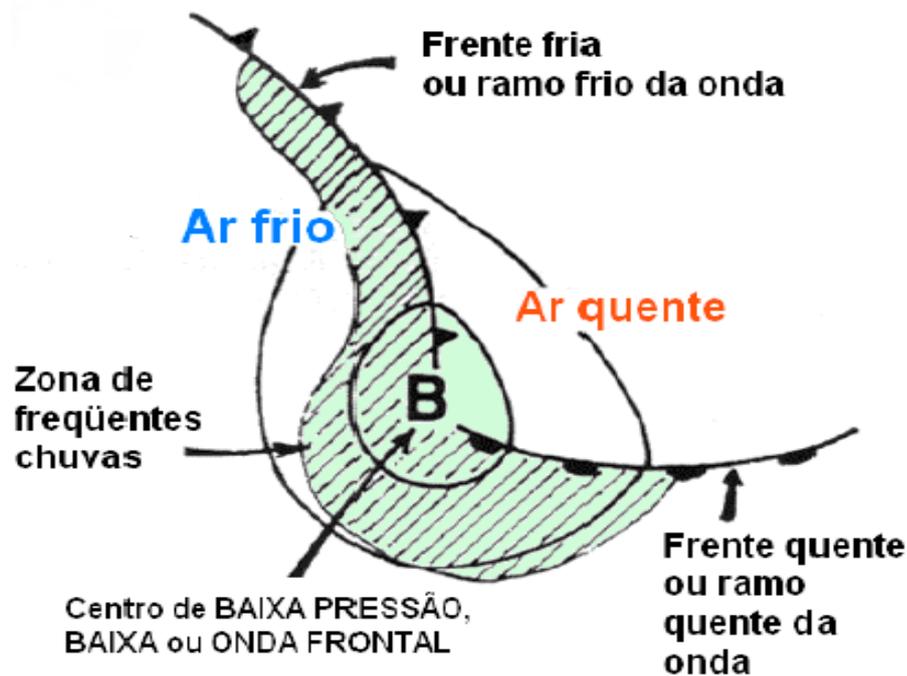


FIGURA 2.5 - Sistema Frontal em evolução no Hemisfério Sul, centro de baixa pressão (B), frentes fria e quente, isóbaras (linhas inteiras), regiões de precipitação (área hachurada). FONTE: Varejão-Silva, 2001

2.6. Método de Identificação de Frentes

Segundo NEWTON et al. (1972), uma frente é uma faixa estreita da camada atmosférica com pelo menos três quilômetros de altura. Horizontalmente, há uma mudança brusca na temperatura de pelo menos 3 graus nas regiões sub-tropicais, e de 4 a 5 graus nas latitudes médias e regiões polares. Ampliando a definição, NEWTON et al. (1972) definiram a frente como “uma estreita zona hiperbaroclínica separando massas relativamente barotrópicas”.

De acordo com Fedorova e Carvalho (2000), os principais métodos para a determinação das frentes utilizam informações obtidas pelos dados de satélite e de diferentes campos, como pressão, linhas de corrente, temperatura, espessura, laplaciano da pressão, umidade e outros.

Na literatura são encontrados diferentes critérios, utilizados por diferentes autores para determinação das frentes, como por exemplo:

- Petterssen (1956) determinou que, no campo de pressão, as frentes encontram-se em um cavado associado ao ciclone baroclínico extratropical e apresentam fortes gradientes de temperatura e/ou espessura;
- Parmenter (1976) baseou-se somente em imagens de satélite para a determinação das frentes;

- Kousky (1979), através da mudança na direção do vento para sul e uma variação na média diária da temperatura do bulbo úmido de 2 graus, determinou a passagem frontal;
- Oliveira (1986) identificou as frentes através de imagens de satélites, pela formação de uma banda de nebulosidade que se estendia desde a costa do continente até a região amazônica, para avaliar a interação do sistema frontal com a convecção tropical;
- Smith et al. (1995) definiram um eixo de máxima vorticidade relativa para a identificação das frentes;
- Fedorova e Carvalho (2000) identificaram a zona frontal em diversos campos. A linha de frente coincide com o eixo do cavado bórico no campo de pressão, com forte gradiente de temperatura, convergência próxima à zona frontal no campo de vento e alta umidade nas proximidades da frente fria;
- Koch e Mitchem (2003) utilizaram imagens de satélites, análise isentrópica, perfis verticais e imagens de radar para estudar uma frente quebrada ou “split”;
- Andrade e Cavalcanti (2004) avaliaram a passagem frontal, considerando a queda de temperatura em 925 hPa, mudança na componente meridional do vento em 925 hPa e aumento da pressão ao nível médio do mar (PNM), no intervalo de dois dias;
- Souza e Nechet (2004) usaram o critério de mudança na direção do vento e queda na temperatura para estudar a influência de um sistema frontal na Amazônia Oriental.
- Da Cruz et al. (2008) identificaram uma frente através de imagens de satélites e dos campos horizontais de temperatura potencial equivalente e advecção de temperatura potencial equivalente, indicando que o posicionamento da frente é encontrado entre as áreas de advecção negativa e positiva, apresentando forte gradiente de temperatura potencial equivalente;
- Calvalcanti e Kousky (2009) indicaram como métodos objetivos para determinação da passagem de uma frente fria a variação de Pressão ao Nível do Mar (PNM), variação de temperatura em 925 hPa e a força e sentido do vento em 925 hPa. Sendo os critérios aplicados: 1) uma diminuição de temperatura em 925 hPa de, pelo menos 2°C; 2) um aumento da PNM de pelo menos 2 hPa; e 3) existência de ventos de sul de, pelo menos, 2 ms⁻¹.

As frentes possuem características distintas de acordo com a época do ano e com o local onde se formam. Ainda não é possível determinar corretamente a posição frontal através de um único método. Por isso, são utilizados critérios diferentes para a identificação, tornando indispensável a interpretação dos dados por um meteorologista.

2.7. Vórtices de Ar Frio, Frentes secundárias e Oclusão Instantânea

Vórtices no ar frio são sistemas essencialmente baroclínicos que se desenvolvem na corrente de ar polar, podendo se formar em uma massa de ar barotrópica. São caracterizados por uma linha de máxima curvatura ciclônica nas isóbaras em superfície, não possuindo características térmicas de uma frente (REED, 1979). Esses pequenos vórtices se localizam na periferia de um vórtice maior, dentro do ar frio, como mostra a figura 2.6.

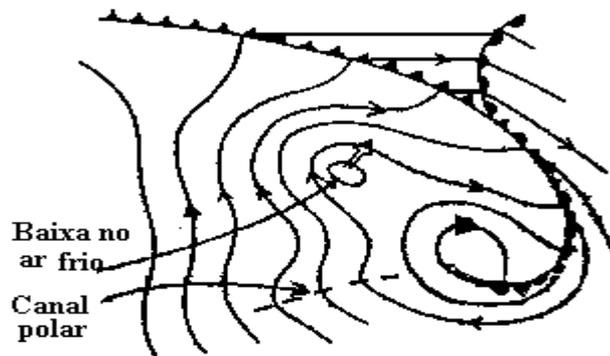


FIGURA 2.6 - Diagrama esquemático de uma baixa polar com uma baixa de ar frio FONTE: Adaptada de REED (1979) para o HS.

Como informa a literatura (Reed, 1979; Businger e Hobbs, 1987; Dereczynski, 1995; Bonatti, 2004), a maioria desses vórtices de ar frio se desenvolvem sobre os oceanos durante o inverno. Possuem uma escala horizontal na ordem de 500 a 2000 km, com uma velocidade de deslocamento para leste de 8m/s, podendo durar de 0,5 até 2 dias. (BONATTI, 2004).

Na América do Sul, sua formação ocorre principalmente nas estações de transição, nas regiões do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil (BONATTI E RAO, 1987)

A formação de um vórtice de ar frio é precedida por uma região com aumento de convecção (forte curvatura ciclônica), corrente de jato bem desenvolvida nas troposferas média e superior (condição necessária para a instabilidade barotrópica é normalmente satisfeita), com aquecimento em baixos níveis e camadas condicionalmente instáveis até 500 hPa. Esses vórtices de ar frio adquirem a configuração de uma nuvem em forma de vírgula (invertida no HS) ao atingirem o Estado maduro (BONATTI, 1987).

Outros mecanismos, citados por diversos autores (HARLEY, 1960; HARROLD e BROWNING, 1969; MULLEN, 1979; RASMUSSEN, 1979; REED, 1979; LOCATELLI et al., 1982; BONATTI, 1988; BONATTI e RAO, 1987), combinados ou sozinhos, explicam a formação e/ou desenvolvimento dessas nuvens:

- Instabilidade baroclínica úmida
- Instabilidade baroclínica modificada pela liberação de calor latente
- Instabilidade condicional do segundo tipo (CISK)
- Esteira transportadora quente (paralela a frente fria)

Segundo Bonatti (1987), ciclogêneses à jusante dos Andes também são possíveis mecanismos de geração desses sistemas.

Fedorova (1999) afirma que, uma frente secundária pode formar-se na retaguarda de uma frente fria que se desloca rapidamente e possuem estruturas semelhantes. Possuem comprimentos horizontais de algumas centenas de km, são vistas nos baixos níveis da atmosfera e duram de 1 a 2 dias. São observadas pancadas de chuvas em algumas estações.

Essas frentes formam-se na retaguarda do ciclone, no cavado bórico depois da oclusão do ciclone. Nas frentes secundárias não são observadas zonas frontais em altos níveis da atmosfera e nem corrente de jato, como ocorre com as frentes principais (FEDOROVA, 1999). De acordo com Saldanha et al (2010), as frentes secundárias são claramente observadas na imagem de satélite e nos campos de temperatura, convergência de umidade em baixos níveis e de advecção de vortacidade no nível de 500hPa. Elas ainda concluem que, através das análises das seções verticais, na região da frente secundária, a umidade em baixos níveis estava bastante elevada, isolinhas de temperatura apresentavam-se inclinadas e a vortacidade apresentou valores negativos em torno de $-9 \times 10^{-5} s^{-1}$ entre os níveis de 300 e 250hPa.

De acordo com Zillman e Price (1972) e Bonatti (1988), os vórtices de ar frio e as frentes secundárias as vezes evoluem para uma oclusão instantânea, onde nuvens do tipo vírgula, associadas com um cavado de altos níveis (polar), interagem com uma banda da frente polar, produzindo um sistema de nuvens na forma de “lambda”. A figura 2.7 mostra três sequencias básicas para o desenvolvimento de vórtices através de imagens de satélite.

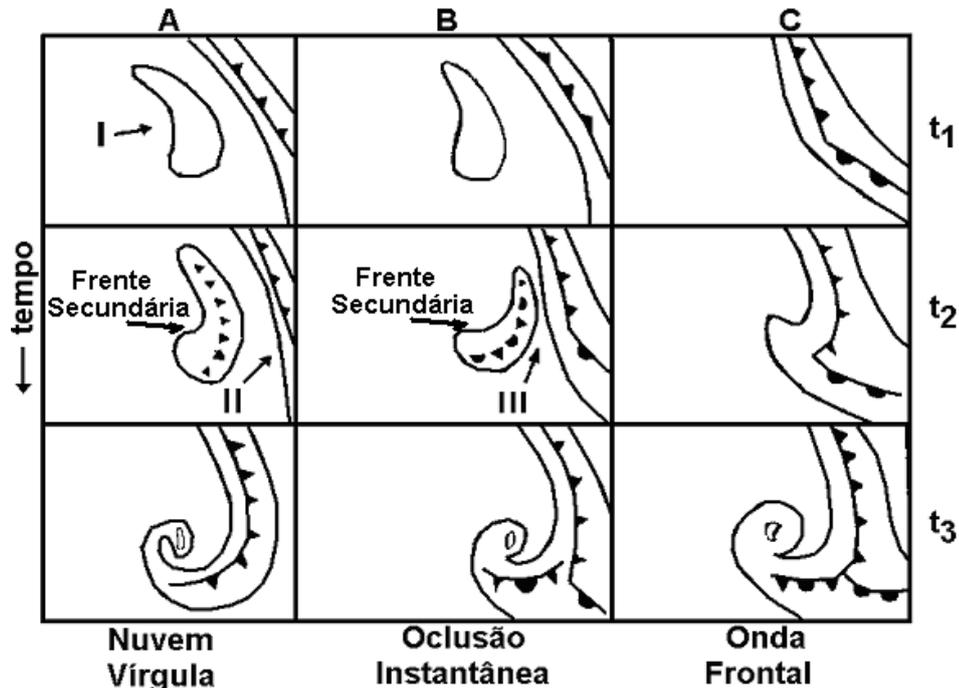


FIGURA 2.7 - Descrição esquemática das três sequências básicas de desenvolvimento de vórtices através de imagens de satélite: a) desenvolvimento de nuvem vírgula inteiramente dentro do ar frio; b) desenvolvimento de uma oclusão instantânea; c) desenvolvimento de uma onda frontal. Os algarismos romanos I, II e III indicam respectivamente uma região de forte convecção, uma banda de nuvens em decaimento e uma banda de nuvens convectiva mergindo com uma banda de nuvens frontal. FONTE: adaptada de BROWNING (1986), citada por BONATTI (1988).

2.8. Ligações das Frentes com Ciclones Térmicos

Garbel (1947) definiu ciclone térmico, ou baixa quente, como sendo um aquecimento desigual sobre uma região, que provoca uma deformação das superfícies isobáricas originalmente horizontais. Próximo ao centro quente, em baixos níveis, a pressão atmosférica é menor que arredores, e maior em altos níveis, provocando a ocorrência de intensa atividade convectiva com precipitação (SIGNORINI, 2001).

Um estudo climatológico feito por Oliveira (1986), ao analisar uma série de dados entre 1974 e 1984, mostrou a interação entre os sistemas frontais e a convecção tropical. No verão, uma frente ao interagir com a convecção na Amazônia, em presença da Alta da Bolívia e da Baixa do Nordeste, torna-se quase-estacionária, contribuindo significativamente para o regime de precipitação no sudeste.

Oliveira (1986), ao estudar os sistemas frontais que possuem penetração meridional no continente que organizam extensas faixas de nebulosidade convectiva, com intensa precipitação, constatou que tais sistemas estão associados a cavados de ar superior e em baixos níveis com inclinação horizontal para noroeste, produzindo forte advecção de ar frio para o interior do continente e subsidência atrás da frente, resultando em uma região de céu claro. No

entando, forma-se uma zona de confluência em baixos níveis, onde se verifica uma advecção de ar quente na extremidade da frente. A faixa de nebulosidade convectiva está associada à divergência em altos níveis e a movimentos verticais ascendentes em 500hPa. Ao se deslocar para latitudes mais baixas, o sistema frontal é acompanhado pela formação de movimentos ascendentes do cavado, preferencialmente na direção noroeste-sudeste.

Ao estudar a interação entre a extremidade frontal e o ciclone térmico sobre o continente, Signorini (2001) observou que a passagem da extremidade da frente no sul do Brasil é intensificada pela presença de um ciclone térmico no norte da Argentina. Ao analisar imagens de satélite, Signorini associou a nebulosidade e os processos ocorridos, constatando que a mais intensa cobertura de nuvens se localiza sobre a região de encontro entre a frente fria e o ciclone.

Ela também verificou que a vortacidade relativa apresenta baixos valores negativos na região de encontro entre o ciclone térmico e a frente fria, ou no centro da nebulosidade intensa.

2.9. Influências Frontais no Nordeste Brasileiro

As ondas baroclínicas de latitudes médias modificam-se ao atravessar os Andes e interagem com a circulação atmosférica sobre a América do Sul (ANDRADE, 2005). Conseqüentemente os sistemas frontais que se deslocavam de oeste para leste, sobre o Pacífico, agora ganham uma componente em direção ao Equador, propagando-se de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, chegando a atingir latitudes tropicais. Podem se acoplar com mecanismos típicos de convecção, intensificando-se e permanecendo ativos durante vários dias (CAVALCANTI, 1985; REEDER e SMITH, 1998; SATYAMURTY *et al.*, 1998; SELUCHI ET AL., 1998).

KOUSKY (1979) mostrou que os sistemas frontais e seus resíduos penetram na parte sul do NEB ao longo de todo o ano, tendo um papel importante no máximo de precipitação em dezembro-janeiro, principalmente na Bahia; são associados com o aumento da precipitação ao longo da costa, desde a Bahia até o Rio Grande do Norte, durante os meses de inverno, chegando a afetar a precipitação até o norte do Ceará; baixas pressões à superfície, em baixas latitudes favorecem o movimento da ZCIT em direção ao sul.

Alguns outros trabalhos foram feitos para estudar os efeitos frontais no NEB.

Silva e Molion (2002) ao estudarem um evento de extrema precipitação na costa leste do NEB, mostraram que as penetrações de sistemas frontais em latitudes equatoriais, tanto do HN (entre novembro e abril) quando do HS (entre maio e agosto), são os principais mecanismos causadores das Perturbações Ondulatórias nos Alísios. Da Cruz *et al.* (2008) mostraram que

restos frontais podem interagir com essas perturbações nos Alísios, gerando sistemas baroclínicos atípicos chamados de Vórtices Ciclônicos de Baixos Níveis (VCBN).

Kousky e Ferreira (1981) ao analisarem imagens de satélite, observaram o aumento da atividade convectiva associado a sistemas de latitudes médias que penetram em latitudes baixas sobre o Brasil, e concluíram que os distúrbios associados com flutuações de pressão, geralmente, se propagam na direção leste e nordeste.

Os sistemas frontais que organizam extensas faixas de nebulosidade convectiva, com intensa precipitação, possuem uma penetração meridional no continente. Estão associados a cavados de ar superior (200 hPa) e em baixos níveis, com inclinação horizontal para noroeste, os quais produzem forte advecção de ar frio para o interior do continente e subsidência atrás da frente em toda a coluna atmosférica, resultando em uma região de céu claro. Por outro lado, forma-se uma zona de confluência em baixos níveis (850 hPa), onde se verifica advecção de ar quente e convergência em baixos níveis na extremidade da frente. A faixa de nebulosidade convectiva está associada à divergência nos altos níveis e a movimentos verticais ascendente em 500hPa. O deslocamento do sistema frontal para latitudes mais baixas é acompanhado pela formação do movimento ascendente no cavado, com orientação preferencial noroeste-sudeste (OLIVEIRA, 1986).

Gemiacki (2005) estudou a passagem de dois sistemas frontais sobre a AS durante a estação seca do NEB. No primeiro evento, a frente influenciou as condições de tempo em toda AS, chegando até o Estado de AL. No segundo, a frente teve um deslocamento zonal, modificando o tempo apenas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os principais resultados obtidos para a chegada do sistema frontal em AL foram:

- O ciclone frontal, associado à frente fria, estava ao sul de 60°S quando a onda frontal começou a atuar na AS;
- Houve uma interação entre o cavado frontal e um ciclone térmico no norte da Argentina;
- Ocorreu o surgimento de duas frentes secundárias, seguidas por duas oclusões instantâneas;
- Nova ciclogênese na frente principal que estava sobre o Atlântico, próxima a 30°S, intensificando a frente principal;
- Presença de interação entre a corrente de jato subtropical (CJS) e a corrente de jato polar (CJP), com eixo em torno de 25°S e 55°S, respectivamente;
- Deslocamento da AB para leste, chegando até o oeste da região NEB;

- O ciclone, que surgiu no Atlântico, se deslocou para o sudeste.

Da Cruz (2008) analisou, para o período de janeiro de 2004 até dezembro de 2006, sistemas frontais que influenciaram as condições de tempo sobre o Estado de AL. Pelos métodos clássicos de identificação, os casos foram divididos em 3 grupos:

- G1: passagem da extremidade frontal sobre o Estado. Esses eventos foram encontrados em todas as estações do ano. Concluindo que podem ocorrer passagens frontais em qualquer época.
- G2: passagem de uma fraca banda de nebulosidade, sendo observada apenas na imagem de satélite. Os casos desse grupo se concentram durante as estações de inverno austral e início da primavera austral (transição quente), em função do resfriamento continental durante o inverno e a configuração da Alta Barotrópica de Núcleo Quente observada. Essa condição desfavorece o desenvolvimento da extremidade frontal sobre AL.
- G3: atividades convectivas sobre AL, organizadas pela extremidade frontal posicionada sobre o oceano. Os eventos tendem a ocorrer durante o fim da primavera austral (transição quente), verão austral e início do outono austral (transição fria), onde o aquecimento sobre o continente favorece o desenvolvimento de sistemas convectivos que interagem com a extremidade frontal. A grande concentração dos casos do G3 foi na estação de outono austral (transição fria), no ano de 2006. Esse fato deve estar ligado às anomalias negativas de TSM no Pacífico Equatorial, indicando um aumento de influências frontais sobre AL durante episódios de La Niña.

Da Cruz ressalta que os campos de θ_e e $A\theta_e$ se mostraram muito eficientes para análise de sistemas frontais sobre as regiões tropicais. Em especial, o campo de $A\theta_e$ conseguiu identificar 6 extremidades frontais sobre AL nos eventos do G2 e G3.

Veber (2011), através da análise para o período de 10 anos (2000-2009), estudou o desenvolvimento das atividades convectivas sobre o NEB organizadas pela extremidade frontal. Ficou evidente que o NEB sofre influência de sistemas frontais durante todas as estações. De acordo com as características de nebulosidade encontrada, os eventos foram separados em grupos G:

- Grupo 1 (G1): Atividades convectivas sobre a Região Nordeste do Brasil, organizadas pela extremidade frontal, localizada sobre o Atlântico Tropical Sul. Nos casos verificados durante o verão austral, e para grande parte dos casos ocorridos no início da transição fria e final da transição quente no HS, evidenciou-se a intensificação da extremidade sobre o NEB.
- Grupo 2 (G2): Banda de nebulosidade pouco ativa sobre a Região Nordeste do Brasil, organizada pela extremidade frontal, localizada sobre o oceano Atlântico Tropical Sul. Para os casos ocorridos durante o inverno austral, início da transição fria e final da transição quente, no HS, configurou-se uma banda de nebulosidade pouco ativa, restringindo as zonas frontais ao sul do Estado da Bahia.

Pela análise dos casos, foram estabelecidos oito fatores dinâmicos relacionados com a intensificação da extremidade frontal sobre o NEB:

- Baixos níveis:
 - F1: atuação da ZCIT
 - F2: bifurcação do escoamento sobre o Atlântico e a convergência sobre o NEB
 - F3: borda oeste da ASAS
- Médios níveis:
 - F4: convergência e cavado sobre o NEB
 - F5: cavado com eixo NW-SE sobre o NEB
 - F6: cavado estendendo-se do ciclone posicionado no HN
- Altos níveis:
 - F7: cavado estendendo-se merionalmente em 200hPa
 - F8: interação entre AB e VCAN

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Região de Estudo

Com uma grade de 30°N-50°S e 90°W-10°W, a região de estudo se concentra principalmente sobre a América do Sul e oceanos adjacentes. O enfoque será dado às análises sobre o Brasil, principalmente sobre os 4 pontos de observações e o Estado de Alagoas (FIGURA 3.1).

- Porto Alegre (POA): 30°S e 51°W
- São Paulo (SP): 23°S e 46°W
- Salvador (SALV): 12°S e 38°W
- Maceió (MCZ): 9°S e 36°W

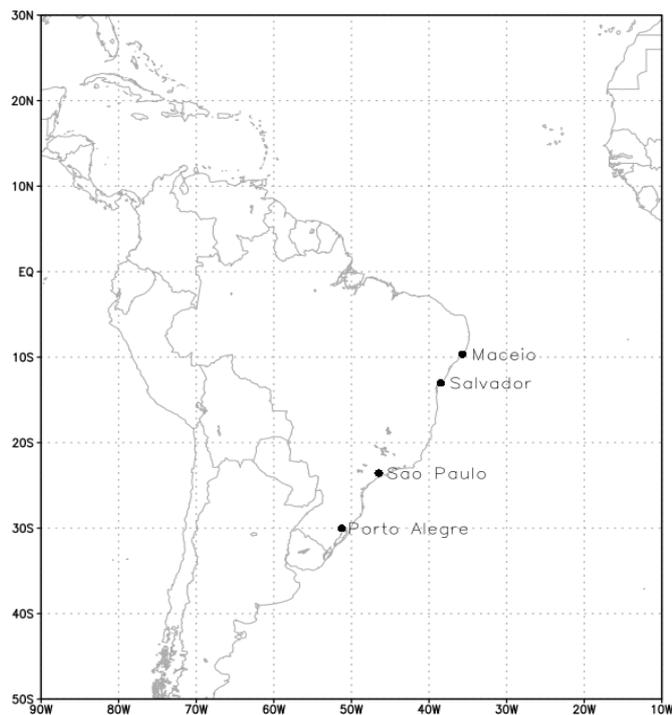


FIGURA 3.1 - Mapa da região de estudo com pontos de observações identificados. FONTE: GrADS

3.1.1. Estado de Alagoas

O Estado de Alagoas é a principal região de estudo. Localizada na região leste do NEB, situa-se entre os paralelos de 8°45' S e 10°30' S e entre os meridianos de 35°09' W e 38°14' W. É composto por 6 regiões climáticas:

- Litoral
- Zona da Mata
- Baixo São Francisco
- Agreste
- Sertão
- Sertão do São Francisco



FIGURA 3.2 - Mapa do Estado de Alagoas dividido pelas regiões climáticas

3.2. Dados

Para a elaboração dessa pesquisa foram utilizados os seguintes dados:

- Imagens de satélite
- Dados de reanálise do modelo global do ECMWF

3.2.1. Imagens de Satélite

Para este trabalho, foram usadas imagens dos satélites GOES-8 e GOES-12 com abrangência da AS, do canal infravermelho. Foram utilizados todos os horários sinóticos entre, janeiro de 2000 e dezembro de 2012. Obtidas através do site <http://www.cptec.inpe.br/satélite> mantido pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

3.2.2. Dados de Reanálise

Foram utilizados dados de Reanálise do European Centre of Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), obtidos através do site <http://www.ecmwf.int/> , para a obtenção dos campos meteorológicos. Os dados desse modelo possuem basicamente a seguinte forma:

- 37 níveis verticais;
- Uma grade global com espaçamento de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ de latitude e longitude;
- Nos horários sinóticos padrões de 00, 06, 12 e 18 Z;
- Para os níveis de 1000, 925, 850, 700, 500 e 200 hPa.

Desse modelo foram usados dados das seguintes variáveis:

- Pressão ao nível do mar (PNM em *hPa*);
- Divergência (*d* em s^{-1});
- Geopotencial (*z* em $m^2 s^{-2}$);
- Umidade relativa (UR em %);
- Temperatura (*T* em *K*);
- Velocidade vertical (*w* em $Pa s^{-1}$);
- Vorticidade (*vo* em s^{-1});
- Componente zonal e meridional do vento (*u* e *v* em $m s^{-1}$)

3.3. Software Utilizado

Todas as composições foram geradas com o pacote gráfico *Grid Analysis and Display System* (GrADS) (DOTY, 1992). Esse software foi desenvolvido pelo *Center for Ocean Land Atmosphere Interaction* (COLA) e está disponibilizado na homepage <http://grads.iges.org> .

3.4. Metodologia

3.4.1. Método Utilizado para a Identificação das Zonas Frontais

A análise das zonas frontais é feita através da verificação simultânea de diversos campos meteorológicos. Sendo a interpretação do meteorologista, uma ferramenta de fundamental importância para a identificação da região de atuação da frente.

Neste estudo, foram empregados métodos clássicos e bem difundidos na literatura para identificação e análise dos sistemas frontais. Esses métodos foram apresentados por Petterssen (1940, 1956), Bluestein (1993), Smith *et al.* (1995) e Fedorova e Carvalho (2000). As características frontais foram observadas nos campos utilizados:

- Pressão → cavado do ciclone baroclínico;
- Espessura → região com forte gradiente;
- Linhas de corrente → confluência em baixos níveis;
- Advecção de Temperatura → região entre advecção quente e a advecção fria;
- Vorticidade relativa → eixo de máxima vorticidade ciclônica.

Outros métodos, pouco utilizados, também ajudaram na avaliação das frentes, as caracterizando da seguinte forma:

- Campo horizontal de θ_e → claro gradiente, apresentando uma onda com altos valores de θ_e (OAV θ_e) na vanguarda e outra com baixos valores de θ_e (OBV θ_e) na retaguarda;
- Campo de $A\theta_e$ → região entre a advecção negativa e a advecção positiva de θ_e .

3.4.2. Escolha e Agrupamento dos Casos

Foi realizada a identificação de todos os sistemas frontais que atuaram na Região Nordeste do Brasil (NEB) com ênfase no Estado de Alagoas, no período de 1° de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2012. Tendo como base para identificação a Revista Climanálise e a Síntese Sinótica Mensal, ambas disponíveis no site <http://www.cptec.inpe.br> (CPTEC/INPE). Essas informações foram comparadas com as imagens de satélite do site

<http://satelite.cptec.inpe.br/home/novoSite/index.jsp> (CPTEC/INPE), sendo selecionados apenas os eventos onde a nebulosidade, ligada à frente fria, chegava ao Estado de Alagoas. A confirmação dos casos se deu através da análise dos campos meteorológicos, a partir dos dados disponíveis no ECMWF e gerados pelo software GrADS. Os principais campos utilizados para a determinação da localização da frente fria foram: linha de corrente; temperatura potencial equivalente e advecção de temperatura potencial equivalente.

Análises do campo de $A\theta_e$ identificam processos ciclogénéticos e posicionamento de zona frontal com um alto grau de excelência. Comparado ao campo clássico de advecção de temperatura, a identificação de ciclones extratropicais e de suas frentes frias são otimizadas com o uso do campo de $A\theta_e$ (DA CRUZ *et al.* (2008)). A localização de uma frente fria, bem definida no campo de pressão, pode ser vista na vanguarda de uma advecção negativa e retaguarda de uma advecção quente.

Por se mostrar um campo muito eficiente na identificação de frentes frias, principalmente nas regiões tropicais, a $A\theta_e$ foi utilizada para a separação dos casos. De acordo com Da Cruz *et al.* (2008), é preferível a utilização do nível de 850hPa por obter as melhores caracterizações da estrutura horizontal dos sistemas baroclínicos na baixa troposfera das regiões tropicais.

3.4.3. Variáveis Utilizadas

As seguintes variáveis meteorológicas foram utilizadas para se analisar as características frontais:

- Advecção horizontal de temperatura:

$$AT = u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}$$

Onde:

AT: advecção de temperatura [K/s];

u: componente zonal do vetor vento [m/s];

v: componente meridional do vetor vento [m/s].

- Temperatura potencial equivalente (θ_e), segundo Bolton (1980):

$$\theta_e = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0,2864 (1 - 0,28 \times 10^{-3} r)} \exp \left[\frac{3,376}{T_{lcl}} - 0,0025r (1 + 0,81 \times 10^{-9} r) \right]$$

Onde:

θ_e : temperatura potencial equivalente (K);

T_K : temperatura absoluta (K);

r : razão de mistura (g kg⁻¹);

T_{lcl} : temperatura no nível de condensação por levantamento (K), pela expressão:

$$T_{lcl} = \frac{1}{\frac{1}{T_d - 56} + \frac{\ln(T_K - T_d)}{800}} + 56$$

Onde:

T_d : temperatura do ponto de orvalho

- Advecção de temperatura potencial equivalente:

$$A\theta_e \equiv -V_H \cdot \nabla_H \theta_e = -\left(u \frac{\partial \theta_e}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right)$$

Onde:

$A\theta_e$: advecção de temperatura potencial equivalente (K/s);

u : componente zonal do vetor vento (m/s);

v : componente meridional do vetor vento (m/s).

- Vorticidade relativa:

$$\zeta = K \cdot (\nabla \times V) = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Onde:

ζ : vorticidade relativa [10⁻⁴ s⁻¹];

u : componente zonal do vetor vento [m/s];

v: componente meridional do vetor vento [m/s].

Foram também feitas imagens, através do software GRADS, da Seção Vertical de cada ponto analisado.

3.4.4. Seção Vertical

A seção vertical consiste em setar a longitude de um determinado local, e variar a latitude entre dois pontos, assim temos uma imagem de um corte vertical na atmosfera que nos possibilita analisar a frente fria de uma maneira diferente, onde os sistemas são vistos do nível de 1000hPa à 100hPa ao mesmo tempo.

Nesse estudo, foram contruídos cortes verticais em todos os pontos de observação, transversais à frente fria: Porto Alegre, São Paulo, Salvador e Maceió. Foram utilizados 15 níveis de pressão: 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 600, 500, 400, 300, 200 e 100hPa.

Para verificar o nível máximo em que as variáveis apresentavam características frontais, foram estabelecidas algumas regras que também ajudam na identificação dos sistemas frontais nas diversas variáveis que foram utilizadas:

Vento

- Onde o vento muda de direção;
- Diferença de no mínimo 30° na mudança da direção do vento;

Vorticidade Relativa

- Até que nível a vorticidade se mantém negativa;

Temperatura

- Onde o gradiente apresenta diminuição de no mínimo 1°/100 km;

Temperatura Potencial Equivalente

- Onde o gradiente apresenta diminuição de no mínimo 1°/100 km;

Em todas as variáveis, acima de 500hPa as mudanças nos perfis sofrem influências de sistemas que ocorrem em altos níveis como as correntes de jatos.

As seções verticais de Temperatura e Temperatura Potencial equivalente apresentam um diferencial, sendo apenas coloridas as partes em que o gradiente diminui no mínimo $1^\circ/100\text{km}$.

Um exemplo é mostrado na Figura 3.3. Um corte feito na longitude da cidade de Porto Alegre, 51°W , variando a latitude entre o equador e 50°S . A linha preta representa a latitude da cidade.

A altura da superfície frontal é diferente em cada variável. O vento (Figura 3.3a) apresenta as características frontais até 700hPa , acima desse nível as mudanças ocorridas na velocidade e direção do vento sofrem interferências de sistemas em altos níveis. Na vorticidade (Figura 3.3b) a superfície frontal também atinge 700hPa . Na Figura 3.3c, o gradiente de temperatura ultrapassa os 200hPa de pressão com queda de temperatura de até $2^\circ/100\text{km}$. O gradiente de temperatura potencial equivalente ultrapassa a troposfera chegando a atingir 100hPa também com os valores mínimos necessários que caracterizam a superfície frontal (Figura 3.3d).

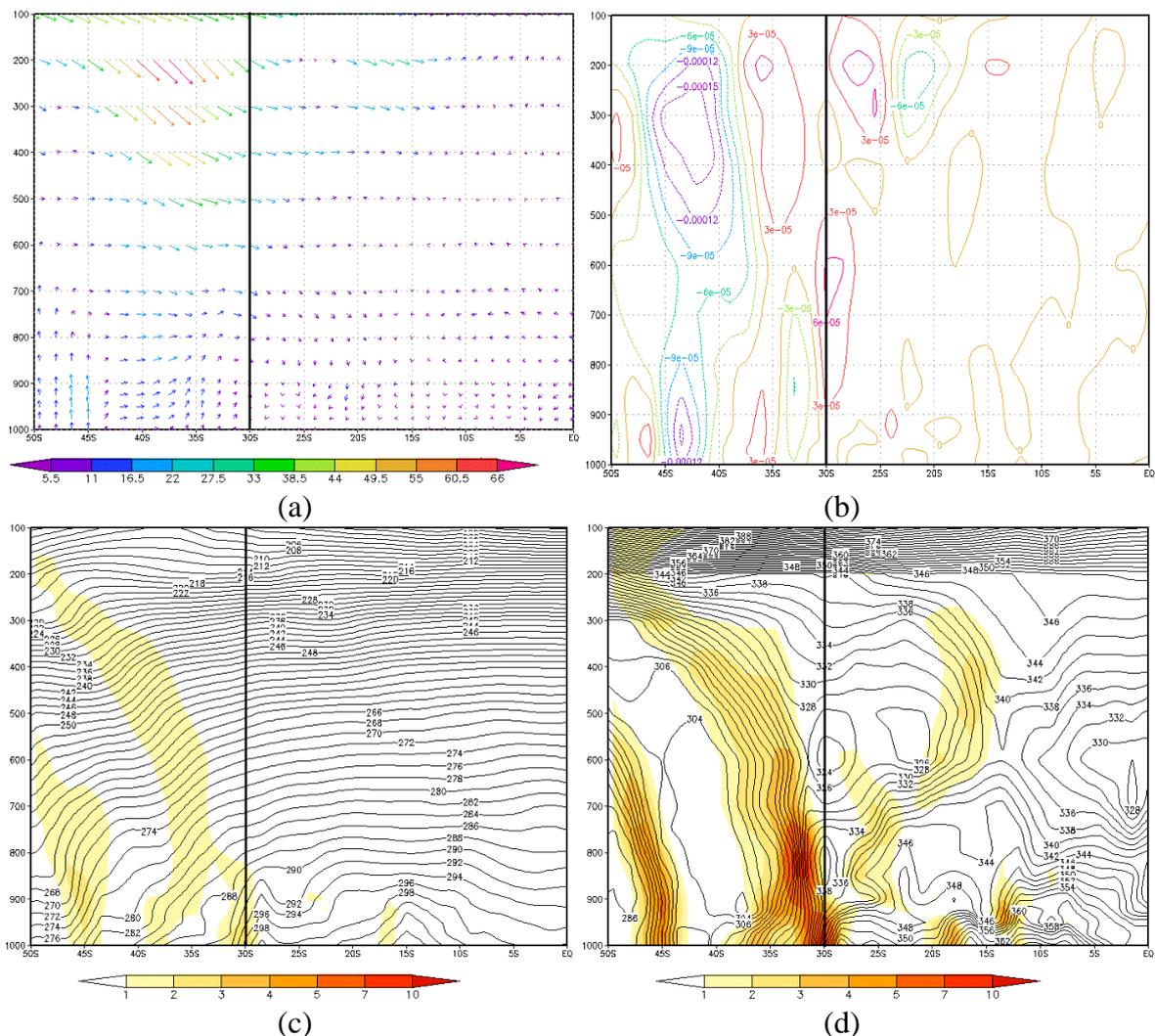


FIGURA 3.3 - Seção Vertical para a cidade de Porto Alegre: a) vento; b) vorticidade relativa; c) temperatura e d) temperatura potencial equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

4. RESULTADOS

4.1. Tipos de Frentes

De janeiro de 2000 à dezembro de 2012 foram selecionados 18 casos de frentes frias que tiveram deslocamento para a região tropical e influenciaram as condições de tempo no Estado de Alagoas.

As frentes frias que passaram por POA no período estudado foram classificadas de acordo com: 1) localização da extremidade frontal e 2) nebulosidade associada, em três tipos (I, II e III). Foi definido também o tipo IV para frentes secundárias ocorrentes nessa região. Essa classificação foi ampliada com o tipo V, envolvendo frentes cuja formação ocorreu na região sudeste.

Portanto, podem ser descritos os seguintes tipos de frentes:

- Tipo I: frente fria clássica, com nebulosidade sobre o continente
- Tipo II: frente fria com extremidade provocando pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre o continente
- Tipo III: frente fria associada a outros tipos de nebulosidade sobre o continente
 - IIIA: frente fria associada com nebulosidade convectiva sobre o continente
 - IIIB: frente fria associada com nebulosidade de corrente de jato
- Tipo IV: frente fria secundária
- Tipo V: frente fria com ciclogênese na região sudeste (não passando por Porto Alegre)

A tabela 4.1 mostra os diferentes tipos de frentes frias encontradas e a quantidade de casos de cada tipo.

TABELA 4.1 – Tipos de frentes frias e suas respectivas datas.

TIPO	SUBTIPO	DATA (N° DO CASO)
I		19/04/00 (3)
		19/05/02 (4)
		06/08/04 (8)
		13/04/10 (16)
II		30/04/06 (11)
		04/04/10 (15)
III	A	09/10/03 (5)
		01/11/03 (6)
	B	15/07/04 (7)
		15/10/06 (13)
IV	B	25/09/12 (18)
		31/08/00 (2)
		01/12/05 (10)
V		31/05/00 (1)
		27/07/07 (14)
V		30/04/05 (9)
		10/05/06 (12)
		30/10/11 (17)

A seguir serão apresentados os exemplos de cada tipo de frente.

4.1.1. Tipo I: frente fria clássica, com nebulosidade sobre o continente

Caso 4

No dia 19/05/2002 às 06Z foi identificada uma frente fria sobre a cidade de Porto Alegre. O sistema frontal ficou caracterizado em baixos níveis pelos campos mostrados na Figura 4.1. No campo de pressão, o ciclone aparece no oceano Atlântico, aproximadamente em 40°S/50°W.

Nos mapas de linhas de correntes em 925hPa, há uma confluência de ventos na região do cavado, confirmando a existência frontal. Esse cavado se estende do centro do ciclone, passando por POA, até o norte do Paraguai (Figura 4.1a).

A vorticidade relativa também é uma importante variável na identificação da zona frontal. A Figura 4.1b apresenta PNM e vorticidade relativa, sendo a vorticidade representada pelas linhas coloridas e PNM pelas linhas pretas. Pela vorticidade, nota-se a característica ciclônica (vorticidade negativa no HS) na região do cavado e no centro do sistema. O eixo de vorticidade ciclônica máxima coincide com a posição da frente fria no campo bórico.

O campo de temperatura, mostrado na Figura 4.1c, apresenta um gradiente fraco mas que coincide com a posição do cavado no campo de pressão. Na vanguarda da frente fria, sobre

o continente, entre as latitudes de 25°S/10°S e as longitudes de 60°W/45°W, apresenta uma massa de ar quente, proveniente do aquecimento superficial.

Um campo que se mostrou muito eficiente para a identificação de zonas frontais é o campo de temperatura potencial equivalente, que apresenta um gradiente de cor entre o branco e vermelho, indicando a intensidade da queda de temperatura a cada 100km. Na Figura 4.1d mostra que o gradiente frontal sobre POA se intensifica a medida que adentra o continente, e sobre o oceano coincide com posição do cavado e do forte gradiente de espessura.

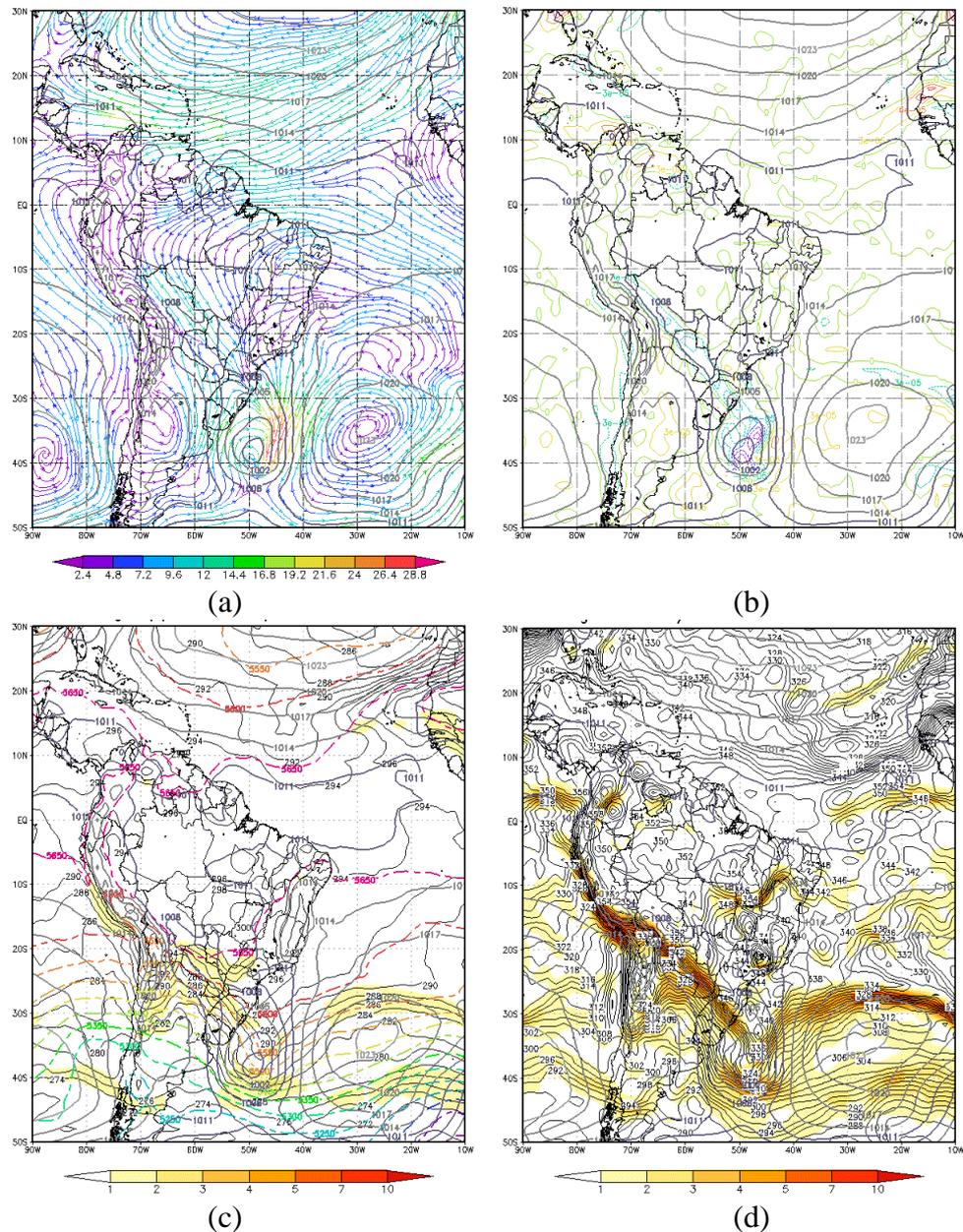


FIGURA 4.1 - Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 19/05/2002 às 06Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Na imagem de satélite é possível identificar a nebulosidade, como é visto na Figura 4.2a, com o campo de PNM sobreposto. A nebulosidade frontal é composta por uma banda de nuvens bem organizadas que se estende desde o sistema ciclônico no Atlântico Sul, passando sobre o norte do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná até o sul do Estado do Mato Grosso do Sul aproximadamente em $25^{\circ}\text{S}/55^{\circ}\text{W}$.

Na Figura 4.2b é visto a imagem de satélite sobreposta com a espessura da camada de 500/1000hPa. A nebulosidade coincide com o forte gradiente de espessura, localizado próximo ao centro do ciclone, sobre o oceano. No continente, a nebulosidade somente aparece onde o gradiente de espessura está menos intenso.

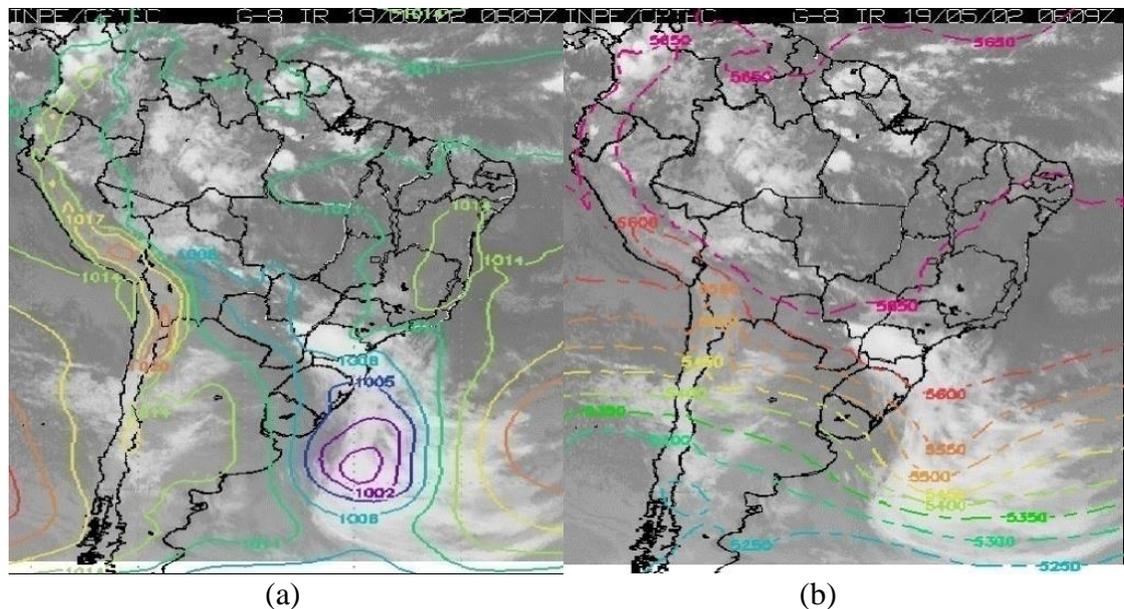


FIGURA 4.2 - Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 19/05/2002 06Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. Fonte: Adaptada de CPTEC/INPE

Para uma melhor visão do que acontece na frente fria, foram feitas seções verticais dos campos meteorológicos apresentados na Figura 4.3. A seção vertical consiste em um corte transversal da frente fria na longitude de Porto Alegre (51°W), possibilitando a visualização de todos os níveis atmosféricos. A localização da frente fria, próximo da superfície, está sinalizada com uma faixa preta na latitude de 30°S .

A Figura 4.3a apresenta o corte vertical nas linhas de corrente. Em altos níveis, a partir de 400hPa, são observados ventos fortes compatíveis com a presença de uma CJ Polar. Em baixos níveis, na retaguarda da frente fria, é possível ver que tanto em 30°S , referente à frente fria, quanto em 40°S , referente ao centro do ciclone, o vento sofre uma mudança na direção e intensidade.

Sobre a FF, da superfície até 650hPa a vorticidade é negativa, acima de 600hPa a vorticidade se torna positiva (anticiclônica no HS). Essa diferença se dá pela inclinação que a frente fria sofre à medida que a altura aumenta (Figura 4.3b).

Na Figura 4.3c o corte vertical da temperatura mostra que, o gradiente com queda de temperatura entre $1-2^{\circ}/100\text{km}$, se estende da superfície até 800hPa. Enquanto que na Figura 4.3d, que mostra a seção vertical da temperatura potencial equivalente (θ_e), a superfície frontal atinge 300hPa com a mesma intensidade de $1-2^{\circ}/100\text{km}$, mas ao longo do gradiente, a intensidade varia, chegando a $7^{\circ}/100\text{km}$ em torno de 900hPa.

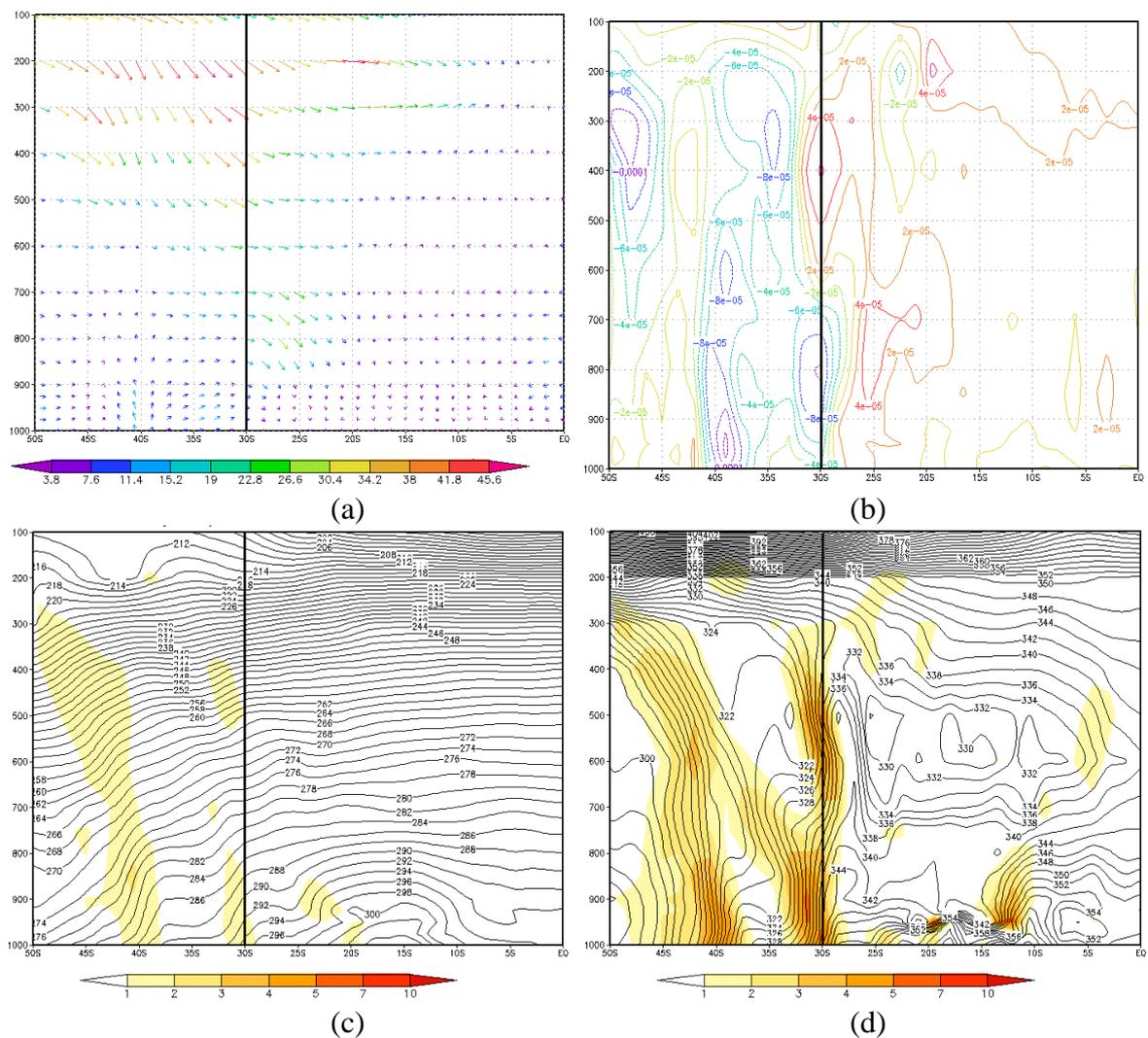


FIGURA 4.3 - Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 19/05/2002 às 06Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF

4.1.2. Tipo II: frente fria com extremidade provocando pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre o continente

Caso 11

Foi identificada uma frente fria sobre POA no dia 30/04/2006 às 12Z. O sistema frontal estava ligado a um ciclone extratropical que se dividiu e apresentou dois centros ciclônicos, mostrados pelos mapas de linha de corrente e vorticidade relativa. Todavia, um destes centros, 45°S/48°W, não foi visto no campo de pressão.

O ciclone baroclínico, que já estava no seu estágio de desenvolvimento máximo apresentando um aumento da pressão na parte central do ciclone. Na Figura 4.4a, o mapa de linha de corrente mostra os dois centros ciclônicos: um mais a oeste, coincidindo com o campo de PNM, apresentando isóbaras fechadas de 1000hPa; e outro mais a leste, que apresenta o ponto de oclusão e a zona frontal na periferia do ciclone.

No campo de vorticidade, a vorticidade negativa é identificada pelas linhas pontilhadas (Figura 4.4b). O centro ciclone posicionado a leste apresenta um gradiente mais forte, de $-15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, do que o que está mais a oeste, com o gradiente de $-9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. O cavado frontal também apresenta um extenso núcleo de vorticidade ciclônica, que se estende até 30°S/48°W, não atingindo o continente, mas coincidindo com o cavado no campo de PNM.

Na Figura 4.4c, a espessura (pontilhado) e PNM (linhas cinzas) são sobrepostas ao campo de temperatura. Sobre o oceano, o cavado em baixos níveis coincide com as linhas de espessura e com o gradiente de temperatura. No continente, o gradiente de temperatura se estende até 22°S 65°W, mesmo ponto onde a espessura começa a apresentar um leve aquecimento e se expande, aumentando a espessura entre as camadas. O cavado não adentra o continente.

A Temperatura potencial equivalente foi sobreposta com o campo de PNM na Figura 4.4d e apresenta gradientes mais intensos sobre o continente chegando a mais de 10°/100km no interior do RS e norte da Argentina. Sobre o oceano, próximo ao centro do ciclone, o gradiente também é intenso com valores de até 7°/100km, porém, ocorre um enfraquecimento próximo o litoral do RS.

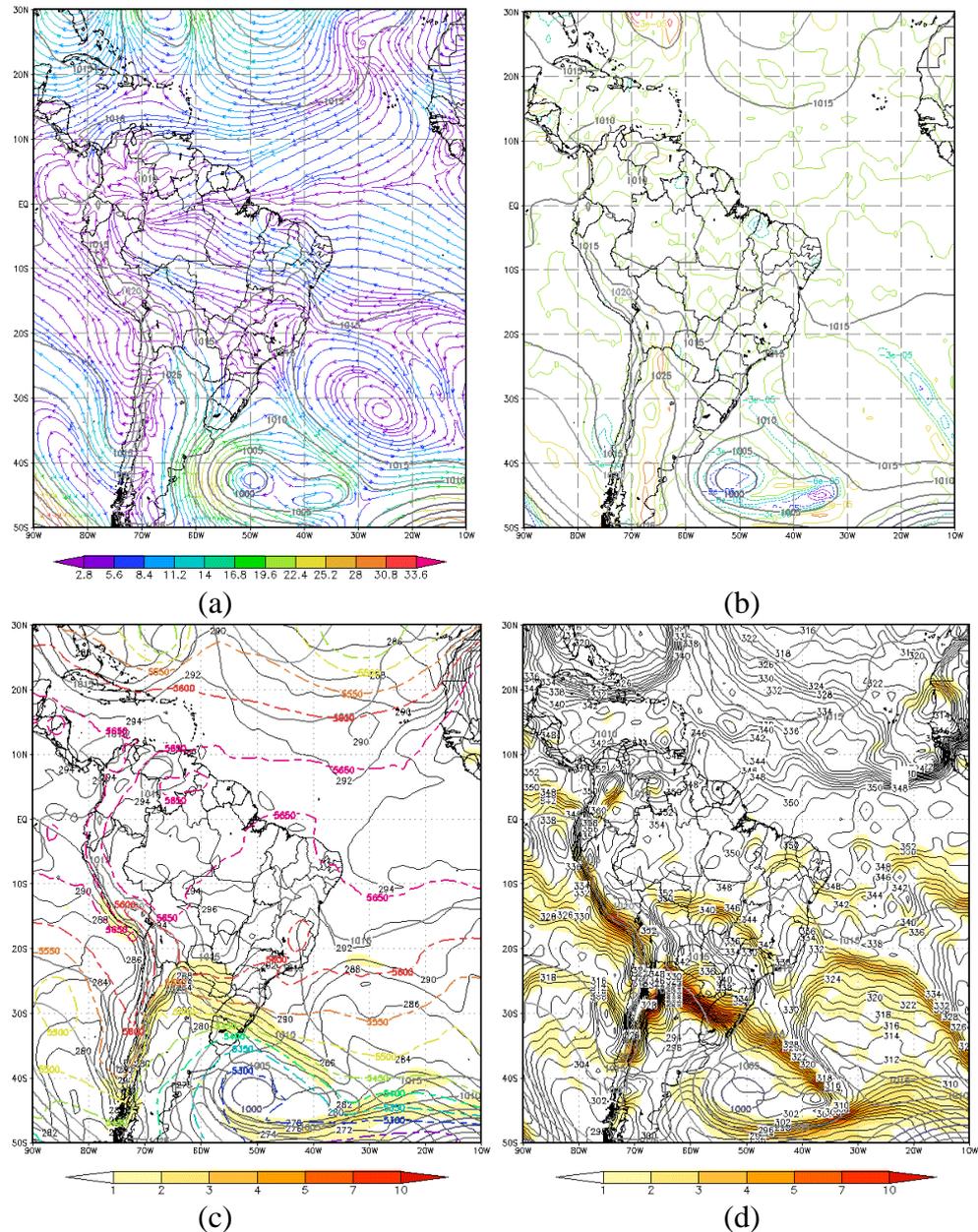


FIGURA 4.4 - Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 30/04/2006 às 12z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

As imagens de satélite ajudam na identificação da nebulosidade. Ao sobrepor o campo de PNM (Figura 4.5a), é possível verificar que a nebulosidade, mesmo fraca, se restringe ao centro do ciclone a oeste, que apresenta uma isóbara fechada de 1000hPa, e também ao cavado frontal do ciclone a leste.

Na Figura 4.5b, onde o campo de espessura da camada de 500/1000hPa é sobreposto na imagem de satélite, a nebulosidade está associada ao ciclone a oeste, que possui a menor espessura. A nebulosidade também está conectada ao cavado frontal, ligado ao ciclone

posicionado a leste, onde a espessura apresenta o gradiente mais intenso e paralelo à nebulosidade frontal.

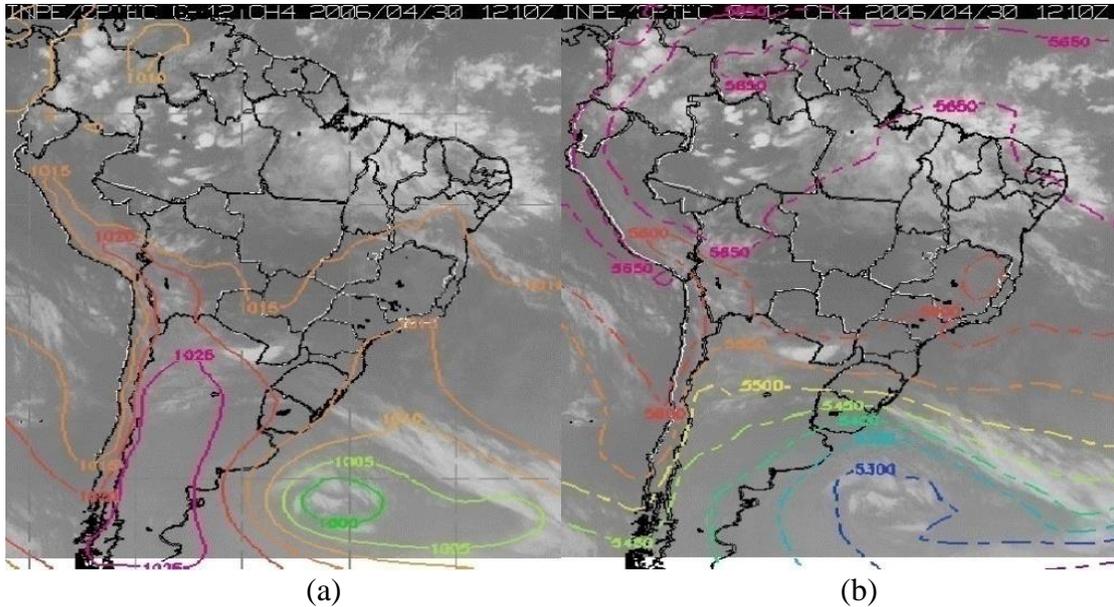


FIGURA 4.5 - Imagem de satélite do canal infravermelho no dia 30/04/2006 às 12Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. Fonte: Adaptada de CPTEC/INPE

Os cortes transversais de diferentes variáveis meteorológicas na frente fria são apresentados na Figura 4.6, onde a frente fria em baixos níveis é representada pela linha preta, na latitude da cidade de Porto Alegre.

A Figura 4.6a mostra que na vanguarda da FF os ventos são fracos em quase toda a atmosfera. Na retaguarda, ao sul de 30°S , os ventos possuem intensidade maior, tanto nos baixos quanto nos altos níveis. Em níveis mais baixos, a mudança na direção do vento indica a presença da FF na região até 850hPa. Na vorticidade, a Figura 4.6b apresenta vorticidade positiva em baixos níveis na latitude de 30°S .

A temperatura apresenta uma superfície frontal com a mesma intensidade ($1\text{-}2^{\circ}/100\text{km}$) desde a superfície até 300hPa (Figura 4.6c). No corte vertical de θ_e a superfície frontal também atinge 300hPa com $1\text{-}2^{\circ}/100\text{km}$, porém apresenta diferença de intensidade ao longo do gradiente, sendo mais intenso entre 850-700hPa com valores de até $7^{\circ}/100\text{km}$.

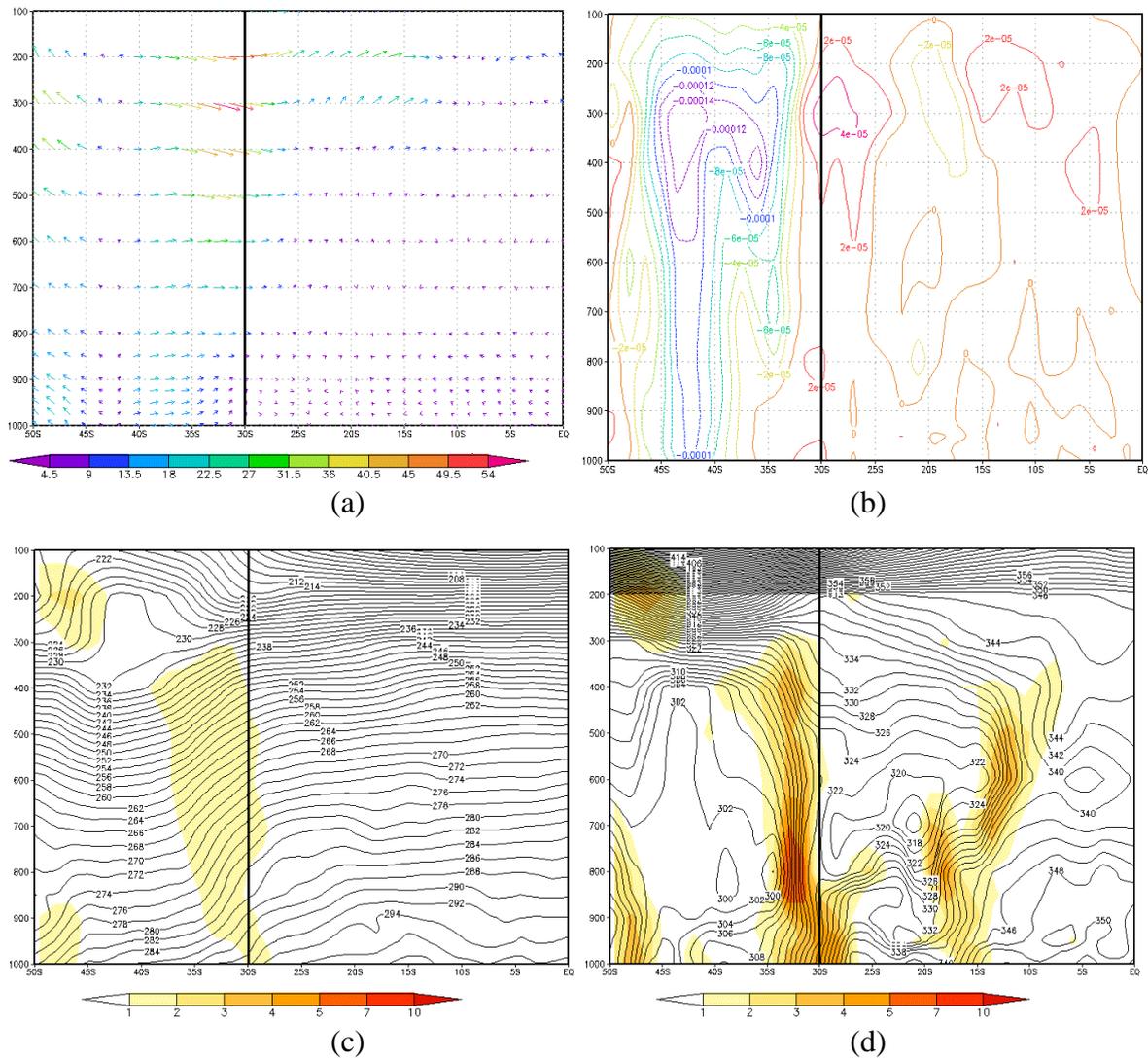


FIGURA 4.6 - Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 30/04/2006 às 12Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF

4.1.3. Tipo III: frente fria associada com nebulosidade sobre o continente

4.1.3.1. Tipo IIIA: frente fria associada com nebulosidade convectiva sobre o continente

Caso 5

Através da análise dos campos de PNM e linhas de corrente para o dia 09/10/2003, foi encontrado o centro do ciclone barotrópico em superfície ao norte da Argetina e sudoeste do Paraguai em torno de 23°S/61°W, um ciclone baroclínico no oceano Atlântico Sul,

aproximadamente em $47^{\circ}\text{S}/45^{\circ}\text{W}$, e uma frente fria que se estende do ciclone baroclínico, passando sobre a cidade de Porto Alegre, unindo-se ao ciclone barotrópico aproximadamente em $29^{\circ}\text{S}/55^{\circ}\text{W}$ no centro do Estado do RS.

Os mapas de linhas de corrente (Figura 4.7a) mostram que na região do ciclone barotrópico há uma convergência em baixos níveis, apresentando apenas uma isóbara fechada, essa convergência se estende para sudeste até $29^{\circ}\text{S}/55^{\circ}\text{W}$. No ciclone baroclínico, com centro de 990hPa, há um cavado quase meridional que chega ao Estado do RS e se encontra com a convergência vinda do cavado barotrópico do norte da Argentina.

A vorticidade relativa também identifica o sistema frontal sobre o oceano por um forte gradiente de vorticidade negativa de $-18 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (ciclônica no HS) presente no centro do ciclone baroclínico, o cavado frontal também apresenta núcleos de vorticidade negativa de $-9 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (Figura 4.7b). Sobre o continente, a vorticidade negativa também indica a presença do ciclone barotrópico no norte da Argentina, com núcleo de $-15 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ se estendendo ao encontro do cavado frontal. Porém no encontro entre o cavado frontal e o ciclone barotrópico, a vorticidade perde intensidade, chegando a $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$.

Na Figura 4.7c a temperatura apresenta um gradiente mais intenso sobre o norte da Argentina, onde ocorre a convecção no campo de vento, com valores de até $4^{\circ}/100\text{km}$. A espessura também fica mais intensa nessa região, onde a pressão indica a presença de isóbaras de 1005hPa. Porém sobre o oceano, o cavado bórico não coincide com as variáveis de temperatura e espessura, não havendo gradiente térmico.

No mapa de θ_e (Figura 4.7d) o gradiente começa onde começa o cavado frontal, com gradientes que se intensificam até $10^{\circ}/100\text{km}$. Sobre o continente o gradiente é mais espesso, principalmente sobre o norte da Argentina.

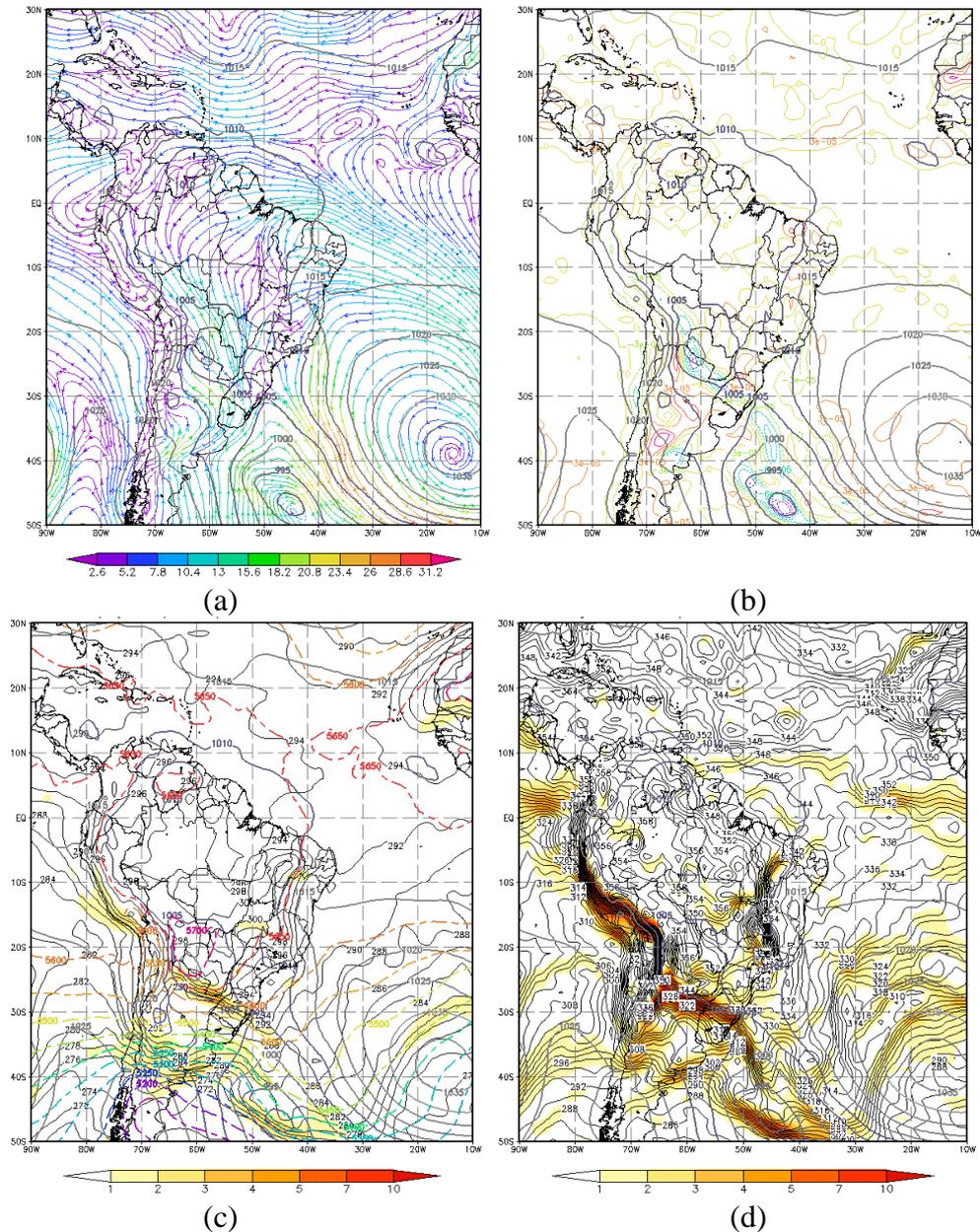


FIGURA 4.7- Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 09/10/2003 às 06Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Nas imagens de satélites da Figura 4.8, constata-se que a mais intensa cobertura de nuvens encontra-se sobre a região de encontro entre a frente fria e o ciclone baroclínico. Com o campo de espessura sobreposto (Figura 4.8a), é possível ver que a nebulosidade se concentra na parte quente do ciclone baroclínico, se estendendo desde o centro do ciclone no Atlântico Sul até o norte da Argentina e sul do Paraguai, cobrindo todo o Estado do RS. Ao sobrepor o campo de pressão (Figura 4.8b), o ciclone principal apresenta um núcleo de 990hPa. Com a

banda de nebulosidade bem organizada se estendendo sobre o cavado frontal, está ligada principalmente à vanguarda do sistema frontal. Ao avançar sobre o continente encontra-se com a nebulosidade produzida pelo ciclone barotrópico.

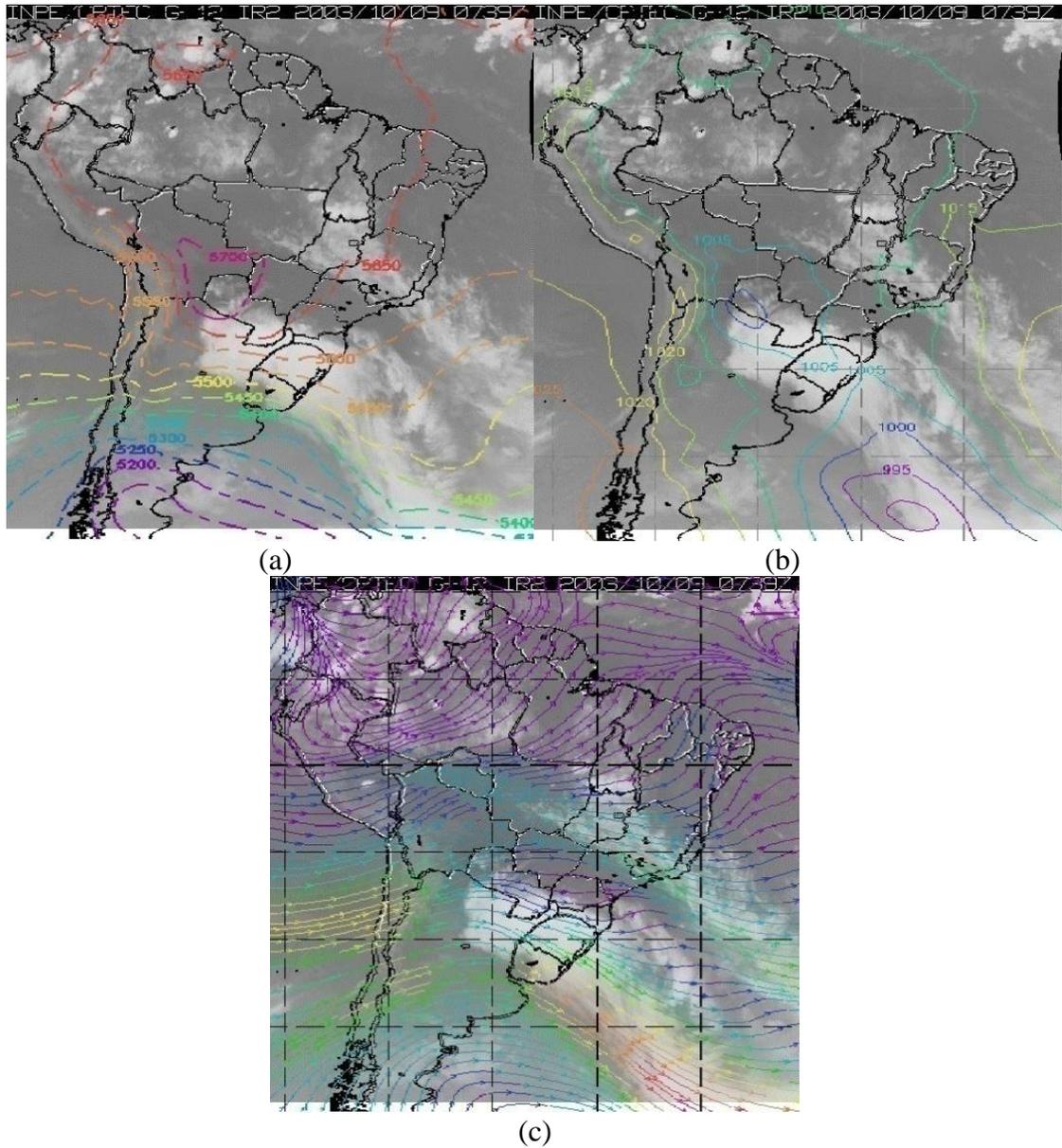


FIGURA 4.8 - Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 09/10/2003 06Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) linhas de correntes e 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

A Figura 4.9 apresenta cortes transversais na frente fria, do dia 09/10/2003 às 06Z na longitude da cidade de Porto Alegre, representada pela linha preta na latitude de 30°S.

A seção vertical de vento (Figura 4.9a) mostra que na retaguarda da FF os ventos são mais intensos, até 700hPa. Em altos níveis é possível ver o ramo norte da corrente de jato polar

atuando próximo à FF, tendo seu máximo de vento na latitude de 35°S, como mostra a Figura 4.8c.

Na Figura 4.9b, a vorticidade relativa apresenta valores negativos em baixos níveis e na retaguarda da FF até 700hPa. Ficando mais intensa à medida que a altura aumenta, a inclinação da FF é vista no limite entre vorticidade negativa (ciclônica no HS) e positiva (anticiclônica no HS).

O corte vertical da temperatura (Figura 4.9c) mostra que as características frontais se estendem da superfície até 150hPa com a mesma intensidade de 1-2°/100km.

Na temperatura potencial equivalente, a Figura 4.9d exibe o gradiente até 100hPa com a mesma intensidade vista na temperatura, porém é mais intenso abaixo de 400hPa, apresentando valores de 7°/100km em 800hPa.

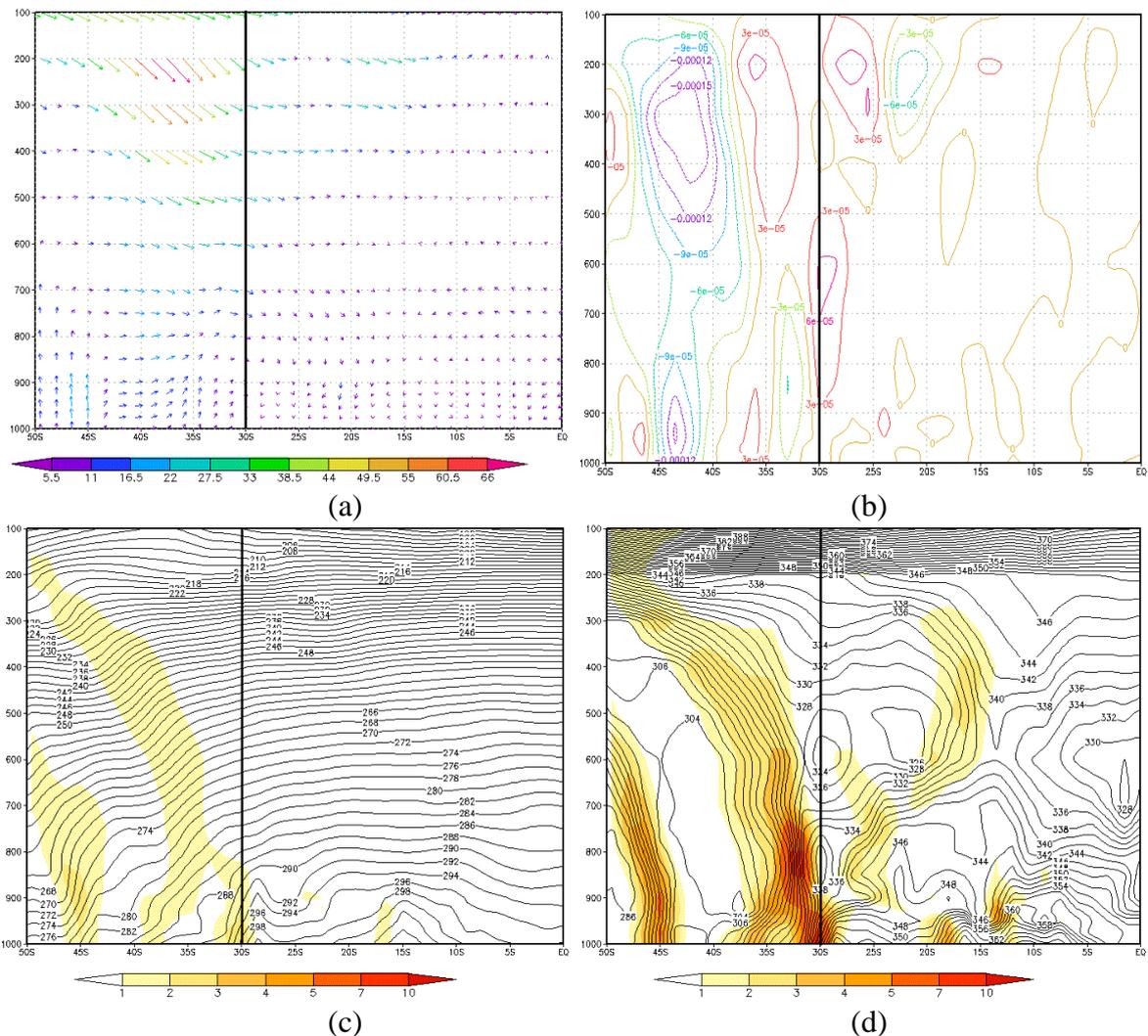


FIGURA 4.9 – Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 09/10/2003 às 06Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.

4.1.3.2. Tipo IIIB: frente fria associada com nebulosidade de corrente de jato

Caso 18

No dia 25/09/2012 às 00Z é observada uma FF próxima a cidade de Porto Alegre. A Figura 4.10 mostra o sistema em baixos níveis, em diversos campos meteorológicos sobrepostos com o campo de PNM.

Os mapas de pressão e linha de corrente (Figura 4.10a) mostra o ciclone principal posicionado com o núcleo próximo de $50^{\circ}\text{S}/41^{\circ}\text{W}$. A confluência do vento delimita a região do cavado, onde o campo de pressão confirma o posicionamento, que se estende até o continente. Mais ao sul, na retaguarda do ciclone frontal, em torno de $45^{\circ}\text{S}/44^{\circ}\text{W}$, um cavado se destaca do ciclone principal em direção a leste, formando uma frente secundária. Há também, uma área com forte convergência de massa, aproximadamente em $22^{\circ}\text{S}/2^{\circ}\text{W}$, no extremo leste do Paraguai.

A vorticidade também é uma boa variável na indicação da localização da zona frontal. Na Figura 4.10b a vorticidade negativa, representada pelas linhas pontilhadas, apresenta fortes gradientes tanto no centro ($-21 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) quanto no cavado frontal ($-15 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$). Ao atingir o continente, a vorticidade negativa perde intensidade ($-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$), tendo seu máximo concentrado apenas onde as isóbaras estão fechadas. O campo de vorticidade também mostra a frente secundária na retaguarda do sistema frontal, com núcelos de $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, não atinge o continente, chegando somente até $42^{\circ}\text{S}/57^{\circ}\text{W}$.

Na Figura 4.10c o gradiente frontal aparece apenas sobre o continente, no norte do RS, Paraguai e sul de MS. A espessura e pressão não ficam paralelas com o gradiente de temperatura, porém são entre si, mantendo o gradiente de espessura intenso enquanto coincide com o cavado bórico.

Na Figura 4.10d o gradiente de θ_e se intensifica sobre o continente, porém não é observado ligação entre o gradiente térmico e bórico sobre a FF.

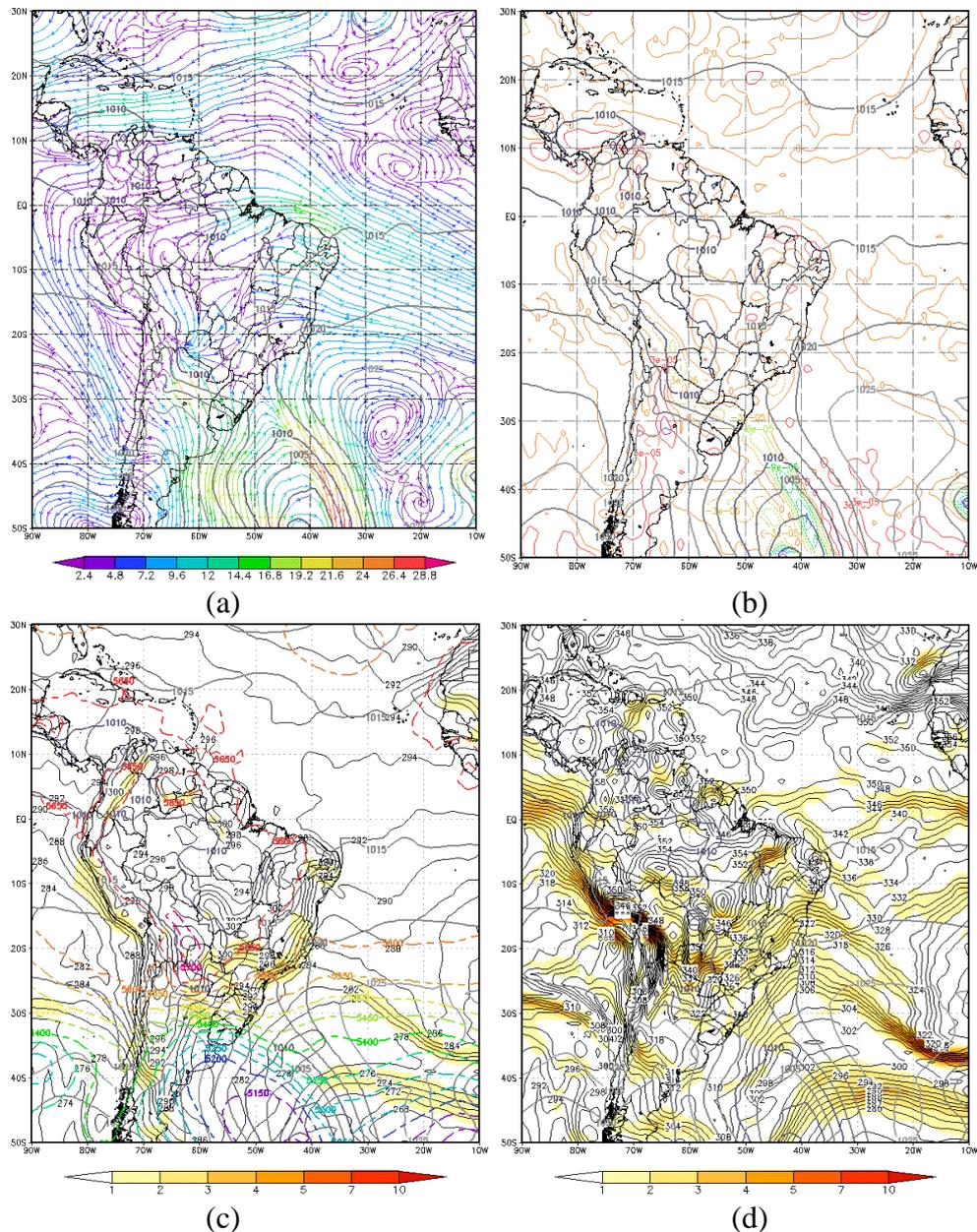


FIGURA 4.10 - Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 25/09/2012 às 00Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

A nebulosidade frontal, vista na Figura 4.11, é composta por uma banda de nuvens bem organizada sobre o oceano, que se estende do centro do ciclone baroclínico no oceano Atlântico Sul, passando sobre o centro-sul do RS, Uruguai chegando no interior da Argentina.

A Figura 4.11a, mostra a imagem de satélite sobreposta com o campo de pressão. A nebulosidade é mais intensa na região do cavado frontal. Sobre o continente, a nebulosidade se posiciona sobre a crista da alta pós-frontal. Na retaguarda da frente fria, onde foi localizada a

frente secundária, há nebulosidade esparsas e com uma textura rugosa, característico de nuvens cumuliformes.

Na Figura 4.11b, a espessura mostra que a nebulosidade se encontra no lado quente do sistema frontal, acompanhando a curvatura das isolinhas da espessura, onde o gradiente é mais intenso.

Porém, é na Figura 4.11c, com linhas de correntes em 200hPa sobrepostas, que é visto com maior clareza a interação das correntes de jato com a nebulosidade. No sistema frontal, tem-se o ramo norte da corrente de jato polar interferindo na nebulosidade que se encontra no centro da Argentina. Mais ao norte, a corrente de jato subtropical aparece influenciando a nebulosidade sobre o norte de MG e sul da BA se estendendo sobre o oceano, onde são vistos estruturas lineares de nuvens Cirrus. O núcleo mais intenso de corrente de jato se localiza entre as duas regiões com nebulosidade, onde as correntes de jato se unem, sobre o leste do PR e SP e o oceano adjacente.

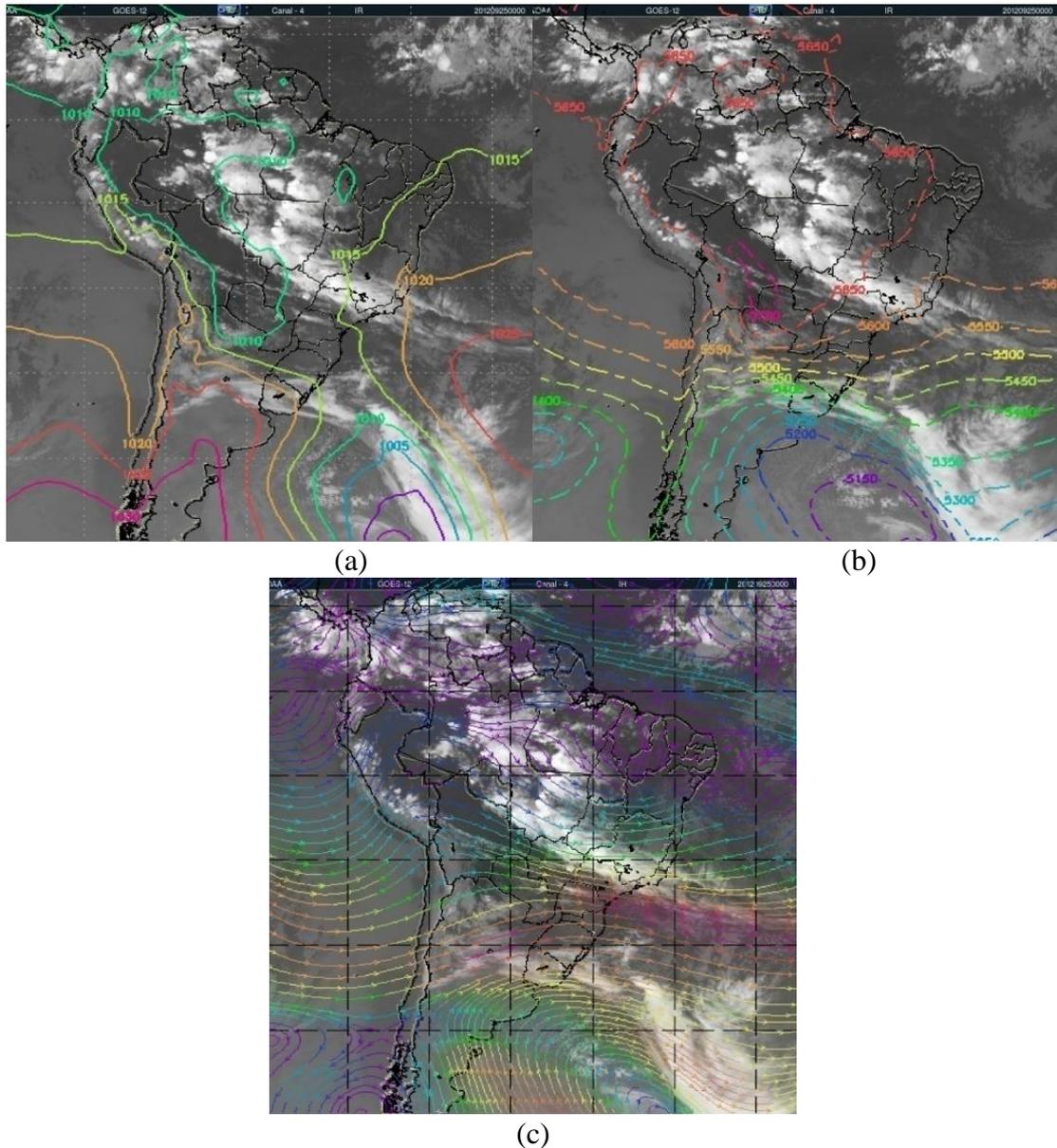


FIGURA 4.11 - Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 25/09/2012 00Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) campo de linha de corrente em 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

As seções verticais, representadas pela Figura 4.12, apresentam os cortes transversais feitos na longitude onde a frente fria se encontrava no dia 25/09/2012 às 00Z, em baixos níveis.

Os cortes verticais do vento mostram uma clara divisão na intensidade e direção dos ventos na latitude de 30°S, demarcando a presença da FF até 700hPa. Na retaguarda do sistema, os ventos são mais intensos em toda atmosfera, e mostram a inclinação da frente fria em direção ao ar frio, em latitudes mais altas (Figura 4.12a).

A Figura 4.12b mostra o corte vertical na vorticidade relativa. Sobre a FF, em baixos níveis, é visto a presença de vorticidade negativa fraca (ciclônica no HS) até cerca de 900hPa, acima disso a vorticidade fica positiva. Devido à inclinação da superfície frontal, a região com

vorticidade negativa está inclinada mais ao sul. Em baixos níveis, a frente secundária apresenta um núcleo de vorticidade ciclônica próxima da latitude de 43°S.

A temperatura apresenta uma superfície frontal que se estende até 400hPa com 1-2°/100km. Em baixos níveis o gradiente é mais intenso com queda de até 4°/100km na temperatura até 900hPa (Figura 4.12c).

No corte de θ_e , o gradiente é mais intenso, principalmente em médios e baixos níveis, apresentando valores de até 10°/100km da superfície a 650hPa. Porém, o gradiente atinge 350hPa com 1-2°/100km.

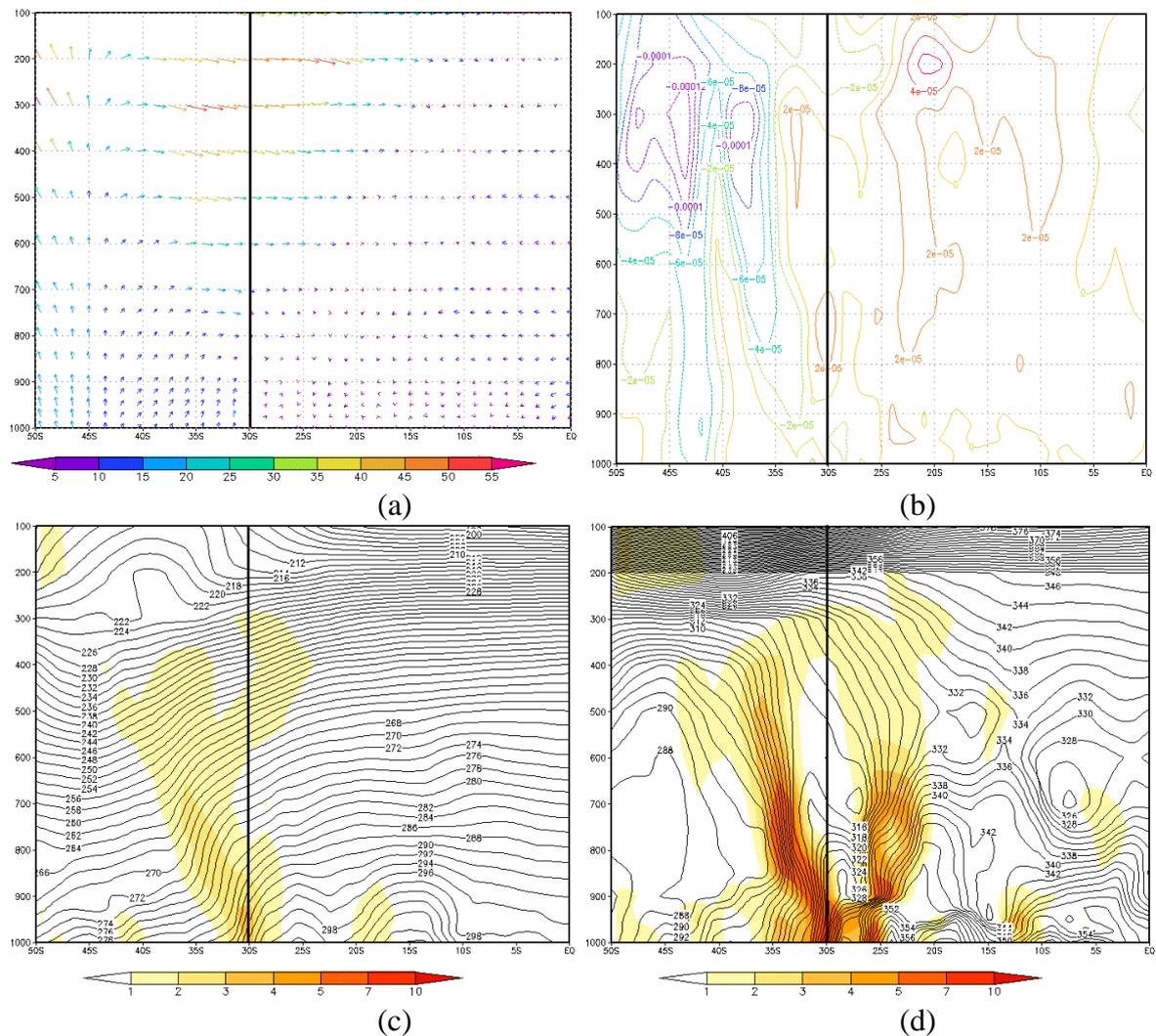


FIGURA 4.12 - Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 25/09/2012 às 00Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.

4.1.4. Tipo IV: frente secundária

Caso 14

A Figura 4.13 apresenta as imagens de satélite do canal IR sobrepostas com o campo de PNM, mostrando a evolução da frente secundária (FS), desde a sua formação até o horário anterior à chegada da FS na cidade de Porto Alegre.

No dia 26 às 12Z (Figura 4.13a), é observado o sistema frontal principal (B1), baroclínico, no estágio de desenvolvimento máximo, apresentando um centro de 970hPa ocluso e uma extremidade frontal (EF) que atinge a costa sudeste do Brasil. Mais a oeste, próximo do continente, na retaguarda da frente fria principal, um vórtice ciclônico de ar frio (VCAF) (B2) começa a se formar, com uma isóbara fechada de 995hPa, e nebulosidade posicionada mais a norte do centro do B2.

No horário seguinte (Figura 4.13b), o ciclone principal (B1) se desloca para sudeste, a pressão no centro diminui ainda mais para 965hPa, e a nebulosidade da EF movimenta-se para nordeste. O VCAF (B2) agora apresenta um padrão visual da nebulosidade em forma de nuvem vírgula invertida, exibindo o centro da baixa pressão abaixo da cabeça da vírgula, enquanto o cavado se posiciona aproximadamente sob a cauda da vírgula.

No dia 27 às 00Z (Figura 4.13c), o ciclone principal (B1) continua se deslocando para sudeste e a pressão no centro do B1 continua a cair, em 960hPa. Em B2, o vórtice apresenta um deslocamento para leste e uma diminuição da pressão no centro para 990hPa. Nessa figura é possível ver que a frente secundária se forma do prolongamento da cauda da nuvem vírgula atingindo o extremo sul do RS, na divisa com o Uruguai.

Na Figura 4.13d o ciclone principal (B1) não é mais visto na imagem de satélite, apenas a sua borda oeste, porém a sua extremidade frontal continua visível e parada no mesmo local. O VCAF (B2) continua se deslocando para leste, e o centro de pressão aumenta de diâmetro com o avanço do ar mais quente para o centro.

No dia 27 às 12Z (Figura 4.13e) a extremidade frontal de B1 continua no mesmo local. O B2 já se encontra no estágio maduro, apresentando vórtice ciclônico de baixos níveis até 700hPa, e frente secundária coincide com a posição do cavado bórico. A nebulosidade agora apresenta forma de espiral.

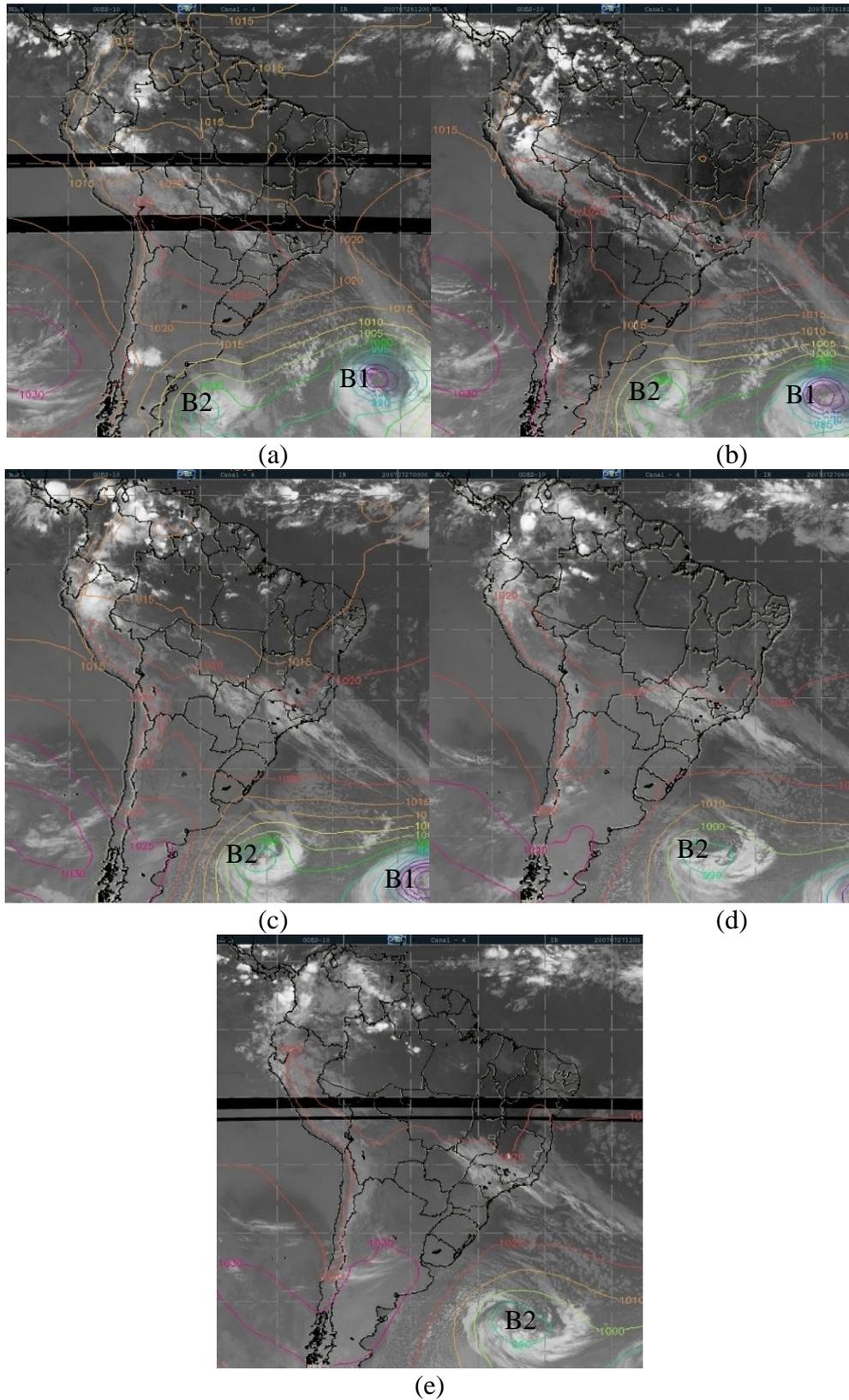


FIGURA 4.13 - Imagens do satélite GOES-10 do canal infravermelho entre os dias 26/07/2007 e 27/07/2007: (a) 26/07/2007 às 12Z; (b) 26/07/2007 às 18Z; (c) 27/07/2007 às 00Z; (d) 27/07/2007 às 06Z e (e) 27/07/2007 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

No dia 27 às 18Z a frente secundária chega à cidade de Porto Alegre. A frente principal, já afastada para leste no oceano, apresenta a extremidade frontal estacionária sobre o sudeste brasileiro.

No mapa de PNM e linhas de correntes em 925hPa, o vórtice ciclônico de ar frio (VCAF) que se formou a sudoeste do ciclone principal, no setor frio do ciclone, na retaguarda da frente fria principal, apresenta uma isóbara fechada de 990hPa. O cavado frontal se estende desde o centro do ciclone até o litoral do RS, não adentrando o continente.

Na Figura 4.14b, a vorticidade negativa no centro do ciclone B2 apresenta uma intensidade de $-18 \times 10^{-5} s^{-1}$. Ao se afastar do centro, a vorticidade perde força, e fica nula sobre o cavado.

O gradiente de temperatura, apresentado na Figura 4.14c, mostra a frente principal mais a norte, e a FS passando sobre POA com valores de até $3^{\circ}/100km$, que coincide com o campo de espessura e o cavado bórico.

A Figura 4.14d mostra que os gradientes de θ_e são mais intensos que os de temperatura, mostrando com mais precisão a posição das duas frentes. No caso da FS, o gradiente se liga ao centro do ciclone B2, e se intensifica sobre o continente, acompanhando o cavado.

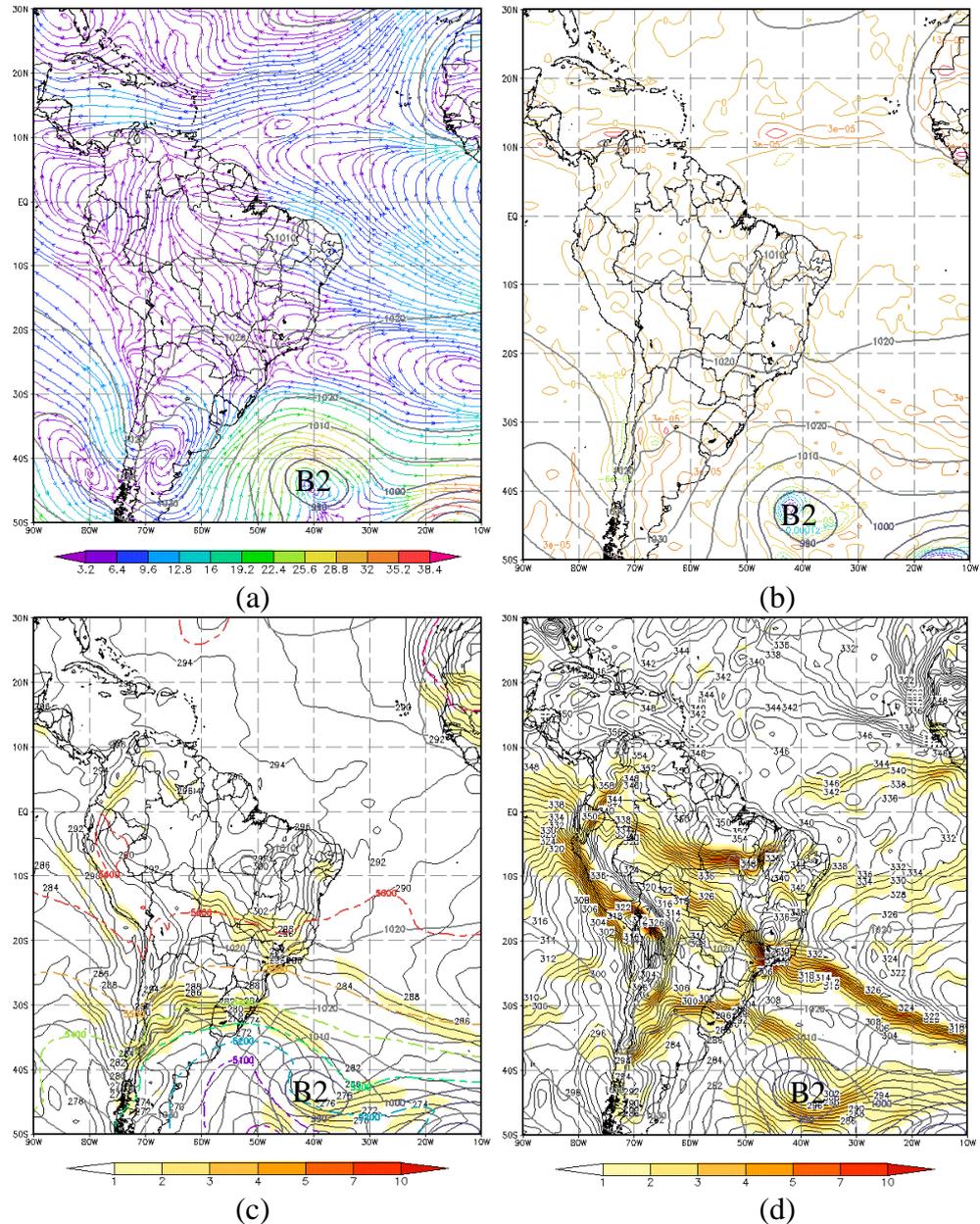


FIGURA 4.14 - Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 27/07/2007 às 18Z: (a) Linhas de Corrente em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Advecção de Temperatura Potencial Equivalente (em cores) e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

As imagens de satélite, apresentadas na Figura 4.15, foram sobrepostas com os campos de PNM (4.18a) e espessura (4.18b). Nessas imagens é possível ver a banda de nuvens da frente principal sobre o norte de SP, sul do MT, norte de MS, sul de GO, sul de MG e RJ, se estendendo para sudeste em direção ao oceano Atlântico.

A frente secundária aparece mais ao sul, onde na Figura 4.15a, a nebulosidade aparece ao redor do centro do ciclone secundário (B2), marcado pela isóbara de 990hPa. A nebulosidade não chega a atingir o continente, se mantendo exclusivamente sobre o oceano.

Analisando a Figura 4.15b, a espessura apresenta uma curvatura próxima ao centro do ciclone B2, compatível com a entrada de ar mais quente. A parte fria da onda fica a leste do centro do ciclone secundário (B2), entrando sobre o continente, onde o gradiente de espessura fica mais intenso, sobre o Uruguai e o RS.

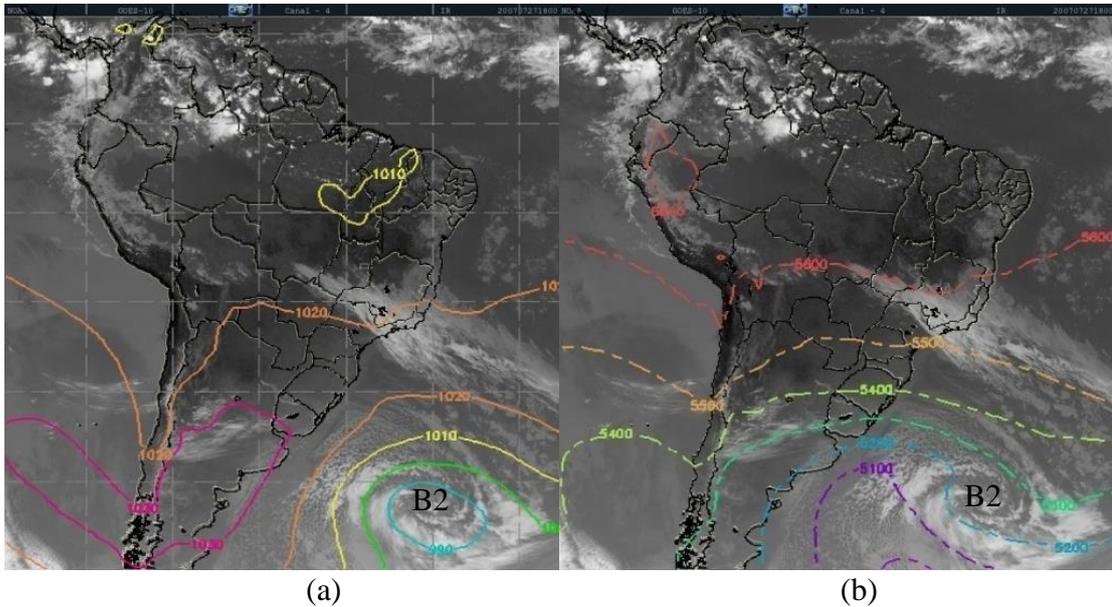


FIGURA 4.15 - Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 27/07/2007 às 18Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

O corte vertical do vento, apresentado na Figura 4.16a, mostra uma clara divisão entre a magnitude e a direção do vento, onde a FS é vista em baixos níveis (700hPa), na latitude da cidade de Porto Alegre (30°S). Na retaguarda da FS, os ventos estão mais intensos em toda a atmosfera.

Na Figura 4.16b, o corte vertical a vorticidade apresenta valores positivos na retaguarda do sistema e negativo na vanguarda. A FS se encontra na latitude de 30°S, onde o gradiente entre a vorticidade positiva e negativa é mais intenso.

A temperatura mostra que o gradiente atinge 350hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$. Em baixos níveis a intensidade era maior, de até $4^{\circ}/100\text{km}$ próximo a superfície (Figura 4.16c).

A superfície frontal vista através da temperatura potencial equivalente mostra o gradiente em 30°S até 300hPa, mais intenso do que o visto na temperatura, com valores de até $7^{\circ}/100\text{km}$. A frente primária também é visível entre 15-20°S.

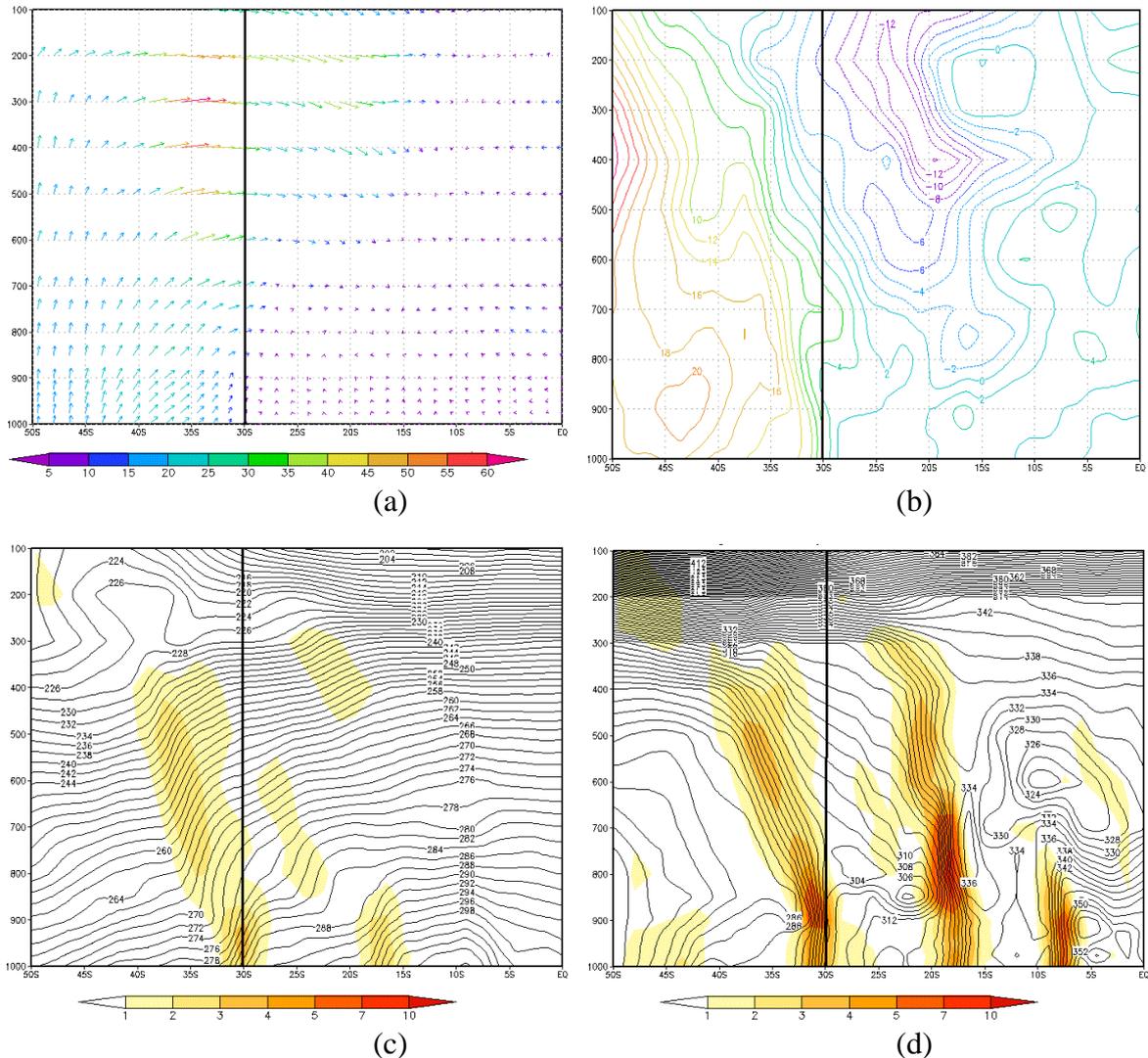


FIGURA 4.16 - Seção Vertical sobre a longitude de Porto Alegre 51°W no dia 27/07/2007 às 18Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.

4.1.5. Tipo V: frente fria com ciclogênese na região sudeste (não passando por Porto Alegre)

Caso 17

No dia 30/10/2011 às 06Z, no cavado procedente do ciclone localizado em 50°S/32°W, ocorre uma ciclogênese, em torno de 30°S/48°W. Ao se deslocar para leste, às 18Z, o cavado frontal atinge a cidade de São Paulo.

No mapa de linhas de correntes em 925hPa e PNM dia 30/10/2011 às 18Z, a Figura 4.17a apresenta uma isóbara fechada de 1005hPa em torno de 30°S/40°W (B2), onde mais ao sul é observado outro sistema ciclônico maior e mais intenso, com o centro fora da grade e pressão de 980hPa (B1).

A vorticidade relativa apresenta um valor de $-15 \times 10^{-5} s^{-1}$ no centro do ciclone (B2). Cercada por vorticidade positiva, o ciclone principal faz parte do cavado do ciclone mais ao sul (B1). O campo de PNM coincide perfeitamente com o núcleo de valores maiores de vorticidade negativa, confirmando a presença do ciclone, aproximadamente em $30^{\circ}S/42^{\circ}W$ (Figura 4.17b).

Na Figura 4.17a, o gradiente de temperatura é vista sobre a parte sul do ciclone B2 e também sobre a FF sobre a cidade de SP. A espessura é bem intensa sobre o gradiente de temperatura.

Na temperatura potencial equivalente, o gradiente aumenta de intensidade, principalmente no setor sul do B2, com valores que cegam a $10^{\circ}/100km$. Na FF, o gradiente se intensifica sobre o continente com valores também de até $10^{\circ}/100km$.

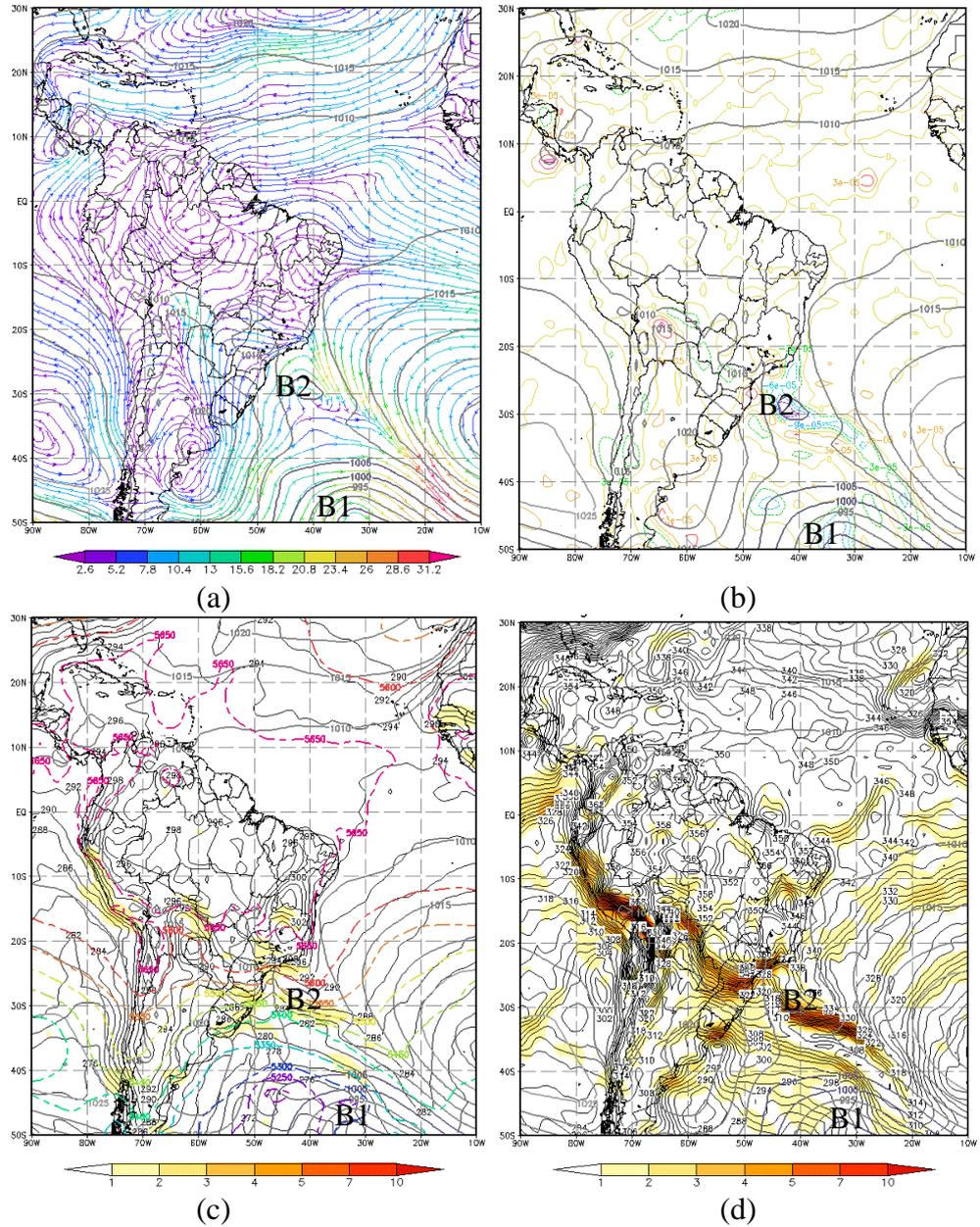


FIGURA 4.17 - Campos meteorológicos em baixos níveis sobrepostos no campo de PNM no dia 30/10/2011 às 18Z: (a) Vento em 925hPa (em cores); (b) Vorticidade Relativa em 925hPa (em cores); (c) Temperatura e Espessura 500/1000hPa (pontilhada) e (d) Temperatura Potencial Equivalente. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

As imagens de satélite, apresentadas na Figura 4.18, mostram a nebulosidade sobreposta com os campos de PNM, espessura e linha de corrente em 200hPa.

Na Figura 4.18a, a nebulosidade frontal se estende desde o ciclone B2 até o continente. O ciclone B1 apresenta a isóbara fechada no encontro da nebulosidade proveniente do ciclone B2 com a nebulosidade da corrente de jato.

O campo de espessura na Figura 4.18b, mostra que a nebulosidade se alinha perfeitamente à espessura tanto do ciclone B1, quanto do ciclone B2. A nebulosidade se expande na parte quente do sistema e apresenta nuvens cumuliformes e cirrus.

A Figura 4.2c ao sobrepor as linhas de correntes em 200hPa, mostra a influência da corrente de jato na nebulosidade. Posicionada exatamente sobre o ciclone B1, a corrente de jato apresenta uma região com nuvens Cirrus estriadas perpendicularmente à sua posição.

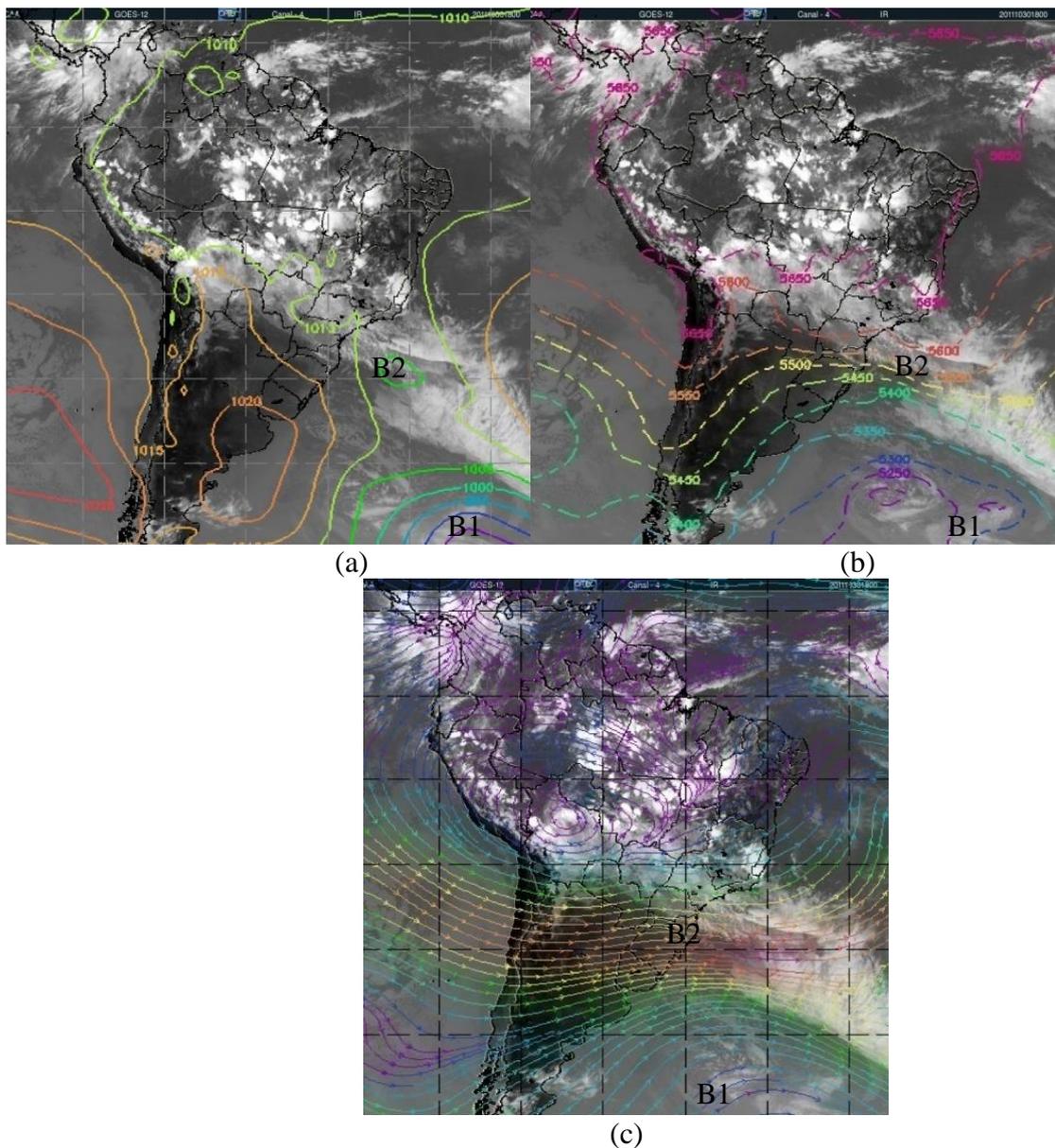


FIGURA 4.18 - Imagem de satélite do canal infravermelho para o dia 30/10/2011 18Z sobreposta com: (a) campo de PNM (b) campo de espessura da camada 500/1000hPa (c) campo de linha de corrente em 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

A Figura 4.19 apresenta os cortes verticais feitos na longitude da cidade de São Paulo. A seção vertical do vento (Figura 4.19a) mostra que na retaguarda da frente fria os ventos estão mais intensos e a mudança de direção ocorre exatamente onde a FF se posiciona em 700hPa. Na vanguarda os ventos são mais fracos. É possível observar a inclinação da frente, em direção ao sul, até altos níveis.

No campo de vorticidade (Figura 4.19b), o corte vertical mostra que gradiente está localizado na divisa entre vorticidade negativa (na vanguarda) e vorticidade positiva (na retaguarda). Entre 750-600hPa há um núcleo com vorticidade negativa de até $-4 \times 10^{-5} s^{-1}$.

O corte vertical na temperatura mostra o gradiente frontal até 300hPa, com pequenas variações de intensidade entre $1-3^{\circ}/100km$ na superfície e acima de 500hPa (Figura 4.19c).

Na Figura 4.19d a temperatura potencial equivalente atinge 250hPa também com valores mínimos. Apresenta valores de até $10^{\circ}/100km$ entre a superfície e 600hPa, diminuindo à medida que o nível aumenta.

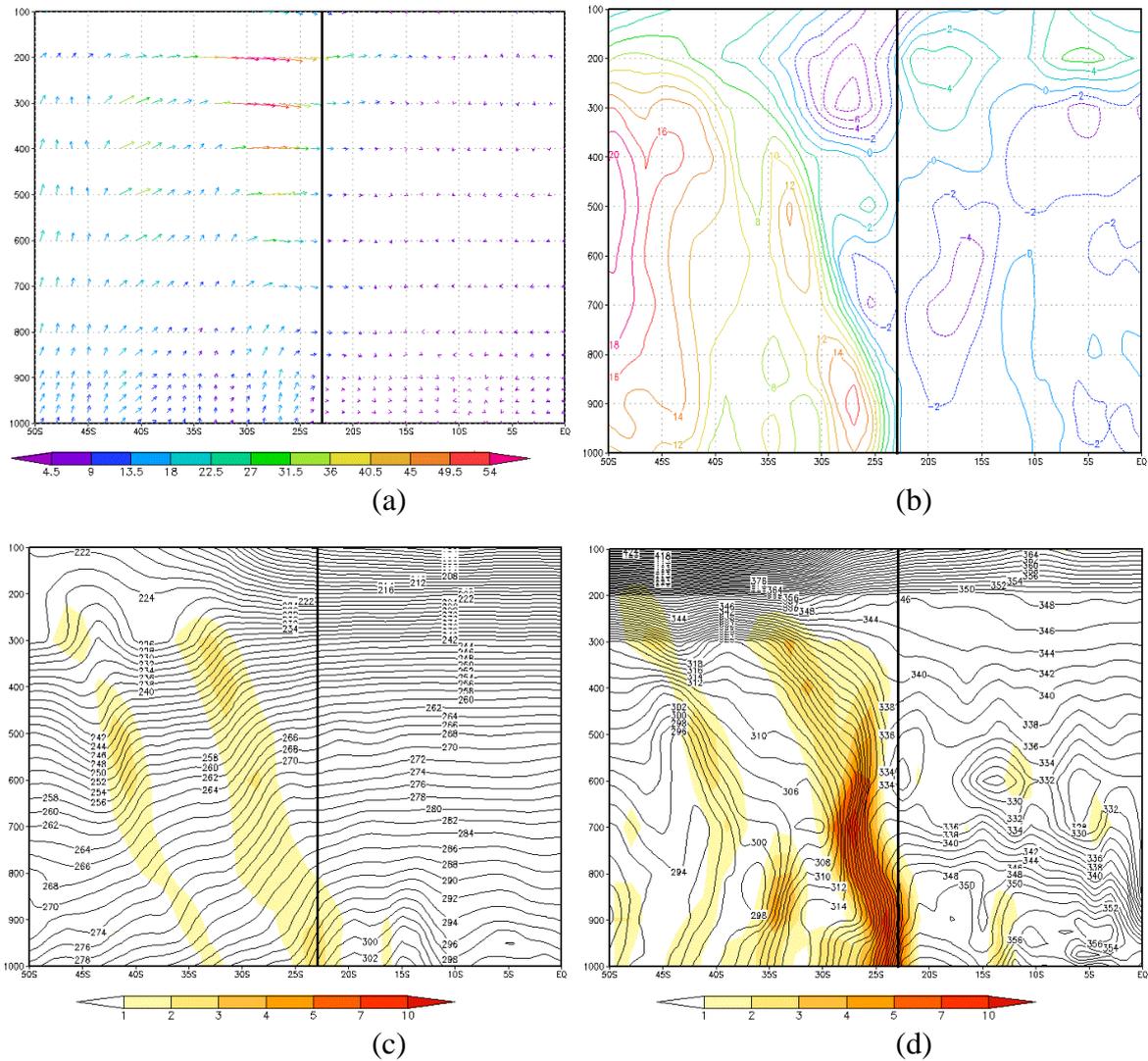


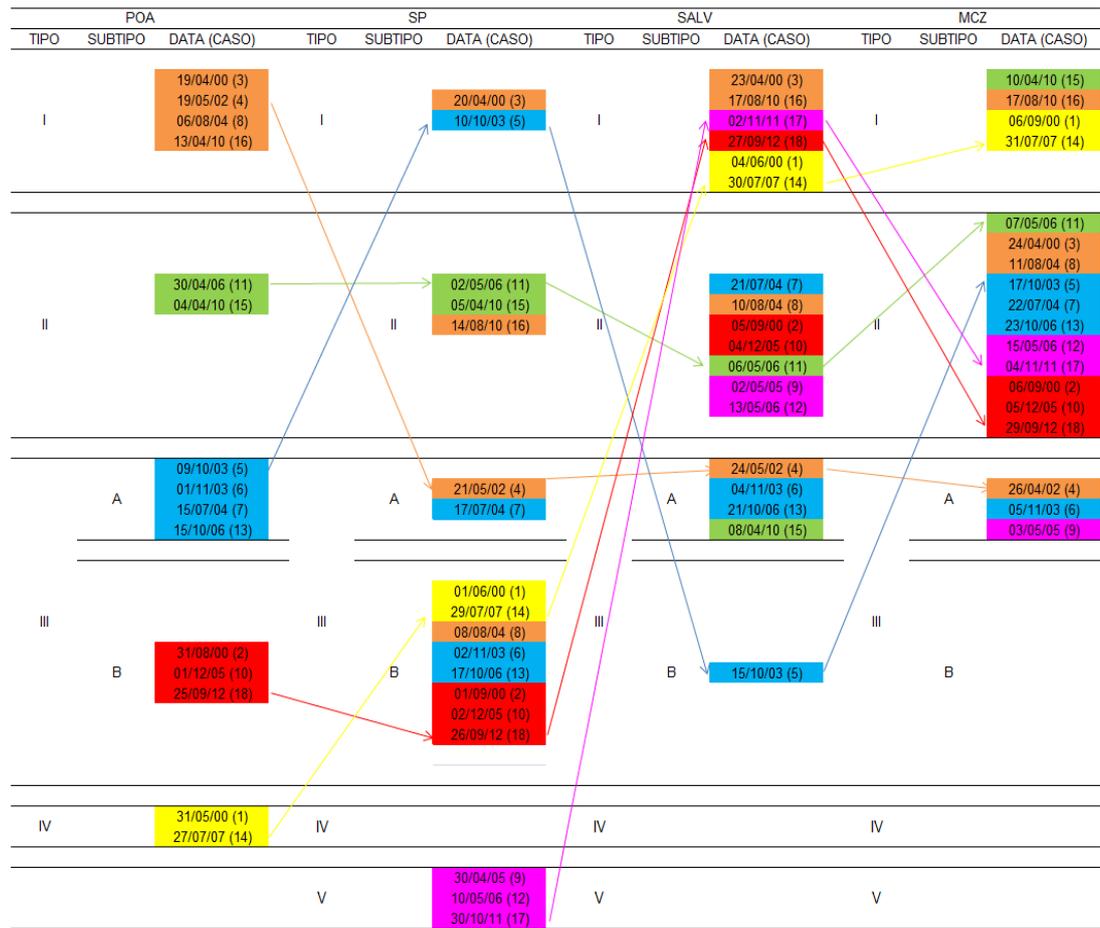
FIGURA 4.19 - Seção Vertical sobre a longitude de São Paulo 46°W no dia 30/10/2011 às 18Z de: (a) vento; (b) vorticidade relativa; (c) temperatura e (d) temperatura potencial equivalente. FONTE: de dados de reanálise do ECMWF.

4.2. Modificações dos tipos de nebulosidade durante a passagem da frente fria para o NEB

A frente fria, até chegar ao Estado de Alagoas, sofre modificações na sua estrutura. A seguir, são apresentadas as mudanças que a nebulosidade exibiu ao passar pelos pontos de observação já mencionados anteriormente.

A tabela 4.2 mostra todos os casos, divididos pelo tipo de nebulosidade, e as modificações que sofreram ao longo do percurso até o Estado de Alagoas, representado pela cidade de Maceió.

TABELA 4.2 – Modificação do tipo de nebulosidade em cada ponto de observação. Fonte: Autora



4.2.1. Modificações das frentes do tipo I

4.2.1.1. Modificações do caso padrão do tipo I

Caso 4

O caso começa em Porto Alegre como uma frente fria clássica, onde a nebulosidade frontal está dividida igualmente entre oceano e continente. Ao atingir a cidade de São Paulo, apresenta uma associação da nebulosidade frontal com uma convecção sobre o continente, sendo então representada pelo tipo IIIA, mantendo-se assim por Salvador e Maceió.

A Figura 4.20 apresenta as imagens de satélite sobrepostas com linhas de correntes em 925hPa, representando todo o sistema frontal, desde Porto Alegre até chegar ao Estado de Alagoas.

De Porto Alegre a São Paulo o ciclone principal (B1) continua seu deslocamento na direção sudeste (Figura 4.20a), e no dia 20 às 06Z ocorre uma ciclogênese no norte do Paraguai

em 22°S/60°W (Figura 4.20b). No dia 21 às 18Z esse novo ciclone está posicionado sobre o oceano Atlântico Sul, aproximadamente em 32°S/40°W com um centro de 1005hPa (B2), ainda no estágio de ciclone jovem, e a sua frente fria sobre a cidade de São Paulo (Figura 4.20c). O ciclone B2 também apresenta um deslocamento para sudeste, e no dia 23 às 12Z aproximadamente em 28°S/29°W sofre uma regeneração no cavado frontal, apresentando uma isóbara fechada de 1015hPa, originando um terceiro ciclone (B3) (Figura 4.20d).

No dia 24 às 00Z, a frente fria atinge a cidade de Salvador (Figura 4.20e). No dia 26 às 00Z, o ciclone B3 ao seguir a trajetória sudeste une-se a outro ciclone mais ao sul, porém a sua extremidade frontal atinge a cidade de Maceió (Figura 4.20f).

No dia 25 ocorre os maiores volumes registrados de precipitação nas regiões do Litoral com 26,5mm e no Baixo São Francisco com 23.3mm. No dia 26, o Baixo São Francisco continua registrando os maiores volumes com 14,6mm, seguido do Litoral e do Agreste ambos com 13,2mm registrados, como mostra a tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Precipitação registrada as zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 25, 26 e 27 de maio de 2002. Fonte: SEMARH-AL

Postos/Municípios	25/mai	26/mai	27/mai
Média Sertão	7.6	1.8	0.0
Média Sertão São Francisco	6.7	3.0	0.2
Média Agreste	13.1	13.2	0.0
Média Zona da Mata	12.4	8.1	1.7
Média Litoral	26.5	13.2	1.3
Média Baixo São Francisco	23.3	14.6	1.3

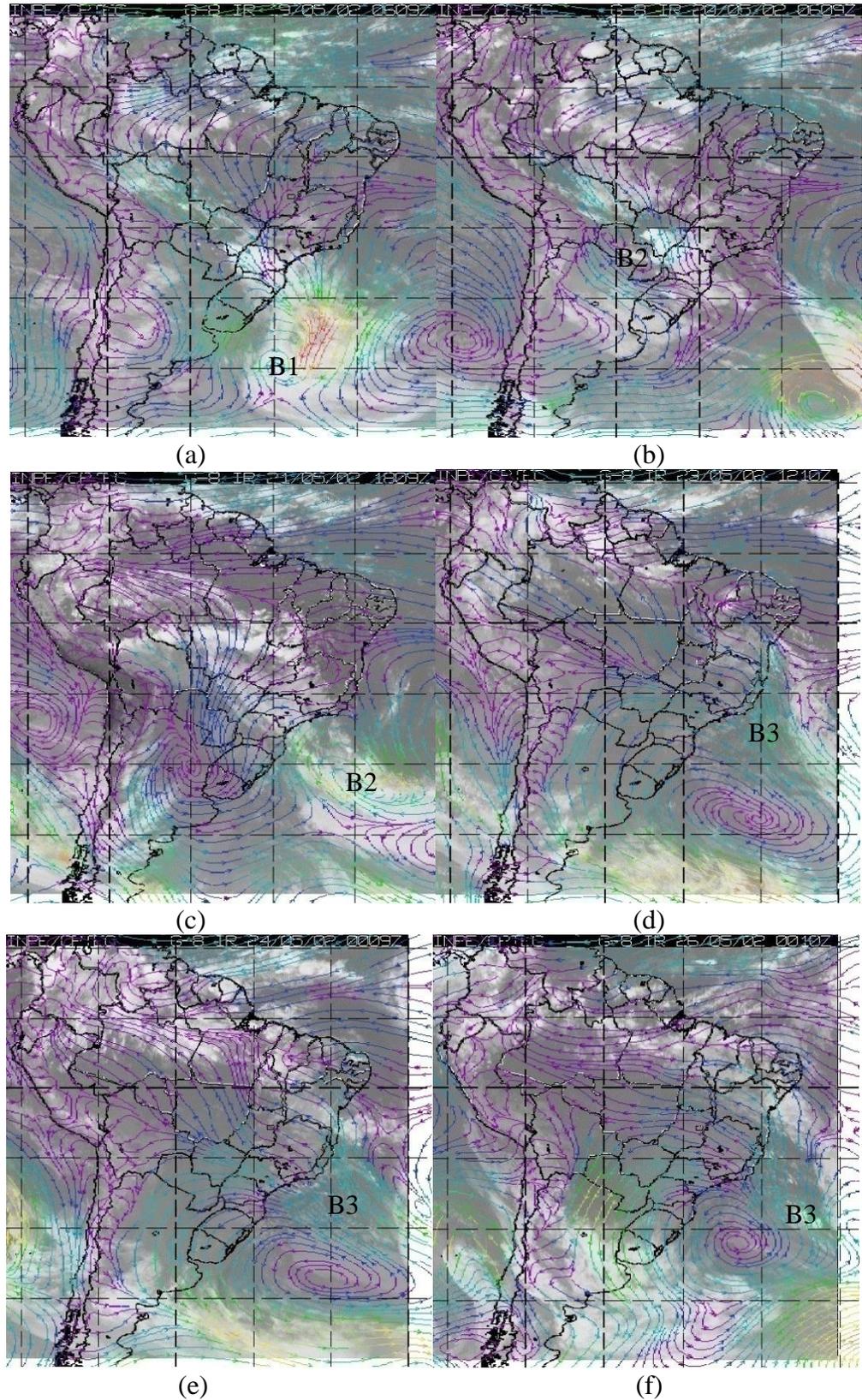


FIGURA 4.20 - Imagens de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 19/05/2002 06Z; b) 20/05/2002 06Z; c) 21/05/2002 08Z; d) 23/05/2002 12Z; e) 24/05/2002 00Z e f) 26/05/2002 00Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

A Figura 4.21 mostra o corte vertical feito no vento em todos os pontos de observação do caso 4.

Em POA (Figura 4.21a), ciclogênese (Figura 4.21b) e regeneração (Figura 4.21d) apresentam características frontais até 700hPa.

Em SP (Figura 4.21c) o vento fica mais intenso na retaguarda do sistema em baixos níveis, e a superfície fronta é vista até 750hPa.

Em SALV (Figura 4.21d) e MCZ (Figura 4.21f) o vento está bem fraco, sendo possível ver a superfície frontal somente até Salvador, atingindo 900hPa.

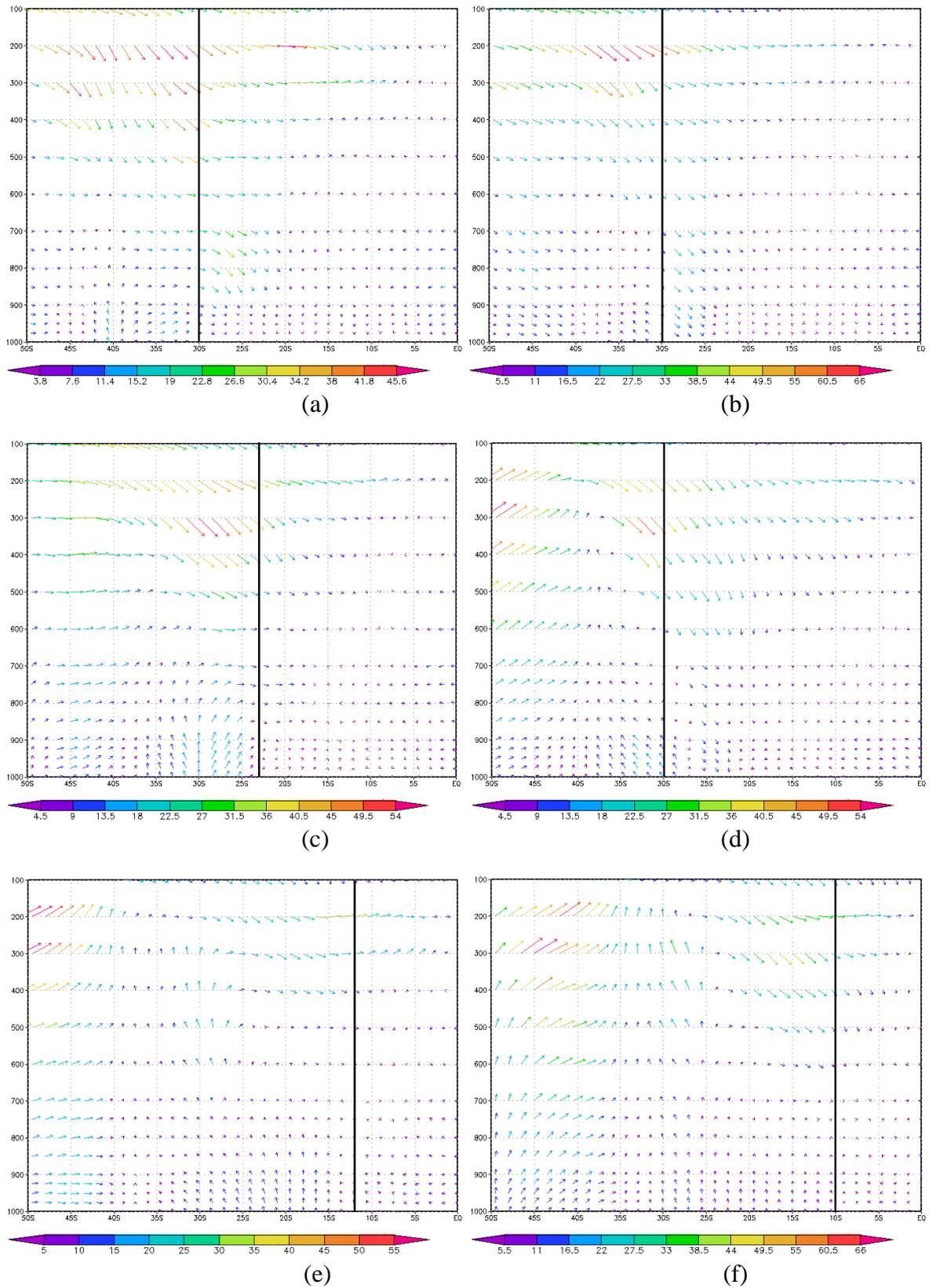


FIGURA 4.21 - Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Vorticidade Relativa

A vorticidade apresenta valores negativos apenas nos ponto de observação de: POA (Figura 4.22a) até 650hPa e na ciclogênese (Figura 4.22b) até 350hPa.

Em SP (Figura 4.22c) a vorticidade é positiva (anticiclônica) da superfície até 900hPa.

Nas Figuras 4.22d, 4.22e e 4.22f, da regeneração, Salvador e Maceió respectivamente, não apresentam características frontais, sendo nula a vorticidade nas latitudes correspondentes.

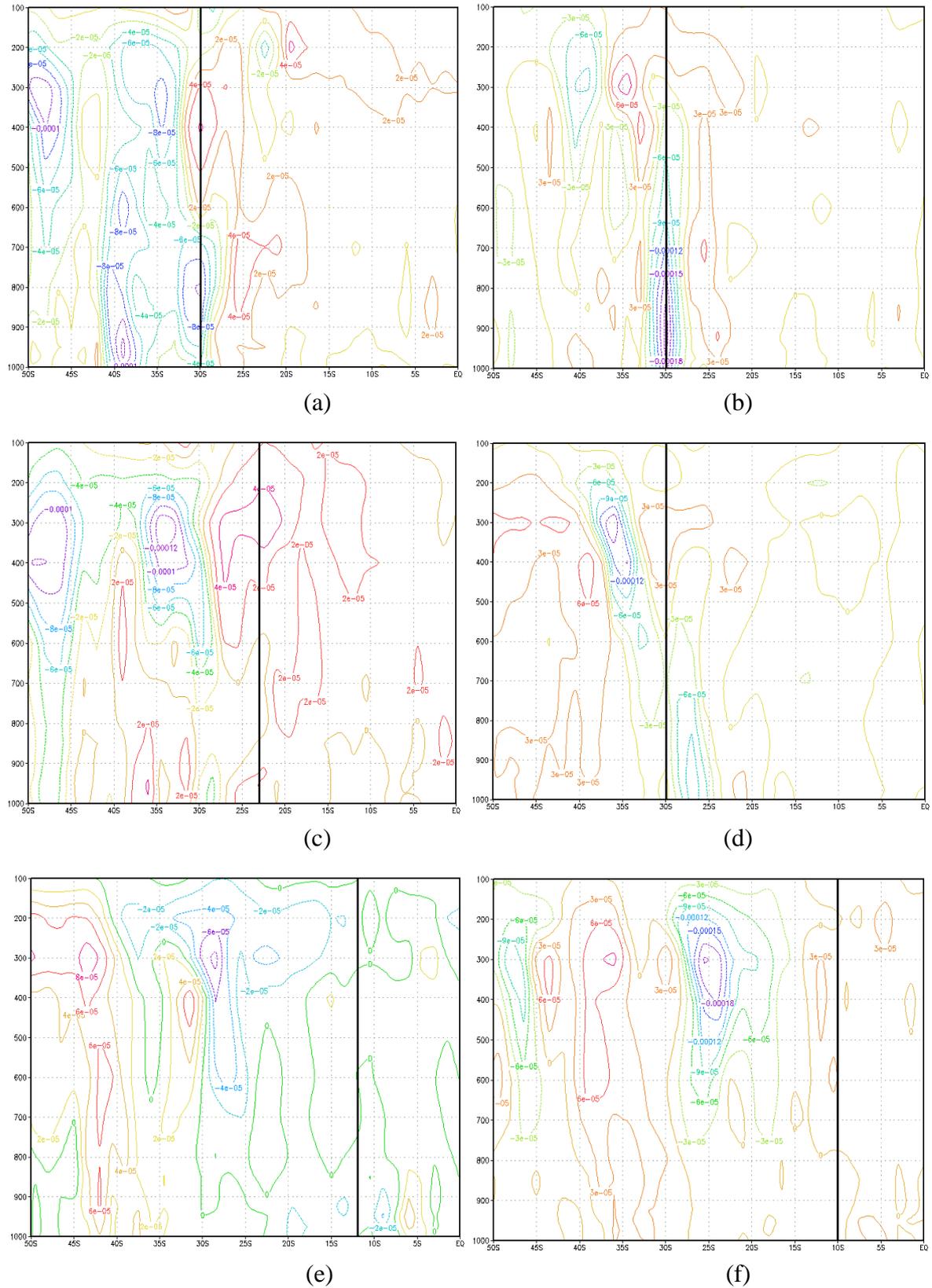


FIGURA 4.22 - Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura

A temperatura também não apresentou gradientes frontais em todos os pontos de observação.

Em POA (Figura 4.23a), SP (Figura 4.23c) e na regeneração (Figura 4.23d) o gradiente se mantém em baixos níveis, não ultrapassando os 700hPa. Na ciclogênese (4.23b), o gradiente vai até altos níveis, atingindo 250hPa com valores de 1-2°/100km.

Em SALV (Figura 4.23e) e MCZ (Figura 4.23f) o gradiente é nulo.

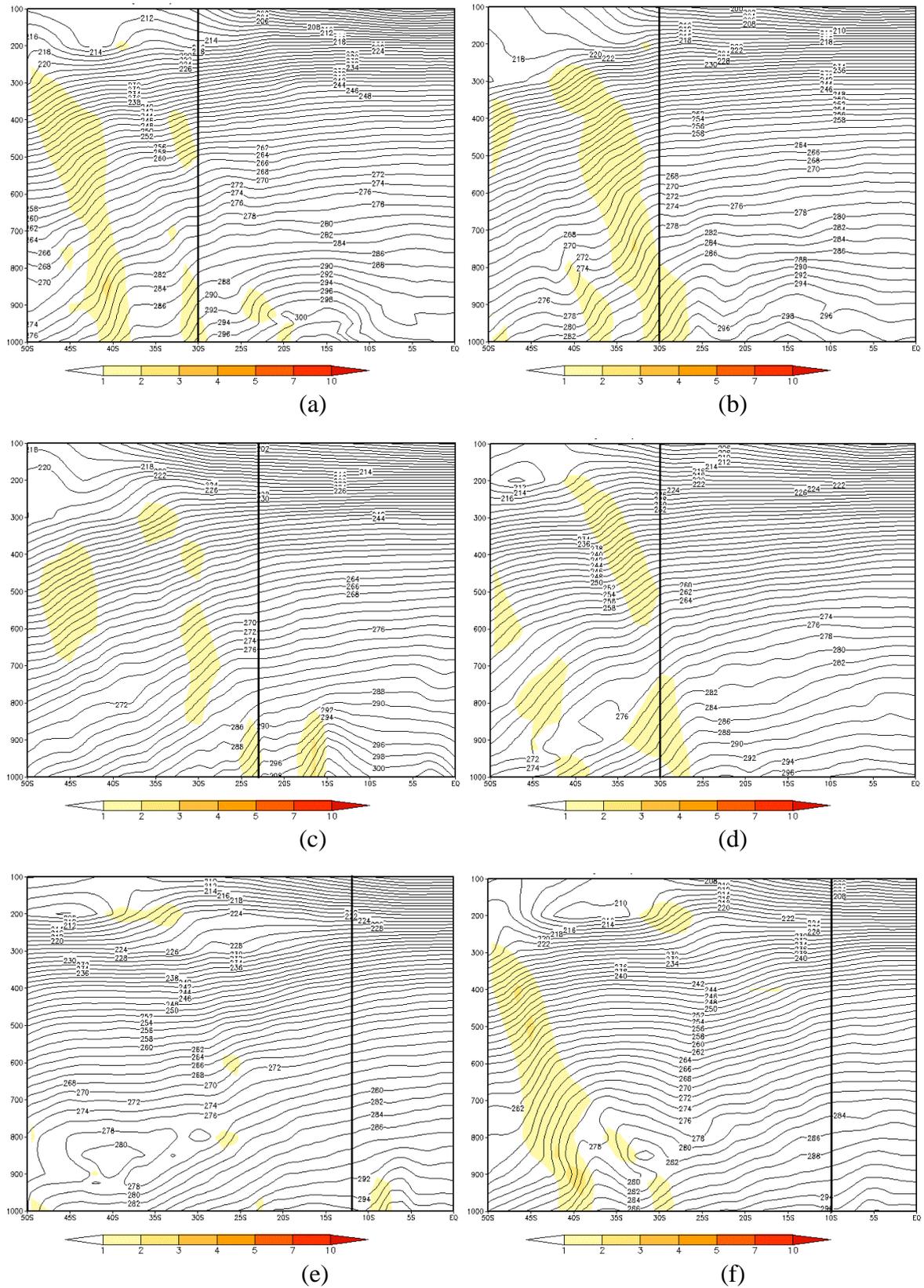


FIGURA 4.23 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

O corte vertical de θ_e mostra a superfície frontal em todos os pontos de observação no mínimo até 300hPa.

A ciclogênese (Figura 4.24b) mostra um gradiente mais intenso entre 850-700hPa de até $7^\circ/100\text{km}$, mas atinge 250hPa com apenas $1-2^\circ/100\text{km}$.

Em SP (Figura 4.24c) e na regeneração (Figura 4.24d) os gradientes atingem 200hPa com o valor mínimo. Em SP o gradiente é mais intenso com valores de até $7^\circ/100\text{km}$ entre a superfície e 600hPa. Na regeneração, o gradiente é mais fraco mas ocupa mais área, e mantém o valor de $4^\circ/100\text{km}$ da superfície até 400hPa.

Tanto em SALV (figura 4.24e) quanto MCZ (Figura 4.24f) o gradiente atinge até 300hPa também com a intensidade mínima, porém em médios níveis é registrado, em ambos os pontos de observação, valores mais altos, de até $4^\circ/100\text{km}$.

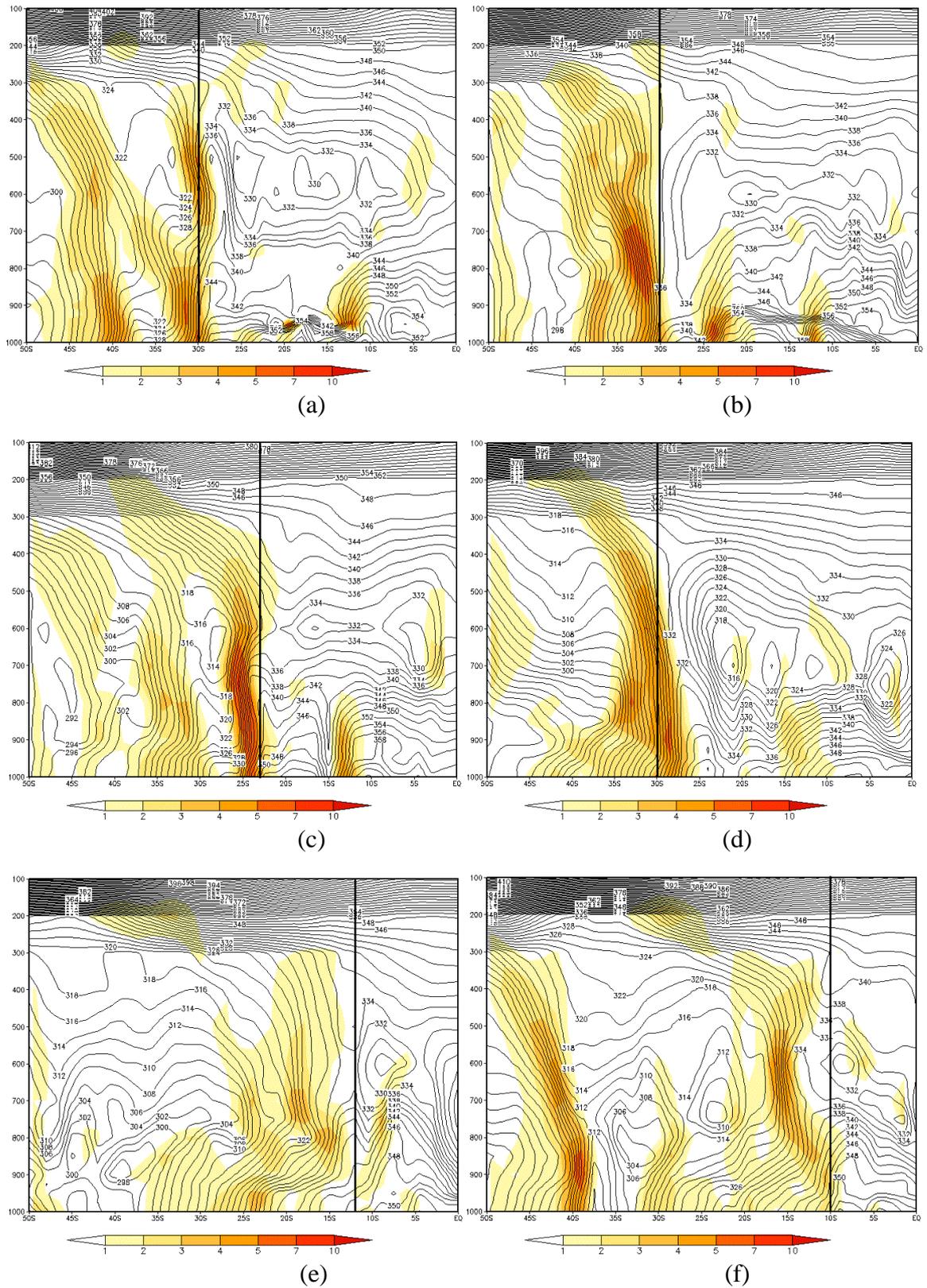


FIGURA 4.24 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 19/05/2002 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 21/05/2002 às 06Z (lon 47°W) - ciclogênese; c) 21/05/2002 às 12Z (lon 46°W) - SP; d) 23/05/2002 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; e) 24/05/2002 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 26/05/2002 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

4.2.1.2. Modificações dos outros casos do tipo I

Caso 3

No dia 19 de abril de 2000 às 06Z uma FF clássica se aproxima de POA, apresentando nebulosidade igualmente distribuída entre oceano e continente (tipo I). Após manter a mesma nebulosidade em SP no dia 20 às 06Z e SALV dia 23 às 12Z, a extremidade frontal (EF) chega em MCZ no dia 24 às 12Z com pouca nebulosidade sobre o continente.

A Tabela 4.4 mostra que o maior volume foi registrado um dia após a passagem da EF, no dia 25 na região do Litoral com uma média de 39,5mm.

TABELA 4.4 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 23, 24 e 25 de abril de 2000. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	23/abr	24/abr	25/abr
Média Sertão	0.0	0.0	3.0
Média Sertão São Francisco	0.0	0.2	3.6
Média Agreste	0.0	0.0	6.1
Média Zona da Mata	0.0	6.4	20.1
Média Litoral	0.0	6.3	39.5
Média Baixo São Francisco	0.0	1.4	11.5

Temperatura

No caso 3 a temperatura não se mostrou uma boa variável para a identificação frontal, pois apenas a Figura 4.25a que representa a cidade de POA, apresenta gradiente até 700hPa. Nos demais pontos de observação o gradiente frontal é nulo.

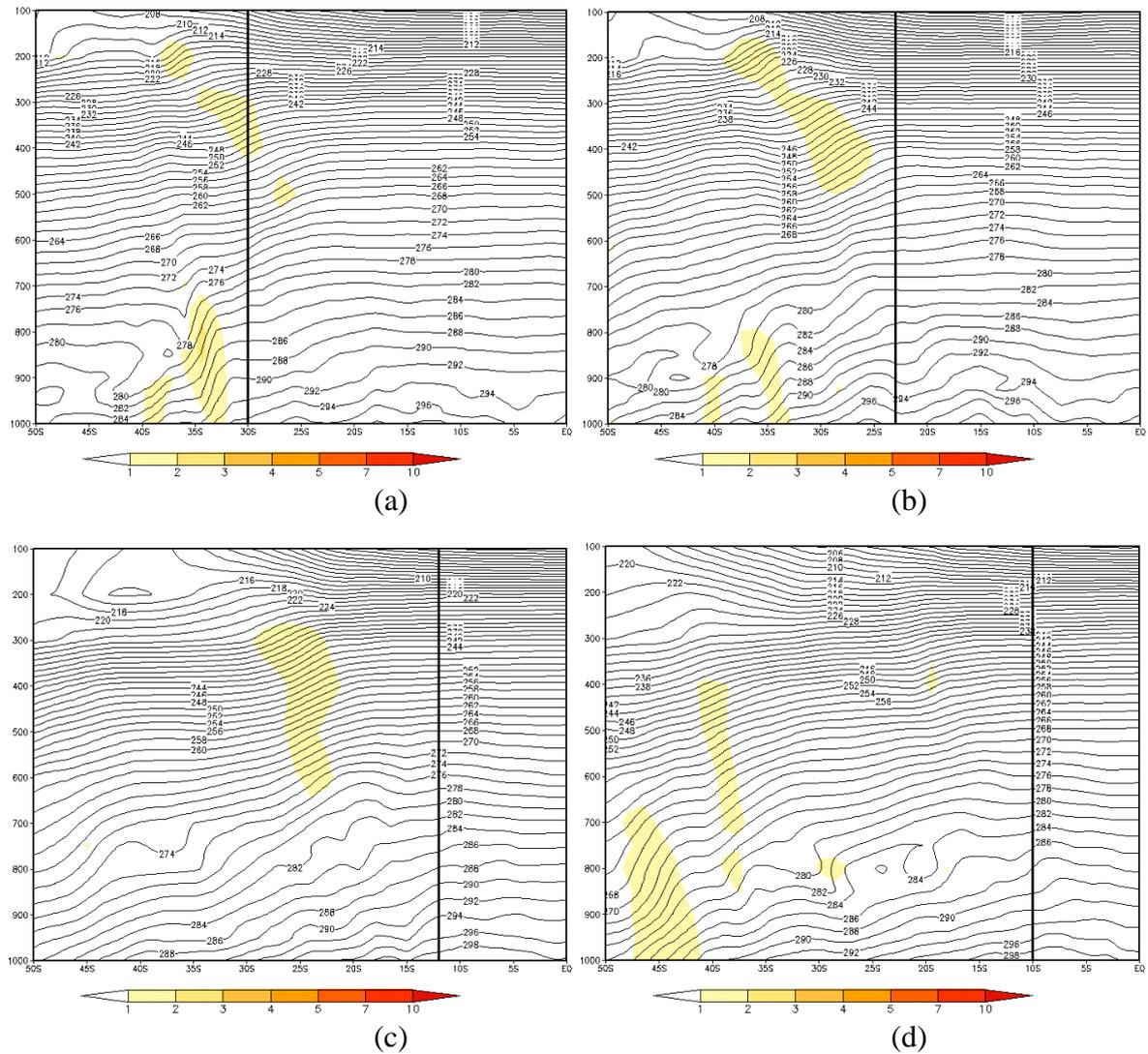


FIGURA 4.25 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 19/04/2000 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 20/04/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 23/04/2000 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 24/04/2000 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

O corte vertical em θ_e mostra, diferente do observado na temperatura, gradientes com características frontais até altos níveis.

Em POA (Figura 4.26a) as características são bem intensas, até 600hPa com $7^\circ/100\text{km}$, mas chega em 350hPa com valores de até $2^\circ/100\text{km}$.

Em SP, os gradientes chegam em 150hPa com $1\text{-}2^\circ/100\text{km}$, porém, em níveis mais baixos, comparando com os encontrados em POA, perdem intensidade apresentando valores de até $5^\circ/100\text{km}$ entre 800-500hPa (Figura 4.26b).

Tanto em SALV (Figura 4.26c) quanto em MCZ (Figura 4.26d) a superfície frontal se estende até 400hPa. Apesar disso, o gradiente em Salvador mostra valores entre $7\text{-}10^\circ/100\text{km}$

entre os níveis de pressão de 800-600hPa, enquanto que em Maceió os valores mais intensos se encontram entre 800-700hPa.

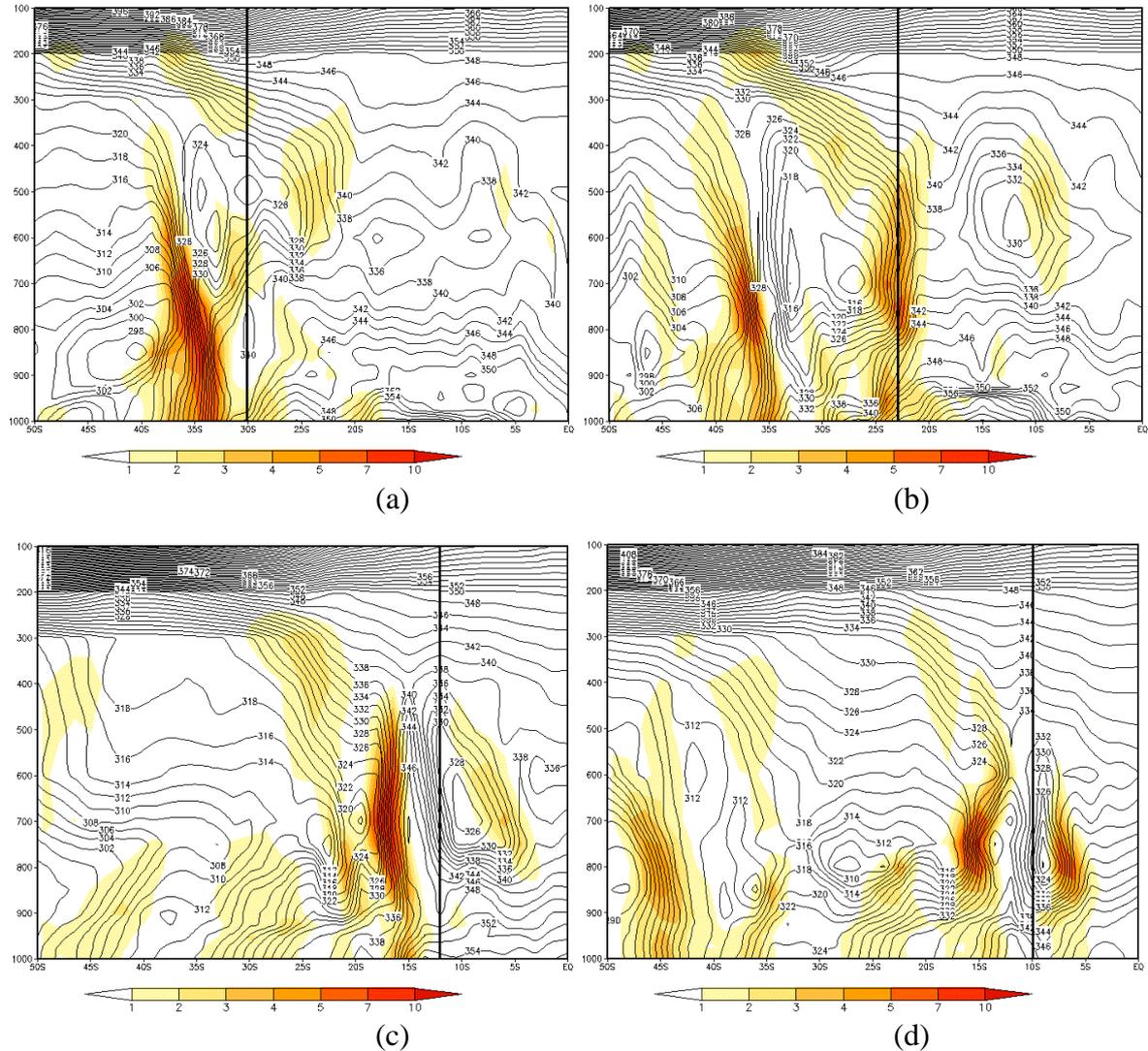


FIGURA 4.26 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 19/04/2000 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 20/04/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 23/04/2000 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 24/04/2000 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Caso 8

A FF chega à POA às 12Z do dia 06 de agosto de 2004, apresentando uma extremidade frontal que se estende até o oceano Pacífico.

No dia 08 às 00Z a FF se encontra sobre SP e com o deslocamento do sistema para leste, a nebulosidade frontal está principalmente sobre o oceano, enquanto que sobre o continente ocorre a união entre as nebulosidade frontais e da CJ (tipo IIIB). No mesmo dia, às 06Z, ocorre uma regeneração na FF em 35°S 39°W.

No dia 10 às 00Z a EF está sobre Salvador, a nebulosidade sobre o continente é pouca e sobre o oceano continua bem definida (tipo II).

Em Maceió, no dia 11 de agosto às 00Z a EF chega sem nebulosidade próxima a costa de Alagoas. A Tabela 4.5 mostra que a precipitação ocorreu principalmente no dia 10, nas regiões do Litoral e Zona da Mata com 31,3 e 25,3mm respectivamente, de média registrada.

TABELA 4.5 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 10, 11 e 12 de agosto de 2004. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	10/ago	11/ago	12/ago
Média Sertão	5.0	1.9	0.1
Média Sertão São Francisco	2.6	3.4	0.2
Média Agreste	5.3	9.3	1.9
Média Zona da Mata	25.3	9.2	2.8
Média Litoral	31.3	7.9	2.0
Média Baixo São Francisco	5.9	1.4	0.4

Temperatura

A Figura 4.27 mostra o corte vertical feito nos pontos de observação do caso 8.

Nas Figuras 4.27a; 4.27b e 4.27c, que respectivamente representam os pontos de: POA; SP e regeneração, é observado que o gradiente atinge altos níveis com o valor de 1-2°/100km. Em Porto Alegre e São Paulo o gradiente é mais intenso em baixos níveis com valores de até 3°/100km da superfície até 900hPa.

Em SALV (Figura 4.27d) e MCZ (Figura 4.27e) não foram observadas características frontais.

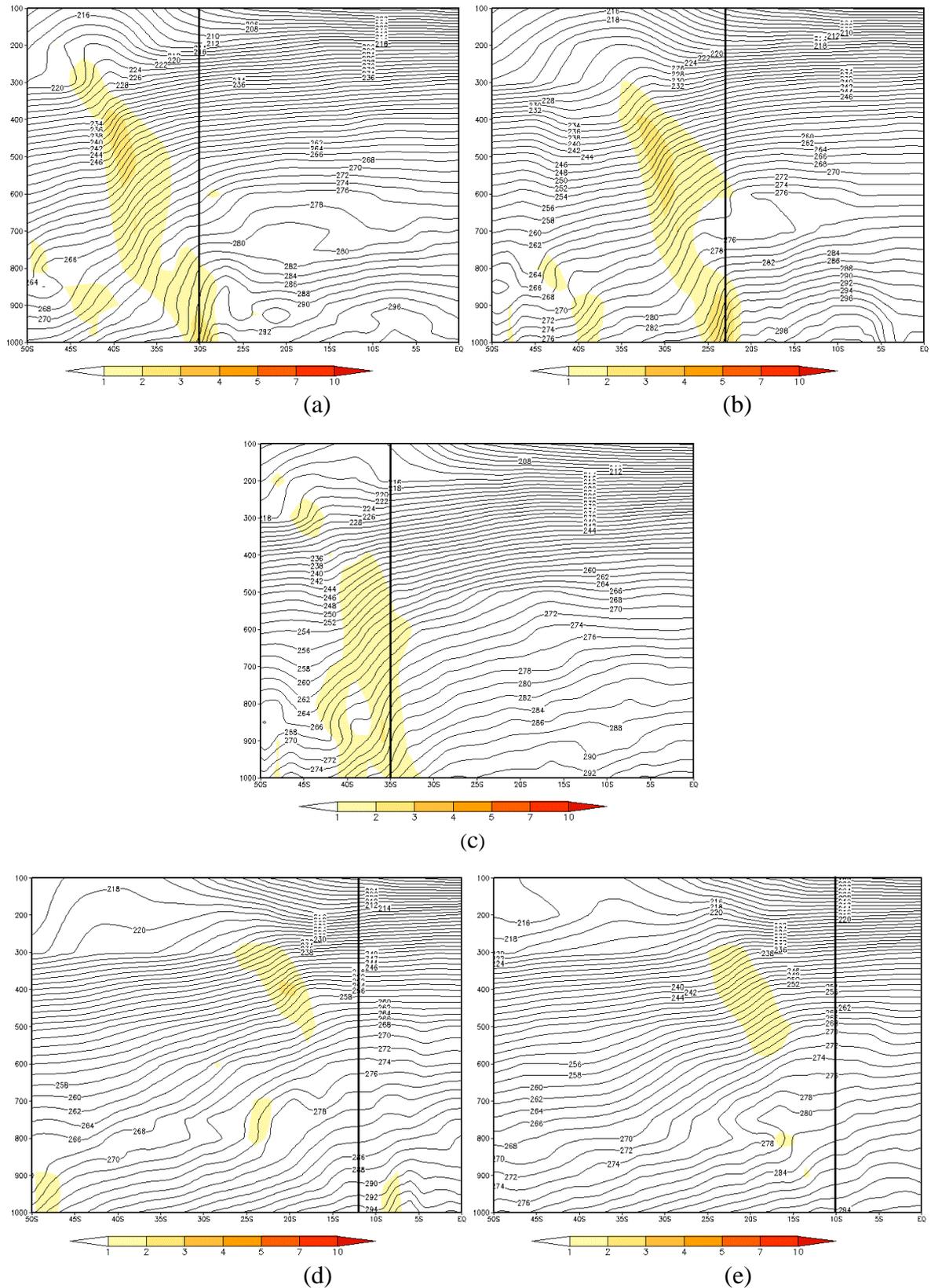


FIGURA 4.27 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 06/08/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 08/08/2002 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 08/08/2004 às 06Z (lon 39°W) - ciclogênese; d) 10/08/2004 às 00Z (lon 38°W) - SALV e e) 11/08/2004 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

A temperatura potencial equivalente mostra o gradiente até altos níveis em todos os pontos de observação. À medida que o gradiente se aproxima de latitudes mais baixas, vai perdendo intensidade.

Em POA (Figura 4.28a) o gradiente passa pela tropopausa e atinge 100hPa com 1-2°/100km. Manteve uma intensidade moderada de até 4°/100km até 400hPa, com núcleos mais intensos de até 7°/100km entre a superfície-900hPa e 800-600hPa.

Em SP apenas diminui a intensidade, chegando aos 300hPa, e os núcleos mais intensos também não mudam de altitudes, apenas diminuem a área (Figura 4.28b).

Na regeneração (Figura 4.28c) o gradiente vai até 100hPa com valores de 1-2°/100km, e ainda apresenta um núcleo mais intenso em 800hPa de até 5°/100km.

Em Salvador, a Figura 4.28d mostra que as características frontais alcançam 250hPa com 1-2°/100km e pouca variação na intensidade.

Maceió também mostra o gradiente em altos níveis, 100hPa, com queda de 1-2°/100km e entre 900-600hPa chega a 3°/100km (Figura 4.28e).

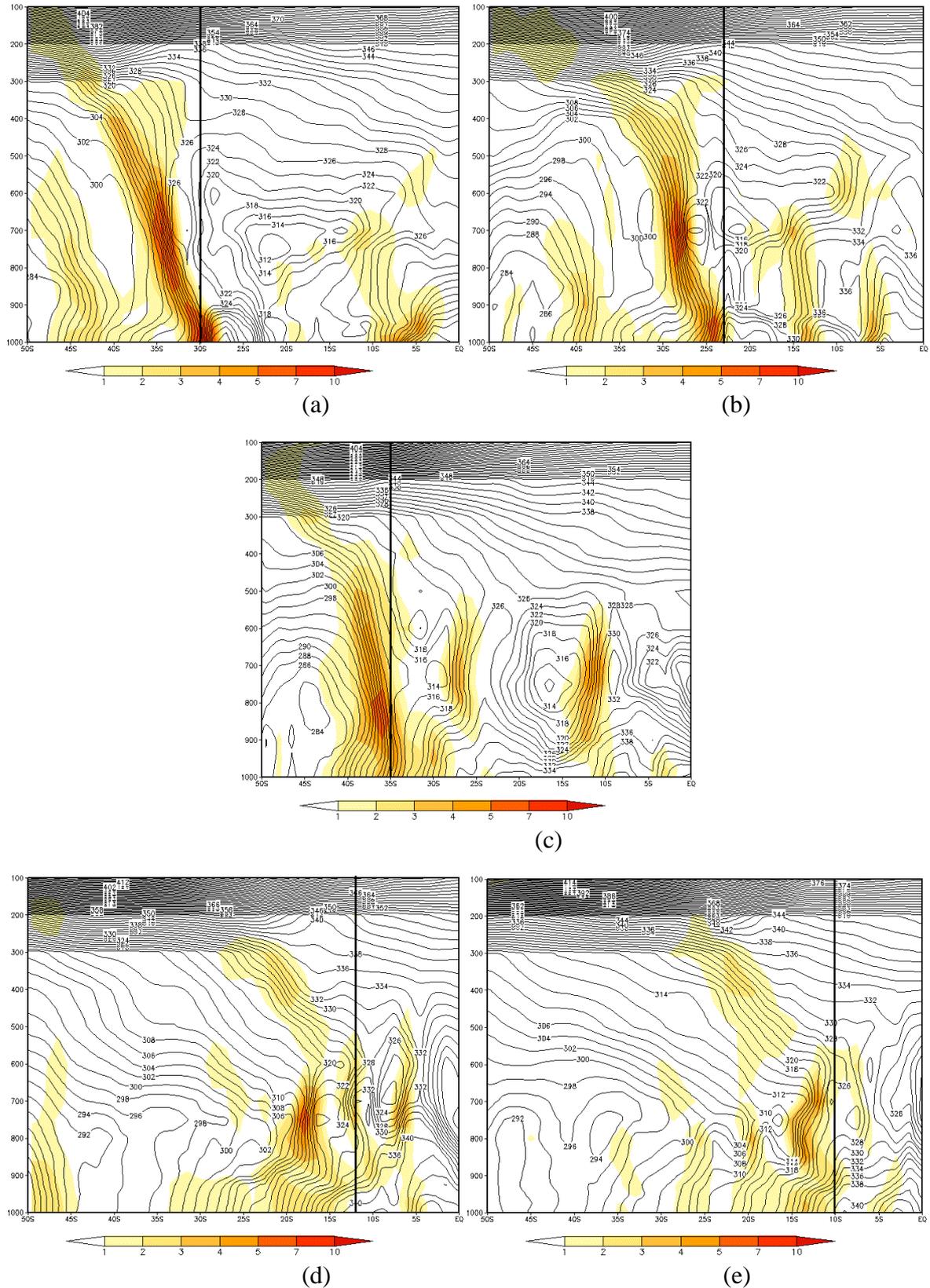


FIGURA 4.28 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 06/08/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 08/08/2002 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 08/08/2004 às 06Z (lon 39°W) - ciclogênese; d) 10/08/2004 às 00Z (lon 38°W) - SALV e e) 11/08/2004 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Caso 16

O caso 16 passa por Porto Alegre no dia 13 de agosto de 2010 às 06Z e sua nebulosidade se estende de Porto Alegre até a Cordilheira dos Andes ao norte da Argentina (tipo I).

Ao atingir SP no dia 14 às 00Z, com o sistema frontal posicionado mais a leste, a nebulosidade da FF sobre o continente é fraca e se concentra sobre o oceano no setor quente do ciclone (tipo II). Às 06Z do dia 14 ocorre a primeira regeneração em 35°S 40°W.

No dia 17 às 00Z a segunda regeneração ocorre em 28°S 22°W e ao mesmo tempo a EF chega à Salvador com pouca nebulosidade porém que cobre toda a parte leste da BA (tipo I).

Às 18Z do dia 17 a EF está sobre Maceió, com a nebulosidade rasa e sobre toda a parte leste do NEB (tipo II). Apesar disso, a Tabela 4.6 mostra que a média de precipitação entre o dia 16 e 18 de agosto de 2010 no Estado de Alagoas não passou de 11,8mm no dia 18 na região do Baixo São Francisco.

TABELA 4.6 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas, para os dias 16, 17 e 18 de agosto de 2010. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	16/ago	17/ago	18/ago
Média Sertão	1.7	4.0	3.9
Média Sertão São Francisco	1.7	0.2	1.5
Média Zona da Mata	0.2	6.8	8.7
Média Litoral	0.2	10.3	11.2
Média Baixo São Francisco	0.0	5.5	11.8

Temperatura

O corte vertical feito na variável de temperatura mostra que as características frontais se mantiveram entre baixos e médios níveis.

Em POA (Figura 4.29a) o gradiente mostra valores de 1-2°/100km até 750hPa.

Na Figura 4.29b, em SP, a superfície frontal atinge, entre a superfície e 800hPa até 3°/100km, porém chega aos 600hPa com 1-2°/100km.

Na primeira regeneração, o gradiente alcança 700hPa com 1-2°/100km, mas apresenta uma pequena intensificação próximo de 850hPa (Figura 4.29c). Já na segunda regeneração, os valores são mínimos, porém constante da superfície até 550hPa.

Em SALV (Figura 4.29e) não foram registradas características frontais, mas em MCZ (Figura 4.29f) são observadas até 900hPa.

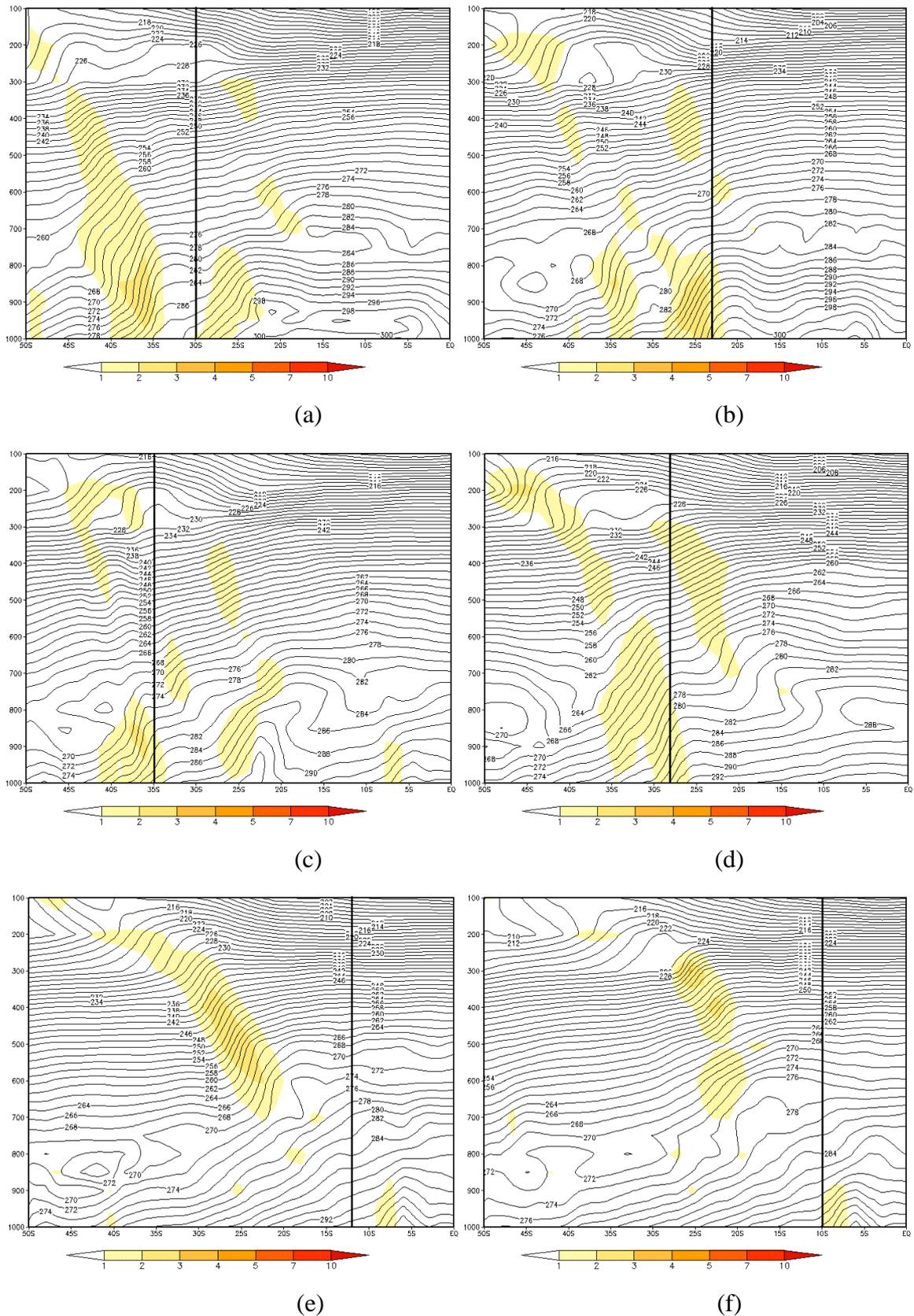


FIGURA 4.29 – Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 13/08/2010 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 14/08/2010 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 14/08/2010 às 06Z (lon 40°W) - regeneração; d) 17/08/2010 às 00Z (lon 22°W) - regeneração; e) 17/08/2010 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 17/08/2010 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

A Figura 4.30 representa o corte vertical feito nos pontos de observação do caso 16, e em todos o gradiente atinge até altos níveis.

Em POA (Figura 4.30a) o gradiente frontal se encontra sobre a linha preta, com baixa intensidade e que alça até 350hPa. O gradiente mais intenso em 35°S é visto nas imagens horizontais como sendo o centro do ciclone que se posiciona sobre a mesma longitude.

Em SP (Figura 4.30b), as características frontais são mais intensas, chegando aos 300hPa com o mesmo valor que em POA, porém entre a superfície e 500hPa o gradiente aumenta de intensidade chegando a apresentar perda de 7°/100km.

Ambas as regenerações (Figura 4.30c e 4.30d) mostram que os gradientes atingem acima de 150hPa com intensidade de até 2°/100km, porém entre 1000-600hPa ocorre um aumento da intensidade chegando a apresentar valores de até 5°/100km.

Em SALV (Figura 4.30e) a superfície frontal também ultrapassa a tropopausa e atinge 100hPa com valores de 1-2°/100km. Porém em MCZ (Figura 4.30f) chega somente até 250hPa.

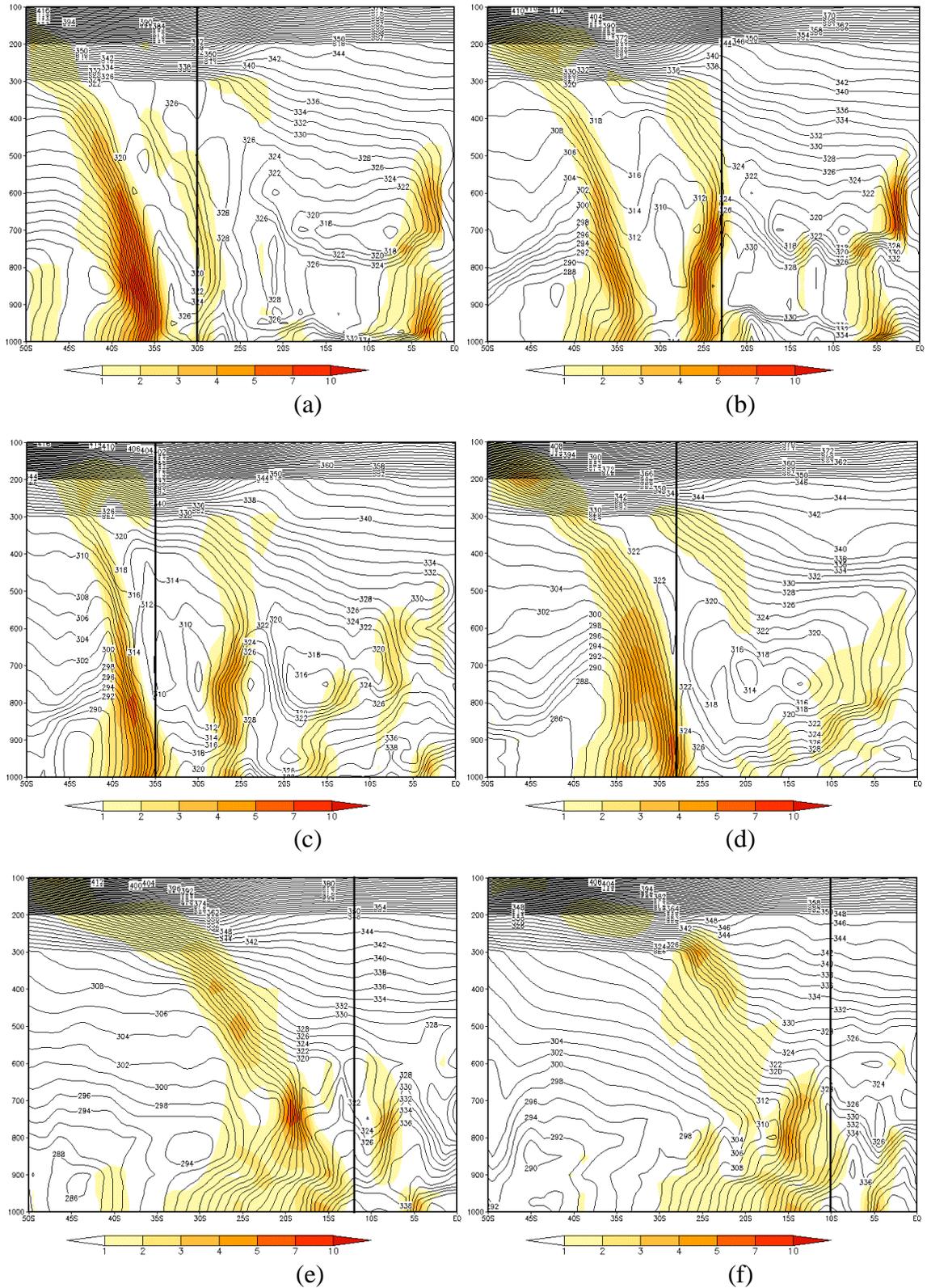


FIGURA 4.30 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 13/08/2010 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 14/08/2010 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 14/08/2010 às 06Z (lon 40°W) - regeneração; d) 17/08/2010 às 00Z (lon 22°W) - regeneração; e) 17/08/2010 às 00Z (lon 38°W) - SALV e f) 17/08/2010 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

A Tabela 4.7 mostra até que nível de pressão a variável apresentou as características frontais nos casos com tipo I de nebulosidade no primeiro ponto de observação (POA), e o desenvolvimento dos mesmos até a chegada do sistema em MCZ.

O vento se manteve em baixos níveis, não ultrapassando 600hPa, porém essa característica não exibiu, em nenhum caso, superfície frontal sobre MCZ.

A vorticidade também não apresentou resultados muito conclusivos, variando entre atmosferas com vorticidade nula, positiva ou negativa em baixos níveis. Somente a ciclogênese do caso 4 mostrou valores de vorticidade negativa até 350hPa.

A temperatura foi outra variável que, em muitos pontos de observação, não registrou gradientes com queda de temperatura o suficiente para ser classificada como frontal ($1^{\circ}/100\text{km}$). Quando apresentou, os gradientes variaram entre 900-250hPa, sempre atingindo a maior altura com o menor valor.

Somente a temperatura potencial equivalente consegue registrar gradientes frontais até latitudes próximas do equador. Os níveis de pressão máximos variam entre 400-100hPa onde também apresentam o valor mínimo ($1-2^{\circ}/100\text{km}$), porém a intensidade em médios e baixos níveis chega a variar entre $1-7^{\circ}/100\text{km}$.

TABELA 4.7 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo IV. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

PORTO ALEGRE				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 3	700hPa	600hPa	700hPa	350hPa
caso 4	700hPa	650hPa	800hPa	300hPa
caso 8	600hPa	750hPa	250hPa	100hPa
caso 16	nulo	975hPa	750hPa	350hPa

SÃO PAULO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 3	750hPa	nulo	nulo	150hPa
caso 4	750hPa	p 900hPa	850hPa	200hPa
caso 8	700hPa	nulo	300hPa	300hPa
caso 16	800hPa	nulo	600hPa	300hPa

SALVADOR				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 3	950hPa	750hPa	nulo	400hPa
caso 4	900hPa	nulo	nulo	300hPa
caso 8	900hPa	800hPa	nulo	250hPa
caso 16	nulo	nulo	nulo	200hPa

MACEIÓ				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 3	nulo	nulo	nulo	400hPa
caso 4	nulo	nulo	nulo	300hPa
caso 8	900hPa	850hPa	nulo	100hPa
caso 16	nulo	nulo	900hPa	250hPa

REGENERAÇÃO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 4	700hPa	nulo	700hPa	200hPa
caso 8	700hPa	p 700hPa	400hPa	100hPa
caso 16 (1)	600hPa	p 800hPa	750hPa	150hPa
caso 16 (2)	900hPa	p 750hPa	550hPa	100hPa

CICLOGÊNESE				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 4	700hPa	350hPa	250hPa	250hPa

4.2.2. Modificações das frentes do tipo II

4.2.2.1. Modificações do caso padrão do tipo II

Caso 11

No dia 30 de abril de 2006 às 12Z uma frente fria com chega à cidade de POA. Apresentando pouca nebulosidade sobre o continente, se concentrando mais no oceano (tipo II), a frente fria está ligada a um ciclone extratropical (Figura 4.31a).

Com deslocamento para nordeste, o sistema frontal chega à SP no dia 02 de maio às 18Z. A nebulosidade se concentra no oceano, tanto na frente fria, quanto no centro do ciclone. O continente continua apresentando pouca nebulosidade (tipo II) (Figura 4.31b).

No dia 02, o ciclone principal se deslocou para leste, na longitude de 40°W, onde permaneceu até o dia 05, quando começou a enfraquecer e se uniu a outro ciclone que passava ao sul de 40°S.

A EF atinge SALV no dia 06 às 06Z, como mostra a Figura 4.31c. O ciclone não é mais visto na imagem de satélite nem no mapa do vento em 925hPa, porém é possível identificar um cavado próximo de 20°S30°W. A nebulosidade continua mais intensa sobre o oceano (tipo II).

No dia 07 às 18Z, a EF chega à MCZ (Figura 4.31d). A imagem de satélite mostra que pouca nebulosidade sobre o continente e também sobre o oceano nas proximidades do Estado de Alagoas. O mapa de linhas de correntes em 925hPa mostram que sobre Alagoas, os ventos são moderados e de quadrante sul. Tanto que, o maior volume registrado foi o de 10,7 mm no dia 07 de maio na Zona da Mata (Tabela 4.8).

TABELA 4.8 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 06, 07 e 08 de maio de 2006. FONTE: SEMARH-AL.

Postos/Municípios	06/mai	07/mai	08/mai
Média Sertão	0.0	0.0	0.0
Média Sertão São Francisco	0.0	1.1	0.3
Média Agreste	0.0	0.0	1.5
Média Zona da Mata	0.0	10.7	8.1
Média Litoral	0.0	1.6	4.1
Média Baixo São Francisco	0.0	3.6	8.3

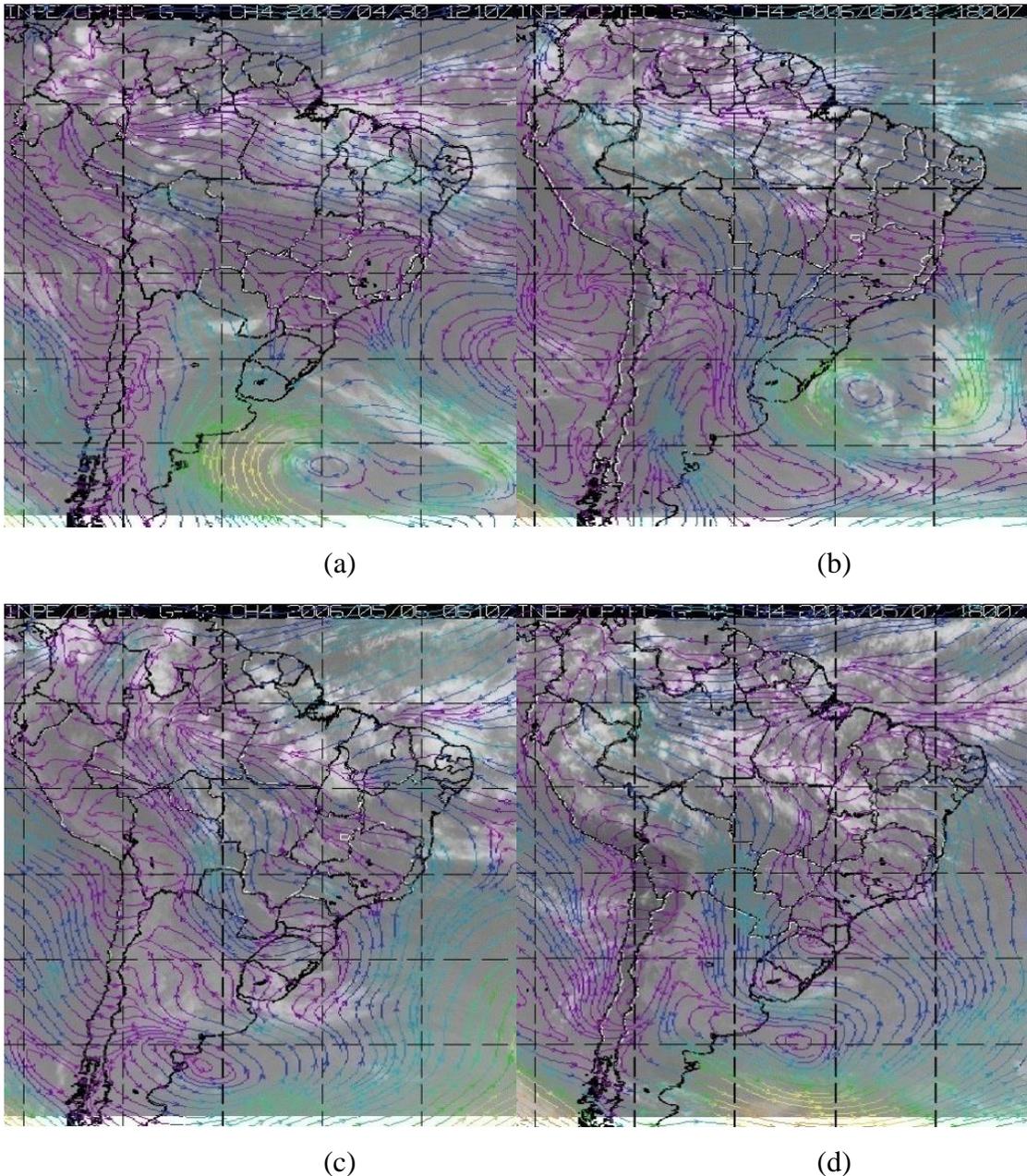


FIGURA 4.31 - Imagens de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z; b) 02/05/2006 às 18Z; c) 06/05/2006 às 00Z e d) 07/05/2006 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

O corte vertical do vento, de todos os pontos de observação do caso 11, é mostrado na Figura 4.32. O primeiro ponto de observação é em POA e tem o corte feito na longitude de 51°W no dia 30 de abril de 2004 às 12Z. A linha preta na Figura 4.32a identifica a latitude da cidade de POA, onde a FF se encontra sobre, em baixos níveis (lat 30°S). A Figura mostra que até 850hPa os ventos apresentam uma modificação na direção e velocidade do vento, devido à presença da FF. Acima de 600hPa nota-se o forte aumento da velocidade do vento e a mudança

brusca na direção, aumentando à medida em que chegam à tropopausa, indicando a presença de uma CJ.

A Figura 4.32b mostra o corte feito na cidade de SP (lat 23°S e lon 46°W). Os ventos, apesar de fracos, ainda mostram uma diferença de no mínimo 30° na direção do vento em 800hPa. Acima de 600hPa ainda é possível notar a presença da CJ, pelo aumento da velocidade do vento e da diferença de 180° na direção do vento.

As Figuras 4.32c de SALV (lat 12°S e lon 38°W) e 4.32d de MCZ (lat 10°S e lon 36°W), apresentam ventos fracos em baixos níveis nos dias em que a EF se encontrava sobre as cidades. A falta de mudança de direção e a baixa velocidade do vento indicam que não há mais presença de características frontais sobre esses pontos de observações.

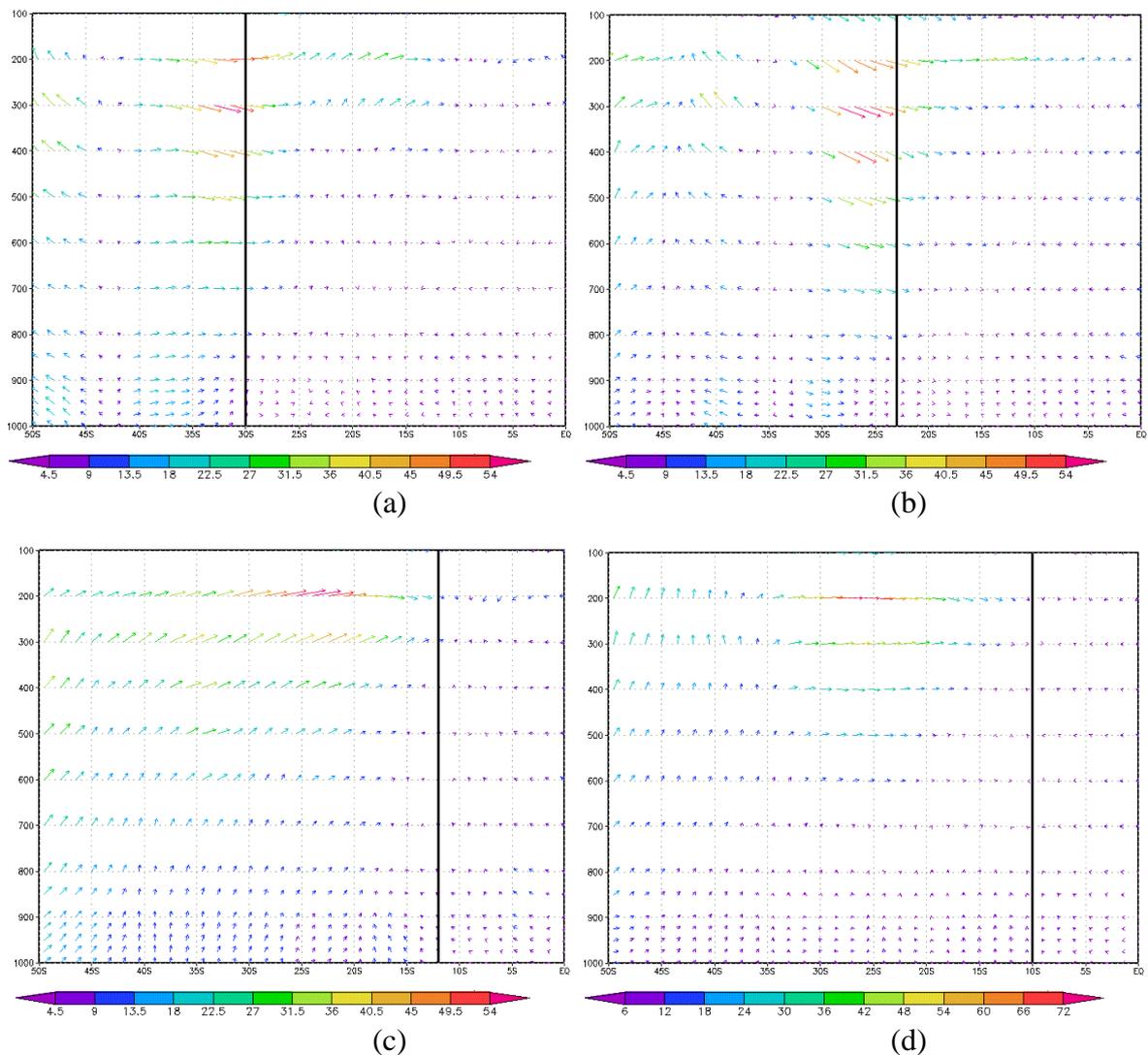


FIGURA 4.32 - Seção Vertical de Vento para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/5/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

Vorticidade Relativa

A Figura 4.33 mostra a seção vertical feita na vorticidade relativa em todos os pontos de observação do caso 11. Em POA, a Figura 4.33a mostra que em baixos níveis, na latitude de 30°S , onde a FF se encontra sobre, a vorticidade é positiva (anticiclônica), não indicando a presença de vorticidade ciclônica sobre o continente. Mais ao sul de 35°S nota-se a presença de vorticidade negativa (ciclônica) devido à presença do centro do ciclone, nessa mesma longitude (51°W), como visto na Figura 4.31a. É visto também que a partir de 600hPa a intensidade da vorticidade aumenta devido à presença de ventos mais fortes em níveis mais altos.

Em SP (Figura 4.33b), a vorticidade até 800hPa é nula, acima de 700-200hPa, em 23°S , fica positiva. Apenas ao sul de 25°S que a vorticidade apresenta valores negativos, mostrando o mesmo padrão que visto em POA, onde a FF não atinge o continente, e o centro do ciclone é visto em latitudes mais altas. Entre 500-200hPa também ocorre um aumento da intensidade, principalmente da vorticidade negativa.

A Figura 4.33c mostra o corte vertical sobre a cidade de SALV. Em baixos níveis, até 900hPa, é possível ver um pequeno núcleo de vorticidade negativa na retaguarda da EF. De 850-100hPa a vorticidade se mantém positiva, aumentando à medida que se aproxima da tropopausa.

Em MCZ (Figura 4.33d) a vorticidade é nula, não apresentando mais ligação nenhuma com a EF.

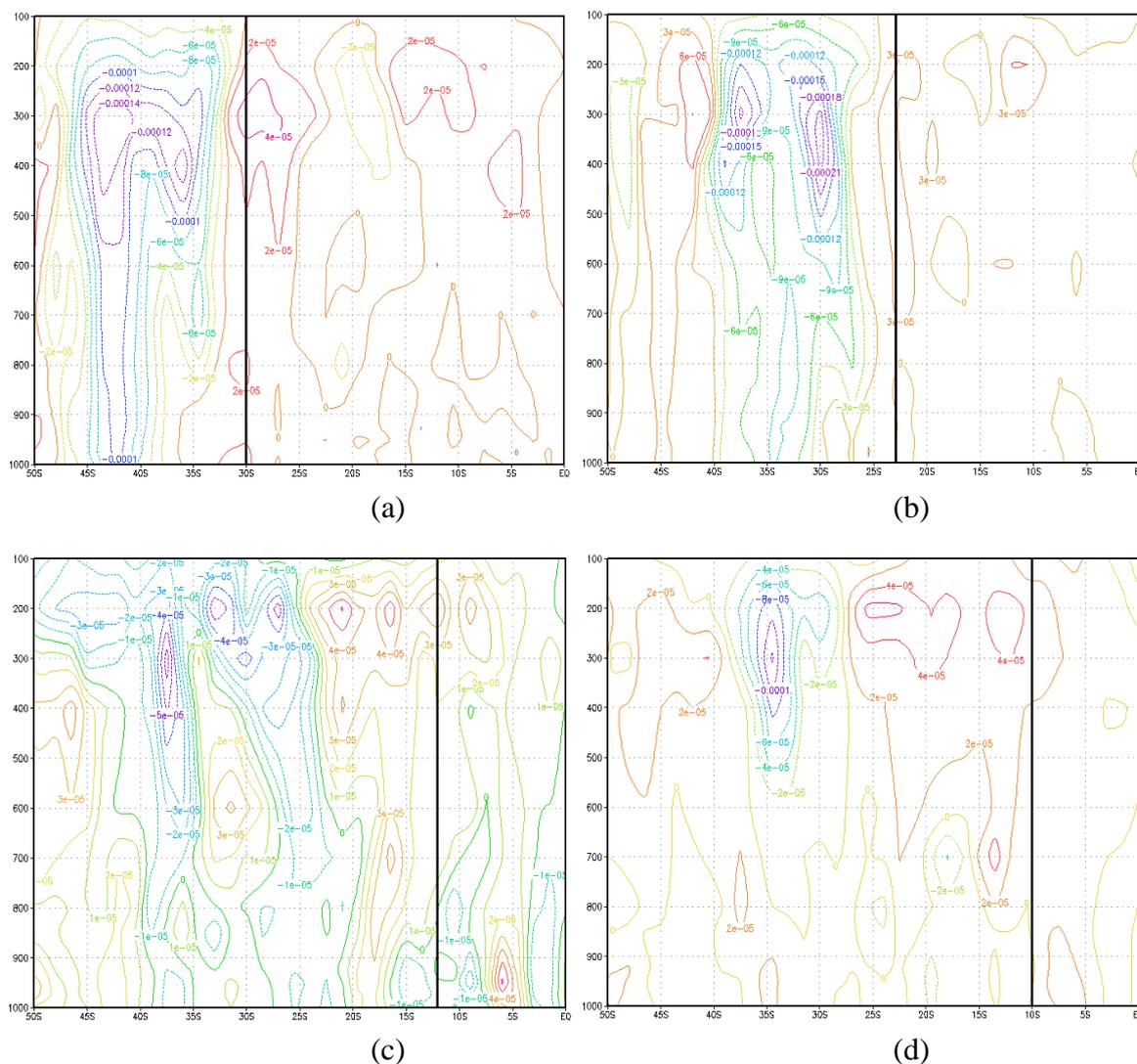


FIGURA 4.33 - Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/05/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

Temperatura

A Figura 4.34a mostra o corte vertical feito na cidade de POA, onde a temperatura mostra a perda de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 300hPa, indicando a presença da FF. Mais ao sul, em torno de 200hPa, é observado outro núcleo onde a temperatura diminui de $2-3^{\circ}/100\text{km}$, rodeada por uma área com perdas menos intensas de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em SP, na Figura 4.34b, pode-se ver que em baixos níveis, até 850hPa, foi registrado perdas de até $3-4^{\circ}/100\text{km}$. Porém, ao atingir 300hPa a temperatura marcou uma queda mais amena, de $1-2^{\circ}/100\text{km}$. Mais ao sul, também em torno de 200hPa, ainda é possível ver o mesmo núcleo que visto em POA, porém mais fraco.

Em SALV (Figura 4.34c) a temperatura não apresenta gradientes, indicando a ausência de características frontais.

Já em MCZ, a Figura 4.34d mostra que até 900hPa houve uma queda de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ sobre a latitude de 10°S .

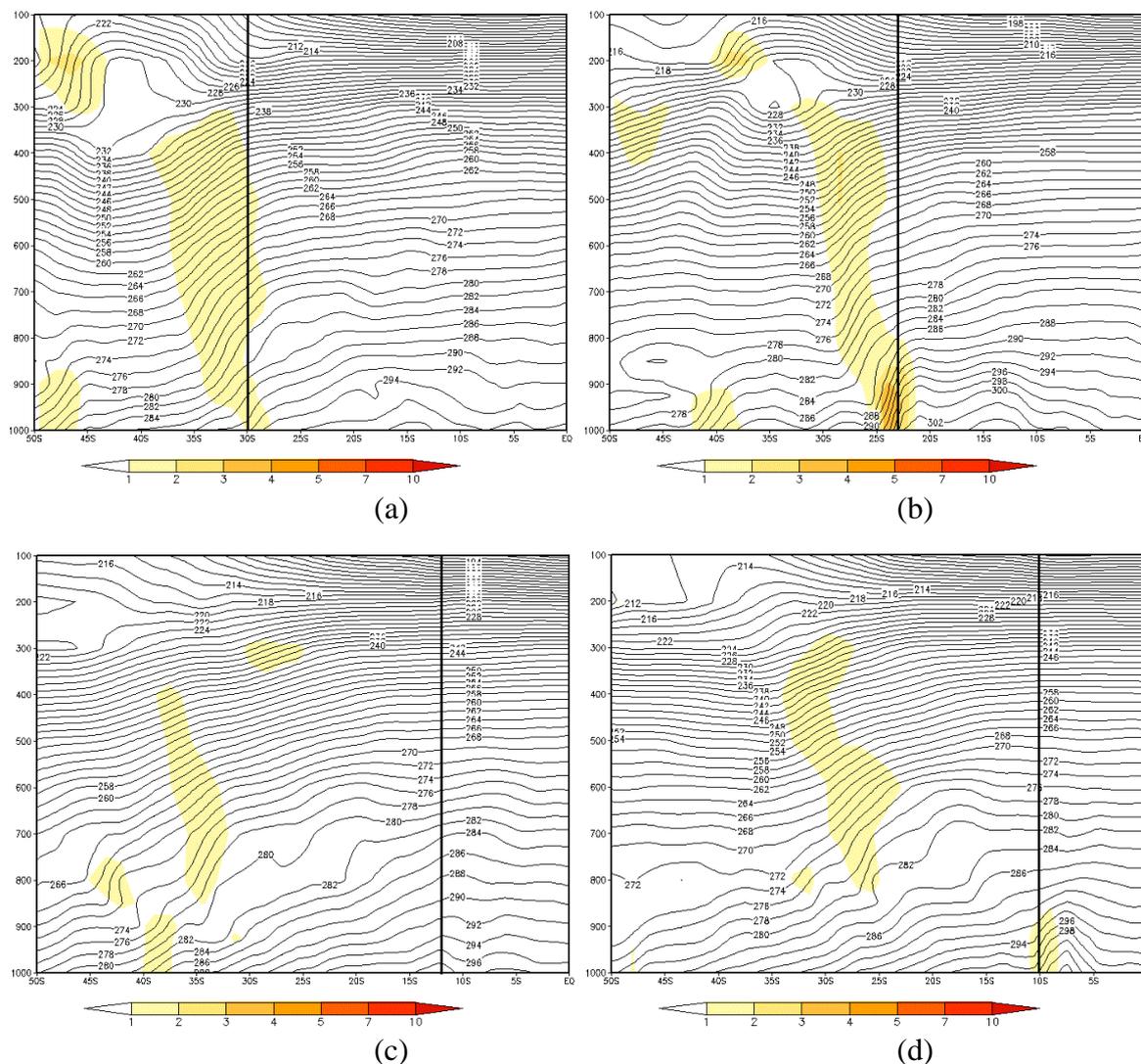


FIGURA 4.34 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/05/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

A Figura 4.35 mostra os cortes verticais feitos na temperatura potencial equivalente. Em POA (Figura 4.35a) o gradiente se mostra mais intenso do que o visto no ítem anterior. Em baixos níveis, começa com valores de $4-5^{\circ}/100\text{km}$ até 850hPa, quando atinge valores de $7-10^{\circ}/100\text{km}$. Acima de 700hPa a intensidade do gradiente diminui gradativamente atingindo os 300hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Na Figura 4.35b, em SP, são observados valores entre $5-10^{\circ}/100\text{km}$ da superfície até 700hPa. Na medida em que o gradiente atinge a altura de 300hPa, a intensidade do mesmo diminui para valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em SALV (Figura 4.35c) as características frontais são quase nulas, de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 975hPa.

Na Figura 4.35d, em MCZ, a superfície frontal vai até 500hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$. Em dois pontos o gradiente fica mais forte: o primeiro em 850hPa com $4-5^{\circ}/100\text{km}$ e o segundo em 700hPa com gradiente de $7-10^{\circ}/100\text{km}$.

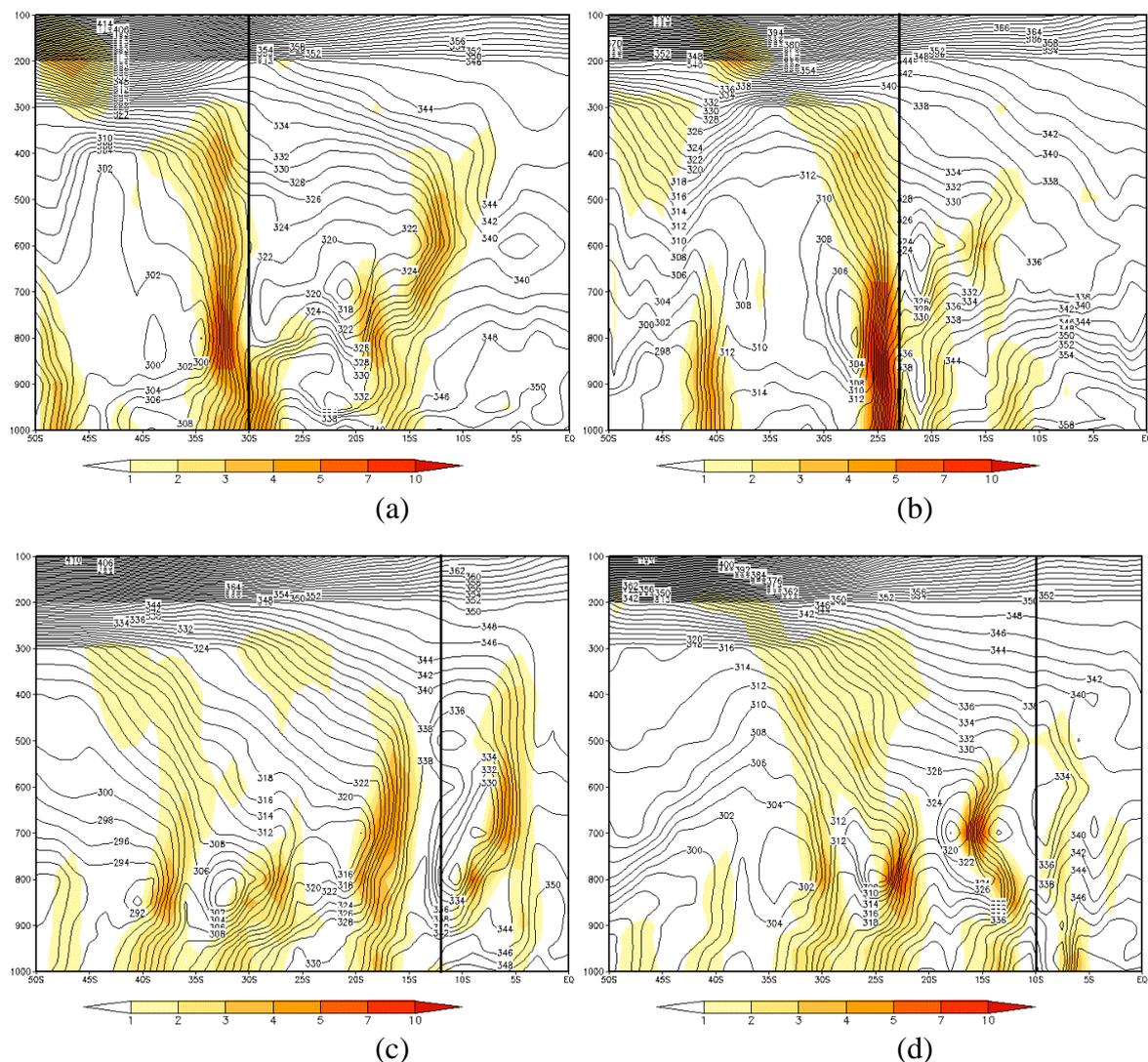


FIGURA 4.35 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/04/2006 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 06/05/2006 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 07/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

4.2.2.2. Modificações dos outros casos do tipo II

Caso 15

O sistema frontal começa a ser analisado no dia em que a frente fria atinge POA, em 04 de abril de 2010 às 00Z. Após uma regeneração ocorrer às 18Z do dia 04, em 28°S45°W, a frente fria chega à cidade de SP no dia 05 de abril às 18Z, ainda apresentando nebulosidade do tipo II. No dia 06 às 18Z, ocorre uma segunda regeneração na frente fria, em 22°S40°W. Ao chegar à SALV, no dia 08 às 06Z, a nebulosidade do sistema frontal se une à nebulosidade convectiva sobre o continente (tipo IIIA). Quando a extremidade frontal atinge MCZ, no dia 10 de abril às 00Z, a nebulosidade sobre o leste do NEB é intensa, com presença de nuvens cumulonimbus (tipo I).

No Estado de Alagoas, a precipitação já apresentou volumes significativos no dia 09, sendo a região do Agreste com 36,4mm. No dia 10, a região do Baixo São Francisco apresentou o maior volume acumulado do dia, com 85,8mm registrados, como mostra a Tabela 4.9.

TABELA 4.9 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 09, 10 e 11 de abril de 2010. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	09/abr	10/abr	11/abr
Média Sertão	15.1	30.1	23.4
Média Sertão São Francisco	23.1	16.1	13.0
Média Agreste	36.4	20.8	19.3
Média Zona da Mata	31.0	13.2	19.2
Média Litoral	12.3	16.6	8.2
Média Baixo São Francisco	31.7	85.8	17.1

Temperatura

As seções verticais de temperatura (Figura 4.36) mostram que em POA (Figura 4.36a), a temperatura apresentou núcleos mais intensos, de 2-3°/100km em 800hPa, e de 650 a 400hPa, com um núcleo ainda mais intenso de 3-4°/100km em 500hPa. Porém, o gradiente chega aproximadamente em 250hPa com valores de 1-2°/100km.

A Figura 4.36b mostra o corte vertical feito na primeira regeneração, que ocorre em 28°S45°W, próximo ao litoral de São Paulo, no dia 04 de abril às 18Z. O gradiente mostrou uma queda pequena na intensidade, apresentando um núcleo com valores de 3-4°/100km entre 700 e 400hPa, com um máximo em 500hPa de 4-5°/100km bem pequeno. Ainda assim, atinge 300hPa com 1-2°/100km. Em 200hPa ainda é visto um núcleo mais intenso de 2-3°/100km.

Em SP, no dia 05 às 18Z (Figura 4.36c), a FF ainda apresenta nebulosidade do tipo II, a temperatura mostra um gradiente dividido, onde a primeira parte atinge 800hPa com valor de $1-2^{\circ}/100\text{km}$, com um núcleo de $2-3^{\circ}/100\text{km}$ da superfície até 850hPa, ainda na latitude de 23°S . A segunda parte do gradiente aparece a partir de 900hPa, mais ao sul da cidade de SP, com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ que atingem 300hPa.

A segunda regeneração ocorre no dia 06 de abril às 18Z em $22^{\circ}\text{S}40^{\circ}\text{W}$. O corte vertical mostrou um gradiente bem fraco, de $1-2^{\circ}/100\text{km}$, dividido, que se estende até 200hPa (Figura 4.36d).

Em SALV (Figura 4.36e) e MCZ (Figura 4.36f) não são observados gradientes significativos de temperatura.

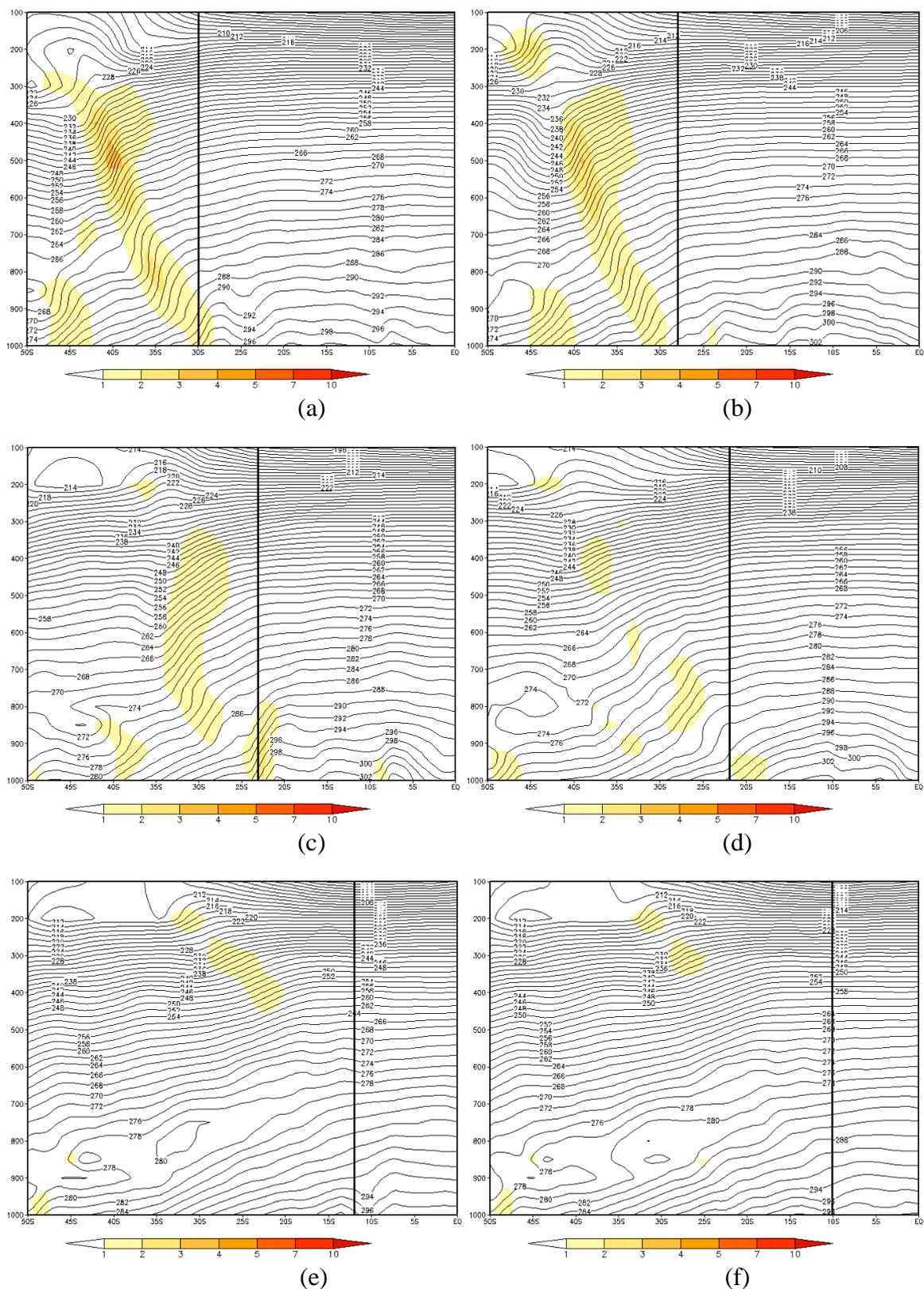


FIGURA 4.36 - Seção Vertical Temperatura para os dias: a) 04/04/2010 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 04/04/2010 às 18Z (lon 45°W) - regeneração; c) 05/04/2010 às 18Z (lon 46°W) - SP; d) 06/04/2010 às 18Z (lon 40°W) - regeneração; e) 08/04/2010 às 06Z (lon 38°W) - SALV e f) 10/04/2010 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Os cortes verticais apresentados na Figura 4.37 mostram valores mais intensos do que os observados na variável de temperatura.

Em POA, na Figura 4.37a, os valores mais intensos, acima de $7-10^{\circ}/100\text{km}$, aparecem de 900-700hPa. Da superfície até 600hPa, o gradiente continua intenso, de $5-7^{\circ}/100\text{km}$. Porém, a medida em que o gradiente se aproxima da tropopausa, vai perdendo intensidade, ultrapassando os 200hPa, com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Na primeira regeneração, a Figura 4.37b mostra que os valores mais altos, de $5-7^{\circ}/100\text{km}$, se estendem da superfície até cerca de 600hPa. A altura máxima que a superfície frontal é vista ultrapassa os 300hPa, com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em SP, na Figura 4.37c, o gradiente também é dividido em dois núcleos mais fortes de $7-10^{\circ}/100\text{km}$, como visto na Figura 4.36c. Porém, esses dois núcleos estão envolvidos por valores menores de θ_e . O gradiente atinge a altura de 300hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

A segunda regeneração é apresentada na Figura 4.37d, onde na superfície é visto valores médios de $4-5^{\circ}/100\text{km}$, aumentando entre 900-500hPa para valores de $5-7^{\circ}/100\text{km}$, e chegando aos 300hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Chegando à SALV (Figura 4.37e), o gradiente chega aos 150hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$. Desde a superfície com valores de $2-3^{\circ}/100\text{km}$, atinge sua intensidade maior entre 850-450hPa, com valores que chegam à $5-7^{\circ}/100\text{km}$ entre 600-700hPa.

Em MCZ (Figura 4.37f), o gradiente também atinge 150hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$. Apesar de possuir um corte vertical muito semelhante ao visto em SALV, mantém os valores acima de $3-4^{\circ}/100\text{km}$ desde a superfície até 450hPa, com pontos mais intensos de $7-10^{\circ}/100\text{km}$ em 800 e 700hPa.

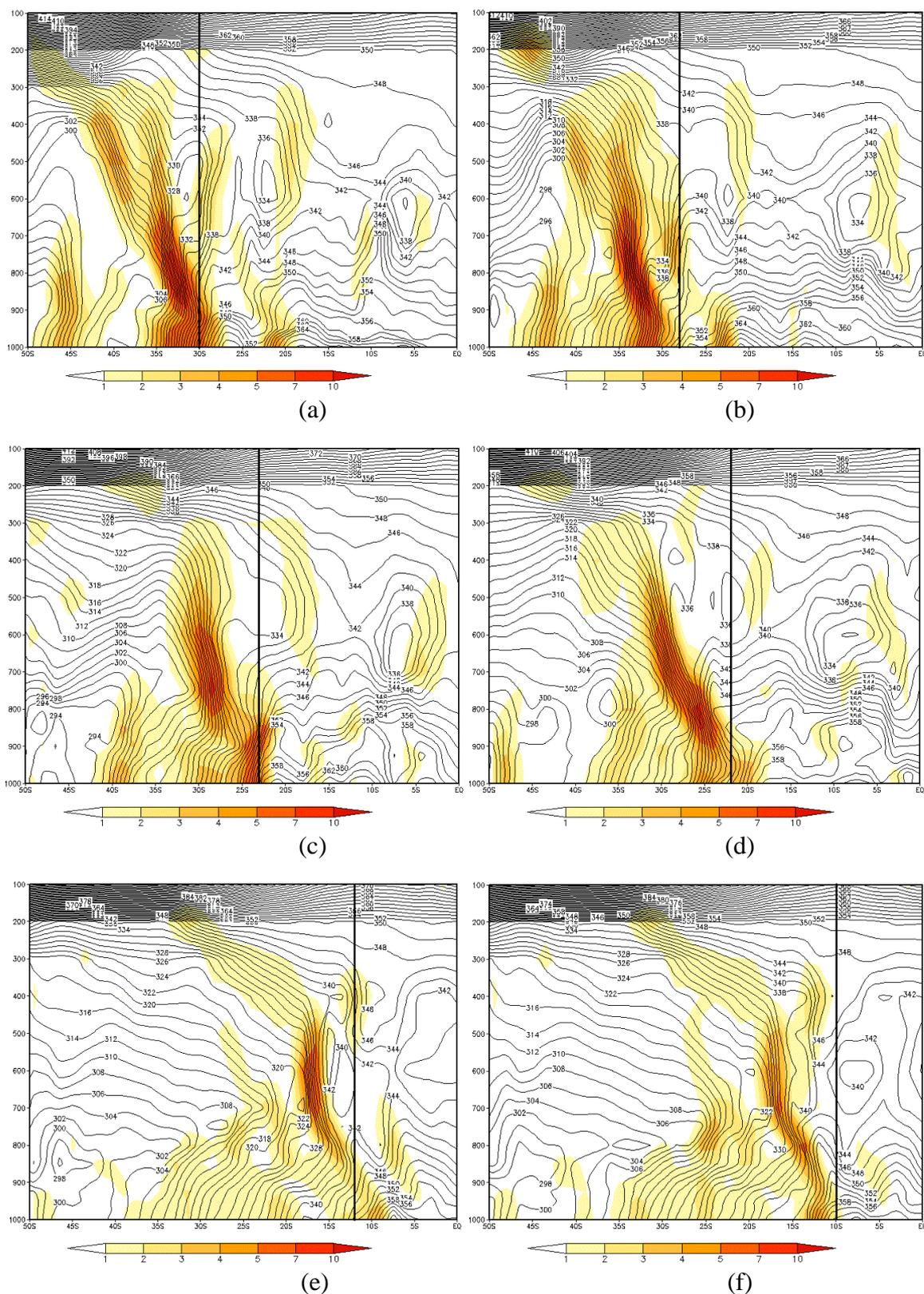


FIGURA 4.37 - Seção Vertical Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 04/04/2010 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 04/04/2010 às 18Z (lon 45°W) - regeneração; c) 05/04/2010 às 18Z (lon 46°W) - SP; d) 06/04/2010 às 18Z (lon 40°W) - regeneração; e) 08/04/2010 às 06Z (lon 38°W) - SALV e f) 10/04/2010 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: Dados de Reanálises do ECMWF.

A Tabela 4.10 mostra a altura (em hPa) em que as variáveis analisadas (linhas de correntes, vorticidade relativa, temperatura e θ_e) atingem no momento da passagem da FF ou EF sobre o ponto de observação.

O tipo II de nebulosidade mostra que em POA, a vorticidade e o vento não são variáveis muito boas para se visualizar a superfície frontal. Já a temperatura e a θ_e mostram mudanças significativas na atmosfera até altos níveis.

Em SP, onde os dois casos ainda pertencem ao mesmo tipo (tipo II). As variáveis se apresentaram de forma mais homogênea. O vento identifica características frontais apenas em baixos níveis; a vorticidade é nula em ambos os casos, confirmando o fato da nebulosidade não estar sobre os continentes. A temperatura e θ_e apresentam gradientes até 300hPa.

Em SALV os casos mudam de tipos de nebulosidade, devido à ocorrência de outros sistemas na trajetória. O caso 11, que continua apresentando o tipo II, mostra que a vorticidade e θ_e foram as únicas variáveis que identificaram padrões frontais, porém apenas em baixos níveis, não ultrapassando 900hPa. O caso 15, que agora pertence ao tipo IIIA, onde uma nebulosidade convectiva sobre o continente interage com a FF, apresenta a características frontais de θ_e até 150hPa e ventos em baixos níveis.

Em MCZ, os casos ainda pertencem a tipos diferentes de nebulosidade: caso 11 no tipo II e o caso 15 no tipo I. Ambos os casos registraram padrões de superfície frontal na variável de θ_e em médios e altos níveis. O vento e a vorticidade mostram as características frontais apenas no caso 15, e em baixos níveis. O caso 11 apresenta valores significativos apenas nas variáveis térmicas.

A regeneração é um processo que ocorre apenas no caso 15, duas vezes entre SP e SALV. A Tabela 4.10 mostra que ambas as regenerações obtiveram resultados parecidos. O vento é identificado apenas em baixos níveis, a vorticidade é nula e tanto a temperatura quanto θ_e apresentam valores significativos até 300hPa.

TABELA 4.10 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo II. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

PORTO ALEGRE					SÃO PAULO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 11	850hPa	p	300hPa	300hPa	caso 11	800hPa	nulo	300hPa	300hPa
caso 15	600hPa	nulo	250hPa	150hPa	caso 15	700hPa	nulo	300hPa	300hPa

SALVADOR					MACEIÓ				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 11	nulo	900hPa	nulo	975hPa	caso 11	nulo	nulo	850hPa	500hPa
caso 15	800hPa	nulo	nulo	150hPa	caso 15	900hPa	800hPa	nulo	150hPa

REGENERAÇÃO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 15 (1)	700hPa	nulo	300hPa	300hPa
caso 15 (2)	700hPa	nulo	200hPa	300hPa

4.2.3. Modificações das frentes do tipo III

4.2.3.1. Modificações das frentes do tipo IIIA

4.2.3.1.1. Modificações do caso padrão do tipo IIIA

Caso 5

A Figura 4.38 mostra as imagens de satélite do canal infravermelho, sobrepostas com mapas de linha de corrente em 925hPa para quase todos os pontos de observação do caso 5, pois não havia imagem de satélite para o dia 11 de outubro de 2003 às 06Z.

No dia 09 de outubro de 2003 às 06Z uma FF é observada sobre a cidade de POA, como mostra a Figura 4.38a. É possível ver também que a nebulosidade frontal está associada a um ciclone barotrópico no norte da Argentina (tipo IIIA).

Ao chegar em SP no dia 10 às 12Z (Figura 4.38b), a FF já se encontra sobre o oceano, porém a nebulosidade da EF continua sobre o continente (tipo I).

Após a ocorrência da regeneração no dia 11 às 06Z em 39°S 39°W, a EF atinge SALV no dia 15 às 00Z com a nebulosidade frontal associada à uma CJ (tipo IIIB). Como mostra a Figura 4.38c, a CJ influencia a nebulosidade que está ao sul de 20°S e sobre o oceano. No mesmo dia às 06Z uma ciclogênese se forma em 30°S 31°W, indicado na Figura 4.38d como C1.

A Figura 4.38e mostra que no dia 17 de outubro às 12Z a nebulosidade frontal já havia se dispersado (tipo II).

A Tabela 4.11 mostra a média da precipitação diária das regiões climáticas de Alagoas para os dias 16, 17 e 18 de outubro de 2003, confirmando a falta de chuva para os dias em que o sistema frontal passa sobre o Estado. O maior volume registrado é o de 22,4mm na região do Baixo São Francisco no dia 17.

TABELA 4.11 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 16, 17 e 18 de outubro de 2003. FONTE: SEMARH-AL.

Postos/Municípios	16/out	17/out	18/out
Média Sertão	2.4	5.4	3.3
Média Sertão São Francisco	8.3	11.9	2.1
Média Agreste	2.0	8.8	15.8
Média Zona da Mata	2.3	16.9	19.7
Média Litoral	8.7	10.3	20.4
Média Baixo São Francisco	4.7	22.4	13.8

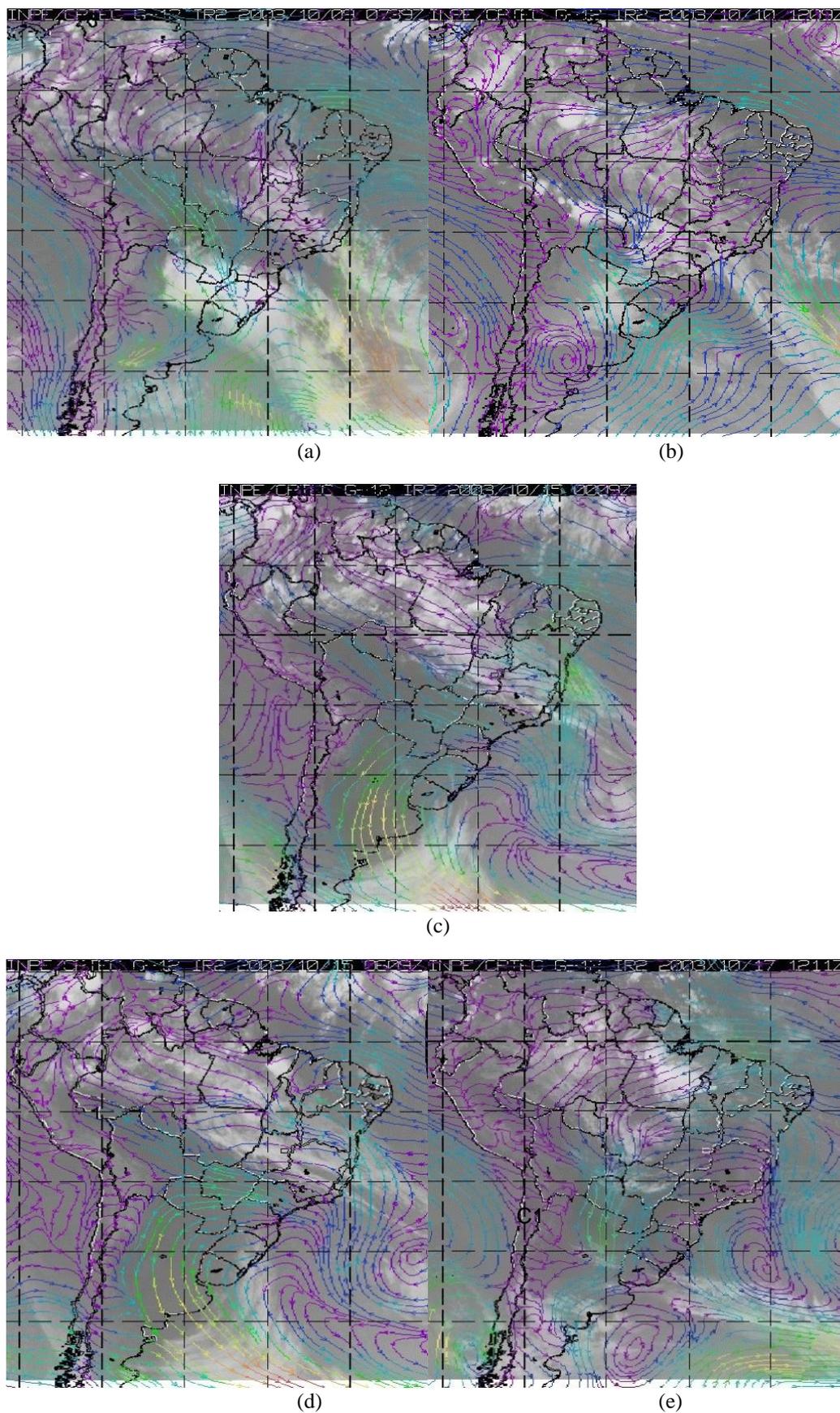


FIGURA 4.38 - Imagem de Satélite do canal infravermelho sobreposto com mapa de linha de corrente de 925hPa para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z; b) 10/10/2003 às 12Z; c) 15/10/2003 às 00Z e d) 15/10/2003 às 06Z e e) 17/10/2003 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

A Figura 4.39 mostra o corte vertical feito na variável vento em todos os pontos de observação do caso 5.

As características frontais do vento são registrada somente em baixos níveis, não ultrapassando 700hPa.

Em POA (Figura 4.39a) e SP (Figura 4.39b) os ventos são um pouco mais intensos na retaguarda do sistema, facilitando a identificação da superfície frontal até 700hPa. Em ambas as cidades, acima de 500hPa ocorre um aumento gradativo da velocidade do vento devido à processos que ocorrem em altos níveis.

Apesar da Figura 4.39c mostrar que, sobre a latitude em que ocorreu a regeneração, não foram registradas características frontais. Porém, mais ao norte, aproximadamente em 36°S é observado barbanelas com diferentes intensidades e direções até 700hPa.

Tanto na Figura 4.39d (SALV) quanto na 4.39e (ciclogênese), apesar dos ventos estarem fracos e de difícil identificação, é possível ver que a superfície frontal se estende até 900hPa e 700hPa respectivamente.

Em MCZ (Figura 4.39f) não foi observado nenhuma característica frontal.

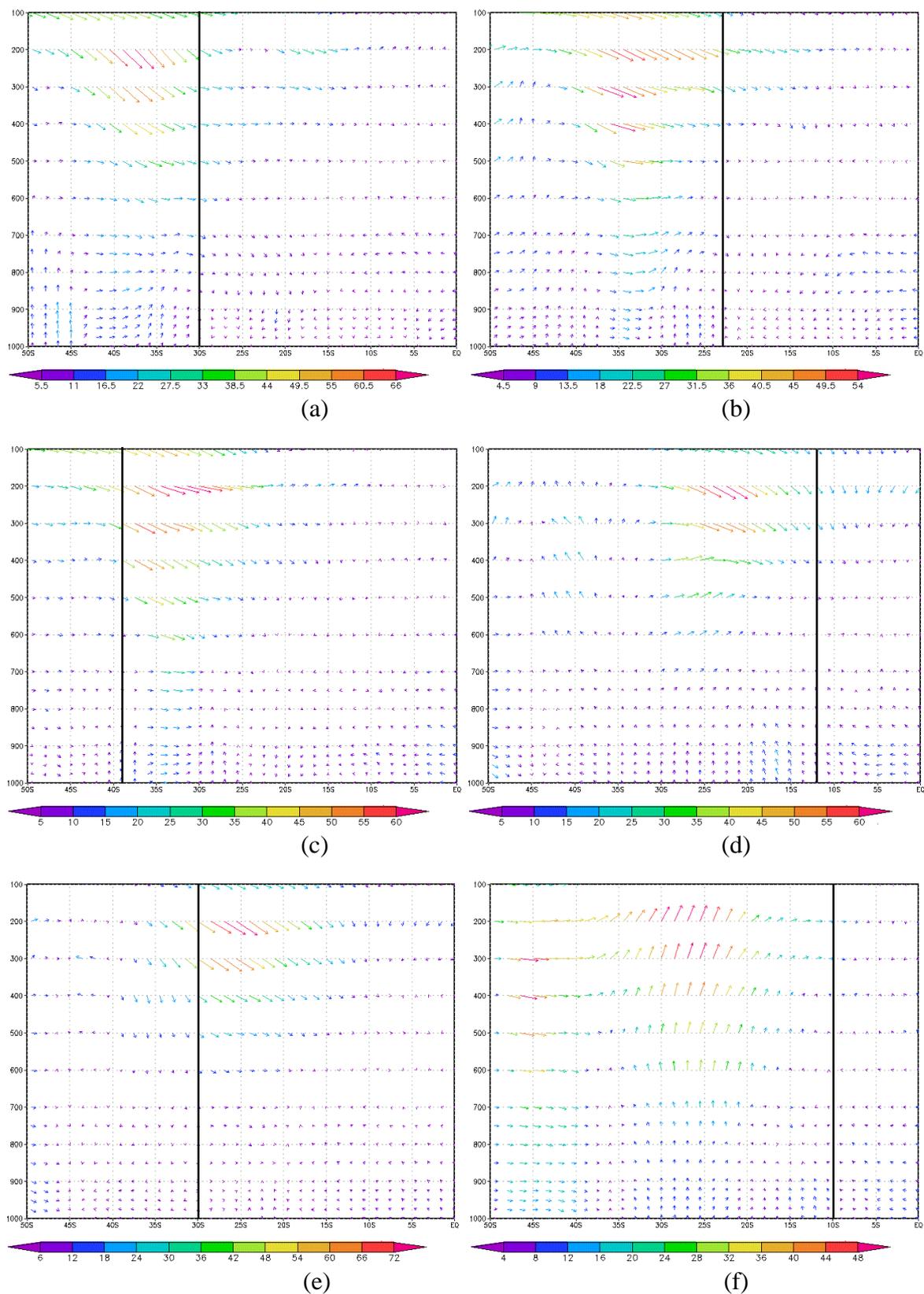


FIGURA 4.39 - Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Vorticidade Relativa

A vorticidade apresentou resultados diversos, atingindo tanto baixos quanto médios níveis, sendo nula apenas em SP (Figura 4.40a).

A Figura 4.40c mostra a altura máxima que a vorticidade na regeneração apresenta características frontais é 500hPa. De 500-150hPa a vorticidade negativa deve à processos em altos níveis.

Em SALV (Figura 4.40e) e MCZ (Figura 4.40f) o gradiente se estende somente até 800hPa.

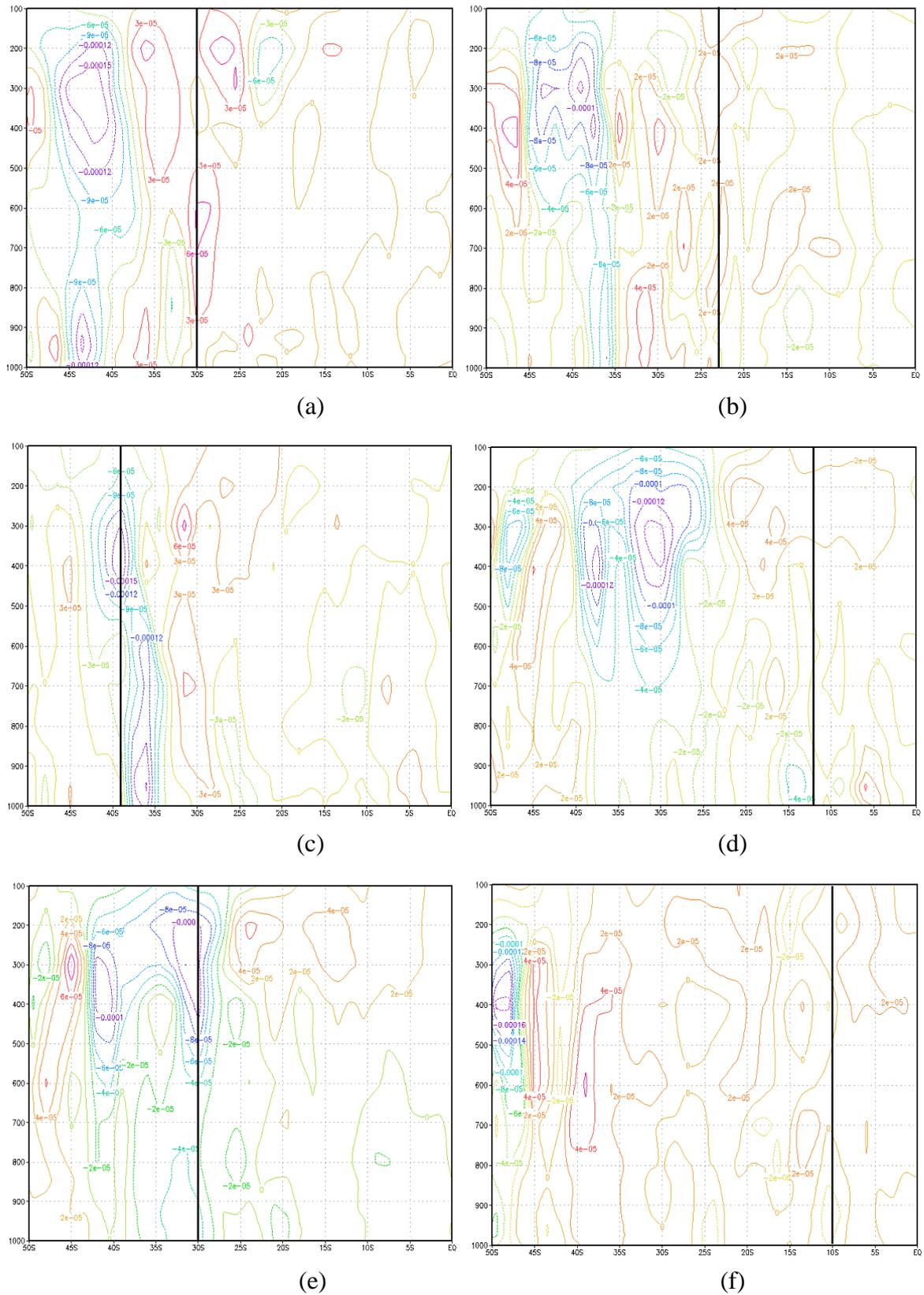


FIGURA 4.40 - Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura

A Figura 4.41a mostra que a temperatura em POA apresenta características frontais de queda de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 150hPa.

Em SP (Figura 4.41b) a superfície frontal chega apenas até 750hPa, enquanto que na regeneração (Figura 4.41c) o gradiente atinge 650hPa.

Em SALV (Figura 4.41d), na ciclogênese (Figura 4.41e) e em MCZ (Figura 4.41f) não foram observados gradientes frontais sobre essas latitudes.

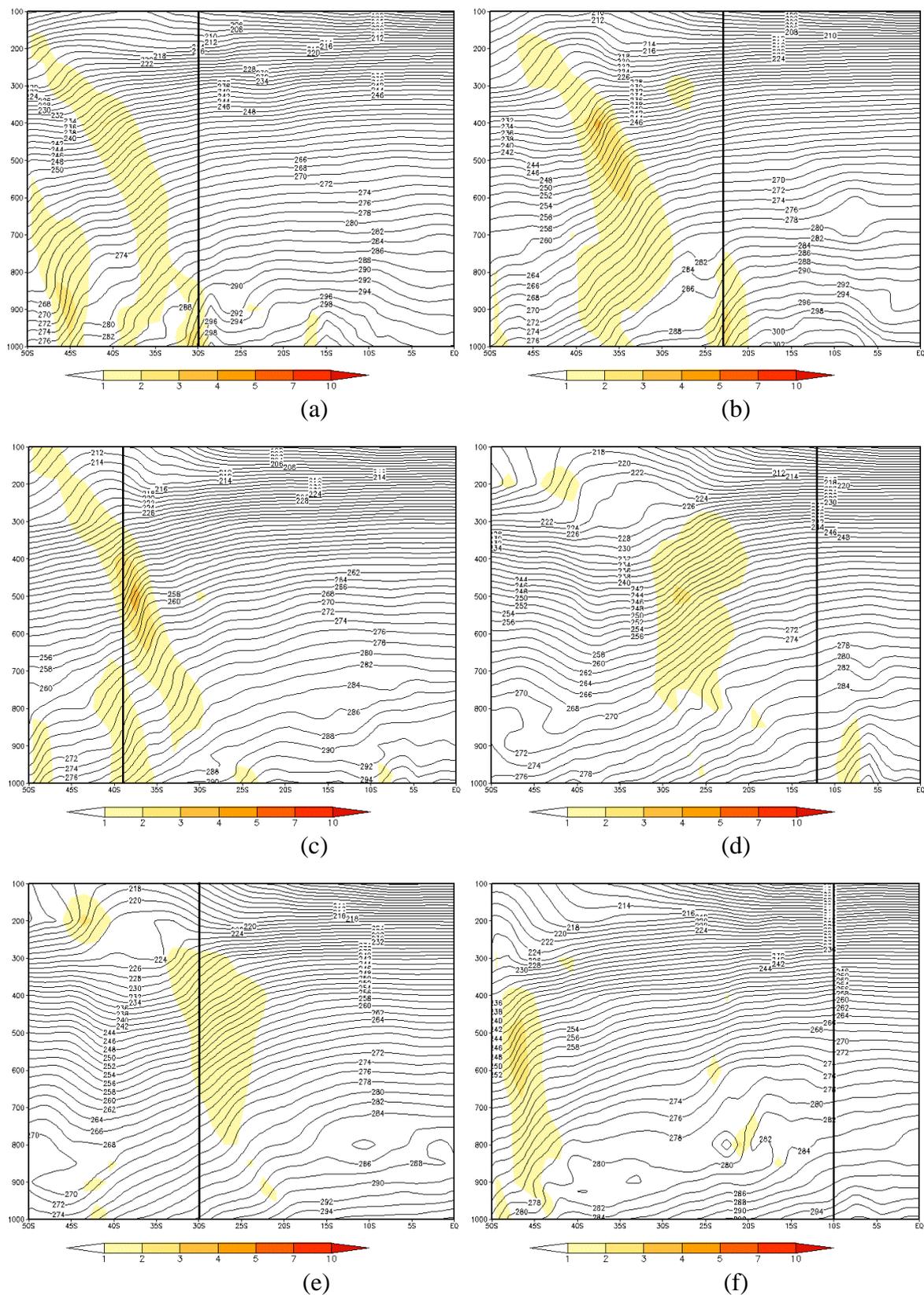


FIGURA 4.41 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Os cortes verticais de θ_e apresentam gradientes até altos níveis, e intensidades maiores abaixo de 500hPa.

Em latitudes mais altas como POA (Figura 4.42a) e SP (Figura 4.42b) a superfície frontal chega a 100hPa e 250hPa respectivamente, com a mesma intensidade de até $2^\circ/100\text{km}$. Também possuem a parte mais intensa do gradiente abaixo de 700hPa, chegando a $10^\circ/100\text{km}$.

A Figura 4.42c mostra que a regeneração, além de também ocorrerem em latitudes altas (39°S) apresenta valores de até $2^\circ/100\text{km}$ na tropopausa em 100hPa.

Em SALV (Figura 4.42d) o gradiente está posicionado mais ao sul da latitude da cidade, porém o gradiente se estende até 250hPa, com um ponto mais intenso de até $5^\circ/100\text{km}$ em 700hPa.

Durante a ciclogênese, a Figura 4.42e mostra que a intensidade em toda superfície frontal diminui consideravelmente, apresentando apenas os valores mínimos até 500hPa.

Em MCZ (Figura 4.42f) o gradiente está intenso novamente, apresentando características frontais até 350hPa.

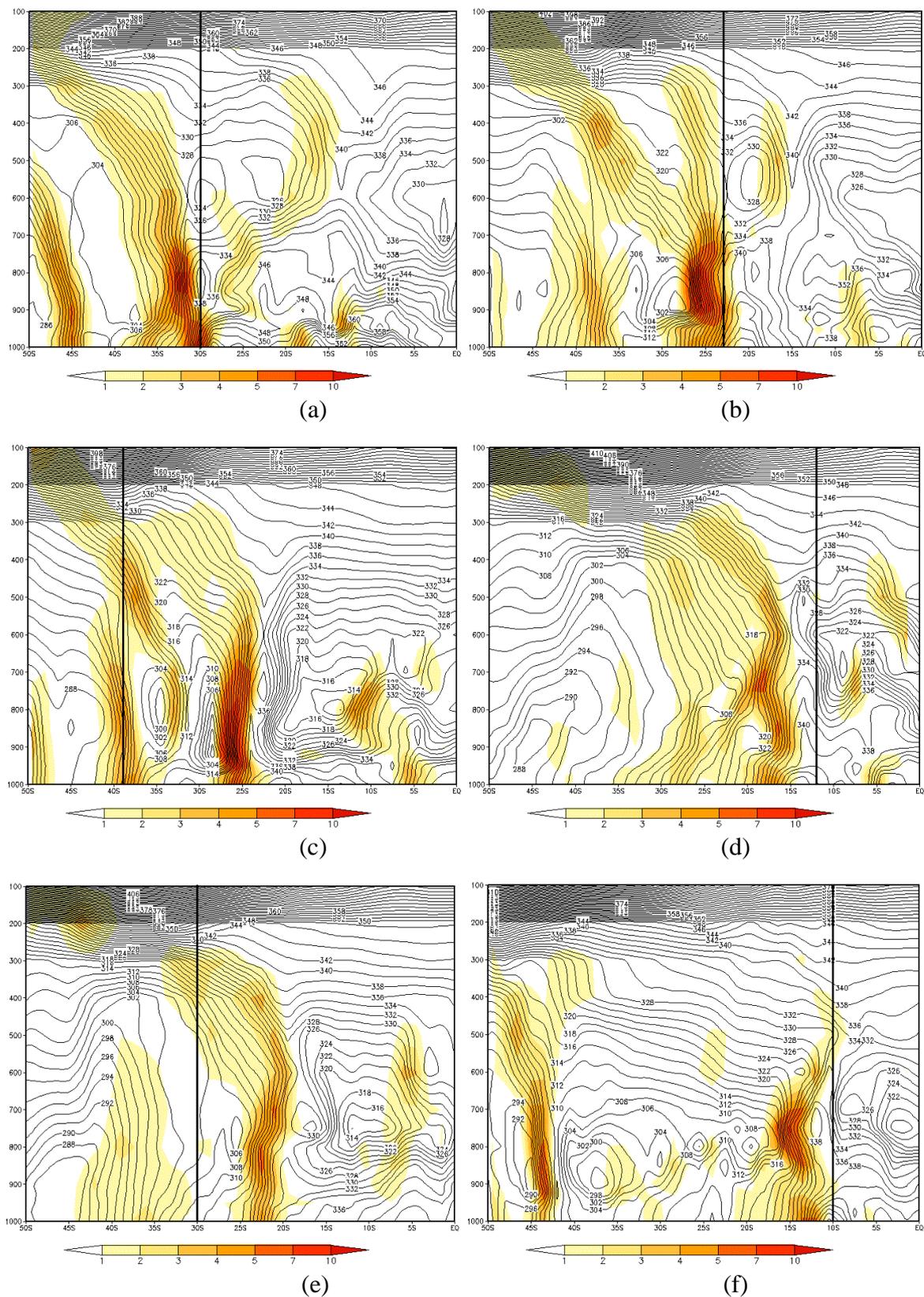


FIGURA 4.42 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 09/10/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 10/10/2003 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 11/10/2003 às 06Z (lon 39°W) - regeneração; d) 15/10/2003 às 00Z (lon 38°W) - SALV; e) 15/10/2003 às 06Z (lon 31°W) - ciclogênese e f) 17/10/2003 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

4.2.3.1.2. Modificações dos outros casos do tipo IIIA

Caso 6

No dia 01 de novembro de 2003 às 06Z, uma FF chega à cidade de POA, com a nebulosidade associada a um ciclone barotrópico em baixos níveis localizado ao sul do Mato Grosso do Sul (MS). Em altos níveis é observado da presença de uma AB no interior do continente Sul Americano (tipo IIIA).

Após 24 horas, no dia 02 às 06Z a FF se encontra sobre SP. A nebulosidade continua associada a uma convecção em baixos níveis sobre o continente, e a AB ainda é vista em altos níveis. A diferença está na nebulosidade da CJ sobre o oceano, que também se liga na nebulosidade frontal (IIIB).

Antes de atingir Salvador, ocorrem duas regenerações no dia 03. A primeira acontece às 00Z em 35°S 30°W e a segunda às 12Z em 36°S 36°W.

No dia 04 às 12Z a EF avança sobre SALV e apesar da CJ não influenciar mais, a nebulosidade frontal continua associada à uma área de convergência de massa em baixos níveis no interior do continente, o que contribui para um aumento da nebulosidade (IIIA).

Quando a EF chega à Maceió, a nebulosidade sobre o continente está mais escassa, ainda é observada uma área de convergência sobre o continente ligada ao sistema frontal.

Porém, pouca precipitação foi registrada tanto no dia em que a EF se encontra sobre Maceió, quanto nos dias adjacentes. Os maiores valores ocorreram no dia 5 nas regiões do Agreste e Sertão do São Francisco com 25,6mm e 18mm respectivamente, como mostra a Tabela 4.12.

TABELA 4.12 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04,05 e 06 de novembro de 2003. FONTE: SEMARH-AL.

Postos/Municípios	04/nov	05/nov	06/nov
Média Sertão	40.1	11.3	6.7
Média Sertão do São Francisco	0.0	18.0	10.4
Média Agreste	5.6	25.6	14.1
Média Zona da Mata	3.1	7.4	2.2
Média Litoral	2.0	7.9	3.5
Média Baixo São Francisco	44.6	10.3	21.3

Temperatura

A Figura 4.43 mostra o corte vertical feito nos pontos de observação do caso 6 na variável temperatura.

Em POA (Figura 4.43a) o gradiente se estende até 300hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$, e apresenta a maior intensidade entre 700-500hPa com $3-4^{\circ}/100\text{km}$.

Na Figura 4.43b, quando a FF chega à SP, é observada uma diminuição no gradiente frontal. Apesar de alcançar 300hPa, a intensidade foi a mesma em todo gradiente, de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Das regenerações, apenas a primeira apresentou características frontais. Na Figura 4.43c é visto que até 800hPa a intensidade era de até $3^{\circ}/100\text{km}$, acima disso além da área do gradiente expandir, atinge os 400hPa com queda de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Apesar de não apresentar superfície frontal em SALV (Figura 4.43e), em MCZ é encontrado valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 850hPa e aumenta para $2-3^{\circ}/100\text{km}$ próximo da superfície.

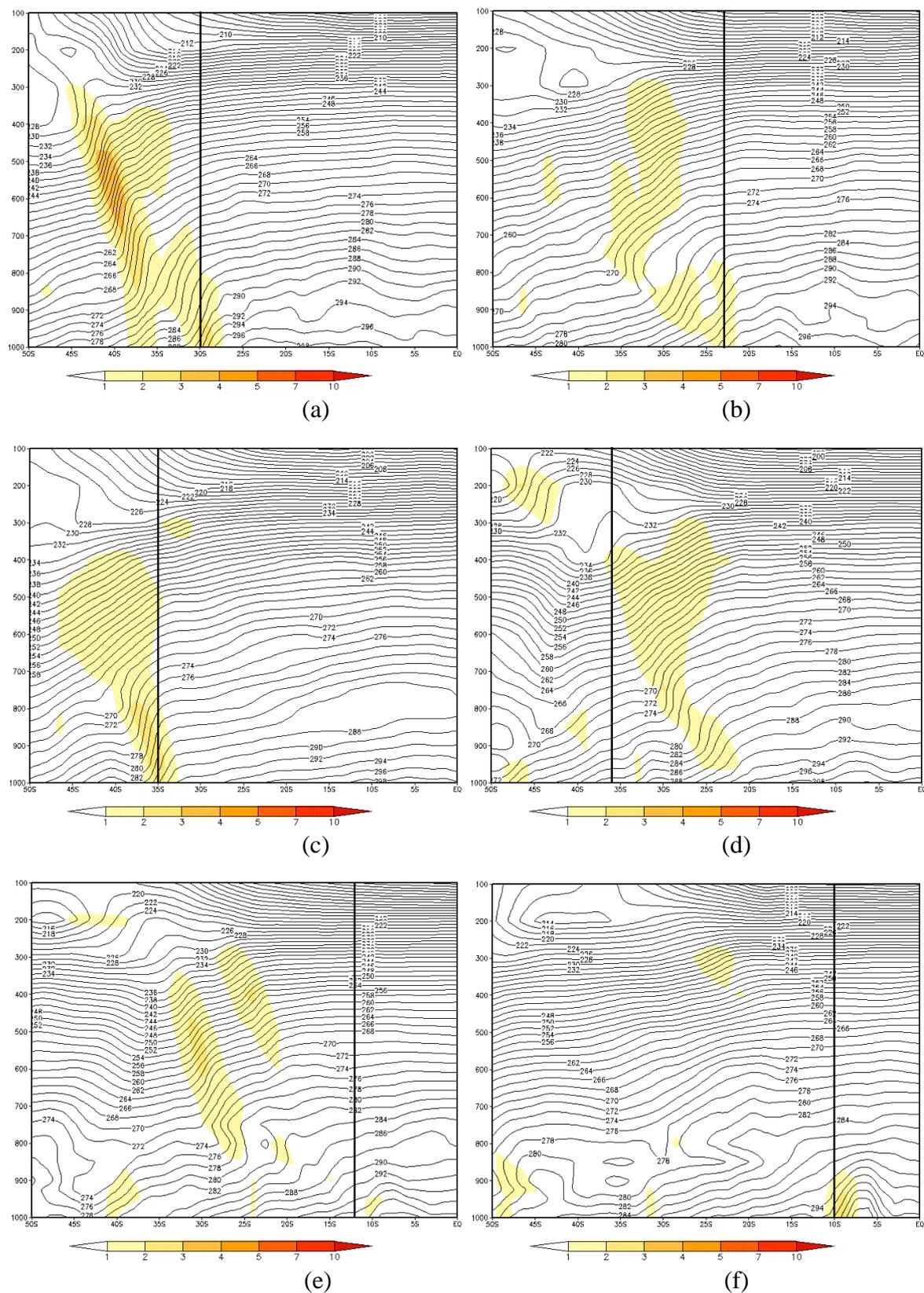


FIGURA 4.43 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 01/11/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 02/11/2003 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 03/11/2003 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 03/11/2003 às 12Z (lon 36°W) - regeneração; e) 04/11/2003 às 12Z (lon 38°S) - SALV e f) 05/11/2003 às 18Z (lon 36°S) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

As seções verticais de θ_e mostram gradientes mais intensos, principalmente em médios níveis.

Na Figura 4.44a, a superfície frontal se estende até 250hPa com 1-2°/100km. Porém, entre a superfície e 550hPa os valores são mais altos, chegando até a 7°/100km.

Em SP, na Figura 4.44b, o gradiente também começa alto na superfície, com valores de até 7°/100km. Até 500hPa, o gradiente apresentava intensidade de 5°/100km. Ao atingir 250hPa a intensidade diminui para 1-2°/100km.

Ambas as regenerações apresentam características frontais de θ_e , porém a primeira regeneração (Figura 4.44c) é mais intensa, com gradientes de até 7°/100km entre a superfície e 700hPa. Ao atingir os 300hPa, a intensidade havia diminuindo, tendo queda de 1-2°/100km. Na segunda regeneração (Figura 4.44d), chega à 500hPa com 1-2°/100km, e apresenta na superfície valores mais altos de até 4°/100km.

Em SALV (Figur 4.44e) o gradiente é mais intenso entre 900-500hPa com queda de até 7°/100km. Ao atingir 300hPa a intensidade diminui para até 2°/100km.

Na Figura 4.44f, a área mais intensa continua em médios níveis mas diminui de tamanho, apresentando valores de até 7°/100km entre 850-600hPa. O gradiente em 250hPa é de até 2°/100km.

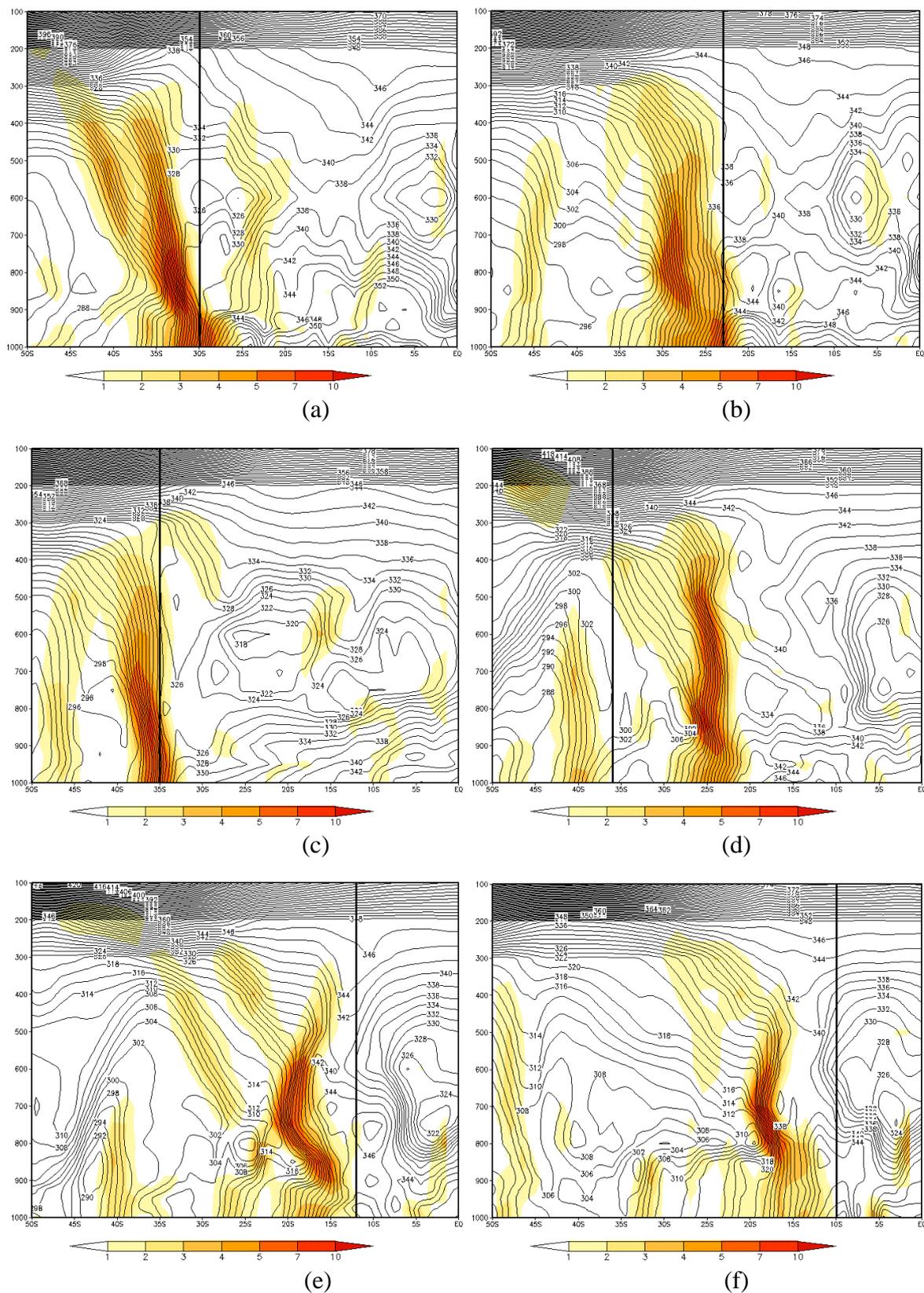


FIGURA 4.44 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 01/11/2003 às 06Z (lon 51°W) - POA; b) 02/11/2003 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 03/11/2003 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 03/11/2003 às 12Z (lon 36°W) - regeneração; e) 04/11/2003 às 12Z (lon 38°S) - SALV e f) 05/11/2003 às 18Z (lon 36°S) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Caso 7

O caso 7 é bem similar ao caso 6, apresenta duas regenerações entre SP e SALV.

Começa no dia 15 de julho de 2004 às 12Z quando uma FF chega à cidade de POA, com uma nebulosidade associada à uma região de convecção em baixos níveis no norte do RS (tipo IIIA).

Ao atingir SP no dia 17 às 06Z, apesar de apresentar pouca nebulosidade sobre o continente, há uma região com confluência de ventos no norte do Estado de SP e sul de MG (tipo IIIA).

Após duas regenerações: a primeira no dia 17 às 12Z em 45°S 25°W e a segunda no dia 20 às 06Z em 30°S 1°W, a EF se aproxima de SALV no dia 21 às 12Z, porém pouca nebulosidade é registrada sobre o continente (tipo II).

O mesmo ocorre no dia 22 às 06Z quando a EF atinge MCZ, a nebulosidade sobre o continente diminui ainda mais, mantendo o mesmo tipo de nebulosidade (tipo II).

A Tabela 4.13 mostra a precipitação sobre o Estado de Alagoas para o dia em que a EF está sobre Maceió e os dias adjacentes. Apesar de não apresentar volumes significativos, no dia 22 de julho o Litoral teve 8,5mm de chuva, e no dia 23 registra 8,9mm.

TABELA 4.13 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 21, 22 e 23 de julho de 2004. FONTE: SEMARH-AL.

Postos/Municípios	21/jul	22/jul	23/jul
Média Sertão	1.1	0.4	0.6
Média Sertão São Francisco	0.0	0.0	0.4
Média Agreste	0.0	0.0	1.1
Média Zona da Mata	0.8	3.0	5.7
Média Litoral	0.5	8.5	8.9
Média Baixo São Francisco	2.8	6.5	6.1

Temperatura

Em POA (Figura 4.45a) e SP (Figura 4.45b) o gradiente chega à 300hPa e 350hPa respectivamente, tendo os valores mais intensos entre 700-400hPa de até 3°/100km.

Nas regenerações a superfície frontal continua se comportando da mesma forma, tendo a parte mais intensa localizada mais longe da superfície. Na Figura 4.45c, a primeira regeneração mostra o gradiente até 800hPa de 1-2°/100km, e em 900 um pequeno núcleo de até 3°/100km. Na segunda regeneração (Figura 4.45d) as características se estendem até altos níveis chegando a 350hPa, sendo mais intenso entre 600-400hPa com até 3°/100km.

Porém, tanto em SALV (Figura 4.45e) quanto MCZ (Figura 4.45f) a temperatura não apresenta gradiente suficiente para a identificação frontal.

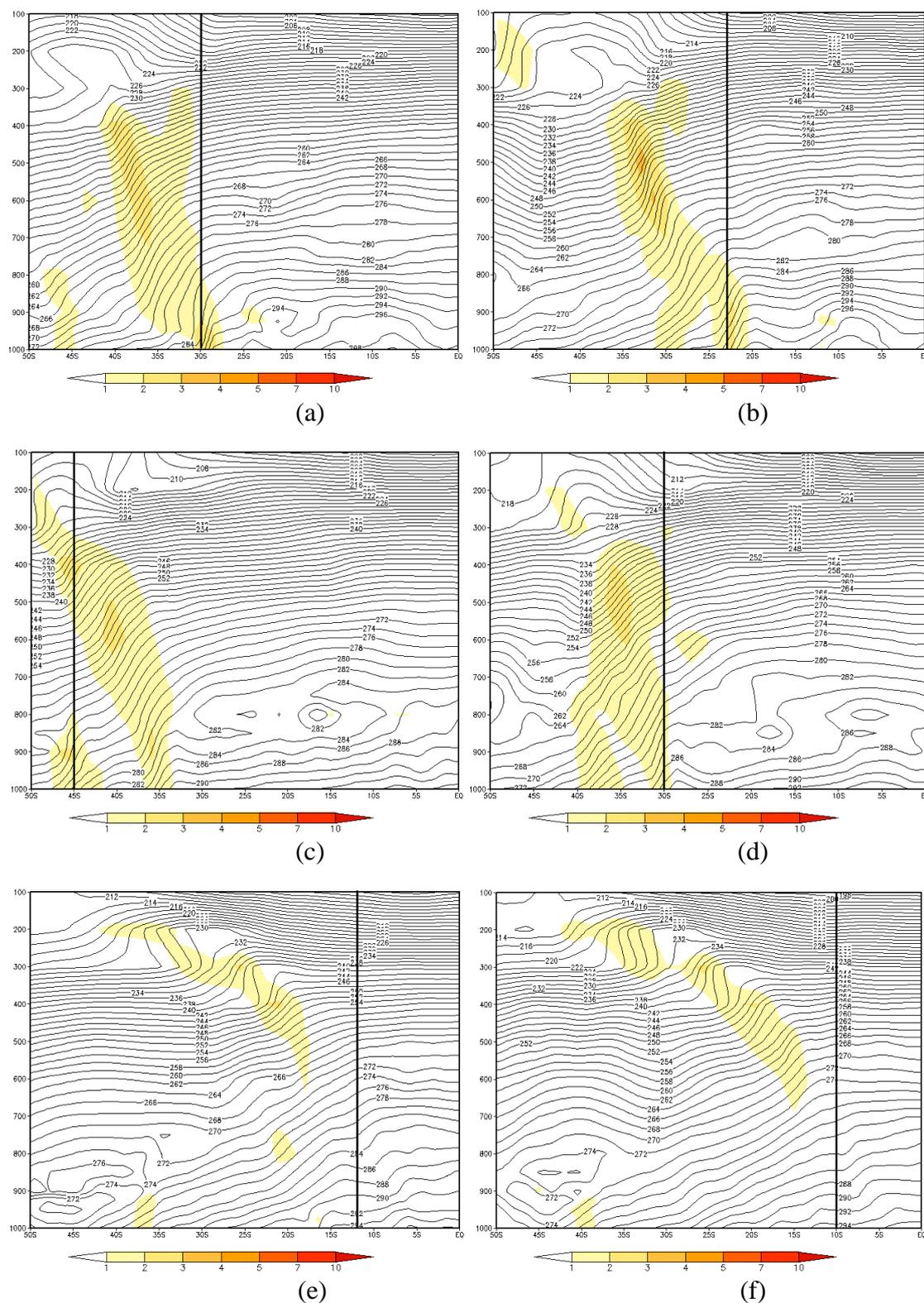


FIGURA 4.45 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 15/07/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 17/07/2004 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 17/07/2007 às 12Z (lon 25°W) - regeneração; d) 20/07/2007 às 06Z (lon 12°W) - regeneração; e) 21/07/2004 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 22/07/2004 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura Potencial Equivalente

Os cortes verticais de θ_e apresentam gradientes com características frontais em todos os pontos de observação do caso 7.

Na Figura 4.46a observa-se que o gradiente também atinge 300hPa em POA com 1-2°/100km, porém a intensidade é maior entre a superfície-700hPa com valores de até 10°/100km.

Em SP, a Figura 4.46b também apresenta características frontais até 300hPa com 1-2°/100km, mas em baixos e médios níveis é menos intenso do que POA, com pequenos núcleos de até 7°/100km.

Nas regenerações, o gradiente também se mostrou mais intenso do que os vistos na temperatura, principalmente em baixos níveis. A primeira regeneração (Figura 4.46c) começa com 3-4°/100km da superfície até 800hPa, e atinge 600hPa com 1-2°/100km. Na segunda regeneração (Figura 4.46d), atinge 300hPa com 1-2°/100km, mas entre a superfície e 650hPa chega a valores de até 7°/100km.

Em SALV (Figura 4.46e) e MCZ (Figura 4.46f) o gradiente é menos intenso em toda sua extensão, não passando de 4°/100km em baixos níveis. Porém o gradiente chega até 150hPa em ambas as cidades.

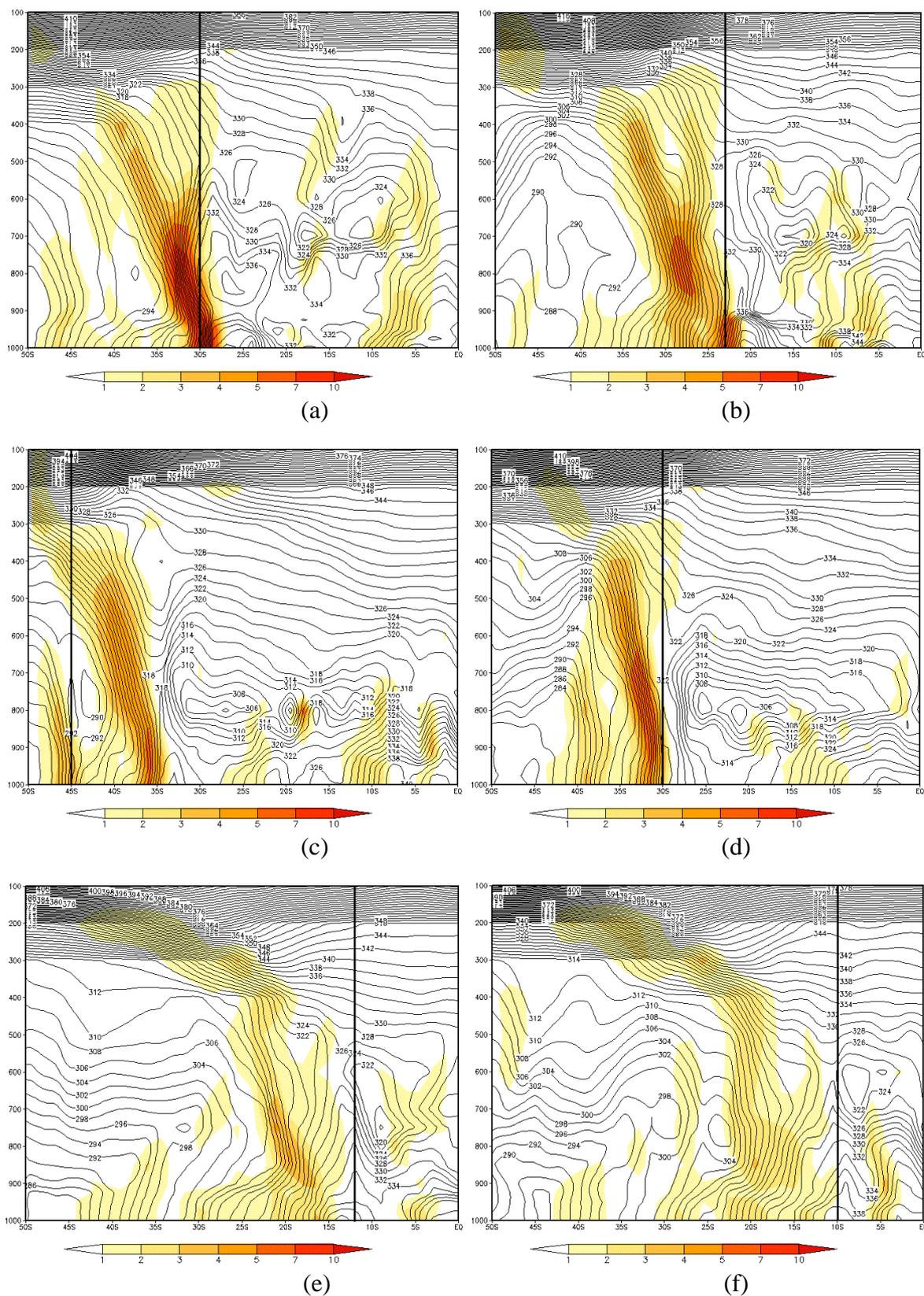


FIGURA 4.46 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 15/07/2004 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 17/07/2004 às 06Z (lon 46°W) - SP; c) 17/07/2007 às 12Z (lon 25°W) - regeneração; d) 20/07/2007 às 06Z (lon 12°W) - regeneração; e) 21/07/2004 às 12Z (lon 38°W) - SALV e d) 22/07/2004 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Caso 13

O caso 13 começa no dia 15 de outubro de 2006 às 18Z quando a FF atinge POA com a nebulosidade frontal associada à uma área de convergência de massa na divisa entre os Estados do RS e SC (tipo IIIA).

Em SP, no dia 17 às 18Z, a nebulosidade frontal diminui bastante, principalmente sobre o continente, e a nebulosidade da CJ se une à FF (tipo IIIB).

A regeneração ocorre entre SP e SALV, no dia 20 às 06Z em 41°S 21°W.

No dia 21 às 18Z, em SALV, a nebulosidade frontal se mistura à nebulosidade de uma área de convergência em baixos níveis, no interior do continente (tipo IIIA).

Ao chegar à MCZ no dia 23 às 00Z, a nebulosidade já está bem afastada da costa alagoas, não apresentando ligação com o continente.

A Tabela 4.14 mostra a média da precipitação das regiões climáticas do Estado de AL para os dias em que a EF atuou sobre MCZ. A região do Baixo São Francisco registra os maiores volumes tanto no dia 23 com 28,7mm quanto no dia 24 com 33,7mm.

TABELA 4.14 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 22, 23 e 24 de outubro de 2006. FONTE: SEMARH-AL.

Postos/Municípios	22/out	23/out	24/out
Média Sertão	2.1	8.6	4.7
Média Sertão São Francisco	1.0	7.1	14.2
Média Agreste	0.0	8.5	5.8
Média Zona da Mata	5.3	6.1	1.1
Média Litoral	8.4	11.7	3.9
Média Baixo São Francisco	3.1	28.7	33.7

Temperatura

A Figura 4.47 mostra que o corte vertical de temperatura apresenta os gradientes frontais até médios níveis, não passando de 600hPa com 1-2°/100km em POA (Figura 4.47a). Sendo mais intenso da superfície até 900hPa com 4°/100km.

Em SP (Figura 4.47b) a superfície frontal chega somente até 800hPa com até 2°/100km.

Na regeneração (Figura 4.47c) o gradiente mantém o mesmo valor de 1-2°/100km da superfície até 900hPa.

Na Figura 4.47d, apesar de estar alguns graus mais a norte da latitude de SALV, pode-se ver entre a superfície e 800hPa valores de até 2°/100km.

Em Maceió, a Figura 4.47e não apresenta nenhum gradiente frontal de temperatura

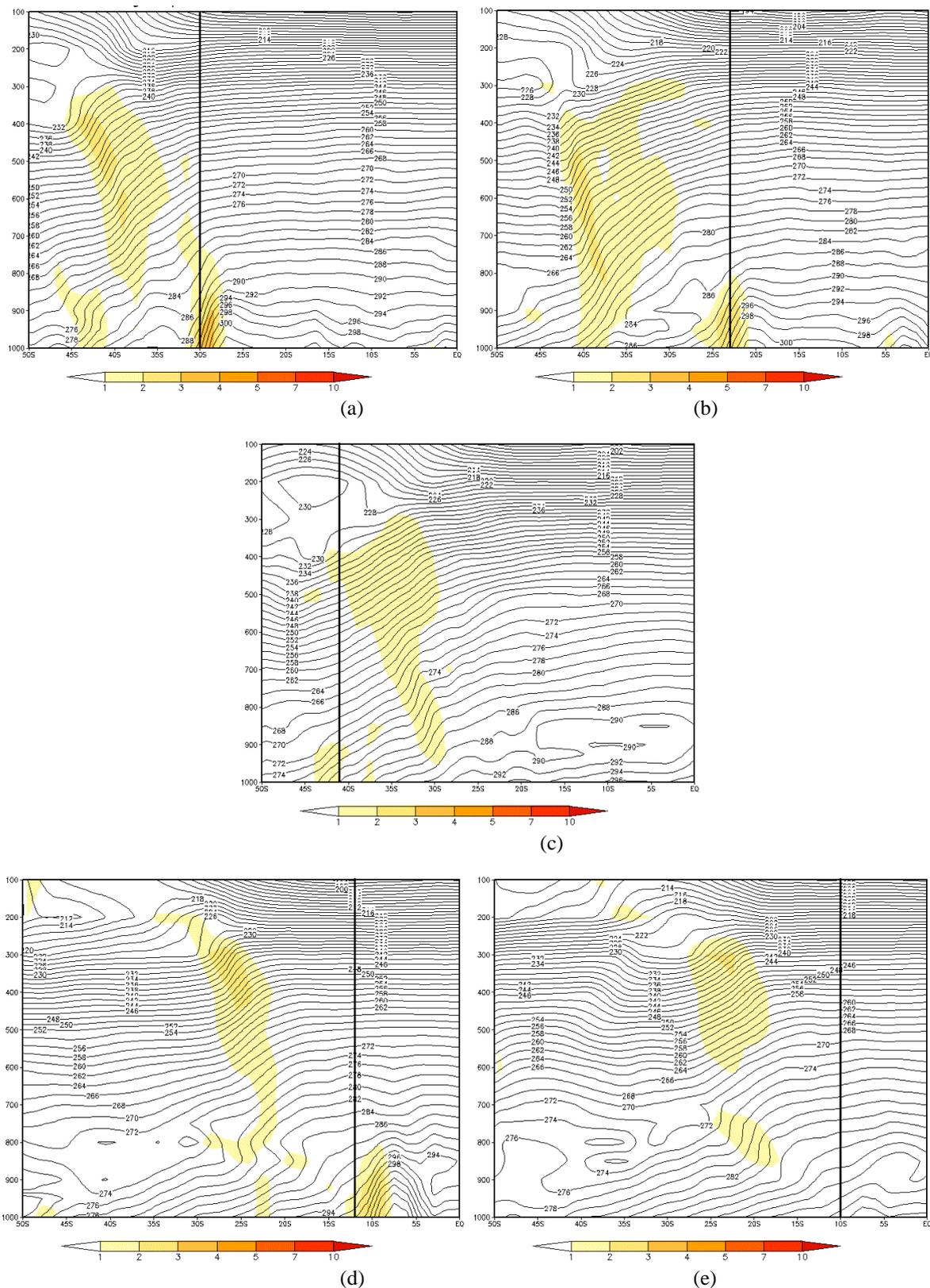


FIGURA 4.47 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 15/10/2006 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 17/10/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 20/10/2006 às 06Z (lon 21°W) - regeneração; d) 21/10/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 23/10/2006 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura Potencial Equivalente

A Figura 4.48 mostra o corte vertical feito na temperatura potencial equivalente para todos os pontos de observação do caso 13. No geral, essa variável se apresenta mais intensa do que os gradientes de temperatura, facilitando a análise da FF que atingem latitudes mais baixas.

Na Figura 4.48a, o gradiente chega até altos níveis em 300hPa com baixa intensidade de até $2^{\circ}/100\text{km}$, porém apresenta valores de no máximo $7^{\circ}/100\text{km}$ da superfície até 600hPa.

Em SP, a Figura 4.48b mostra características mais intensas da superfície a 600hPa com $5-7^{\circ}/100\text{km}$, e diminui a medida que chega a 250hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Na regeneração (Figura 4.48c), continua com a mesma intensidade de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ porém atinge 500hPa.

Em SALV (Figura 4.48d) o gradiente chega a 300hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$, apresentando a maior intensidade em médios níveis com valores de até $5^{\circ}/100\text{km}$ entre 850-700hPa.

Na Figura 4.48e, a superfície frontal em Maceió também chega aos 300hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$, e também apresenta entre a superfície e 500hPa, valores mais intensos de até $5^{\circ}/100\text{km}$ em 850hPa.

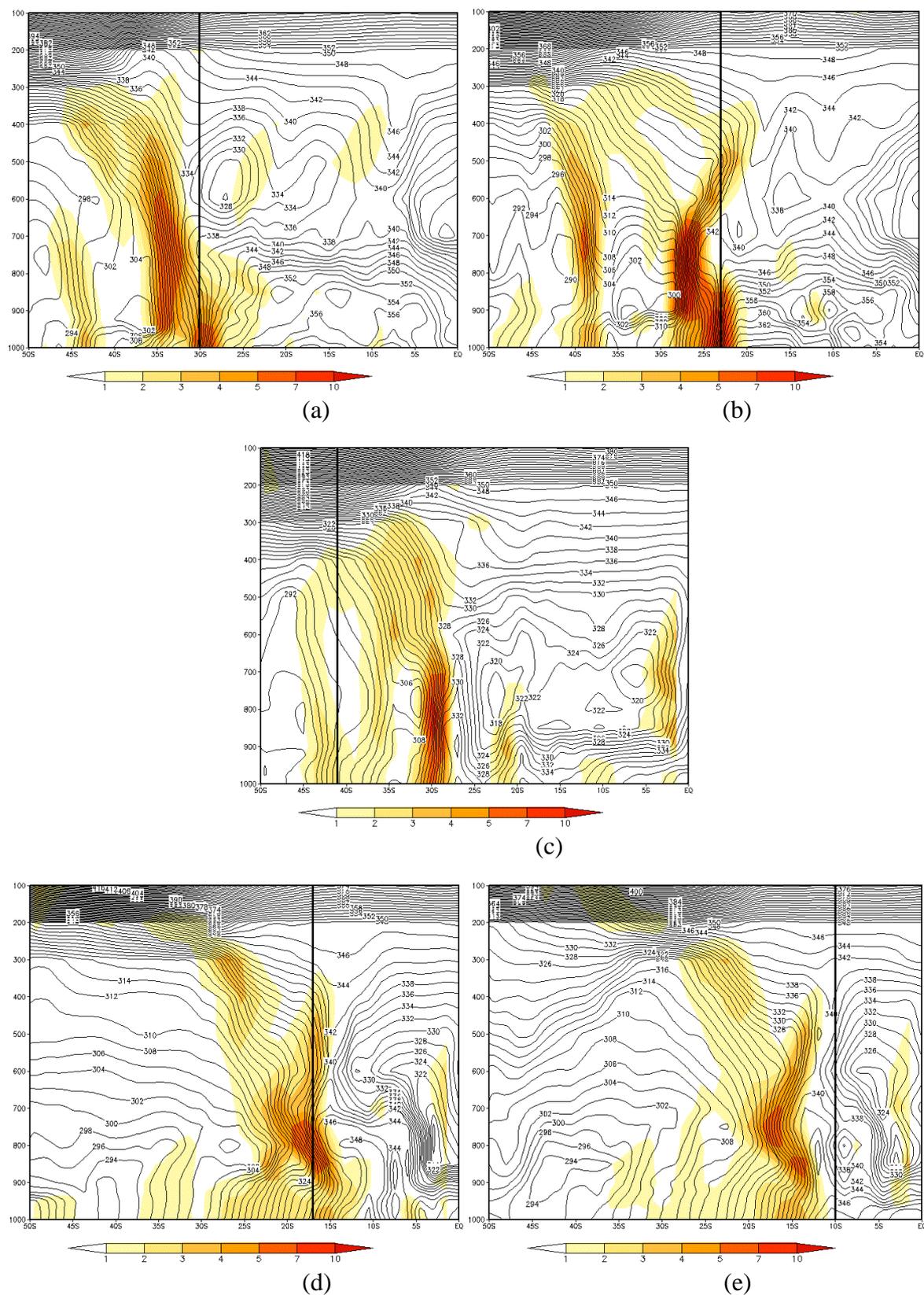


FIGURA 4.48 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 15/10/2006 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 17/10/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; c) 20/10/2006 às 06Z (lon 21°W) - regeneração; d) 21/10/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 23/10/2006 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Na Tabela 4.15 são exibidas as alturas máximas (em níveis de pressão) em que as variáveis mais utilizadas apresentam características frontais.

O vento em POA e SP se mantém em baixos níveis, não ultrapassando 800hPa. Em SALV o único caso que atinge 750hPa é o caso 7 (tipo II), os outros chegam apenas a 900hPa. Em Maceió, apenas o caso 7 (tipo II) apresentou características frontais até 850hPa. Nas regenerações e ciclogênese, as características se mantiveram em baixos níveis.

A vorticidade também não apresentou resultados semelhantes. Em SP dois casos (5 e 13) exibem vorticidade nula sobre a FF. Nos demais pontos de observação, a altura diminui à medida que a EF se aproxima de Maceió, não ultrapassando os 700hPa.

A temperatura também apresenta falhas, principalmente em Salvador e Maceió, onde a maioria dos casos não registrou gradientes frontais. Porém em POA, SP e nas regenerações os gradientes atingem de médios a altos níveis.

A variável de temperatura potencial equivalente é a única que mostra gradiente, até altos níveis, em todos os pontos de observação, principalmente em latitudes mais baixas. O gradiente em POA, SP, SALV e MCZ sempre se manteve acima de 300hPa, enquanto que na regeneração e ciclogênese o gradiente varia entre médios e altos níveis.

TABELA 4.15 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo III A. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

PORTO ALEGRE					SÃO PAULO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 5	700hPa	700hPa	150hPa	100hPa	caso 5	700hPa	nulo	150hPa	250hPa
caso 6	700hPa	800hPa	300hPa	250hPa	caso 6	800hPa	650hPa	300hPa	250hPa
caso 7	700hPa	800hPa	300hPa	300hPa	caso 7	900hPa	800hPa	350hPa	300hPa
caso 13	850hPa	450hPa	600hPa	300hPa	caso 13	900hPa	nulo	800hPa	250hPa

SALVADOR					MACEÍO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 5	900hPa	800hPa	nulo	250hPa	caso 5	nulo	850hPa	nulo	350hPa
caso 6	900hPa	800hPa	nulo	300hPa	caso 6	nulo	850hPa	850hPa	250hPa
caso 7	750hPa	650hPa	nulo	150hPa	caso 7	850hPa	700hPa	nulo	150hPa
caso 13	nulo	850hPa	800hPa	300hPa	caso 13	nulo	900hPa	nulo	300hPa

REGENERAÇÃO					CICLOGÊNESE				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 5	nulo	500hPa	650hPa	100hPa	caso 5	700hPa	750hPa	nulo	500hPa
caso 6 (1)	800hPa	700hPa	400hPa	300hPa					
caso 6 (2)	nulo	800hPa	nulo	500hPa					
caso 7 (1)	700hPa	nulo	800hPa	600hPa					
caso 7 (2)	700hPa	800hPa	350hPa	300hPa					
caso 13	850hPa	700hPa	900hPa	500hPa					

4.2.3.2. Modificações das frentes do tipo IIIB

4.2.3.2.1. Modificações do caso padrão do tipo IIIB

Caso 18

A Figura 4.49 mostra a imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com os mapas de linhas de corrente em: a) 925hPa e b) 200hPa, para o dia 25 de setembro de 2012 às 00Z, quando a FF se encontra sobre a cidade de Porto Alegre. A nebulosidade frontal é associada à nebulosidade da CJ, como visto na Figura 4.49b (tipo IIIB).

Ao chegar em São Paulo, a FF continua com o mesmo tipo de nebulosidade (IIIB). A Figura 4.50 mostra as imagens de satélites com o vento sobreposto em a) 925hPa e b) 200hPa para o dia 26 às 00Z, indicando a presença da CJ sobre o oceano em altos níveis.

A Figura 4.51a mostra o momento em que a EF está sobre Salvador no dia 27 às 18Z, com a nebulosidade frontal tanto sobre o oceano quanto sobre o continente, mas sem a associação com a CJ (tipo I).

No dia 28 às 00Z ocorre uma regeneração, vista na Figura 4.51b (R1).

Ao chegar à Maceió (Figura 4.51c) a EF se afasta ainda mais para leste, dispersando a nebulosidade frontal (tipo II).

A Tabela 4.16 exhibe a média da precipitação diária em cada região climática do Estado de Alagoas nos dias em que a EF se encontra sobre Maceió e confirma o fato de haver pouca umidade sobre o continente. Foi registrado uma média de 31,3mm de precipitação no dia 30 de setembro na região do Baixo São Francisco.

TABELA 4.16 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 28, 29 e 30 de setembro de 2012. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	28/set	29/set	30/set
Média Sertão	0.0	1.3	29.0
Média Sertão São Francisco	0.0	2.9	9.1
Média Agreste	0.0	1.1	17.1
Média Zona da Mata	0.2	3.7	10.1
Média Litoral	0.6	7.0	16.4
Média Baixo São Francisco	0.8	6.6	31.3

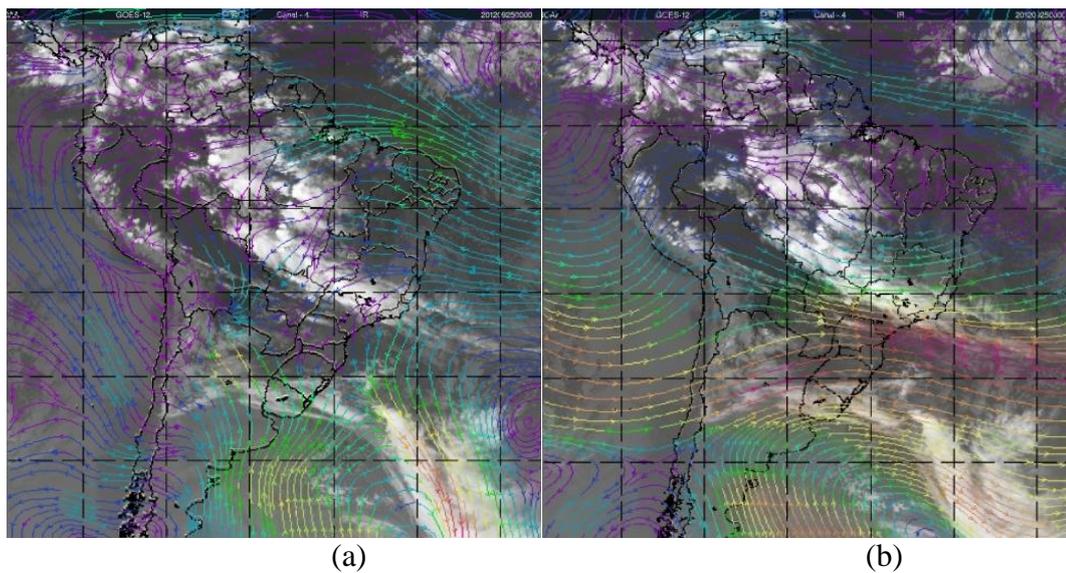


FIGURA 4.49 - Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes para o dia 25/09/2012 às 00Z em: a) 925hPa e b) 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

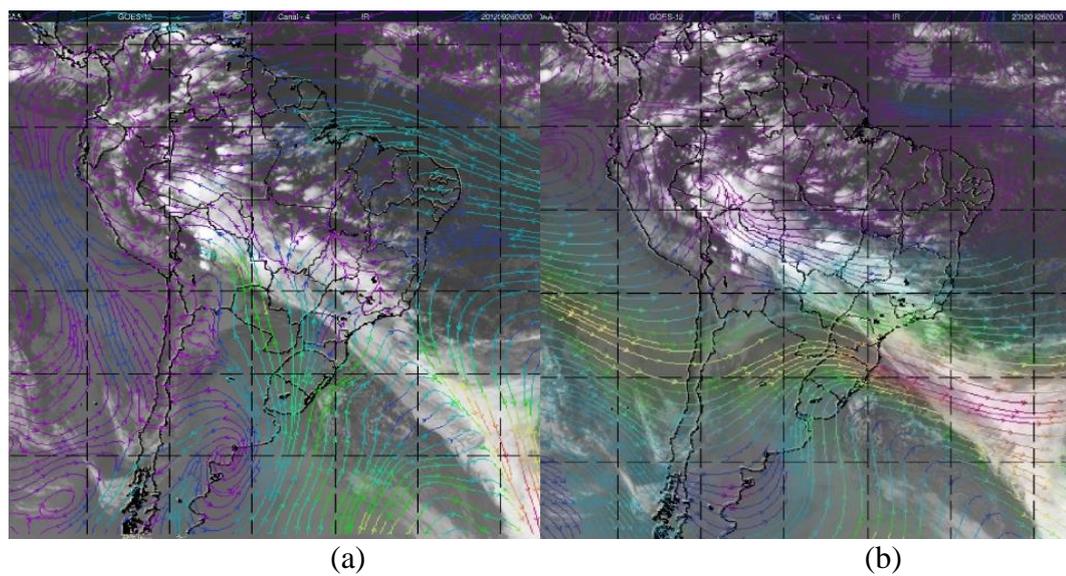


FIGURA 4.50 - Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes para o dia 26/09/2012 às 00Z em: a) 925hPa e b) 200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

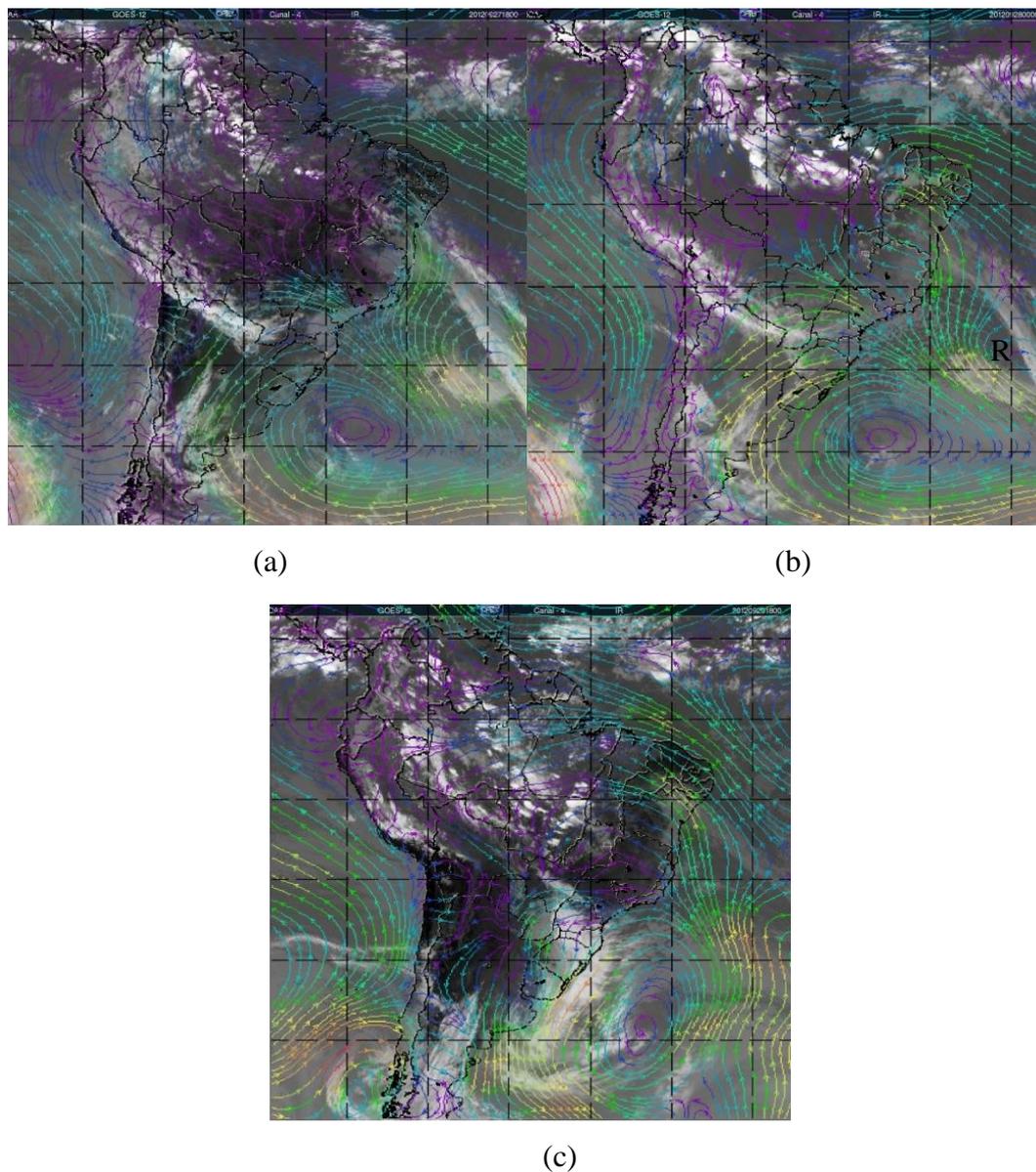


FIGURA 4.51 - Imagem de satélite do canal infravermelho sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 27/09/2012 às 12Z e b) 29/09/2012 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

Os cortes verticais do vento mostram que, em todos os pontos de observação, com exceção de MCZ, a superfície frontal não atinge níveis de pressão superiores a 700hPa.

Tanto em POA (Figura 4.52a) quanto SP (Figura 4.52b) pode-se notar que a partir de 500hPa a mudança que ocorre na direção e velocidade do vento se deve à processos ocorrendo em altos níveis, no caso as CJ mencionadas anteriormente.

Em SALV (Figura 4.52c) e na regeneração (Figura 4.52d), as características frontais só chegam a 750hPa e 800hPa respectivamente.

Em MCZ (Figura 4.52e) o vento não registra nenhuma mudança na direção e velocidade do vento, indicando que sobre o continente não há influência da FF.

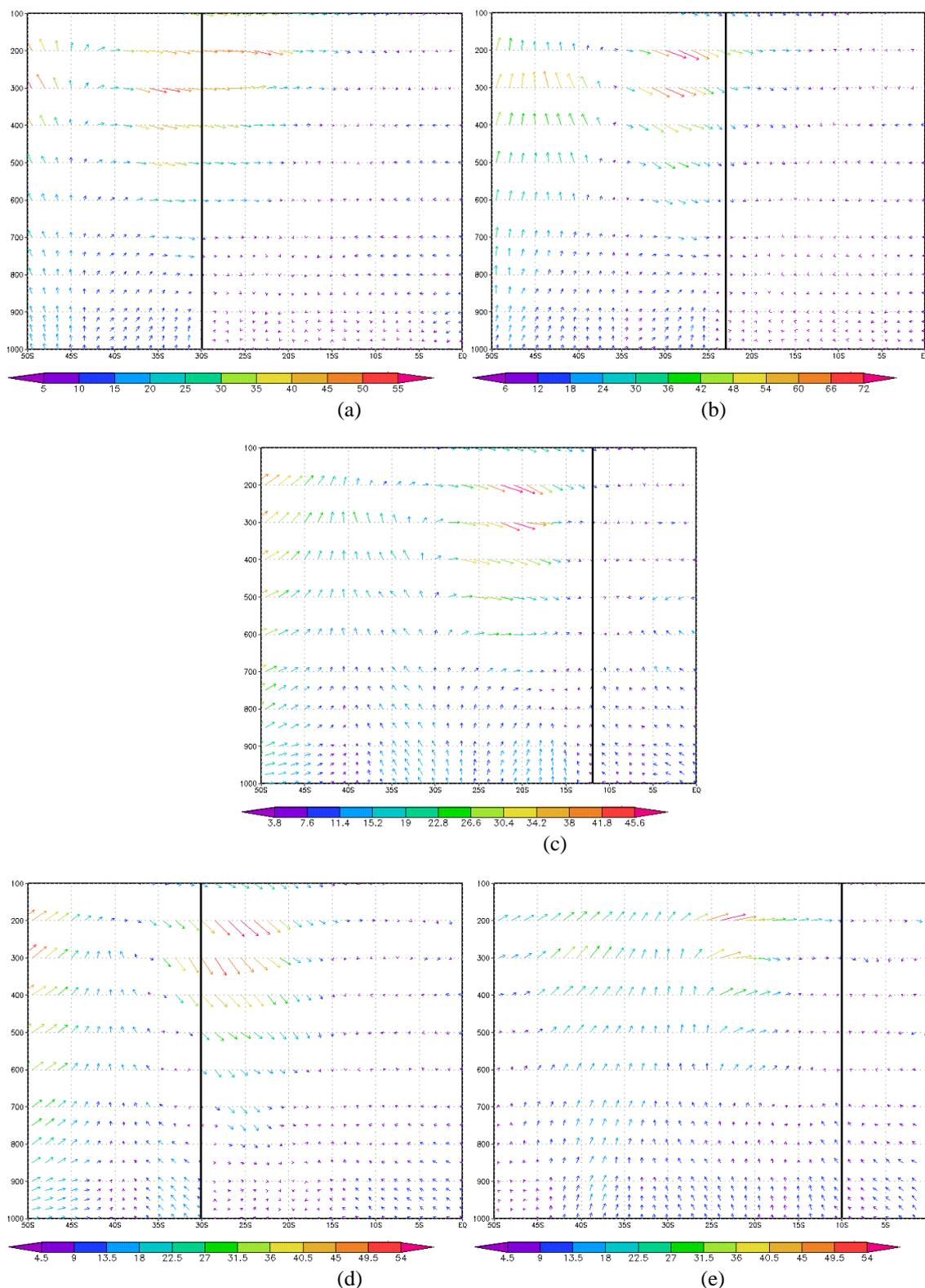


FIGURA 4.52 - Seção Vertical de Linha de Corrente para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Vorticidade Relativa

Nos pontos de observação principais, a vorticidade manteve-se negativa (ciclônica) apenas em baixos níveis, sendo nula em SP (Figura 4.53b). Porém, na regeneração, a vorticidade negativa se mantém até 500hPa (Figura 4.53d).

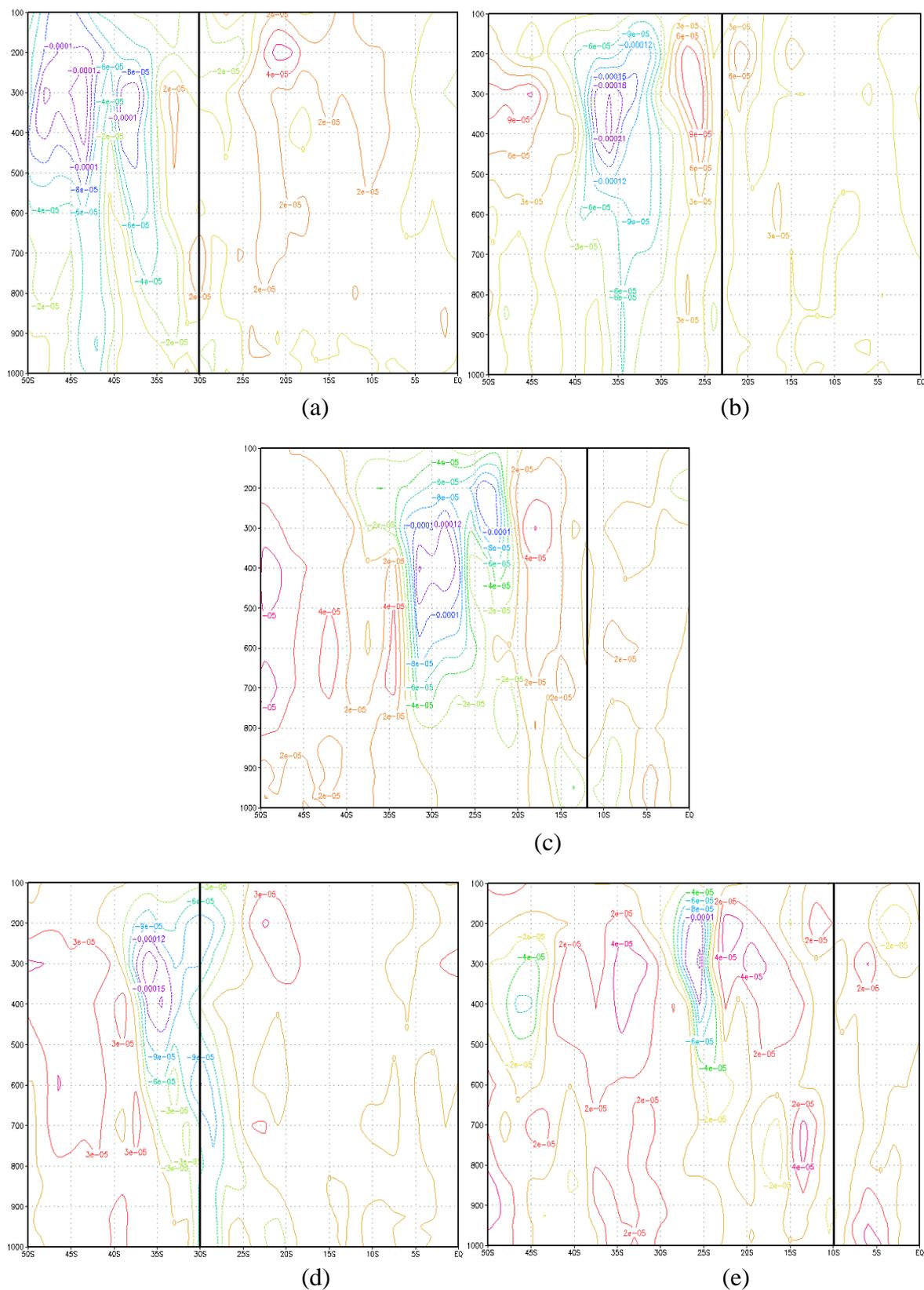


FIGURA 4.53 - Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura

A temperatura variou bastante a altura máxima que a superfície frontal atinge. Os cortes verticais mostram que nas latitudes mais altas, como POA (Figura 4.54a) e SP (Figura 4.54b), o gradiente de até $2^{\circ}/100\text{km}$ alcança 400hPa e 350hPa respectivamente, e apresentam áreas mais intensas em baixos níveis.

Nas latitudes mais baixas, como em SALV (Figura 4.54c) e MCZ (Figura 4.54e) o gradiente se mantém mínimo somente em baixos níveis.

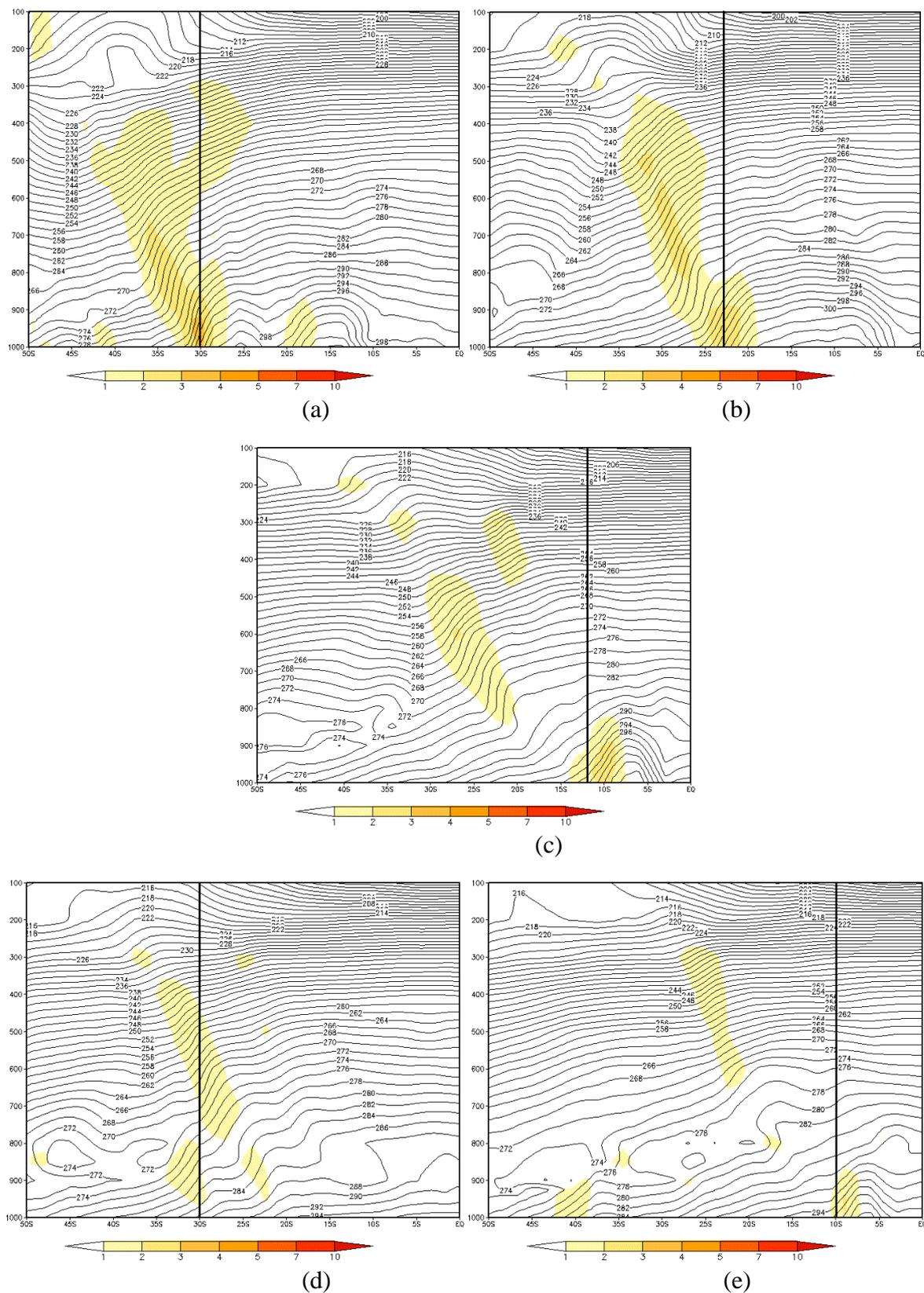


FIGURA 4.54 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

A temperatura potencial equivalente apresenta gradientes mais intensos, chegando a apresentar quedas de até $10^{\circ}/100\text{km}$ em latitudes altas e de $5^{\circ}/100\text{km}$ em latitudes baixas.

Em POA (Figura 4.55a), o gradiente atinge 350hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$, porém é observado que entre a superfície e 650hPa a intensidade do gradiente aumenta e chega a valores de até $10^{\circ}/100\text{km}$.

Tanto em SP (Figura 4.55b) quanto SALV (Figura 4.55c) as características frontais mínimas são vistas até 300hPa. A diferença se dá pela intensidade do gradiente em níveis mais baixos. Em SP, o gradiente na superfície chega a valores de $7^{\circ}/100\text{km}$, e entre 800-700hPa a intensidade aumenta para $10^{\circ}/100\text{km}$. Em SALV, fica entre 900-600hPa atinge $7^{\circ}/100\text{km}$.

Na Figura 4.55d a regeneração, apesar de apresentar valores médios em baixos níveis, tem em 800hPa o ponto mais intenso ($7^{\circ}/100\text{km}$), mas atinge 200hPa com valores mínimos de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em MCZ (Figura 4.54e) a superfície frontal não ultrapassa os 550hPa e também apresenta a parte mais intensa entre 800-700hPa com até $7^{\circ}/100\text{km}$.

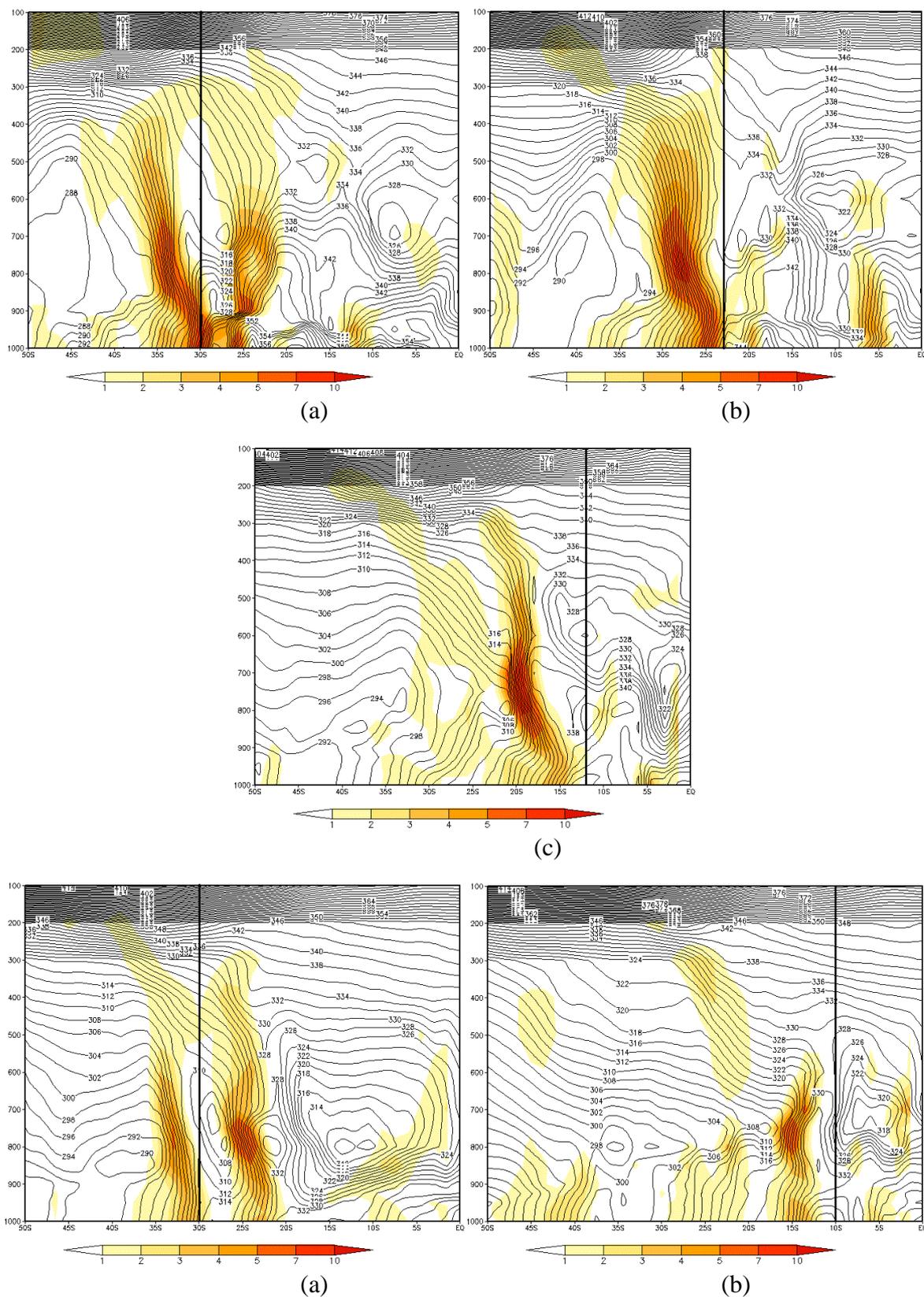


FIGURA 4.55 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 25/09/2012 às 00Z (lon 51°W) - POA; b) 26/09/2012 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 27/09/2012 às 12Z (lon 38°W) - SALV; d) 28/09/2012 às 00Z (lon 30°W) - regeneração e e) 29/09/2012 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

4.2.3.2.2. Modificações dos outros casos do tipo IIB

Caso 2

O caso começa no dia 31 de agosto de 2000 às 18Z quando uma FF se encontra sobre a cidade de POA, tendo a nebulosidade frontal associada com dois outros tipos de nebulosidade sobre o interior do continente: uma nebulosidade convectiva devido a um cavado em baixos níveis e uma circulação de alta pressão em médios níveis e; CJ em altos níveis.

Com o deslocamento do ciclone para sudeste, a FF chega à SP no dia 01 de setembro às 12Z, mantendo o mesmo tipo de nebulosidade, III B. Tanto a convecção em baixos níveis quando a presença da AB em médios níveis, e em altos níveis também tiveram um pequeno deslocamento para leste, assim como a CJ.

No dia 05 às 06Z ocorre uma regeneração no dia 05 às 06Z em 21°S 30°W ao mesmo tempo em que a EF está sobre a cidade de Salvador. A nebulosidade mais intensa é concentrada sobre a regeneração no oceano, enquanto sobre o continente a nebulosidade se concentra em baixos níveis (tipo II).

Ao chegar no Estado de Alagoas, a nebulosidade se afasta para o oceano, estando sobre Maceió no dia 06 às 06Z. Porém o maior volume de precipitação foi registrado no dia seguinte, dia 07 com 30,5mm na região do Litoral.

TABELA 4.17 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 05,06 e 07 de agosto de 2000. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	05/ago	06/ago	07/ago
Média Sertão	6.9	2.1	2.9
Média Sertão São Francisco	0.0	0.0	0.3
Média Agreste	3.7	4.6	8.1
Média Zona da Mata	18.1	11.8	11.9
Média Litoral	18.2	17.9	30.5
Média Baixo São Francisco	7.6	4.4	22.6

Temperatura

A Figura 4.56 apresenta a seção vertical da temperatura nos pontos de observação do caso 2.

Em POA (Figura 4.56a) e em SP (Figura 4.56b) as características frontais atingem até altos níveis, 200hPa e 400hPa respectivamente, com gradientes de 1-2°/100km.

Já na regeneração, em SALV (Figura 4.56c) e MCZ (Figura 4.56d) não foram registrados valores suficientes para superfície frontal.

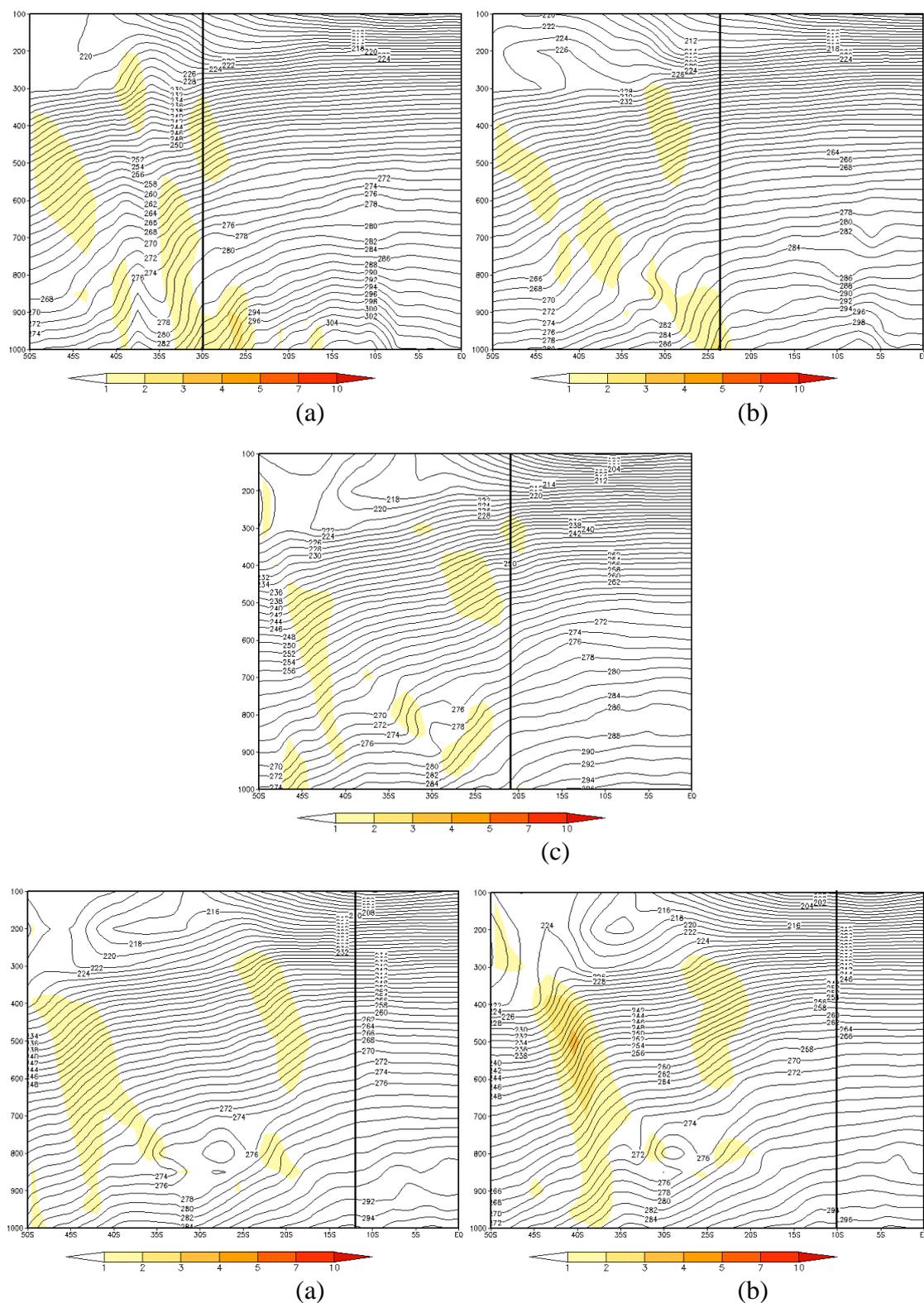


FIGURA 4.56 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 31/08/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/09/2000 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 05/09/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 05/09/2000 às 06Z (lon 38°W) - SALV e e) 06/09/2000 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Todos os pontos de observação apresentam características frontais até altos níveis, diferenciando apenas na intensidade do gradiente.

Tanto POA (Figura 4.57a) quanto SP (Figura 4.57b) mostram o gradiente de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 300hPa, porém em POA até 800hPa é registrado o valor de $5-7^{\circ}/100\text{km}$ enquanto em SP esse valor é observado até 700hPa.

A regeneração (Figura 4.57c), SALV (Figura 4.57d) e MCZ (Figura 4.56e) apresentaram valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ até 200hPa. Apesar de ter atingido níveis mais altos, exibiram os gradientes mais fortes em médios níveis porém menos intensos.

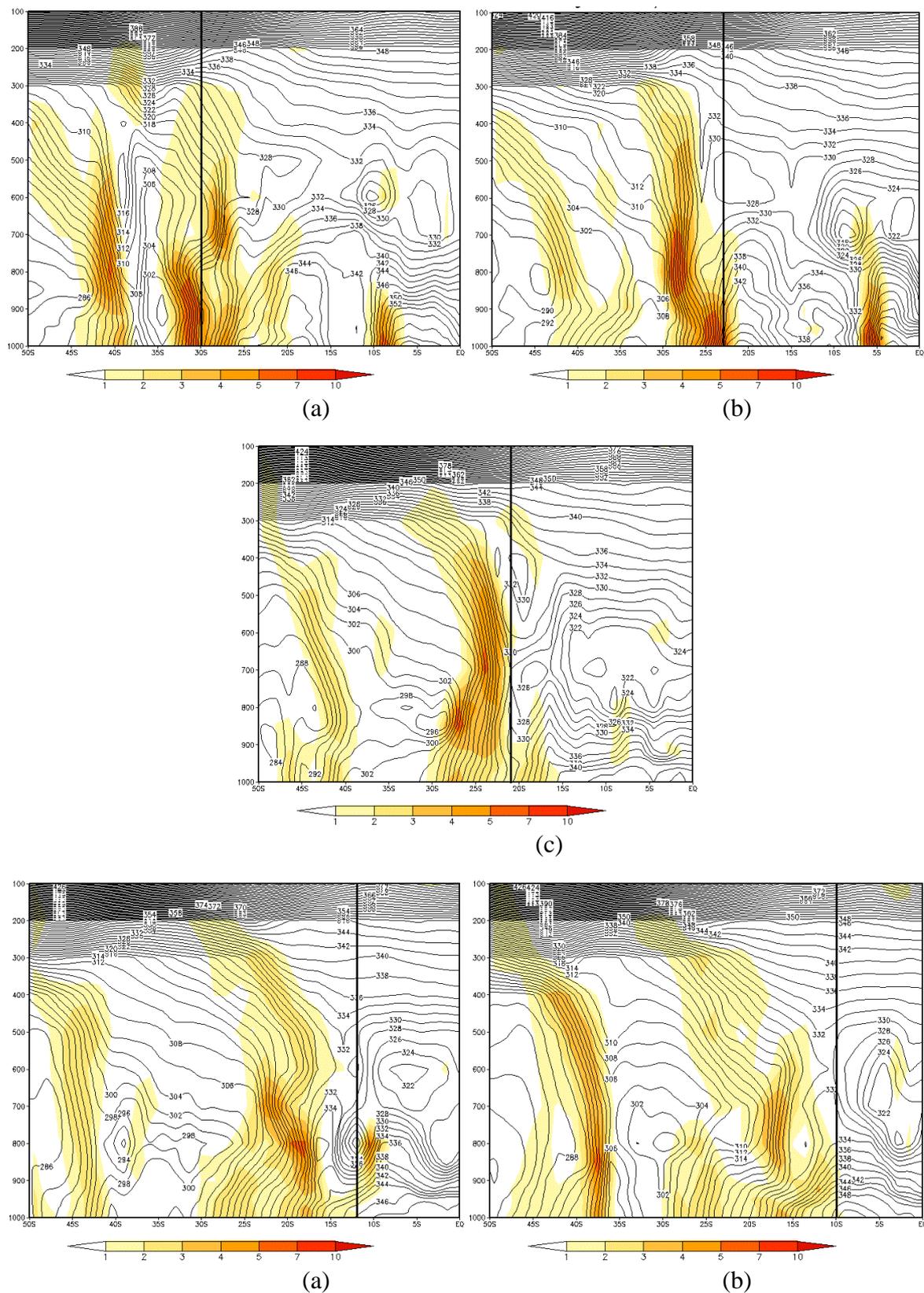


FIGURA 4.57 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 31/08/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/09/2000 às 12Z (lon 46°W) - SP; c) 05/09/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; d) 05/09/2000 às 06Z (lon 38°W) - SALV e e) 06/09/2000 às 06Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Caso 10

Sendo o único caso registrado na estação quente, o caso 10 inicia-se no dia 01 de dezembro de 2005 quando passa sobre a cidade de POA. A nebulosidade frontal se une à uma nebulosidade convectiva sobre o norte da Argentina e Paraguai. Em altos níveis verifica-se a presença da AB e também a influência da CJ na nebulosidade frontal (tipo III B).

No dia 02 às 06Z chega à SP com o meso tipo de nebulosidade, III B, com a convecção em baixos níveis mais a nordeste e a CJ atuando sobre o oceano.

No dia 04 às 00Z ocorre uma regeneração no dia 04 às 00Z em 25°S 29°W, e às 18Z a EF chega à SALV com pouca nebulosidade sobre o continente (tipo II).

Ao atingir MCZ no dia 05 às 00Z, a nebulosidade continua a mesma, mais intensa sobre o oceano. A Tabela 4.18 mostra que as precipitações no dia 05 apresentam os maiores valores registrados com 38,5mm na região do Litoral, 33,2 na Zona da Mata e 32,7 no Agreste. No dia 06 ainda foram observados 33,1mm e 29,5 mm na Zona da Mata e no Sertão do São Francisco respectivamente.

TABELA 4.18 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04, 05 e 06 de dezembro de 2005. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	04/dez	05/dez	06/dez
Média Sertão	0.6	13.1	7.2
Média Sertão São Francisco	0.0	3.2	29.5
Média Agreste	0.0	32.7	19.3
Média Zona da Mata	0.0	33.2	33.1
Média Litoral	0.0	38.5	21.5
Média Baixo São Francisco	0.0	26.9	20.6

Temperatura

A Figura 4.58 mostra as seções verticais de temperatura nos pontos de observação do caso 10.

Em POA (Figura 4.58a), o gradiente em baixos níveis começa com valores de 2-3°/100km. A medida que chega em 300hPa, perde intensidade para 1-2°/100km.

Na Figura 4.58b a superfície frontal só aparece a partir de 950hPa até 150hPa com 1-2°/100km, sendo que entre 800-350hPa a intensidade é maior.

A regeneração (Figura 4.58c) mostra um gradiente homogêneo com valores de 1-2°/100k da superfície até 500hPa.

Em SALV (Figura 4.58d) as características frontais foram apenas até 850hPa com valores de 1-2°/100km.

A Figura 4.58e exibe o corte vertical feito no dia em que a EF estava atuando sobre a cidade de MCZ, porém nenhum gradiente foi registrado na variável de temperatura.

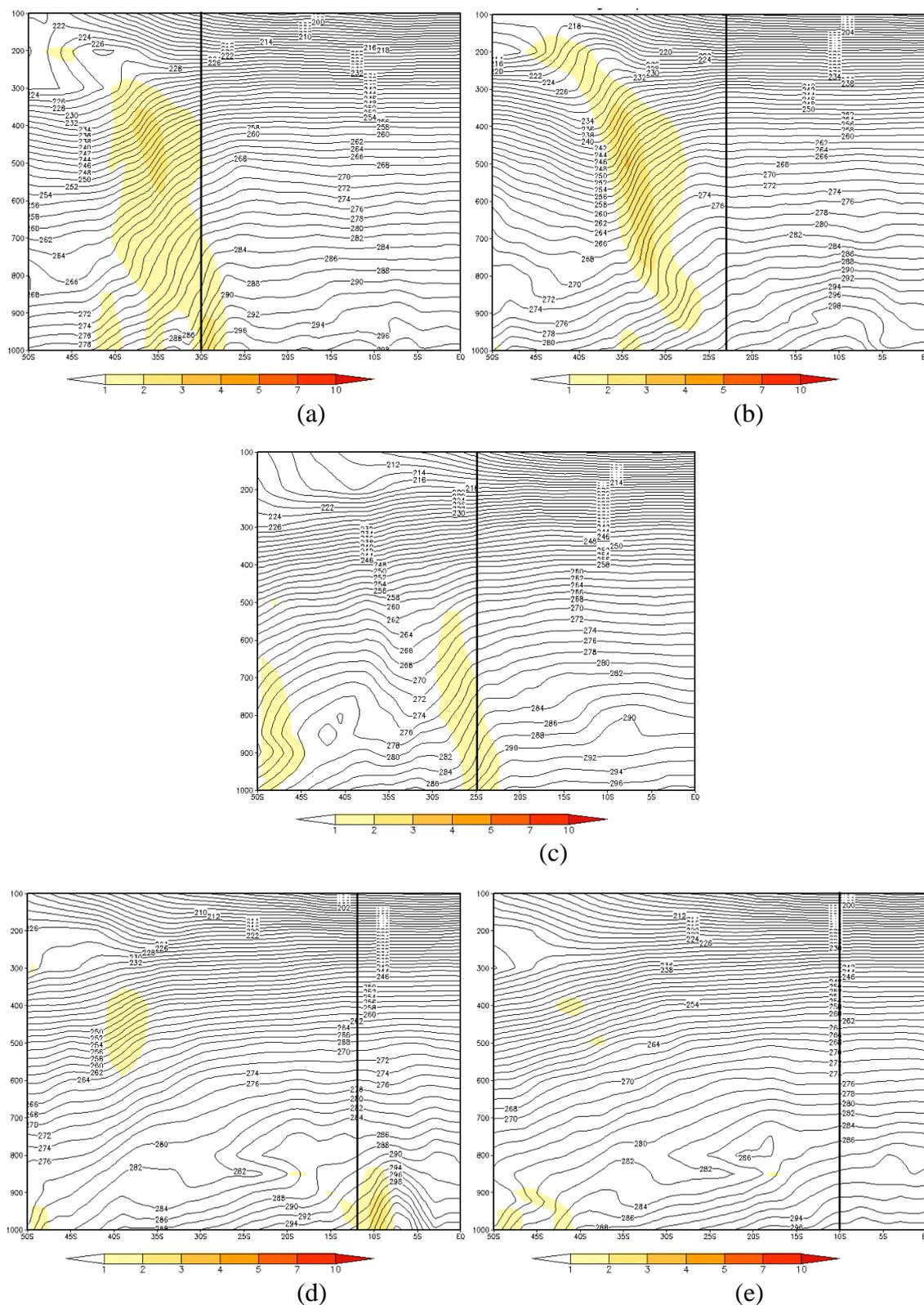


FIGURA 4.58 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 01/12/2005 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/12/2005 às 0Z (lon 46°W) - SP; c) 04/12/2005 às 00Z (lon 21°W) - regeneração; d) 04/12/2005 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/12/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Na Figura 4.59 os gradientes são mais intensos do que os encontrados na temperatura, principalmente em médios níveis nas latitudes mais baixas.

Em POA (Figura 4.59a) o gradiente é bem intenso desde a superfície até 500hPa com valores de até $5-7^{\circ}/100\text{km}$, porém ao atingir 200hPa a intensidade diminui para $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em SP, a Figura 4.59b mostra que além de atingir 150hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$, apresentou valores de até $7-10^{\circ}/100\text{km}$ entre 900-700hPa.

Na Figura 4.59c, a regeneração apresenta um gradiente com valores de até $7^{\circ}/100\text{km}$ entre a superfície e 700hPa, diminuindo à medida que chega aos altos níveis, estando em 200hPa com valores de $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

Em SALV (Figura 4.59d) e MCZ (Figura 4.59e) a configuração foi bem parecida, mostrando uma grande intensidade entre 900-700hPa de até $10^{\circ}/100\text{km}$, que se estende chegando à 400hPa com $1-2^{\circ}/100\text{km}$.

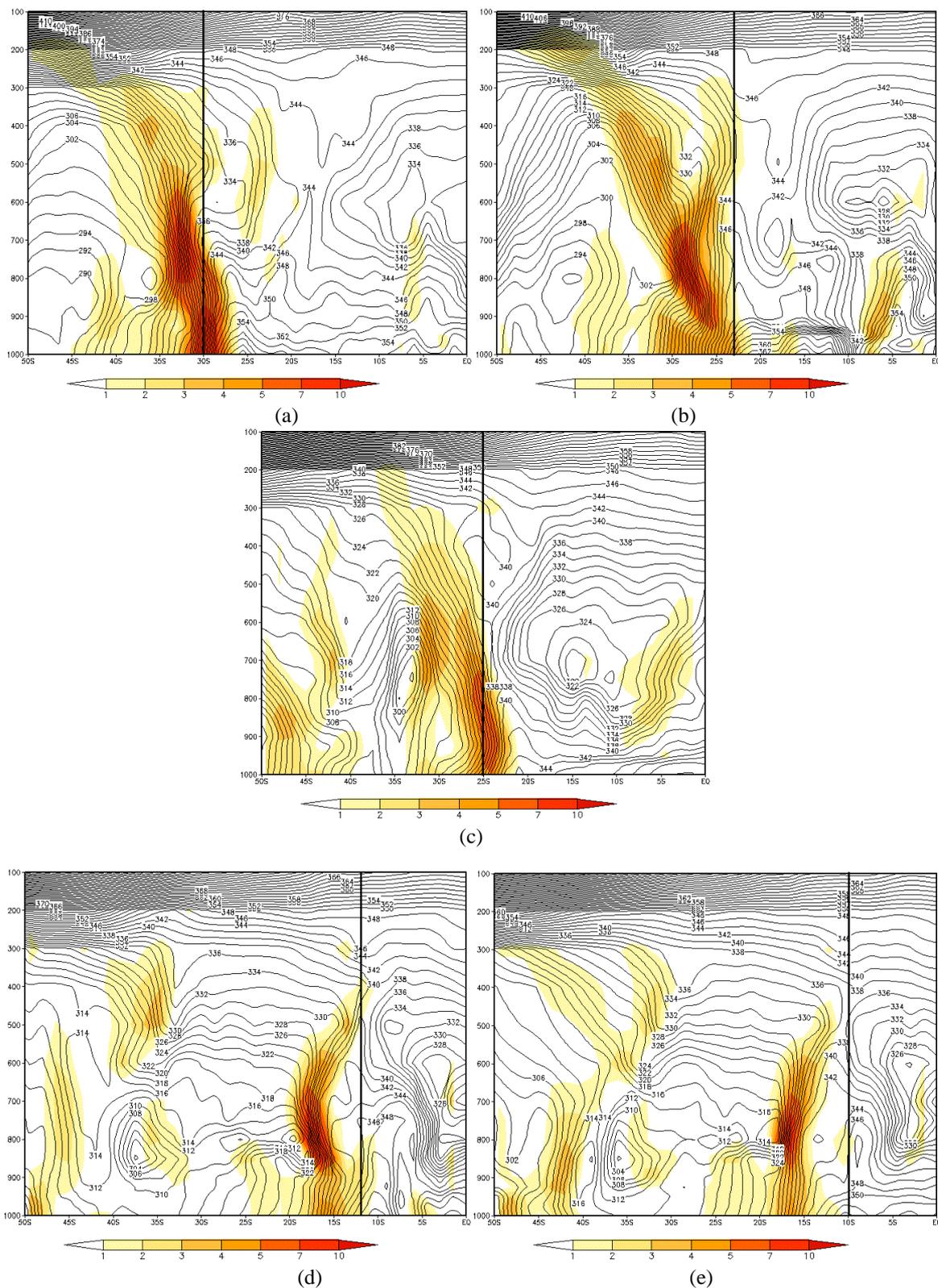


FIGURA 4.59 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 01/12/2005 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 02/12/2005 às 0Z (lon 46°W) - SP; c) 04/12/2005 às 00Z (lon 21°W) - regeneração; d) 04/12/2005 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/12/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Todos os casos possuem uma progressão similar da nebulosidade: III B em POA; IIIB em SP; I ou II em SALV e II em MCZ. Os três casos também apresentaram regenerações em localidades próximas, entre os pontos 20-30°S e 30°W.

A Tabela 4.19 mostra a altura da superfície frontal dos casos pertencentes ao tipo de nebulosidade III B no primeiro ponto de observação (POA), porém também mostra o avanço dos mesmos casos até a chegada à MCZ, das principais variáveis analisadas: vento; vorticidade relativa; temperatura e temperatura potencial equivalente.

O vento apenas exibiu características frontais em baixos níveis, não ultrapassando 700hPa (POA). No entanto, em latitudes mais baixas como MCZ (10°S) o vento não apresentou características frontais, principalmente no verão, que a partir de SALV (12°S) já não mostrava.

A vorticidade não apresentou resultados semelhantes. O caso 2 apresenta em POA, MCZ e na regeneração vorticidade positiva (anticiclônica) em baixos níveis, enquanto em SP e SALV os valores são nulos. Os outros casos também só exibem características frontais em baixos níveis, incluindo em SP (caso 10) e SALV.

A temperatura em POA e SP mostrou características até altos níveis, variando entre 400-150hPa. Em SALV, MCZ e na regeneração, as características se conservam principalmente em baixos níveis, apresentando valores nulos à medida que a latitude diminui.

Apenas a variável de θ_e exibe as características frontais, em todos os casos, variando entre os médios níveis (regeneração caso 18) até 150hPa (SP caso 10).

TABELA 4.19 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo III B. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

PORTO ALEGRE					SÃO PAULO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 2	700hPa	p 850hPa	200hPa	300hPa	caso 2	800hPa	nulo	400hPa	300hPa
caso 10	700hPa	750hPa	300	200hPa	caso 10	850hPa	750hPa	150hPa	150hPa
caso 18	700hPa	900hPa	400hPa	350hPa	caso 18	800hPa	nulo	350hPa	300hPa

SALVADOR					MACEIÓ				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 2	900hPa	nulo	nulo	200hPa	caso 2	nulo	p	nulo	200hPa
caso 10	nulo	800hPa	850hPa	400hPa	caso 10	nulo	800hPa	nulo	400hPa
caso 18	750hPa	850hPa	800hPa	300hPa	caso 18	nulo	900hPa	900hPa	550hPa

REGENERAÇÃO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 2	900hPa	p 850hPa	nulo	200hPa
caso 10	800hPa	p 700hPa	500hPa	200hPa
caso 18	800hPa	500hPa	800hPa	200hPa

4.2.4. Modificações das frentes do tipo IV

4.2.4.1. Modificações do caso padrão do tipo IV

Caso 14

No dia 27 de julho de 2007 às 18Z uma frente secundária se aproxima da cidade de POA. Na Figura 4.60a, é observado sobre o sudeste brasileiro uma banda de nuvens referentes à frente principal. Mais ao sul, na retaguarda da FF sobre o oceano Atlântico Sul, verifica-se a presença de um vórtice de ar frio com nebulosidade que se estende do centro do ciclone até o litoral do RS.

Com o deslocamento de todo o sistema para sudeste, ao chegar à SP no dia 29 às 00Z, a nebulosidade da frente principal e secundária se uniram e interagiram com a CJ em 200hPa, formando uma nebulosidade do tipo III B (Figura 4.60b).

A Figura 4.60c mostra que a nebulosidade da EF se encontra sobre SALV. Pelas linhas de corrente é observado que o cavado frontal está afastado da costa e que o continente está sob influência da alta pós frontal, advectando ventos umidos do oceano para o continente. O mesmo ocorre na Figura 4.60d, quando a EF está sobre MCZ. Ambas as cidades apresentam nebulosidade do tipo I.

No Estado de Alagoas, a extremidade da frente fria provocou chuvas moderadas, registrando o maior volume no dia 01 de agosto com 38,4mm no Litoral.

TABELA 4.20 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 30, 31 de julho e 01 de agosto de 2007. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	30/jul	31/jul	01/ago
Média Sertão	14.9	15.0	6.8
Média Sertão São Francisco	1.3	4.1	1.8
Média Agreste	7.1	37.5	14.1
Média Zona da Mata	12.4	23.0	34.0
Média Litoral	32.1	37.1	38.4
Média Baixo São Francisco	14.6	27.5	18.5

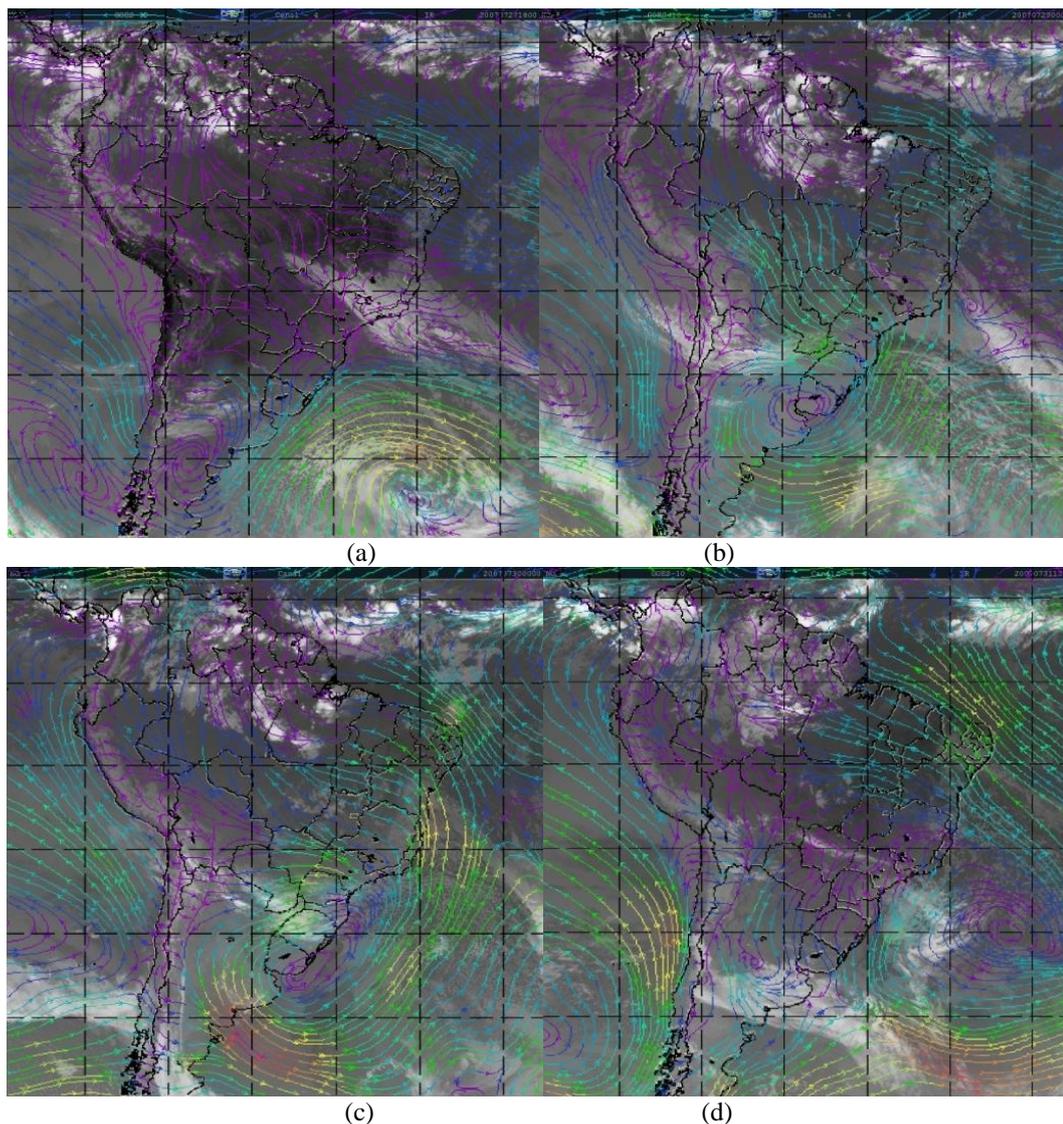


FIGURA 4.60 - Imagem de satélite sobreposta com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z; b) 29/07/2007 às 00Z; c) 30/07/2007 às 00Z e d) 31/07/2007 às 12Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

A Figura 4.61 mostra o corte vertical feito nas linhas de corrente em todos os pontos de observação do caso 14. A posição da FF, em baixos níveis, é indicada pela linha preta.

Em POA (Figura 4.61a) e SP (Figura 4.61b) o comportamento do vento foi semelhante. Na vanguarda da FF, o vento apresentou pouca intensidade, na retaguarda a velocidade aumentou e mostrou características frontais até 700hPa nas duas cidades. Acima dos 600hPa, a mudança encontrada na direção e velocidade do vento é influenciada por processos ocorridos em altos níveis.

Em SALV (Figura 4.61c) e MCZ (Figura 4.61d), apesar de também apresentarem características frontais até 700hPa, os ventos na vanguarda do sistema são mais intensos do que os vistos em POA e SP.

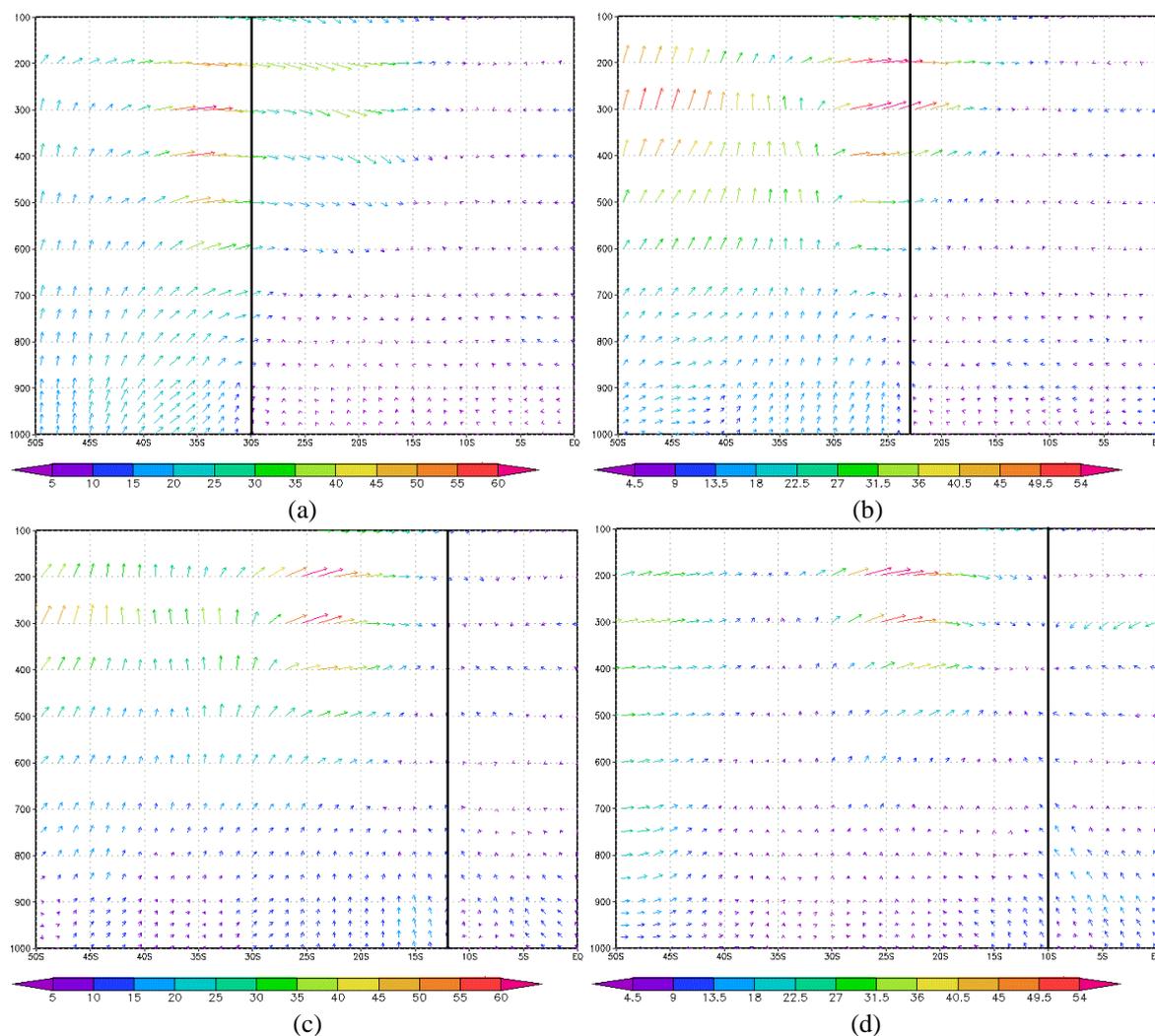


FIGURA 4.61 - Seção Vertical de Linhas de Correntes para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Vorticidade Relativa

O corte vertical da vorticidade relativa dos pontos de observação do caso 14 é apresentado na Figura 4.62. As cidades de POA (Figura 4.62a) e SP (Figura 4.62b) mostram que a vorticidade negativa (ciclônica) na vanguarda do sistema e vorticidade positiva (anticiclônica) na retaguarda. Em SP é possível ver entre 750-650hPa um núcleo de vorticidade negativa com valores de até $-2 \times 10^{-5} s^{-1}$.

Em SALV (Figura 4.62c) e MCZ (Figura 4.62d) a vorticidade na atmosfera é basicamente positiva (anticiclônica) na região do sistema frontal, apresentando vorticidade negativa apenas a partir dos 400hPa.

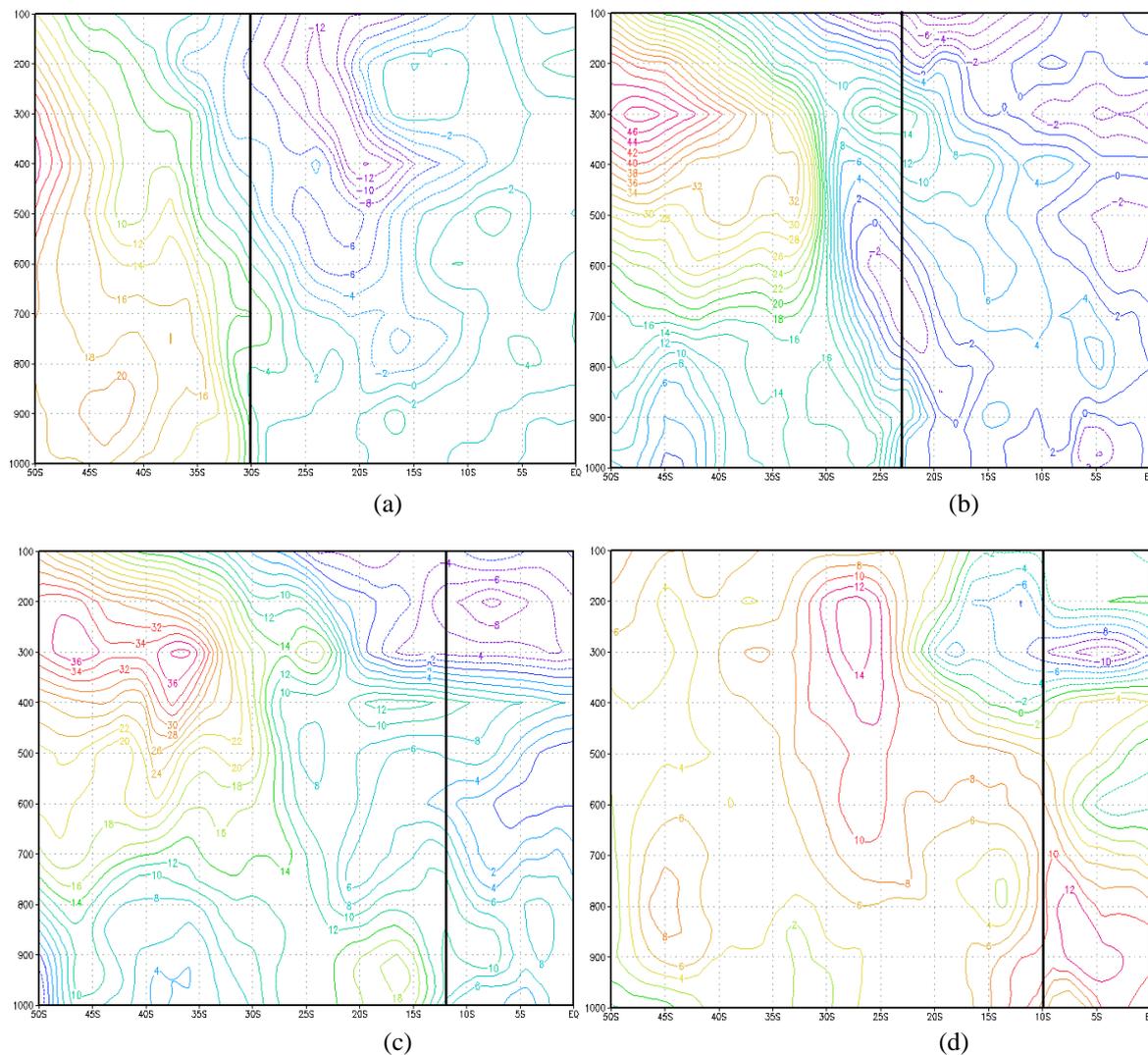


FIGURA 4.62 - Seção Vertical de Vorticidade Relativa para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura

O corte vertical mostra que para POA (Figura 4.63a) e SP (Figura 4.63b) a temperatura apresenta características frontais até altos níveis, 350 e 200hPa respectivamente. Apesar da diferença de intensidade em baixos níveis, POA com 3-4°/100k e SP com 2-3°/100km, ambas as cidades exibem uma queda de 1-2°/100km no nível mais alto.

Em SALV (Figura 4.63c) e MCZ (Figura 4.63d) a temperatura não possui características frontais.

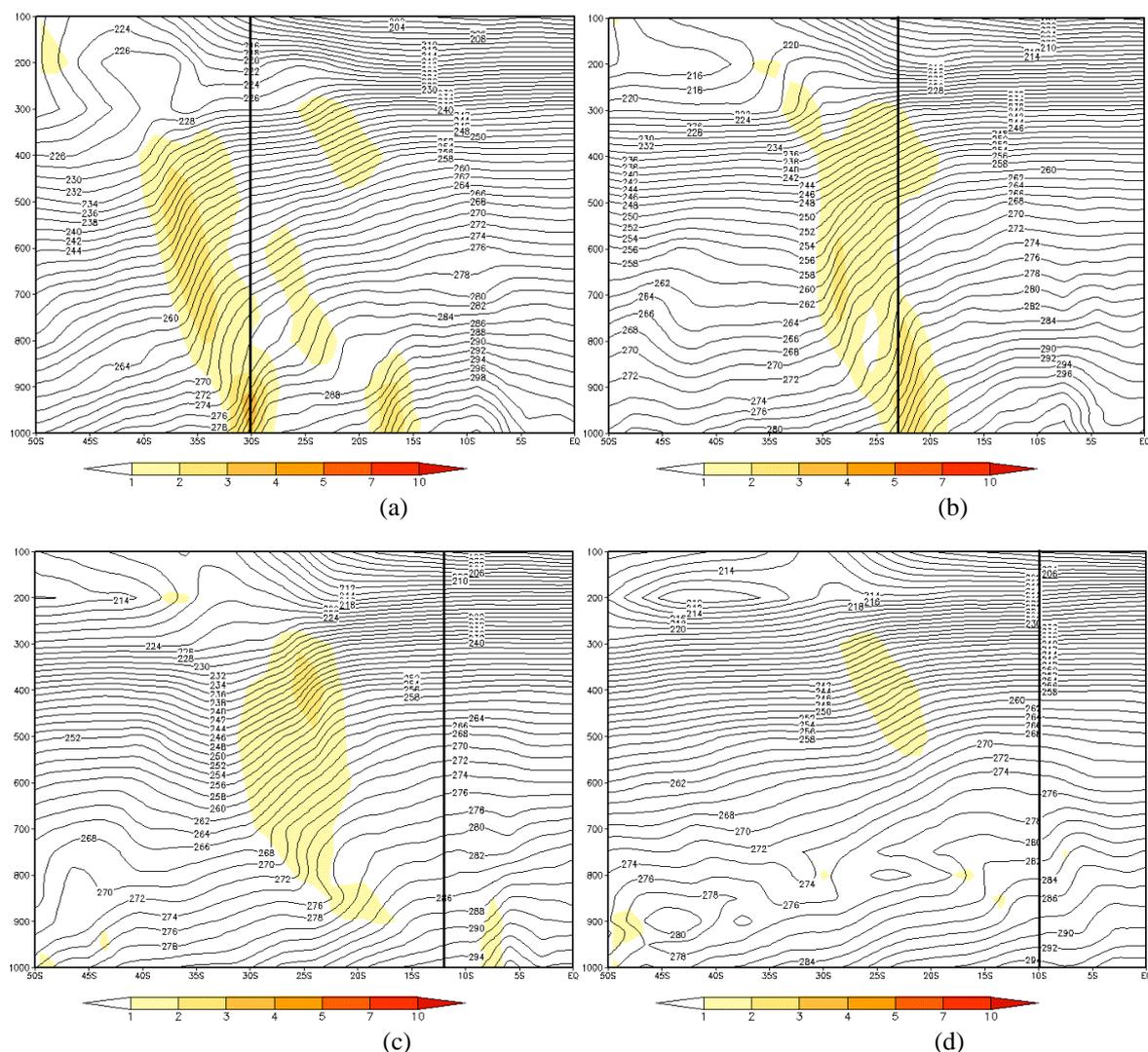


FIGURA 4.63 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Nas Figuras 4.64a e 4.64b, que representam o corte vertical nas cidades de POA e SP respectivamente, verifica-se que há um aumento da intensidade do gradiente em relação à variável da temperatura. Em POA, a superfície frontal se estende até 300hPa, apresentando o gradiente mais intenso de 5-7°/100km em 900hPa. Em SP a intensidade aumenta, apresentando de 5-7°/100km até 700hPa, e chega até 200hPa com 1-2°/100km.

Em SALV (Figura 4.64c) o gradiente está mais ao sul da localização da cidade, é menos intenso do que o visto em SP e possui um núcleo de 4-5°/100km entre 800-650hPa, atingindo 250hPa com 1-2°/100km.

Ao chegar à MCZ (Figura 4.64d) as características frontais de θ_e atinge 600hPa com 1-2°/100km e apresenta um pequeno núcleo de 5-7°/100km em 800hPa.

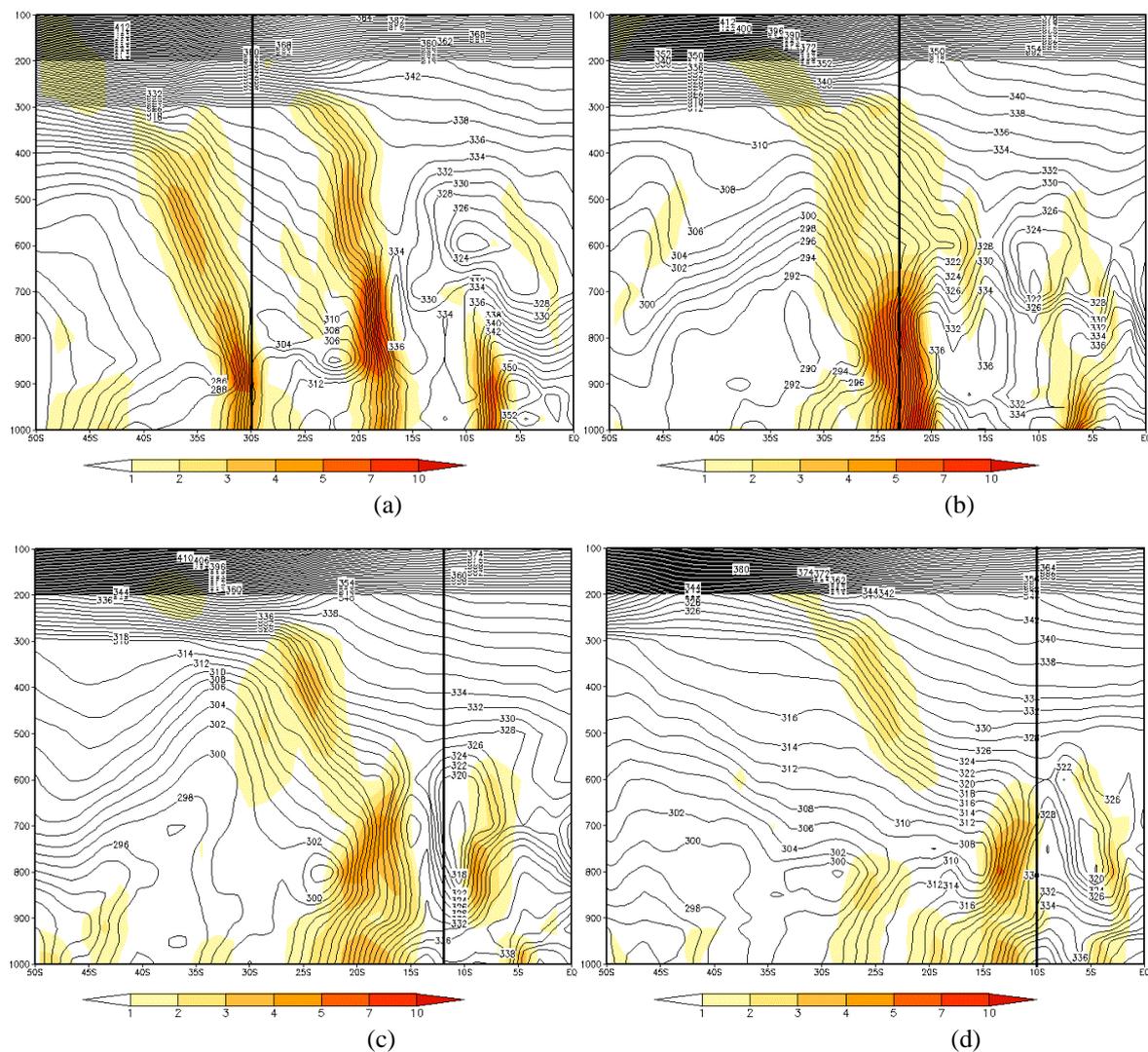


FIGURA 4.64 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 27/07/2007 às 18Z (lon 51°W) - POA; b) 29/07/2007 às 00Z (lon 46°W) - SP; c) 30/07/2007 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 31/07/2007 às 12Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

4.2.4.2. Modificações dos outros casos do tipo IV

Caso 1

O caso começa no dia 31 de maio de 2000 às 12Z, quando uma FS chega à cidade de POA (tipo IV). Com a movimentação do sistema para sudeste, no dia 01 de junho às 00Z ocorre uma regeneração em 40°S30°W. Às 06Z do dia 01, a FF chega à SP, e com a nebulosidade frontal associada a uma nebulosidade da CJ sobre o continente (tipo III B). No dia 04 às 18Z a EF atinge a cidade de SALV com a nebulosidade tanto sobre o oceano quanto sobre o continente

(tipo I). Ao alcançar MCZ no dia 05 às 18Z, a EF continua apresentando o mesmo tipo de nebulosidade (tipo I), cobrindo o oceano e parte do leste do nordeste.

Quando se encontra sobre o Estado de Alagoas, o sistema frontal provocou grandes quantidades de precipitação. No dia 05, a Zona da Mata e o Litoral apresentam os maiores acumulados com 44 e 83mm respectivamente. No dia 06, as regiões do Agreste (28,5mm), Zona da Mata (66,8mm) e Litoral (30,2mm) também receberam os maiores volumes de precipitação, mostrados na Tabela 4.17.

TABELA 4.21 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 04, 05 e 06 de junho de 2000. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	04/jun	05/jun	06/jun
Média Sertão	1.5	23.6	6.4
Média Sertão São Francisco	0.0	5.0	5.2
Média Agreste	0.8	6.5	28.5
Média Zona da Mata	3.0	44.0	66.8
Média Litoral	7.3	83.0	30.2
Média Baixo São Francisco	12.2	16.0	9.8

Temperatura

A Figura 4.65a mostra o corte vertical da temperatura feito na cidade de POA (lon 51°W) no dia 31 de maio às 12Z, e identifica apenas a frente principal com uma variação de 1-2°/100km em 25°S.

Na regeneração (Figura 4.65b), a seção vertical foi feita na longitude de 30°W, e também não apresenta características frontais.

Ao chegar em SP no dia 01 de junho às 06Z, o gradiente de temperatura de 1-2°/100km se encontra sobre a cidade, atingindo 300hPa (Figura 4.65c).

Porém, tanto a Figura 4.65d (SALV) quanto a Figura 4.65e (MCZ) apresentam valores de 1-2°/100km alguns graus de latitude mais ao norte do ponto observado.

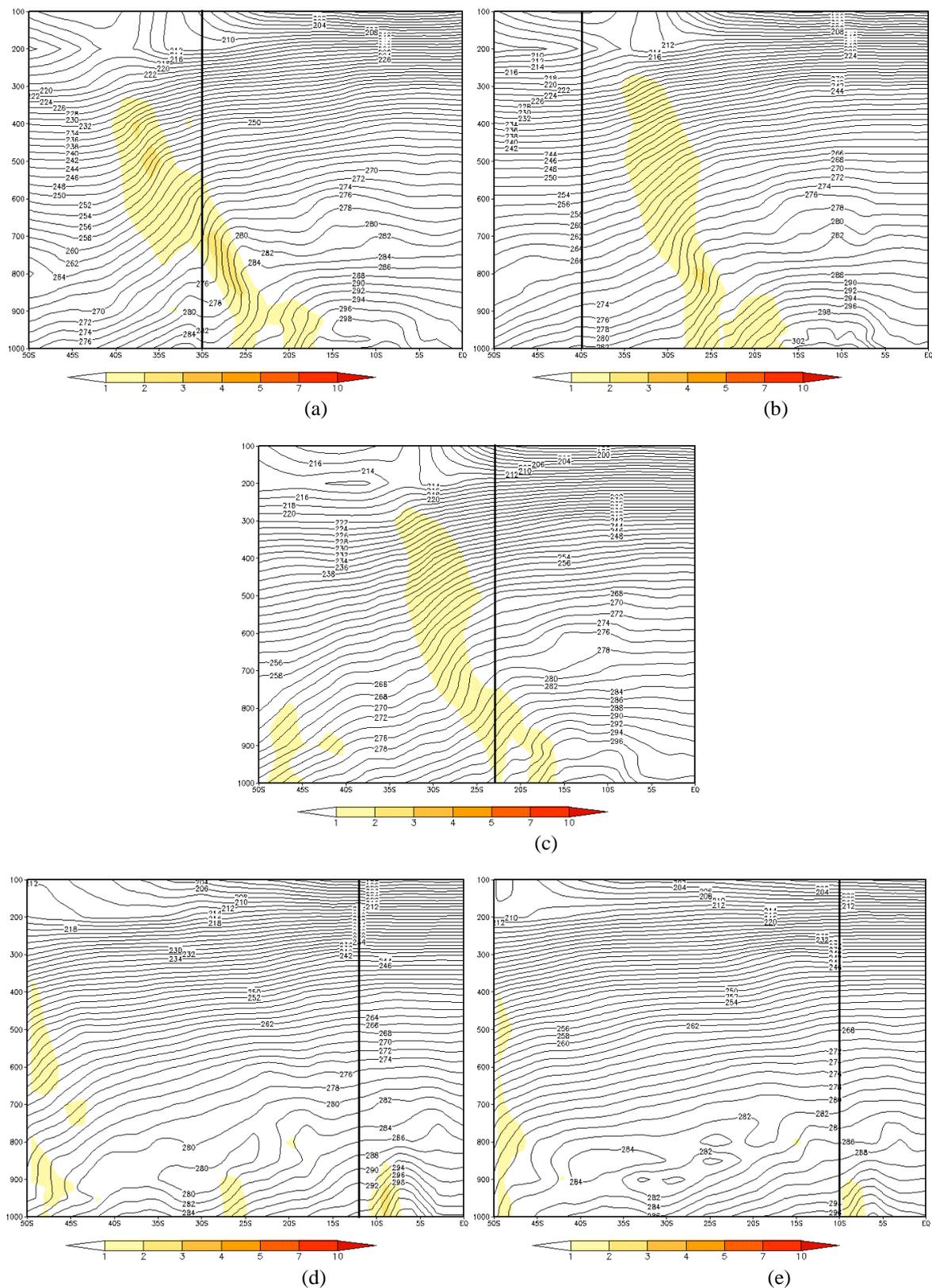


FIGURA 4.65 - Seção Vertical de Temperatura para os dias: a) 31/05/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/06/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; c) 01/06/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; d) 04/06/2000 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/06/2000 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura Potencial Equivalente

Os gradientes aparecem mais fortes na temperatura potencial equivalente. Em POA (Figura 4.66a), a frente principal apresenta gradientes com valores maiores de $10^{\circ}/100\text{km}$. A FS se encontra posicionada mais ao sul da frente principal e também do ponto de observação. Em 650hPa, as duas frentes se unem em um mesmo gradiente, chegando a atingir 200hPa.

A Figura 4.66b mostra que sobre a localização da regeneração, os valores de queda de temperatura a cada 100km são nulos.

Em SP, o gradiente teve um aumento considerável, apresentando quedas de $5-7^{\circ}/100\text{km}$ até 700hPa, sobre a latitude de 23°S . Após diminuir a intensidade à medida que a altitude aumenta, o gradiente chega em 200hPa com intensidade de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ (Figura 4.66c).

Em SALV e MCZ, ao contrário do que mostrou as Figuras de temperatura, as características frontais chegam até 500hPa em SALV (Figura 4.66d) e em 450hPa em MCZ (Figura 4.66e), com intensidades de $2-3^{\circ}/100\text{km}$ em SALV e de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ em MCZ.

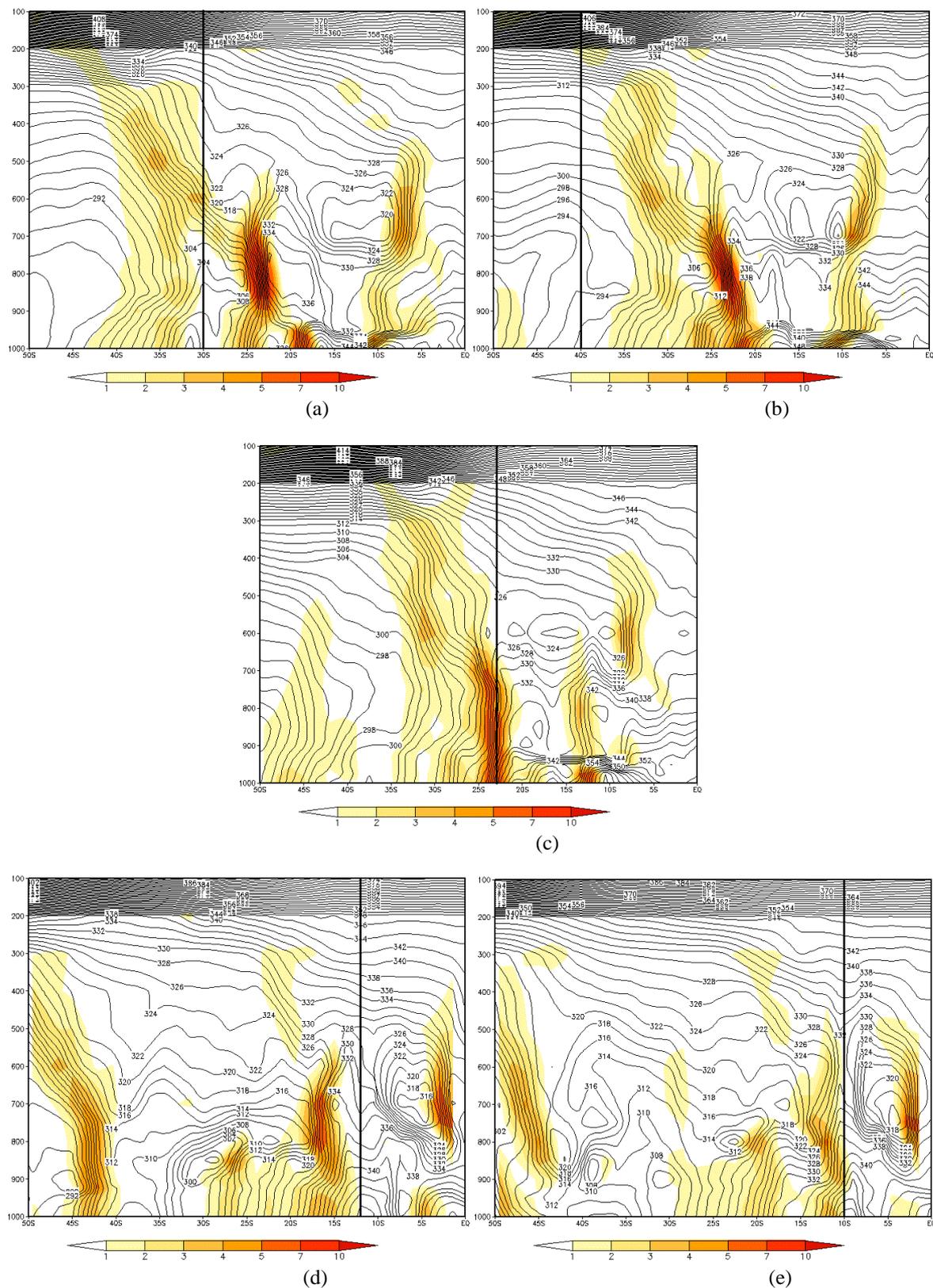


FIGURA 4.66 - Seção Vertical de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 31/05/2000 às 12Z (lon 51°W) - POA; b) 01/06/2000 às 00Z (lon 30°W) - regeneração; c) 01/06/2000 às 06Z (lon 46°W) - SP; d) 04/06/2000 às 18Z (lon 38°W) - SALV e e) 05/06/2000 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

A altura em que a superfície frontal atinge, nas diversas variável analisadas, dos pontos de observação dos casos do tipo II, são apresentadas na Tabela 4.22.

O vento apresentou, em todos os pontos de observação, características frontais apenas em baixos níveis, não passando de 700hPa, com excessão da regeneração do caso 1 em que as linhas de corrente mostram que ocorreram mudanças significativas na direção e velocidade do vento até 600hPa.

A vorticidade relativa exibiu características frontais em baixos níveis no caso 1, e apresentou uma atmosfera positiva em todos os pontos de observação do caso 14 e na regeneração do caso 1.

Nesses casos, a temperatura não foi uma boa variável para identificação frontal em latitudes mais altas. Apesar de apresentar características, em POA e SP, até altos níveis, o gradiente em SALV, MCZ e na regeneração, foram nulos.

Com excessão da regeneração do caso 1, onde o gradiente de θ_e é nulo, os demais pontos de observação apresentaram valores significativos de temperatura potencial equivalente até altos níveis em POA e SP, em médios e altos níveis em SALV e em MCZ não passa de 550hPa.

TABELA 4.22 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo IV. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

PORTO ALEGRE					SÃO PAULO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 1	900hPa	925hPa	nulo	200hPa	caso 1	900hPa	800hPa	300hPa	200hPa
caso 14	700hPa	p	350hPa	300hPa	caso 14	700hPa	750-650hPa	200hPa	200hPa

SALVADOR					MACEIÓ				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 1	nulo	900hPa	nulo	500hPa	caso 1	nulo	800hPa	nulo	550hPa
caso 14	700hPa	p	nulo	250hPa	caso 14	700hPa	p	nulo	600hPa

REGENERAÇÃO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 1	600hPa	p 650hPa	nulo	nulo

4.2.5. Modificações das frentes do tipo V

4.2.5.1. Modificações do caso padrão do tipo V

Caso 17

O caso 17 começa no dia 29 de outubro de 2011 às 12Z quando um cavado de um ciclone polar se une a um ciclone barotrópico sobre o norte da Argentina, aproximadamente em 25°S 61°W.

Com o deslocamento do ciclone para sudeste, a FF chega à cidade de SP no dia 30 às 18Z. A Figura 4.66 mostra a imagem de satélite do dia 30 às 18Z sobreposto com linhas de correntes em 925hPa (Figura 4.67a) e em 200hPa (Figura 4.67b). A nebulosidade frontal está associada com um ciclone baroclínico em baixos níveis, e com uma CJ em altos níveis.

A Figura 4.68 mostra, pelas imagens de satélite com sobreposição de linhas de corrente em 925hPa, o momento em que a FF se encontrava sobre os demais pontos de observações.

A regeneração ocorre no dia 01 de novembro às 12Z em 30°S 30°W, como mostra a Figura 4.68a (R1), onde a nebulosidade enfraquece à medida que se aproxima do continente.

No dia 02 às 00Z (Figura 4.68b) a nebulosidade frontal se encontra sobre Salvador e se estende até o extremo oeste da BA (tipo II).

No dia 04 às 18Z, a Figura 4.68c mostra que apesar da maior parte da EF estar localizada mais ao sul, a nebulosidade chega à Maceió com pouca intensidade. Tanto que, a Tabela 4.23 mostra a média de precipitação por região do Estado de Alagoas. Os maiores volumes registrados foram: no dia 04 nas regiões do Sertão, Zona da Mata e Litoral com 34,1mm, 28,4mm e 25,6mm respectivamente e no dia 05 no Litoral com 38mm e Zona da Mata com 29,6mm.

TABELA 4.23 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 03, 04 e 05 de novembro de 2011. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	03/nov	04/nov	05/nov
Média Sertão	0.4	34.1	17.0
Média Sertão São Francisco	0.0	2.6	19.3
Média Zona da Mata	2.0	28.4	29.6
Média Litoral	6.5	25.6	38.0
Média Baixo São Francisco	8.5	13.8	11.6

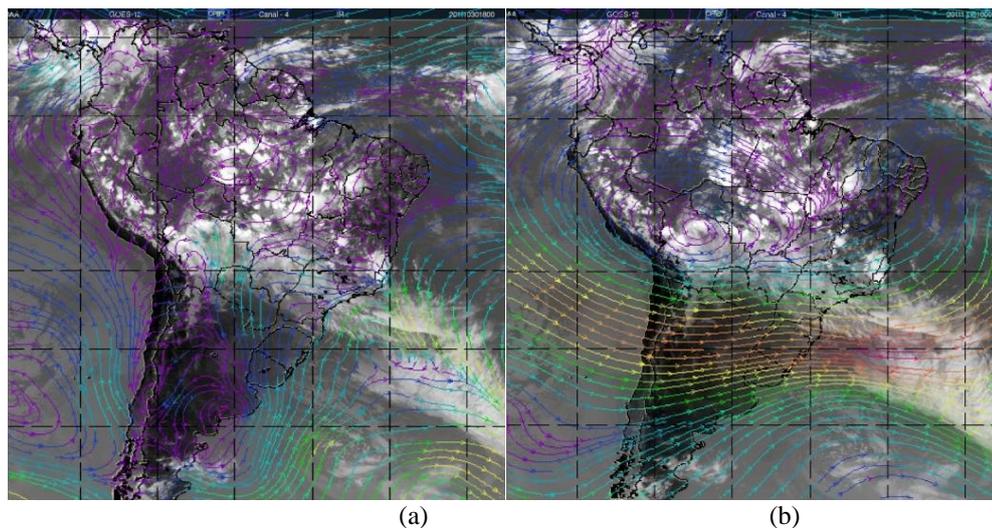


FIGURA 4.67 - Imagens de satélites do campo infravermelho sobrepostos com linhas de correntes para o dia 30/10/2011 às 18Z em: a)925hPa e b)200hPa. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

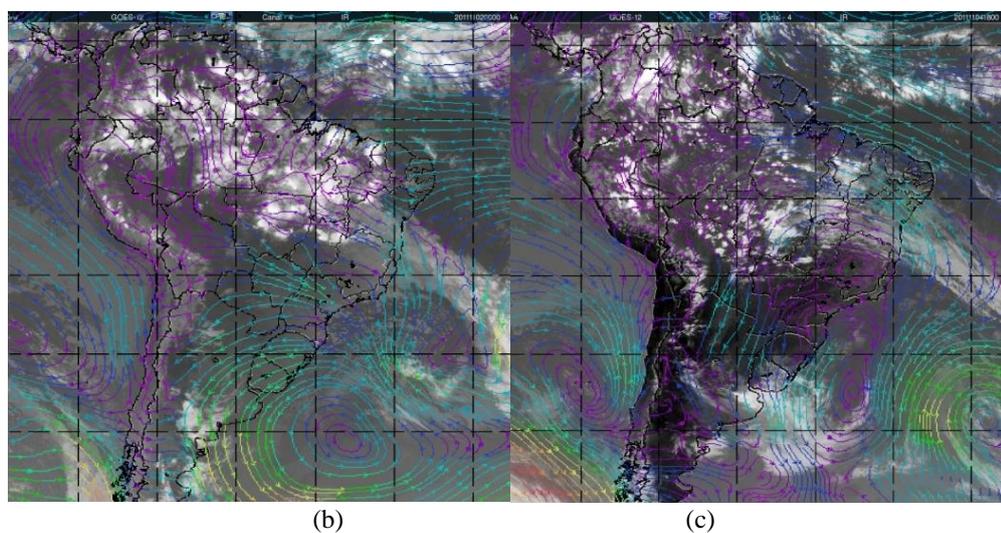
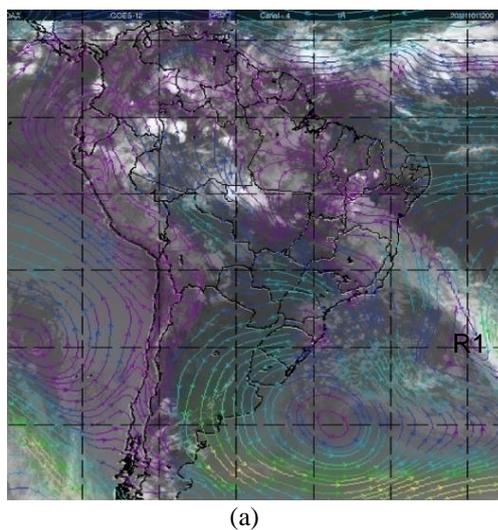


FIGURA 4.68 - Imagens de satélites do campo infravermelho sobrepostos com linhas de correntes em 925hPa para os dias: a) 01/11/2011 às 12Z; b) 02/11/2011 às 00Z e c) 04/11/2011 às 18Z. FONTE: Adaptada de CPTEC/INPE e ECMWF

Vento

A Figura 4.69 mostra o corte vertical feito na variável de linhas de corrente para as longitudes dos pontos de observação do caso 17, marcados com a linha preta indicando a localização do sistema frontal em baixos níveis.

Em SP (Figura 4.69a), o gradiente apresenta características frontais até 700hPa, acima desse nível de pressão a mudança ocorrida no vento se deve à fatores em altos níveis, como a CJ. Na Figura 4.69b, a regeneração não apresenta superfície frontal.

Tanto em SALV (Figura 4.69c) quanto em MCZ (Figura 4.69d) o gradiente não passa de 850hPa, apresentando menos características em latitudes mais baixas.

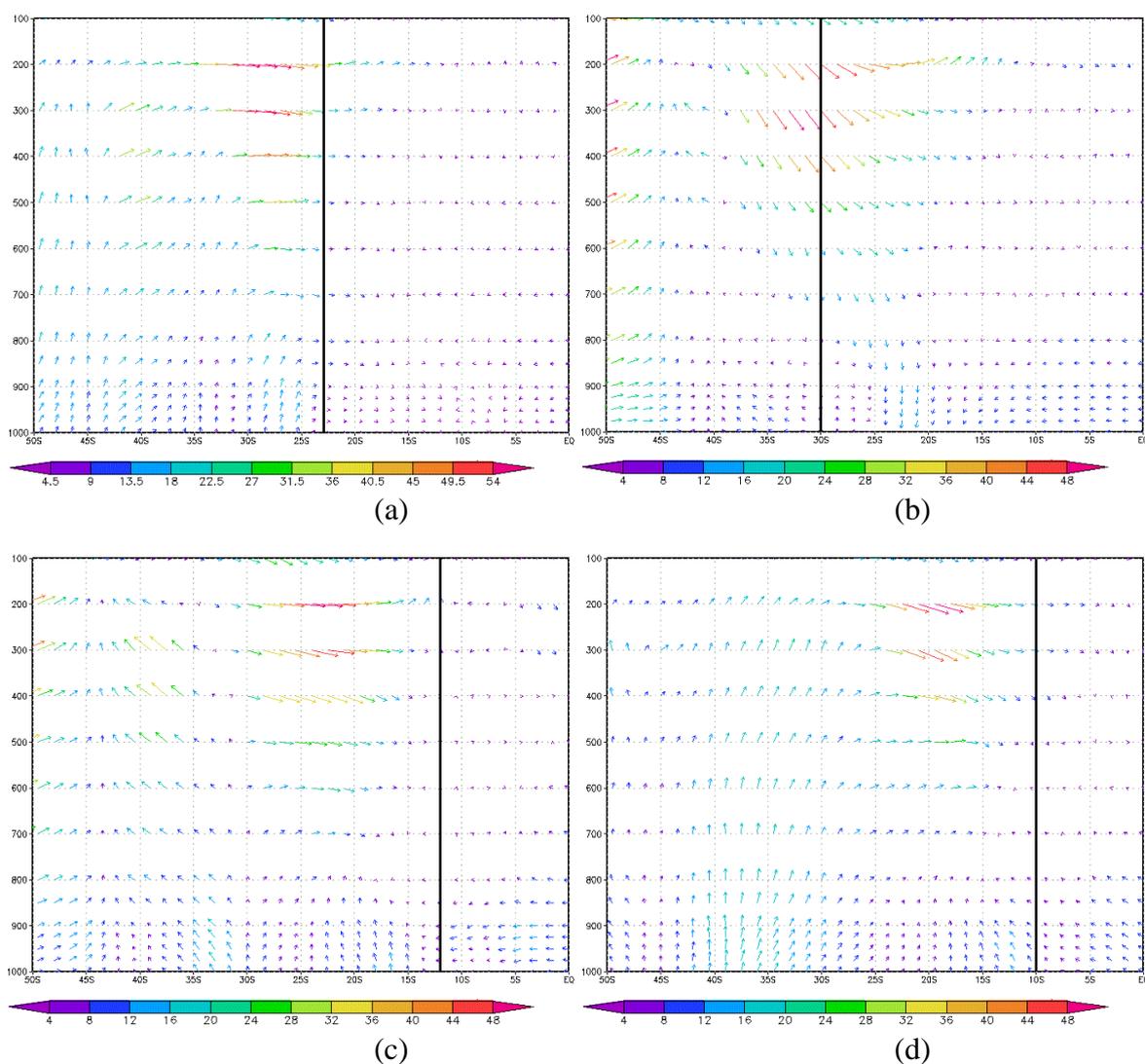


FIGURA 4.69 - Seções Verticais de Linhas de Correntes para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Vorticidade Relativa

A Figura 4.70 mostra que os cortes verticais feitos na vorticidade também não apresentam resultados muito satisfatórios, sendo negativo até 850hPa apenas em SALV (Figura 4.70c), enquanto que nos outros pontos de observação a vorticidade se manteve positiva em baixos níveis.

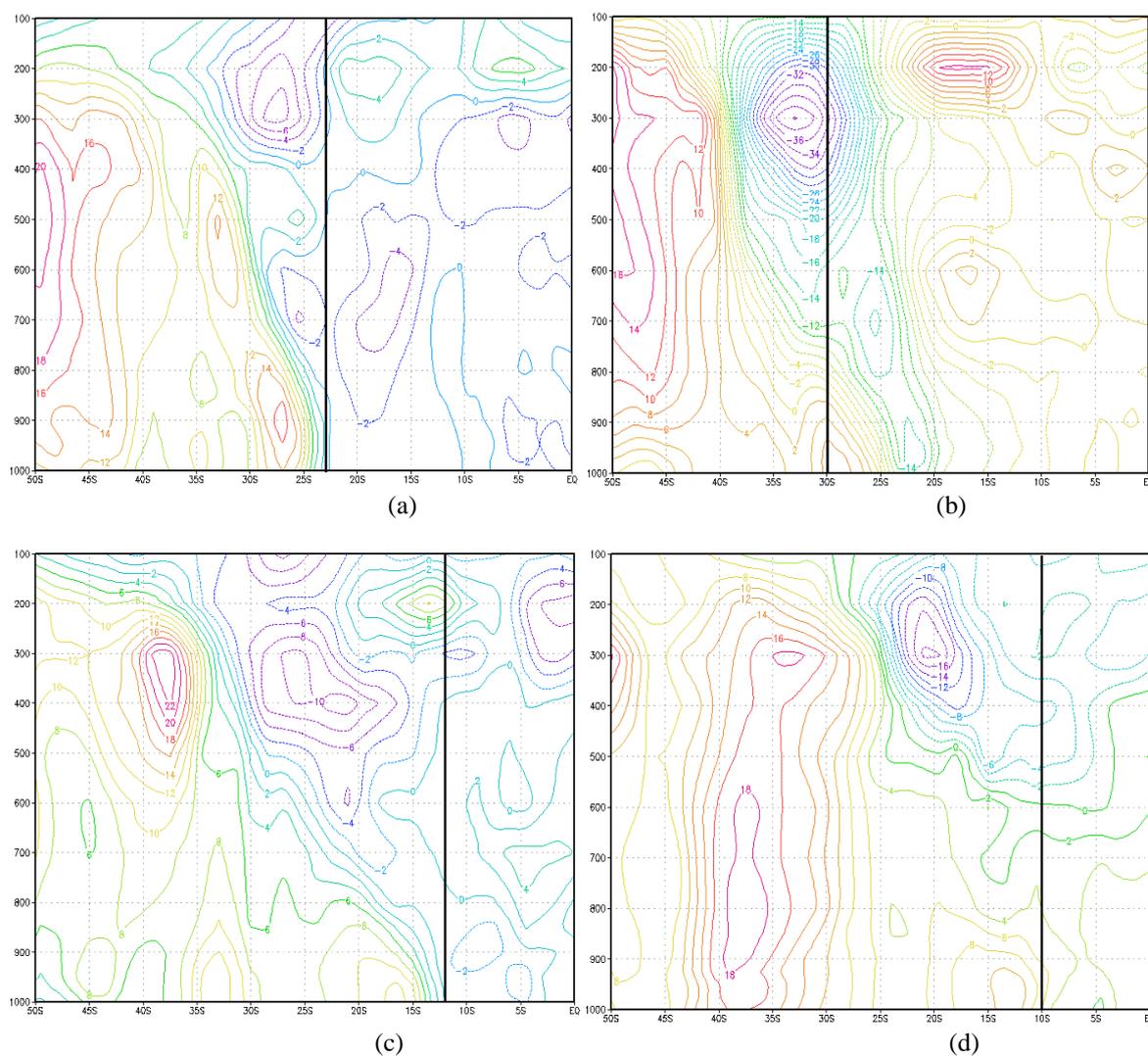


FIGURA 4.70 - Seções Verticais de Vorticidade Relativa para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura

Tanto em SP (Figura 4.71a) quando na regeneração (Figura 4.71b) o gradiente de temperatura mostra até altos níveis, acima de 350hPa, valores de pelo menos 2°/100km.

Em SALV (Figura 4.71c) o gradiente é nulo, porém em MCZ (Figura 4.71d) é observado valores mínimos até 900hPa.

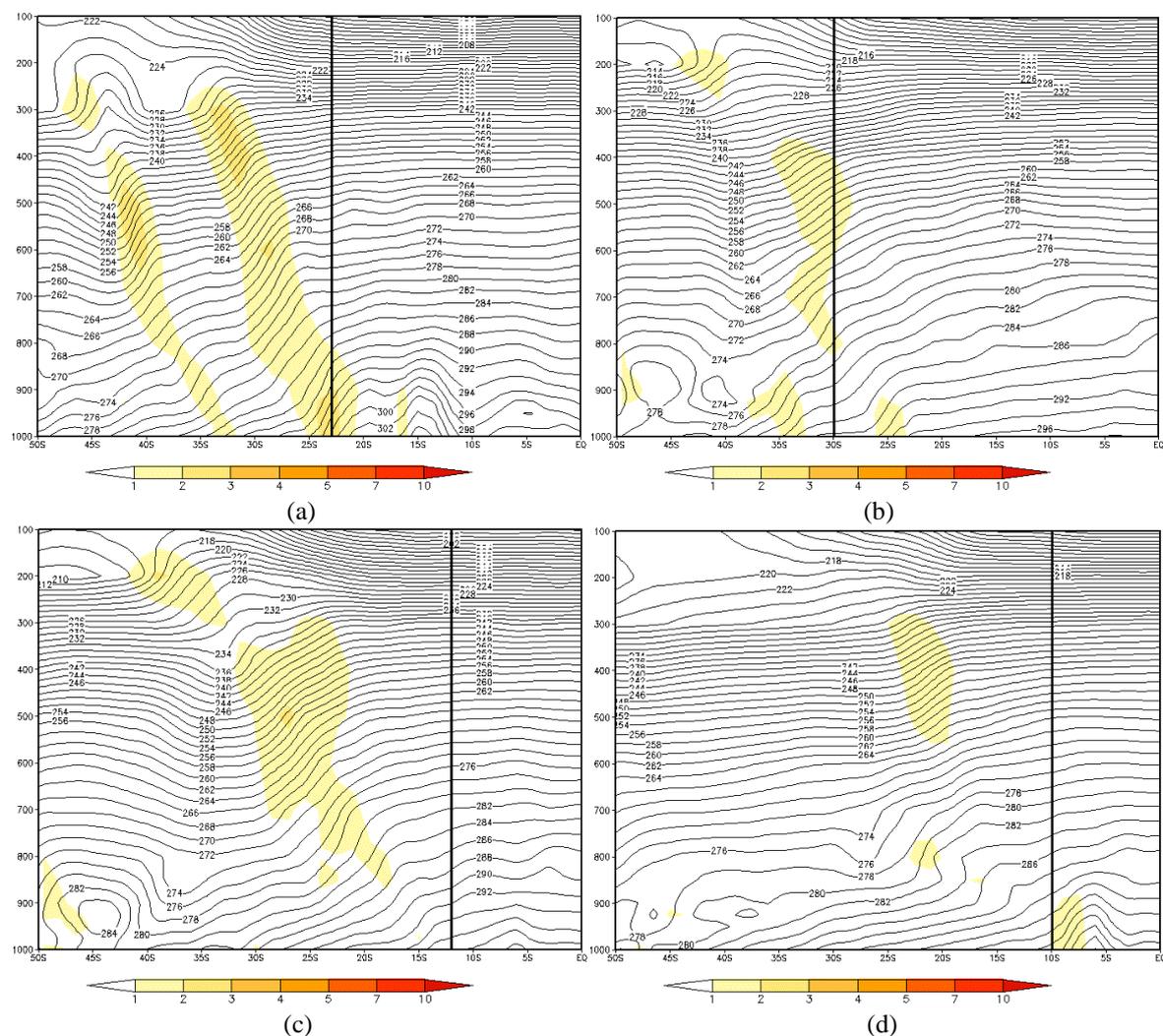


FIGURA 4.71 - Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura Potencial Equivalente

Os cortes feitos na temperatura potencial equivalente foram os mais importantes pois em todos os pontos de observação pode-se notar a presença de gradientes até 150hPa com o valor mínimo de 1-2°/100km. A diferença para as seções verticais de temperatura, também é vista na intensidade do gradiente ao longo da atmosfera, apresentando valores de até 7°/100km em médios níveis em SP (Figura 4.72a).

Apesar da diminuição do gradiente à medida que a latitude também diminui, MCZ (Figura 4.72d) apresenta valores de até 7°/100km entre 850-700hPa.

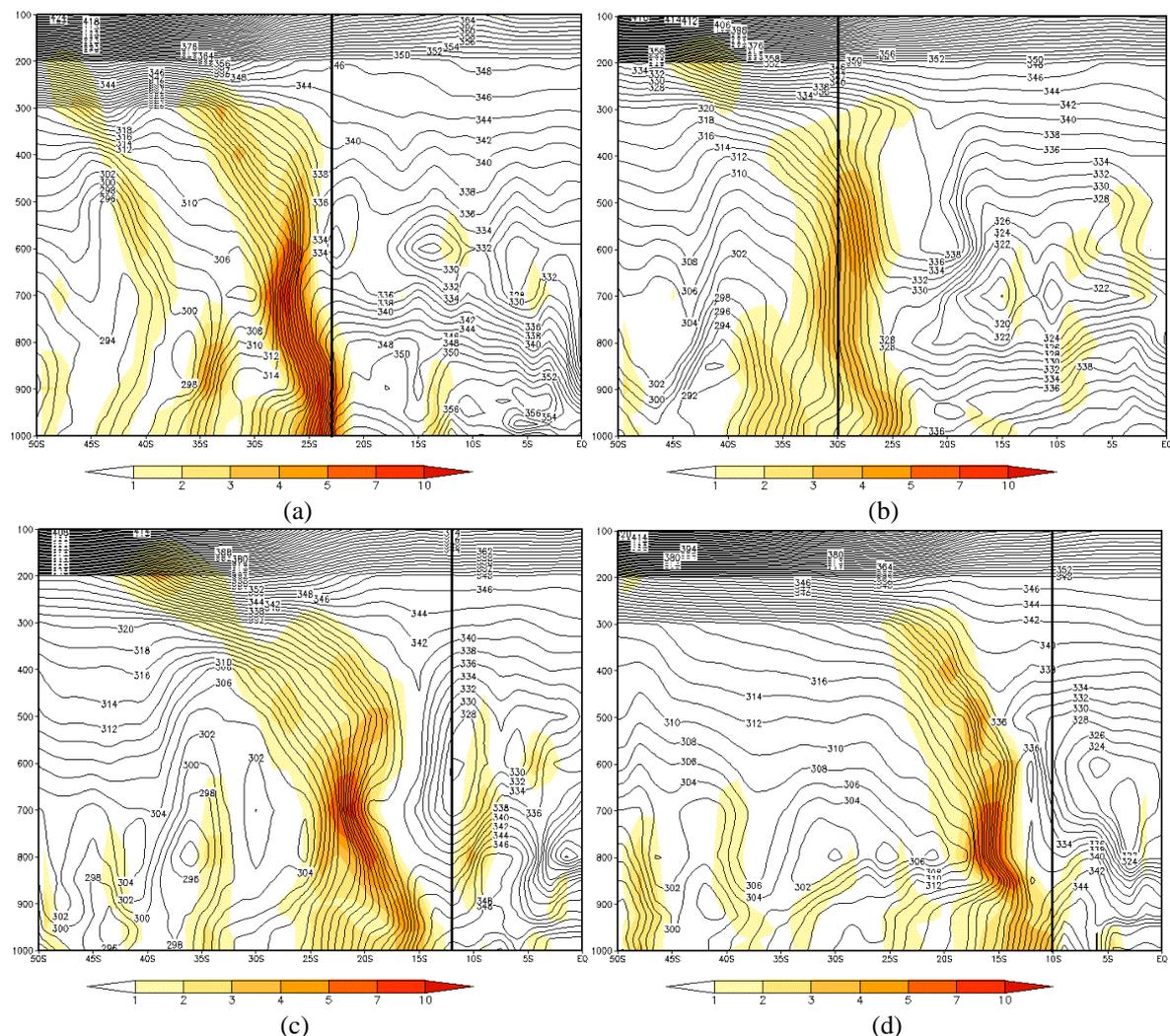


FIGURA 4.72 - Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/10/2011 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 01/11/2011 às 12Z (lon 30°W) - regeneração; c) 02/11/2011 às 00Z (lon 38°W) - SALV e d) 04/11/2011 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

4.2.5.2. Modificações dos outros casos do tipo V

Caso 9

Após formar a ciclogênese na região subtropical, a FF alcança a cidade de SP no dia 30 de abril às 12Z. Ao chegar à SALV no dia 02 de maio, a nebulosidade frontal interage com uma convecção no continente, aumentando a nebulosidade até o centro-oeste brasileiro (tipo III A). O mesmo tipo de nebulosidade se mantém até MCZ no dia 03.

A Tabela 4.24 mostra a precipitação registrada, no Estado de Alagoas, nos dias 02, 03 e 04 de maio de 2005. O maior volume observado foi de 190,2mm na região do Baixo São Francisco no dia 03 de maio.

TABELA 4.24 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 02, 03 e 04 de maio de 2005. FONTE: SEMARH-AL

Postos/ Municípios	02/mai	03/mai	04/mai
Média Sertão	8,3	20,1	17,7
Média Sertão São Francisco	38,7	10,4	19,1
Média Agreste	12,7	28,9	25,5
Média Zona da Mata	2,1	30,2	25,9
Média Litoral	14,5	34	45,4
Média Baixo São Francisco	65,7	190,2	18,1

Temperatura

Apenas em SP foi observado gradiente de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ sobre a FF até 750hPa (Figura 4.73a). Também é visto que acima de 550hPa, na mesma latitude de 23°S , outro núcleo com gradientes de $1-2^{\circ}/100\text{km}$ se estende até quase 200hPa. Porém, tanto em SALV (Figura 4.73b) quando em MCZ (Figura 4.73c) não apresentaram valores significativos.

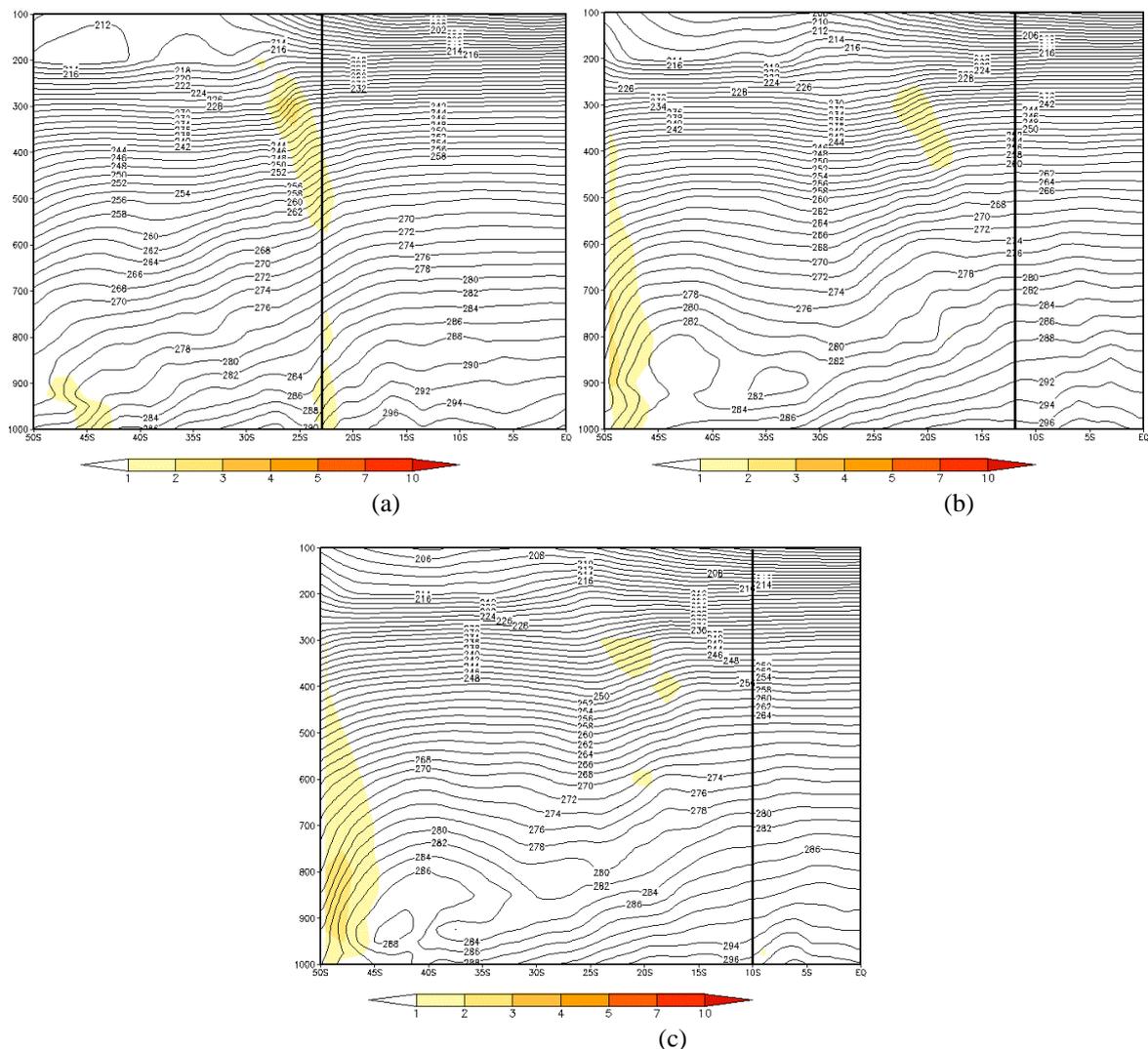


FIGURA 4.73 - Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 30/04/2005 às 12Z (lon 46°W) - SP; b) 02/05/2005 às 06Z (lon 38°W) - SALV; c) 03/05/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

Temperatura Potencial Equivalente

O aumento da intensidade do gradiente é notório nas seções verticais de θ_e . A Figura 4.74a mostra que o gradiente em baixos níveis apresenta valores altos de até 7-10°/100km, mas a medida que sobe, vai perdendo força e atinge os mesmos 200hPa com 1-2°/100km que atingiu na temperatura.

Além da diferença de intensidade, os gradientes com características frontais também foram registrados em SALV (Figura 4.74b) e MCZ (Figura 4,74c). Ambos os cortes apresentam o mesmo perfil, mais fraco em baixos níveis, tendo sua maior intensidade entre 900 e 400hPa, chegando à 250hPa em SALV e 300hPa em MCZ.

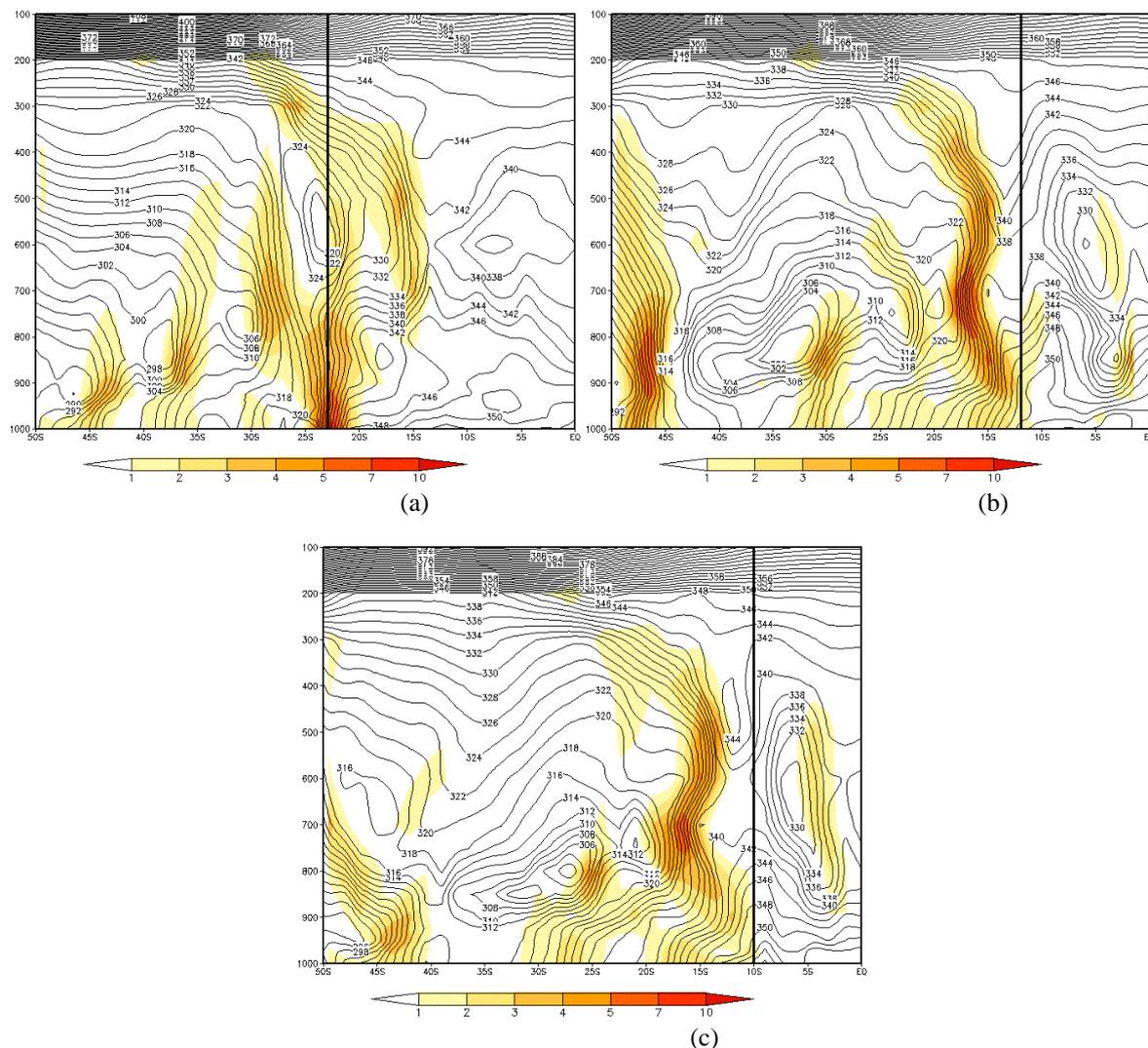


FIGURA 4.74 - Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 30/04/2005 às 12Z (lon 46°W) - SP; b) 02/05/2005 às 06Z (lon 38°W) - SALV; c) 03/05/2005 às 00Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Caso 12

O caso 12 também apresenta ciclogênese em regiões subtropicais e no dia 10 de maio de 2006 às 18Z a FF chega à SP.

Antes de atingir SALV, ocorre uma regeneração no dia 13 às 06Z em 35°S 25°W. Às 18Z do mesmo dia, a EF se encontra sobre SALV, porém a nebulosidade frontal fica concentrada sobre o oceano, sendo mais rasa sobre o continente (tipo II).

O mesmo ocorre em MCZ, a nebulosidade da EF está quase toda sobre o oceano, atingindo principalmente a região sul do Estado de AL. Como mostra a Tabela 4.25, no dia 15 de maio as regiões do Litoral, Zona da Mata e Baixo São Francisco registraram os maiores volumes pluviométricos do Estado com 62,6mm, 57,5mm e 32,1mm respectivamente.

TABELA 4.25 – Precipitação registrada nas zonas climáticas do Estado de Alagoas para os dias 14,15 e 16 de maio de 2006. FONTE: SEMARH-AL

Postos/Municípios	14/mai	15/mai	16/mai
Média Sertão	6.0	6.7	14.2
Média Sertão São Francisco	2.3	0.1	17.9
Média Agreste	0.0	2.5	19.3
Média Zona da Mata	31.0	57.5	24.9
Média Litoral	17.9	62.6	40.3
Média Baixo São Francisco	4.0	32.1	12.2

Temperatura

Em SP (Figura 4.75a) o gradiente se manteve em baixos níveis, chegando apenas até 900hPa, o mesmo ocorre em MCZ (Figura 4.75d). Na regeneração, o gradiente atinge até 700hPa (Figura 4.75b), a maior altura registrada. Na Figura 4.75c o gradiente não apresenta nenhum valor significativo sobre a latitude de SALV.

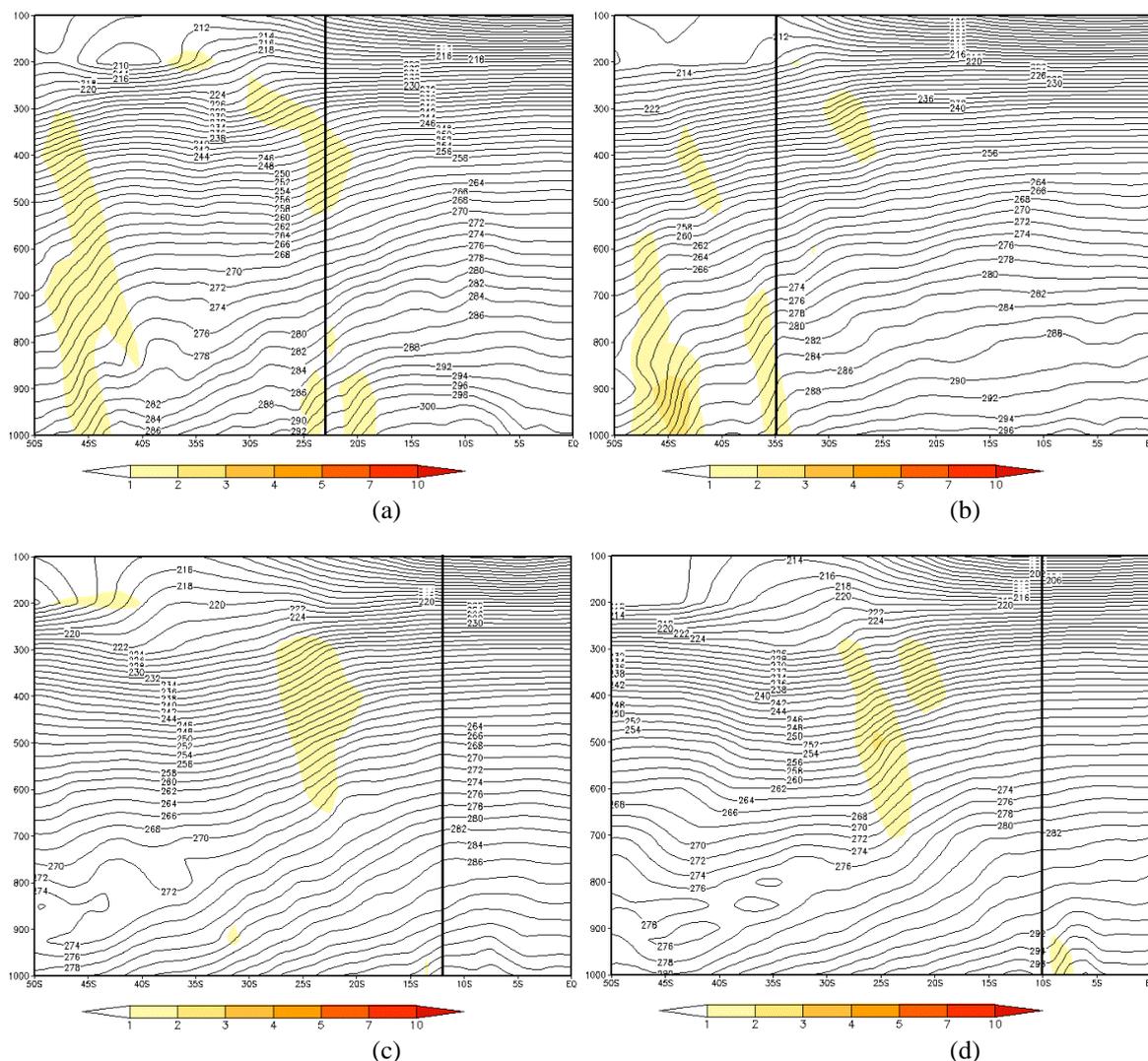


FIGURA 4.75 - Seções Verticais de Temperatura para os dias: a) 10/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 13/05/2006 às 06Z (lon 25°W) - regeneração; c) 13/05/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 15/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

Temperatura Potencial Equivalente

Nas Figuras de seção vertical de θ_e o gradiente é muito mais intenso e atinge altitudes maiores do que as encontradas na temperatura.

Em SP (Figura 4.76a), a superfície frontal em baixos níveis começa com valores de 4-5°/100km, tendo sua maior concentração entre 900-700hPa com valores até 7°/100km. Após perder intensidade à medida que o gradiente sobe, chega aos 150hPa com 1-2°/100km.

Na regeneração, apesar de apresentar os valores mais altos até 900hPa, atinge os 300hPa com 1-2°/100km (Figura 4.76b).

Na Figura 4.76c, a EF se localiza sobre SALV e registra valores de θ_e de 1-2°/100km até 250hPa, mostrando que os valores mais altos são encontrados entre 800-750hPa.

Em MCZ (Figura 4.76d), o gradiente está menos intenso, porém o gradiente se intensifica entre 800-400hPa, mas também chega aos 300hPa com gradiente de 1-2°/100km.

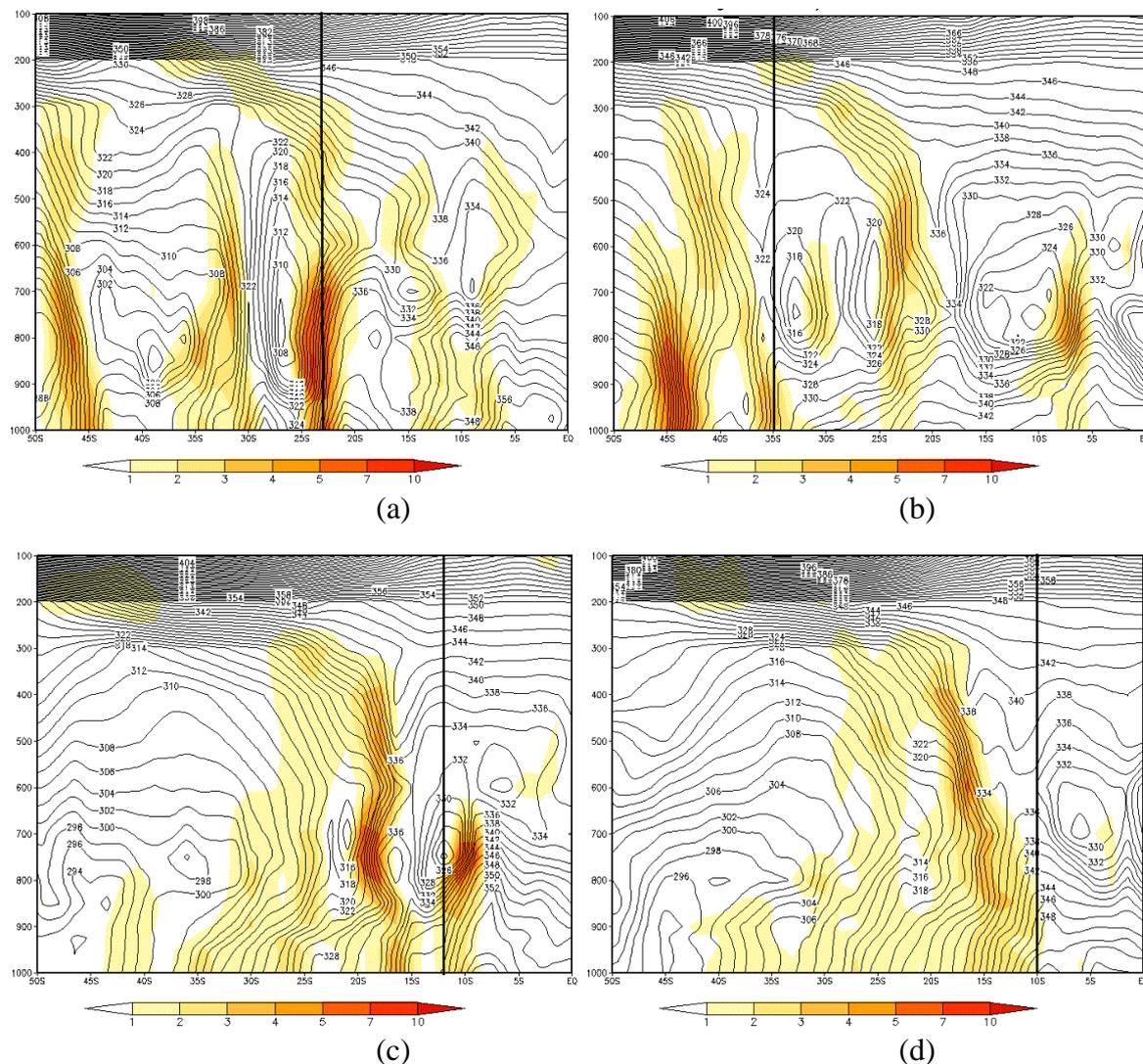


FIGURA 4.76 - Seções Verticais de Temperatura Potencial Equivalente para os dias: a) 10/05/2006 às 18Z (lon 46°W) - SP; b) 13/05/2006 às 06Z (lon 25°W) - regeneração; c) 13/05/2006 às 18Z (lon 38°W) - SALV e d) 15/05/2006 às 18Z (lon 36°W) - MCZ. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

A Tabela 4.26 mostra o nível máximo onde as superfícies frontais foram observadas. Em todos os pontos de observação o vento manteve as características frontais apenas em baixos níveis, sendo em SP onde atingiu o nível mais alto, 700hPa. À medida que o sistema se desloca para MCZ e o ciclone se afasta do continente, as linhas de corrente identificam a EF apenas até 850hPa, sendo que na maioria dos casos, não foram encontrados características significativas.

A vorticidade se comporta de maneira similar ao vento, restita aos baixos e médios níveis, apenas o caso 17 apresenta uma atmosfera com vorticidade positiva na região da superfície frontal.

A temperatura não apresentou gradientes em SALV e se manteve em baixos níveis em MCZ. Ao contrário da θ_e , que apresentou em todos os casos gradientes fortes até altos níveis.

TABELA 4.26 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis nos pontos de observação do tipo V. FONTE: dados de reanálise do ECMWF.

SÃO PAULO					SALVADOR				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 9	700hPa	700hPa	750hPa	200hPa	caso 9	850hPa	650hPa	nulo	250hPa
caso 12	800hPa	nulo	900hPa	150hPa	caso 12	nulo	nulo	nulo	250hPa
caso 17	700hPa	750-600hPa	300hPa	250hPa	caso 17	900hPa	850hPa	nulo	150hPa

MACEIÓ					REGENERAÇÃO				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e	caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 9	nulo	800hPa	nulo	300hPa	caso 12	800hPa	nulo	nulo	250hPa
caso 12	nulo	800hPa	900hPa	300hPa	caso 17	nulo	850-700hPa	350hPa	300hPa
caso 17	850hPa	p	900hPa	350hPa					

Até chegarem ao último ponto de observação (MCZ) os casos sofreram modificações em sua estrutura e nebulosidade. A Tabela 4.27 mostra a altura da superfície frontal quando a EF estava sobre a cidade de Salvador. Os casos continuam separados pelo tipo de nebulosidade que apresentam, porém na latitude de 12°S os tipo IV e V de nebulosidade não existem mais.

Ao analisar a Tabela 4.27, percebe-se que a temperatura é nula na maioria dos casos, não sendo uma variável boa para verificar sistemas frontais em latitudes tão baixas.

Nos tipos I, IIIA e IIIB o vento continua apresentando características frontais em baixos níveis, chegando à no máximo 700hPa.

A vorticidade, apesar de não mostrar resultados muito significativos, continua se mantendo em baixos níveis na maioria dos casos, mas já começa a apresentar vorticidade positiva ou nula.

A única variável que continua exibindo superfícies frontais em todos os casos é a temperatura potencial equivalente. No tipo I e II o gradiente se mantém entre médios e altos níveis, com apenas uma exceção no caso 11 que apenas é visto em baixos níveis. Os tipos IIIA e IIIB a predominância do gradiente de θ_e em altos níveis.

TABELA 4.27- Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis em Salvador. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

SALVADOR				
TIPO I				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 1	nulo	900hPa	nulo	500hPa
caso 3	950hPa	750hPa	nulo	400hPa
caso 14	700hPa	p	nulo	250hPa
caso 16	nulo	nulo	nulo	200hPa
caso 17	900hPa	850hPa	nulo	150hPa
caso 18	750hPa	850hPa	800hPa	300hPa
TIPO II				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 2	900hPa	nulo	nulo	200hPa
caso 7	750hPa	650hPa	nulo	150hPa
caso 8	900hPa	800hPa	nulo	250hPa
caso 10	nulo	800hPa	850hPa	400hPa
caso 11	nulo	900hPa	nulo	975hPa
caso 12	nulo	nulo	nulo	250hPa
TIPO III A				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 4	900hPa	nulo	nulo	300hPa
caso 6	900hPa	800hPa	nulo	300hPa
caso 9	850hPa	650hPa	nulo	250hPa
caso 13	nulo	850hPa	800hPa	300hPa
caso 15	800hPa	nulo	nulo	150hPa
TIPO III B				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 5	900hPa	800hPa	nulo	250hPa

Ao atingir Maceió, somente 3 tipos são observados sobre AL: tipo I com 4 casos; tipo II com 11 casos e o tipo IIIA com apenas 3 casos. A Tabela 4.28 mostra a altura em que a superfície frontal é observada na latitude de 10°S.

O vento e a temperatura foram as variáveis que mais apresentaram valores nulos no último ponto de observação, os casos em que algumas características frontais foram identificadas, o gradiente se manteve em baixos níveis.

A vorticidade apesar de, na maioria dos casos, apresentar propriedades frontais em baixos níveis também exibe vorticidade positiva e nula em todos os tipos de nebulosidade.

Apenas a temperatura potencial equivalente é capaz de exibir as características frontais de todos os casos, até altos níveis. O tipo I também apresenta casos em que o gradiente é visto somente até médios níveis. No tipo II e IIIA a superfície frontal se manteve predominantemente em altos níveis, com exceção de 1 caso no tipo II que não passa de 500hPa.

TABELA 4.28 – Altura da superfície frontal nas variáveis disponíveis em Maceió. FONTE: dados de reanálise do ECMWF

MACEIÓ				
TIPO I				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 1	nulo	800hPa	nulo	550hPa
caso 14	700hPa	p	nulo	600hPa
caso 15	900hPa	800hPa	nulo	150hPa
caso 16	nulo	nulo	900hPa	250hPa
TIPO II				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 2	nulo	p	nulo	200hPa
caso 3	nulo	nulo	nulo	400hPa
caso 5	nulo	850hPa	nulo	350hPa
caso 7	850hPa	700hPa	nulo	150hPa
caso 8	900hPa	850hPa	nulo	100hPa
caso 10	nulo	800hPa	nulo	400hPa
caso 11	nulo	nulo	850hPa	500hPa
caso 12	nulo	800hPa	900hPa	300hPa
caso 13	nulo	900hPa	nulo	300hPa
caso 17	850hPa	p	900hPa	350hPa
caso 18	nulo	900hPa	900hPa	200hPa
TIPO III A				
caso	vento	vorticidade	temperatura	θ_e
caso 4	nulo	nulo	nulo	300hPa
caso 6	nulo	850hPa	850hPa	250hPa
caso 9	nulo	800hPa	nulo	300hPa

4.3. Distribuição Sazonal

A distribuição sazonal dos eventos analisados é apresentada na tabela 4.29. Pode-se constatar que as frentes frias atingem o Estado de Alagoas em todas as estações do ano, sendo mais raras no verão e mais abundantes nas estações de transições, principalmente o outono, e no inverno. Foram conferidas uma influência frontal no verão, seis em cada estação de transição e cinco no inverno.

TABELA 4.29 – Divisão sazonal dos casos de frentes frias em Alagoas

PERÍODO	VERÃO			OUTONO			INVERNO			PRIMAVERA			TOTAL ANUAL
	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AG	SET	OUT	NOV	
2000					1		1			1			3
2001													0
2002						1							1
2003											1	1	2
2004								1	1				2
2005	1					1							2
2006						2					1		3
2007								1					1
2008													0
2009													0
2010					1				1				2
2011												1	1
2012										1			1
TOTAL MENSAL	1	0	0	0	2	4	1	2	2	2	2	2	18
TOTAL SAZONAL		1			6			5			6		

Os resultados mostrados estão de acordo com os obtidos por Kousky (1979), onde após análise de dez anos de dados (1961-1970), concluiu que os sistemas frontais e seus resíduos atuam no sul da região nordeste brasileiro o ano todo, com maior frequência entre março e dezembro, afetando os totais de precipitação até o norte do Ceará durante o outono e inverno.

4.4. Descrição da Tabela 4.2

TIPO I:

O tipo I apresenta quatro casos com frentes frias clássicas, onde a nebulosidade frontal se encontra tanto sobre o oceano quanto sobre o continente. Na cidade de Porto Alegre, as variáveis vento, vortacidade e temperatura se mantêm entre baixos (975hPa) e médios níveis (600hPa), apenas a temperatura potencial equivalente registra características frontais até altos níveis, entre 350hPa e 100hPa.

Entre POA-SP um caso apresentou a ocorrência de uma ciclogênese ao longo da frente fria, elevando a altura da superfície frontal da temperatura potencial equivalente de 350hPa para 150hPa. Esse mesmo caso também mostrou uma ligação da frente fria com uma convecção sobre o continente (tipo IIIA). Os demais casos também apresentam características diferentes, estando cada relacionado a um tipo frontal diferente. Porém a identificação da frente pelas variáveis analisadas apresentam certa consistência: o vento não ultrapassa os 700hPa; a vortacidade não apresenta valores significativos; a temperatura é a que mais exhibe diferenças,

de falta de característica frontal até características em 300hPa, e a temperatura potencial equivalente mostra as características frontais, em todos os casos, em toda troposfera acima de 300hPa.

Todas as regenerações ocorreram entre as cidades de São Paulo e Salvador, apenas um caso não apresenta regeneração. Apesar disso, todos os sistemas continuam se deslocando para leste, enfraquecendo a nebulosidade sobre o continente, com exceção do um caso que continua apresentando uma ligação da frente fria com convecção sobre o continente. A identificação da frente pelas temperatura e vorticidade não apresentam valores significativos, o vento mostra as características apenas em baixos níveis, abaixo de 900hPa, já a temperatura potencial equivalente exibe valores de 1-2°/100km entre 400hPa e 150hPa.

Ao atingir Maceió, o vento, a vorticidade e a temperatura não mostram características frontais sobre o continente, apenas a temperatura potencial equivalente apresenta valores significativos até 400hPa, podendo atingir 100hPa.

Os casos do tipo I evoluíram de maneira diferentes, mostrando nebulosidades diferentes em cada etapa analisada. No último ponto analisado (MCZ), as frentes se mantiveram entre os tipos frontais I e II. Somente um caso desde SP apresentou uma associação da frente fria com uma nebulosidade convectiva, até MCZ.

Os volumes pluviométricos não foram significativos, e tiveram a região do Litoral como alvo.

TIPO II:

O tipo de nebulosidade frontal II representa as frentes mais ativas sobre o oceano Atlântico Sul, cuja extremidade não chega a atingir o continente. Ambos os casos ocorreram durante o outono e apenas um dos casos apresenta duas regenerações no seu trajeto.

Em Porto Alegre, a vorticidade não apresenta características frontais em todos os níveis; a altura da frente pelo vento varia sua altura máxima entre 850hPa e 600hPa. A temperatura e temperatura potencial equivalente mantiveram características frontais desde os baixos níveis até entre 300hPa e 150hPa.

Apesar de uma das regenerações ter ocorrido entre POA-SP, todas as variáveis analisadas ou mantiveram a altura da superfície frontal ou apresentaram pequenas quedas. O vento apresentou as características frontais entre 800hPa e 700hPa e a vorticidade não apresenta valores significativos sobre o continente. A temperatura e a temperatura potencial equivalente atingem até altos níveis em SP (300hPa) não havendo muita diferença do observado em POA. Assim o tipo de frente fria continua no tipo II em SP também.

De SP-SALV ocorre outra regeneração que modifica o tipo de um caso, associando à nebulosidade frontal com uma convectiva sobre o continente (tipo IIIA). Aspecto evidenciado pelo aumento da altura frontal da temperatura potencial equivalente para 150hPa enquanto as outras variáveis como o vento, vortacidade e temperatura sofreram queda e/ou chegam a apresentar falta de característica frontal sobre o continente. O outro caso continua com o mesmo tipo frontal (tipo II) e também mostra uma queda significativa no perfil vertical de temperatura potencial equivalente de 300hPa em SP para 925hPa em SALV.

Durante as duas regenerações de um caso, as variáveis tiveram um comportamento parecido em relação à altura das características frontais: vento em 700hPa; temperatura até 200hPa e temperatura potencial equivalente até 300hPa. A vortacidade não mostrou valores significativos sobre o continente.

Em MCZ, a temperatura potencial equivalente ainda apresenta valores em médios (500hPa) e altos níveis (150hPa), as demais variáveis exibem as características frontais apenas em baixos níveis, não ultrapassando 800hPa.

O caso que apresentou duas regenerações e associação com uma nebulosidade convectiva chega à MCZ com o tipo de frente clássica (tipo I), onde a extremidade frontal continua sobre o continente. Fato que acaba provocando grandes volumes de precipitação sobre a região do Baixo São Francisco (85,8 mm), e também volumes acima de 30 mm nas regiões do Agreste, Sertão e Zona da Mata. O outro caso, por continuar apresentando nebulosidade frontal do tipo II, não apresenta volumes maiores que 10 mm na região da Zona da Mata.

TIPO IIIA:

O tipo III A é um dos que mais apresenta casos, quatro no total, ocorrendo principalmente entre o inverno e a primavera austral. Porém apresenta uma grande variedade na transformação da nebulosidade frontal ao longo da trajetória até Maceió.

Na cidade de Porto Alegre, o vento e a vortacidade aparecem em baixos níveis, com a maioria dos casos não ultrapassando os 700hPa. A temperatura e a temperatura potencial equivalente apresentam as características em altos níveis, atingindo até 100hPa.

Entre POA-SP, apenas um caso se manteve no mesmo tipo frontal, os outros ou apresentam associação com corrente de jato em altos níveis (tipo IIIB) ou nenhuma ligação, apresentando nebulosidade frontal clássica (tipo I). A altura da superfície frontal das variáveis analisadas varia, inclusive entre casos que exibem o mesmo tipo de frente. Apenas a temperatura (com exceção de um caso) e a temperatura potencial equivalente mostram que as características frontais são visíveis até altos níveis sobre o continente.

Todos os casos apresentaram regenerações entre as cidades de SP-SALV, inclusive dois casos registraram duas regenerações, uma seguida da outra. Consequentemente os tipos frontais também se modificam, mas continuam a exibir ligações com outro tipos de nebulosidade sobre o continente e oceano, sendo convecção e/ou corrente de jato. A altura da superfície frontal diminui drasticamente, principalmente na variável de temperatura onde a maioria dos casos não apresenta mais características frontais sobre a cidade. As características frontais nas seções do vento e a vortacidade também reduzem a altura, não ultrapassando 800hPa (com exceção de um caso que atinge 650hPa na vortacidade). A temperatura potencial equivalente continua mostrando as características até altos níveis, acima de 300hPa.

Com o avanço dos sistemas para o quadrante leste, as extremidades frontais se afastam do continente, e ao atingirem MCZ apresentam pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre a cidade (tipo II), com exceção de um caso que teve a nebulosidade frontal associada a uma convecção no interior do continente (tipo IIIA). O vento e a temperatura não exibem valores significativos, a vortacidade negativa ainda pode ser vista até 700hPa. A temperatura potencial equivalente continua com valores de $1-2^{\circ}/100$ km, em todos os casos, até acima de 350hPa. Foi também registrada a ocorrência de uma ciclogênese na frente fria em um caso entre as cidades de SAL-MCZ.

Os casos que apresentaram o tipo frontal II não apresentaram grandes volumes pluviométricos durante os dias em que o sistema estava atuando sobre MCZ. Porém o caso em que a extremidade frontal se ligou a uma convecção sobre o continente mostrou precipitação acima de 40 mm/24hs nas regiões do Baixo São Francisco e Sertão.

TIPO IIIB:

Esse tipo de frente fria possui a nebulosidade frontal associada à nebulosidade de uma corrente de jato e é composto por três casos que se deslocaram de POA-MCZ de uma maneira similar.

Em Porto Alegre, o vento e a vortacidade mantém as características frontais em baixos níveis, não ultrapassando os 700hPa. A temperatura apresenta superfície frontal até médios (400hPa) e altos níveis (200hPa) enquanto a temperatura potencial equivalente exibe valores de $1-2^{\circ}/100$ km até 200hPa.

De POA-SP o tipo de frente não se altera, continuando a apresentar uma associação direta com a corrente de jato em altos níveis. Porém, a altura da superfície frontal no vento e na vortacidade diminuem para 800hPa. As variáveis de temperatura e temperatura potencial equivalente se mantêm praticamente desde a superfície até o nível de 300hPa.

Entre SP-SALV ocorrem as maiores mudanças. Dois casos exibem regenerações na frente fria, afastando-se um pouco mais do continente, onde o vento, a vorticidade e a temperatura diminuem ainda mais a altura da superfície frontal, estando às três variáveis abaixo de 800hPa (tipo II). O terceiro caso manifesta o tipo de nebulosidade frontal clássica (tipo I), com características frontais até 750hPa no vento, vorticidade e temperatura. Apenas a temperatura potencial equivalente continua apresentando uma superfície frontal com valores de $1-2^{\circ}/100$ km que atingem até 400hPa e 200hPa.

Ao se deslocarem de SALV-MCZ, os dois primeiros casos apresentam nenhuma alteração no tipo de frente, nem na altura da superfície frontal. Já o terceiro caso apresenta uma regeneração, porém não é o suficiente para impedir que a extremidade frontal se afaste da costa, diminuindo a altura da superfície frontal em todas as variáveis, sendo nulo no vento e abaixo de 900hPa na vorticidade e temperatura. A temperatura potencial equivalente ainda apresenta características frontais até médios (550hPa) e altos (200hPa) níveis nos três casos analisados.

As maiores precipitações foram registradas entre o dia da chegada da extremidade frontal e o seguinte, nas regiões do Litoral, Baixo São Francisco e Zona da Mata. No entanto, também foram verificados volumes acima de 29 mm/24hs nas regiões do Sertão e Agreste.

TIPO IV:

Ambos os eventos de frente secundária ocorreram no inverno e tiveram um comportamento semelhante à medida que evoluíram.

No primeiro ponto de observação, o vento e a vorticidade exibem características frontais apenas em baixos níveis, não ultrapassando 700hPa. A temperatura mostra um comportamento que variou entre falta de características frontais e 350hPa. A temperatura potencial equivalente é a única que apresenta valores de $2^{\circ}/100$ km até altos níveis (200hPa).

Entre POA-SP, ocorre uma mudança no tipo de frente, com os dois casos apresentando uma interação da nebulosidade frontal com a nebulosidade associada à corrente de jato em altos níveis (tipo IIIB). Houve também um aumento da intensidade dos sistemas visto em três variáveis, vorticidade, temperatura e temperatura potencial equivalente; das quatro variáveis analisadas. A altura e a intensidade da superfície frontal aumentam de valores positivos na vorticidade, 350hPa na temperatura e 300hPa na temperatura potencial equivalente para 650hPa, 200hPa e 200hPa, respectivamente. Um caso apresentou uma regeneração da frente vista através das variáveis de vento e vorticidade relativa.

De SP-SALV os sistemas frontais se deslocam para leste afastando da costa brasileira, começam a perder intensidade (tipo I). Fator visto através da diminuição da altura frontal em

todas as variáveis analisadas, para 900hPa na vorticidade, e falta de características frontais na temperatura. Apenas a temperatura potencial equivalente registra o sistema frontal até médios (500hPa) e altos níveis (250hPa).

De SALV-MCZ a intensidade do sistema cai mais um pouco, porém não são vistas mudanças muito significativas na nebulosidade. A temperatura potencial equivalente continua sendo a única variável a apresentar a superfície frontal, agora indo apenas até médios níveis (550hPa).

Os maiores volumes de precipitação foram registrados no dia em que a extremidade frontal atinge o estado e na região do Litoral, é visto também que ocorreram volumes significativos nas regiões do Agreste e da Zona da Mata.

TIPO V:

Os três casos que compõem o tipo V de frente fria tiveram a sua ciclogênese principal ocorrendo no sudeste brasileiro, não passando sobre a cidade de Porto Alegre. Apesar disso, todos os casos apresentam nebulosidade frontal associada a outros tipos de nebulosidade sobre o continente, e uma trajetória parecida com a vista no tipo IIIB.

Quando a frente fria estava sobre São Paulo, o vento mostra a altura da superfície frontal apenas até 700hPa. A vorticidade varia entre nenhuma característica frontal e 600hPa. A temperatura possui uma variação ainda maior entre 900hPa e 300hPa. A temperatura potencial equivalente apresenta valores de até $2^{\circ}/100\text{km}$ até altos níveis, atingindo até 150hPa.

Entre SP-SALV, dois dos casos apresentaram regenerações, porém as variáveis mostram uma queda da altura da superfície frontal em quase todas as variáveis, ficando abaixo de 650hPa ou não apresentando valores, com exceção da temperatura potencial equivalente que ainda exhibe características frontais em altos níveis (acima de 250hPa). O tipo de frente também muda à medida que o sistema se afasta do litoral brasileiro, sendo mais frequente o tipo II. Apenas um caso apresenta o tipo I com nebulosidade sobre o continente.

De SALV-MCZ as variáveis do vento e de vorticidade diminuem ainda mais a altura da superfície frontal, não ultrapassando os 800hPa nos três casos analisados. A temperatura volta a apresentar um gradiente frontal até 900hPa. Já a temperatura potencial equivalente exhibe características frontais com gradientes entre $1-2^{\circ}/100\text{ km}$ até 300hPa. Apenas um caso não ficou restrito ao tipo II, tendo a nebulosidade principal associada à nebulosidade convectiva sobre o continente.

Apesar dos maiores volumes precipitados terem sido registrados no Litoral e Baixo São Francisco, também foram registrados mais de 25 mm/24hs nas regiões de: Zona da Mata, Sertão, Sertão do Baixo São Francisco e Agreste.

4.5. Modelo Conceitual

TIPO I:

Os casos do tipo I apresentam muita diversificação da nebulosidade frontal à medida que evoluem e atingem latitudes mais baixas, não sendo possível determinar uma forma de previsão.

TIPO II:

Apesar de não apresentarem nebulosidade sobre o continente nos dois primeiros pontos de observação (POA e SP), se tiverem associação à nebulosidade convectiva sobre o continente ao norte de 12°S e/ou exibirem regeneração no trajeto, a nebulosidade da extremidade frontal pode atingir o continente e provocar grandes acumulados de precipitação sobre o NEB.

TIPO IIIA:

Os casos do tipo IIIA apresentaram regeneração na frente fria entre os pontos de observação SP e SALV. Porém, a maioria dos casos apresenta pouca ou quase nenhuma nebulosidade sobre o continente. Apenas um caso apresentou ligação da nebulosidade frontal com uma convecção sobre o continente, o que possibilitou a precipitação de mais de 40mm/24hs, os demais casos não registraram volumes significativos.

TIPO IIIB:

Os casos que apresentaram ligação da nebulosidade frontal com a nebulosidade de corrente de jato em POA evoluíram de maneira similar até atingirem o último ponto de observação. As regenerações ocorrem principalmente entre SP e SALV, podendo também ocorrer entre SALV e MCZ. As maiores precipitações ocorreram no dia da chegada para MCZ.

TIPO IV:

Os casos que apresentaram frente secundária em POA, também, evoluíram até latitudes mais baixas de forma similar, apresentando as mesmas características em cada ponto de

observação. Apresentam ligação com nebulosidade de corrente de jato em altos níveis em SP. Ao atingir MCZ, a precipitação atinge volumes significativos.

TIPO V:

Para os casos onde a ciclogênese ocorreu no sudeste do Brasil a evolução dos sistemas para latitudes menores também foi de forma bem parecida. A maioria dos casos já apresenta pouca ou quase nenhuma nebulosidade frontal sobre o continente ao norte de 12°S. Porém podem ser associadas à convecções sobre o continente e atingirem MCZ causando grandes volumes de precipitação com mais de 25mm/24hs.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Foram estudados todos os 18 eventos onde os sistemas frontais influenciaram as condições de tempo sobre o Estado de Alagoas, entre janeiro de 2000 e dezembro de 2012. A modificação da estrutura destes casos foi analisada desde o sul do Brasil até a região NEB.

Através da utilização dos diversos métodos para a identificação frontal, como o método clássico sinótico, imagens de satélite e campos horizontais de vento e θ_e , os casos foram divididos pelo tipo de nebulosidade observada no primeiro ponto de observação.

Foram encontrados 4 casos onde a frente fria em POA era do tipo clássica, apresentando nebulosidade frontal sobre o oceano e continente (tipo I).

Somente 2 casos mostraram nebulosidade frontal sobre o oceano e quase nenhuma no continente sobre POA (tipo II). Ou seja, as zonas frontais raramente atingem o NEB se, quando estão no sul, são localizadas somente sobre o oceano.

Na maioria dos casos que no final atingiram o NEB, foi identificado no sul do Brasil uma ligação da nebulosidade frontal com outro tipo de nebulosidade no continente. Entre estes, 4 casos tiveram a nebulosidade frontal associada à nebulosidade convectiva sobre o continente, principalmente sobre a região do norte da Argentina (tipo IIIA). Outros 3 casos apresentam nebulosidade da CJ associada à nebulosidade da frente fria tipo IIIB.

Em 2 eventos, a frente estudada era uma frente secundária (FS) sobre a cidade de POA, cuja nebulosidade estava na retaguarda de outro sistema principal.

Houve também 3 sistemas frontais que atingiram Maceió onde a ciclogênese principal ocorre na região sudeste, entre 20-25°S, não passando por Porto Alegre.

Os eventos do tipo I foram encontrados nas estações mais frias: inverno e outono austral. Os casos do tipo II ocorreram principalmente na fase de transição fria (outono austral). O tipo III teve uma predominância de eventos na fase de transição quente (primavera austral), porém, também foram encontrados casos que aconteceram no inverno (tipo IIIA) e no verão austral (tipo IIIB). As FS (tipo IV) tiveram uma predominância no inverno austral. Já as ciclogêneses que se desenvolveram no sudeste e atingem o Estado de Alagoas, foram observadas em ambas as estações de transição (primavera e outono austral).

Até atingirem Maceió, os casos sofreram modificações em suas estruturas e nebulosidades, chegando ao último ponto de observação com apenas 3 tipos de nebulosidade: Tipo I; Tipo II e Tipo IIIA.

Em Salvador, o vento e a vortacidade apresentam características frontais em baixos níveis e em alguns casos a vortacidade chega até 650hPa. A temperatura, quando exibe gradiente

frontal, não ultrapassa 850hPa, porém na grande maioria dos casos não foi registrado gradiente. Em θ_e , a superfície frontal é observada em todos os níveis atmosféricos, variando a altura máxima que o gradiente atinge entre 975-150hPa.

O mesmo ocorre quando o sistema frontal chega à Maceió. A vortacidade mantém o mesmo nível de confiança que nos pontos de observação anteriores, mantendo as características frontais em baixos níveis na maioria dos casos, mas também apresentando valores nulos e positivos. O vento e a temperatura continuam não apresentando características suficientes para a identificação de superfícies frontais em latitudes menores que 12°S. Em θ_e , o gradiente frontal varia a altura máxima entre 500-100hPa, adentrando a tropopausa.

A variável de temperatura potencial equivalente (θ_e) é a única variável que apresentou superfície frontal em médios e altos níveis, em todos os pontos de observação de todos os casos, inclusive em latitudes abaixo de 12°S. Em Maceió, nos tipos I e II a altura máxima que o gradiente atinge varia de 500hPa (caso 11) a 100hPa (caso 8). No tipo IIIA, os casos apresentaram a altura máxima predominante em altos níveis, todos registrando gradientes acima de 300hPa. Apesar do gradiente de todos os casos apresentarem o mesmo valor no topo (1-2°/100km), a intensidade varia ao longo da coluna atmosférica, sendo mais forte em baixos e médios níveis, alcançando valores de mais de 10°/100km.

As regenerações e ciclogêneses na frente fria foram os mecanismos que mais influenciaram a chegada dos sistemas frontais até latitudes mais baixas. Em 14 casos ocorre regeneração, com maior frequência entre SP e SALV. Desses, 2 casos apresentam mais de uma regeneração (casos 6 e 15) e em outros 2 casos também ocorre uma ciclogênese (casos 4 e 5), todos em estações de transição. Apenas 4 casos não apresentam algum tipo de mecanismo (casos 3, 9, 11 e 14), sendo que todos ocorreram em estações frias entre os meses de abril e julho.

A precipitação para o período em que os sistemas frontais influenciaram o Estado de Alagoas também foi avaliada nesse estudo.

Os casos pertencentes ao tipo I quando chegam a Maceió (1, 14, 15 e 16) registram os maiores volumes pluviométricos tanto no dia D (dia em que a EF está sobre MCZ) quanto no dia D+1, com valores que variam de 11,8mm (caso 16) à 85,8mm (caso 15), tanto na região do Litoral quanto no Baixo São Francisco.

A maioria dos casos apresenta o tipo II em Maceió (2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 17 e 18) e ocorrem durante o ano todo. Os volumes registrados variam de 8,9mm (caso 7) à 62,6mm (caso 12), principalmente na região do Litoral, alternando entre dia D e dia D+1.

No tipo IIIA, as precipitações foram as mais elevadas chegando a registrar 190,2mm na região do Baixo São Francisco (caso 9).

Sugestões para novas pesquisas:

- Prosseguir com os estudos sobre a modificação das nebulosidades frontais ao longo do caminho entre Porto Alegre e Maceió utilizando uma série maior de dados;
- Comparar as diferenças entre os sistemas que chegam e os que não chegam à latitudes mais baixas;
- Analisar a interação entre a TSM e a penetração dos sistemas frontais em direção ao equador;
- Analisar a interação entre ROL e a nebulosidade frontal em baixas latitudes.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI I. F. A. **Climatologia dos Sistemas Frontais e Padrões de Comportamento Para o Verão na América do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CD **Anais**. 2004.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. 2005. 187p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Geofysiske Publikationer**, v. 1, n. 2, p.1-8., 1919.
- BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life cycle of cyclones and the Polar Front theory of atmospheric circulation. **Geofysiske Publikationer**, v. 3, n. 1, p.3-18, 1922.
- BLUESTEIN, H. B.: **Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Volume II: Observations and Theory of Weather Systems**. Oxford University Press, New York, EUA, 1993. 594 p
- BONATTI, J. P.; RAO, V. B. Moist Baroclinic Instability in the Development of North Pacific and South American Intermediate-Scale Disturbances. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.44, n.18, p 2657-2667. 1987.
- BONATTI, J. P. **Evolução Para Amplitude Finita das Ondas Baroclínicas na Atmosfera e no Oceano**. Tese de Doutorado em Meteorologia (19/08/1998). São José dos Campos, SP, INPE, 1988.
- BONATTI, G. R. **Estudos observacionais de simulação numérica e de partição e interação de energia de nuvem vírgula invertida sobre a América do Sul**. 2004.290 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- BOWDITCH, N. **American Practical Navigator, an Epitome of Navigation**. Defense Mapping Agency Hydrographic Center. 1977.
- BUSINGER, S.; HOBBS, P. V. Meso-scale structures of two comma cloud systems over the Pacific Ocean. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1908-1928. 1987.
- CARVALHO, A. M. G.. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE. São José dos Campos-SP. 1989.
- CAVALCANTI, I. F. A. Casos de intensa precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983. São José dos Campos: INPE, 1985. p.47
- CAVALCANTI IFA & KOUSKY V E. 2003. Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7: 2003, Wellington, New Zealand. Proceedings... New Zealand: American Meteorological Society, 2003. CD-ROM.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. *In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, J.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A; SILVA DIAS, M.A.F. Tempo e Clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Texto, 2009. Cap.9, p. 135-147.

CRUZ, C. D. Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influência frontais sobre o Estado de alagoas. 2008. 121 p. Dissertação (mestrado em meteorologia) – universidade federal de alagoas, Maceió. 2008.

DA CRUZ, C. D.; FIGUEIREDO, E. L.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. **Utilização do Campo de Advecção de Temperatura Potencial Equivalente para Análise de um Sistema Frontal na Região Tropical.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, São Paulo, CD Anais, 2008.

DEFANT, F.; MORTH, H. T., *Meteorology Sinoptic, Compendium of Meteorology,* Genebra: World Meteorological Organization, 1978.

DERECZYNSKI, C. P. **Estudo de caso de uma nuvem vírgula invertida e a subsequente ocorrência de ventos fortes na Bacia de Campos.** 1995. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Astronômico e Geofísico - USP, São Paulo. 1995.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica.** Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 1, p. 259, 1999.

FEDOROVA, N., CARVALHO, M. H. **Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais.** Revista Brasileira de Meteorologia. v. 15, n.2. p. 57-72, 2000.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica.** Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 2, p. 242, 2001.

FERREIRA, N. J. **Alta da Bolívia.** IV Curso de Interpretação de Imagens e Análises Meteorológica, São José dos Campos, 18p, 1995.

FERREIRA, N. J.; RAMIREZ, M. V.; GAN, M. A. Parte I - Sistemas meteorológicos que afetam o tempo na América do Sul: Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da (Ed.). Para entender tempo e clima. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 43-60. ISBN 978-85-86238-92-5. (INPE--/).

FIGUEIROA, N. F.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. **Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model.** J. Atmos. Sci., v.52,p.1573-1584. 1995.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows. In: Symposium on the Tropical Meteorology, Honolulu, june 2-11, 1970. Proceedings. Honolulu, American Meteorological Society, p. EIV I-EIV 6. 1970.

GAN, M.A; KOUSKY, V.E. **Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil.** São José dos Campos, INPE, Brasil. (inpe -2579-pre/227). 1982.

GAN, M. A. **In: III Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica.** Universidade do Vale do Paraíba, Capítulo B5, 1-12, 4 a 8 de outubro 1993.

GARBELL, M. A. General Circulation. Tropical and Equatorial Meteorology, Pitman publishing corporation, New York, Chicago, 7-27p. 1947.

GEMIACKI, L. **Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil.** 121p. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2005.

HARLEY, D. G., **Frontal contour analysis of a “polar low”.** Meteor. Mag., v. 89, p.146- 147, 1960.

HARROLD, T. W.; BROWNING, K. A. **The polar low as a baroclinic disturbance.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 95, p. 710-723, 1969.

HOFFMANN, J. A., 1975: *Climatic Atlas of South America.* I OMM UNESCO, printed by Cartographia, 33 pp.

HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology.** 2 ed. New York, p.391,1979.

JUSTI, M. G. A. S.; SILVA DIAS, M. A. F. **A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: Uma climatologia.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, 2002. CD-ROM.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; *et al* 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorology Society**, 77, 437-471. 1996.

KOCH, S. E.; MITCHEM, J. D. A structured process for prediction of convection associated with split cold fronts. Bulletin of the American Meteorology Society, v. 81 n° 2, p. 174-179. 2003.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p 1140 – 1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. Tellus, v. 33(6), p. 538-551. 1981.

KOUSKY, V. E.; FERREIRA, N. J. Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: their spatial distributions, origins and effects. Monthly weather review, v.109, n.9, 1999-2008, sept. 1981.

KOUSKY, V. E. E M. T. KAYANO. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the south american sector. J. Climate, 7, 1131- 1143, 1994.

LEMOS, C. F.; DE CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral de 1987 a 1995. Climanálise ed 10 anos. 1996.

LOCATELLI, J. D.; HOBBS, P. V.; WERTH J. A. Mesoscale structures of vortices in polar air streams. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 1417-1433, 1982.

MEDINA, M. **Meteorologia Básica Sinóptica**, Madri, Paraninfo, 1976.

MULLEN, S. L. An Investigation Of Small Synoptic Scale Cyclones In Polar Air Streams, **Monthly Weather Review**, p 1636 - 1647. 1979.

NEWTON, C. W.; VAN LOON, H.; MITCHEL JR., J. M.; TALJAARD, J. J.; SASAMORI, T.; LONDON, J.; HOYT, D. V.; LABITZKE, K. **Meteorology Of The Southern Hemisphere**, v.13, n 35. 1972.

OLIVEIRA, A. S. Interações Entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia, **Dissertação De Mestrado**, INPE. 1986.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. **Meteorologia Fundamental**. Rio Grande do Sul, Erechim/RS: EdiFAPES, 2001.

PALMÉN, E. Origin and struture of high-level cyclones south of the maximum westerlies. **Tellus**, 1: 22-31, 1949.

PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. **Atmospheric circulations systems**. New York, Academic Press, 1969.

PALMER, C. E. On high-level cyclones originating in the tropics. *Transactions of American Geophysics Union*, 32(5):683-695. 1951.

PARMENTER, E. C. A Southern Hemisphere Cold Front Passage At The Equador. **Bulletim American Meteorological Society** v.57, n. 12, p 1435 -1440. 1976.

PETTERSSSEN, S. **Weather analysis and forecasting: motion and motion systems**. 1st edition, New York, MacGraw-Hill, 1940.

PETTERSSSEN, S. **Weather analysis and forecasting: motion and motion systems**. New York, MacGraw-Hill, 1956. v. 1.

PETTERSSSEN, S. **Introduction to Meteorology**. New York, MacGraw-Hill, 1956. v.1.

QUADRO, M. F. L. **Um estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994, (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

SILVA, B. F. P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. **Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas**. *Rev. Bras. Meteorol.*, 2011, vol.26, p232-338.

RASMUSSEN, E. The polar low as an extratropical CISK disturbance. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 105, p. 531-549, 1979.

REED, R. Cyclogenesis in Polar Air Streams. **Monthly Weather Review**, v.107, p. 38- 52. 1979.

- RAMIREZ, M. V.; KAYANO, M. T.; FERREIRA, J. F. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. *Atmosfera*, v. 12, n. 2, p. 75-88, 1999.
- REEDER, M. J.; SMITH, R. K. Mesoscale meteorology. In *Meteorology of the southern hemisphere*. Boston: American Meteorological Society. V.27, n.29, p. 201-241, 1988.
- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. South America. In: Karoly, D.J.; D.G. Vincent ed. *Meteorology of the South Hemisphere*. Boston. MA.: **American Meteorology Society**, Cap.3, p.119-140, 1998.
- SALDANHA, C. B.; FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H. Estudo de um caso de frente fria secundária sobre o sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.1, 32-45, 2010.
- SAUCIER, W. J. principle of meteorology analysis. University of chigago. 1955.
- SHULTZ, D.M.; KEYSER, D.; BOSART, L. F. The effect of large -scale flow on low-level frontal structure and evolution in midlatitude cyclones. *Monthly weather review*,v. 126 n° 7, p. 1767-1791. 1998.
- SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C.; NICOLINI, M.; SATYAMURTY, P. The Northwestern Argentinean Low: A Study of Two Typical Events. **Monthly Weather Review**, v. 131, 2361-2378. 2003.
- SHULTZ, D. M.; KEYSER, D.; BOSART, L. F. The Effect Of Large-Scale Flow On Low-Level Frontal Structure And Evolution In Midlatitude Cyclones. *Monthly Weather Review*, v. 126 no. 7, p 1767- 1791. 1998.
- SIGNORINI, E. Processos Sinóticos Associados Com A Intensificação Da Extremidade Da Frente Fria No Sul Do Brasil. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de pelotas (UFPel), Pelotas-RS. 2001.
- SILVA, A. B. P. Estudo de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do Nordeste do Brasil. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió – AL. Jan, 2002.
- SMITH, R. K.; REEDER, M. J.; TAPPER, N. J.; CHRISTIE, D. R. Central Australian Cold Fronts. , **Monthly Weather Review**, v. 123, p 16 – 38. 1995.
- SOUZA, A. S.; NECHET, D. **Influência de Sistema frontal na Amazônia Oriental: Estudo de Caso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CD Anais, 2004.
- SUTCLIFFE R. C.'A Contribution to the Problem of Development', *QJRMetS/RMetS*, 73, 1947.
- VALVERDE RAMIREZ, M. C. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste do Brasil**. 1996. 132 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1996.

VEBER, M. E. **Desenvolvimento de atividade convectivas sobre a região nordeste do Brasil, organizada pela extremidade frontal.** 2011. 132p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

ZILLMANN, J. W.; PRICE, P. G. On the thermal structure of mature Southern Ocean cyclones. **Aust. Meteor. Mag.** **20**, 34-48. 1972

<http://www.cptec.inpe.br/satélite>

<http://www.ecmwf.int/>