



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**

**DEPARTAMENTO DE  
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PÓS - GRADUAÇÃO  
EM METEOROLOGIA**

UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS EM JANEIROS SECOS  
E CHUVOSOS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL E SUA  
RELAÇÃO COM A CHUVA EM MESES POSTERIORES NA REGIÃO

AUTORA: MONICA CRISTINA DAMIÃO

PUBLICAÇÃO DCA - CMM TD Nº 07 - 1999

**CAMPINA GRANDE**

SETEMBRO - 1999



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

**UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS EM JANEIROS SECOS E  
CHUVOSOS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO  
COM A CHUVA EM MESES POSTERIORES NA REGIÃO**

**MONICA CRISTINA DAMIÃO**

Campina Grande-PB  
SETEMBRO de 1999

**MONICA CRISTINA DAMIÃO**

**UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS EM JANEIROS SECOS E  
CHUVOSOS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO  
COM A CHUVA EM MESES POSTERIORES NA REGIÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em  
Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba,  
em cumprimento às exigências para a obtenção do  
grau de Mestre.

Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical

Área de Concentração

Maria Regina da Silva Aragão

Orientadora

Iracema F. A. Cavalcanti

Co-orientadora

Campina Grande-PB

SETEMBRO de 1999



D158e      Damião, Mônica Cristina.  
Um estudo das condições atmosféricas em janeiros secos e chuvosos no semi-árido do nordeste do Brasil e sua relação com a chuva em meses posteriores na região / Mônica Cristina Damião. - Campina Grande, 1999.  
158 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1999.  
"Orientação : Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão, Profa. Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti".  
Referências.

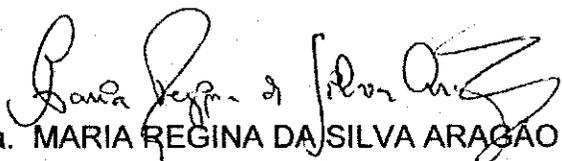
1. Chuva - Brasil - Nordeste. 2. Variabilidade Pluviométrica - Brasil - Nordeste. 3. Janeiro (Mês) - Condições Atmosféricas. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Aragão, Maria Regina da Silva. II. Cavalcanti, Iracema Fonseca de Albuquerque. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título  
CDU 551.578.1(812/813)(043)

MONICA CRISTINA DAMIÃO

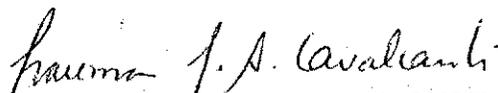
"UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS EM JANEIROS SECOS E CHUVOSOS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM A CHUVA EM MESES POSTERIORES NA REGIÃO"

APROVADA EM 14/9/99

BANCA EXAMINADORA



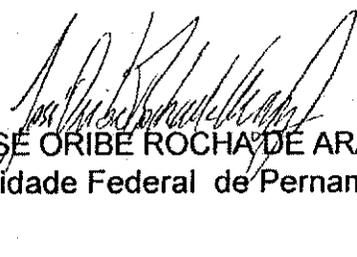
Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO  
Universidade Federal da Paraíba



Dra. IRACEMA FONSECA DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI  
Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE



Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO  
Universidade Federal da Paraíba



Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO  
Universidade Federal de Pernambuco

## DEDICATÓRIA

❖ Aos meus pais José Damião Filho e Maria Hosana Costa Damião (que eu amo muito) por todo amor dedicado no decorrer da minha vida. Obrigada por tudo.

❖ E aos meus irmãos e amigos que sempre estiveram comigo, incentivando e dando-me força. E aos meus sobrinhos (dinhos) Suzane, Samara, Samia e Pedro Rafael.

## CONSIDERAÇÕES

❖ Agradeço especialmente a minha orientadora M. Regina S. Aragão pelo apoio dado na parte da confecção do texto e análise dos gráficos, bem como, pela paciência e amizade que foram importantes no desenvolvimento deste trabalho.

❖ Agradeço especialmente a Iracema F. A. de Cavalcanti pela grande ajuda na confecção, análises dos gráficos e conceitos meteorológicos usados neste trabalho, bem como pela amizade, paciência e incentivo que foram imprescindíveis para a minha pessoa.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à **Deus** por ser a força vital da minha caminhada e existência.

Em segundo lugar a **minha família** que é o meu sustentáculo emocional e porto seguro.

Aos amigos Hélio Camargo, Eugênio Sper e Rosane Rodrigues pela ajuda dada no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pelo apoio dado à realização deste trabalho nas pessoas do Dr. Carlos Afonso Nobre e Dra. Iracema F. A. Cavalcanti.

Ao Instituto de Atividades Espaciais do Centro Tecnológico Aeroespacial (IAE-CTA, atualmente Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial), pelo acesso aos dados de radiossondagens e de radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE.

Ao Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba (LMRS) pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho nas pessoas do Diretor Ricardo Correia da Cunha Lima e Anna Barbara Coutinho de Melo.

Ao Departamento de Hidrometeorologia do estado de Pernambuco (DEHI) da Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH) pela minha liberação para o término deste trabalho, bem como, pelo apoio emocional, na pessoa da coordenadora Francinete Francis Lacerda.

Ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPb) que possibilitou a realização deste trabalho, na pessoa do Dr. Tantravahi Venkata Ramana Rao cujos apoio e colaboração foram vitais neste trabalho.

A Divanete Cruz Rocha, secretária do Curso de Mestrado em Meteorologia.

Aos professores e funcionários do DCA/UFPB, em especial à Eyres Diana Ventura Silva

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo ao meu progresso profissional.

A todos os meus amigos do DCA, em especial Jaidete Monteiro de Souza, Adma Raia Silva, Micheline Coelho de Souza e Viviane Batista da Silva pela amizade, companheirismo e carinho e a todos os meus amigos do CPTEC, em especial a Nuri Calbette e Rosane Rodrigues.

E finalmente, aos meus irmãos e sobrinhos a qual retribuo toda amizade, companheirismo e carinho dado a minha pessoa.

## ABSTRACT

The identification of the main atmospheric circulation differences between rainy and dry January months in the semi-arid Northeast region, as well as the analyses of previous months (OND) and following months (FMAM) was one of the objectives of this study. NCEP/NCAR reanalysis data and precipitation from SUDENE were used in the analyses. Dry years, considered as those with normalized precipitation deviation below 25% of the average were 1984, 1987 and 1990. Wet years, with normalized precipitation deviation above 25% of the average were 1979, 1980 and 1985. Dry and wet composites were performed for each month from October throughout May, and the atmospheric features of each composite associated with precipitation were analyzed. The wind field at 200 hPa showed a cyclonic vortex (VCAN) over Northeast region coast in the rainy composites of January and February, while in the dry composites there was an amplified trough over the Atlantic Ocean. The cyclonic vorticity associated with the Northeast trough/VCAN was located over Northeast and moved to the Atlantic Ocean, from October to January, in the rainy composite. In the dry composite, the cyclonic vorticity moved from the Atlantic Ocean to the continent. At low levels, the larger differences were found in the North and South Atlantic subtropical high regions. Another objective of this study was the diagnosis of the atmospheric circulation in the period of 15 to 25 January 1985, and the analysis of precipitation fields obtained from meteorological radar of Petrolina, PE. The 200 hPa wind field analyses showed the contribution of the mid-latitudes troughs of North and South Hemisphere in the intensification of the Northeast trough/VCAN over South Atlantic. The displacement of the Bolivian High to the east of the climatological position was also observed. An anticyclonic center to the northwest of South America and a trough over North Atlantic were in phase with the Bolivian High and the Northeast trough/VCAN, in some days of the analyzed period. Satellite images showed cloudiness associated with the Northeast trough/VCAN and mesoscale convective complexes.

## RESUMO

Um dos objetivos deste trabalho foi a identificação de contrastes na circulação de grande escala em janeiros secos e chuvosos na região semi-árida do Nordeste do Brasil, e nos meses anteriores (OND) e posteriores (FMAM) e suas associações com os totais pluviométricos registrados em FMAM na região. Para tanto foram utilizados dados de reanálises do NCEP/NCAR e totais mensais de precipitação da SUDENE. Desvios normalizados de precipitação para o período de 1979-1990 possibilitaram identificar como secos (total mensal de 25% ou mais abaixo da média) os janeiros de 1984, 1987 e 1990 e como chuvosos (total mensal de 25% ou mais acima da média) os janeiros de 1979, 1980 e 1985. Cada conjunto de três anos deu origem aos compostos seco e chuvoso para os quais foram diagnosticadas as configurações médias de variáveis atmosféricas associando os contrastes observados com a precipitação de FMAM. As análises do campo de vento em altos níveis mostraram a configuração de um vórtice ciclônico em altos níveis (VCAN), nos meses de janeiro e fevereiro do composto seco, atuando na costa do Nordeste, enquanto que a configuração no composto chuvoso foi apenas de um cavado amplificado sobre o oceano Atlântico. Em altos níveis notou-se ainda que a vorticidade ciclônica associada ao cavado do Nordeste/VCAN no composto chuvoso localizou-se sobre o Nordeste e foi se deslocando para o oceano, enquanto que no composto seco a vorticidade ciclônica originalmente localizada sobre o oceano deslocou-se na direção do continente, no período de outubro a janeiro. Em baixos níveis, os maiores contrastes foram vistos na área dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e Sul. Outro objetivo deste trabalho foi diagnosticar a circulação atmosférica de grande escala para o período de 15 a 25 de janeiro de 1985 em conjunto com a análise de campos de precipitação via radar meteorológico, instalado em Petrolina-PE. As análises do campo do vento em 200 hPa mostraram a contribuição do alinhamento de cavados de latitudes médias austrais com o cavado do Nordeste/VCAN na intensificação deste último, sobre o Oceano Atlântico, bem como a posição do AB mais para leste em relação à climatologia. Um centro anticiclônico situado no noroeste da América do Sul e um cavado situado no Atlântico Norte estiveram em fase com o par AB-cavado do Nordeste/VCAN. Imagens de satélite mostraram a nebulosidade associada ao cavado do Nordeste/VCAN e aglomerados de mesoescala em alguns dias do período estudado.

## ÍNDICE

### LISTAS

Figuras -----	i
Siglas e Abreviaturas -----	xiv
Lista de Símbolos -----	xv

### CAPÍTULO 1

<i>INTRODUÇÃO</i> -----	01
-------------------------	----

### CAPÍTULO 2

<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i> -----	06
<b>2.1 - Sistemas meteorológicos de grande escala que influenciam o regime pluviométrico do Nordeste do Brasil</b> -----	06
<i>2.1.1 - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis</i> -----	06
<i>2.1.2 - Sistemas Frontais Austrais</i> -----	11
<i>2.1.3 - Zona de Convergência do Atlântico Sul</i> -----	13
<i>2.1.4 - Zona de Convergência Intertropical</i> -----	14
<i>2.1.5 - Distúrbios Ondulatórios de Leste</i> -----	15

2.1.6 - Oscilação de 30-60 dias -----16

2.2 - Fenômenos climáticos que favorecem e/ou inibem a precipitação no  
Nordeste do Brasil-----18

2.2.1 - Dipolo do Atlântico -----18

2.2.2 – El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) -----19

2.3 - Estudos de ecos do radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE -----22

### **CAPÍTULO 3**

*MATERIAIS E MÉTODOS* -----25

3.1 – Materiais -----25

3.2 – Métodos-----26

3.2.1 - Seleção dos períodos de estudo-----26

3.2.2 – Diagnóstico da circulação atmosférica -----33

3.2.2.1 – Aspectos Climáticos -----33

3.2.2.2 – Estudo de caso para janeiro de 1985-----33

### **CAPÍTULO 4**

*ESTUDO DE CASO PARA JANEIRO DE 1985* -----37

<b>4.1 – Análise da precipitação na região semi-árida em janeiro de 1985</b>	<b>38</b>
<b>4.2 - Diagnóstico da circulação atmosférica</b>	<b>39</b>
<i>4.2.1 – Dia 16 de janeiro de 1985</i>	<i>39</i>
<i>4.2.2 -- Dia 18 de janeiro de 1985</i>	<i>45</i>
<i>4.2.3 –Dia 20 de janeiro de 1985</i>	<i>52</i>
<i>4.2.4 –Dia 22 de janeiro de 1985</i>	<i>57</i>
<i>4.2.5 – Dia 24 de janeiro de 1985</i>	<i>64</i>
<b>4.3 – Agentes externos à atmosfera que favorecem as chuvas extremas ocorridas em janeiro de 1985</b>	<b>72</b>
<b>4.4 - Sumário</b>	<b>73</b>

## **CAPÍTULO 5**

<b>CLIMATOLOGIA DE JANEIROS SECOS E CHUVOSOS, MESES ANTERIORES (OND) E POSTERIORES (FMAM)</b>	<b>76</b>
<b>5.1 – Análise dos desvios de precipitação em janeiro e meses posteriores (FMAM)</b>	<b>77</b>
<b>5.2 – Características médias mensais no composto seco</b>	<b>80</b>
<b>5.2.1 – Análise de janeiro e meses anteriores (OND)</b>	<b>80</b>

<i>5.2.1.1 – Circulação Atmosférica</i>	80
<i>5.2.1.2 – Umidade específica (700 hPa)</i>	90
<i>5.2.1.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar</i>	91
<b>5.2.2 – Análise dos meses posteriores (FMAM)</b>	93
<i>5.2.2.1 – Circulação Atmosférica</i>	93
<i>5.2.2.2 – Umidade específica (700 hPa)</i>	103
<i>5.2.2.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar</i>	104
<b>5.3 – Características médias mensais no composto chuvoso</b>	106
<b>5.3.1 – Análise de janeiro e meses anteriores (OND)</b>	106
<i>5.3.1.1 – Circulação Atmosférica</i>	106
<i>5.3.1.2 – Umidade específica (700 hPa)</i>	117
<i>5.3.1.3 – Anomalias da temperatura do mar</i>	118
<b>5.3.2 – Análise dos meses posteriores (FMAM)</b>	120
<i>5.3.2.1 – Circulação Atmosférica</i>	120
<i>5.3.2.2 – Umidade específica (700 hPa)</i>	130
<i>5.3.2.3 – Anomalias da temperatura do mar</i>	131

**5.4 - Seções longitude-tempo da componente meridional do vento em 200 hPa-----133**

**5.5 - Sumário -----139**

## **CAPÍTULO 6**

**CONCLUSÕES E SUGESTÕES-----144**

**6.1 - Características da circulação de grande escala -----144**

**6.2 - Associação das características da circulação de grande escala com o regime pluviométrico nos dois compostos-----148**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----150**

## LISTAS DE FIGURAS

### FIGURAS:

- 1.1 Mapa do relevo da Região Nordeste do Brasil. O círculo maior, cujo raio é de 400 km, representa a área de cobertura do radar banda-C operado em Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W) de janeiro a junho de 1985. O círculo menor, cujo raio é de 250 km, representa a área na qual foi feita a contagem de ecos por Araújo (1996). A convenção utilizada para o relevo é vista no canto inferior esquerdo. (Fonte: Araújo, 1996)..... 3
- 2.1 Esquema da circulação para os casos de nebulosidade tipo "S" em (a) baixos níveis e (b) altos níveis. (Fonte: Lacava, 1995)..... 9
- 3.1 Delimitação da região semi-árida do Nordeste do Brasil de acordo com a Funceme (1993). A área hachurada corresponde à região semi-árida estudada neste trabalho, cujo índice pluviométrico anual está entre 300 e 1000 mm. <sup>1</sup>O Polígono das Secas está inserido na área hachurada. (Fonte: Melo, 1997).)..... 29
- 3.2 Série temporal da região semi-árida, para o mês de janeiro, do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (preto) e a precipitação observada do mês (sombreada) para os estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. Os desvios (em porcentagem) são valores médios para a região semi-árida de cada estado obtidos dividindo-se a soma de todos os desvios pelo número de postos pluviométricos utilizados.(Fonte dos dados: SUDENE/DCA)..... 30
- 3.3 Distribuição espacial do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (em porcentagem) para janeiros chuvosos na zona semi-árida do Nordeste do Brasil, relativa aos anos de: (a) 1979, (b) 1980 e (c) 1985(Fonte dos dados: SUDENE/DCA)..... 31
- 3.4 Distribuição espacial do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (em porcentagem) para janeiros secos na zona semi-árida

	do Nordeste do Brasil, relativa aos anos de: (a) 1984, (b) 1987 e (c) 1990. <i>(Fonte dos dados: SUDENE/DCA)</i> .....	32
4.1	Série temporal da precipitação média diária no mês de janeiro de 1985 da região semi-árida dos estados de: (a) Ceará, (b) Rio Grande do Norte, (c) Paraíba e (d) Pernambuco. O total de precipitação do mês (total do mês) e a precipitação histórica de janeiro (climatológica) são vistos no canto superior direito dos gráficos. <i>(Fonte dos dados: SUDENE/DCA)</i> .....	39
4.2	Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 16 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W). <i>(Fonte das imagens: ESA)</i> .....	42
4.3	Análises para o dia 16 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de $1,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ( $0,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de $10 \text{ ms}^{-1}$ enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). <i>(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)</i> .....	43
4.4	Campo da radiação de ondas longas para o dia 16 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . <i>(Fonte dos dados: NCAR/CPTEC)</i> .....	44
4.5	Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 16 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de $0,25 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente) <i>(Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC)</i> .....	45

---

<sup>1</sup> O Polígono da Seca é definido como a região que apresenta um total anual pluviométrico abaixo de 600 mm.

- 4.6 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 18 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W) (*Fonte das imagens: ESA*)..... 48
- 4.7 Análises para o dia 18 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 49
- 4.8 Campo da radiação de ondas longas para o dia 18 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (*Fonte dos dados: NCAR/CPTEC*)..... 50
- 4.9 Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 18 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{ hPas}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (*Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC*) ..... 51
- 4.10 Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina (9°24'S, 40°29'W) no dia 18 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (*Fonte das radiossondagens: IAE/CTA*) ..... 52
- 4.11 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 20 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da

- fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W). (Fonte das imagens: ESA) ..... 54
- 4.12 Análises para o dia 20 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC) ..... 55
- 4.13 Campo da radiação de ondas longas para o dia 20 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (Fonte dos dados: NCAR/CPTEC) ..... 56
- 4.14 Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 20 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC) ..... 57
- 4.15 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 22 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W). (Fonte das imagens: ESA) ..... 60
- 4.16 Análises para o dia 22 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas

- contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 61
- 4.17 Campo da radiação de ondas longas para o dia 22 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (*Fonte dos dados: NCAR/CPTEC*) ..... 62
- 4.18 Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 22 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{ hPas}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (*Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC*) ..... 63
- 4.19 Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) no dia 22 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte) (*Fonte das radiossondagens: IAE/CTA*) ..... 64
- 4.20 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 24 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (*Fonte das imagens: ESA*) ..... 67
- 4.21 Análises para o dia 24 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 68

- 4.22 Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 24 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{hPas}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). *(Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC)* ..... 69
- 4.23 Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) no dia 24 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). *(Fonte das radiossondagens: IAE/CTA)* ..... 70
- 4.24 PPI's obtidos pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE no dia 24 de janeiro de 1985 às: (a) 13:33 TMG, (b) 16:00 TMG e (c) 20:03 TMG. A convenção utilizada para a taxa de precipitação (mm/h) é vista em (d). Os PPI's foram obtidos com escala de intensidade de chuva igual a 2 (R-2) e elevação da antena de  $0,1^{\circ}$ . A distância entre as circunferências concêntricas ao local do radar é de 50 km. A seta vista no canto superior direito dos PPI's indica o norte verdadeiro (N). As linhas sinuosas (contínua e tracejada) representam o curso do Rio São Francisco. *(Fonte dos PPI's: IAE/CTA)* ..... 71
- 4.25 Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) (K) para o período de: (a) 3 a 9 de janeiro e (b) 10 a 16 de janeiro de 1985. Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). *(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)* ..... 73
- 4.26 Umidade do solo a 1 m de profundidade ( $\text{mm H}_2\text{O}$ ) para o dia 22 de janeiro de 1985 às: (a) 0:00 TMG e (b) 12:00. *(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)* ..... 73
- 5.1 Série temporal do desvio normalizado com respeito à média climatológica para janeiro e meses posteriores (FMAM) do composto seco, na região semi-árida dos estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. *(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)* ..... 78

- 5.2 Série temporal do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica para janeiro e meses posteriores (FMAM) do composto chuvoso, na região semi-árida dos estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 79
- 5.3 Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$  (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 82
- 5.4 Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 83
- 5.5 Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 84
- 5.6 Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 85
- 5.7 Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 87

- 5.8 Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 88
- 5.9 Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 89
- 5.10 Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 90
- 5.11 Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo das análises visto acima é de  $2 \text{ g kg}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 91
- 5.12 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1983 e (d) janeiro de 1984. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 92
- 5.13 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1989 e (d) janeiro de 1990. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 93
- 5.14 Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ , enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de

	30 ms <sup>-1</sup> . ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	95
5.15	Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 0,8x10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup> com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	96
5.16	Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise de visto acima é de 0,25x10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup> com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	97
5.17	Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 0,5x10 <sup>-3</sup> hPa s <sup>-1</sup> . ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	98
5.18	Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de 8 ms <sup>-1</sup> enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de 10 ms <sup>-1</sup> ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	95
5.19	Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 0,5x10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup> com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	101
5.20	Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 0,25x10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup> com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos) ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	102
5.21	Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 1x10 <sup>-3</sup> hPa s <sup>-1</sup> . ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ).....	103

- 5.22 Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo das análises visto acima é de  $2 \text{ gkg}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 104
- 5.23 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março (c) abril e (d) maio de 1984. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 105
- 5.24 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março (c) abril e (d) maio de 1990. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 106
- 5.25 Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$  (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 109
- 5.26 Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 110
- 5.27 Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 111
- 5.28 Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 112

- 5.29 Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 114
- 5.30 Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 115
- 5.31 Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 116
- 5.32 Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 117
- 5.33 Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $2 \text{ g kg}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 118
- 5.34 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1978 e (d) janeiro de 1979. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 119
- 5.35 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1984 e (d) janeiro de

	1985. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ) ..... 120
5.36	Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de $20 \text{ ms}^{-1}$ , enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de $30 \text{ ms}^{-1}$ ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> )..... 122
5.37	Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de $0,8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> )..... 123
5.38	Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de $0,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> )..... 124
5.39	Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de $0,5 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ . ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> ) ..... 125
5.40	Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio (hachurada) em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de $8 \text{ ms}^{-1}$ , enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de $10 \text{ ms}^{-1}$ ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> )..... 127
5.41	Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise é visto acima de $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). ( <i>Fonte dos dados: NCEP/CPTEC</i> )..... 128

- 5.42 Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 129
- 5.43 Campos médios do movimento vertical ( $10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$ ) em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 130
- 5.44 Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $2 \text{ gkg}^{-1}$ . (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 131
- 5.45 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio de 1979. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*)..... 132
- 5.46 Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio de 1985. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 133
- 5.47 Seção longitude-tempo da componente meridional do vento na latitude de  $20^{\circ}\text{S}$  para o período de (a) outubro de 1984 a janeiro de 1985 e (b) outubro de 1989 a janeiro de 1990. A faixa longitudinal varia de  $0^{\circ}$  a  $100^{\circ}\text{W}$ . Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 136
- 5.48 Seção longitude-tempo da componente meridional do vento na latitude de  $10^{\circ}\text{S}$  para o período de (a) outubro de 1984 a janeiro de 1985 e (b) outubro de 1989 a janeiro de 1990. A faixa longitudinal varia de  $0^{\circ}$  a  $100^{\circ}\text{W}$ . Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada.. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*) ..... 138

- 6.1 Esquema da circulação de grande escala para o composto seco nos baixos níveis (a) e altos níveis (b). "A" corresponde a um centro de alta pressão, "B" corresponde a um cavado e "C" a um VCAN ..... 146
- 6.2 Esquema da circulação de grande escala para o composto chuvoso nos baixos níveis (a) e altos níveis (b). "A" corresponde a um centro de alta pressão, "B" corresponde a um cavado e "C" a um VCAN ..... 147

## LISTAS DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS E ABREVIATURAS:

<b>ASAS</b>	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
<b>ASAN</b>	Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte
<b>CTA</b>	Centro Tecnológico da Aeronáutica
<b>DCA</b>	Departamento de Ciências Atmosféricas
<b>ECMWF</b>	European Centre for Medium Range and Weather Forecasts
<b>ENOS</b>	El Niño-Oscilação Sul
<b>ESA</b>	European Space Operation Centre
<b>FMAM</b>	fevereiro, março, abril e maio
<b>GRADS</b>	The Grid Analysis and Display System
<b>HL</b>	hora legal
<b>HN</b>	Hemisfério Norte
<b>HS</b>	Hemisfério Sul
<b>IAE</b>	Instituto de Atividades Espaciais
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>METEOSAT</b>	Meteorological Satellite
<b>NCEP</b>	National Centers for Environmental Prediction
<b>PE</b>	Pernambuco
<b>ROL</b>	radiação de ondas longas
<b>SUDENE</b>	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
<b>TSM</b>	temperatura da superfície do mar
<b>TMG</b>	tempo médio de Greenwich
<b>UR</b>	Umidade relativa

<b>UTC</b>	universal time coordinated
<b>VCAN</b>	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis
<b>ZCAS</b>	Zona de Convergência do Atlântico Sul
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical
<b>ZCPS</b>	Zona de Convergência do Pacífico Sul

### SÍMBOLOS:

$\theta$	temperatura potencial (K)
$\theta_e$	temperatura potencial equivalente (K)
$\theta_{es}$	temperatura potencial equivalente de saturação (K)
$^{\circ}\text{C}$	grau Celsius
$e$	pressão de vapor (mb)
$e_s$	pressão de vapor de saturação (mb)
$D_c$	desvio para cada composto
$D_m$	desvio médio para cada estado
$D_p$	desvio para cada posto
$\text{hPa}$	Hectopascal
$\text{K}$	grau Kelvin
$\text{mb}$	milibar
$\text{NCL}$	nível de condensação por levantamento
$N_p$	número de postos
$P$	pressão atmosférica (kPa)
$P_p$	precipitação observada no posto
$P_m$	precipitação média climatológica
$P_{mt}$	precipitação média observada nos três anos extremos
$P_o$	precipitação observada nos anos de 1979, 1980 e 1985 (chuvosos) e 1984, 1987 e 1990
$r$	razão de mistura (g/Kg)
$r_s$	razão de mistura de saturação (g/kg)
$T$	temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_K$	temperatura do ar (K)
$T_L$	temperatura no nível de condensação por levantamento (K)

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil compreende uma área aproximada de 1.644.000 km<sup>2</sup> caracterizada pela existência de uma grande variabilidade pluviométrica, ocasionada pelas condições atmosféricas resultantes da interação entre fenômenos meteorológicos de escalas distintas no espaço e no tempo e pela interação oceano-atmosfera.

A grande variabilidade espacial e temporal da chuva no Nordeste do Brasil, a qualidade da chuva nos meses de FMAM (fevereiro, março, abril e maio) e a quantidade de chuva caída, particularmente em sua zona semi-árida, tem motivado seu estudo sob os mais variados enfoques. Vários estudos mostram que a precipitação no Nordeste do Brasil tem uma estreita “relação” com as anomalias de temperatura das águas superficiais dos Oceanos Atlântico e Pacífico Equatorial e, conseqüentemente, com as anomalias na circulação atmosférica de grande escala que elas induzem. Essa “relação” tem sido investigada através de estudos observacionais e de modelagem numérica entre os quais estão: Hastenrath e Heller (1977), Moura e Shukla (1981), Kousky e Cavalcanti (1984), Aragão (1986), Rao et al. (1986), Rao et al. (1995), Harzallah et al. (1996), Nobre e Shukla (1996), Roucou et al. (1996), Satyamurti e Nobre (1998), entre outros.

Outros estudos abordam a ligação entre a ocorrência de chuva no Nordeste e a atuação de fenômenos atmosféricos de escala igual ou maior que a sinótica tais como: *Zona de Convergência Intertropical* (Hastenrath e Heller, 1977; Chu, 1983; Uvo, 1989), *Zona de Convergência do Atlântico Sul* (Oliveira, 1982; Oliveira, 1986; Oliveira e Nobre, 1986; Quadro, 1994; Lacava, 1995), *Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis* (Aragão, 1975; Anjos, 1995; Lacava, 1995; Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 1996a) e *Sistemas Frontais Austrais* (Abreu, 1979; Kousky, 1979; Araújo, 1996; Correia et al., 1996). Deve ser mencionado

ainda que dentre os fenômenos que influenciam o regime pluviométrico do Nordeste estão os *Distúrbios de Leste* (Yamazaki e Rao, 1977; Chan, 1990; Silvestre, 1996; Mota e Gandu, 1998), a *Oscilação de 30-60 dias* (Kayano et al., 1990; Kayano e Satyamurti, 1991; Kousky e Kayano, 1994) e linhas de cumulonimbus que se formam na costa norte do Nordeste associadas à brisa marítima (Cavalcanti, 1982).

Alguns dos estudos realizados sobre a atuação de sistemas meteorológicos de meso e grande escala sobre o Nordeste do Brasil envolvem dados de precipitação obtidos por meio de pluviômetros, enquanto que outros utilizam dados coletados pelo radar meteorológico banda-C operado no primeiro semestre de 1985 em Petrolina-PE, situada na zona semi-árida do Nordeste (Fig. 1.1). Até o presente, estes últimos são os únicos dados disponíveis que permitem analisar a estrutura de pequena e mesoescala dos sistemas de chuva que atuam na região. Os trabalhos já realizados com base nos dados do radar de Petrolina tratam da natureza da chuva na região de Petrolina-PE através da análise estatística das áreas e alturas de topos de ecos (Massambani e Correia, 1988; Correia, 1989; Correia e Massambani, 1990a; Correia e Massambani, 1990b; Vitorino et al., 1991; Araújo et al., 1992; Araújo, 1996), da classificação dos ecos em tipos e padrões e determinação de sua frequência de ocorrência (Araújo et al., 1994; Araújo, 1996), da identificação dos sistemas de grande escala atuantes na área do Nordeste no primeiro semestre de 1985 (Araújo, 1996; Correia et al., 1996; Silva Aragão et al., 1996a) e da relação entre as áreas dos ecos e condições termodinâmicas locais (Correia, 1989; Araújo, 1996; Araújo et al., 1996).

Araújo (1996), estudando os padrões de ecos sobre a região de Petrolina, chamou a atenção para aqueles que ele não pode enquadrar em sua classificação de padrões e que foram detectados em janeiro (três dias) e março (um dia) de 1985. Esses ecos constituíam extensas áreas disformes de precipitação predominantemente estratiforme que perduravam por várias horas. Fazendo uma identificação preliminar dos sistemas atmosféricos de grande escala que atuaram na região no período analisado, Araújo detectou a presença de Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste em quase todos os dias do mês de janeiro, enquanto que no mês de março houve igual contribuição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e dos VCAN. O autor assinala ainda que a precipitação observada via pluviômetro em Petrolina no mês de janeiro de 1985 foi 441% da normal, enquanto que o

total pluviométrico dos primeiros seis meses daquele ano foi 180% da normal. Outros autores também mostraram que o ano de 1985 foi chuvoso, em quase todo o Nordeste, como é o caso de Roucou et al. (1996) e Rao et al. (1997).

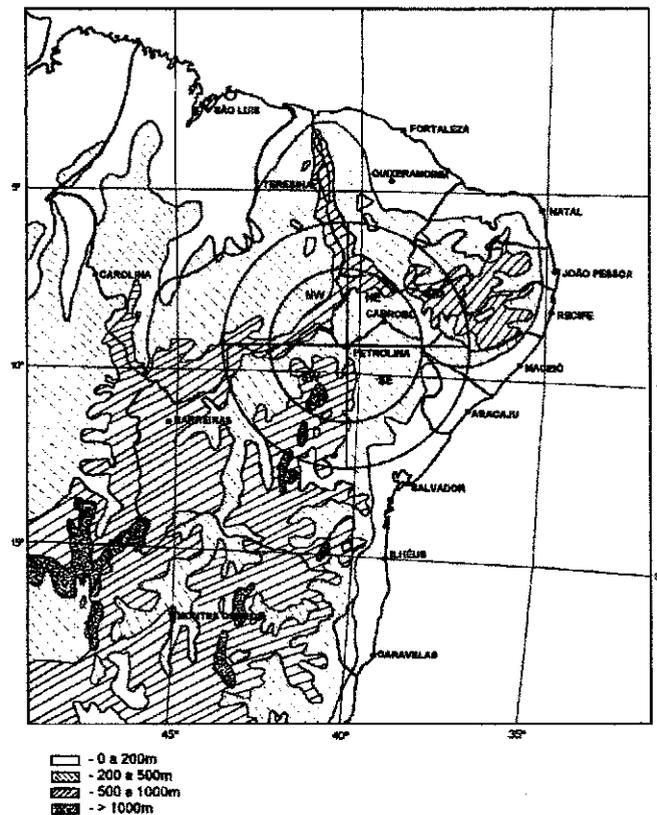


Fig. 1.1 – Mapa do relevo da Região Nordeste do Brasil. O círculo maior, cujo raio é de 400 km, representa a área de cobertura do radar banda-C operado em Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) de janeiro a junho de 1985. O círculo menor, cujo raio é de 250 km, representa a área na qual foi feita a contagem de ecos por Araújo (1996). A convenção utilizada para o relevo é vista no canto inferior esquerdo. (Fonte: Araújo, 1996).

A hipótese da existência de uma ligação entre os totais pluviométricos de janeiro e o período chuvoso do semi-árido do Nordeste do Brasil, compreendido entre os meses de fevereiro e maio (FMAM), foi reforçada recentemente nos trabalhos de Silva Aragão et al. (1996b) e Melo (1997). Silva Aragão et al. (1996b) mostraram, para quatro localidades do sub-médio São Francisco, que os totais pluviométricos de janeiro e fevereiro de 1980 (1981) estiveram acima (abaixo) da normal enquanto que em março de 1980 (1981) a chuva esteve abaixo (acima) da normal. Esse resultado contrasta com aquele obtido por Melo (1997) que, estudando a previsibilidade da chuva no semi-árido do Nordeste com base no

comportamento diário da chuva na pré-estação, determinou que os conjuntos de meses da pré-estação que envolviam o mês de janeiro (agosto-janeiro, setembro-janeiro e outubro-janeiro) eram os que apresentavam os melhores valores de correlação (positiva) com a chuva durante os meses de fevereiro a maio. Melo observou também que, se o mês de janeiro fosse retirado do conjunto de meses, essas correlações (positivas) perdiam totalmente a significância estatística, sugerindo assim que as características atmosféricas presentes no mês de janeiro eram o “*input*” para prever o comportamento da chuva nos meses de fevereiro a maio no semi-árido do Nordeste do Brasil (FMAM). Melo (1997) observou também que existiam anos em que seu modelo estatístico de previsibilidade apresentava regime de chuva oposto ao observado, isto é, anos que apresentavam regime de chuva acima da média, enquanto que o modelo estatístico previa um regime de chuva abaixo da média. Mais recentemente Calbete et al. (1998), estudando a precipitação no Nordeste do Brasil no ano de 1998, verificaram que o período de fevereiro a maio foi extremamente seco, enquanto que a chuva em janeiro foi acima da média climatológica do mês, devido a presença de VCAN durante quase todo o mês.

Com base nos resultados expostos acima e conhecendo que é necessária uma maior compreensão do comportamento da atmosfera no mês de janeiro para que se possa identificar mecanismos que auxiliem na associação do comportamento atmosférico nos meses de fevereiro a maio do semi-árido do Nordeste com aquele visto na pré-estação, este trabalho tem como objetivo analisar o período de 1979 a 1990 para:

- i) diagnosticar, para janeiros secos e chuvosos, meses anteriores (OND) e posteriores (FMAM), as configurações das variáveis atmosféricas, entre elas a circulação média de grande escala e as anomalias com respeito a uma média de longo prazo;
- ii) estabelecer uma associação dos resultados obtidos em (i) com a precipitação no semi-árido do Nordeste;
- iii) fazer um estudo detalhado da circulação atmosférica de grande escala atuante em janeiro de 1985 (chuvoso) em conjunto com a análise da evolução temporal e espacial dos campos de precipitação observados pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE.

Uma revisão bibliográfica dos principais sistemas que atuam no Nordeste do Brasil é apresentada no Capítulo 2. A metodologia utilizada neste trabalho, descrita no Capítulo 3,

possibilitou identificar as principais configurações atmosféricas associadas a chuvas extremas e/ou escassez de chuva no semi-árido do Nordeste do Brasil no período de 1979 a 1990.

No Capítulo 4 variáveis meteorológicas e oceanográficas são discutidas numa base diária para o período de 15 a 25 de janeiro de 1985. Janeiro de 1985, dentre os janeiros selecionados neste trabalho, foi o que apresentou maior desvio positivo de precipitação em relação à média climatológica (maior que 25%). Vale salientar que o principal motivo para a escolha desse mês foi a disponibilidade de radiossondagens realizadas em Petrolina e de ecos de radar meteorológico banda-C observados num círculo de 250 km de raio centrado em Petrolina. Essas informações, juntamente com dados de satélite e de reanálises do National Centers for Environmental Prediction e do European Centre for Medium Range and Weather Forecasts (NCEP/ECMWF), foram utilizadas para diagnosticar as condições atmosféricas buscando associá-las com a precipitação observada via pluviômetros na região semi-árida do Nordeste do Brasil.

No Capítulo 5 são discutidos os parâmetros meteorológicos e oceanográficos para os janeiros selecionados, meses anteriores (OND) e posteriores (FMAM). O diagnóstico foi feito para o conjunto dos janeiros secos e chuvosos separadamente, ou seja, para um composto seco (1984, 1987 e 1990) e outro chuvoso (1979, 1980 e 1985). Posteriormente, foram obtidas diferenças entre os dois compostos com o objetivo de detectar dissimilaridades que possam ser utilizadas como indicadores na previsão da qualidade dos meses posteriores (FMAM) do semi-árido do Nordeste do Brasil. Essa possibilidade foi investigada através da associação com a precipitação observada no semi-árido nordestino nos anos selecionados.

Finalmente, o Capítulo 6 contém uma síntese das conclusões encontradas com base nos resultados dos Capítulos 4 e 5, juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A grande variabilidade pluviométrica do Nordeste do Brasil está diretamente relacionada com as condições atmosféricas decorrentes da interação entre fenômenos meteorológicos de escalas temporal e espacial distintas e da interação entre a atmosfera e os Oceanos Pacífico e Atlântico. Portanto, neste capítulo é feita uma revisão de trabalhos que abordam, especificamente, os fenômenos que influenciam o regime de chuvas no Nordeste do Brasil e também de trabalhos realizados com base nos dados do radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE que, até o presente, vale ressaltar, são os únicos dados de radar disponíveis para essa região.

#### **2.1 - Sistemas meteorológicos de grande escala que influenciam o regime pluviométrico do Nordeste do Brasil**

##### ***2.1.1 - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis***

O Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) é um sistema de escala sinótica caracterizado por uma baixa pressão que se forma na alta troposfera, podendo estender-se até a média troposfera dependendo da instabilidade da atmosfera. Este sistema possui uma circulação ciclônica fechada com centro mais frio que sua periferia. Na quase totalidade dos casos, com circulação presente na alta e média troposfera, sua estrutura surge inicialmente na alta troposfera e se estende gradualmente para baixo, tendo o seu centro inclinado verticalmente na direção do ar frio. Na maioria dos casos, os VCANs no Nordeste da América do Sul e áreas oceânicas adjacentes se formam ou se intensificam quando um sistema frontal austral se aproxima. De certa forma, a manutenção e intensidade do VCAN ocorre pela transformação de energia potencial em energia cinética

através da liberação de calor latente na sua periferia, auxiliada pelo escoamento do sistema frontal (Kousky e Gan, 1981).

Os efeitos do VCAN sobre a precipitação do Nordeste do Brasil são bastante evidentes principalmente quando se origina próximo à costa leste da América do Sul. Seu movimento aleatório faz com que haja uma grande variabilidade das áreas afetadas pela precipitação a ele associada como também das áreas afetadas pelos movimentos subsidentes localizados no seu centro. Quando o VCAN adentra o Nordeste do Brasil, parte da região experimenta nebulosidade e chuvas (periferia) e parte tem céu claro decorrente dos movimentos subsidentes existentes no seu centro.

Este sistema meteorológico é bastante estudado pois é um dos principais sistemas causadores de chuva no Nordeste do Brasil, nos meses de dezembro a fevereiro. O primeiro autor a estudar esse tipo de sistema foi Dean (1971) que, através de cartas médias mensais para o ano de 1969 (em cinco níveis, de 850 a 200 hPa), concluiu que o aparecimento de uma baixa fria nos níveis de 300 e 200 mb, nos meses do verão de 1969, estava diretamente relacionado com a circulação geral da atmosfera e que sua formação era favorecida pelo enfraquecimento dos ventos de leste, da alta troposfera, na porção tropical do Atlântico, devido à sua substituição por ventos de oeste oriundos do Hemisfério Norte (HN).

Procurando identificar a estrutura dos sistemas sinóticos que provocam chuvas no Nordeste do Brasil, Aragão (1975), a partir de dados de altitude e de precipitação total para os períodos de 19 a 30 de janeiro, 18 a 29 de abril e 1 a 10 de setembro de 1970, observou que:

- i) nos períodos de 19 a 30 de janeiro e 18 a 29 de abril de 1970 (períodos chuvosos) havia sobre o Norte e Nordeste do Brasil, VCANs que se estendiam da tropopausa até os baixos níveis, como também a presença de movimentos ascendentes em quase todos os níveis da troposfera;
- ii) no período de 1 a 10 de setembro de 1970 (período de estiagem) o anticiclone subtropical do Atlântico Sul dominava a baixa e a média troposfera provocando estiagem no Nordeste devido aos movimentos subsidentes sobre toda a região.

Kousky e Gan (1981), a partir de imagens de satélite meteorológico para o período de 1975 a 1979, observaram que os VCAN se originavam na parte subtropical do Atlântico Sul e Pacífico Sul e na Região Nordeste do Brasil, principalmente nos meses de verão. Os VCAN que influenciaram o Nordeste do Brasil durante o período estudado apresentaram, segundo os autores, as seguintes características:

- i) eram de núcleo frio;
- ii) eram de origem tropical;
- iii) eram quase estacionários, podendo permanecer na região por dias ou semanas;
- iv) eram mais frequentes no mês de janeiro.

Cavalcanti (1986), estudando as características meteorológicas associadas às chuvas intensas ocorridas no período de janeiro a abril de 1985 no Nordeste do Brasil, mostrou em seus resultados que o posicionamento mais a leste do anticiclone da Bolívia, a presença de VCAN sobre o Nordeste do Brasil, o posicionamento mais ao sul da ZCIT e os valores acima da média da TSM na costa leste do Nordeste, contribuíram para a ocorrência dessas chuvas sobre todo o Nordeste.

Estudando a influência da instabilidade barotrópica na geração dos VCAN ocorridos no período de dezembro de 1977 a fevereiro de 1978, Rao e Bonatti (1987) obtiveram valores significativos de troca de energia barotrópica, indicando que em alguns dias houve transformação de energia cinética zonal em energia cinética das perturbações. Por outro lado, analisando os perfis do vento eles encontraram pequenas taxas de crescimento do vento médio zonal, sugerindo que além da instabilidade barotrópica, existiam outros mecanismos geradores dos VCAN.

Através de uma climatologia baseada na análise visual de imagens de satélites meteorológicos para um período de 6 anos (1980 a 1983, 1987 e 1988), Lacava (1995) destacou duas principais configurações de nebulosidade convectiva organizada sobre o Nordeste do Brasil, classificando-as de tipo "S" e tipo "A". Estudando a faixa de nebulosidade tipo "S" (Fig. 2.1), observou que essa é originada por um sistema frontal semi-estacionário sobre o sudeste do Brasil. A faixa de nebulosidade convectiva tipo "S" mostrou maior frequência de ocorrência nos meses de verão e uma orientação norte-sul, com uma expressiva contribuição da precipitação na parte oeste e central do Nordeste.

Lacava notou, em muitos casos, uma interação da faixa de nebulosidade tipo “S” com a ZCIT, principalmente nos meses em que ela se encontra mais ao sul.

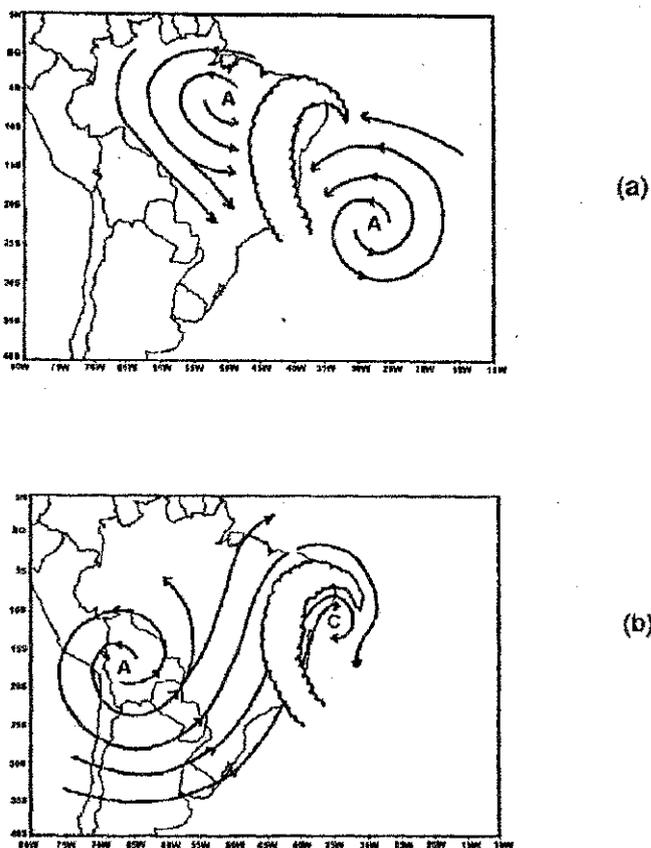


Fig. 2.1 – Esquema da circulação para os casos de nebulosidade tipo “S” em (a) baixos níveis e (b) altos níveis. (Fonte: Lacava, 1995)

A nebulosidade organizada tipo “A”, de orientação noroeste-sudeste, identificada por Lacava (1995) mostrou-se mais freqüente nos meses de outubro e novembro e se caracteriza por zonas de convergência associadas a sistemas frontais austrais e a processos ciclogênicos ocorridos sobre o oceano, a sudeste do Nordeste. Lacava considerou em sua climatologia de 6 anos de imagens de satélite, apenas os casos em que a faixa de nebulosidade influenciou o Nordeste do Brasil. Ele observou que a banda de nebulosidade convectiva sofre deslocamento para nordeste, atingindo principalmente as partes sul, central e oeste do Nordeste do Brasil.

Anjos (1995), estudando um vórtice ciclônico ou baixa fria da alta troposfera no período de 15 a 25 de novembro de 1986, diagnosticou que sistemas frontais austrais

ocorridos naquele período exerceram papel importante na formação do VCAN sobre o Brasil e que esse vórtice causou totais pluviométricos acima da média em vários estados do Nordeste. Segundo Anjos, no período de 15 a 25 de novembro de 1986, a ação conjunta de sistemas de latitudes médias de ambos os hemisférios possibilitou a formação do par anticiclone da Bolívia-cavado do Atlântico Sul, precedendo a formação do VCAN. Além disso, determinou que a presença do VCAN sobre o Nordeste ocorreu primeiro no nível de 500 hPa, sendo detectado três dias depois na alta troposfera. Anjos (1995) assinala ainda que a estrutura do campo do escoamento se assemelha àquela de modos de onda confinados à região equatorial ou, mais especificamente, à onda mista de Rossby-gravidade e à onda de Rossby com deslocamento para oeste.

Araújo (1996) e Silva Aragão et al. (1996a), a partir da análise de imagens do satélite meteorológico METEOSAT para o mês de janeiro de 1985, destacaram que este mês caracterizou-se pela influência de um VCAN sobre o Nordeste do Brasil. Observaram ainda campos de precipitação via radar associados com o VCAN que apresentavam extensas áreas disformes de precipitação predominantemente estratiforme, com topos contínuos em 10 km de altura, aproximadamente. Tais campos de precipitação foram observados exclusivamente na presença do VCAN. Os autores assinalaram ainda que foram registrados 20 dias de chuva em Petrolina e que o vento à superfície nessa localidade apresentou-se bastante variável, contrastando com o comportamento médio observado na região.

Fazendo uma análise climatológica dos VCAN que atuam no Nordeste do Brasil e Atlântico Sul nas estações da primavera, verão e outono no período de 1980 a 1989, Ramirez (1996) detectou que 85% dos 173 VCAN estudados por ela se originaram sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul e que a maior frequência desses vórtices ocorre nos meses de verão (46%), sendo janeiro o mês que apresentou maior frequência. Em relação à extensão vertical, Ramirez notou uma porcentagem quase igual dos vórtices que permanecem em altos níveis (200 e 300 hPa) e dos que se estendem até 500 hPa. Segundo Ramirez, fevereiro é o mês que tem o maior número de VCAN que permanecem em altos níveis, enquanto dezembro é o mês em que predominam VCAN que se estendem até 500 hPa. A autora assinala ainda que existem evidências de que os VCAN podem estar associados com ondas de Rossby (escala planetária) e sistemas frontais (escala sinótica)

sugerindo que a formação e deslocamento dos vórtices poderiam ser produto da dinâmica de múltiplas escalas da circulação atmosférica.

Ramirez et al. (1998), fazendo uma análise diária das variáveis atmosféricas para o período de 1980 a 1989, obtiveram uma climatologia da ocorrência dos VCAN sobre o Nordeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes. Segundo os autores, a ocorrência desse sistema mostrou-se bastante variada interanual e sazonalmente. Na maioria dos casos estudados, os VCAN se originaram sobre áreas oceânicas onde a circulação ciclônica se estendia até o nível de 300 hPa, permanecendo confinados na alta e média troposfera. Ramirez et al. assinalaram ainda que 27% dos VCAN ocorridos no verão de 1980/1989 tinham a sua formação influenciada pela presença de uma circulação anticiclônica na alta troposfera sobre o Oceano Atlântico Sul que, por sua vez, estava associada a sistemas frontais estacionários na ZCAS.

### ***2.1.2 - Sistemas Frontais Austrais***

Os sistemas frontais austrais são originados do encontro de duas massas de ar distintas (polar e tropical) no tocante à temperatura e umidade. Tanto a massa de ar polar como a tropical ao se deslocarem sobre o continente adquirem características distintas daquelas vistas originalmente. À medida que as massas de ar se deslocam, o contraste de temperatura entre elas aumenta ocorrendo o processo de frontogênese ou formação da frente. Esse processo ocorre com frequência nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde sistemas frontais podem se formar e/ou intensificar.

Um sistema frontal está constituído por uma frente quente e uma frente fria associadas a um centro de baixa pressão à superfície. Quando a frente fria se desloca sobre o continente observa-se uma redução da pressão e um aumento da temperatura nas regiões à frente do sistema frontal. Depois da passagem da frente fria a pressão aumenta e a temperatura diminui devido à penetração do ar frio do centro da alta pressão situado na retaguarda da frente fria.

Dentre os vários autores a estudarem as frentes, Kousky (1979) utilizando dados de superfície para um período de 10 anos (1961-70), observou que esses sistemas:

i) podem penetrar durante todo o ano;

- ii) tinham um papel importante na pluviosidade da parte sul do Nordeste durante os meses de dezembro e janeiro;
- iii) estavam associados a um aumento na precipitação ao longo da costa leste do Nordeste durante os meses de outono e inverno;
- iv) causavam uma diminuição da pressão à superfície em latitudes baixas, favorecendo o deslocamento do cavado equatorial mais para sul.

Abreu (1979), avaliando dados pluviométricos da região de Petrolina-PE para o período de outubro de 1967 a setembro de 1972, concluiu que sistemas frontais austrais atingiram a região tropical nos meses de novembro e dezembro de 1967 a 1972, sendo responsáveis pelo início da estação chuvosa na área de Petrolina-PE.

Araújo (1996) e Correia et al. (1996), utilizando dados e mapas de superfície, imagens de satélite, ecos de radar e perfis verticais obtidos de radiossondagens diárias realizadas em Petrolina, detectaram a passagem de um sistema frontal em Caravelas-BA e sua influência sobre Petrolina-PE na primeira quinzena de junho de 1985. Esse sistema foi responsável pela ocorrência de um dos padrões de ecos identificado por Araújo (1996) e Araújo et al. (1994). Esse sistema de origem frontal causou mudanças acentuadas na estrutura termodinâmica da atmosfera como, por exemplo, o enfraquecimento da inversão de subsidência (inversão característica da região de Petrolina) que cedeu lugar a uma inversão do tipo frontal. A influência do sistema de latitudes médias foi confirmada pelos perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento que mostram ventos fracos na baixa troposfera e máximos de intensidade do vento na alta troposfera. Já no campo de vento à superfície os autores notaram que, a partir do dia 4 de junho de 1985, houve uma interrupção dos ventos alísios de sudeste predominantes na região e que a série temporal da pressão média diária para este mês mostra um mínimo no mesmo dia.

Outro processo de formação de frentes foi discutido por Satyamurti et al. (1998), citando que os sistemas frontais austrais estão entre as mais importantes perturbações transientes responsáveis pelas chuvas no Sul, Sudeste e sul do Nordeste do Brasil. Segundo os autores, os ciclones de latitudes médias cruzam o Oceano Pacífico, os Andes e a Argentina na direção leste-sudeste enquanto que, o centro da baixa pressão associado ao mesmo, se desloca para Nordeste. Satyamurti et al. assinalam ainda que as passagens dos

sistemas frontais sobre a Argentina, Bolívia, Peru e Brasil causam atividades convectivas nessas regiões.

### *2.1.3. - Zona de Convergência do Atlântico Sul*

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se caracteriza pela presença de uma banda de nebulosidade que se estende desde a Amazônia até a região oceânica adjacente ao Sudeste do Brasil. A ZCAS é um dos principais sistemas responsáveis pela estação chuvosa do Sudeste porque, devido às suas características físicas, freqüentemente mantém-se atuante durante vários dias. Ela é um sistema típico de verão e atua principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do País. Porém, algumas vezes percebe-se a atuação da ZCAS no sul da Bahia ou no Estado do Paraná.

A ZCAS está associada a outros fenômenos entre os quais estão os sistemas frontais austrais e a esteira transportadora oriunda da Região Amazônica que ocasionam, respectivamente, maior confluência dos ventos e transporte de umidade na área da ZCAS. A situação estacionária da ZCAS ocasiona modificação no regime de chuvas do Nordeste do Brasil, principalmente nos estados de Sergipe e Bahia.

Vários autores estudaram esse sistema entre os quais estão Sakamoto (1993) e Quadro (1994). Sakamoto e Quadro assinalam que a ZCAS consiste em uma banda de nebulosidade, com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até a porção subtropical do Atlântico Sul e cuja presença ocorre principalmente nos meses de verão. Estudando os meses de verão de 1980 a 1989, Quadro selecionou e analisou 28 episódios da ZCAS, concluindo que sua presença estava associada com o aparecimento simultâneo dos seguintes padrões meteorológicos durante um período mínimo de 4 dias:

- i) convergência de umidade na baixa e média troposfera;
- ii) faixa de movimentos ascendentes do ar com orientação noroeste-sudeste;
- iii) presença de um cavado semi-estacionário em 500 hPa sobre a América do Sul (a leste da Cordilheira dos Andes);
- iv) campos de temperatura potencial equivalente ( $\theta_e$ ) apresentando fortes gradientes na média troposfera, ao sul da banda de nebulosidade da ZCAS ;
- v) faixa de vortacidade relativa anticiclônica nos altos níveis (200 hPa).

Sakamoto (1993) observa que a presença da ZCAS nem sempre implica na existência concomitante da Alta da Bolívia e de VCAN sobre o Nordeste do Brasil. Essa afirmativa está em concordância com Quadro (1994), que assinala a presença de VCAN sobre o Nordeste e região oceânica adjacente em apenas alguns dos casos selecionados.

Através de dados e mapas de superfície para o mês de janeiro de 1985, Silva Aragão et al. (1996a) chamam a atenção para a constância de ventos de nordeste em Caravelas-BA (17°44'S, 39°15'W). Segundo os autores, "*este fato indica o domínio da Alta Subtropical do Atlântico Sul sugerindo uma situação de bloqueio dos sistemas frontais favorecendo assim a intensificação da banda de nebulosidade convectiva associada a ZCAS*".

#### **2.1.4 – Zona de Convergência Intertropical**

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se caracteriza pela presença de áreas de nebulosidade convectiva. Ela é resultante da interação entre a zona de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste, o cavado equatorial e a zona de máxima temperatura da superfície do mar. Esses sistemas não se apresentam sobrepostos numa mesma latitude, mas sim próximos uns dos outros, aumentando a instabilidade na faixa de nebulosidade associada a ZCIT.

A ZCIT é a principal responsável pela precipitação no setor norte do Nordeste do Brasil. Climatologicamente, ela atua no período de março a maio, mas pode também contribuir para a precipitação desta região nos meses de janeiro e fevereiro. É válido mencionar que, quanto maior o período de atuação da ZCIT sobre o Nordeste do Brasil, melhor é a qualidade da estação chuvosa do setor norte do Nordeste.

A atuação da ZCIT na escala sazonal foi estudada por vários autores, como é o caso de Namias (1972), Hastenrath e Heller (1977) e Uvo (1989). Segundo Namias (1972) e Hastenrath e Heller (1977), o deslocamento mais para sul ou para norte do eixo da ZCIT, em relação à média climatológica, é o principal fator para determinar e definir anos secos ou chuvosos no Nordeste. Os resultados obtidos por esses autores indicaram que a ZCIT tende a se localizar fora da zona dos ventos alísios mais fortes. Desta forma, se os ventos alísios de nordeste (sudeste) forem muito intensos a ZCIT tende a se localizar em regiões mais ao sul (norte) daquela vista na climatologia.

Estudando a qualidade da estação chuvosa do Nordeste, Uvo (1989) mostrou que a ZCIT no ano de 1985 conseguiu atingir a posição latitudinal de 6°S, causando um índice pluviométrico acima da média climatológica em todo o Nordeste. Uvo observou também que a posição mais ao sul e o tempo de permanência do eixo da ZCIT nessa posição influenciava diretamente na qualidade da estação chuvosa do norte do Nordeste.

Araújo (1996), analisando os sistemas atmosféricos que influenciaram a área de cobertura do radar de Petrolina no período de janeiro a junho de 1985, verificou que a ZCIT atuou junto com os VCAN em alguns dias de janeiro e fevereiro, influenciando na precipitação da pré-estação chuvosa, e que nos meses de março, abril e primeira quinzena de maio a ZCIT influenciou decisivamente na qualidade das chuvas, tendo seu pico máximo de intensidade em abril, mês em que o total pluviométrico de Petrolina foi 225% acima da normal.

### *2.1.5 – Distúrbios Ondulatórios de Leste*

Este tipo de distúrbio ondulatório influencia diretamente na precipitação do Nordeste sendo caracterizado por aglomerados de nuvens com deslocamento de leste para oeste que atingem o litoral leste do Nordeste do Brasil provocando chuvas sobre toda a região costeira e parte do agreste do Nordeste. Os aglomerados de nuvens são formados por nuvens baixas estratiformes e por nuvens convectivas profundas, justapostas por nuvens cirrus, que são responsáveis por chuvas moderadas e intensas.

Um dos principais trabalhos sobre os distúrbios de leste é o de Yamazaki e Rao (1977) que, utilizando diagramas longitude-tempo feitos a partir de imagens de satélite, verificaram que bandas de nebulosidade associadas a este sistema propagavam-se da África, sobre o Oceano Atlântico, em direção à costa brasileira na faixa latitudinal de 5°S a 15°S e que estas bandas eram vistas principalmente nos meses de inverno do Hemisfério Sul (HS). Os autores mencionaram ainda que, em muitos casos, estes distúrbios oriundos da África conseguiam penetrar um pouco continente adentro, auxiliados pela circulação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Concordando com os resultados de Yamazaki e Rao, Chan (1990) e Silvestre (1996) observaram sobre o Oceano Atlântico Sul, distúrbios ondulatórios de distintos

comprimentos de onda que se deslocavam para oeste conseguindo atingir o continente e influenciando o regime de chuva, principalmente nos meses de inverno e outono. Silvestre (1996), estudando os distúrbios ocorridos durante um período de 10 anos, observou que o comprimento de onda no verão é de 6000 a 7000 km e a velocidade de fase de 10 a 14 m/s, no outono o comprimento de onda é de 5000 a 6000 km e a velocidade de fase de 10 a 13 m/s, e no inverno os comprimentos de ondas são mais curtos, variando de 3500 a 4000 km com velocidade de fase de 10 m/s. Chan (1990) observou, para o período de dezembro de 1978 a novembro de 1979, que nos trimestres MAM e JJA as ondas apresentaram maiores amplitudes e propagação de fase de forma mais organizada. Entretanto, nesses dois trimestres as características das ondas foram distintas, isto é, em JJA o comprimento de onda ficou em torno de 6200 km e a velocidade de fase em 12 m/s, enquanto que em MAM o comprimento de onda foi de 4800 km e a velocidade de fase de 11 m/s.

Mota e Gandu (1998), com base em dados do NMC (Nacional Meteorological Center) e dados de precipitação observada no período de junho a agosto de 1994, observaram a presença de distúrbios ondulatórios com características próximas daquelas encontradas por Yamazaki e Rao (1977), que estavam relacionados com as chuvas e a nebulosidade sobre as faixas leste e norte do Nordeste do Brasil. Os autores assinalaram ainda que esses distúrbios não eram tão intensos quanto aqueles vistos em outras regiões tropicais do globo e que essa diferença poderia ser *“em parte, devida às diferenças nos campos básicos em que os distúrbios estão embebidos”*.

#### **2.1.6 - Oscilação de 30-60 dias**

A Oscilação de 30-60 dias se caracteriza pelo deslocamento para leste de uma célula zonal de número de onda 1, termicamente direta, que causa variações na convecção da região tropical. Esse sistema de grande escala está relacionado com as variações na posição e intensidade da ZCAS que, por sua vez, interfere na precipitação do setor sul do Nordeste do Brasil. Porém, todo o Nordeste é afetado por esse fenômeno, pois quando a crista da onda se localiza próxima ao Nordeste inibe a atuação de sistemas meteorológicos associados à ocorrência de chuva na região. Da mesma forma, quando o cavado da onda se encontra sobre o Nordeste esses sistemas são intensificados, favorecendo a precipitação na região.

A oscilação de 30-60 dias foi primeiro detectada por Madden e Julian (1972) que a descreveram como sendo uma onda de número 1, ou seja, uma onda constituída por um cavado e uma crista, que se desloca para leste ao longo da faixa latitudinal de 20°S e 20°N com velocidade de fase de 10 ms<sup>-1</sup>.

Kousky (1985), com base em seções longitude-tempo de anomalias de ROL e da componente zonal do vento em 850 e 200 hPa na região tropical, detectou a atuação da oscilação de 30-60 dias no período de dezembro de 1984 a fevereiro de 1985 e a existência de uma correlação positiva entre a oscilação de 30-60 dias na região tropical e a ocorrência do fenômeno ENOS.

A partir de dados do modelo numérico do NCEP (antigo NMC) e de radiação de onda longa (ROL) para o período de 1979 a 1984, Knutson e Weickmann (1987) observaram ondas na circulação tropical, em grande escala, que se propagavam para leste ao redor do globo durante os meses de novembro a abril e de maio a outubro. Importantes aspectos observacionais associados com a oscilação de 30-60 dias foram detectados por Knutson e Weickmann, entre os quais estão:

- i) ser caracterizada por anomalias de escala planetária nos campos de vento e da convecção nos trópicos, incluindo modulações das atividades de monção do verão do HN e do HS;
- ii) ter uma periodicidade que varia entre 30 e 60 dias;
- iii) não apresentar variação sazonal sistemática em amplitude e periodicidade, mas mostrar sazonalidade nas regiões de máxima variabilidade de ROL e na resposta extratropical;
- iv) apresentar anomalias no campo do vento (nos trópicos) fora de fase na baixa e alta troposfera.

Kayano et al. (1990), com base em anomalias de ROL e médias pentadais de ROL e de vento em 250 hPa, detectaram que a oscilação de 30-60 dias esteve intensa nos meses do verão de 1989/1990. Os autores observaram que o primeiro pulso organizado de convecção associado à oscilação de 30-60 dias ocorreu em meados de outubro-novembro de 1989, e que durante esse episódio houve intensificação da convecção sobre o leste da Região Sudeste e o Nordeste do Brasil. A segunda organização da convecção sobre a América do Sul ocorreu em dezembro de 1989 ocasionando aumento de convecção em todo o Nordeste e leste da Amazônia, especialmente no final do mês.

Kayano e Satyamurti (1991), com base em séries de precipitação diária de 15 estações pluviométricas, verificaram que durante o verão e outono austrais do período de 1974/75 a 1988/89 a oscilação de 30-60 dias influenciou de forma evidente a precipitação do sul do Ceará. Os autores concluíram que no período estudado os sinais da oscilação de 30-60 dias na precipitação do Cariri (Ceará) eram aparentemente mais fortes em anos de El Niño, sugerindo que a oscilação poderia ser um fator determinante na distribuição de chuva no Ceará nesses anos.

Kousky e Kayano (1994) utilizaram médias de 5 dias das componentes zonal e meridional do vento em 250 hPa obtidas das análises do NMC (atual NCEP) e médias de 5 dias de ROL para estudar as variações interanual e intra-sazonal na circulação atmosférica sobre a América do Sul, no período compreendido entre janeiro de 1979 e dezembro de 1991. Os resultados encontrados na escala intra-sazonal mostraram que o primeiro modo é mais importante nos trópicos, sendo mais ativo no verão do HS. As amplitudes positivas (negativas) observadas no campo de vento corresponderam ao domínio de escoamento de oeste (de leste) diferente daquelas amplitudes vistas na alta troposfera em toda a região tropical. As anomalias positivas (negativas) de ROL observadas sobre o nordeste da América do Sul e leste do Pacífico Equatorial correspondem a áreas com menos (mais) nebulosidade. A evolução das oscilações intra-sazonais na região da América do Sul apresentou uma seqüência de configurações na qual ventos de oeste anômalos na região equatorial e anomalias positivas de ROL enfraquecem e mudam de sinal gradualmente.

## **2.2 - Fenômenos climáticos que favorecem e/ou inibem a precipitação no Nordeste do Brasil**

### ***2.2.1 - Dipolo do Atlântico***

Hastenrath e Heller (1977), estudando as relações entre as secas do Nordeste do Brasil e as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical no período de 1911 a 1972, observaram que em anos considerados chuvosos no Nordeste, as águas superficiais do Oceano Atlântico Norte se encontravam anormalmente frias (desvio negativo), enquanto que as águas no Atlântico Sul se encontravam anormalmente quentes (desvio positivo). Já em anos considerados secos ocorria o inverso, ou seja, as águas

superficiais do Atlântico Norte se encontravam anormalmente quentes e as águas superficiais do Atlântico Sul anormalmente frias.

Correlacionando valores de anomalias de TSM no Atlântico Tropical no mês de março com anomalias de chuva de Quixeramobim e Fortaleza, no Ceará, Moura e Shukla (1981) encontraram uma configuração de dipolo no campo de correlação com núcleo positivo (negativo) no Atlântico Tropical Sul (Norte). Os autores enfatizaram ainda que a ocorrência simultânea de anomalias quentes da TSM no Atlântico Norte e anomalias frias da TSM no Atlântico Sul reforçam as secas severas sobre o Nordeste do Brasil. A configuração encontrada por Moura e Shukla é chamada de Dipolo do Atlântico. Ele é negativo (positivo) quando as anomalias de TSM são negativas (positivas) no Atlântico Sul e positivas (negativas) no Atlântico Norte, causando chuvas abaixo da normal (acima da normal).

Aragão et al. (1994) e Harzallah et al. (1996), estudando os períodos 1970-1976 e 1980-1986 e os anos de 1979 e 1988, encontraram uma relação quase linear entre as anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil e o campo global de anomalias de TSM. Segundo os autores, quando o Pacífico Central e Leste se encontra com TSM mais quentes e o dipolo do Atlântico negativo, se observa um déficit na precipitação do Nordeste. Analogamente, quando a TSM do Pacífico Central e Leste se encontra mais fria e o dipolo do Atlântico positivo, a precipitação no Nordeste é superior à média climatológica.

### ***2.2.2 – El Niño-Oscilação do Sul (ENOS)***

O aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Leste que caracteriza o fenômeno El Niño está diretamente relacionado com a fase negativa da Oscilação do Sul, fenômeno detectado no campo da pressão ao nível médio do mar na área do Pacífico Sul. Essa situação constitui o episódio quente do ENOS, que influencia negativamente a precipitação no norte do Nordeste do Brasil devido a movimentos subsidentes anômalos que impedem a atuação da ZCIT sobre esta região. Por outro lado, o setor central e sul do Nordeste também é afetado pelo episódio quente do ENOS, pois este enfraquece a Alta dos Açores e intensifica o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), prejudicando a qualidade da estação chuvosa nessas áreas. Por outro lado, no episódio frio do ENOS, caracterizado pelo resfriamento anômalo das águas

superficiais do Oceano Pacífico Equatorial e fase positiva da Oscilação do Sul, ocorre o oposto ou seja, esse episódio tende a melhorar a qualidade da estação chuvosa do Nordeste. O episódio frio do ENOS também é denominado La Niña na literatura (Philander, 1990)

Segundo Kousky e Cavalcanti (1984), quando se observa o ENOS, o globo como um todo sofre seus efeitos, isto é, secas na Amazônia, Nordeste do Brasil, Indonésia, Índia e Sudeste da África e enchentes no Sul e Sudeste do Brasil, Peru, Chile e norte da Argentina. Eles assinalam ainda que este evento climático está relacionado com grandes variações na configuração do escoamento troposférico em ambos os hemisférios, como a intensificação dos jatos subtropicais da alta troposfera e fortes variações no regime dos ventos alísios no Pacífico Leste em baixos níveis.

Rao et al. (1986) e Molion (1989), estudando as conseqüências do fenômeno ENOS nos anos de 1982-83, encontraram uma redução nos totais pluviométricos da Amazônia e do Nordeste do Brasil. Molion (1989) observou que em 1982-83 a redução nos totais pluviométricos da Amazônia nos meses de janeiro e fevereiro chegou a 70%, enquanto que no Nordeste do Brasil esta redução foi acima de 80% em toda a estação chuvosa da região. Rao et al. (1986) notaram que a chuva esteve 40% abaixo da média na região do semi-árido do Nordeste do Brasil na estação chuvosa de 1983 e que a circulação de Walker (leste-oeste) foi mais importante do que a circulação meridional (norte-sul) forçada pela TSM do Atlântico.

Cavalcanti (1996), com base em anomalias de TSM e ROL no Oceano Pacífico de 1985 a 1996, obteve uma climatologia dos episódios ENOS para esse período. Observou que a influência do episódio de 86/87 sobre o Nordeste do Brasil começou em abril, causando uma grande diminuição das chuvas no semi-árido. A autora notou que durante o El Niño estendido de 91-94 houve dois picos de máxima anomalia positiva da TSM, o primeiro em 91/92 e o segundo no final de 1994. Em 1990 e início de 1991, as anomalias positivas da TSM foram fracas e ocorreram apenas na parte central do Oceano Pacífico. Em 1988/89, foram observadas anomalias negativas de TSM o que caracterizou um episódio de La Niña.

Brabo et al. (1997a), utilizando totais mensais de 39 postos pluviométricos para estudar a variabilidade pluviométrica no setor leste do Nordeste do Brasil nos meses de

abril a julho, encontraram que houve predomínio de chuvas abaixo da média na primeira metade deste século e que de 1950 até 1990 as chuvas ficaram acima da média climatológica na maioria dos anos. É válido ressaltar que os episódios ENOS selecionados pelos autores ocorreram dentro do período compreendido entre 1912 e 1985.

Estudando as características da precipitação sobre o Brasil no verão e outono de 1998, através de dados de chuva e de normais climatológicas de chuva obtidos do INMET, anomalias de ROL e TSM e de campos das análises da média mensal de umidade do modelo do CPTEC, Calbete et al. (1998) detectaram que os efeitos do fenômeno El Niño/98 foram típicos sobre todo o País e semelhantes àqueles vistos no El Niño/83, ou seja, as precipitações estiveram acima da média climatológica na Região Sul e abaixo da média na Região Nordeste. Calbete et al. observaram ainda anomalias positivas de chuva no litoral norte da Região Nordeste no mês de janeiro de 1998 o que contrasta com as anomalias negativas dos meses de março, abril e maio de 1998.

Brabo et al. (1997b), utilizando totais mensais de precipitação de 66 estações (período variável entre 1950 e 1989) distribuídas no setor norte do Nordeste do Brasil, obtiveram para a estação chuvosa (FMAM) as distribuições intra-sazonal e sazonal para anos de La Niña (fraca, moderada e forte), como também para a série climatológica de 1950 a 1989. Segundo os autores, climatologicamente, no primeiro bimestre os maiores totais pluviométricos se concentram no noroeste do Piauí (valores acima de 500 mm), sudeste do Ceará, sudoeste do Rio Grande do Norte e extremo oeste da Paraíba (valores acima de 400 mm), enquanto que no segundo bimestre observa-se uma redução nos valores das chuvas, ou seja, essas áreas apresentam totais pluviométricos menores do que aqueles vistos no primeiro bimestre. Analisando os desvios médios absolutos de precipitação para os dois bimestres em anos de La Niña, Brabo et al. concluíram que a chuva no setor norte do Nordeste do Brasil ficou em torno ou acima da média e que os maiores totais pluviométricos ocorreram nas áreas próximas ao litoral norte. No caso da distribuição sazonal, o campo dos desvios manteve a configuração vista nos mapas bimestrais, com valores em torno ou acima da climatologia. Os maiores desvios (valores acima de 300 mm) ocorreram no extremo norte do Nordeste do Brasil (litoral do Ceará, noroeste do Piauí e centro-norte do Rio Grande do Norte).

### 2.3 - Estudos dos ecos do radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE

Além dos trabalhos já citados de Araújo (1996), Silva Aragão et al. (1996a) e Correia et al. (1996), vários outros trabalhos foram feitos com base nos dados do radar meteorológico de Petrolina-PE.

O primeiro trabalho realizado com base nesses dados foi o de Massambani e Correia (1988) que, utilizando os dados de radar juntamente com dados de radiossondagens realizadas em Petrolina, puderam constatar a existência de uma relação direta entre a energia máxima da parcela à superfície ( $E_{max}$ ) e o número de células com áreas inferiores a  $300 \text{ km}^2$ . Determinaram também, que a precipitação ocorrida na área de cobertura do radar foi devida a sistemas frontais austrais que penetraram na região e a sistemas isolados ou aglomerados que se estendiam até próximo da tropopausa.

Correia (1989), estudando os registros de ecos centrados nos horários das 12:00, 14:00 e 16:00 HL, determinou que aproximadamente 90% dos ecos apresentavam áreas menores que  $300 \text{ km}^2$ . Ela observou também que, apesar de seu pequeno percentual (8%), os ecos com área maior que  $300 \text{ km}^2$  contribuíram de forma significativa na atividade convectiva total.

Analisando o primeiro semestre de 1985, Araújo et al. (1996) detectaram, a partir de análises de correlação entre  $E_{max}$  (energia máxima da parcela à superfície) e o número de ecos convectivos, que as condições termodinâmicas à superfície eram importantes na formação das células convectivas com área igual ou menor que  $400 \text{ km}^2$ . Correlação significativa entre  $E_{max}$  e a precipitação observada via pluviômetro foi encontrada apenas para o mês de abril. Outros resultados também indicam que forçantes de escala sinótica parecem ter sido essenciais para a liberação da instabilidade latente e a produção de células de precipitação com área maior que  $400 \text{ km}^2$ .

Correia e Massambani (1990a), submetendo as dimensões horizontais e verticais dos ecos a uma análise estatística, obtiveram como resultado que os ecos se formavam e cresciam proporcionalmente segundo uma distribuição log-normal. Estudando as dimensões horizontais de 3.581 ecos centrados nos horários das 12:00, 14:00 e 16:00 HL, Correia e Massambani (1990b) determinaram que nos meses de janeiro, fevereiro e março predominaram os ecos com áreas entre  $100$  e  $300 \text{ km}^2$ , enquanto que nos meses de abril,

maio e junho as dimensões eram menores ou iguais a 100 km<sup>2</sup>. Os autores encontraram ainda que nos meses de janeiro, março e abril a maior contribuição para os totais pluviométricos foi dada pelos ecos com área igual ou maior que 300 km<sup>2</sup>.

Vitorino et al. (1991), considerando os ecos com área igual ou menor que 400 km<sup>2</sup> num total de 11 dias dos meses de março e abril de 1985, detectaram que as condições termodinâmicas à superfície estavam diretamente relacionadas com os sistemas de precipitação e que era necessária alguma forçante que produzisse a liberação da instabilidade latente dando início ao processo de convecção. Os resultados encontrados indicaram que 82% da precipitação ocorrida no quadrante sudeste da área de cobertura do radar esteve relacionada com as condições termodinâmicas locais sendo, porém, o relevo a causa principal para a formação das células de precipitação. No caso da chuva ocorrida no quadrante nordeste da área de cobertura do radar, totalmente ocupado por um vale, a circulação de grande escala assumiu o papel mais importante na formação das células de precipitação.

Araújo et al. (1992), a partir de radiossondagens realizadas nos meses de março e abril de 1985 em Petrolina, obtiveram perfis verticais diários das temperaturas potencial ( $\theta$ ), potencial equivalente ( $\theta_e$ ) e potencial equivalente de saturação ( $\theta_{es}$ ) verificando sua ligação com o desenvolvimento de células convectivas intensas. Eles determinaram que as condições termodinâmicas eram favoráveis à formação de células convectivas profundas na maior parte dos dias analisados e que a energia da parcela à superfície era um bom indicador da formação de células de precipitação com área igual ou menor que 100 km<sup>2</sup>.

Araújo et al. (1994) classificaram os ecos observados em Petrolina, no primeiro semestre de 1985, em tipos e padrões e determinaram sua frequência de ocorrência para cada mês e quadrante de um círculo de 250 km de raio centrado na sede do radar (Fig. 1.1). A classificação por tipos resultou em 98,8% de ecos convectivos, 0,2% de ecos estratiformes e 1,0% de ecos estratoconvectivos, evidenciando assim a total dominância dos ecos convectivos nos primeiros meses do ano de 1985 (janeiro foi o único mês a apresentar uma frequência relativamente alta de ecos estratiformes). Foram identificados cinco padrões distintos: ecos isolados, zonas de ecos, linhas de ecos, faixas de ecos e bandas de ecos. Os ecos isolados dominaram a distribuição, sendo que todos os padrões tiveram maior frequência de ocorrência no quadrante sudeste e nos meses de março e abril,

com exceção das bandas de ecos que foram mais freqüentes em junho. Os autores assinalam que a explicação para a maior incidência de ecos no quadrante sudeste pode estar, dentre outros fatores, na disponibilidade de umidade trazida pelos alísios de sudeste e na penetração e/ou formação "*in situ*" de sistemas atmosféricos organizados.

Vale ressaltar que esse trabalho apresenta uma análise baseada principalmente nos campos das variáveis atmosféricas em grande escala da ocorrência de chuvas anômalas em janeiro de 1985, e o comportamento atmosférico nos meses de outubro a maio de anos com janeiros chuvosos e secos. Portanto, não foi discutido nesse capítulo trabalhos que abordassem a precipitação observada no Nordeste do Brasil sem nenhuma associação com a grande escala. Porém, essa discussão será levada em conta em trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 – Materiais**

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados de reanálises em pontos de grade (2,5 x 2,5 graus) do NCEP para o período de 1979 a 1990, das variáveis:

- i) componentes zonal e meridional do vento e movimento vertical nos níveis de 200 e 850 hPa;
- ii) umidade específica no nível de 700 hPa.

Com os dados das componentes zonal e meridional do vento, foram calculadas divergência e vorticidade em 200 hPa e 850 hPa.

Ainda com relação ao estudo feito para o período de 1979 a 1990, foram utilizados anomalias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM), obtidos do conjunto de dados de Reynolds (1950 a 1997) e dados de precipitação total mensal da rede pluviométrica do Nordeste para o período de 1911 a 1990, cedidos pela SUDENE ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Com base nos dados de precipitação total mensal foi possível obter uma média histórica que permitiu o cálculo do desvio normalizado médio para a região semi-árida de cada estado do Nordeste do Brasil no período de 1979 a 1990.

No estudo de caso para o período de 15 a 25 de janeiro de 1985, foram utilizados totais diários de chuva para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, além dos seguintes dados:

#### **a) NCEP**

- i) componentes zonal e meridional do vento nos níveis de 200 e 850 hPa;
- ii) movimento vertical integrado na vertical;

iii) anomalias semanais da temperatura da superfície do mar.

**b) ECMWF**

- i) precipitação convectiva;
- ii) umidade do solo na profundidade de 1 m.

**c) IAE-CTA**

- i) campos de precipitação obtidos via radar meteorológico banda-C operado em Petrolina;
- ii) radiossondagens realizadas às 12:00 TMG na sede do radar (exceto para os dias 15, 16 e 20 de janeiro).

Finalmente, utilizou-se imagens do satélite METEOSAT para as 11:55 TMG nas bandas espectrais do visível, infravermelho térmico e vapor d'água.

### **3.2 - Métodos**

#### ***3.2.1 - Seleção dos períodos de estudo***

A seleção dos janeiros secos e chuvosos foi feita com base em desvios mensais de precipitação normalizados com respeito à média climatológica obtida a partir da série pluviométrica de 80 anos (1911 a 1990) disponível para cada posto. Inicialmente, foram calculados desvios para todos os postos pluviométricos de cada estado do Nordeste do Brasil, usando a seguinte equação:

$$Dp = \left( \frac{Pp - Pm}{Pm} \right) \times 100$$

onde:

Dp é o desvio para cada posto;

Pp é a precipitação observada no posto;

Pm é a precipitação média climatológica.

Em seguida, foi obtido o desvio médio para cada estado do Nordeste dividindo-se a soma de todos os desvios pelo número de postos utilizados.

$$D_m = \left( \frac{\sum D_p}{N_p} \right)$$

onde:

$D_m$  é o desvio médio para cada estado;

$D_p$  é o desvio para cada posto;

$N_p$  é o número de postos.

O critério utilizado na seleção dos anos extremos foi o de que o desvio médio normalizado para cada estado fosse maior do que 25% para janeiros chuvosos e menor do que -25% para janeiros secos.

A análise conjunta das séries temporais dos desvios para o período de 1979 a 1990 evidenciou que apenas janeiro de 1990 satisfaz o critério em todos os estados analisados, sendo classificado como janeiro seco. Por outro lado, notou-se a existência de anos em que janeiro classificou-se como chuvoso em alguns estados e seco em outros. Tal resultado não chega a surpreender, tendo em vista a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação no Nordeste do Brasil que pode ser responsável, por exemplo, pela presença de áreas com desvios positivos e negativos em um mesmo estado.

Porém, na análise desses resultados também deve ser considerada a distribuição espacial não homogênea e a variação temporal no número de postos pluviométricos de cada estado. Tendo em vista o foco de interesse deste trabalho, o mesmo procedimento de cálculo foi aplicado considerando apenas os postos da zona semi-árida de cada estado.

Vale salientar que utilizar os desvios normalizados para a zona semi-árida, sem levar em conta as regiões homogêneas de precipitação, não altera o resultado da seleção dos janeiros extremos, já que este trabalho objetiva estudar o semi-árido do Nordeste como um todo. Por outro lado, os resultados obtidos mostraram que o comportamento da chuva não foi semelhante em toda essa área.

As tabelas do Apêndice A contêm, para cada estado, tanto o desvio médio normalizado para o total dos postos quanto o desvio para o conjunto dos postos da zona semi-árida, juntamente com o respectivo número de postos utilizados. Essas tabelas evidenciam que há uma grande variação no número de postos de ano para ano, mas esse

fato não chega a influenciar de forma significativa na seleção dos janeiros, já que ela se baseia em médias espaciais dos desvios. A região estudada e os resultados encontrados estão ilustrados nas Figuras 3.1 e 3.2, respectivamente.

A análise da Figura 3.2 evidenciou que o único ano com janeiro chuvoso (seco) que satisfaz o critério adotado para a zona semi-árida de todos os estados é 1985 (1990). Portanto, como só houve um ano para cada caso de janeiro chuvoso e seco, e visando obter uma maior representatividade para este estudo, achou-se necessária a inclusão de outros anos. A escolha desses anos adicionais obedeceu ao mesmo critério adotado anteriormente. Por outro lado, naqueles estados em que o critério não fosse obedecido, os desvios deveriam ser de mesmo sinal ou quase nulos, quando de sinal oposto. Obedecendo esse critério, foram classificados como chuvosos os janeiros de 1979 e 1980 e como secos os de 1984 e 1987.

Percebe-se ainda com base na Figura 3.2, a existência de um comportamento diferente entre os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba em comparação com os estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, o que indica que esses dois setores tem regimes pluviométricos (intensidade e distribuição) diferentes devido ao comportamento diferenciado dos sistemas meteorológicos atuantes na região.

As Figuras 3.3 e 3.4 ilustram a distribuição espacial dos desvios de precipitação normalizados para os janeiros selecionados como chuvosos (1979, 1980 e 1985) e secos (1984, 1987 e 1990), respectivamente. Observa-se também nestas figuras as diferenças de regime pluviométrico já apresentadas na discussão da Figura 3.2.

Após a seleção dos janeiros secos e chuvosos foram obtidos os desvios normalizados da precipitação para o composto chuvoso (1979, 1980 e 1985) e para o composto seco (1984, 1987 e 1990) a partir da seguinte equação:

$$Dc = \left( \frac{P_{mt} - P_m}{P_m} \right) \times 100$$

onde:

Dc é o desvio para cada composto;

P<sub>mt</sub> é a precipitação média observada nos três anos extremos;

$P_m$  é a precipitação média climatológica.

A precipitação média observada nos três anos, foi obtida utilizando a seguinte equação:

$$P_{mt} = \left( \frac{\sum P_o}{N_p} \right)$$

onde:

$P_o$  é a precipitação observada nos anos de 1979, 1980 e 1985 (chuvosos) e 1984, 1987 e 1990;

$N_p$  é o número de postos.

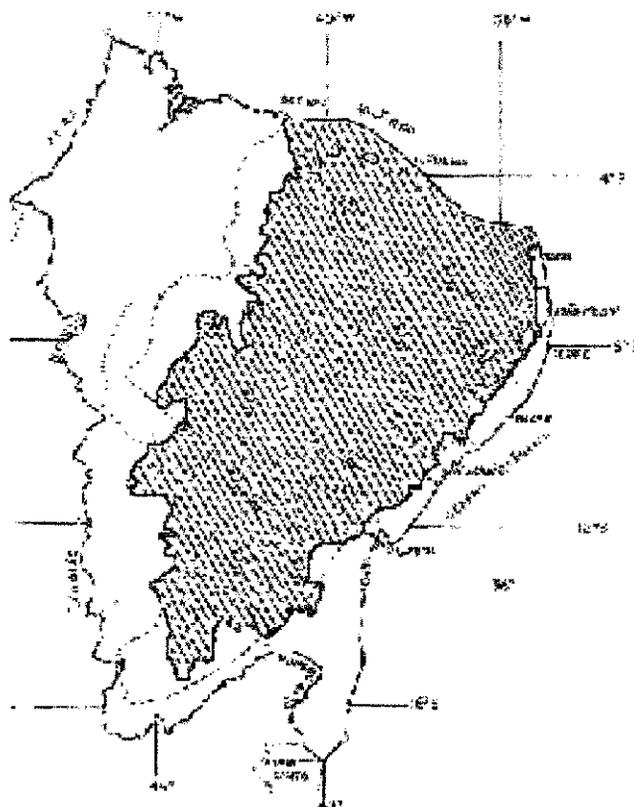


Fig. 3.1 - Delimitação da região semi-árida do Nordeste do Brasil de acordo com a Funceme (1993). A área hachurada corresponde à região semi-árida estudada neste trabalho, cujo índice pluviométrico anual está entre 300 e 1000 mm. <sup>1</sup>O Polígono das Secas está inserido na área hachurada. (Fonte: Melo, 1997)

<sup>1</sup> O Polígono da Seca é definido como a região que apresenta um total anual pluviométrico abaixo de 600 mm.

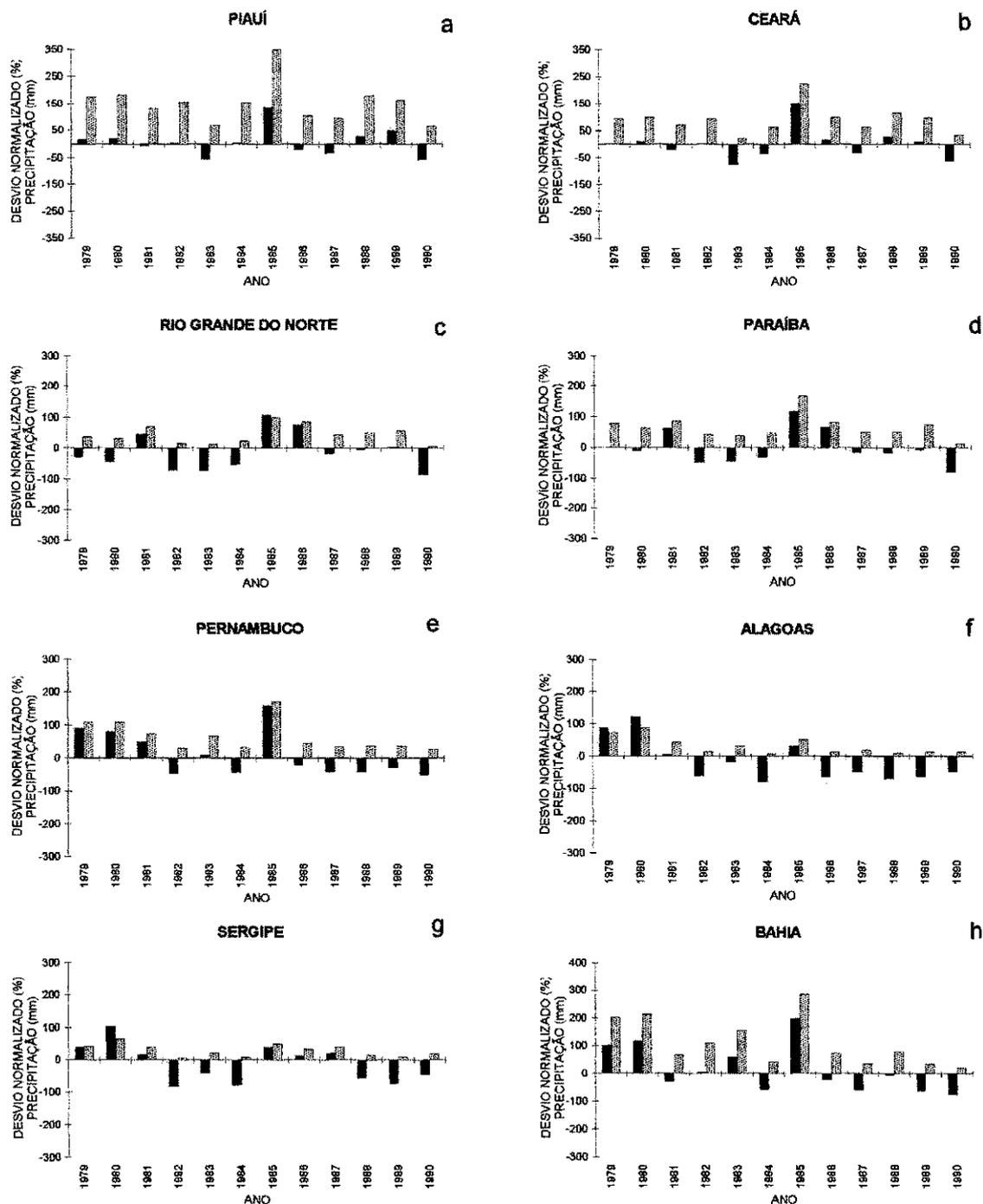


Fig. 3.2 - Série temporal da região semi-árida, para o mês de janeiro, do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (preto) e a precipitação observada do mês (sombreada) para os estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. Os desvios (em porcentagem) são valores médios para a região semi-árida de cada estado obtidos dividindo-se a soma de todos os desvios pelo número de postos pluviométricos utilizados. (Fonte dos dados: SUDENE/DCA)

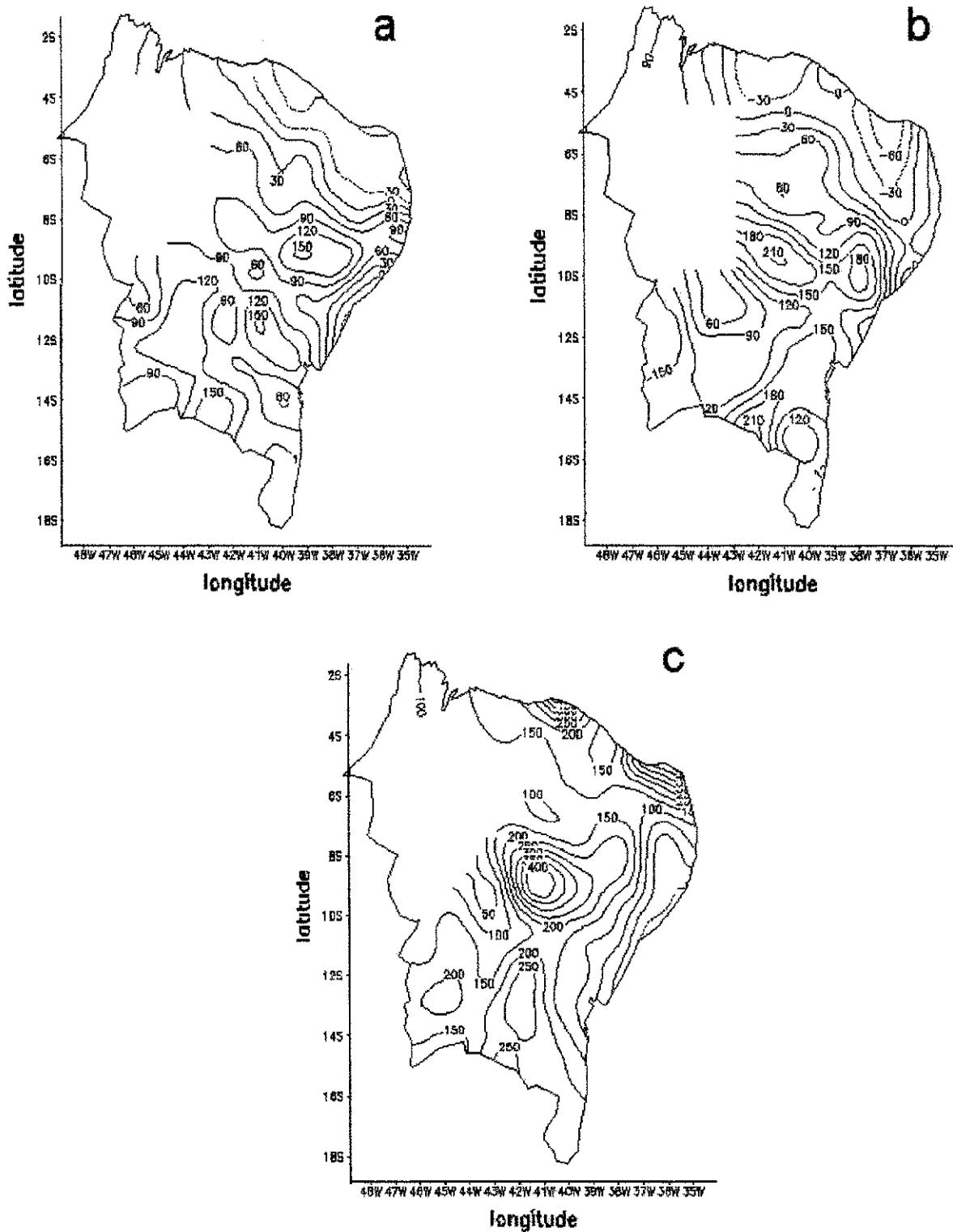


Fig. 3.3 - Distribuição espacial do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (em porcentagem) para janeiro chuvosos na zona semi-árida do Nordeste do Brasil, relativa aos anos de: (a) 1979, (b) 1980 e (c) 1985. (Fonte dos dados: SUDENE/DCA)

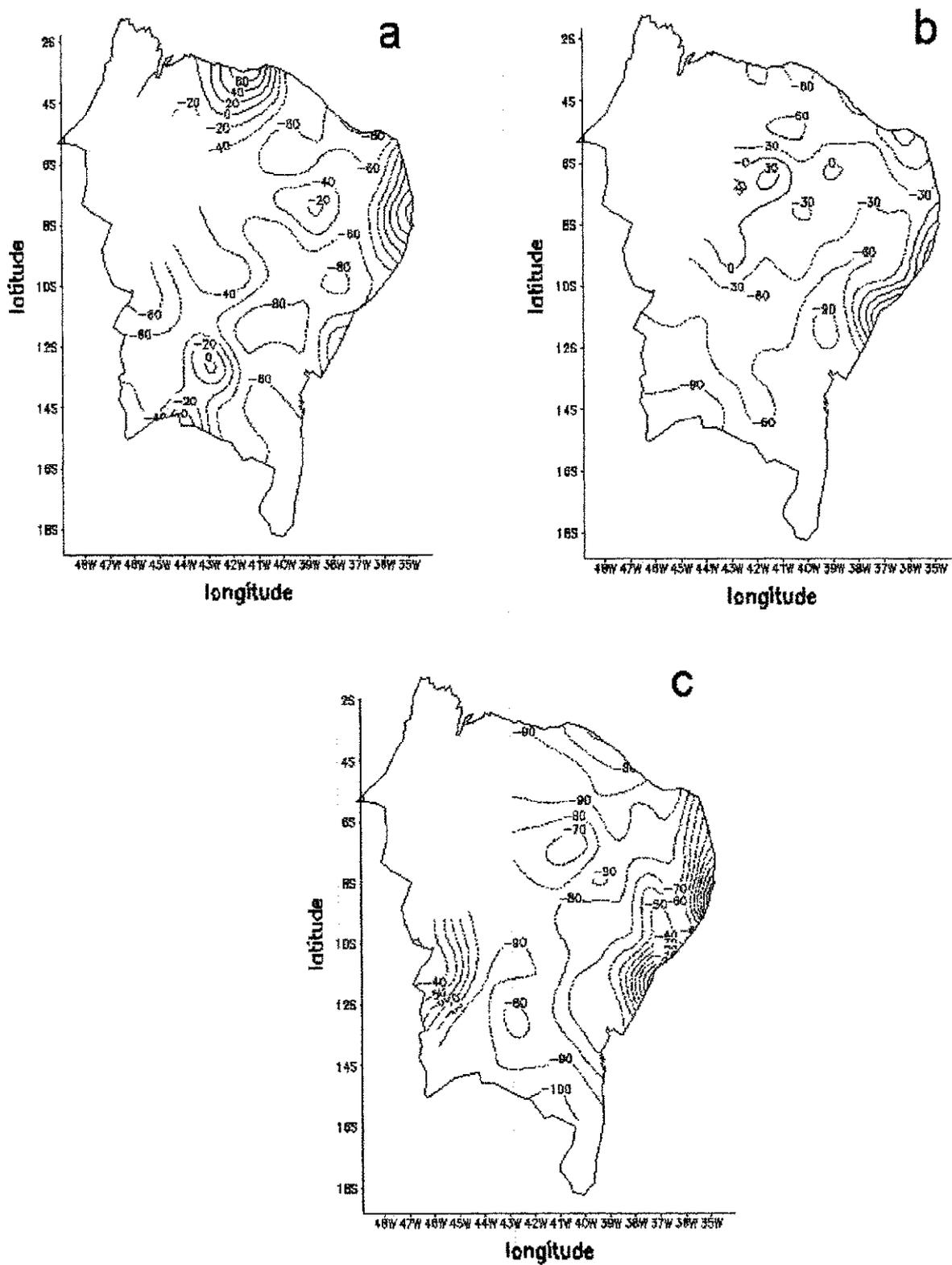


Fig. 3.4 - Distribuição espacial do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (em porcentagem) para janeiro secos na zona semi-árida do Nordeste do Brasil, relativa aos anos de: (a) 1984, (b) 1987 e (c) 1990. (Fonte dos dados: SUDENE/DCA)

### **3.2.2 - Diagnóstico da circulação atmosférica**

#### ***3.2.2.1 - Aspectos climáticos***

O diagnóstico da circulação atmosférica para janeiros secos e chuvosos no semi-árido do Nordeste do Brasil e para os meses anteriores (OND) e posteriores (FMAM) foi realizado com base nos campos dos totais mensais de precipitação e de seus desvios com respeito à média climatológica e dos campos médios mensais das componentes zonal e meridional do vento, movimento vertical, divergência horizontal e vorticidade relativa nos níveis de 850 e 200 hPa e da umidade específica em 700 hPa. Esses campos serviram de base para a formação dos compostos seco e chuvoso obtidos através do cálculo de médias mensais para o conjunto dos janeiros secos (1984, 1987 e 1990), chuvosos (1979, 1980 e 1985) e respectivos meses anteriores (OND) e posteriores (FMAM). Esses compostos seco e chuvoso foram utilizados para identificar dissimilaridades na circulação atmosférica nessas situações contrastantes. Foram utilizados, ainda, diagramas longitude-tempo e latitude-tempo da componente meridional do vento no nível de 200 hPa, para longitudes e latitudes selecionadas. Finalmente, com base nos compostos e nos campos das anomalias mensais foi analisada a previsibilidade da qualidade da chuva nos meses de fevereiro a maio no semi-árido do Nordeste do Brasil.

#### ***3.2.2.2 - Estudo de caso para janeiro de 1985***

O principal objetivo deste estudo de caso foi analisar detalhadamente a evolução temporal e espacial diária dos sistemas sinóticos ocorridos no mês de janeiro mais chuvoso na região semi-árida do Nordeste, durante o período estudado. Para tanto, foram utilizados campos das variáveis meteorológicas dos dados de reanálises, ecos do radar banda-C, dados de radiossondagens e de precipitação observada via pluviômetro. Esse estudo de caso foi realizado em virtude de ainda não se conhecer detalhadamente a evolução espacial e temporal dos sistemas meteorológicos ocorridos neste mês, embora vários estudos já tenham sido realizados utilizando dados do radar banda-C de Petrolina.

Perfis verticais das componentes do vento e das temperaturas potencial, potencial equivalente e potencial equivalente de saturação obtidos das radiossondagens em Petrolina foram usados para diagnosticar a evolução diária desses parâmetros. Outro aspecto

importante na utilização dos perfis das componentes do vento foi a comparação com o vento das reanálises para os níveis de 200 e 850 hPa.

Os perfis verticais da temperatura potencial ( $\theta$ ), temperatura potencial equivalente ( $\theta_e$ ) e temperatura potencial equivalente de saturação ( $\theta_{es}$ ), foram calculados segundo as equações propostas por Betts e Dugan (1973), e posteriormente modificadas por Bolton (1980), e possibilitaram avaliar as condições termodinâmicas e o grau de estabilidade da atmosfera no período de 15 a 25 de janeiro. O gradiente vertical da temperatura potencial equivalente permite verificar se as condições atmosféricas reinantes são favoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos intensos, já que  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z}$  é um ótimo indicador da instabilidade convectiva ou potencial de uma camada da atmosfera. A determinação da instabilidade atmosférica utilizando o gradiente da temperatura potencial equivalente é feita da seguinte forma:

- a) se  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0$ , a camada é convectivamente instável;
- b) se,  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z} = 0$  a camada é convectivamente neutra;
- c) se  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z} > 0$ , a camada é convectivamente estável.

O cálculo das temperaturas potenciais foi feito com base nas seguintes equações:

$$\theta = T_K \left( \frac{1000}{P} \right)^{0,2854 (1 - 0,28 \times 10^{-3} r)} \quad (3.1)$$

$$\theta_e = \theta \times \exp \left[ \left( \frac{3,376}{T_L} - 0,00254 \right) \times r \left( 1 + 0,81 \times 10^{-3} r \right) \right] \quad (3.2)$$

$$\theta_{es} = \theta \times \exp \left( \frac{2,64 r_s}{T_K} \right) \quad (3.3)$$

$$T_L = \frac{1}{\frac{1}{T_K} - \frac{\ln(UR/100)}{2840}} + 55 \quad (3.4)$$

onde:

$T_K = T + 273,15$  é a temperatura absoluta (K);

T é a temperatura do ar (°C);

P é a pressão atmosférica (hPa);

$T_L$  é a temperatura no nível de condensação por levantamento (NCL)(K);

UR é a umidade relativa do ar (%);

r é a razão de mistura (g/kg);

$r_s$  é a razão de mistura de saturação (g/kg);

$$r = \frac{622 \times e}{(P - e)} \quad (3.5)$$

$$r_s = \frac{622 \times e_s}{(P - e_s)} \quad (3.6)$$

$$e = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (3.7)$$

$$e_s(T) = 6,11 \times \exp\left(\frac{(17,67T)}{T + 243,5}\right) \quad (3.8)$$

onde:

e é a pressão de vapor (mb);

$e_s$  é a pressão de vapor de saturação (mb);

T varia entre 0° e 30° C.

As imagens do satélite METEOSAT possibilitaram a identificação visual dos sistemas meteorológicos que atuaram sobre o Nordeste do Brasil no período de 15 a 25 de janeiro de 1985. Essa informação foi, juntamente com as demais, interligada aos campos obtidos via radar com o objetivo de caracterizar a circulação atmosférica a qual os ecos estavam associados. Em contrapartida, as imagens de radar permitiram diagnosticar a

estrutura de pequena e mesoescala dos sistemas de chuvas que atuaram na região de Petrolina no período analisado.

Finalmente, a metodologia exposta neste tópico permitiu ainda verificar a qualidade dos dados via reanálises (modelo numérico) quando comparados com os dados observados. Este estudo de caso possibilitou o conhecimento mais profundo da interação entre as variáveis atmosféricas e, conseqüentemente, da manutenção e formação de sistemas meteorológicos de escalas de tempo e espaço distintas ocorridos no período de 15 a 25 de janeiro de 1985.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDO DE CASO PARA JANEIRO DE 1985**

A principal motivação para a realização deste estudo de caso foi investigar as condições atmosféricas que influenciaram o Nordeste do Brasil de 15 a 25 de janeiro de 1985, considerando a disponibilidade de dados de radar para alguns dias desse período, dos quais dois, 18 e 24, apresentaram extensas e duradouras áreas disformes de precipitação predominantemente estratiforme (Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 1996; Silva Aragão et al., 1999). O tempo de vida longo ( $\geq 1$  hora) e a extensão ( $\sim 35.000\text{km}^2$ ) dessas áreas de precipitação levaram Silva Aragão et al. (1999) a sugerir que elas devem estar associadas a sistemas convectivos de mesoescala cuja formação e/ou manutenção favoreceu-se das condições de grande escala.

Neste capítulo foram discutidas as principais características sinóticas da atmosfera utilizando dados de reanálises para os horários das 0:00 e 12:00 TMG e imagens do satélite METEOSAT. Como não existe uma diferença significativa entre os campos desses dois horários para a maioria das variáveis e como as imagens são para o horário das 11:55 TMG, a discussão a seguir foi baseado nos campos das 12:00 TMG. Campos para o horário das 0:00 TMG foram apresentados e discutidos apenas no caso do movimento vertical integrado, precipitação convectiva e radiação de ondas longas. Assim, os campos utilizados no diagnóstico das condições atmosféricas reinantes sobre o Nordeste do Brasil e sua região semi-árida são: vento, vorticidade relativa e divergência horizontal nos níveis de 850 e 200 hPa, movimento vertical integrado com relação à pressão (desde 1000 até 200 hPa) e precipitação convectiva. Perfis obtidos das sondagens de ar superior documentaram as condições termodinâmicas e a estrutura do vento observadas na vertical de Petrolina enquanto PPI's ("Plan Positions Indications") documentaram a estrutura de pequena e mesoescala dos sistemas de chuva num círculo de 250 km de raio centrado em Petrolina.

No estudo do comportamento diário da atmosfera utilizaram-se ainda, campos da umidade do solo, anomalias semanais de TSM e radiação de ondas longas (ROL). A umidade do solo foi obtida das reanálises do ECMWF enquanto que as anomalias semanais de TSM e o ROL foram obtidas do NCEP e NCAR, respectivamente. As anomalias de ROL permitiram identificar as áreas com atividade convectiva enquanto que a umidade do solo e as anomalias de TSM possibilitaram investigar se algum agente externo à atmosfera favoreceu ou inibiu a ocorrência de chuvas extremas sobre a região estudada. As análises apresentadas neste capítulo abrangem a extensão longitudinal de 0° a 100°W e latitudinal de 30°N a 30°S, enquanto que no campo do vento analisou-se a faixa latitudinal de 30°N a 60°S. Visando tornar a discussão mais breve e objetiva possível, apresentaram-se neste capítulo apenas os dias pares do período de 15 a 25 de janeiro de 1985.

#### **4.1 – Análise da precipitação na região semi-árida em janeiro de 1985**

Neste tópico discute-se a precipitação média diária da região semi-árida dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, visto que as séries de precipitação dos demais estados apresentam dias sem dados em janeiro de 1985. É importante lembrar que janeiro de 1985, dentre aqueles selecionados como chuvosos, apresenta desvios normalizados de precipitação muito acima de 25% em todos os estados (Figs. 3.2 e 3.3c).

Pode-se deduzir com base na Figura 4.1 que, em linhas gerais, os totais pluviométricos mais elevados ocorre a partir do dia 15. No período de 15 a 25 de janeiro, quatro dias se destacam por apresentar maiores valores médios de chuva: 19 (Ceará), 21 (Rio Grande do Norte), 22 (Paraíba) e 25 (Pernambuco). Verifica-se ainda para todos os estados que, o total mensal está acima da média climatológica e que em alguns dias as chuvas observadas ficam em torno de 25% da normal. Vale salientar ainda, no caso específico do semi-árido de Pernambuco, que os maiores valores dentro do período estudado ocorrem nos dias 19 e 25, ou seja, nos dias posteriores àqueles em que observa-se áreas de precipitação estratiforme duradouras e de grande extensão, já mencionadas anteriormente.

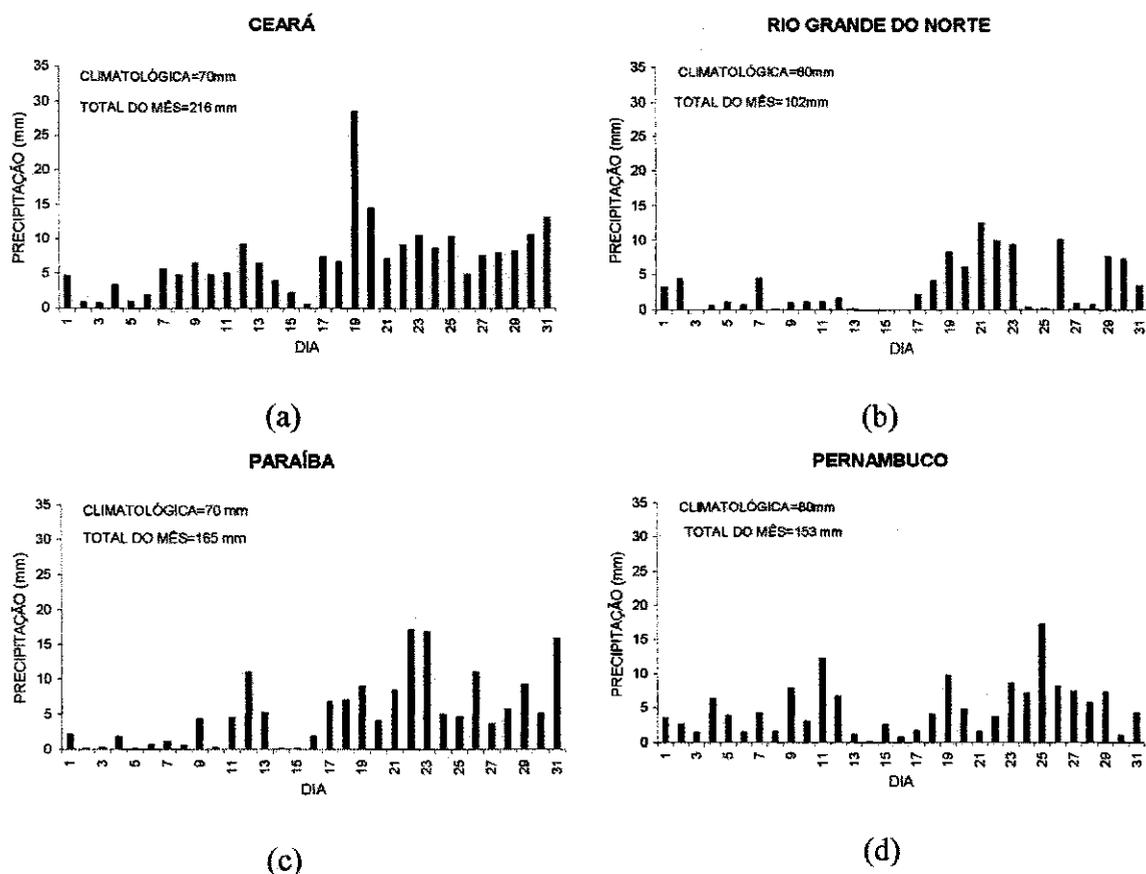


Fig. 4.1 - Série temporal da precipitação média diária no mês de janeiro de 1985 da região semi-árida dos estados de: (a) Ceará, (b) Rio Grande do Norte, (c) Paraíba e (d) Pernambuco. O total de precipitação do mês (total do mês) e a precipitação histórica de janeiro (climatológica) são vistos no canto superior esquerdo dos gráficos. (Fonte dos dados: SUDENE/DCA)

## 4.2 - Diagnóstico da circulação atmosférica

### 4.2.1 – Dia 16 de janeiro de 1985

Nas imagens de satélite (Fig. 4.2a,b) observa-se que no Nordeste do Brasil há nebulosidade associada a um cavado situado nos altos níveis (cavado do Nordeste), enquanto que um sistema frontal atua na Região Sul do Brasil. Há muita nebulosidade sobre o continente e restos de um sistema frontal no Oceano Atlântico próximo à costa leste do Brasil.

Os campos de linhas de corrente em 200 hPa (Fig. 4.3a) mostram que o cavado de latitudes médias associado ao sistema frontal, que se encontrava dia 15 sobre o estado do

Rio de Janeiro e sul de Minas Gerais (não mostrado), está quase alinhado com o cavado do Nordeste enquanto que o anticiclone da Bolívia se apresenta bem definido.

Vale ressaltar que esses cavados já eram vistos no campo de linhas de corrente no dia 15 de janeiro às 0:00 TMG. Nota-se também a presença de um centro anticiclônico ao norte da América do Sul (Ramirez, 1996; Anjos, 1995) e de um cavado de latitudes médias que avançou em latitudes tropicais sobre o Oceano Atlântico Norte. Esse último tem um pequeno aumento de amplitude do dia 15 para o dia 16.

É importante assinalar ainda a presença dos jatos subtropicais dos hemisférios norte e sul. As porções leste do cavado do Nordeste e do cavado de latitudes médias se fazem presentes no campo da vorticidade relativa (Fig. 4.3c) sob a forma de uma área ciclônica que se apresenta alongada na direção noroeste-sudeste sobre o Atlântico Sul. A oeste da porção sul dessa área há um núcleo de vorticidade anticiclônica associado à crista do sistema de latitudes médias. A oeste da porção norte também há um núcleo de vorticidade anticiclônica associado à divergência em altos níveis nessa região. Um intenso núcleo de vorticidade anticiclônica está presente na área do anticiclone da Bolívia. No hemisfério norte é evidente o núcleo anticiclônico associado ao centro situado ao norte da América do Sul (Figura 4.3a) enquanto que um forte núcleo ciclônico está associado ao cavado situado sobre o Atlântico Norte.

É interessante observar que a localização das áreas de nebulosidade vistas na imagem de satélite (Fig. 4.2) apresenta grande semelhança com as áreas de divergência da Figura 4.3e.

No nível de 850 hPa observa-se no campo de linhas de corrente (Fig. 4.3b) a presença dos anticiclones subtropicais do Pacífico e Atlântico Sul e de uma circulação anticiclônica a noroeste da América do Sul (Ramirez, 1996; Anjos, 1995). O campo de linhas de corrente mostra ainda um centro ciclônico situado sobre o sul do Nordeste e Regiões Centro-Oeste e Sudeste e um intenso núcleo de vorticidade ciclônica a ele associado (Fig. 4.3d).

Vale destacar ainda no campo da vorticidade relativa o núcleo anticiclônico situado sobre parte da Região Nordeste do Brasil e leste da Amazônia. Na Figura 4.3f observa-se fraca convergência em baixos níveis na maior parte do continente.

A análise da radiação de ondas longas (ROL) para as 0:00 TMG (Fig. 4.4) indica atividade convectiva profunda associada ao cavado do Nordeste e aos restos do sistema frontal austral discutidos anteriormente. Nota-se também que a atividade convectiva sobre o continente está associada à configuração dos dois centros anticiclônicos (anticiclone da Bolívia e anticiclone ao norte da América do Sul) que estabelecem divergência em altos níveis em várias áreas, e contribuem para o aumento da convecção.

As áreas de divergência em altos níveis são vistas na Fig. 4.3e. Vale assinalar que a presença da ZCAS nesta figura é sugerida pela área de valores mínimos de ROL, orientada de noroeste-sudeste abrangendo parte do Nordeste e o Norte, Centro-Oeste, Sudeste e região oceânica adjacente.

A atuação dos sistemas meteorológicos e, conseqüentemente, as regiões convectivas a eles associadas são observadas também no campo da precipitação convectiva das 0:00 TMG (Fig. 4.5a) e 12:00 TMG (Fig. 4.5b). Nota-se a ocorrência de precipitação convectiva sobre o sul da Bahia e Centro-Oeste do Brasil no campo das 0:00 TMG (Fig. 4.5a) e no oeste do Nordeste no campo das 12:00 TMG (Fig. 4.5b).

O campo do movimento vertical integrado apresenta valores baixos às 0:00 TMG (Fig. 4.5c) enquanto que às 12:00 TMG (Fig. 4.5d) mostra uma área de movimentos ascendentes que se estende desde a região oceânica próxima ao norte do Nordeste, cobrindo grande parte do Nordeste e Sudeste do Brasil.

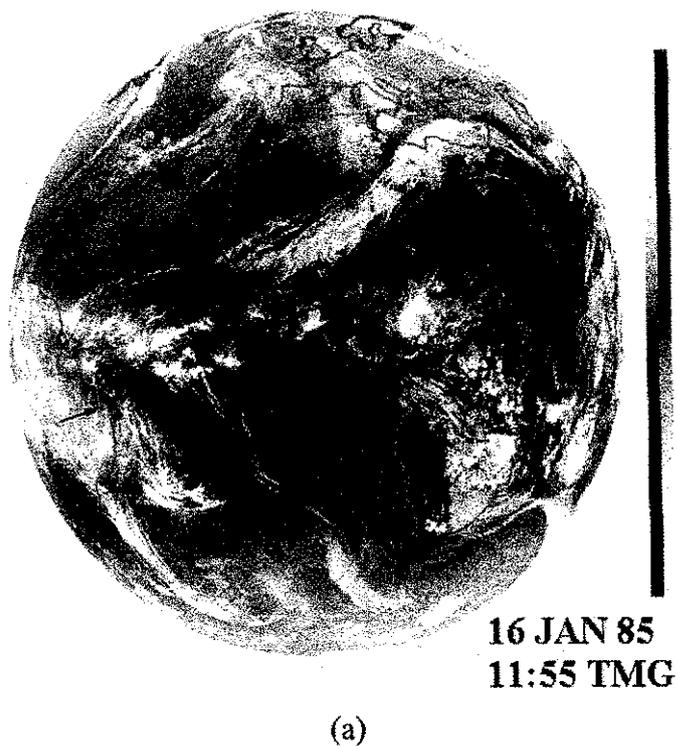


Fig. 4.2 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 16 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (Fonte das imagens: ESA)

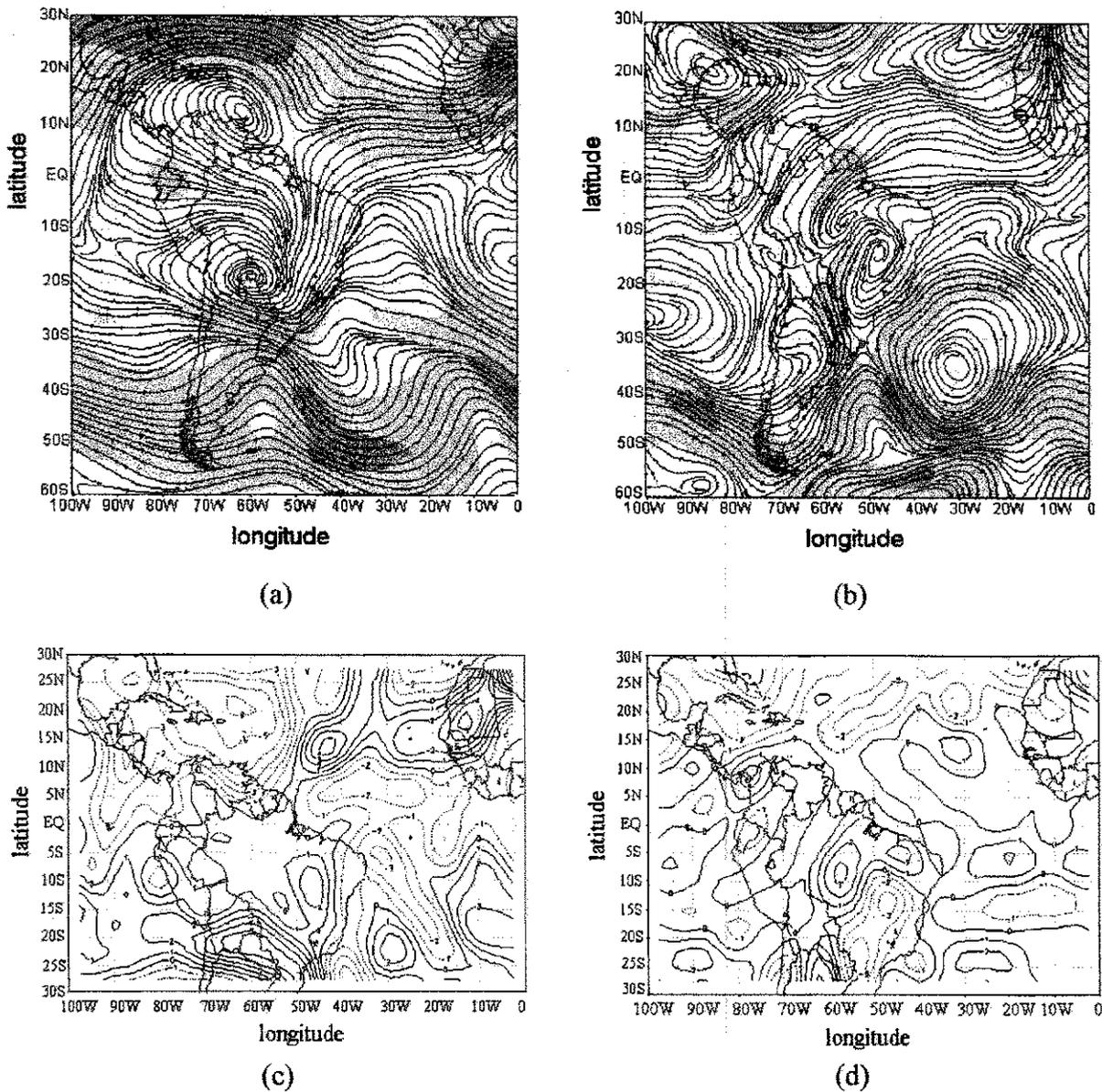


Fig. 4.3 – Análises para o dia 16 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

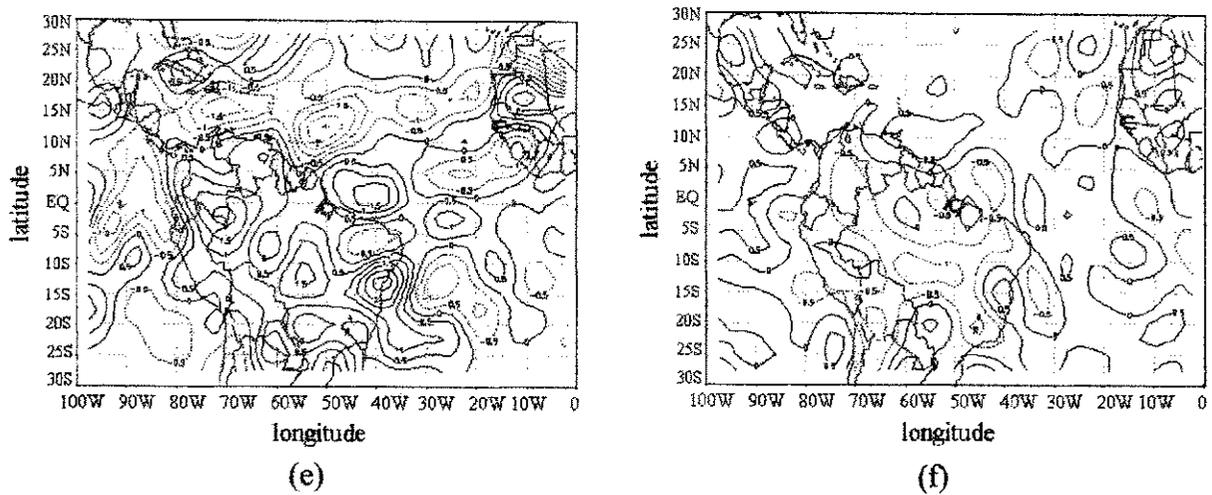


Fig. 4.3 – conclusão

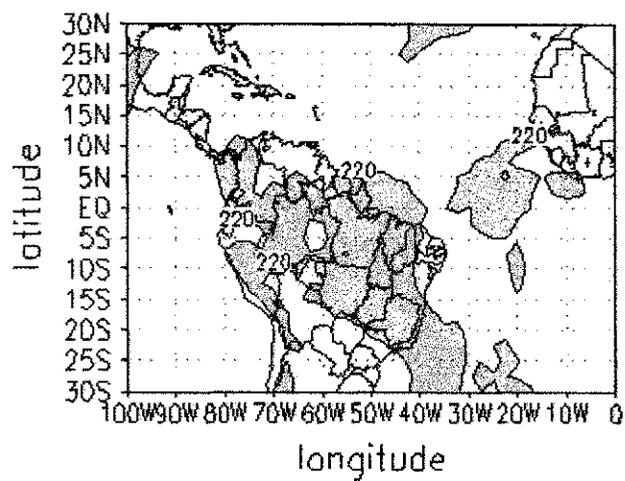


Fig. 4.4 - Campo da radiação de ondas longas para o dia 16 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (Fonte dos dados: NCAR\CPTEC)

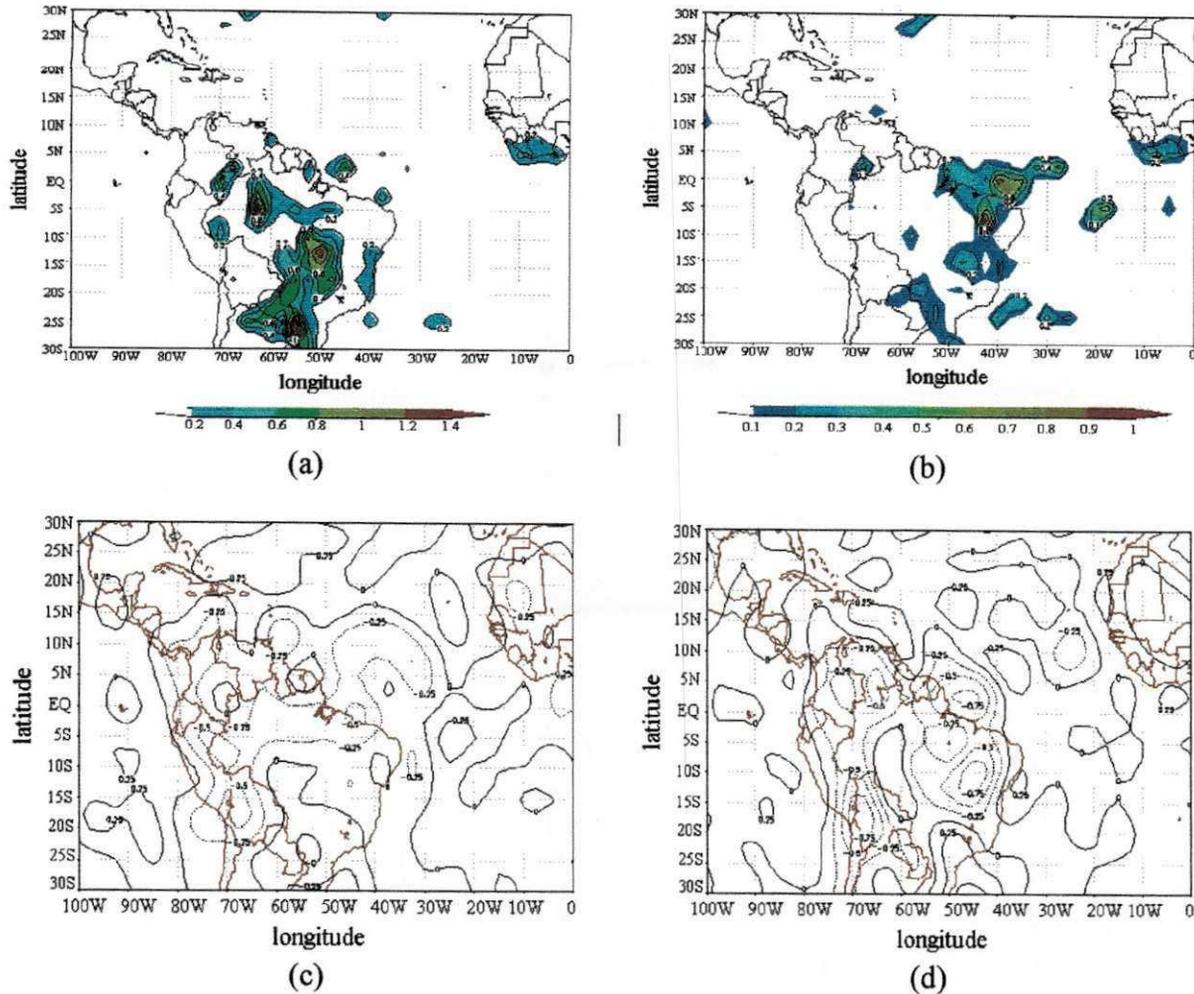


Fig. 4.5 - Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 16 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP\ECMWF\CPTEC)

#### 4.2.2 – Dia 18 de janeiro de 1985

As imagens de satélite para este dia (Fig. 4.6a,b) mostram que há um aumento na área de nebulosidade, principalmente no Nordeste do Brasil, que se apresenta quase que totalmente encoberto. Nota-se ainda em (b) áreas com atividade convectiva profunda que sugerem a presença de sistemas convectivos de mesoescala sobre o Nordeste, uma hipótese que é fortalecida pelos extensos campos de precipitação observados via radar apresentados na Figura 5.1 de Correia (1989). O aumento da área de nebulosidade ocorre associado ao novo posicionamento do anticiclone da Bolívia a nordeste da posição ocupada no dia 16 e

amplificação do cavado do Nordeste (Fig. 4.7a). Convém assinalar que o posicionamento do anticiclone da Bolívia parece ter sido provocado pelo deslocamento para leste de um centro anticiclônico situado sobre o Pacífico Sul. Esse fato, aliado à influência do cavado sobre o Atlântico Sul, que está em fase com o cavado do Nordeste, parece influenciar na amplificação deste último. É importante observar na imagem de satélite (Figura 4.6) a área de nebulosidade em forma de arco situada na borda equatorial do cavado do Nordeste.

Nota-se ainda na Figura 4.7a uma área de máxima intensidade do vento localizada a oeste do eixo do cavado do Nordeste. As mudanças no campo do vento se refletem no campo da vorticidade relativa (Fig. 4.7c) que mostra na área do cavado do Nordeste o centro anticiclônico situado a leste da posição que ocupava no dia anterior e um núcleo ciclônico mais intenso. O campo da divergência (Fig. 4.7e) mostra valores positivos sobre quase todo o continente e um núcleo de convergência cuja posição coincide com a do centro ciclônico mencionado acima. No caso do hemisfério norte, a comparação entre as Figuras 4.3c,e e 4.7c,e evidencia que as maiores alterações ocorrem sobre a África e centro-leste do Oceano Atlântico.

No escoamento em baixos níveis (Fig. 4.7b) ainda há circulação ciclônica sobre o centro-leste e sul do Nordeste ocupando uma área maior que a do dia 16 (Fig. 4.3b). Observa-se a presença de um cavado invertido a leste do Sul e Sudeste do Brasil, que pode ser responsável pela maior organização da nebulosidade situada sobre a área oceânica próxima à América do Sul. Outro aspecto importante deste dia é o anticiclone situado ao sul do ciclone, sobre o Uruguai e parte da Argentina e área oceânica adjacente. O anticiclone subtropical do Pacífico Sul (Atlântico Sul) aparece deslocado para oeste (leste) em relação à posição que ocupava no dia 16 (Fig. 4.3b). O centro ciclônico localizado sobre o sul do Nordeste e Regiões Centro-Oeste e Sudeste está associado a um núcleo de vorticidade ciclônica intensa (Fig. 4.7d)/convergência (Fig. 4.7f) enquanto que na área do anticiclone há vorticidade anticiclônica/divergência.

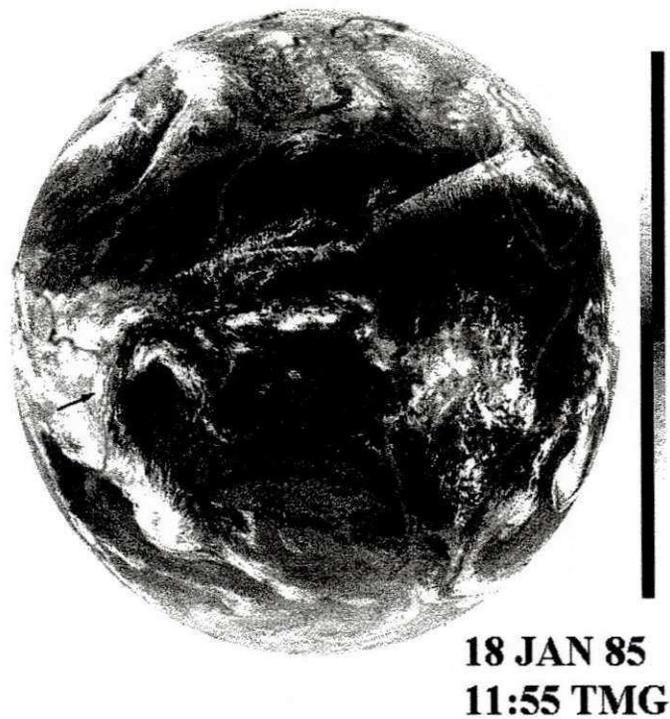
No hemisfério norte, o cavado de latitudes médias e o centro anticiclônico situado ao norte da América do Sul se apresentam a leste da posição vista no dia 16, sendo também identificados no campo da vorticidade e da divergência.

No campo do ROL para as 0:00 TMG (Fig. 4.8) nota-se atividade convectiva sobre todo o Nordeste, Sudeste do Brasil e região oceânica adjacente. Assim como no dia 16, a orientação noroeste-sudeste da área de mínimo de ROL sugere a presença da ZCAS sobre o Brasil e região oceânica adjacente ao Sudeste. As principais dissimilaridades entre este campo e o da Figura 4.9a é a presença (ausência) de precipitação convectiva na Região Norte, Centro-Oeste e em grande parte da Região Nordeste. Nota-se ainda que a área coberta e os valores de precipitação são consideravelmente menores às 12:00 TMG (Fig. 4.9b). Vale também observar, considerando o horário das 0:00 TMG, que tanto o campo de ROL (Fig. 4.8) quanto o campo da precipitação convectiva (Fig. 4.9a) mostram maior área coberta do que os do dia 16 (Figs. 4.4 e 4.5a)

É interessante assinalar ainda que a área de mínimo de ROL (Fig. 4.8) coincide, de maneira geral, com a localização de áreas de divergência (convergência) vistas nos altos (baixos) níveis (Fig. 4.7e,f), muito embora as figuras sejam para horários diferentes.

No campo do movimento vertical para os dois horários (Fig. 4.9c,d) verifica-se movimentos ascendentes em todo o Nordeste do Brasil e áreas tropicais adjacentes. Esses movimentos ascendentes se mostram mais intensos e com uma área de cobertura maior do que no dia 16 (Fig. 4.5a,b). Nota-se, em particular, que o núcleo ascendente intenso situado sobre o Nordeste do Brasil às 12:00 TMG (Fig. 4.9d) coincide com uma área de convergência de massa em 850 hPa (Fig. 4.7f), propiciando um ambiente de grande escala dinamicamente favorável ao desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala vistas na imagem de satélite (Fig. 4.6).

Convecção profunda organizada em mesoescala está normalmente associada com áreas extensas de precipitação estratiforme, um fato que é confirmado neste dia, na área de cobertura do radar, pela presença de áreas de chuva (não mostradas) semelhantes àquelas vistas no dia 24 (Fig. 4.23). Por outro lado, os valores mostrados para os dias 18 e 19 nos gráficos da Figura 4.1 sugerem que houve precipitação, na região semi-árida dos quatro estados no dia 18. Nota-se, em particular, que no Ceará o valor médio foi consideravelmente maior, em torno de 30 mm.



(a)



(b)

Fig. 4.6 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 18 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (Fonte das imagens: ESA)

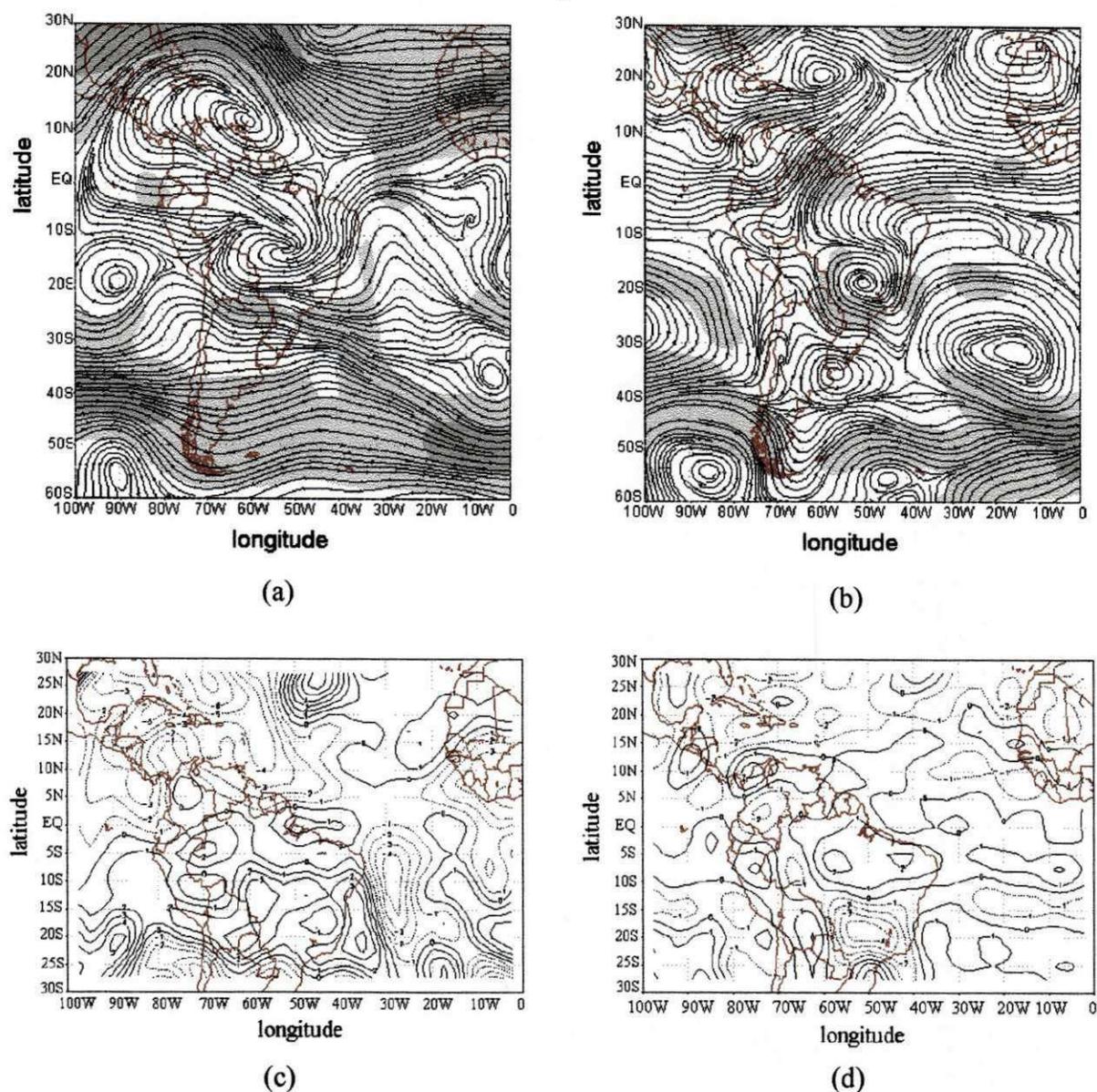


Fig. 4.7 – Análises para o dia 18 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

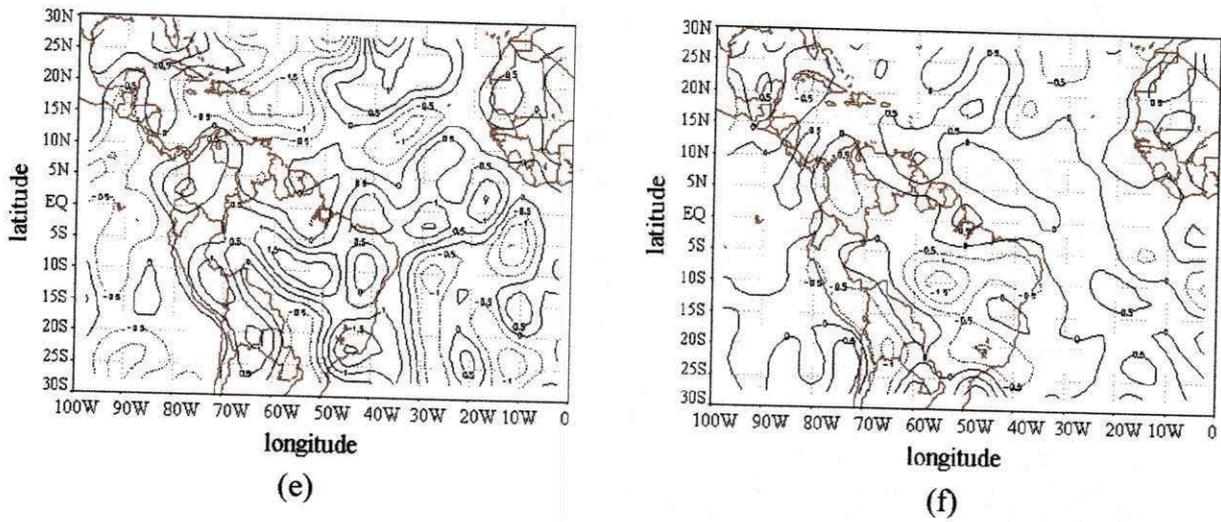


Fig. 4.7 – conclusão

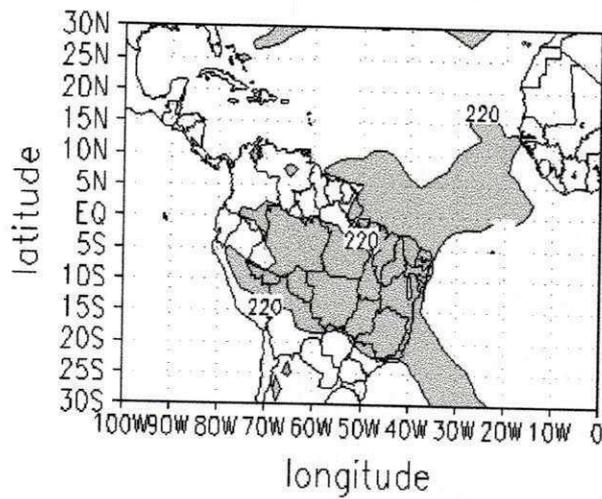


Fig. 4.8 - Campo da radiação de ondas longas para o dia 18 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (Fonte dos dados: NCAR/CPTEC)

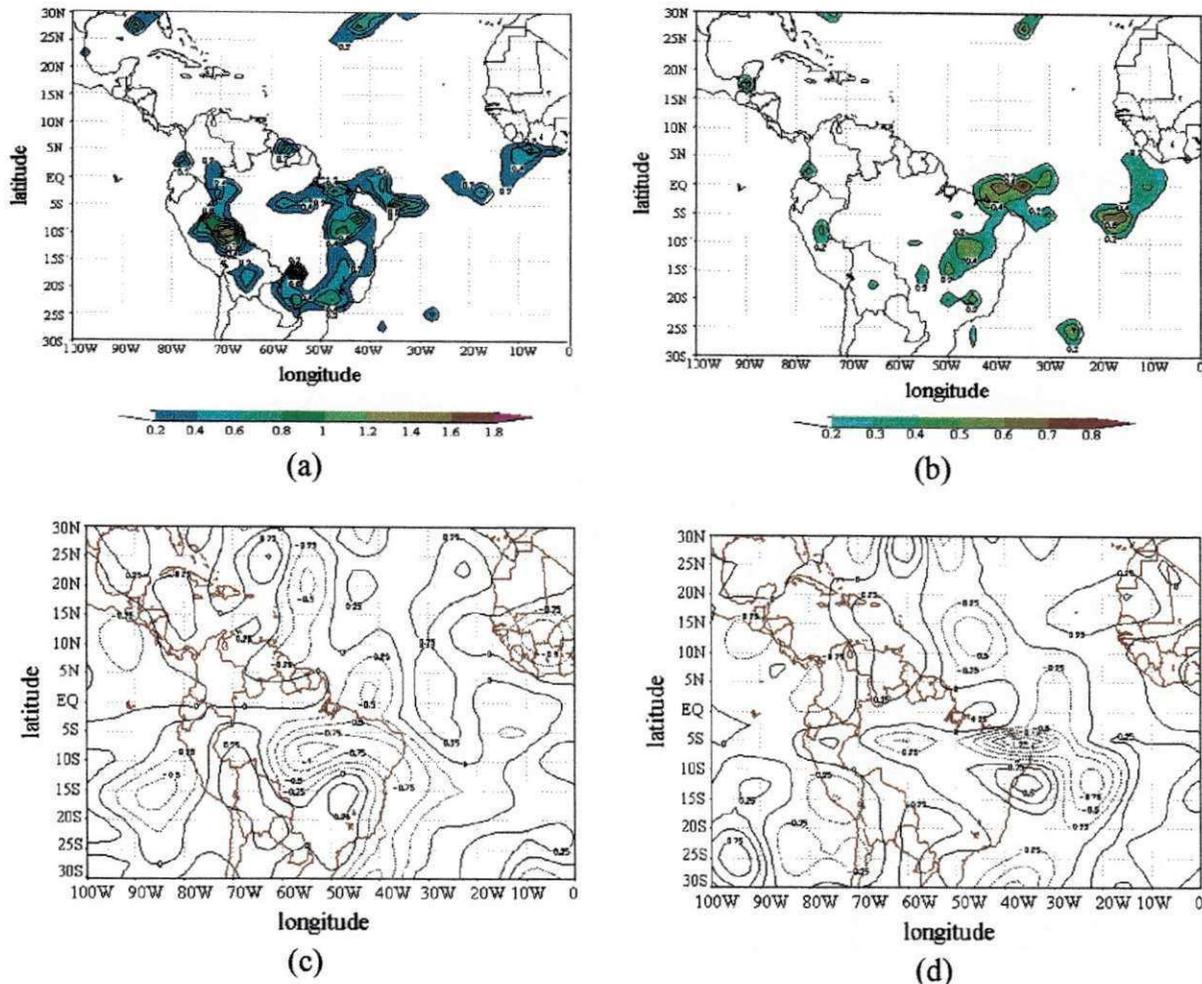


Fig. 4.9 - Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 18 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP\ECMWF\CPTEC)

Os perfis verticais de  $\theta$ ,  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$  para as 12:00 TMG deste dia (Fig. 4.10a) são outra evidência da presença de convecção profunda. A proximidade entre as curvas de  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$  evidencia umidade atmosférica alta em toda a troposfera, enquanto que o perfil de  $\theta_e$  mostra uma atmosfera convectivamente instável desde a superfície até o nível de 700 hPa, aproximadamente. Vale assinalar aqui a ausência da camada de inversão de subsidência típica desta região (Farah e Justo, 1979). Os perfis verticais das componentes do vento (Fig. 4.10b) mostram ventos fracos do primeiro quadrante na baixa e média troposfera e um máximo de intensidade do vento (segundo quadrante) na alta troposfera. A direção

vista nos campos do vento coincide com a da Figura 4.10b, ou seja, ela é do terceiro quadrante em 200 hPa (Fig. 4.7a) e do primeiro quadrante em 850 hPa (Fig. 4.7b).

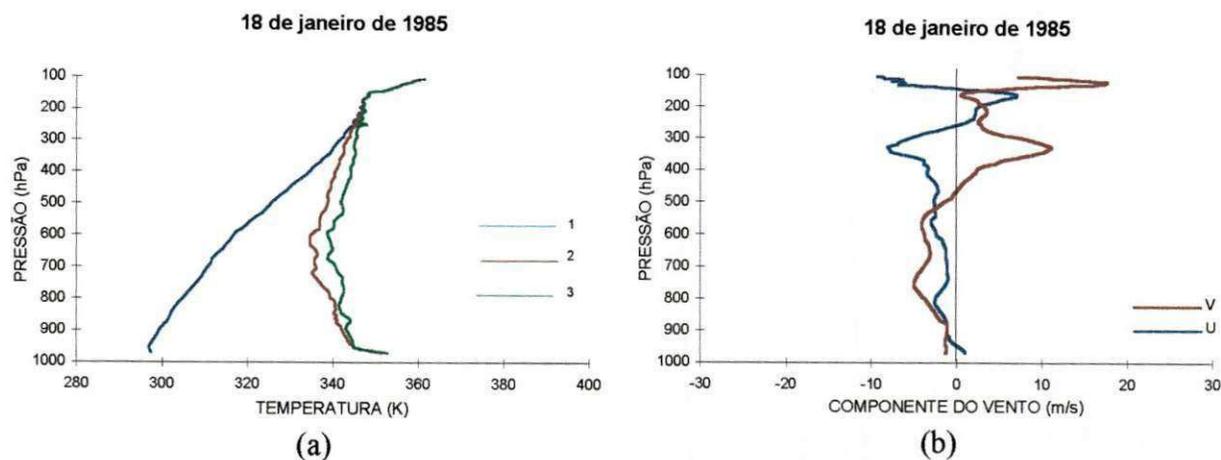


Fig. 4.10 – Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) no dia 18 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte das radiossondagens: IAE/CTA)

#### 4.2.3 – Dia 20 de janeiro de 1985

A cobertura de nuvens neste dia (Fig. 4.11) se assemelha a do dia 18, embora a área de atividade convectiva profunda esteja maior, principalmente na porção equatorial do Atlântico. Tal mudança está associada à amplificação do cavado no Atlântico Norte, ao desprendimento de um VCAN sobre a área oceânica adjacente ao Nordeste e à intensificação do sistema frontal no Sudeste e Atlântico Sul (Fig. 4.12a). Salienta-se ainda na imagem a área de nebulosidade em forma de arco típica dos VCAN (Kousky e Gan, 1981). O anticiclone da Bolívia e o anticiclone situado ao norte da América do Sul sofrem reorientação sem alterar a posição de seus centros, enquanto o anticiclone do Pacífico Sul está ligeiramente deslocado para norte.

As mudanças ocorridas no campo do vento estão associadas a alterações importantes no campo da vorticidade relativa (Fig. 4.12b), particularmente na área do cavado no Atlântico Norte e do VCAN, já que nota-se núcleos de vorticidade mais intensos na área ocupada por esses sistemas.

O campo da divergência (Fig. 4.12e) também sofreu profundas alterações, principalmente na porção equatorial do Atlântico, apresentando áreas de divergência mais intensas que coincidem com a nebulosidade vista na imagem de satélite (Fig. 4.11), particularmente no noroeste da África e setor norte do VCAN. Também neste dia o continente apresenta-se quase que totalmente dominado por divergência, embora mais fraca. É interessante observar que o núcleo de convergência situado ao longo do eixo do VCAN na Figura 4.12e coincide com o centro de vortacidade ciclônica associado ao mesmo visto na Figura 4.12c.

O escoamento no nível de 850 hPa evidencia neste dia (Fig. 4.12b) a orientação noroeste-sudeste do eixo que liga o ciclone localizado sobre o continente e o sistema frontal situado sobre o oceano, observado na imagem de satélite. O anticiclone posicionado sobre o continente no dia 18 (Fig. 4.7) está sobre o oceano, a sudoeste do anticiclone subtropical do Atlântico Sul. A área ocupada pelos anticiclones é identificada na imagem de satélite pela cobertura de nuvens baixas em ambos os lados da banda de nebulosidade alongada no sentido noroeste-sudeste, abrangendo as regiões Sul, Sudeste e áreas oceânicas adjacentes.

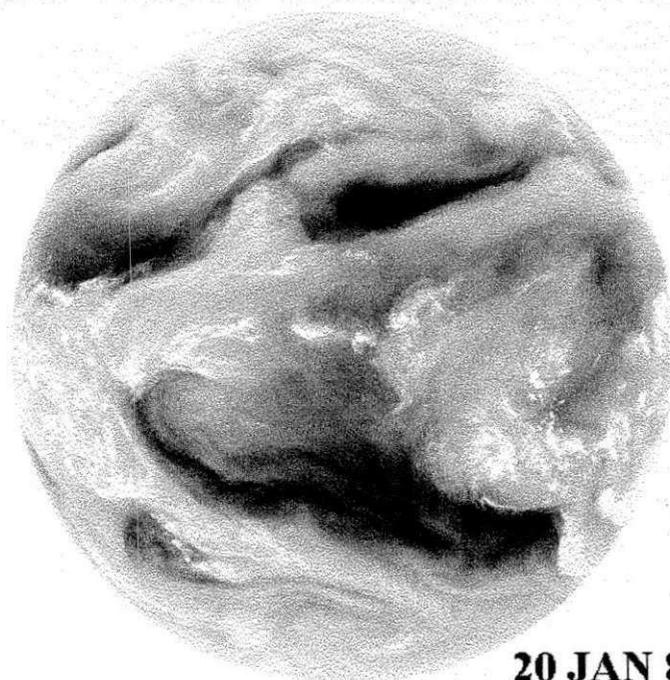
Permanecem os núcleos de vortacidade ciclônica (Fig.4.12d)/convergência (Fig. 4.12f) associados ao ciclone situado sobre o continente. No hemisfério norte, a área ocupada pelo anticiclone em baixos níveis se estende até próximo da longitude de 40°W. A análise da vortacidade relativa mostra vortacidade anticiclônica na área do anticiclone.

A análise de ROL (Fig. 4.13) apresenta configuração de atividade convectiva sobre o Brasil, exceto em grande parte do Nordeste e parte da Região Sul. Permanece a orientação noroeste-sudeste indicativa da presença da ZCAS. No campo da precipitação convectiva para o mesmo horário (Fig. 4.14a) há chuva convectiva no Sudeste e na maior parte do Nordeste. A área de precipitação convectiva às 12:00 TMG (Fig. 4.14b) para esse dia também é consideravelmente menor, destacando-se os centros na região oceânica ao norte do Nordeste, área sob influência da circulação no setor norte do VCAN e coberta pela área de nebulosidade em forma de arco vista na Figura 4.11. Assinala-se ainda que as áreas associadas à nebulosidade convectiva no campo de ROL na Figura 4.13 coincidem com áreas de divergência em altos níveis (Fig. 4.12e).



**20 JAN 85  
11:55 TMG**

(a)



**20 JAN 85  
11:55 TMG**

(b)

Fig. 4.11 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 20 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (Fonte das imagens: ESA)

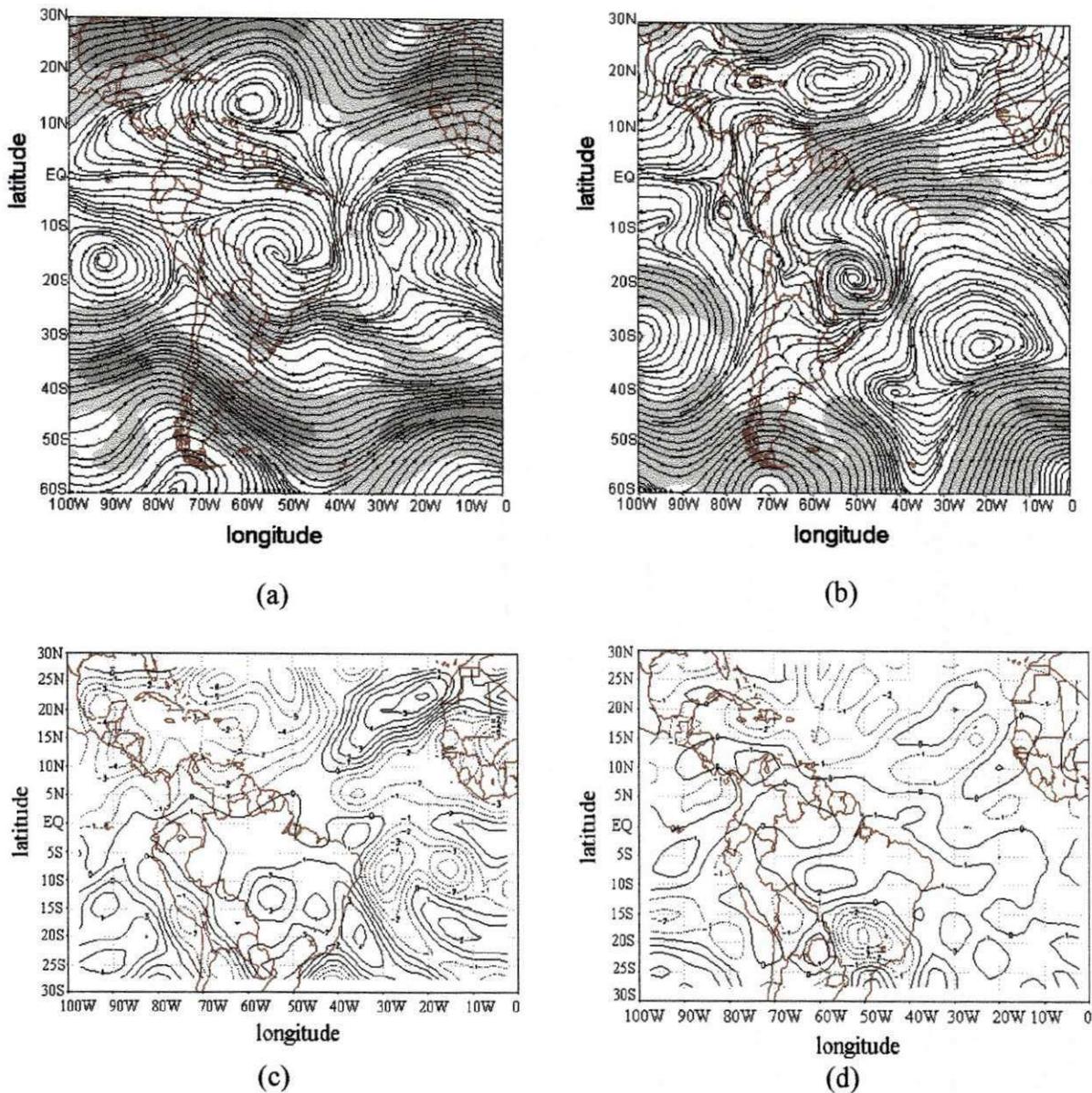


Fig. 4.12 – Análises para o dia 20 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

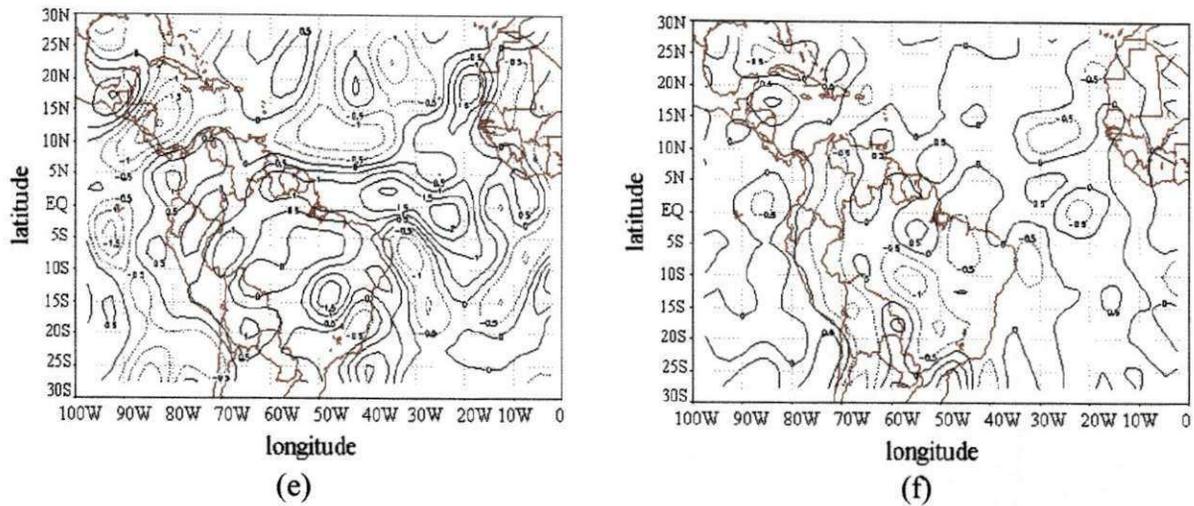


Fig. 4.12 – conclusão

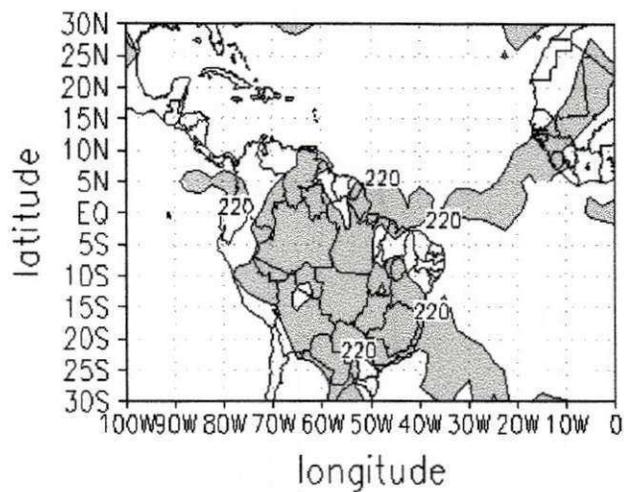


Fig. 4.13 - Campo da radiação de ondas longas para o dia 20 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (Fonte dos dados: NCAR/CPTEC)

No campo do movimento vertical integrado nota-se nos dois horários (Fig. 4.14c,d) movimentos fracos ou quase nulos sobre o Nordeste do Brasil e movimentos ascendentes no Sul e Sudeste do Brasil. É importante observar que esses campos são muito diferentes daqueles vistos no dia 18 (Fig. 4.9c,d) e que a precipitação média para os dias 20

e 21 vistas na Figura 4.1 tem valores mais (menos) elevados no estado do Ceará (Pernambuco).

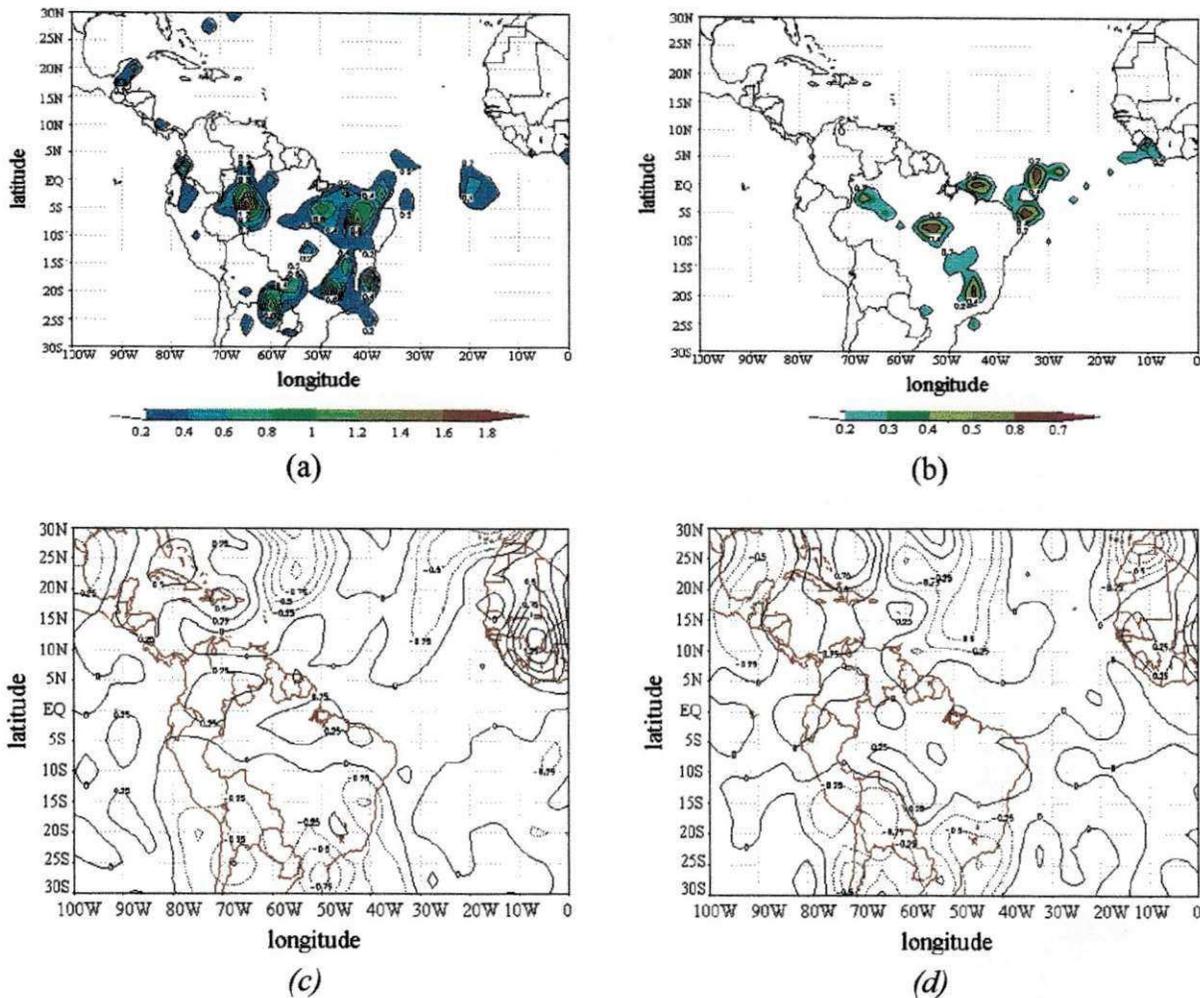


Fig. 4.14 - Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 20 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP/ECMWF/CPTEC)

#### 4.2.4 – Dia 22 de janeiro de 1985

A imagem de satélite deste dia (Fig. 4.15) sugere que os sistemas sinóticos estão menos intensos e que existem áreas de convecção profunda em mesoescala sobre as Regiões Norte e Centro-Oeste. Salienta-se ainda nesta imagem a área de nebulosidade em forma de arco associada ao VCAN (Kousky e Gan, 1981).

No campo do vento em 200 hPa (Fig. 4.16a) um cavado de latitudes médias austral está praticamente alinhado com o VCAN que permanecem na posição que ocupava no dia 20 (Fig. 4.12a). O anticiclone da Bolívia está centrado a sudoeste da posição que ocupava no dia 20 (Fig. 4.12a). O anticiclone da Bolívia está centrado a sudoeste da posição que ocupava naquele dia enquanto que o anticiclone situado sobre o Pacífico Sul está deslocado para oeste. Nota-se também neste dia máximos de intensidade do vento a oeste e a leste do centro do VCAN.

O anticiclone situado ao norte da América do Sul permanece na mesma posição enquanto que a amplitude do cavado no Atlântico Norte está menor. No campo da vorticidade relativa (Fig. 4.16c) ainda nota-se vorticidade ciclônica associada ao VCAN. No campo da divergência (Fig. 4.16e) observa-se a permanência de divergência em altos níveis sobre o continente e convergência associada ao VCAN.

No campo do vento em 850 hPa (Fig. 4.16b) nota-se a permanência do ciclone sobre o sul do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, enquanto que uma circulação anticiclônica domina o norte do Nordeste. O campo da vorticidade relativa (Fig. 4.16d) mostra que o ciclone está menos intenso e que há uma intensificação da vorticidade anticiclônica no centro da Região Norte. O campo da divergência (Fig. 4.16f), por sua vez, continua apresentando convergência em baixos níveis.

É importante observar ainda na Figura 4.16b a presença de um anticiclone sobre o sul da América do Sul e de um cavado sobre a região oceânica a leste do mesmo, o qual começa a se alinhar com o ciclone situado sobre o Brasil. No hemisfério norte, o anticiclone está a nordeste da posição ocupada no dia 20 (Fig. 4.12b). Tais mudanças se traduzem em pequenas alterações nos campos da vorticidade e da divergência.

Neste dia os valores baixos de ROL cobrem quase todo o Nordeste e área oceânica adjacente ao norte da Região (Fig. 4.17). Outra característica importante deste dia é a interrupção da banda de nebulosidade associada aos valores baixos de ROL sobre o Atlântico Sul, o que sugere um enfraquecimento da ZCAS. O campo da precipitação convectiva para o mesmo horário (Fig. 4.18a) mostra baixos valores sobre o Atlântico Equatorial e parte do Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Semelhante aos dias

anteriores, a área de precipitação convectiva às 12:00 TMG (Fig. 4.18b) também é menor neste dia.

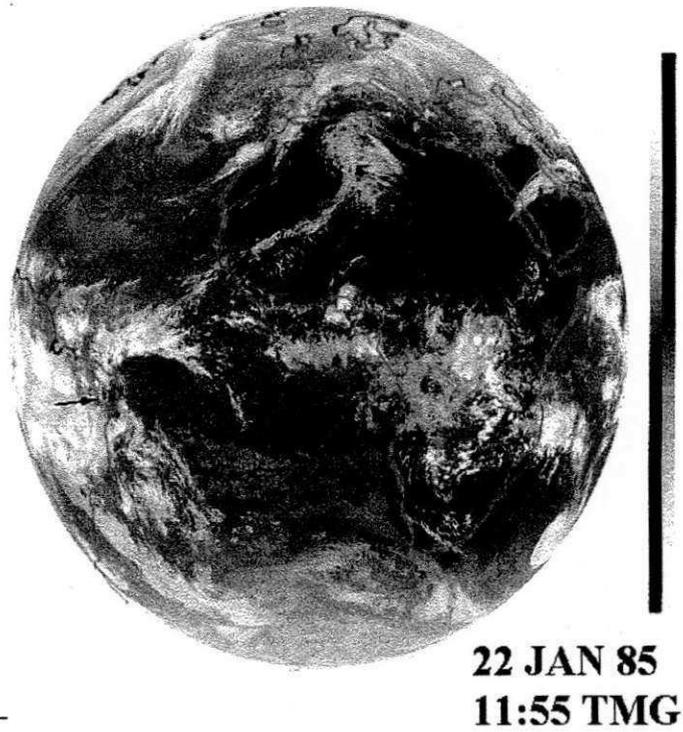
O campo do movimento vertical integrado para os dois horários (Fig. 4.18c,d) mostra movimentos descendentes fracos sobre quase todo o Brasil e área oceânica adjacente.

No que diz respeito a chuva observada, a Figura 4.1 mostra, para os dias 22 e 23, valores de precipitação média acima de 15 mm na Paraíba, em torno de 10mm no Ceará e Rio Grande do Norte, e abaixo de 10 mm em Pernambuco.

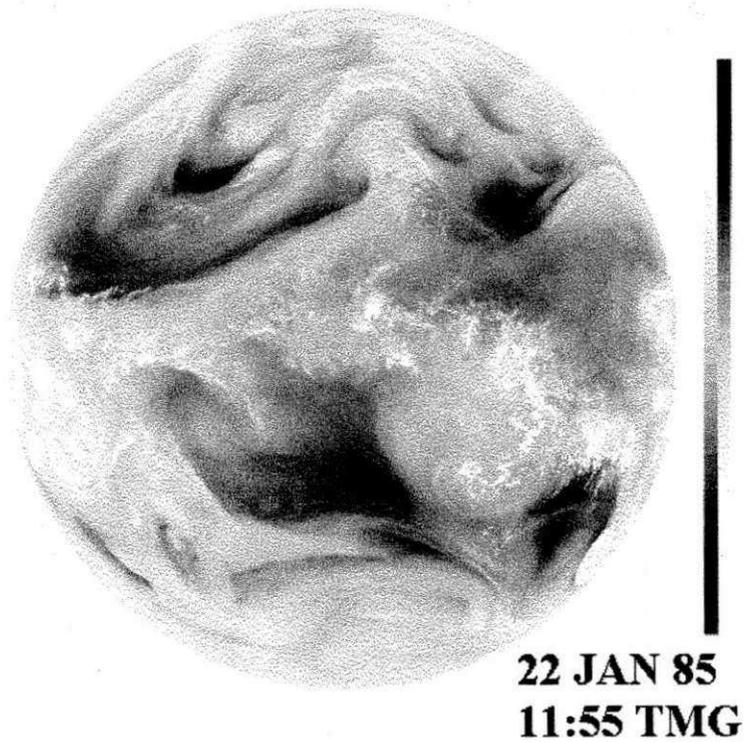
Os perfis verticais das temperaturas potenciais (Fig. 4.19a) mostram a presença de duas inversões do tipo subsidência, uma na baixa e outra na média troposfera. O perfil de  $\theta_e$  evidencia uma atmosfera convectivamente instável entre a superfície e a base da primeira inversão e entre o topo da primeira e a base da segunda, sendo a instabilidade consideravelmente maior abaixo da primeira inversão. Os perfis também mostram que a atmosfera está menos úmida neste dia em comparação com o dia 18 (Fig. 4.10a).

Nos perfis verticais das componentes do vento (Fig. 4.19b) notam-se ventos de fracos a moderados (primeiro quadrante) na baixa e média troposfera e um máximo de intensidade do vento (segundo quadrante) na alta troposfera. A comparação destes perfis com os do dia 18 (Fig. 4.10b) evidencia o máximo mais intenso deste dia.

É importante observar ainda que o máximo deste dia encontra correspondência na localização e na direção do vento vista na área de máxima intensidade identificada a oeste do centro do VCAN no campo do vento em 200 hPa (Fig. 4.16a). A direção vista no campo do vento em 850 hPa (Fig. 4.16b) também está de acordo com os perfis, já que a região de Petrolina está sob a influência de ventos de nordeste associados ao anticiclone subtropical do Atlântico Sul.



(a)



(b)

Fig. 4.15 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 22 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (Fonte das imagens: ESA)

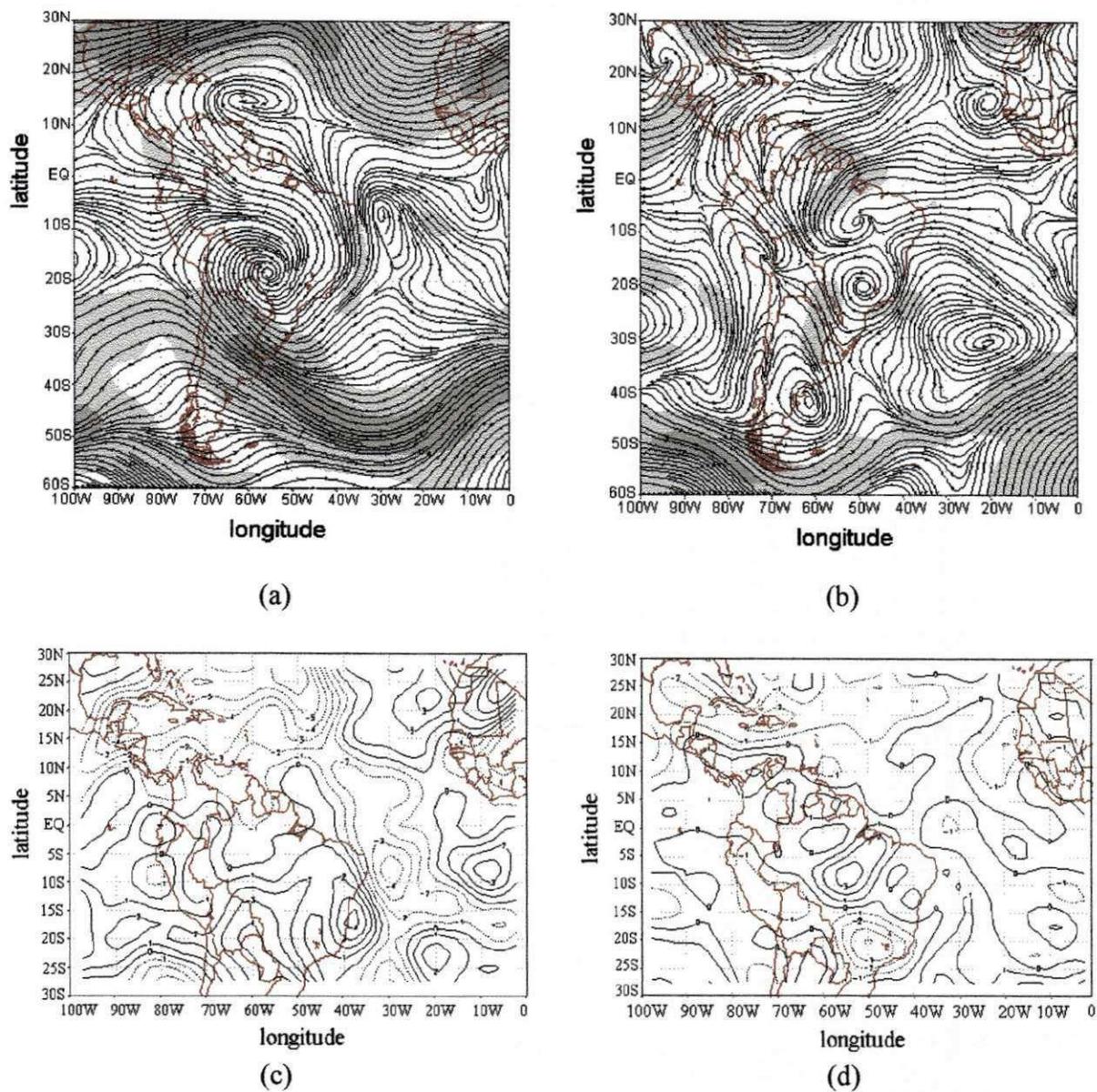


Fig. 4.16 – Análises para o dia 22 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

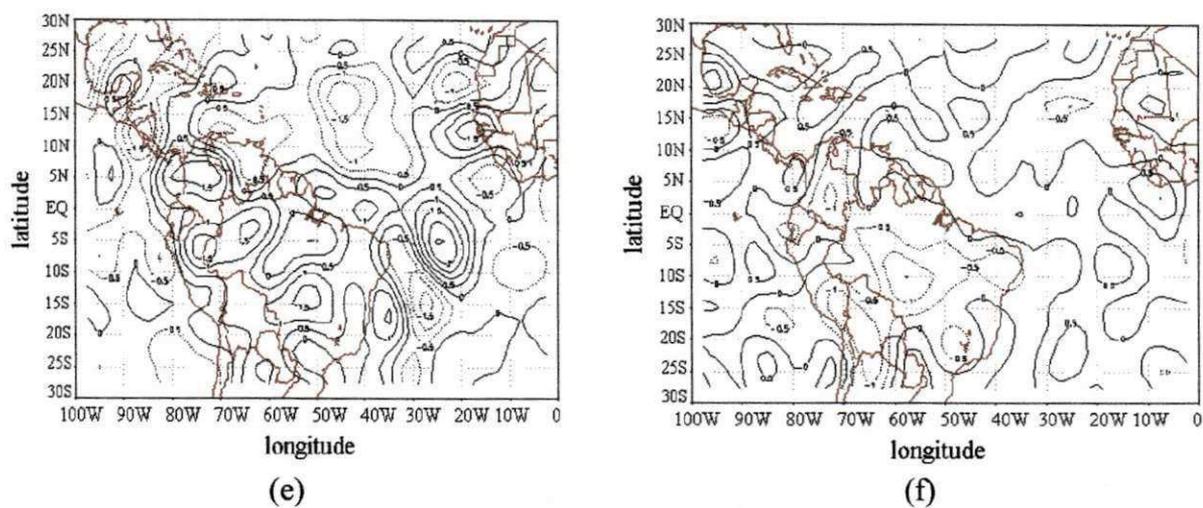


Fig. 4.16 – conclusão

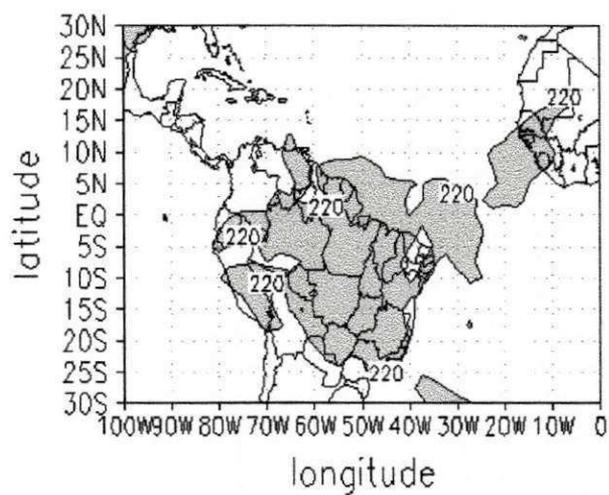


Fig. 4.17 - Campo da radiação de ondas longas para o dia 22 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG. As áreas sombreadas correspondem a regiões com radiação de ondas longas  $\leq 220 \text{ Wm}^{-2}$ . (Fonte dos dados: NCAR\CPTEC)

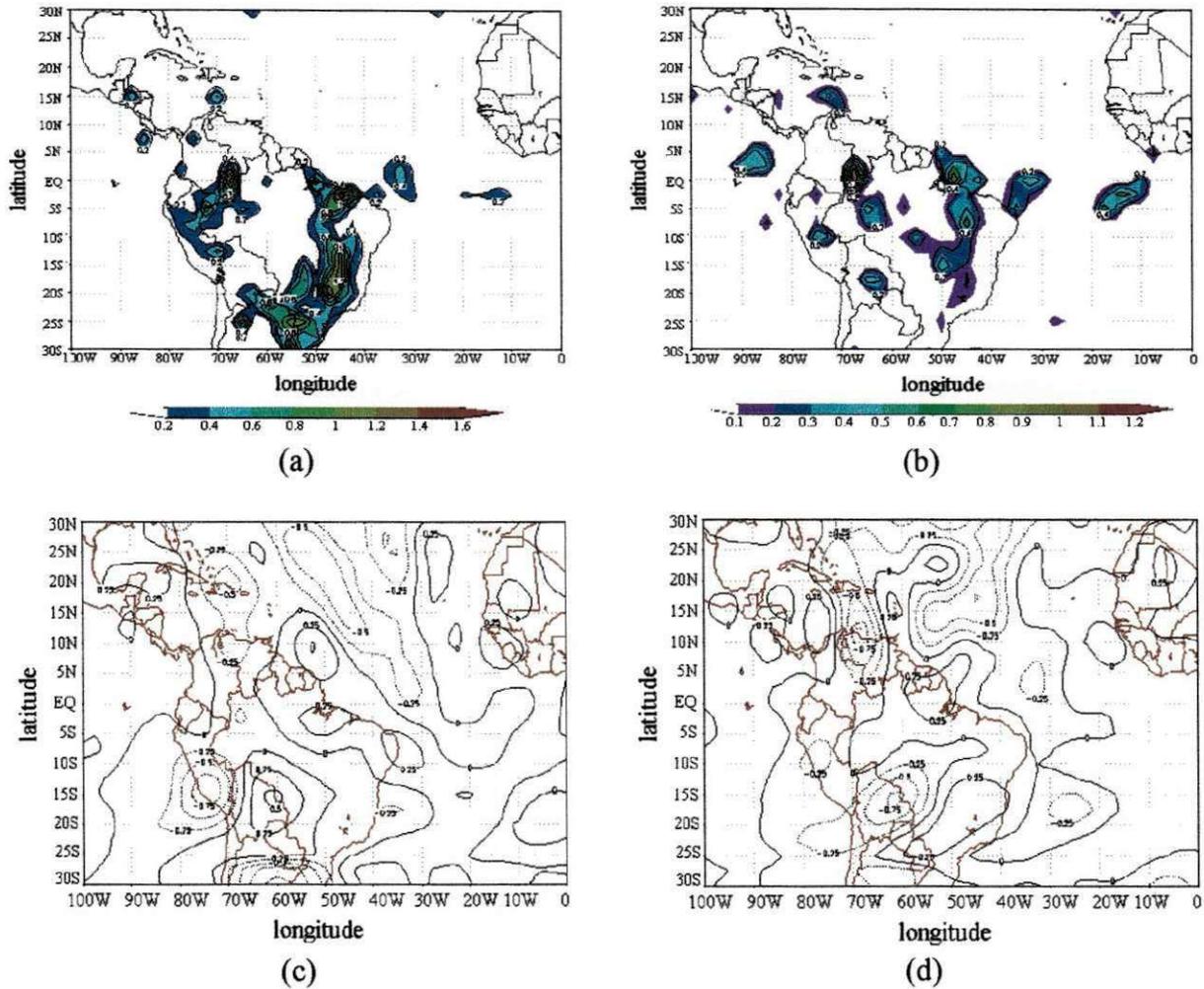


Fig. 4.18 - Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 22 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP\ECMWF\CPTec)

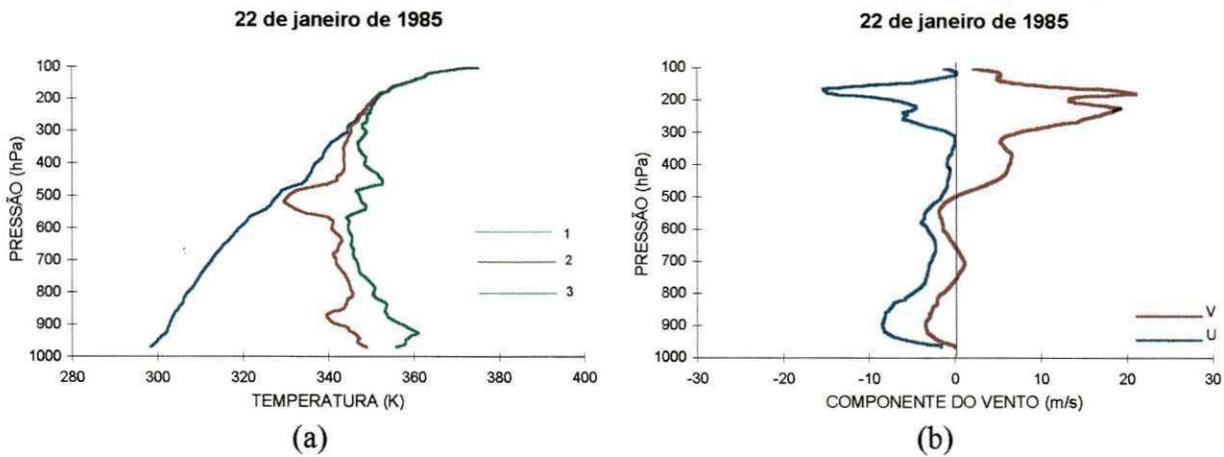


Fig. 4.19 – Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) no dia 22 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte das radiossondagens: IAE/CTA)

#### 4.2.5 – Dia 24 de janeiro de 1985

A imagem de satélite deste dia (Fig. 4.20) é consideravelmente diferente em comparação com a do dia 22 (Fig. 4.15). Verifica-se um aumento na área de nebulosidade sobre todo o Nordeste e Sudeste do Brasil. É possível notar a presença de convecção profunda organizada, o que sugere a existência de sistemas convectivos de mesoescala sobre essas regiões. Sua presença sobre o Nordeste é confirmada pelos extensos campos de precipitação observados via radar (Fig. 4.23) discutidos posteriormente. Também houve aumento de nebulosidade convectiva sobre a porção leste do Atlântico Norte, entre a América do Sul e a África. Nota-se ainda na imagem, o sistema frontal bem definido localizado em latitudes médias e altas sobre o Atlântico Sul, cuja banda frontal se estende desde o Sudeste do Brasil. Por outro lado, o arco de nebulosidade situado sobre o Nordeste e região oceânica adjacente está mais desorganizado neste dia.

O campo do vento em 200 hPa (Fig. 4.21a) mostra o cavado do Nordeste com grande amplitude e um aumento na área ocupada pelo anticiclone da Bolívia. Tal aumento é provocado pelo deslocamento para sul do anticiclone situado sobre o Pacífico Sul. Uma circulação ciclônica também é vista na posição por ele ocupada no dia 22 (Fig. 4.16a).

Outra característica importante deste campo é a bifurcação no jato subtropical na região da América do Sul, com um ramo que se estende sobre quase todo o litoral leste do Nordeste e região oceânica adjacente (Anjos, 1995). No hemisfério norte, são notáveis o deslocamento para leste do anticiclone e a grande amplificação do cavado de latitudes médias. No campo da vorticidade em altos níveis (Fig. 4.21c) as mudanças mais importantes ocorrem sobre o Oceano Atlântico: o deslocamento para sul e a pequena intensificação do núcleo de vorticidade ciclônica associado ao cavado do Nordeste e o notável aumento na intensidade e extensão meridional do centro de vorticidade ciclônica associado ao cavado de latitudes médias do hemisfério norte.

Os campos do vento sugerem que a amplificação desse cavado provoca o deslocamento para sul do núcleo ciclônico associado ao cavado do Nordeste. O campo da divergência em altos níveis (Fig. 4.21e) também mostra grandes alterações devido à intensificação dos centros de convergência/divergência situados ao norte do Brasil e o enfraquecimento dos núcleos situados a leste do Nordeste, na área do cavado. Entretanto há uma área de divergência em altos níveis na região central do Brasil que se estende até a parte oeste do Nordeste.

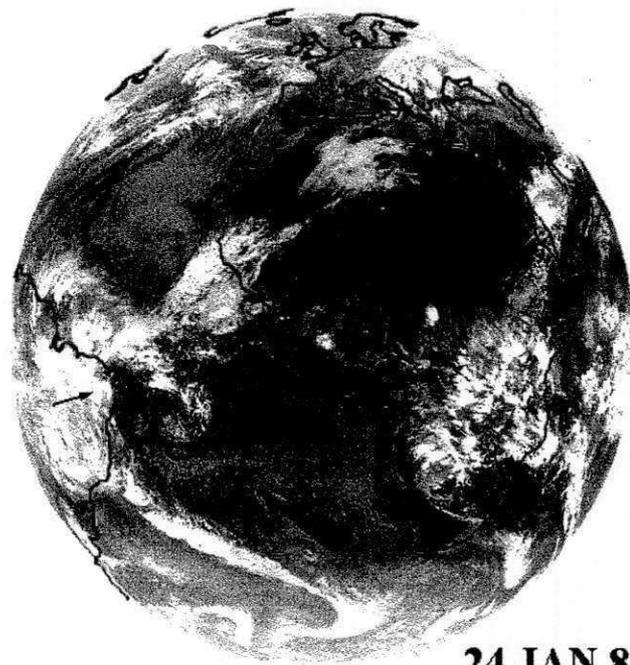
No campo do vento em 850 hPa (Fig. 4.21b) também são vistas profundas alterações. O ciclone situado sobre o Brasil e o cavado de latitudes médias estão alinhados segundo um eixo orientado na direção noroeste-sudeste. Esse cavado provoca um considerável deslocamento para leste do anticiclone subtropical do Atlântico Sul. O anticiclone situado à sua retaguarda também aparece deslocado para leste. No hemisfério norte, nota-se o anticiclone em baixos níveis a leste da posição ocupada no dia 22 (Fig. 4.16b).

No campo da vorticidade em baixos níveis (Fig. 4.21d) as mudanças mais significativas são o aumento na área ocupada pelo núcleo de vorticidade ciclônica situado sobre o Brasil e a presença de um intenso núcleo anticiclônico ao sul desse último. No campo da divergência em baixos níveis (Fig. 4.21f) assinala-se o surgimento da área de forte divergência em torno de 30°S, 50°W. No centro do Brasil ainda há convergência em baixos níveis.

A ausência de informações sobre radiação de onda longa em quase toda a faixa equatorial impede que o campo de ROL seja analisado para este dia. Por outro lado, no campo da precipitação convectiva para o horário das 0:00 TMG (Fig. 4.22a) observa-se áreas com atividade convectiva sobre o oeste e sul do Nordeste. Como nos outros dias, a área e intensidade da precipitação convectiva às 0:00 TMG é maior do que no horário das 12:00 TMG. Isso deve-se ao crescimento das nuvens convectivas durante o dia, que apresentam máxima intensidade no fim da tarde e à noite (21:00 HL) e mínima intensidade no começo da manhã (09:00 HL).

Observa-se que as áreas com precipitação convectiva para os dois horários (Fig. 4.22a,b) diferem das áreas com movimentos ascendentes (Fig. 4.22c,d), exceto para a região situada ao norte do Nordeste do Brasil, onde há um forte núcleo ascendente às 0:00 TMG. Vale assinalar que o campo da divergência em 200 hPa para as 12:00 TMG deste dia (Fig. 4.21e) mostra um forte núcleo de divergência próximo da área de forte movimento ascendente às 0:00 TMG. A precipitação observada via pluviômetro (Fig. 4.1) mostra que nos dias 24 e 25 quase não houve chuva no Rio Grande do Norte e que a Paraíba tem média em torno de 5 mm. Os valores mais elevados ocorrem no Ceará, em torno de 10 mm, e em Pernambuco, onde o valor de 17 mm do dia 25 é o mais elevado do mês.

Nos perfis das temperaturas potenciais (Fig. 4.23a) observa-se a proximidade entre as curvas de  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$  o que mostra o alto teor de umidade em toda a troposfera. O perfil de  $\theta_e$  evidencia uma atmosfera convectivamente instável até o nível de 800 hPa, aproximadamente, e convectivamente neutra acima desse nível. Os perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento (Fig. 4.23b) mostram ventos de fracos a moderados (predominantemente do primeiro quadrante) na baixa e média troposfera e intensos (segundo quadrante) na alta troposfera, com máximos de intensidade acima de 200 hPa. A direção sudeste vista no campo do vento em 200 hPa (Fig. 4.21a) concorda com os perfis. A estrutura de pequena e mesoescala das áreas de precipitação existentes na região de Petrolina neste dia é exemplificada por três "Plan Position Indicators" (PPI's) obtidos pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina (Fig. 4.24). Eles mostram extensas áreas disformes de precipitação, além de ecos isolados (Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 1999).



**24 JAN 85  
11:55 TMG**

(a)



**24 JAN 85  
11:55 TMG**

(b)

Fig. 4.20 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para o dia 24 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da fecha em (a) assinala a localização aproximada de Petrolina-PE ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ). (Fonte das imagens: ESA)

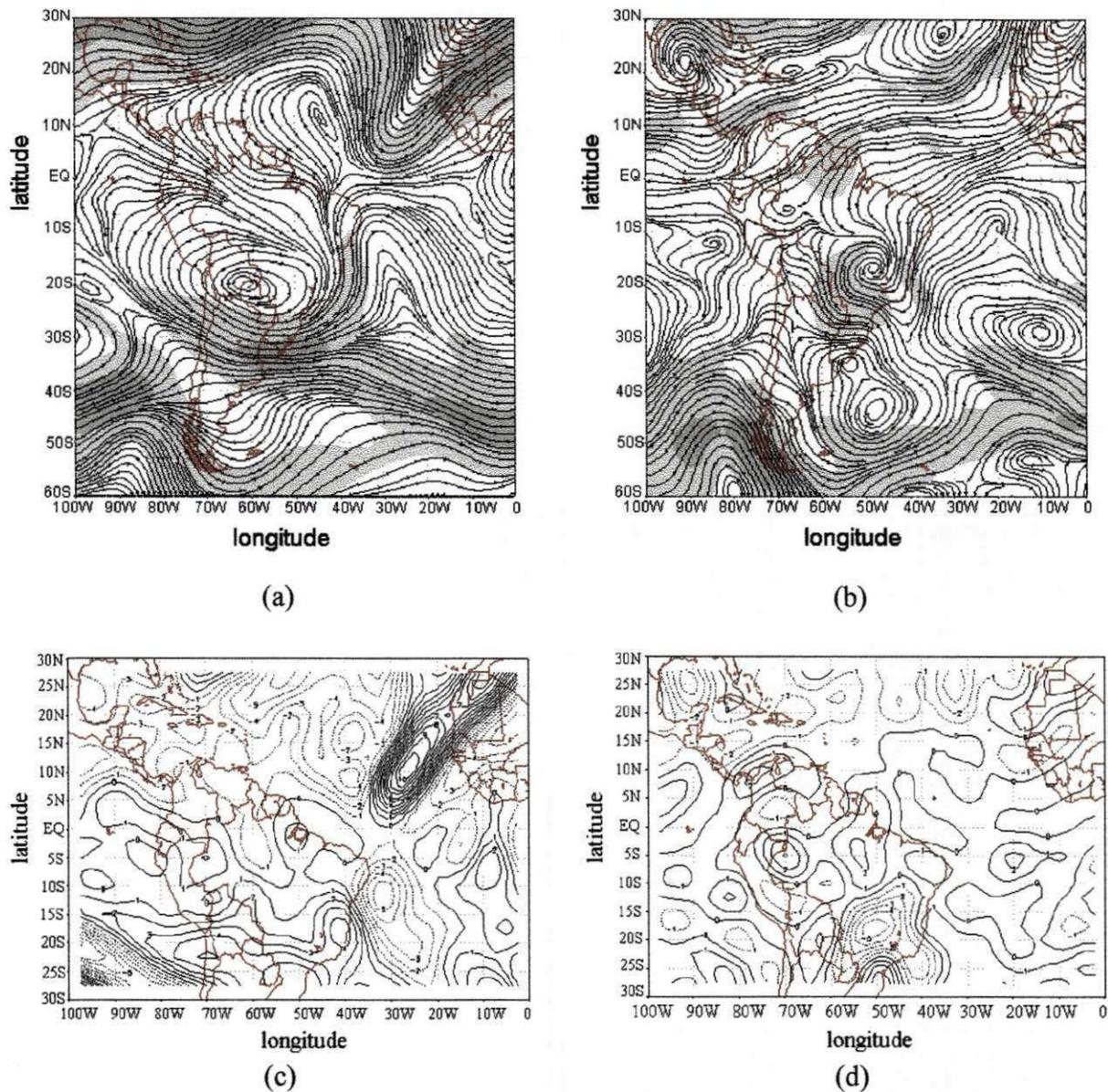


Fig. 4.21 – Análises para o dia 22 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG, nos níveis de 200 hPa (painéis da esquerda) e 850 hPa (painéis da direita): (a, b) linhas de corrente e intensidade do vento, (c, d) vorticidade relativa e (e, f) divergência horizontal. O intervalo de análise da vorticidade relativa (divergência horizontal) é de  $1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). As áreas sombreadas mais claras nos campos do vento correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$ . Nas demais análises as linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

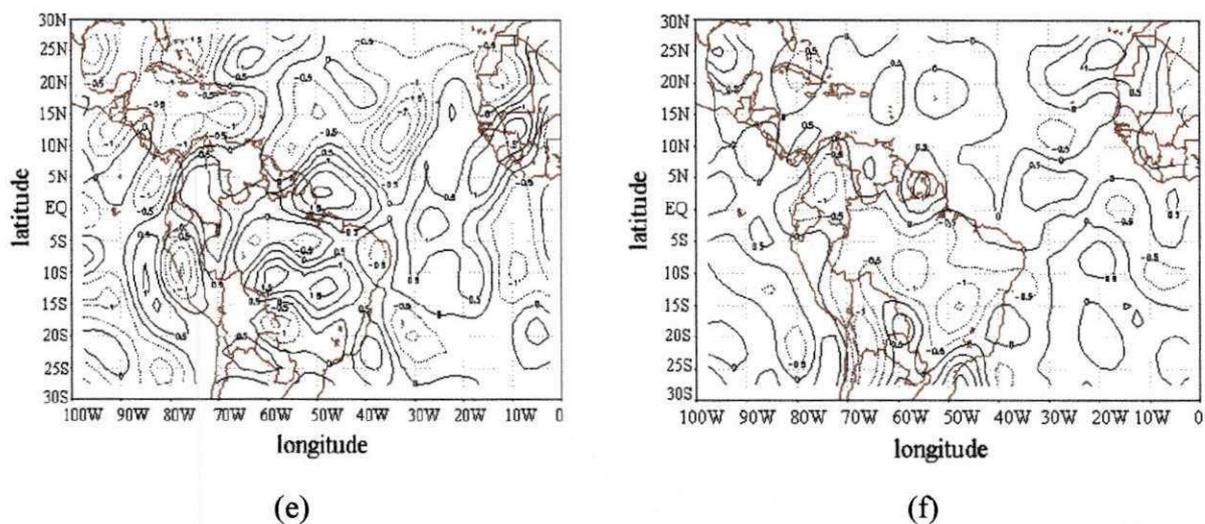


Fig. 4.21 – conclusão

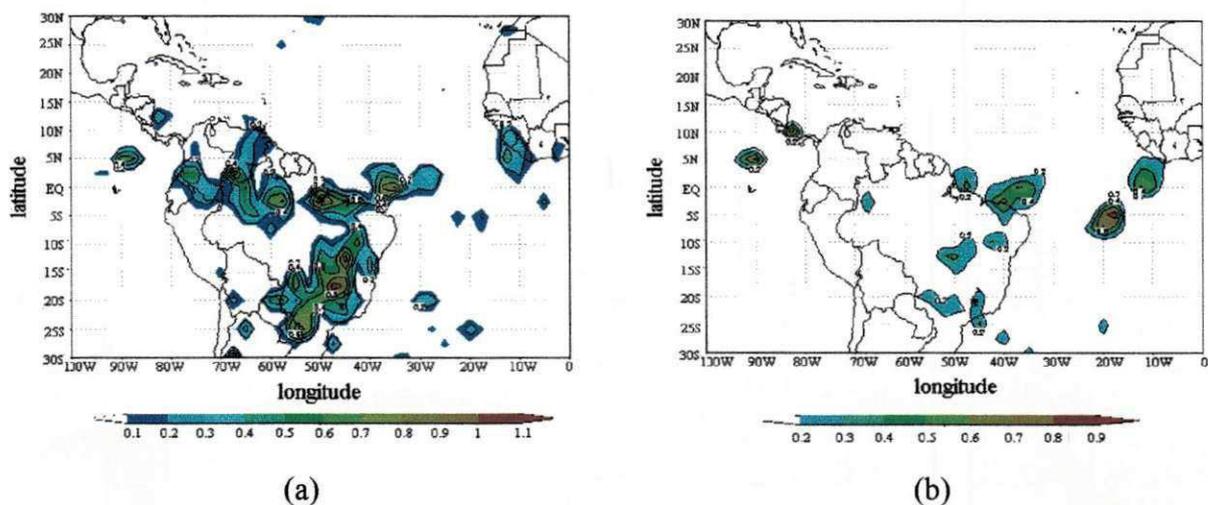


Fig. 4.22 - Análises da precipitação convectiva (mm) (a, b) e movimento vertical integrado (c, d) para o dia 24 de janeiro de 1985 às 0:00 TMG (painéis da esquerda) e 12:00 TMG (painéis da direita). Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). O intervalo de análise do movimento vertical integrado é de  $0,25 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando movimento descendente (ascendente). (Fonte dos dados: NCEP\ECMWF\CPTEC)

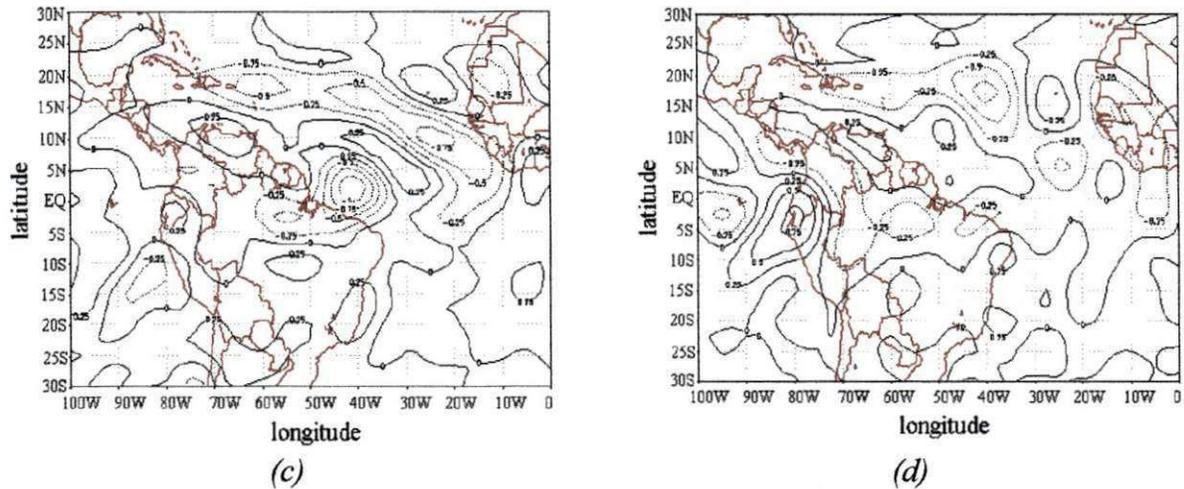


Fig. 4.22 – conclusão

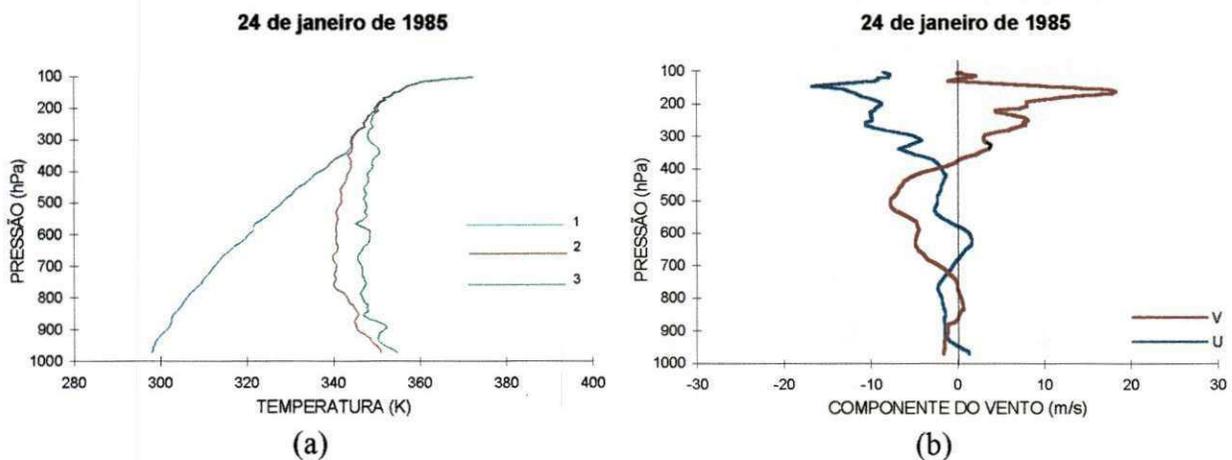


Fig. 4.23 – Perfis verticais obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina ( $9^{\circ}24'S$ ,  $40^{\circ}29'W$ ) no dia 24 de janeiro de 1985 às 12:00 TMG: (a) temperaturas potencial (1), potencial equivalente (2) e potencial equivalente de saturação (3) (K) e (b) componentes zonal (u) e meridional (v) do vento ( $ms^{-1}$ ). Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte das radiossondagens; IAE/CTA)

A comparação entre os três PPI's sugere um lento deslocamento e/ou reorganização das áreas de precipitação no sentido nordeste-sudoeste ao longo do dia. Sua extensão e seu tempo de vida longo levaram Silva Aragão et al. (1999) a sugerir que elas deveriam estar associadas a sistemas convectivos de mesoescala formados na área de atuação de cavados de grande amplitude ou vórtices ciclônicos em altos níveis, sob

condições favoráveis de convergência de umidade e movimento vertical ascendente em grande escala.

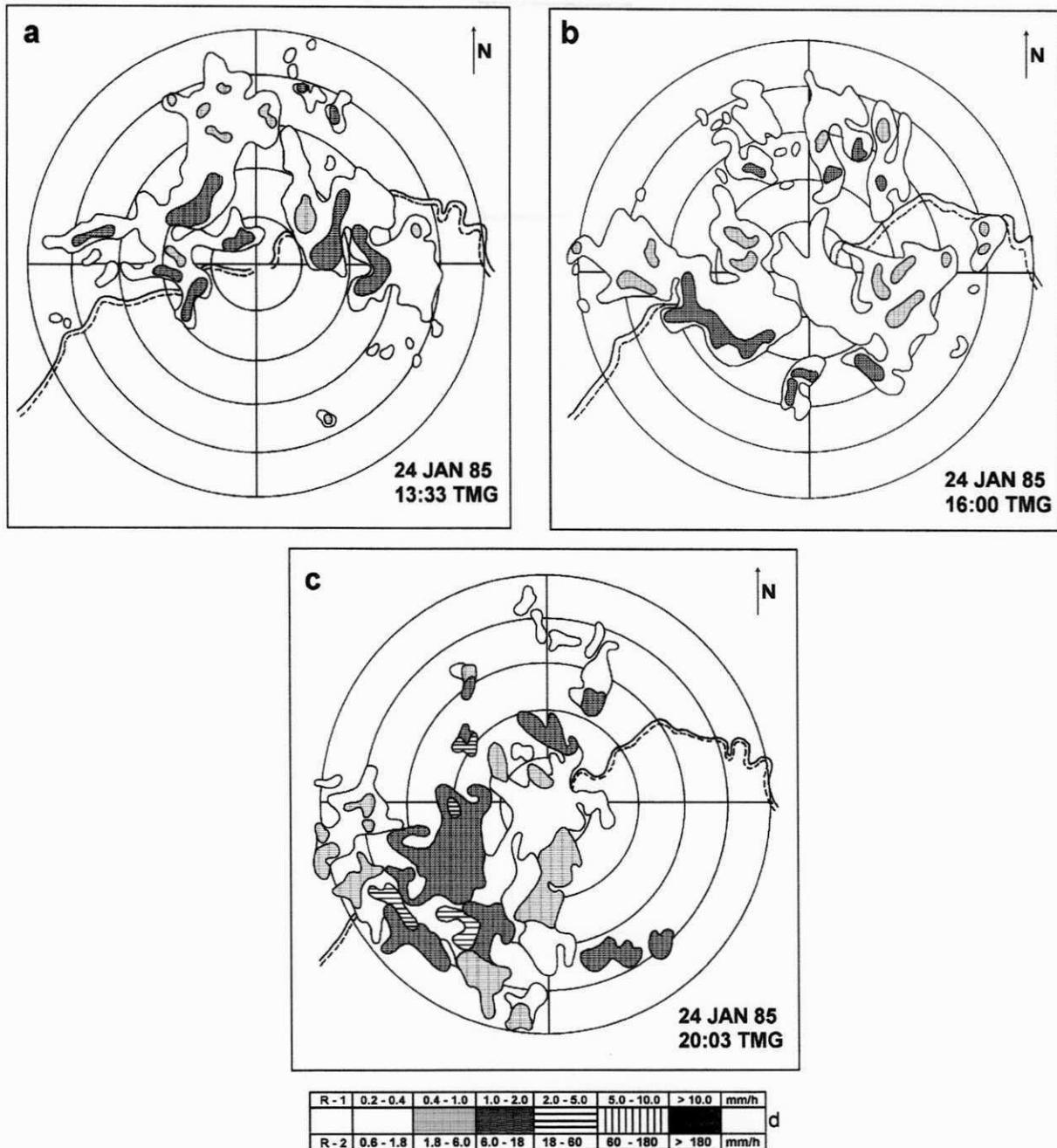


Fig. 4.24 – PPI's obtidos pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE no dia 24 de janeiro de 1985 às: (a) 13:33 TMG, (b) 16:00 TMG e (c) 20:03 TMG. A convenção utilizada para a taxa de precipitação (mm/h) é vista em (d). Os PPI's obtidos, tem sua escala de intensidade de chuva igual a 2 (R-2) e elevação da antena de  $0,1^\circ$ . A distância entre as circunferências concêntricas ao local do radar é de 50 km. A seta vista no canto superior direito dos PPI's indica o norte verdadeiro (N). As linhas sinuosas (contínua e tracejada) representam o curso do Rio São Francisco. O PPI em (b) foi adaptado de Araújo (1996) e Silva Aragão et al. (1996a). (Fonte dos PPI's: IAE\CTA)

### 4.3 – Agentes externos à atmosfera que favoreceram as chuvas extremas ocorridas em janeiro de 1985

Além da existência de vários sistemas meteorológicos, como sistemas frontais, ZCAS, VCAN, anticiclone da Bolívia e sistemas convectivos de mesoescala, durante o período estudado, no mês de janeiro de 1985 outros fatores contribuíram para a precipitação sobre o Nordeste. Dois deles são discutidos neste tópico: anomalias da temperatura da superfície do mar e a umidade do solo a 1 m de profundidade.

As anomalias da TSM semanal mostradas correspondem aos períodos de 3 a 9 e 10 a 16 de janeiro de 1985 (Fig. 4.25a,b). Observa-se nesses campos anomalias negativas na área do Oceano Pacífico entre as latitudes de 5°N e 5°S e um máximo de anomalias positivas próximo à costa do Chile. As anomalias negativas caracterizam o fenômeno La Niña que favorece as chuvas sobre o Nordeste do Brasil.

Na área tropical do Oceano Atlântico tem-se uma configuração de dipolo, com águas anormalmente quentes no Atlântico Sul e anormalmente frias no Atlântico Norte (Moura e Shukla, 1981). Essa configuração de dipolo, juntamente com a presença de La Niña, favorecem a precipitação sobre a Região Nordeste devido a maior frequência de ocorrência e/ou maior tempo de permanência dos sistemas meteorológicos associados à ocorrência de chuva nessa região (Ramirez, 1996).

A Figura 4.26 ilustra a umidade do solo a 1 metro de profundidade para o dia 22 de janeiro de 1985 às 0:00 e 12:00 TMG. Observa-se nesses campos duas áreas de máxima umidade: uma situada no noroeste da Amazônia e outra que se estende do noroeste do Nordeste até o Sudeste do Brasil.

Vale assinalar que essa última área engloba todo o Nordeste nos outros dias do período estudado, sendo essa a única diferença importante em comparação com os campos mostrados na Figura 4.26. A presença constante dessas duas áreas sugere que a umidade do solo é um dos fatores que favorece na ocorrência de chuva no semi-árido nordestino devido a realimentação dos sistemas de meso e grande escalas através do transporte de umidade para a atmosfera associado aos processos de evaporação e evapotranspiração.

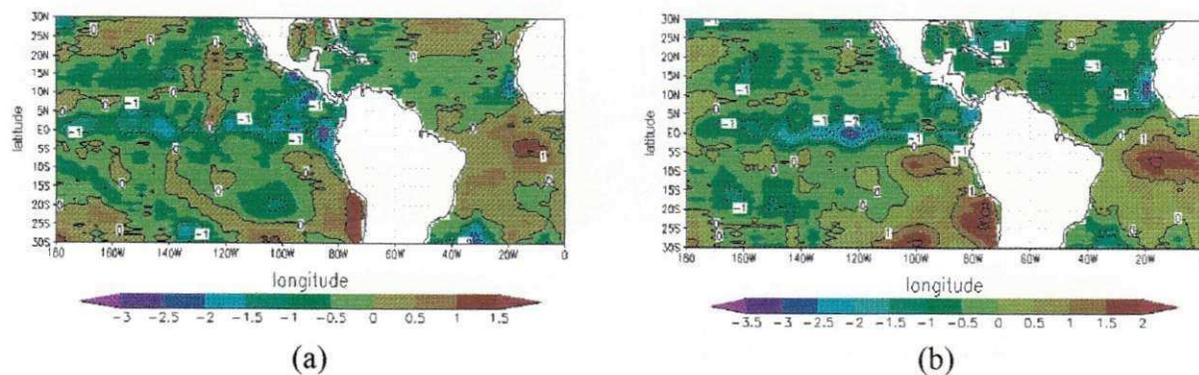


Fig. 4.25 - Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) (K) para o período de: (a) 3 a 9 de janeiro e (b) 10 a 16 de janeiro de 1985. Observe que a escala de cores em (a) difere daquela em (b). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

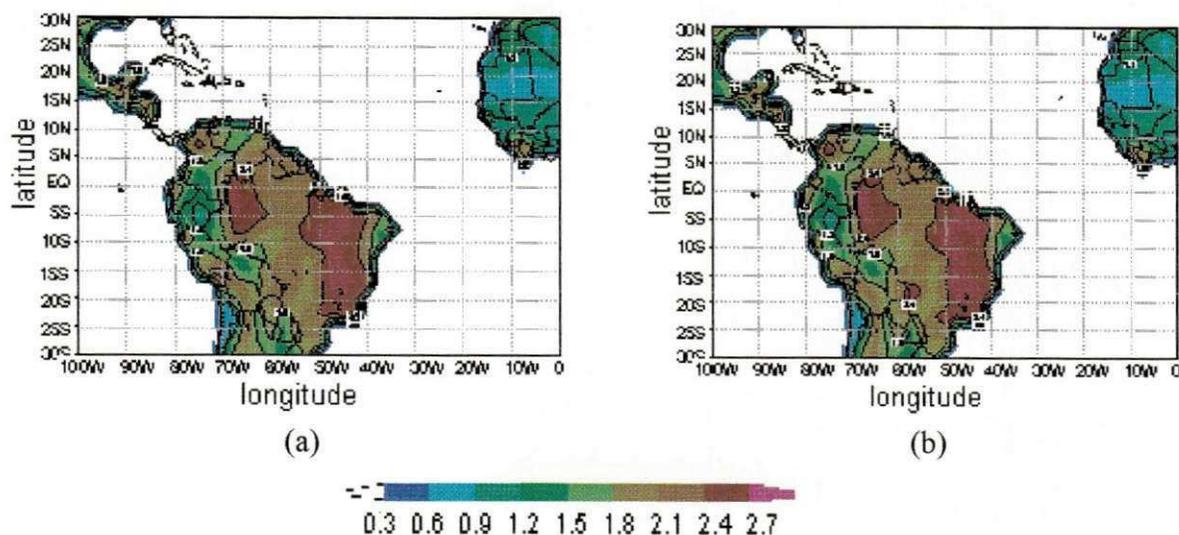


Fig. 4.26 - Umidade do solo a 1 m de profundidade ( $\text{mm H}_2\text{O}$ ) para o dia 22 de janeiro de 1985 às: (a) 0:00 TMG e (b) 12:00. (Fonte dos dados: ECMWF\CPTEC)

#### 4.4 – Sumário

A ocorrência das chuvas extremas sobre o semi-árido do Nordeste, no mês de janeiro de 1985, mostraram uma ligação direta com a atuação do par anticiclone da Bolívia-cavado do Nordeste\VCAN, ZCAS e ZCIT, como pode ser visto nas imagens de satélite. Os maiores totais de chuva ocorreram nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, o que vem a confirmar a grande variabilidade temporal e espacial da precipitação, discutida anteriormente no capítulo 3.

A presença do par AB-cavado do Nordeste\VCAN e de outros sistemas meteorológicos como por exemplo da ZCIT e ZCAS proporcionou céu totalmente encoberto na maioria dos dias estudados. As análises do escoamento em 200 hPa mostraram a contribuição do alinhamento do cavado de latitudes médias como o cavado do Nordeste\VCAN na intensificação deste último, bem como o posicionamento do AB mais para leste em relação à climatologia. É interessante notar nas imagens de satélite que a nebulosidade associada aos sistemas de grande escala confunde-se com aquela associada aos sistemas convectivos de mesoescala que atuaram mais nitidamente nos dias 18 e 24. A nebulosidade convectiva organizada em mesoescala vista nas imagens de satélite dos dias 18 e 24 foi confirmada pela precipitação intensa nos campos de ecos do radar meteorológicos banda-C de Petrolina-PE.

Durante o período estudado houve divergência em altos níveis e convergência em baixos níveis na maior parte do Brasil, consistente com a atuação do AB, e convergência em altos níveis na região do VCAN. Vorticidade anticiclônica associada ao anticiclone da Bolívia e ciclônica associada ao VCAN também foram observadas.

No hemisfério norte, verifica-se no período de 15 a 25 de janeiro de 1985 a presença de um cavado no nível de 200 hPa sobre o Atlântico, com um deslocamento lento para leste, apresentando grande intensificação no final do período. Este sistema também pode ser visto no campo da vorticidade relativa na forma de uma área ciclônica. A presença deste cavado pode ter contribuído para a intensificação do VCAN através da advecção de ar frio para o centro do vórtice, transformação de energia potencial em cinética, que poderá ser investigado em trabalhos futuros.

É interessante assinalar ainda a presença dos anticiclones subtropicais do Pacífico e Atlântico Sul e de uma circulação anticiclônica a noroeste da América do Sul em 850 hPa. Essa última estende-se até os altos níveis situando-se ao norte da América do Sul, como foi identificado também por Ramirez (1996) e Anjos (1995). Esses sistemas estão associados a núcleos de vorticidade anticiclônica e de divergência, vistos em todos os dias analisados.

Por outro lado, os campos de precipitação convectiva da reanálises do ECMWF, indicaram que a presença de convecção profunda foi maior no horário das 0:00 TMG, coerente com os campos do movimento vertical, os quais mostraram extensas áreas de movimentos ascendentes sobre o Norte, parte do Nordeste e Sudeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes. Os campos de ROL apresentaram configurações consistentes com as imagens de satélite evidenciando a influência da ZCAS, ZCIT e VCAN. Em alguns dias foi possível notar nas imagens de satélite a presença de aglomerados convectivos de mesoescala cuja precipitação associada foi detectada pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina.

Outro aspecto importante no estudo de caso foi a ocorrência de La Niña e do dipolo de TSM no Atlântico favorável à precipitação no Nordeste. Esses fenômenos, juntamente com a presença constante de uma área de máxima umidade do solo que se estende desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil, tiveram um papel importante na formação, manutenção e intensificação dos sistemas meteorológicos que atuaram durante o período de 15 a 25 de janeiro de 1985.

## **CAPÍTULO 5**

### **CLIMATOLOGIA DE JANEIROS SECOS E CHUVOSOS, MESES ANTERIORES (OND) E POSTERIORES (FMAM)**

Neste capítulo são discutidos os campos mensais das variáveis atmosféricas correspondendo à média dos três anos em que janeiro classificou-se como seco (1984, 1987 e 1990), composto seco e à média dos três anos em que janeiro classificou-se como janeiro chuvoso (1979, 1980 e 1985), composto chuvoso. Os campos foram analisados nos níveis de 850 e 200 hPa e horário das 0:00 TMG. Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar foram mostrados com o intuito de verificar a existência de algum agente externo à atmosfera que favorecesse ou inibisse a precipitação nos dois compostos. No caso destes últimos a discussão foi feita separadamente para os anos de 1979, 1985 (anos chuvosos) e 1984, 1990 (anos secos), anos esses que apresentaram padrões mais significantes de anomalias em comparação com os campos das anomalias dos demais anos extremos analisados nesse trabalho.

A média dos janeiros secos e chuvosos, meses anteriores e posteriores visou identificar características dominantes distintas nas condições atmosféricas dessas duas situações extremas (chuvoso/seco), que possibilitassem um prognóstico qualitativo do comportamento geral do regime pluviométrico no semi-árido do Nordeste do Brasil nos meses de janeiro a maio. Objetivando diagnosticar o comportamento da precipitação em janeiro e meses posteriores analisou-se inicialmente, os compostos de janeiro a maio. Vale ressaltar que os compostos seco e chuvoso foi obtido calculando-se a média dos desvios normalizados de precipitação dos três anos extremos (secos/chuvosos) para a região semi-árida de cada estado do Nordeste.

### 5.1 – Análise dos desvios de precipitação em janeiro e meses posteriores (FMAM)

No composto seco (Fig. 5.1) observou-se que em janeiro e fevereiro os desvios negativos foram maiores que  $-25\%$  em todos os estados, excetuando-se o estado do Piauí e Rio Grande do Norte. No mês de março os desvios foram positivos (a maioria próximos de zero) em todos os estados, à exceção de Alagoas e Bahia que tiveram desvio negativo em torno de  $-15\%$  e  $-4\%$ , respectivamente. No mês de abril os desvios foram positivos em todos os estados, variando de pouco acima de zero a  $40\%$ . Ressalta-se que os desvios positivos estiveram próximo de zero principalmente no Rio Grande do Norte e Alagoas.

Os maiores desvios positivos foram vistos no Piauí e Pernambuco, com valor de  $63\%$  e  $84\%$ , respectivamente. No mês de maio os desvios foram negativos (próximo de zero) nos estados do Piauí, Ceará, Alagoas e Sergipe e positivos (próximo de zero) nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia, este último com desvio positivo superior a  $25\%$ . Os desvios negativos alcançaram valores próximos de zero ou menores que  $-25\%$ , como é o caso de Alagoas e Sergipe. A análise dos desvios para o composto seco permitiu concluir que, em linhas gerais, janeiro e fevereiro foram secos (desvios menores que  $-25\%$ ), março e abril, em geral, tem precipitação acima da média enquanto que maio apresentou totais pluviométricos abaixo da média na maioria dos estados.

No composto chuvoso (Fig. 5.2) observou-se que em janeiro e fevereiro os desvios normalizados estiveram acima de  $25\%$  em todos os estados, com exceção do Rio Grande do Norte onde em janeiro o desvio positivo ficou em torno de  $10\%$ . No mês de março os desvios foram negativos, embora pequenos no Piauí e Rio Grande do Norte e Bahia e próximos de zero no Ceará e Paraíba, exceto nos estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe onde os desvios foram positivos, embora pequenos, sendo próximo de zero nesse último estado. No mês de abril os desvios foram superiores ou próximo de  $25\%$  em todos os estados, exceto no Ceará e na Bahia, onde os desvios foram negativos e próximos de zero. Em maio o desvio foi positivo apenas no Piauí e Rio Grande do Norte e negativo no Alagoas, Sergipe e Bahia. No Ceará, Paraíba e Pernambuco, os desvios foram próximos a zero.

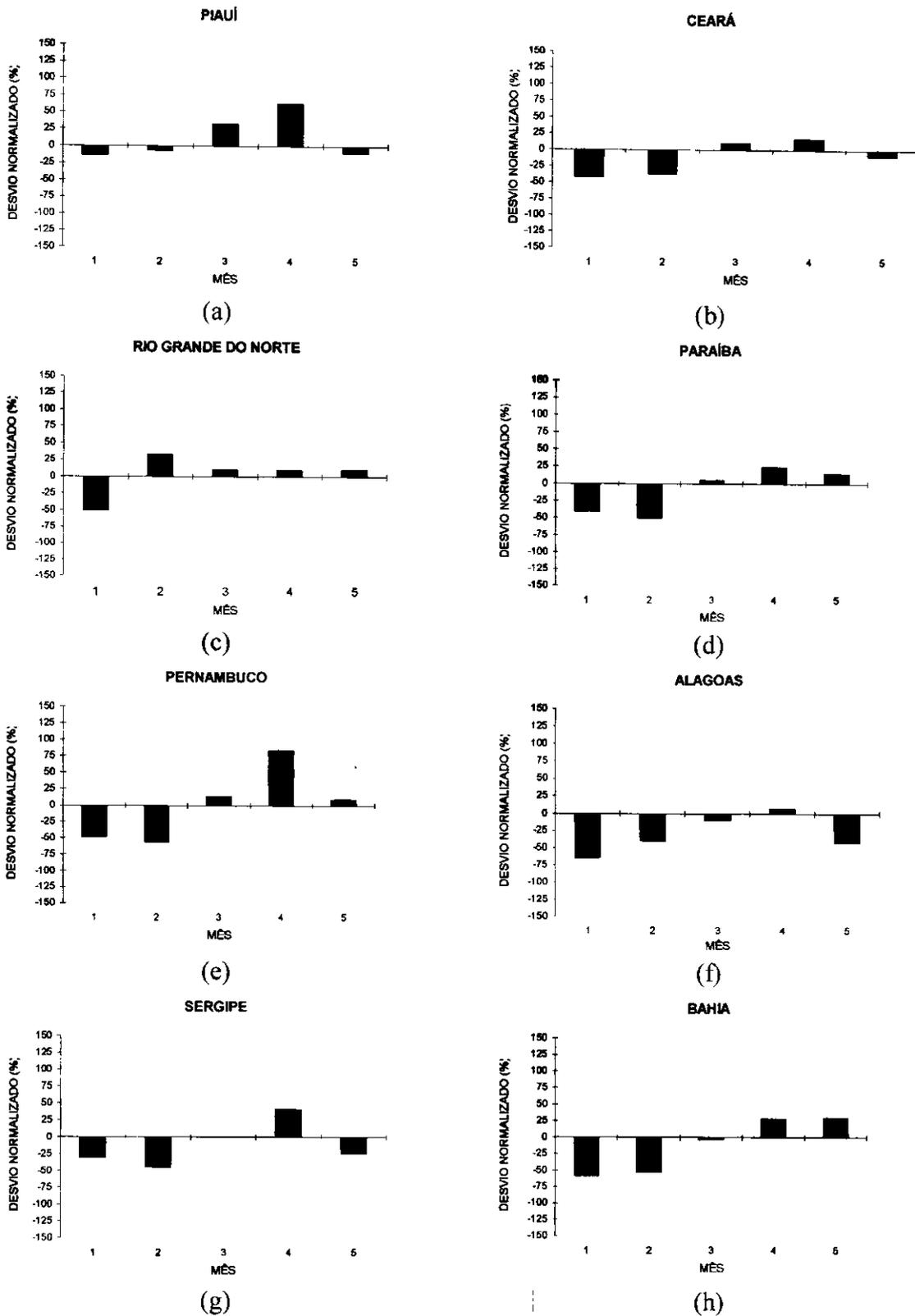


Fig. 5.1 – Série temporal do desvio normalizado de precipitação com respeito à média climatológica para janeiro e meses posteriores (FMAM) do composto seco, na região semi-árida dos estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. (Fonte dos dados: SUDENE\DCA)

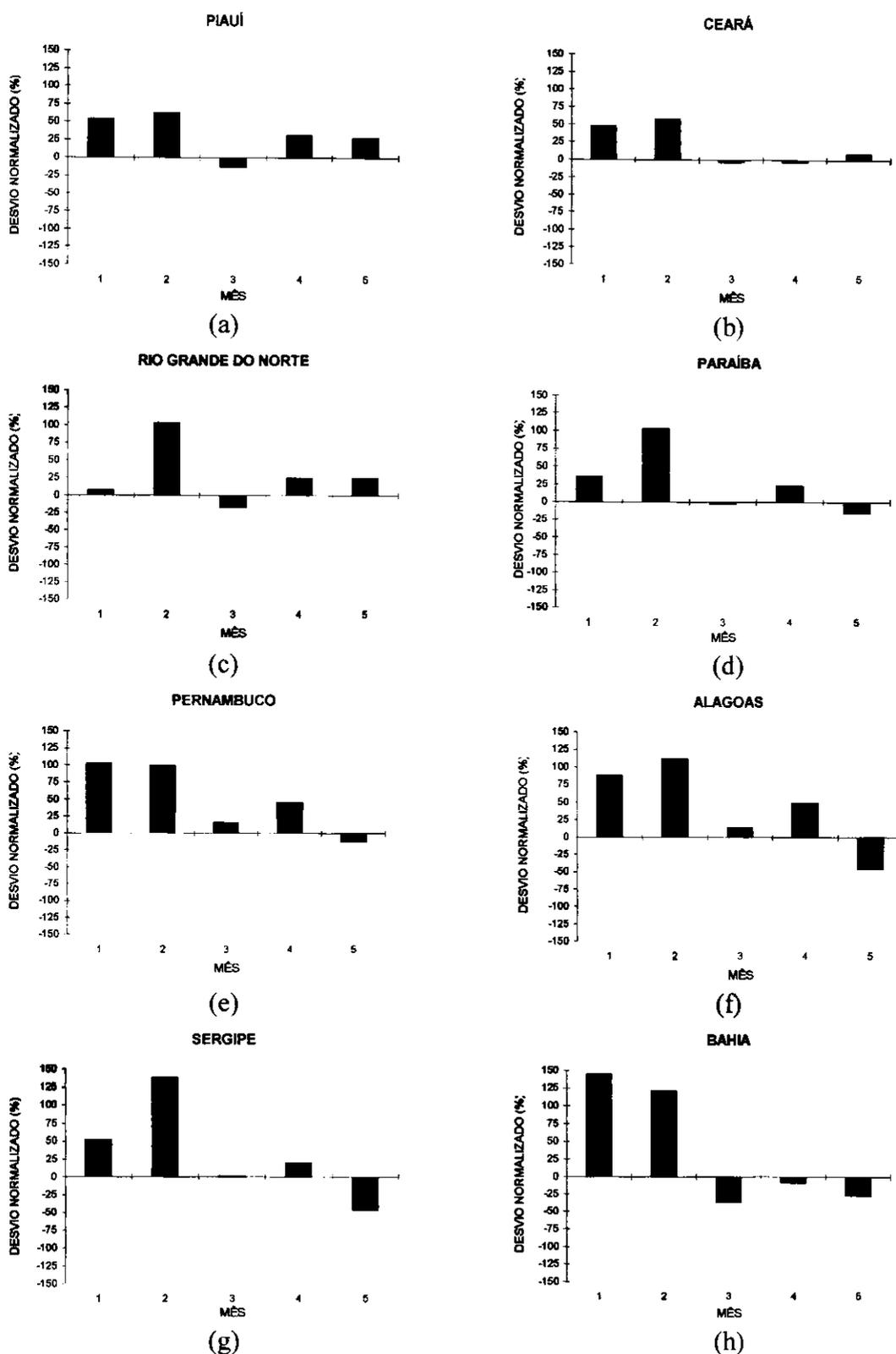


Fig. 5.2 – Série temporal do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica para janeiro e meses posteriores (FMAM) do composto chuvoso, na região semi-árida dos estados de: (a) Piauí, (b) Ceará, (c) Rio Grande do Norte, (d) Paraíba, (e) Pernambuco, (f) Alagoas, (g) Sergipe e (h) Bahia. (Fonte dos dados: SUDENE\DCA)

O conjunto dos desvios para o composto chuvoso permitiu indicar que, em geral, quando janeiro foi chuvoso, fevereiro e abril também foram chuvosos (desvios superiores a 25%), choveu em torno da média em março e o mês de maio foi seco ou teve chuva em torno da média na maioria das estações. Portanto o mês de janeiro sugere ser um bom indicativo para um prognóstico do regime pluviométrico nos meses de fevereiro a maio. Outro aspecto que chamou a atenção no composto chuvoso foi que nos meses de março e maio a precipitação foi muito variável no Nordeste ficando em torno, abaixo ou acima da média.

## **5.2 – Características médias mensais no composto seco**

### **5.2.1 – Análise de janeiro e meses anteriores (OND)**

#### **5.2.1.1 – Circulação atmosférica**

##### *a) nível de 200 hPa*

O escoamento em altos níveis no período de outubro a dezembro (Fig. 5.3a,b,c) mostra a evolução e formação do cavado do Nordeste e da AB. Em janeiro o cavado do Nordeste está bem amplificado com eixo orientado de noroeste-sudeste sobre o litoral do Nordeste e adjacências enquanto que o anticiclone da Bolívia (AB) se apresenta bem definido. Durante o período, há deslocamento do AB para sul desde a Amazônia brasileira até o Paraguai.

O AB em janeiro (Fig. 5.3d) ocupa grande parte da América do Sul e mostra uma associação com o VCAN desprendido sobre o Atlântico Sul, cujo eixo se estende sobre o continente. Nota-se também nos quatro meses a presença de um cavado sobre o Atlântico Norte. É importante assinalar ainda as áreas de máxima intensidade do vento vistas em ambos os hemisférios (Fig. 5.3a,b,c,d).

Os cavados do Atlântico Norte e do Nordeste se fazem presentes no campo da vorticidade relativa (Fig. 5.4b,c,d) sob a forma de áreas ciclônicas separadas pela vorticidade anticiclônica associada ao cisalhamento horizontal no lado equatorial do máximo de intensidade do vento do hemisfério norte.

Nota-se ainda a América do Sul totalmente dominada por vorticidade anticiclônica em outubro e novembro (Fig. 5.4a,b) enquanto que vorticidade ciclônica domina o Norte e Nordeste do Brasil em dezembro e janeiro (Fig. 5.4c,d) devido a amplificação/desprendimento do cavado do Nordeste/VCAN.

O campo da divergência mostra valores positivos (divergência) sobre quase toda a América do Sul de outubro a janeiro (Fig. 5.5a,b) associado ao escoamento anticiclônico presente nesses meses (Fig. 5.3a,b,c,d). O sentido noroeste-sudeste da área de divergência em altos níveis sugere a existência da ZCAS deslocada para sul.

Outra característica importante desses campos é a área de divergência que se estende na direção sudoeste-nordeste desde o Norte-Nordeste do Brasil até o noroeste da África nos meses de outubro a dezembro, associada à ZCIT (Fig. 5.5a,b,c). Ela também aparece em janeiro (Fig. 5.5d), mas com uma interrupção sobre o Atlântico permanecendo ao norte do equador. A localização dessa área de divergência nos quatro meses é semelhante à da vorticidade anticiclônica vista na faixa equatorial nas Figuras 5.4a,b,c,d. Nos meses de outubro e dezembro percebe-se na Figura 5.6a,b,c movimentos descendentes (ascendentes) sobre o Atlântico Sul e metade leste do Brasil (metade oeste da América do Sul) enquanto que em janeiro há movimentos ascendentes (descendentes) sobre todo o continente (Atlântico Sul).

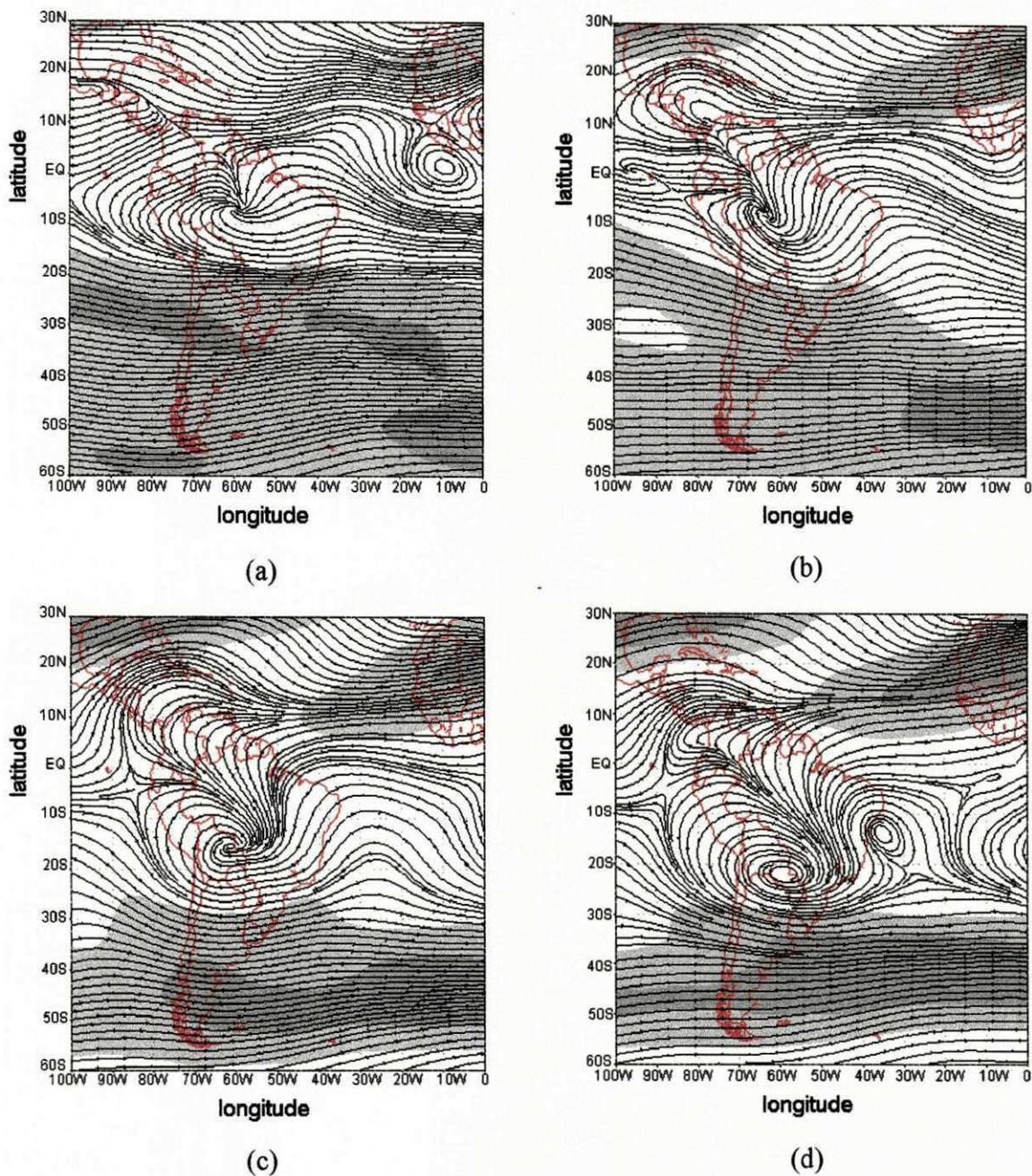


Fig. 5.3 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

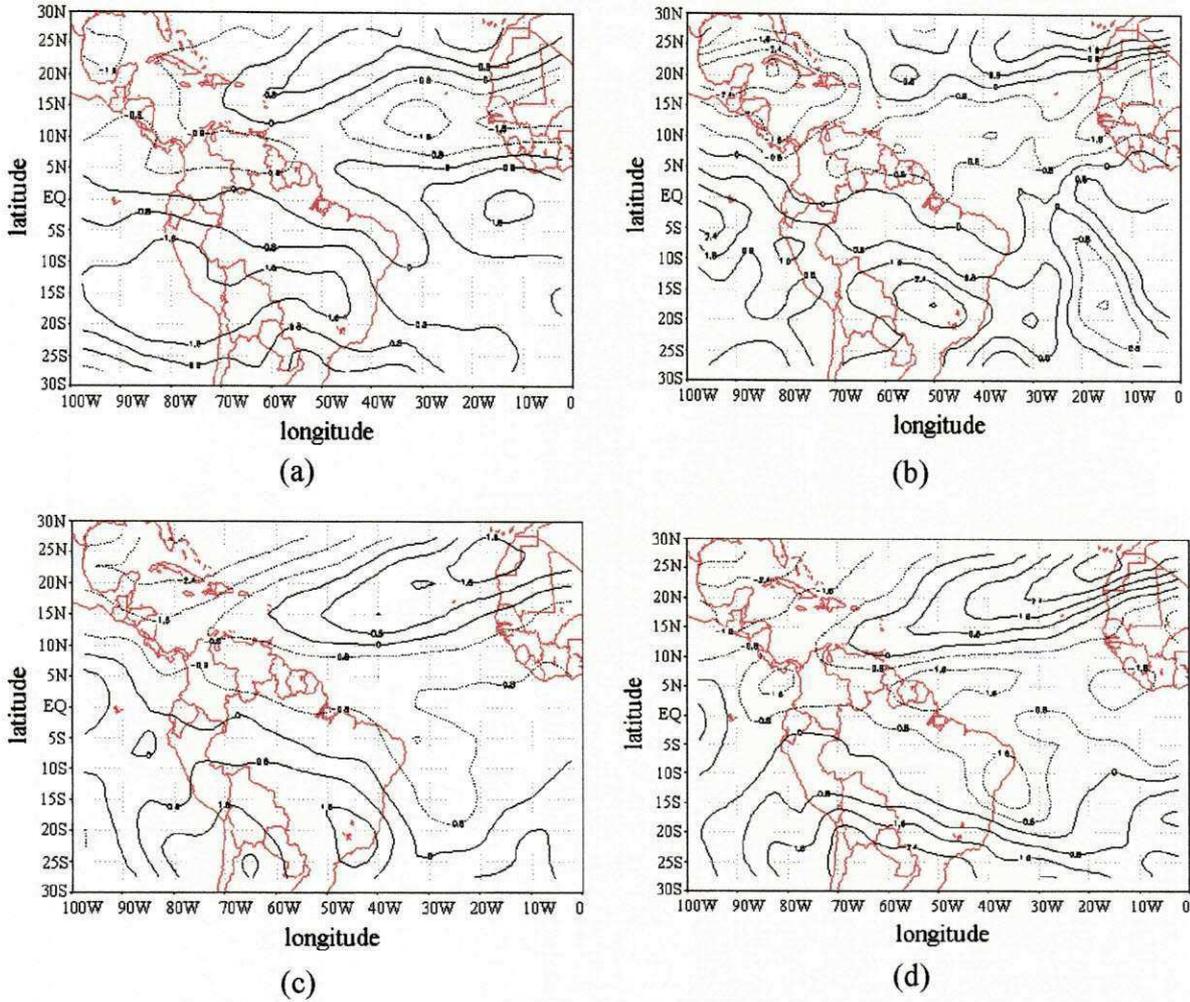


Fig. 5.4 - Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

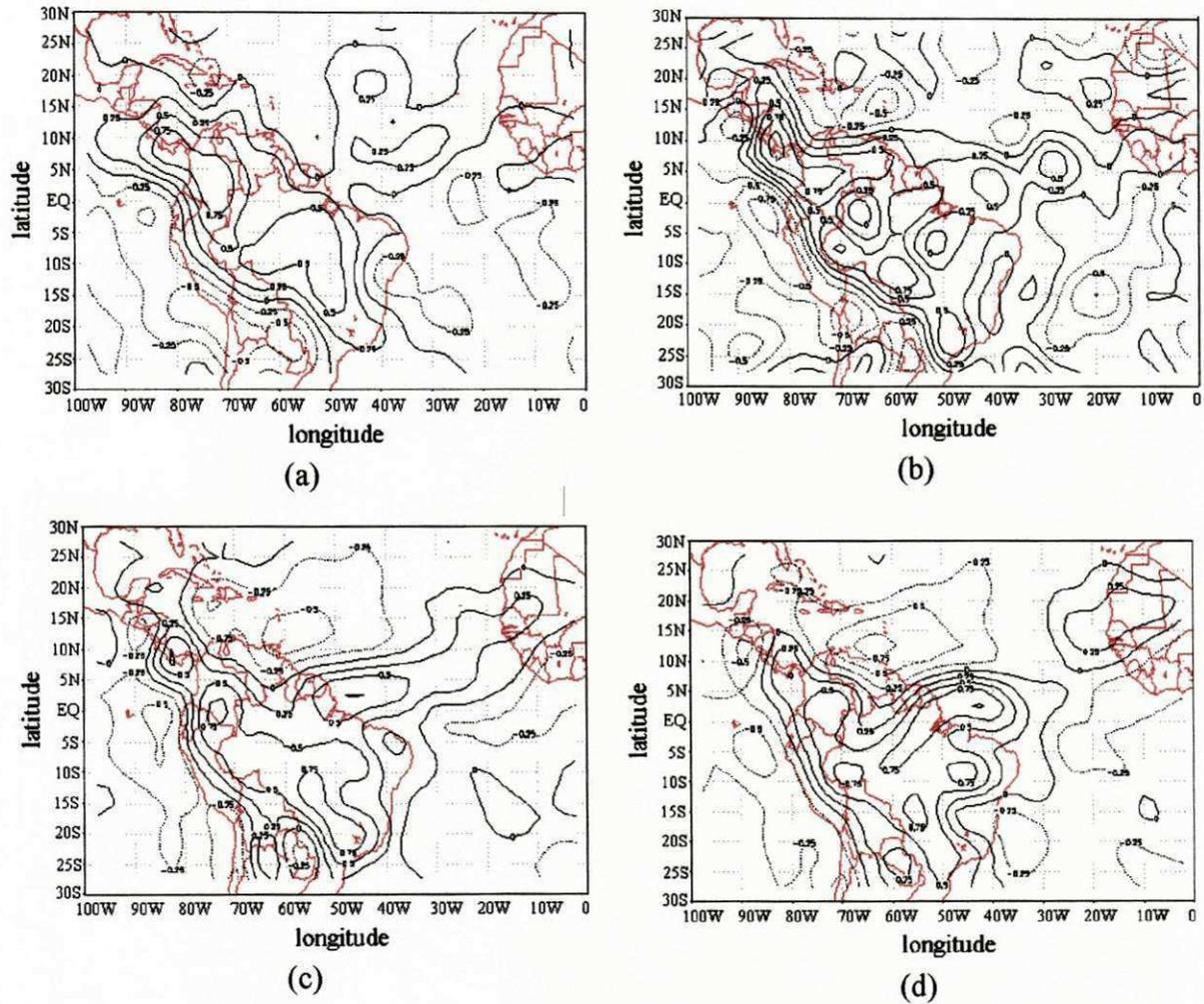


Fig. 5.5 - Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

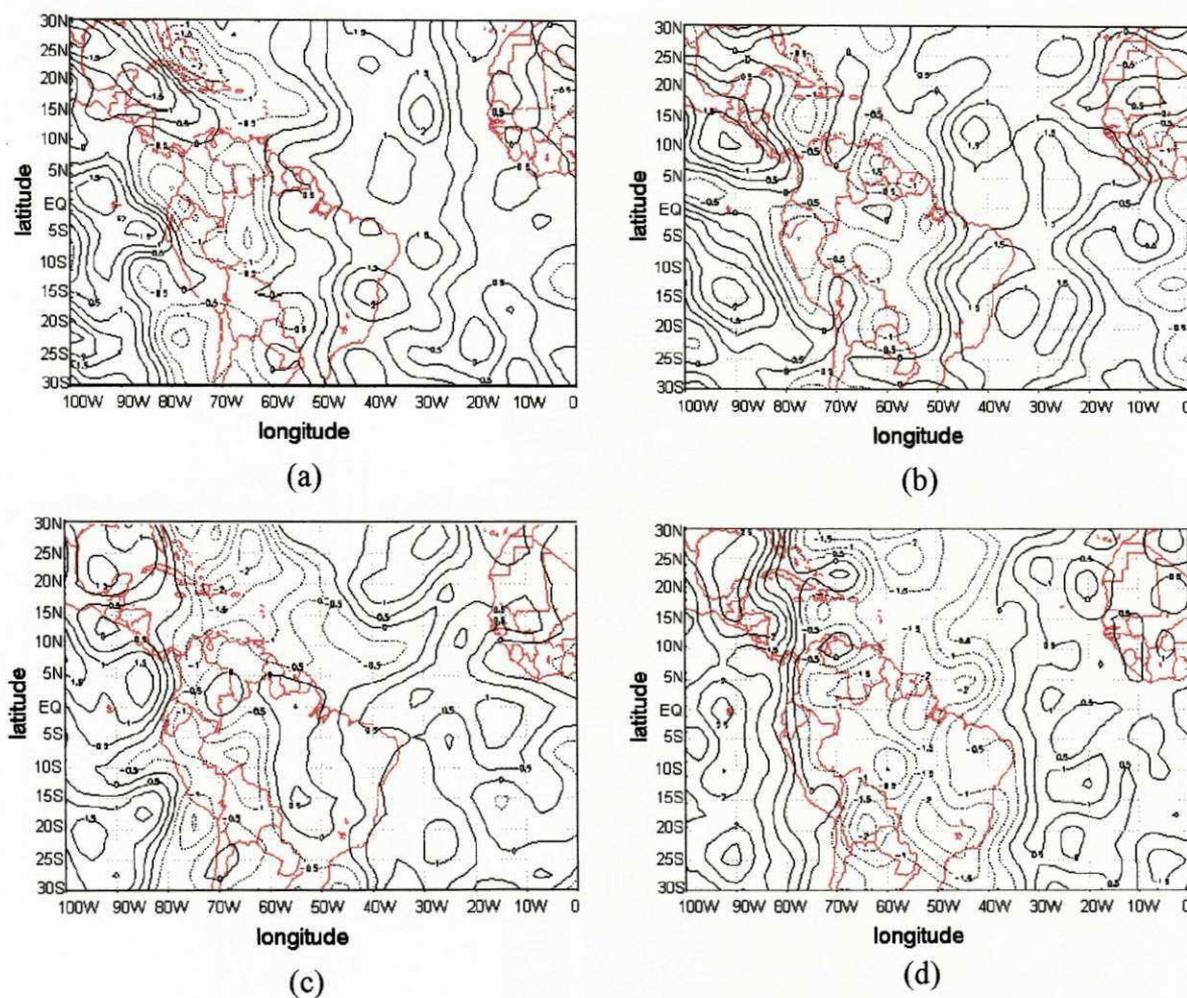


Fig. 5.6 - Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-2} \text{hPa}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

#### *b) nível de 850 hPa*

Nos baixos níveis observa-se nas linhas de corrente (Fig. 5.7a,b,c,d) a presença dos anticiclones subtropicais do Pacífico e Atlântico Sul (ASAS) e do anticiclone subtropical do Atlântico Norte (ASAN). É interessante assinalar que nos meses de outubro e novembro o ASAN subdivide-se em duas células centradas em torno de  $30^{\circ}\text{N}$ , o que sugere menor intensidade nesses meses. O ASAS, centrado em torno de  $30^{\circ}\text{S}$ , mostra-se subdividido em duas células nos meses de outubro e novembro e uma tendência a subdivisão em dezembro e janeiro. Tal subdivisão também aparece no estudo de caso (Figs. 4.7,12,16 e 21). O escoamento sobre o Nordeste é de leste em outubro e de leste-nordeste no restante do período.

Outra característica importante nos quatro meses é a presença de ventos alísios mais intensos na região oceânica ao norte do Nordeste. Vale assinalar ainda que as linhas de corrente mostram confluência dos ventos no oeste e/ou Centro-Oeste do País. Em janeiro o escoamento do ramo oeste da ZCAS é paralelo à costa leste do Brasil, dirigido para o sul do continente.

Nota-se vorticidade anticiclônica/divergência fraca na área dos anticiclones subtropicais nos quatro meses (Figs. 5.8a,b,c,d e 5.9a,b,c,d) enquanto que em outubro e novembro é vista vorticidade anticiclônica fraca (Fig. 5.8a,b) e convergência fraca (Fig. 5.9a,b) em grande parte do País. Nos campos de dezembro e janeiro (Fig. 5.8c,d) a vorticidade anticiclônica é mais intensa mas está presente apenas no Norte e Nordeste. A convergência também é mais intensa nesses meses (Fig. 5.9c,d) e domina todo o País com exceção das faixas litorâneas norte e leste.

Tais configurações evidenciam discordância entre os dois campos, na Região Norte. Vale assinalar ainda o forte núcleo ciclônico localizado sobre o noroeste da América do Sul-América Central nos quatro meses.

O campo do movimento vertical (Fig. 5.10a,b,c,d) evidencia um aumento gradativo na intensidade e na área ocupada por movimentos ascendentes no Nordeste enquanto há movimento descendente em grande parte do restante do País.

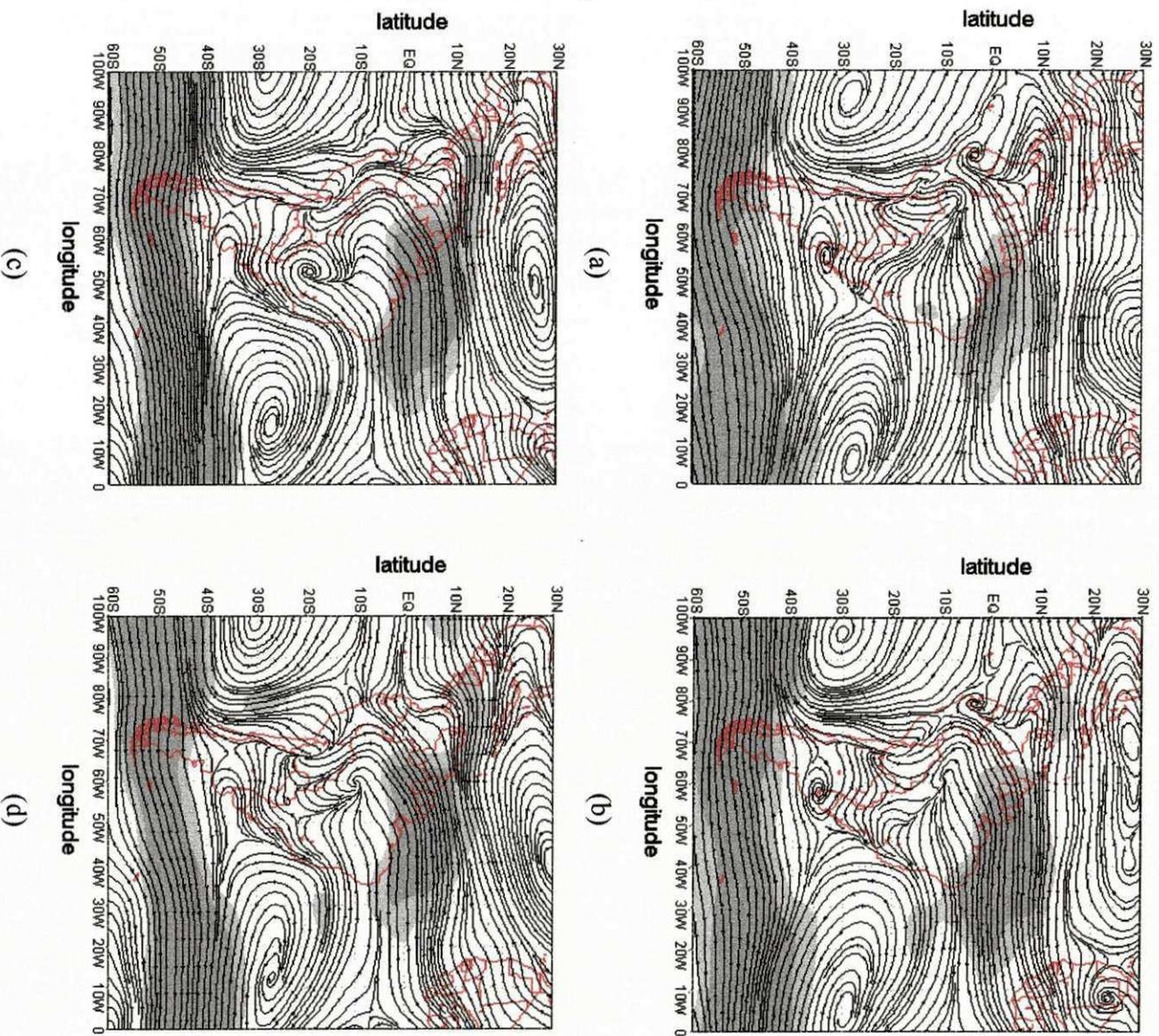


Fig. 5.7 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

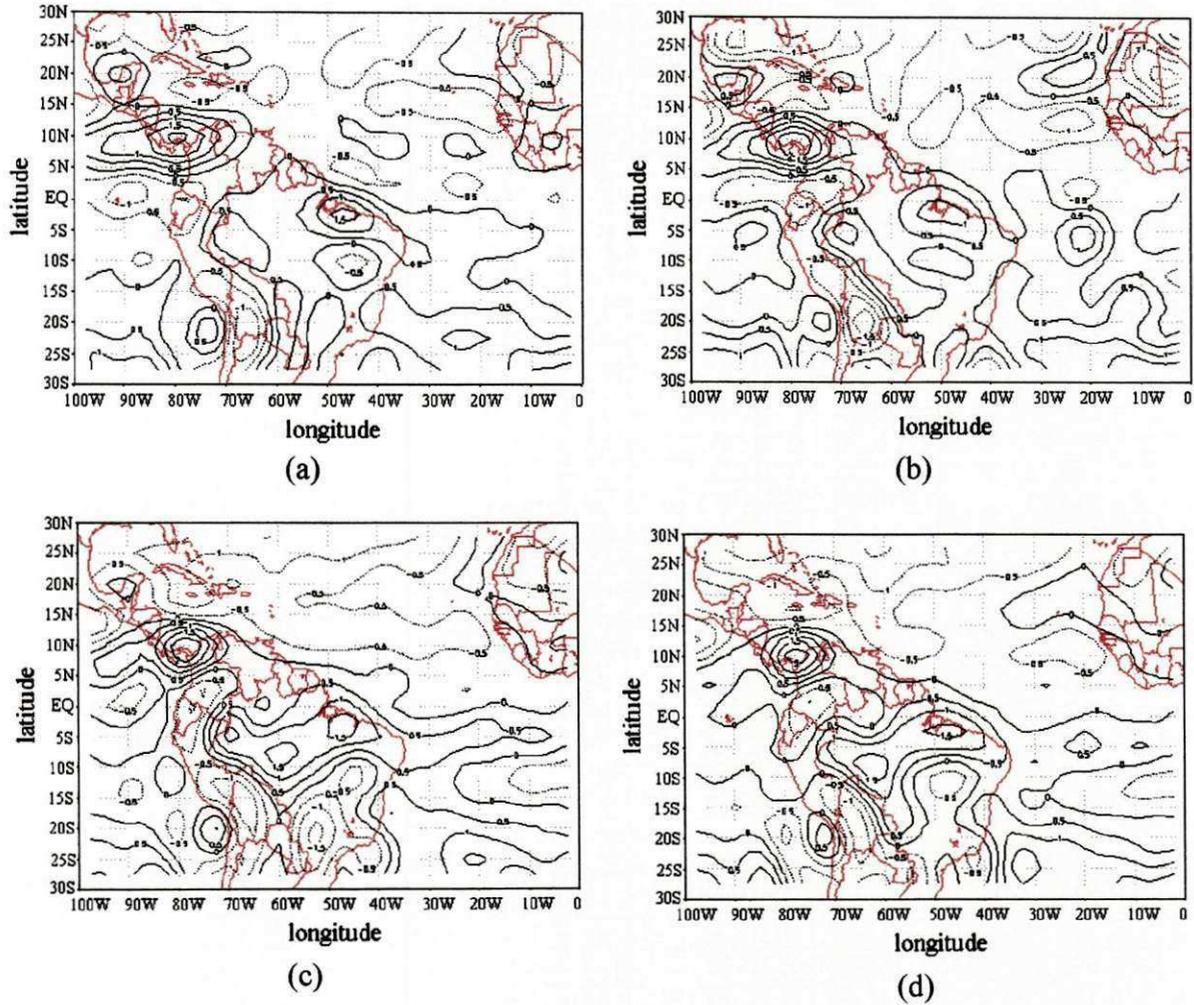


Fig. 5.8 - Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

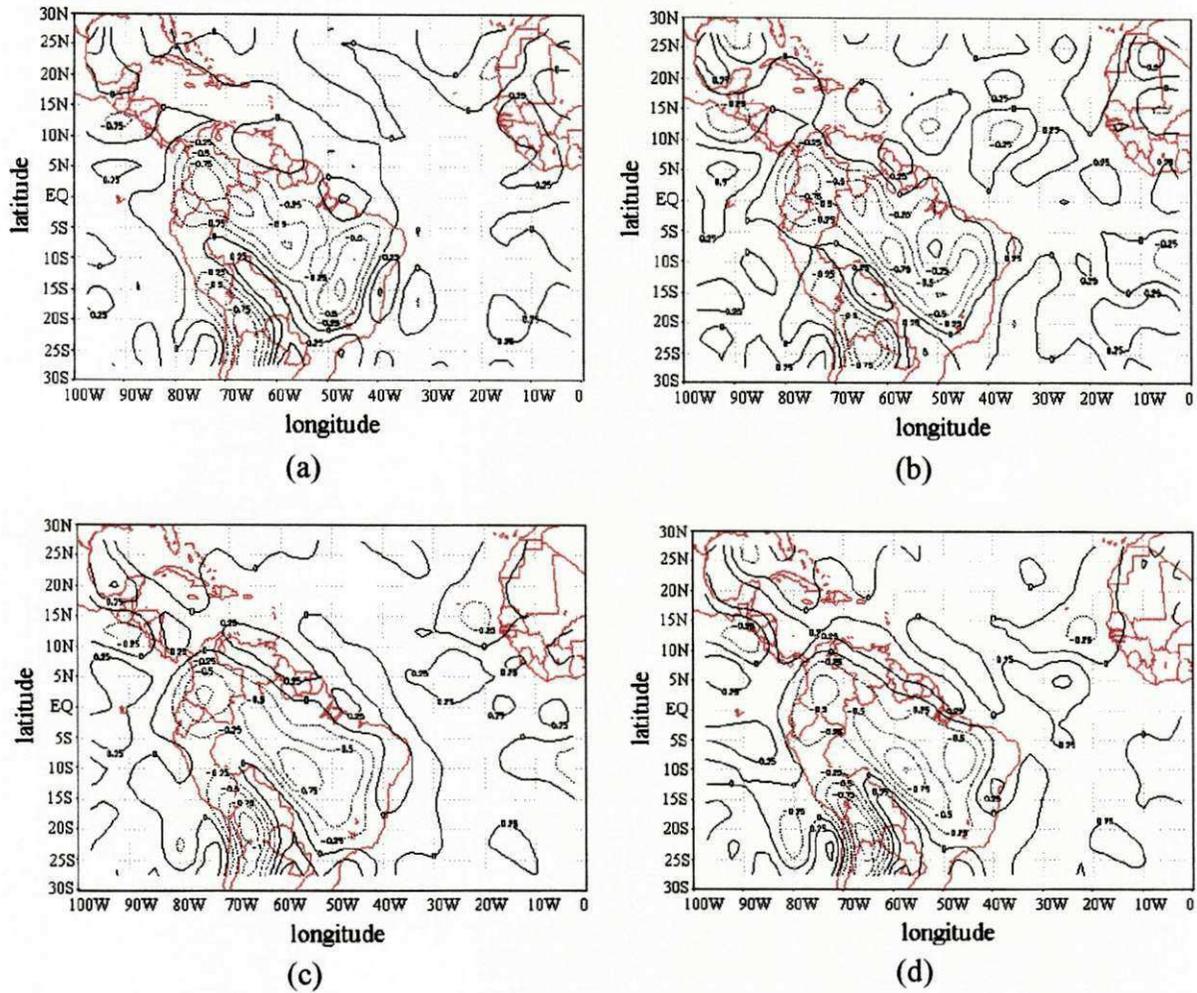


Fig. 5.9 - Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

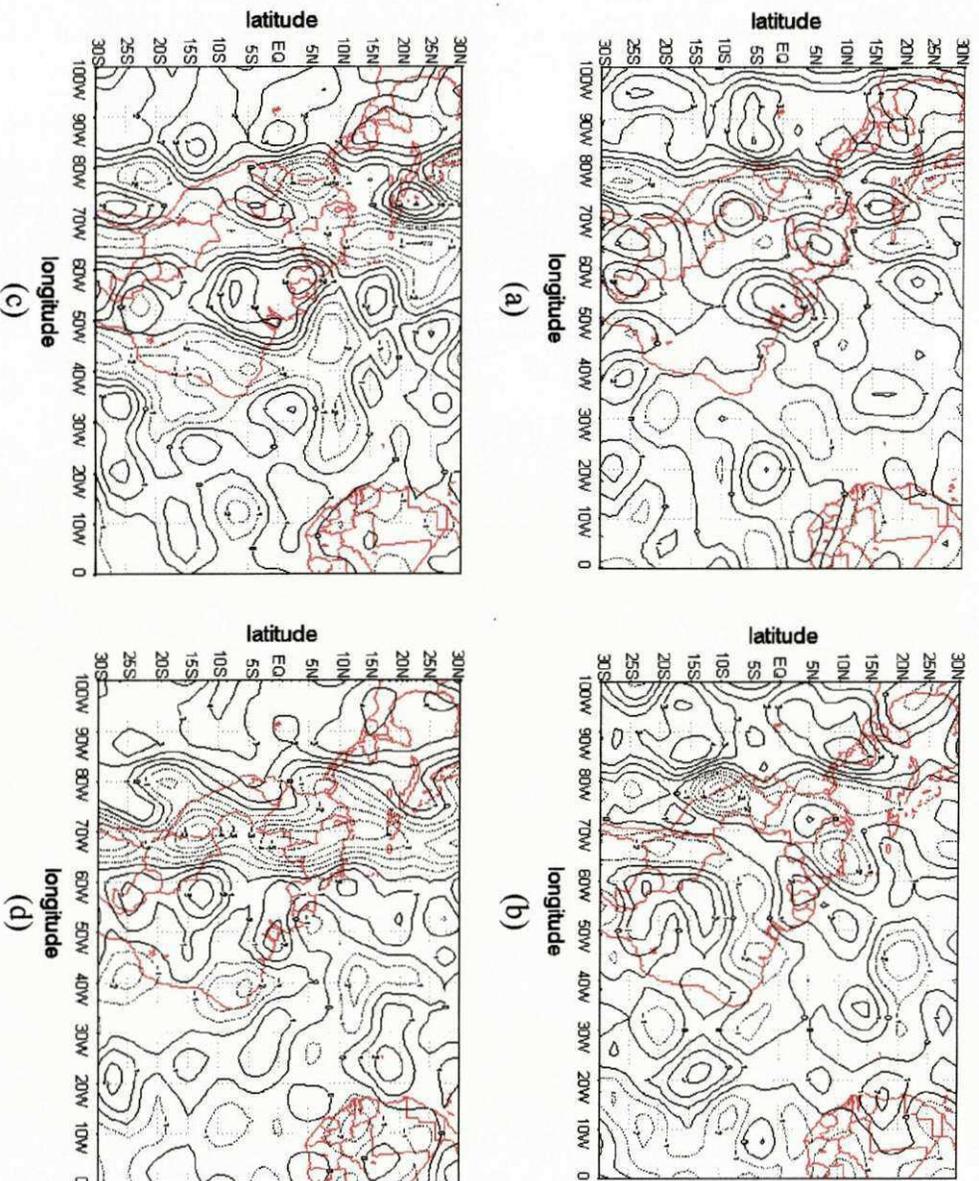


Fig. 5.10 - Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3} \text{hPa}^{-1}$ . (Fontes dos dados: NCEP/CPTEC)

### 5.2.1.2 – Umidade específica (700 hPa)

No período de outubro a janeiro verifica-se no campo da umidade específica (Fig. 5.11a,b,c,d) um mínimo de umidade sobre o Nordeste e Atlântico Sul associado ao ASAS, bem como um núcleo de máxima umidade que se estende desde a Região Amazônica até o centro-oeste do Nordeste. Sobre o Nordeste e Sudeste do Brasil nota-se uma área de forte gradiente de umidade. Esse gradiente durante os meses de outubro a janeiro diminui gradativamente devido a junção da banda de umidade sobre a Região Amazônica com aquela situada sobre o centro-oeste da Região Nordeste. Observa-se ainda um gradiente forte de umidade ao noroeste da América do Sul. Esse último no decorrer dos meses de

outubro a janeiro tem um aumento significativo associado ao movimento anticiclônico visto nesse local.

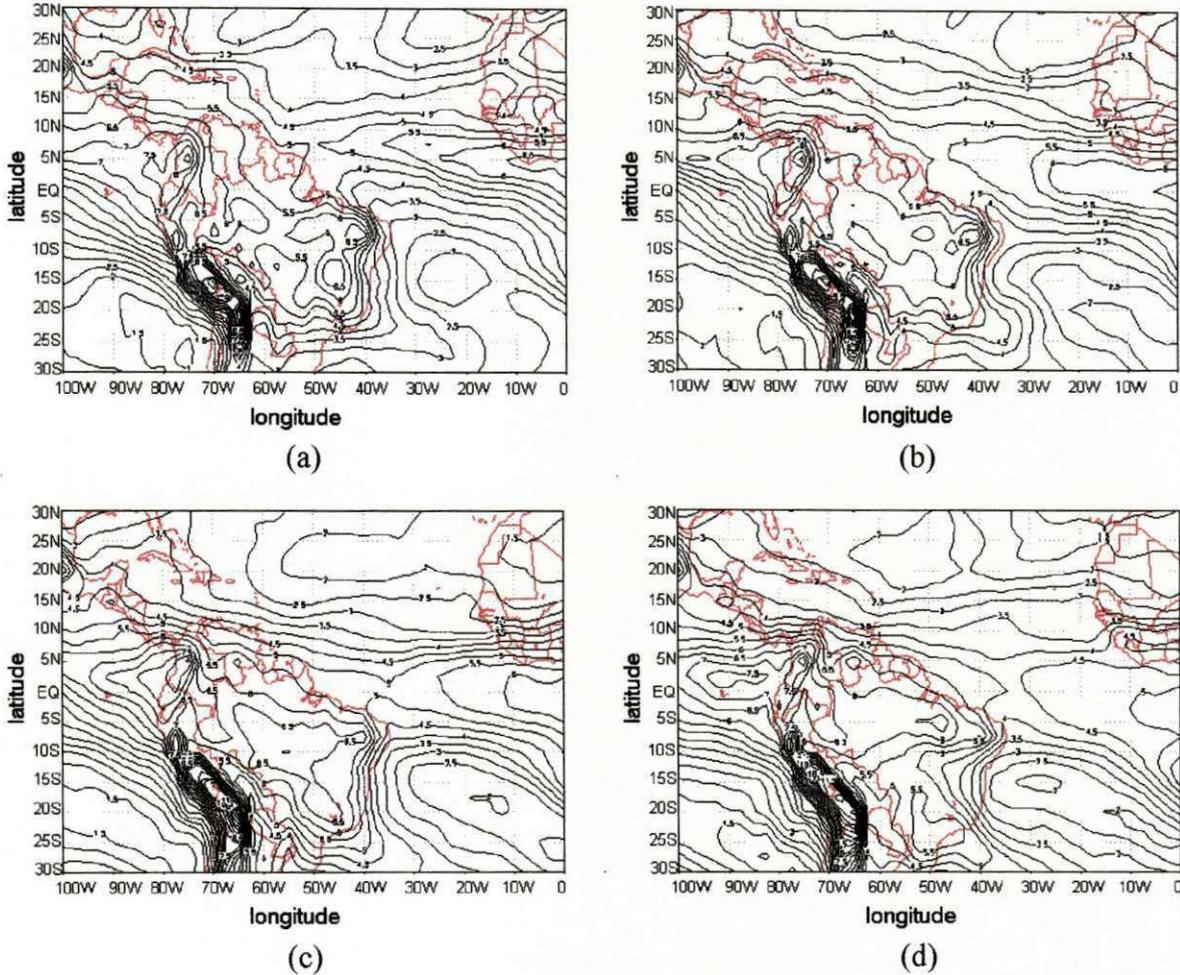


Fig. 5.11 – Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análises visto acima é de  $2 \text{ g kg}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.2.1.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar

No período de 83/84 nota-se em outubro (Fig. 5.12a) anomalias positivas da TSM sobre o Pacífico Tropical Sul, próximo à costa oeste da América do Sul remanescentes do fenômeno El Niño 82/83, enquanto que na região equatorial central há anomalias negativas. De novembro a janeiro (Fig. 5.12b,c,d), a intensidade das anomalias positivas sobre o Pacífico Tropical Sul diminui enquanto que na região equatorial anomalias negativas começam a se estender até próximo da costa oeste da América do Sul. No Oceano Atlântico Subtropical Sul no período de dezembro a janeiro nota-se que as

anomalias positivas aumentam de intensidade. Nota-se ainda nesses meses que o Atlântico Tropical norte está mais frio do que o normal.

Os anos de 86/87 (não mostrado) e 89/90 (Fig. 5.13a,b,c,d) apresentam características semelhantes nos campos das anomalias da TSM. Em linhas gerais, sobre o Pacífico Equatorial tem-se valores próximos à média nos quatro meses, enquanto no Atlântico Tropical há anomalias positivas. Nos campos das anomalias da TSM no Pacífico Sul há um núcleo negativo em torno de  $30^{\circ}\text{S}\backslash 120^{\circ}\text{W}$ , enquanto que o Atlântico apresenta dois núcleos positivos, um em torno de  $30^{\circ}\text{N}\backslash 40^{\circ}\text{W}$  e outro em torno de  $30^{\circ}\text{S}\backslash 40^{\circ}\text{W}$ .

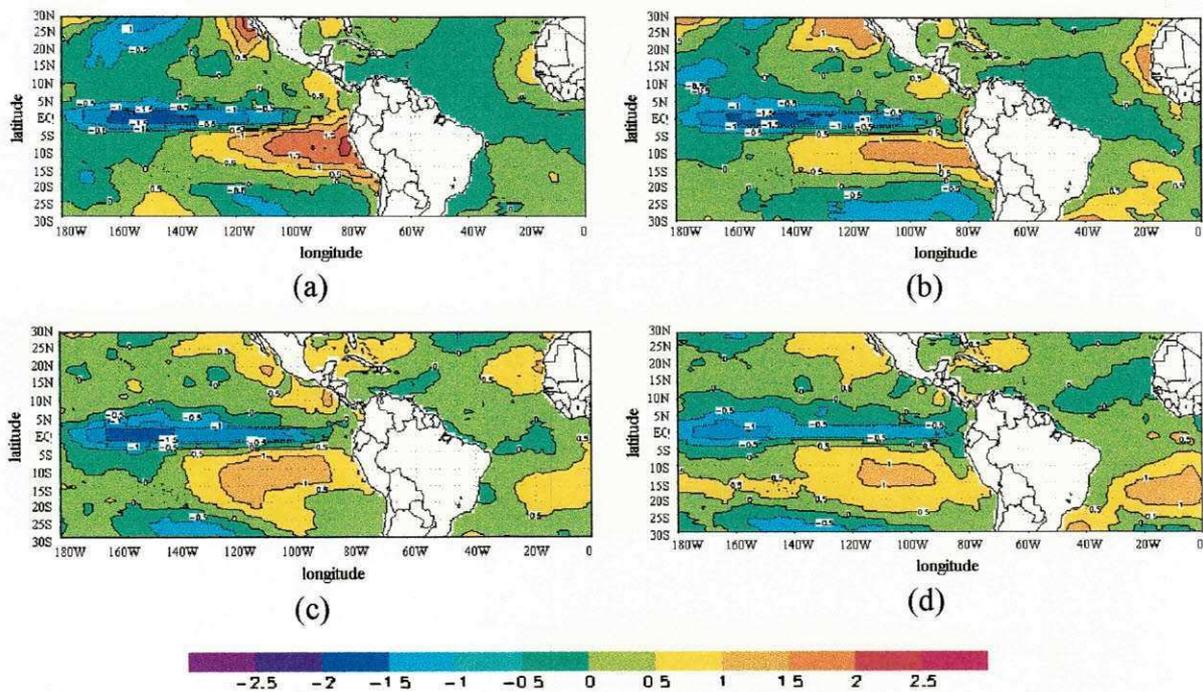


Fig. 5.12 – Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1983 e (d) janeiro de 1984. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos: (Fonte dos dados. NCEP\CPTEC)

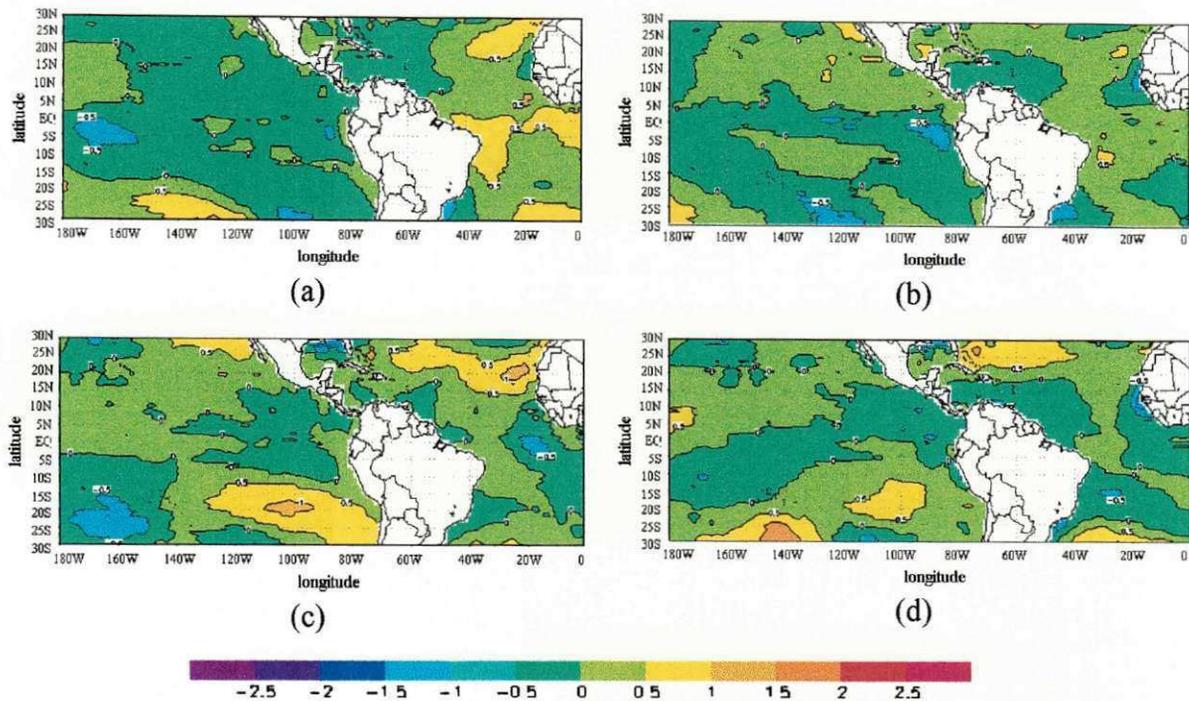


Fig. 5.13 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1989 e (d) janeiro de 1990. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

## 5.2.2 – Análise dos meses posteriores (FMAM)

### 5.2.2.1 – Circulação atmosférica

#### a) nível de 200 hPa

O escoamento nos altos níveis (Fig. 5.14a,b,c,d) mostra que o par AB-cavado do Nordeste se desloca para norte-nordeste no período de fevereiro a maio. É importante assinalar que o enfraquecimento do VCAN visto em fevereiro (Fig. 5.14a) com eixo orientado de noroeste-sudeste sobre o Nordeste e Atlântico Sul, dá lugar em março (Fig. 5.14b) a uma configuração de cavado com eixo orientado na direção norte-sul sobre o oceano. Esse cavado tem amplitude menor em abril (Fig. 5.14c) e não aparece em maio (Fig. 5.14d).

As análises também evidenciam a diminuição de amplitude do cavado situado sobre o Atlântico Norte. Observa-se também nesses campos áreas de máxima intensidade do vento em ambos os hemisférios, sendo que é evidente o gradual avanço para norte da

área de máxima intensidade situada sobre a América do Sul/África, o que é explicado pela aproximação da estação de inverno/verão do hemisfério sul/norte.

A evolução no campo do vento discutida acima encontra correspondência nas mudanças ocorridas no campo da vorticidade (Fig. 5.15a,b,c,d). É evidente o enfraquecimento em março e posterior ausência do núcleo ciclônico associado ao cavado do Nordeste/VCAN e o deslocamento para norte da área ciclônica situada no hemisfério norte. Tais alterações no campo do vento parecem estar condicionadas ao alinhamento leste-oeste da área anticiclônica situada na faixa equatorial e ao gradual aumento da área dominada por vorticidade anticiclônica sobre o continente.

É particularmente importante observar que, de abril para maio (Fig. 5.15c,d), há um aumento da vorticidade anticiclônica no centro-oeste da América do Sul e o aparecimento de um núcleo ciclônico ao sul, o que sugere a presença do jato subtropical em torno da latitude de 25°S.

Os campos de divergência horizontal em altos níveis, nos meses de fevereiro a maio (Fig. 5.16a,b,c,d) evidenciam a presença de divergência sobre quase toda a América do Sul. A banda divergente orientada de sudoeste-nordeste sobre o Oceano Atlântico, vista nos meses anteriores, a partir de março, sofre uma reorientação para oeste-leste sobre o norte do Brasil, atingindo uma intensidade máxima no mês de maio (Fig. 4.16d).

A análise do movimento vertical (Fig. 5.17a,b,c,d) mostra, em geral, movimentos ascendentes (descendentes) de fracos a moderados sobre a América do Sul (Atlântico Sul). Nota-se ainda um enfraquecimento gradual do movimento vertical no decorrer do período.

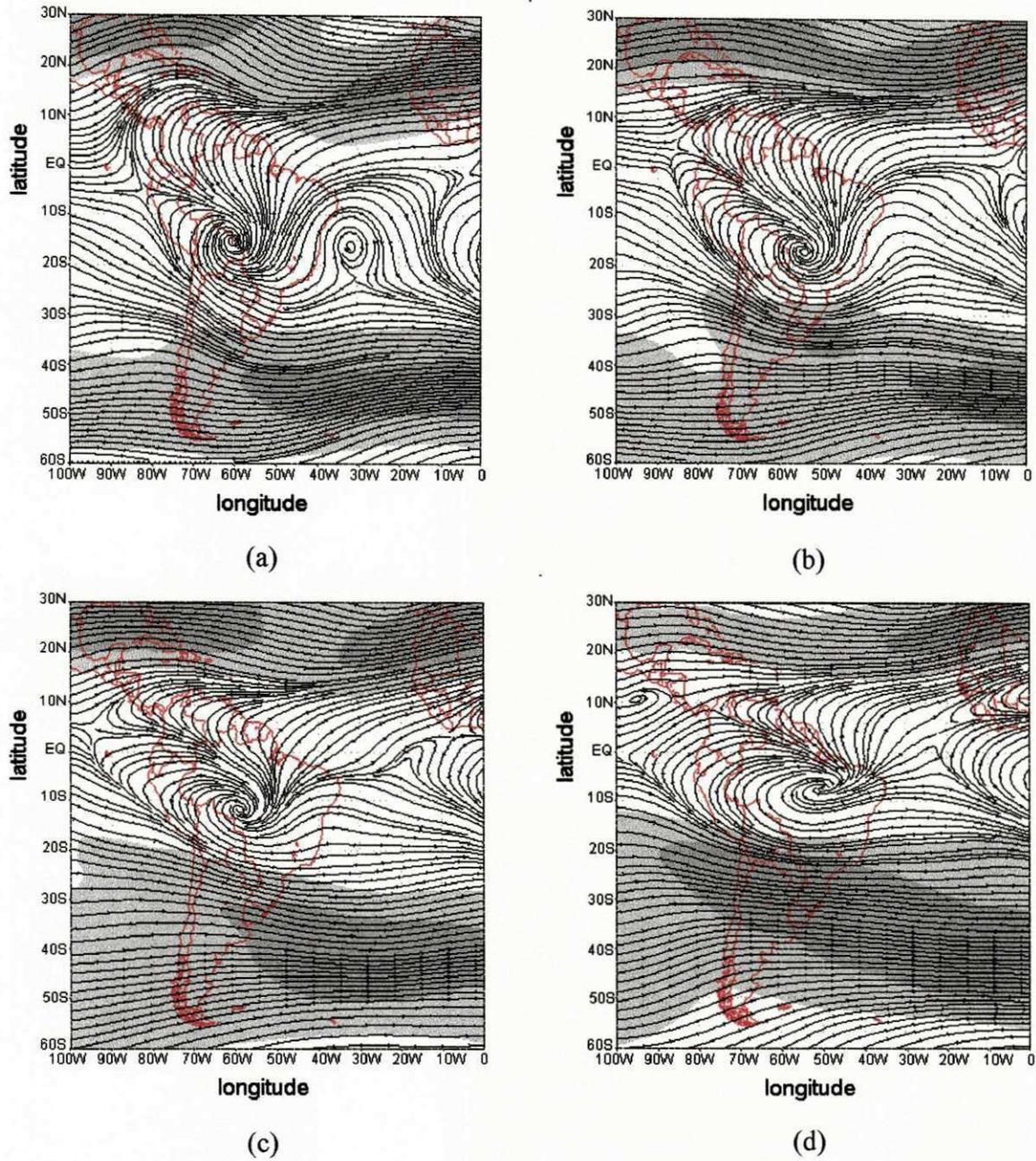


Fig. 5.14 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$ . (Fontes dos dados: NCEP\CPTEC)

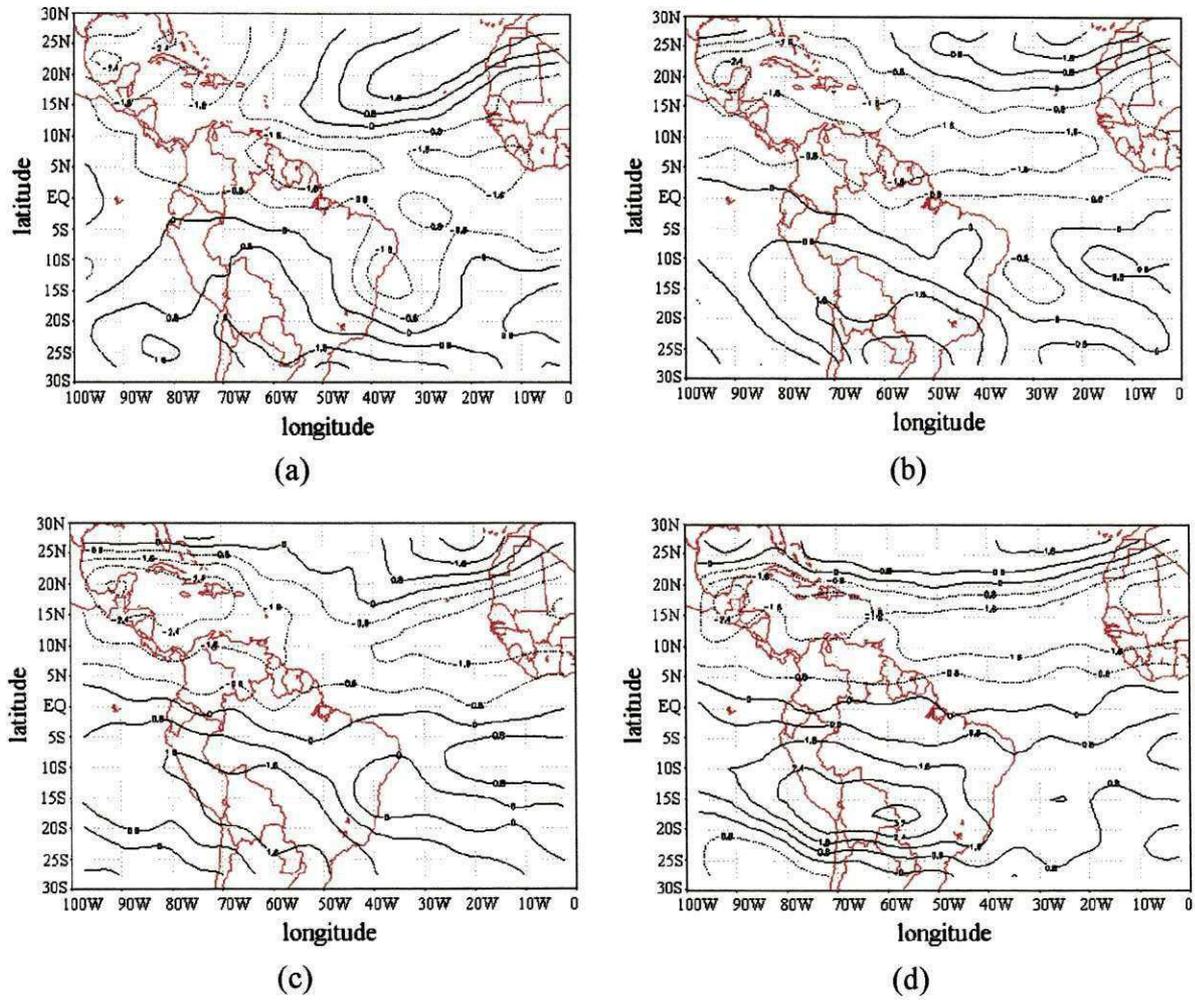


Fig. 5.15 - Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

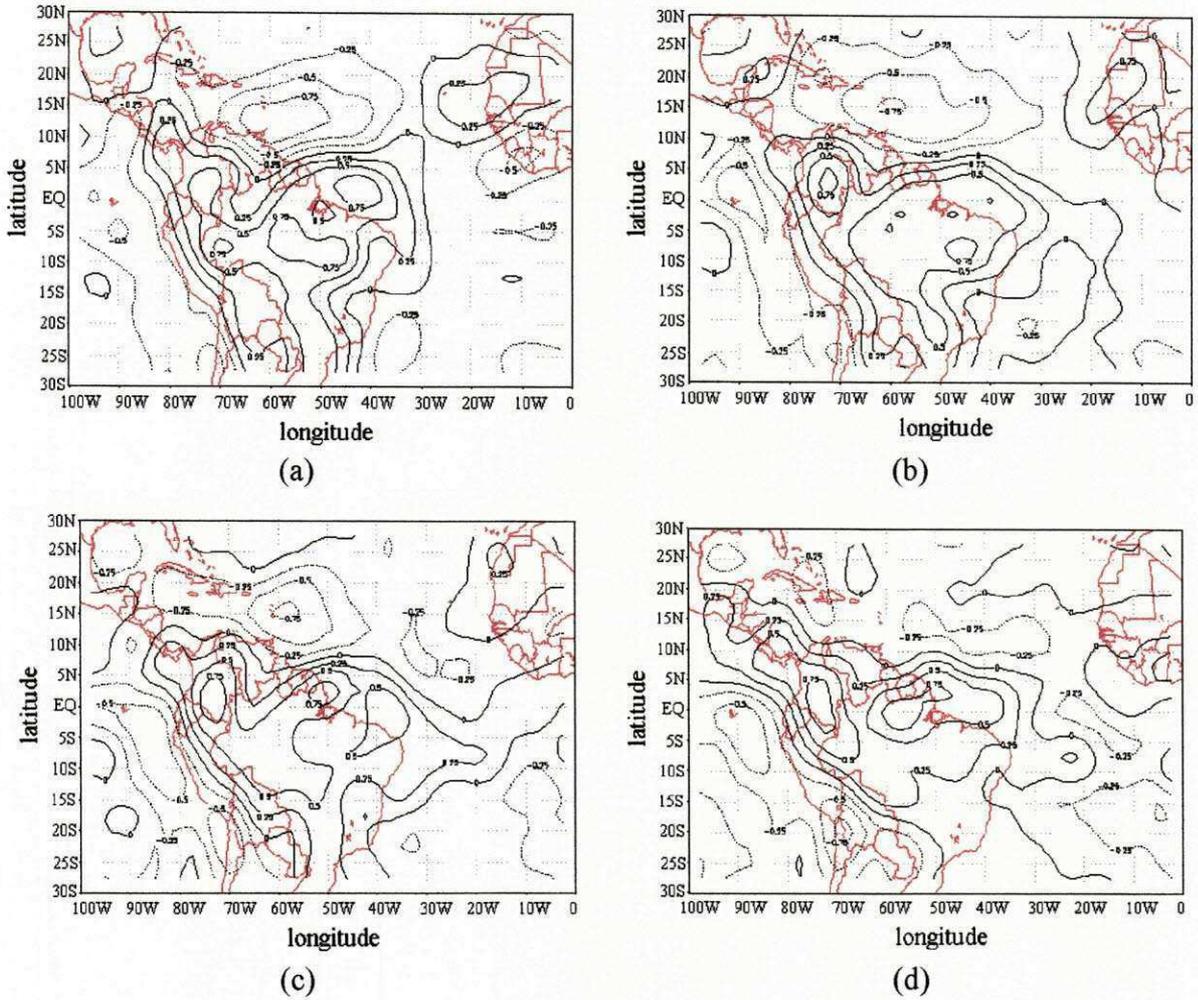


Fig. 5.16 - Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

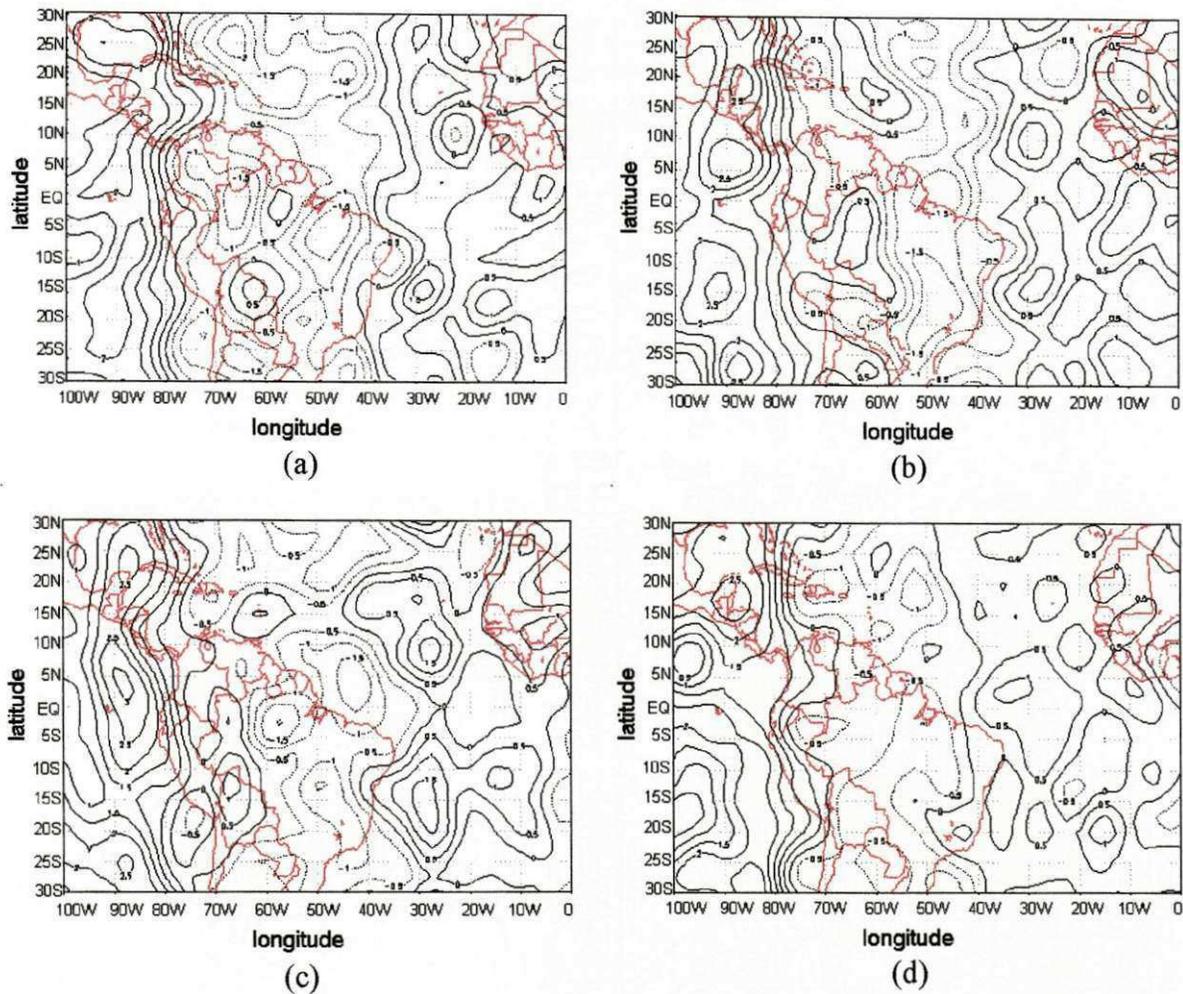


Fig. 5.17 - Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-3} \text{hPa}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

*b) nível de 850 hPa*

Nos baixos níveis (Fig. 5.18a,b,c,d) observa-se o ASAS ligeiramente deslocado para sul-sudeste em relação à posição ocupada nos meses anteriores (Fig. 5.7a,b,c,d) e subdividido em duas células (Fig. 5.18a) e no Sul-Sudeste em maio (Fig. 5.18d). Tal subdivisão implica na existência de um cavado sobre o Sul (Sudeste) e região oceânica adjacente em março-abril (maio). Nesses meses o ASAN apresenta-se como uma única célula cujo centro se desloca para sul-sudoeste de fevereiro a abril (Fig. 5.18a,b) e para norte-noroeste de abril a maio (Fig. 5.18c,d). O escoamento sobre o Nordeste é de leste-nordeste de fevereiro a abril (Fig. 5.18a,b,c) e de leste em maio (Fig. 5.18d).

Nota-se também nestes meses a presença de uma área de ventos alísios mais intensos, embora esteja quase totalmente restrita às Guianas e ao estado do Amapá. Vale assinalar ainda que os campos sugerem a presença de confluência sobre o sul da Amazônia e/ou Centro-Oeste do País.

No campo da vorticidade relativa (Fig. 5.19a,b,c,d)/divergência horizontal (Fig. 5.20a,b,c,d) observa-se um núcleo anticiclônico situado sobre o norte do País, que diminui de intensidade no decorrer do período enquanto que no Centro-Oeste e parte do Sudeste e Nordeste um núcleo ciclônico também enfraquece ao longo desses meses. Vale assinalar ainda que permanece um forte núcleo ciclônico localizado sobre o noroeste da América do Sul-América Central nos quatro meses.

O campo da divergência horizontal mostra convergência sobre todo o País, com exceção da Região Sul, nos quatro meses (Fig. 5.10a,b,c,d) e do leste do Nordeste e Sudeste, em abril e maio (Fig. 5.20c,d). Há divergência/convergência fraca no noroeste da América do Sul-América Central nos quatro meses. As áreas convergentes (divergentes) situadas sobre todo o País (Região Sul, leste do Nordeste e Sudeste) apresentam-se coerentes com as áreas de movimentos ascendentes (descendentes) vistas nos campos do movimento vertical (Fig. 5.21a,b,c,d)

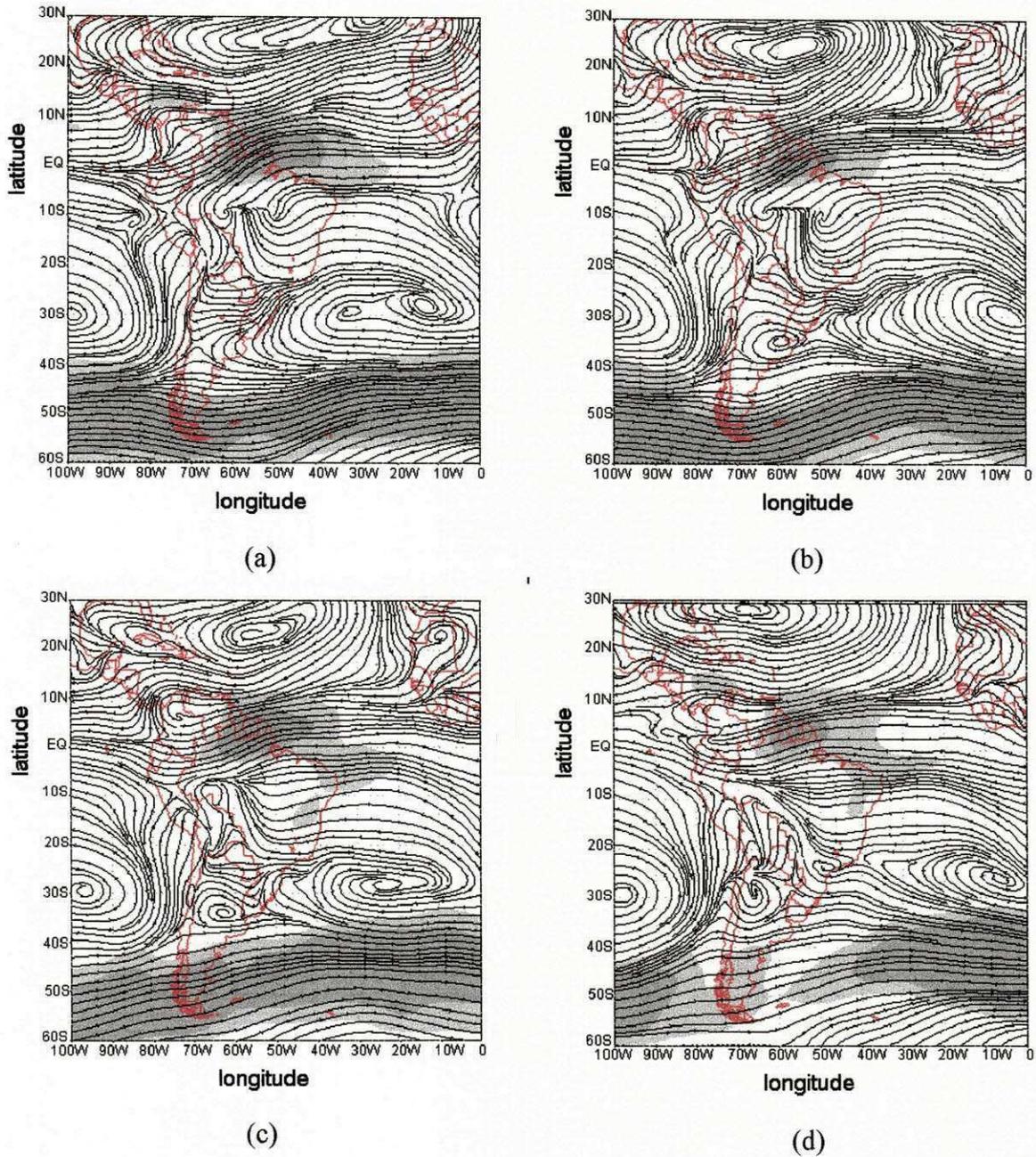


Fig. 5.18 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

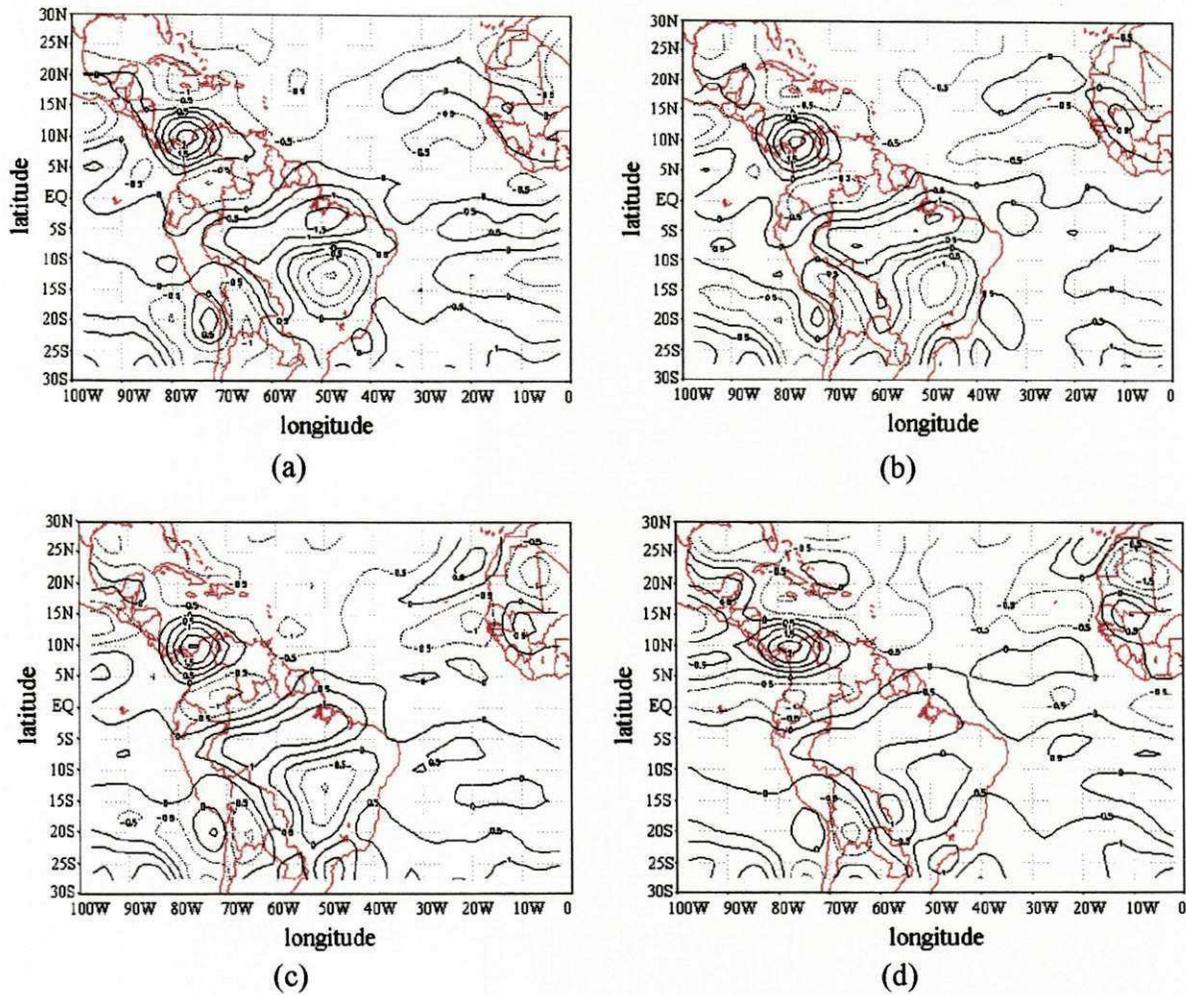


Fig. 5.19 - Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

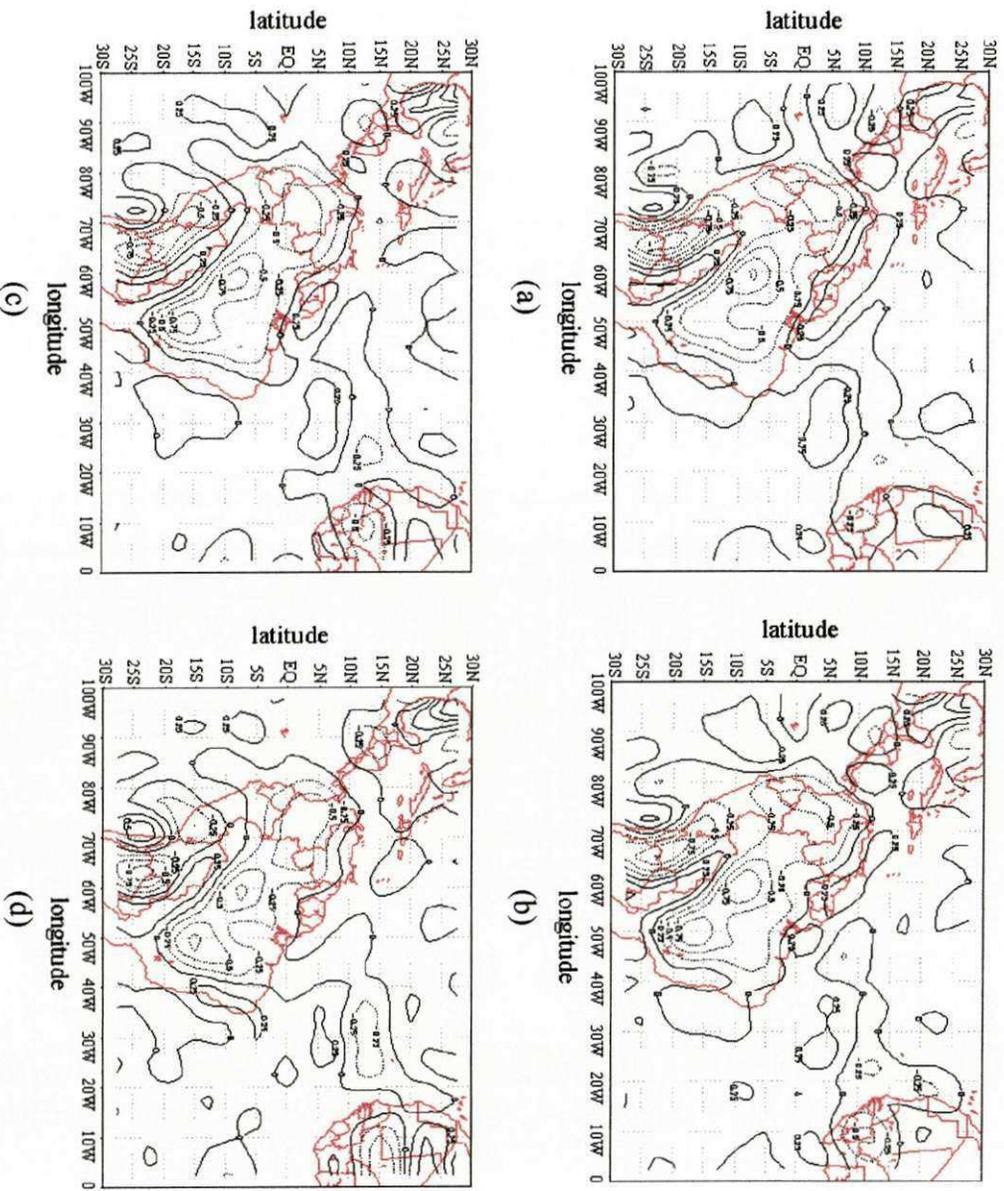


Fig. 5.20 - Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).

(Fonte dos dados: NCEP/CPTec)

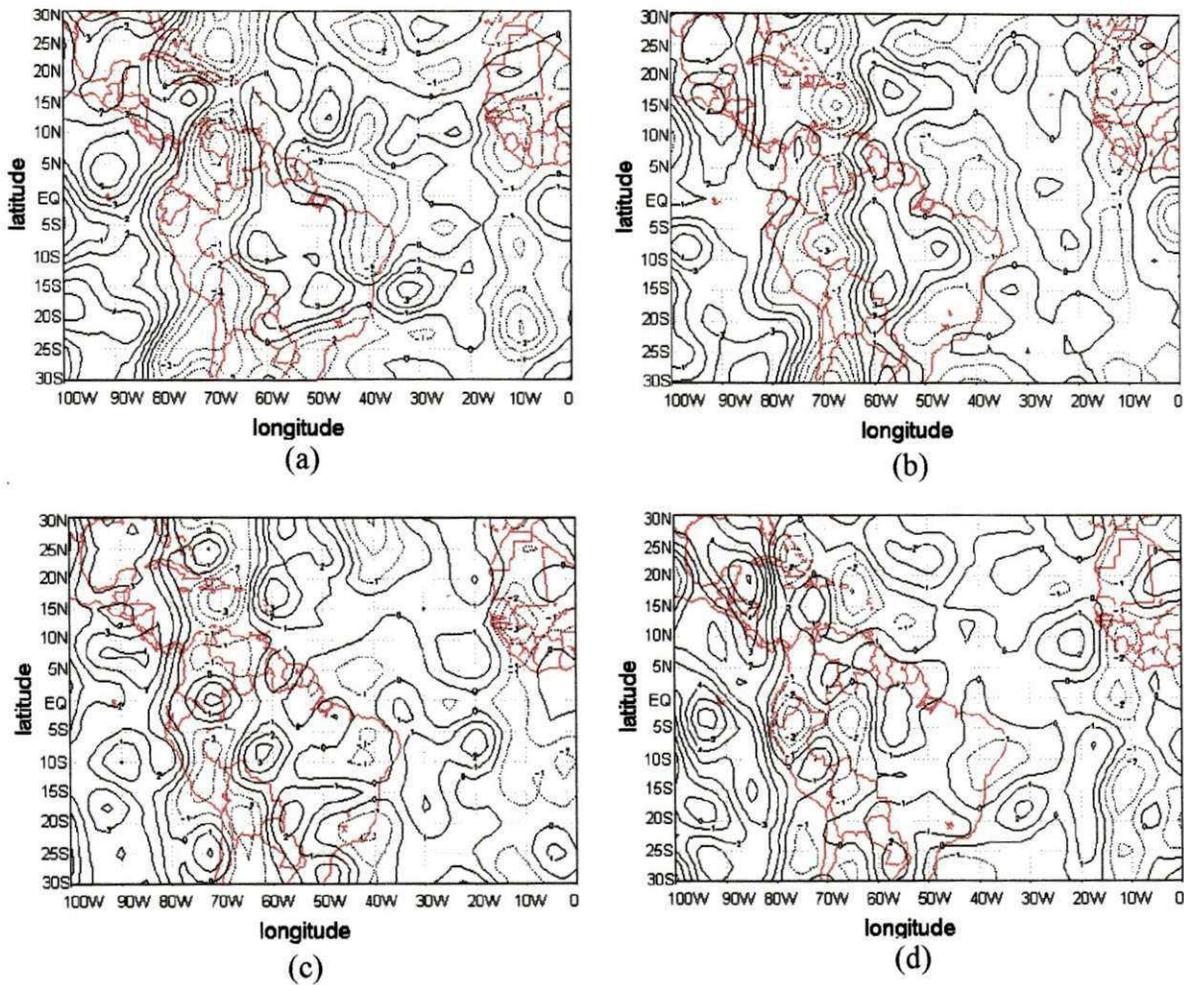


Fig. 5.21- Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3}$   $\text{hPa s}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.2.2.2 – Umidade específica (700 hPa)

Durante os meses de fevereiro a maio percebe-se nos campos de umidade específica que a região de máxima umidade vista desde os meses anteriores (Fig. 5.11a,b,c,d) estende-se para leste atingindo o centro-norte do Nordeste (Fig. 5.22a,b,c,d). Durante esses meses também verifica-se que o gradiente de umidade visto sobre o Nordeste continua diminuindo, enquanto que o gradiente de umidade visto ao noroeste da América do Sul continua aumentando até o mês de abril. Percebe-se ainda que nos meses de fevereiro a março (Fig. 5.22a,b) há uma redução de umidade na área do ASAN. Na área do ASAS percebe-se de fevereiro a maio um gradiente forte de umidade próximo à costa oeste da África.

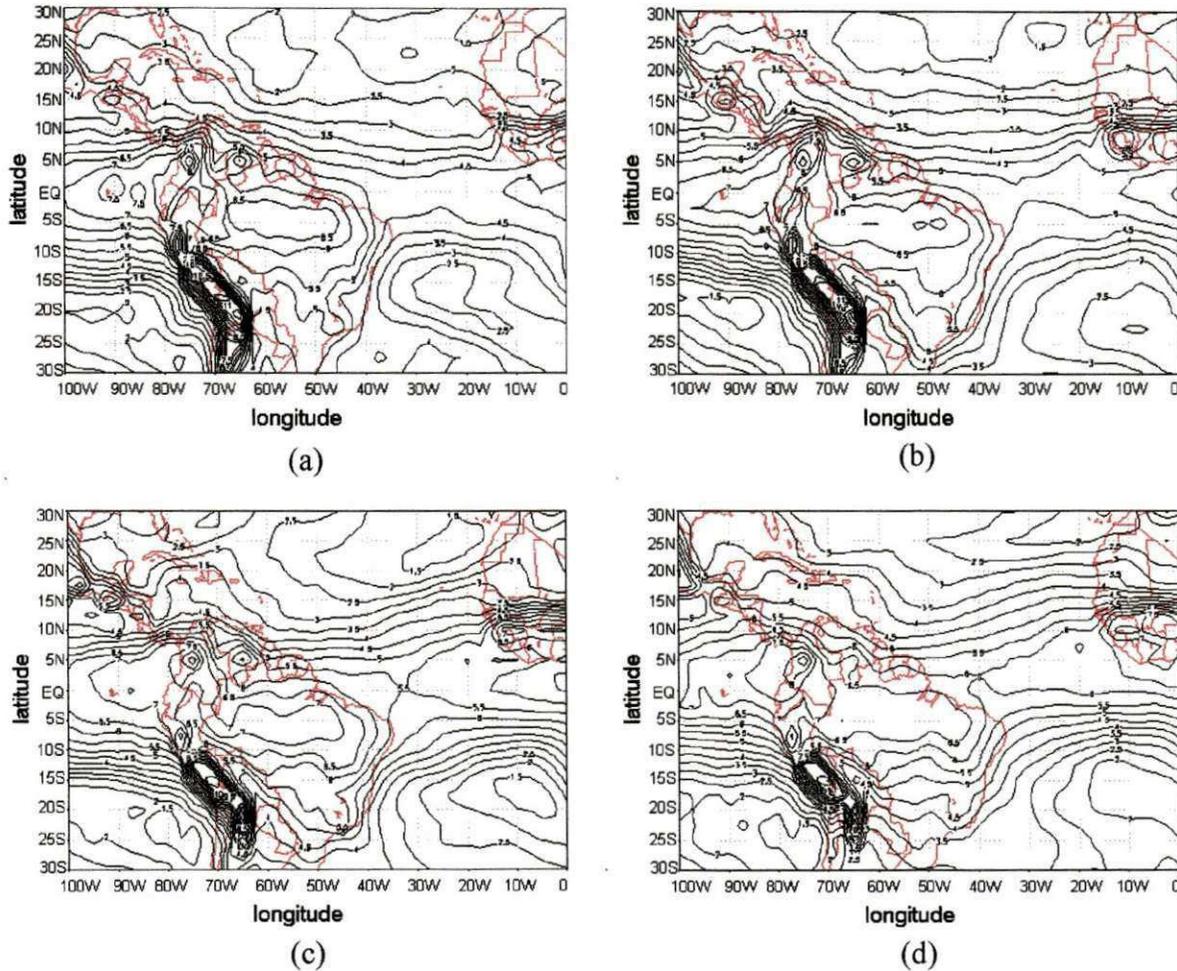


Fig. 5.22 - Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto seco de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 2 gkg<sup>-1</sup>. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.2.2.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar

As anomalias negativas vistas no mês de janeiro de 1984 (Fig. 5.12d) sobre o Pacífico Equatorial continuam nos meses posteriores (Fig. 5.23a,b,c,d). No período de fevereiro a maio, nota-se um aumento gradativo na área e na intensidade das anomalias negativas no Pacífico Equatorial (Fig. 5.23d).

É interessante notar ainda nesse período a presença de um núcleo positivo no Pacífico Norte em torno de 30°N\140°W.

No período de fevereiro a maio de 1990 (Fig. 24a,b,c,d) nota-se que não há uma configuração bem definida de anomalias negativas sobre o Pacífico Equatorial, porém, é interessante notar dois núcleos de anomalias negativas, um centrado em torno de  $20^{\circ}\text{S}/170^{\circ}\text{W}$  (fevereiro a abril) e outro próximo à costa oeste da América do Sul (maio).

Ainda nos campos das anomalias de TSM (Figs. 5.23a,b,c,d e 5.24a,b,c,d) verificam-se anomalias positivas no Atlântico Sul em torno de  $10^{\circ}\text{S}/25^{\circ}\text{W}$  em 1984 e em torno de  $15^{\circ}\text{S}/20^{\circ}\text{W}$ . No Atlântico Norte há anomalias negativas em 1984 e anomalias positivas no setor leste em 1990.

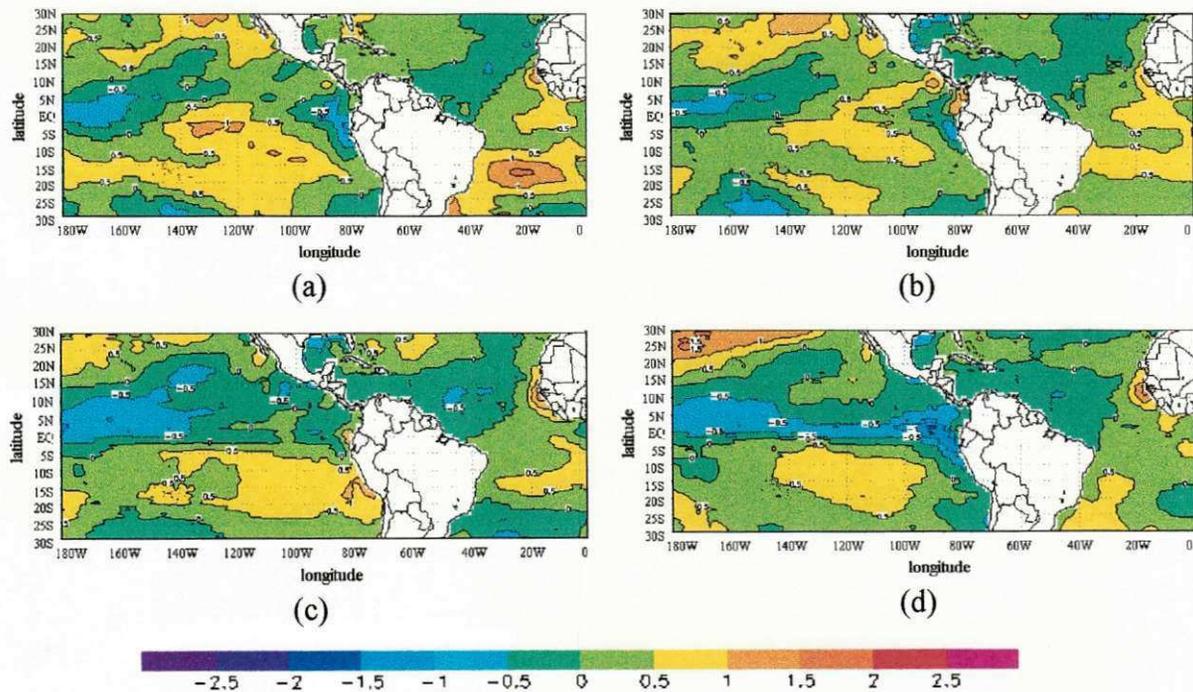


Fig. 5.23 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março (c) abril e (d) maio de 1984. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

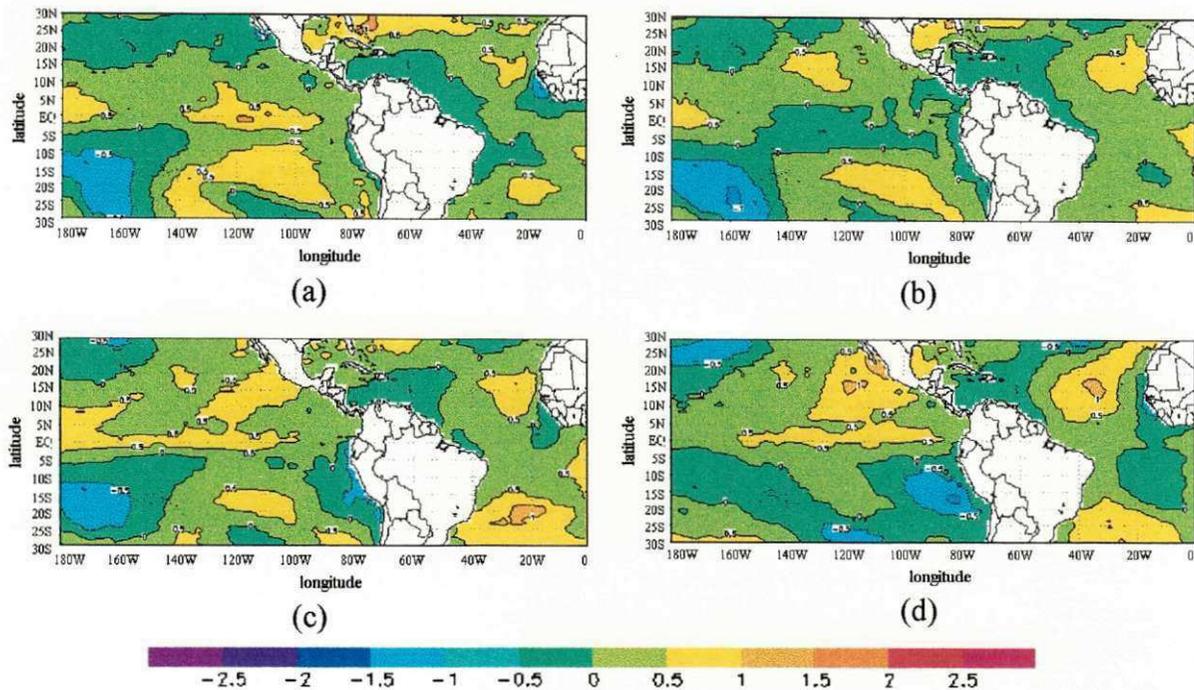


Fig. 5.24 – Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março (c) abril e (d) maio de 1990. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.3 – Características médias mensais no composto chuvoso

#### 5.3.1 - Análise de janeiro e meses anteriores (OND)

##### 5.3.1.1 - Circulação Atmosférica

###### a) nível de 200 hPa

O escoamento nos altos níveis para os quatro meses (Fig. 5.25a,b,c,d) mostra sensíveis diferenças em comparação com aquele visto no composto seco (Fig. 5.3a,b,c,d). A evolução do cavado do Nordeste é semelhante, iniciando-se a partir de uma circulação ciclônica com eixo orientado de noroeste-sudeste sobre o litoral do Nordeste e áreas oceânicas adjacentes. A evolução do AB é bem diferente daquela vista no composto seco. O anticiclone da Bolívia (AB) está presente em novembro e janeiro enquanto que em outubro e dezembro há apenas uma circulação anticiclônica aberta. Essa formação leva a uma configuração em janeiro diferente do caso anterior. O AB se posiciona mais ao norte e o cavado do Nordeste situa-se sobre o Oceano Atlântico. O cavado do Nordeste no

composto seco (Fig. 5.3a,b,c,d) apresenta-se mais amplificado em comparação com o aquele visto neste composto. O AB tem um deslocamento para sul desde o sul da Amazônia até o Paraguai. No caso do composto chuvoso é importante notar que o cavado do Nordeste em janeiro (Fig. 5.25d) está bastante amplificado e com eixo orientado de norte-sul sobre oceano. Nesse mês no composto seco (Fig. 5.3d) nota-se um VCAN com eixo orientado no sentido noroeste-sudeste sobre o continente.

Nota-se também em janeiro a presença de um cavado sobre o Atlântico Norte. Semelhante ao composto seco é interessante notar as áreas de máxima intensidade do vento vistas em ambos os hemisférios. Observa-se que essas áreas são menores em comparação com aquelas vistas no composto seco (Fig. 5.3a,b,c,d). Outra diferença está relacionada às duas circulações anticiclônicas dos dois lados do equador. No caso seco, a circulação anticiclônica do H.N. encontra-se a noroeste do AB, enquanto que no caso chuvoso essa se encontra ao norte.

Os cavados do Nordeste/Atlântico Norte se fazem presentes no campo da vorticidade relativa (Fig. 5.26a,b,c,d) sob a forma de áreas ciclônicas. Semelhante ao composto seco, essas áreas ciclônicas estão separadas pela vorticidade anticiclônica associada ao cisalhamento horizontal no lado equatorial do máximo de intensidade do vento do hemisfério norte.

Nota-se ainda todo o País dominado por vorticidade anticiclônica excetuando-se o Nordeste que tem vorticidade ciclônica associada ao cavado do Nordeste, nos meses de outubro a dezembro. Em janeiro (Fig. 5.26d) a vorticidade ciclônica situa-se sobre o Atlântico, próxima ao litoral do Nordeste. Os meses de outubro, novembro e janeiro (Fig. 5.26a,b,d) foram aqueles que apresentaram maiores dissimilaridades em comparação com o composto seco (Fig. 5.4a,b). Nos meses de outubro e novembro há vorticidade anticiclônica fraca sobre o Nordeste em vez da vorticidade ciclônica vista no composto chuvoso. Por outro lado, nota-se que no período de novembro a janeiro o centro anticiclônico situado sobre o continente é mais intenso no composto chuvoso (Fig. 5.26b,c,d,) do que no seco (Fig. 5.4b,c,d). Em janeiro no composto seco o centro ciclônico está sobre o Nordeste e no composto chuvoso está sobre o oceano.

Nos meses de outubro a janeiro (Fig. 5.27a,b,c,d) observa-se divergência sobre grande parte da América do Sul sendo que nos meses de outubro a dezembro (Fig. 5.27a,b,c) nota-se sobre o Nordeste convergência de fraca a moderada que vai se deslocando para leste, situando-se sobre o oceano, em janeiro. Vale ressaltar que a presença da divergência está associada ao escoamento anticiclônico presente nesses meses (Fig. 5.25a,b,c,d), enquanto que a convergência vista sobre o Nordeste e áreas oceânicas adjacentes está associada ao cavado do Nordeste (Fig. 5.25a,b).

Outro aspecto interessante desses campos é a área de divergência que se estende na direção sudoeste-nordeste desde o Norte-Nordeste do Brasil até o noroeste da África nos quatro meses. Essa área também está presente no composto seco (Fig. 5.5a,b,c,d), embora esteja subdividida em duas células no mês de janeiro. No composto chuvoso valores maiores de divergência atuam em todo o Nordeste no mês de janeiro. É importante notar que a localização dessa área de divergência nos quatro meses está coerente com a de vorticidade anticiclônica vista na faixa equatorial na Fig. 5.26a,b,c,d. Por outro lado, a localização da área divergente no composto seco parece estar mais concentrada no Atlântico Norte.

Os campos do movimento vertical para outubro e novembro (Fig. 5.28a,b) evidenciam que cerca da metade oeste da América do Sul experimenta movimentos ascendentes enquanto que a metade leste tem movimentos descendentes. No mês de novembro (Fig. 5.28c) observa-se movimentos descendentes apenas em parte do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. No mês de janeiro (Fig. 5.28d) há movimentos ascendentes em todo o continente, sendo que um núcleo intenso domina o Nordeste e parte do Sudeste.

No noroeste da América do Sul-América Central nota-se a presença de movimentos descendentes associados ao centro anticiclônico (circulação anticiclônica) visto nos campos de linhas de corrente nos meses de outubro e novembro (dezembro e janeiro) (Fig. 5.25a,b,c,d). A comparação com o composto seco (Fig. 5.6a,b,c,d) para a área do Nordeste evidencia que o composto chuvoso apresenta movimentos ascendentes (descendentes) mais (menos) intensos, o que é particularmente evidente no mês de janeiro (Figs. 5.6d e 5.28d) que mostra movimentos ascendentes fortes (fracos) no composto chuvoso (seco).

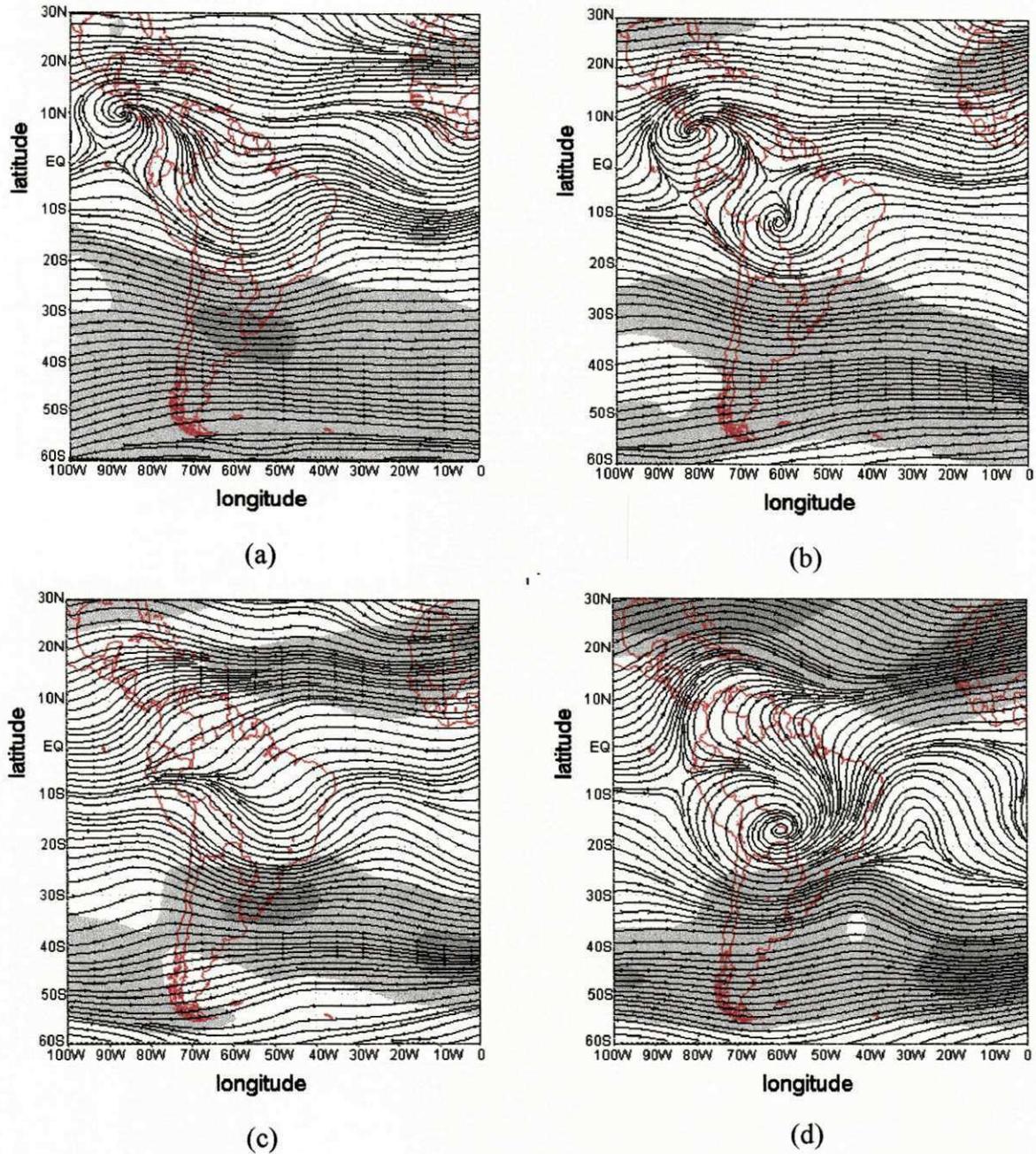
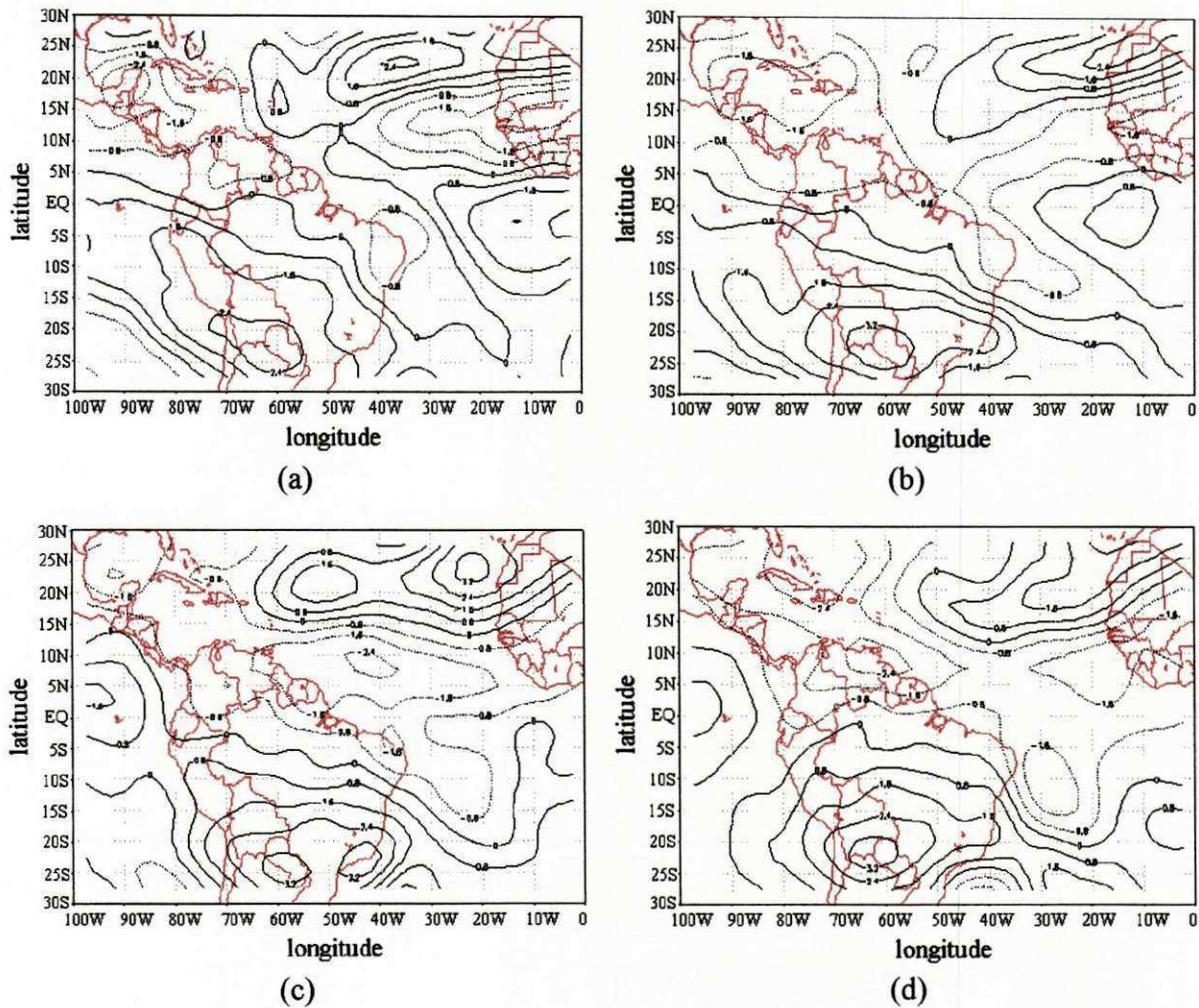


Fig. 5.25 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)



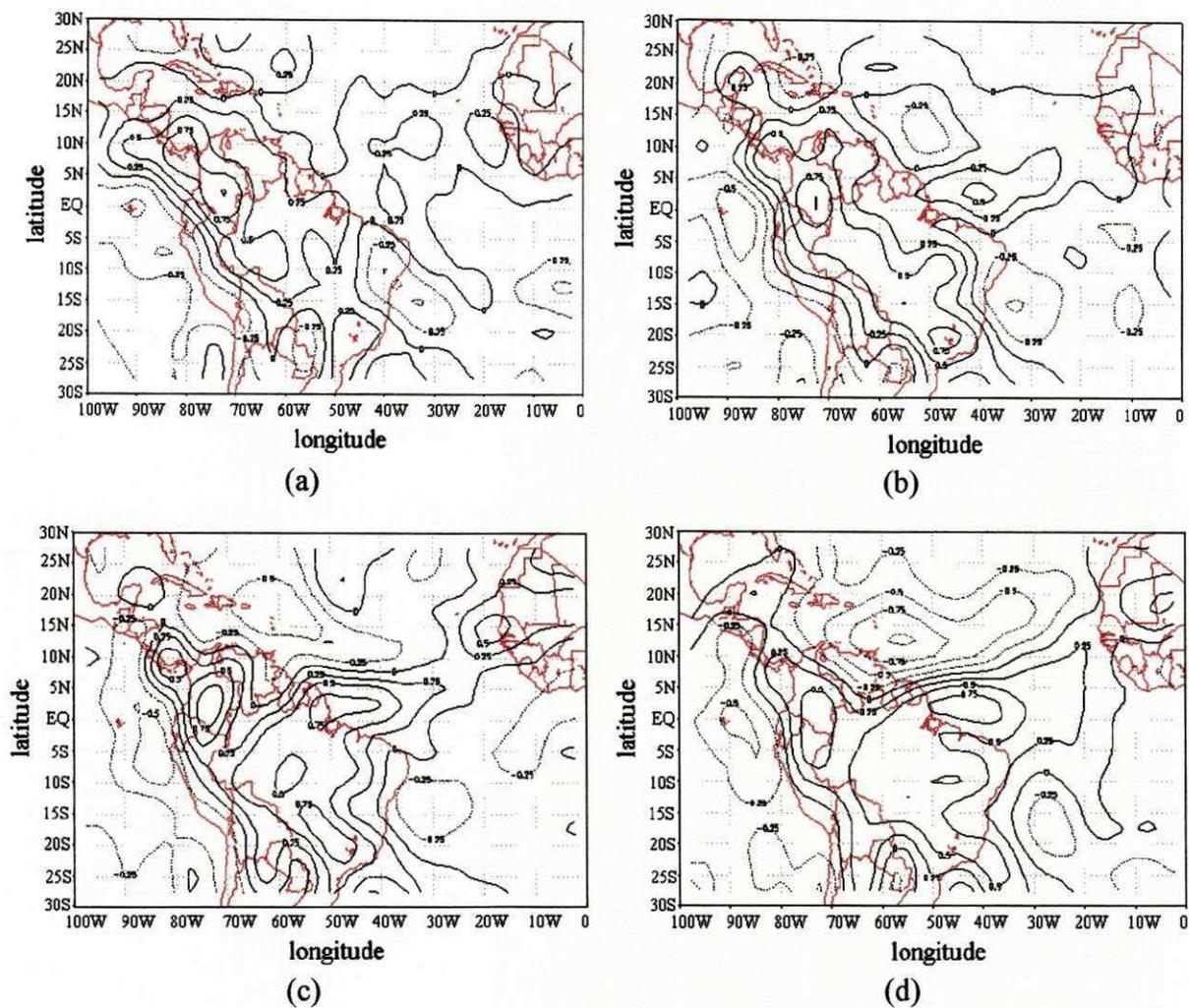


Fig. 5.27 - Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

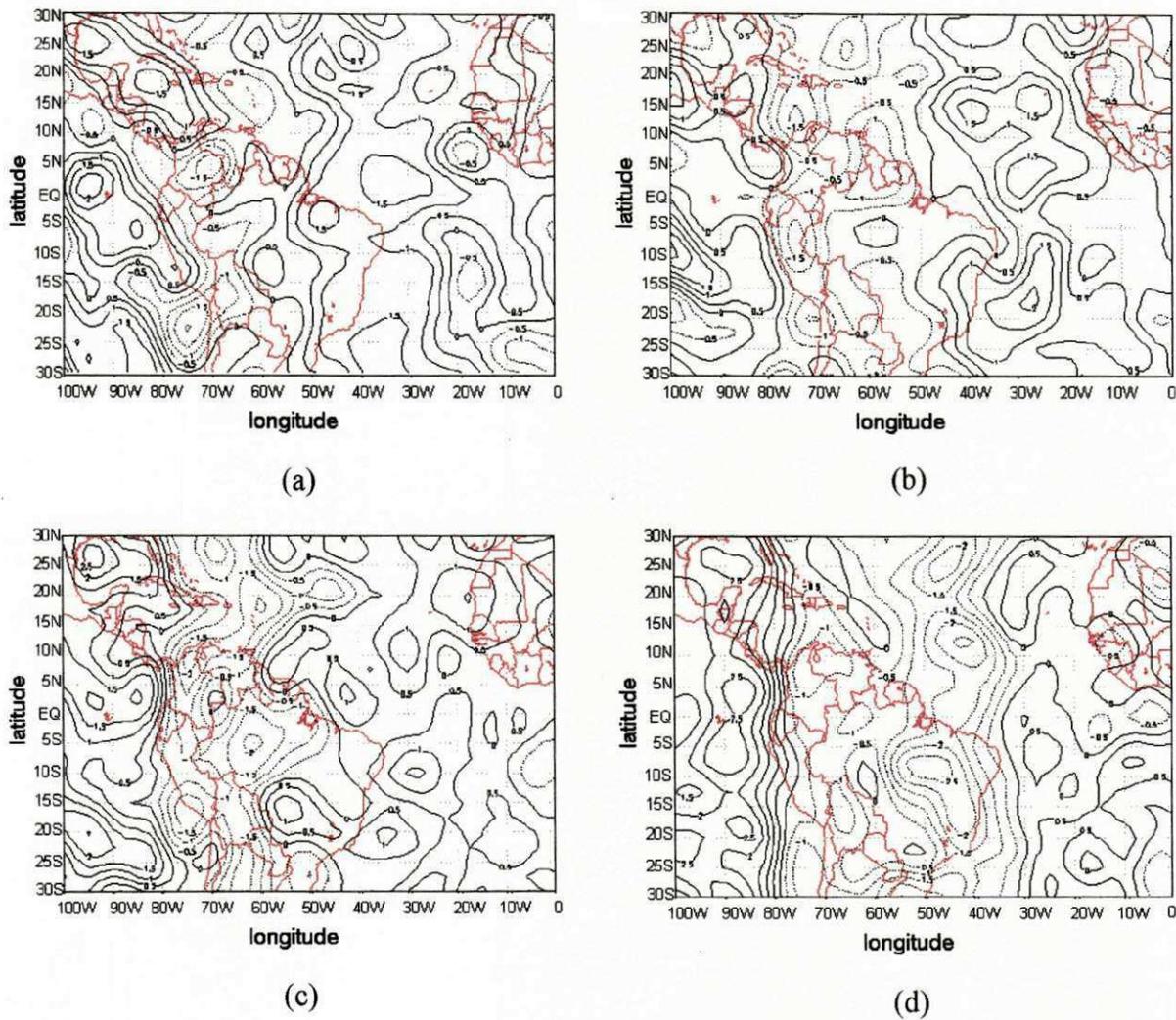


Fig. 5.28 - Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-3} \text{hPa}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

*b) nível de 850 hPa*

Nos baixos níveis observa-se nas linhas de corrente (Fig. 5.29a,b,c,d) a presença do anticiclone subtropical do Atlântico Norte (ASAN) que nos quatro meses apresenta-se subdividido em duas células centradas em torno de  $30^{\circ}\text{N}$ , sugerindo menor intensidade nesses meses. No composto seco o ASAN aparece subdividido apenas nos meses de outubro e novembro (Fig. 5.7a,b). Nota-se também a presença do anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que mostra a mesma tendência à subdivisão em duas células vista no composto seco (Fig. 5.7a,b,c,d). Em janeiro o centro do ASAS está deslocado para leste em comparação com o composto seco, que reflete na direção dos ventos na costa leste do

Brasil, que é de leste desde o Nordeste até 20°S. No composto chuvoso, os ventos são de nordeste.

É importante observar que o escoamento sobre o Nordeste é de leste em outubro e novembro e de nordeste em dezembro e janeiro. Os ventos alísios são mais intensos na área oceânica adjacente ao norte do Nordeste, porém abrangem uma área menor de novembro a janeiro do que no caso do composto seco. Assinala-se ainda na análise de linhas de corrente a presença de confluência no Centro-Leste do país em janeiro, enquanto no composto seco a confluência em janeiro ocorre no Centro-Oeste.

As configurações do escoamento nos baixos níveis (Fig. 5.29a,b,c,d) se refletem nos campos da vorticidade relativa (Fig. 5.30a,b,c,d) e da divergência horizontal (Fig. 5.31a,b,c,d). Observa-se no mês de outubro (Fig. 5.30a) vorticidade anticiclônica fraca sobre grande parte do País. Em novembro (Fig. 5.30b), há presença de um núcleo ciclônico que abrange parte das Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Observa-se que esse núcleo ocupa uma área maior estendendo-se para norte em dezembro e janeiro (Fig. 5.30c,d), influenciando também parte do Nordeste. Semelhante ao composto seco, é válido ressaltar a presença de um núcleo ciclônico intenso situado sobre o noroeste da América do Sul nos quatro meses.

A comparação com os campos da vorticidade relativa do composto seco mostra que as configurações são semelhantes nos dois compostos em outubro, dezembro e janeiro (Figs. 5.8a,c e 5.30a,c). No mês de novembro do composto seco (Fig. 5.8b) nota-se a ausência do núcleo ciclônico no centro sul do país visto no composto chuvoso (Fig. 5.30b). O centro ciclônico nessa região em janeiro do composto seco (Fig. 5.8a)/chuvoso (Fig. 5.30d) é fraco/forte. Nos dois casos nota-se vorticidade anticiclônica no norte e ciclônica no sul do Brasil.

O campo da divergência (Fig. 5.31a,b,c,d,) mostra quase todo o País dominado por convergência (exceto na faixa litorânea norte e leste e Região Sul). Os campos da divergência horizontal nos dois compostos mostram configurações semelhantes nos quatro meses, porém no caso chuvoso, os valores de convergência são maiores. Os campos do movimento vertical mostram que nos meses de dezembro e janeiro (Fig. 5.32c,d) todo o Nordeste experimenta movimentos ascendentes enquanto que há movimentos descendentes

na metade oeste do País nos quatro meses (Fig. 5.32a,b,c,d). A comparação com os campos do composto seco (Fig. 5.10a,b,c,d) não evidencia diferenças marcantes entre os dois compostos.

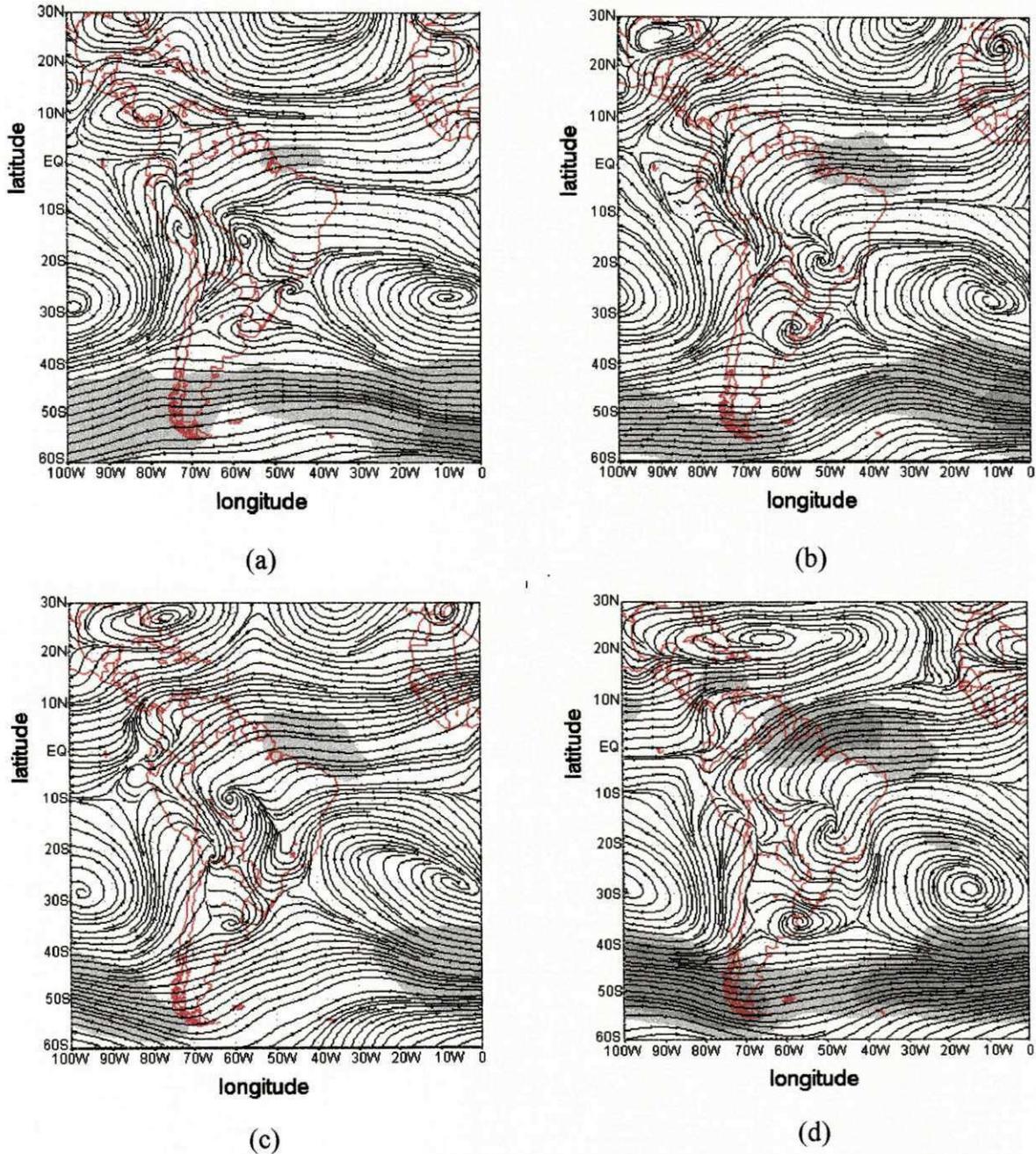


Fig. 5.29 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

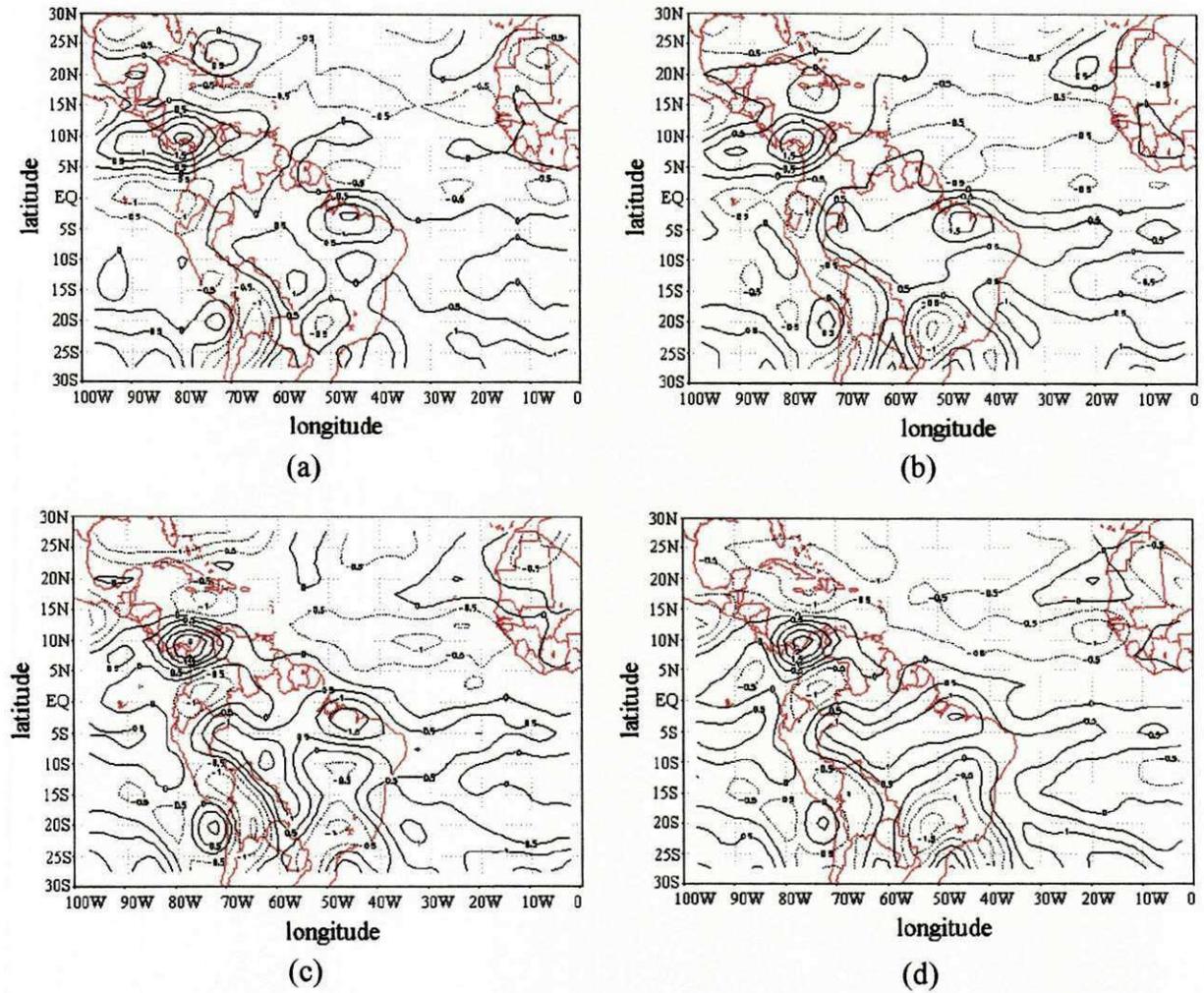
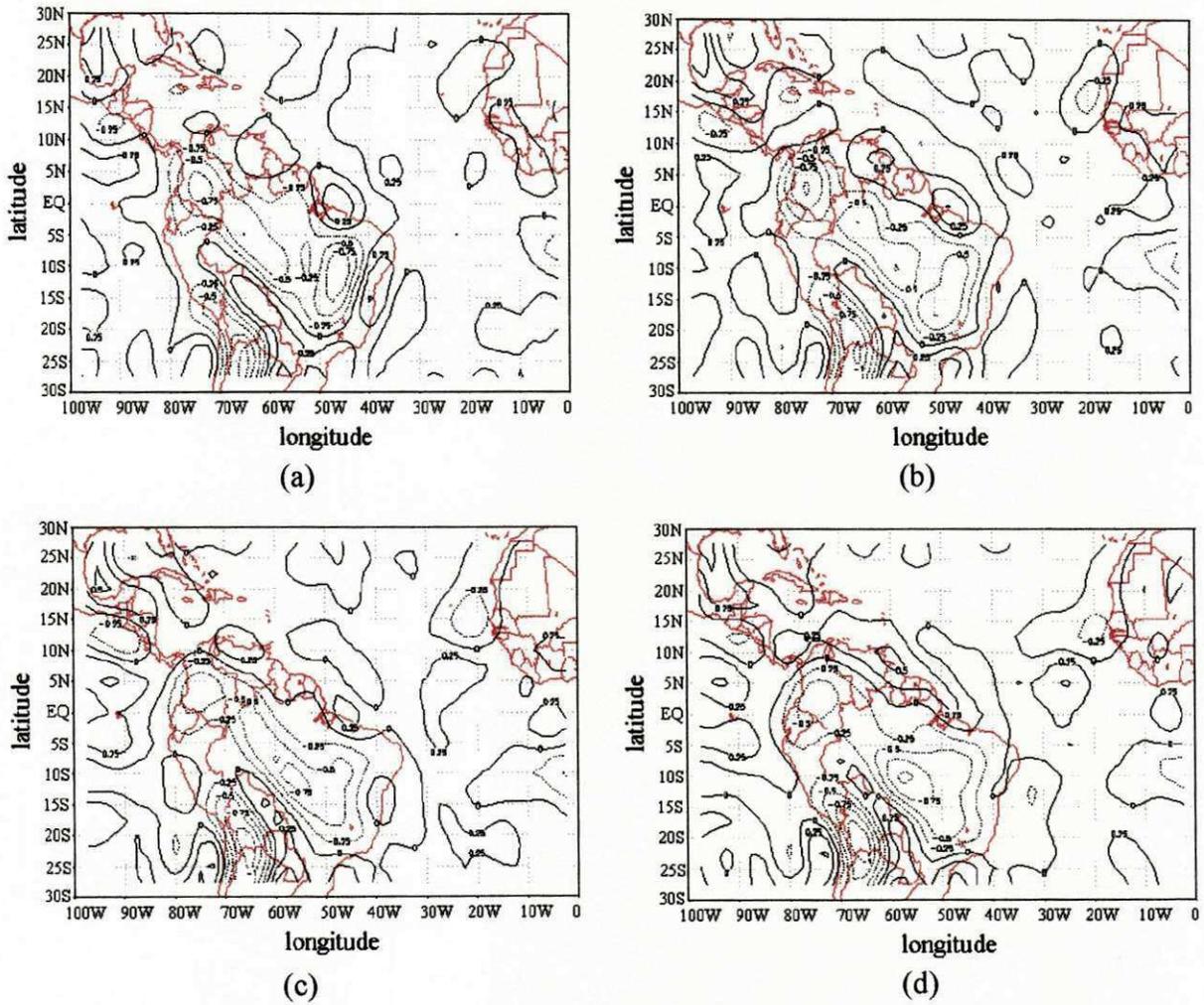


Fig. 5.30 - Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)



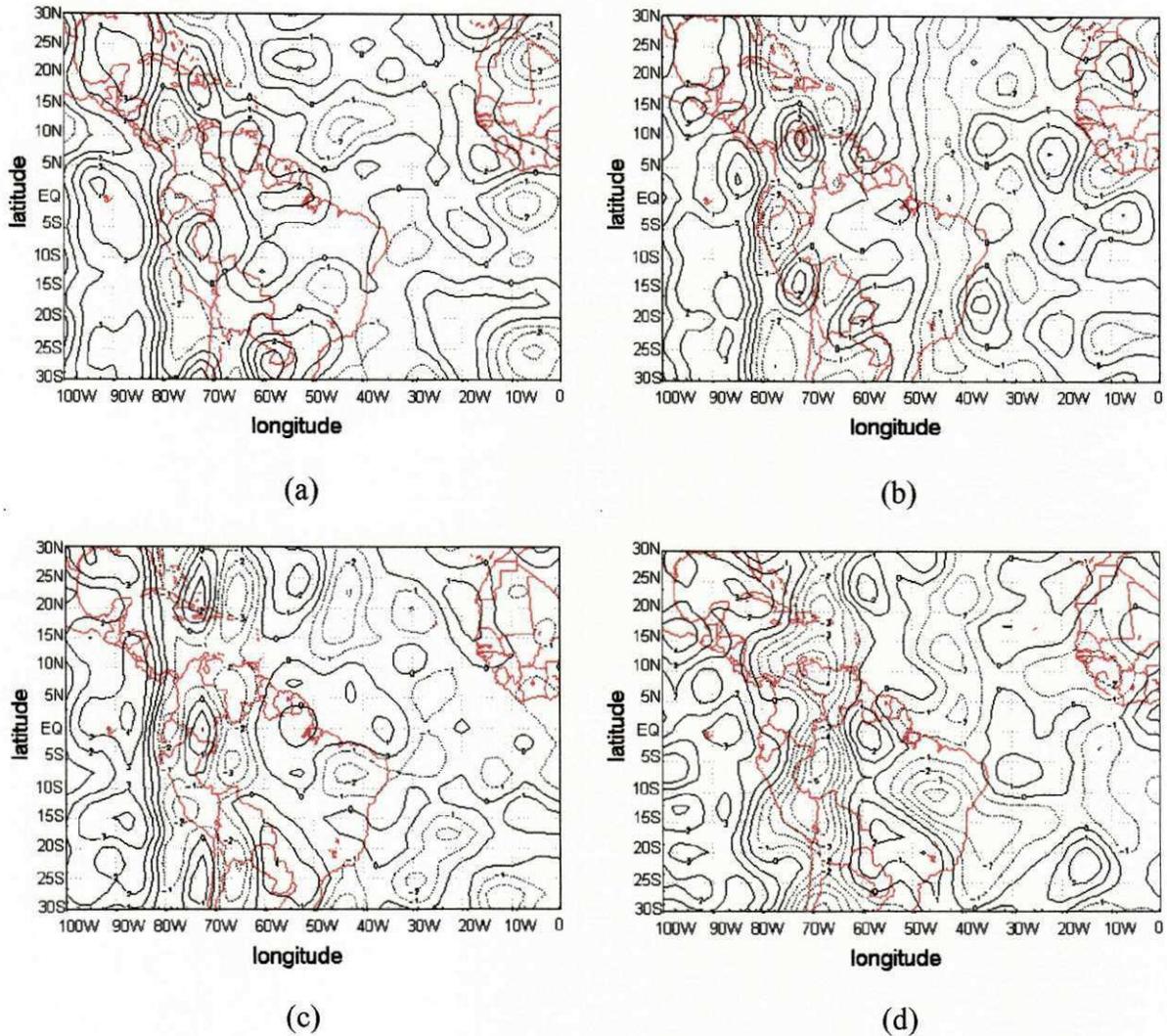


Fig. 5.32 - Campos médios do movimento vertical em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima do movimento vertical é de  $1 \times 10^{-3} \text{hPa s}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

### 5.3.1.2 - Umidade específica (700 hPa)

Sobre o Nordeste notam-se valores mais baixos de umidade (Fig. 5.33a,b,c,d) no composto chuvoso, porém, o forte gradiente de umidade localizado sobre o Nordeste é mais intenso do que aquele visto no composto seco. Nos meses de novembro a janeiro (Fig. 5.33b,c,d) observa-se uma área com máxima umidade que se estende desde a Amazônia brasileira até o Sudeste do País.

A configuração do composto chuvoso de janeiro é bem diferente daquela do composto seco e a faixa NW/SE de umidade associada à ZCAS aparece bem configurada.

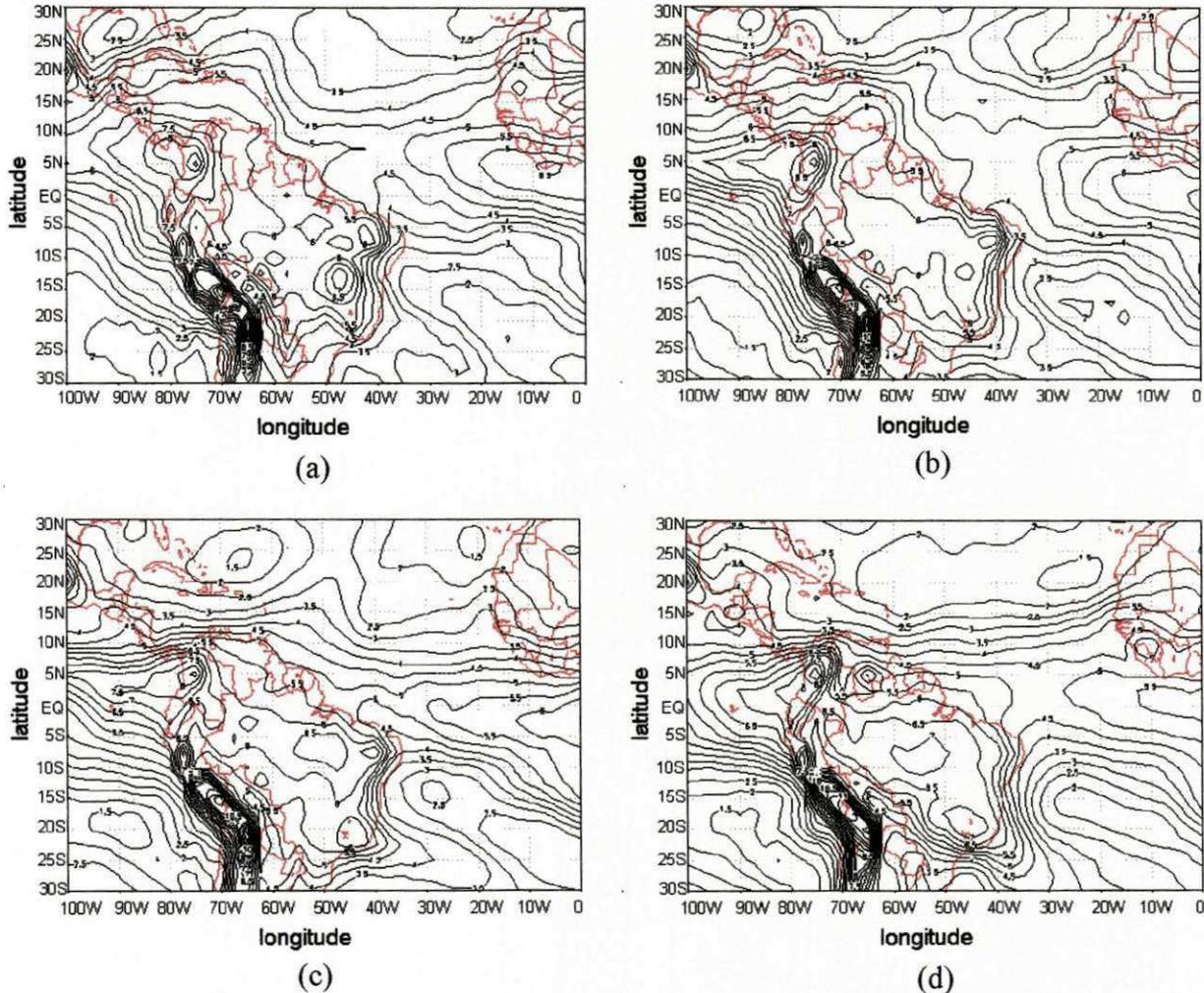


Fig. 5.33 – Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) janeiro. O intervalo de análise visto acima é de  $2 \text{ gkg}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.3.1.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar

Nos meses de outubro a dezembro de 1978 observa-se anomalias positivas de TSM sobre o Pacífico Sul com uma região de máximo próxima à costa do Chile e anomalias no Pacífico Equatorial Leste em outubro. No decorrer do período, as anomalias positivas se estendem para a região tropical leste do Pacífico (Fig. 5.34a,b,c,d). No período de 84/85 observa-se no Pacífico Equatorial a presença de anomalias negativas intensas (Fig.5.35a,b,c). De novembro a janeiro de 1985 (Fig. 5.35d) verifica-se o estabelecimento

da situação de La Niña, já que todo o Pacífico Equatorial está dominado por anomalias negativas.

Outro aspecto interessante em relação aos campos de anomalias de TSM para os anos de 78/79 e 84/85 é a existência de um núcleo de anomalias negativas sobre o Pacífico Subtropical Sul em torno de  $25^{\circ}\text{S}\backslash 170^{\circ}\text{W}$  enquanto que a oeste da América do Sul verifica-se um núcleo de anomalias positivas.

Sobre o Atlântico nos meses de outubro a janeiro dos anos de 78/79 observam-se anomalias em torno de  $0^{\circ}\text{C}$  enquanto que em 84/85 tem-se uma configuração de dipolo fraco, com anomalias positivas no hemisfério sul. Em janeiro de 1979 nota-se sobre o Atlântico Norte próximo à África uma área com anomalias positivas enquanto que em 1985 são vistas anomalias negativas. É interessante ressaltar que essas anomalias negativas próximas à África são vistas desde outubro de 1984 (Fig. 5.35a).

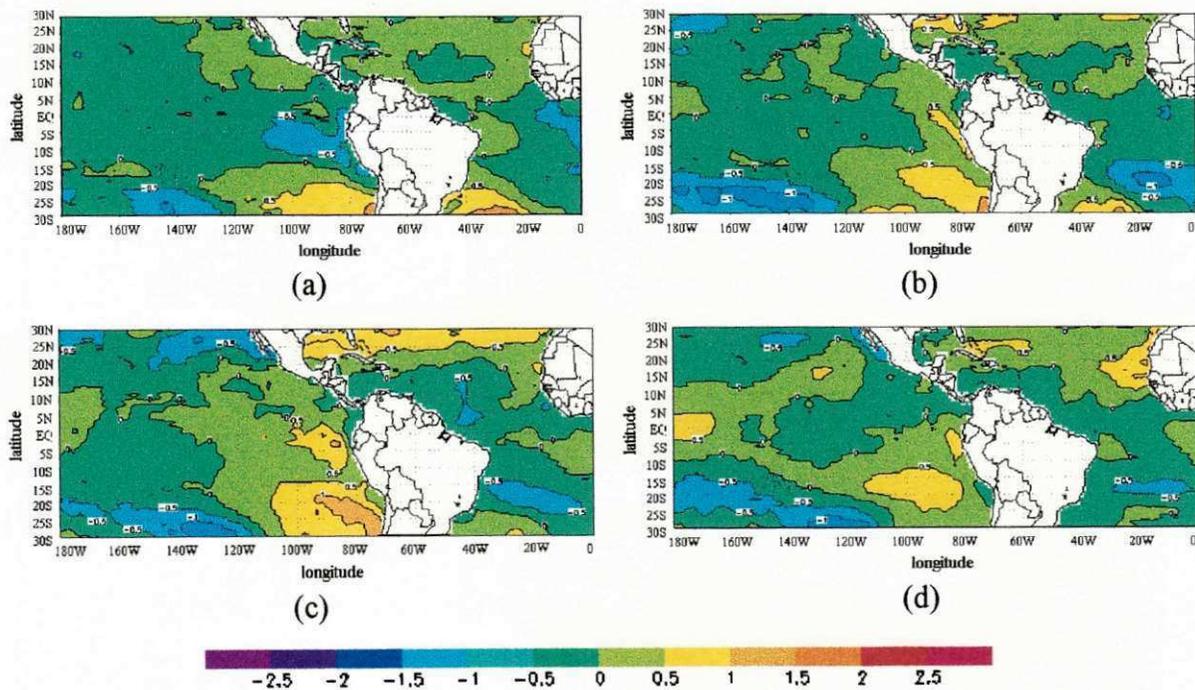


Fig. 5.34 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1978 e (d) janeiro de 1979. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

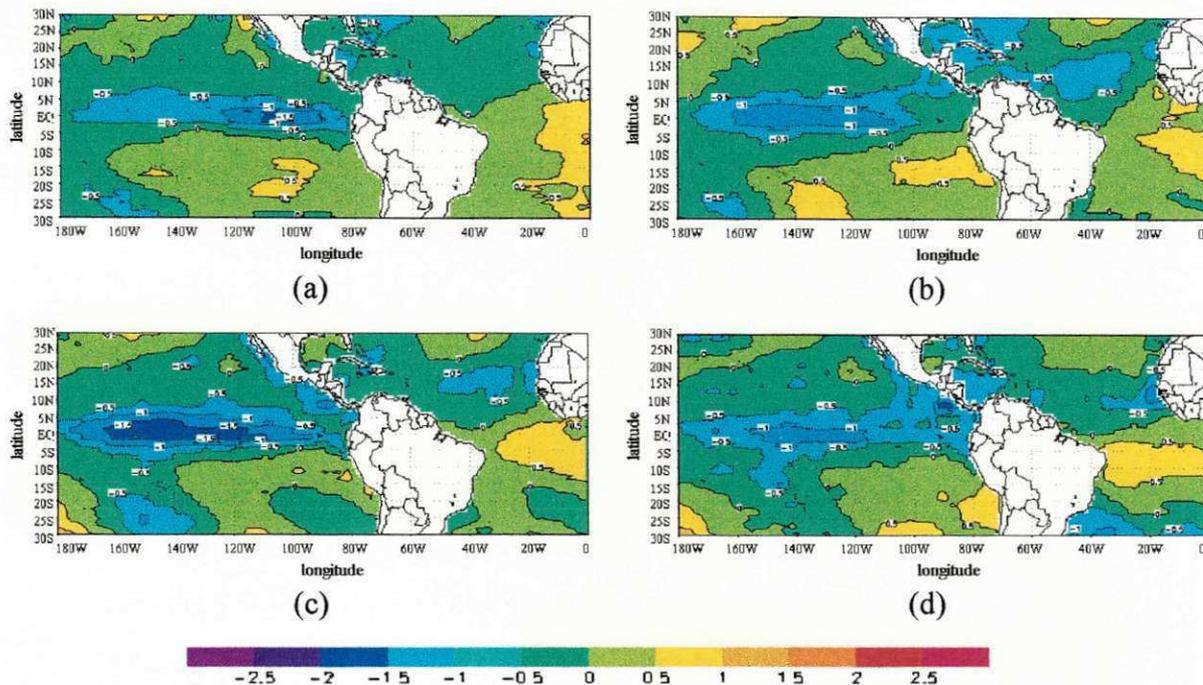


Fig. 5.35 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) outubro, (b) novembro e (c) dezembro de 1984 e (d) janeiro de 1985. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

### 5.3.2 – Análise dos meses posteriores (FMAM)

#### 5.3.2.1 - Circulação Atmosférica

##### a) nível de 200 hPa

O escoamento nos altos níveis (Fig. 5.36a,b,c,d) mostra que o par AB-cavado do Nordeste ainda se encontra intenso e o cavado permanece sobre o oceano, em fevereiro. É importante assinalar que o eixo do cavado do Nordeste no mês de fevereiro está orientado de norte-sul sobre o Atlântico Sul enquanto que no composto seco (Fig. 5.14a) o eixo do VCAN está orientado no sentido sudeste-noroeste sobre o continente.

O cavado do Nordeste tem amplitude menor em março e abril (Fig. 5.36c) enquanto que o par AB-cavado do Nordeste não está presente em maio (Fig. 5.36d). O par AB-cavado do Nordeste mostra-se mais intenso no composto seco com exceção do mês de abril (Figs. 5.14c e 5.36c). Observa-se ainda nesses campos áreas de máxima intensidade do

vento em ambos os hemisférios com um gradual avanço para norte da área situada sobre a América do Sul e uma diminuição gradual na área oceânica adjacente à América Central.

As configurações do escoamento se refletem no campo da vorticidade relativa, já que nota-se nos meses de março a maio (Fig. 5.37b,c,d) a ausência do núcleo ciclônico associado ao cavado do Nordeste e o deslocamento para norte-nordeste do centro anticiclônico inicialmente situado no centro-oeste da América do Sul. É evidente também nesses campos o deslocamento para oeste da área ciclônica situada no hemisfério norte, o que ocasionou o alinhamento leste-oeste do núcleo anticiclônico localizado na faixa equatorial do Atlântico Norte.

A comparação entre os campos da vorticidade relativa dos dois compostos mostra que no mês de março a vorticidade anticiclônica situada no centro-oeste da América do Sul é mais intensa no composto chuvoso (Fig. 5.37b,c) do que no composto seco (Fig. 5.15b,c). Em abril, o centro de vorticidade anticiclônica no composto chuvoso se posiciona a nordeste do centro observado no composto seco.

Em linhas gerais, nota-se que há divergência na maior parte da América do Sul (Fig. 5.38a,b,c,d). Nos campos da divergência horizontal nota-se ainda a presença de uma banda convergente sobre o Atlântico, cuja orientação no mês de fevereiro (março e abril) é de sudoeste-nordeste (quase zonal). No mês de maio (Fig. 5.38d) ela se apresenta sob a forma de núcleos isolados situados sobre o Atlântico Norte.

A comparação entre os dois compostos evidencia que a área de divergência situada no Atlântico Tropical se estende da América do Sul até a África no composto chuvoso de outubro a abril (Fig. 5.38a,b,c), enquanto que no composto seco essa configuração ocorre apenas em a março (Fig. 5.16a,b)

O campo do movimento vertical nos meses de fevereiro e março (Fig. 5.39a,b) mostra movimentos ascendentes de fracos a moderados em todo o País. No mês de abril (Fig. 5.39c) há movimentos descendentes (ascendentes) fracos na sua metade oeste (leste) enquanto que em maio (Fig. 5.39d) quase todo o País experimenta movimentos ascendentes fracos.

A comparação entre os dois compostos (Figs. 5.17a,b,c,d e 5.39a,b,c,d) não evidencia movimentos subsidentes fortes próximos à costa leste do Nordeste no composto seco e movimentos ascendentes nessa região, na maioria dos meses, no composto chuvoso.

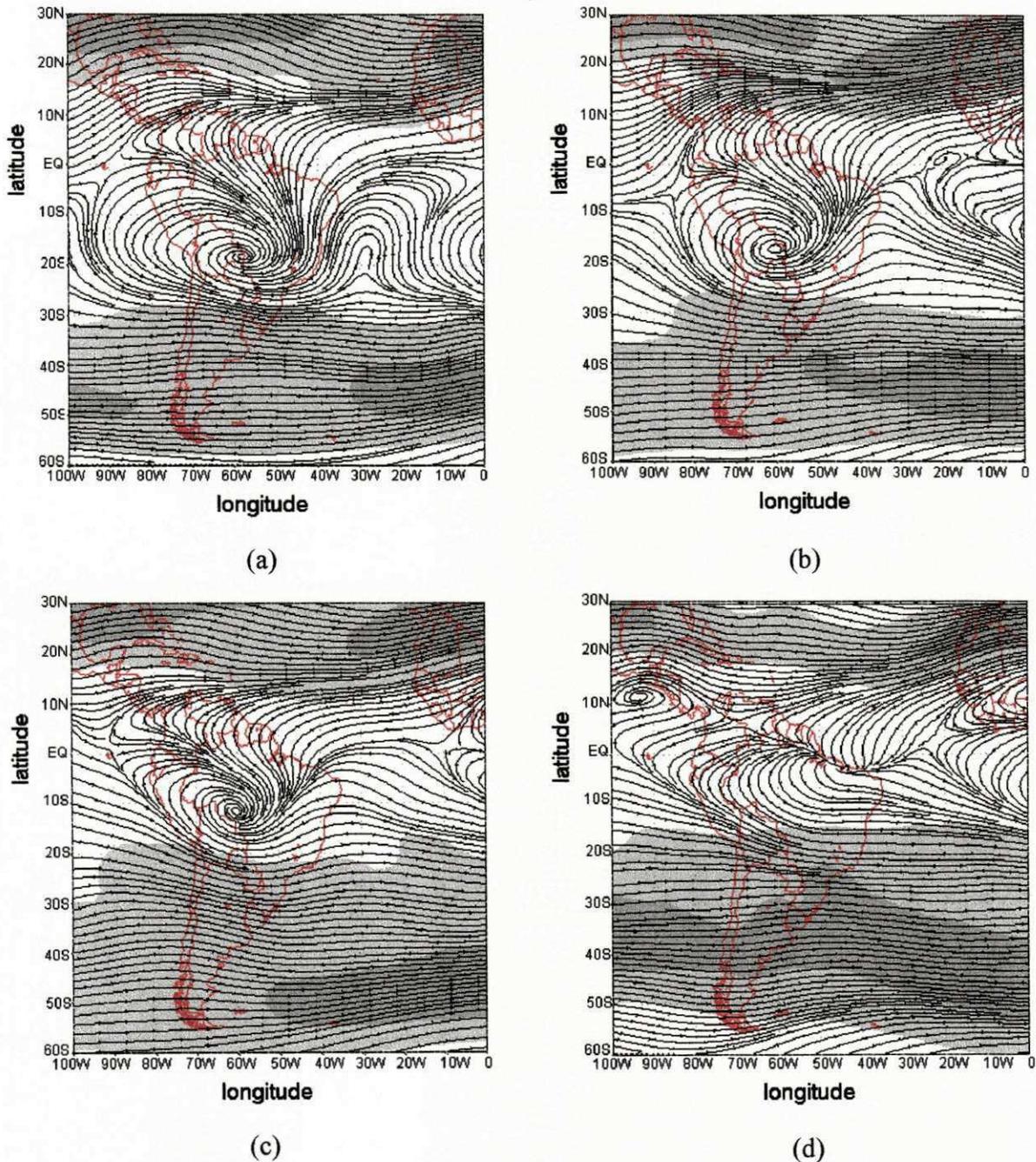


Fig. 5.36 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidades acima de  $20 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $30 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte de dados: NCEP/CPTEC)

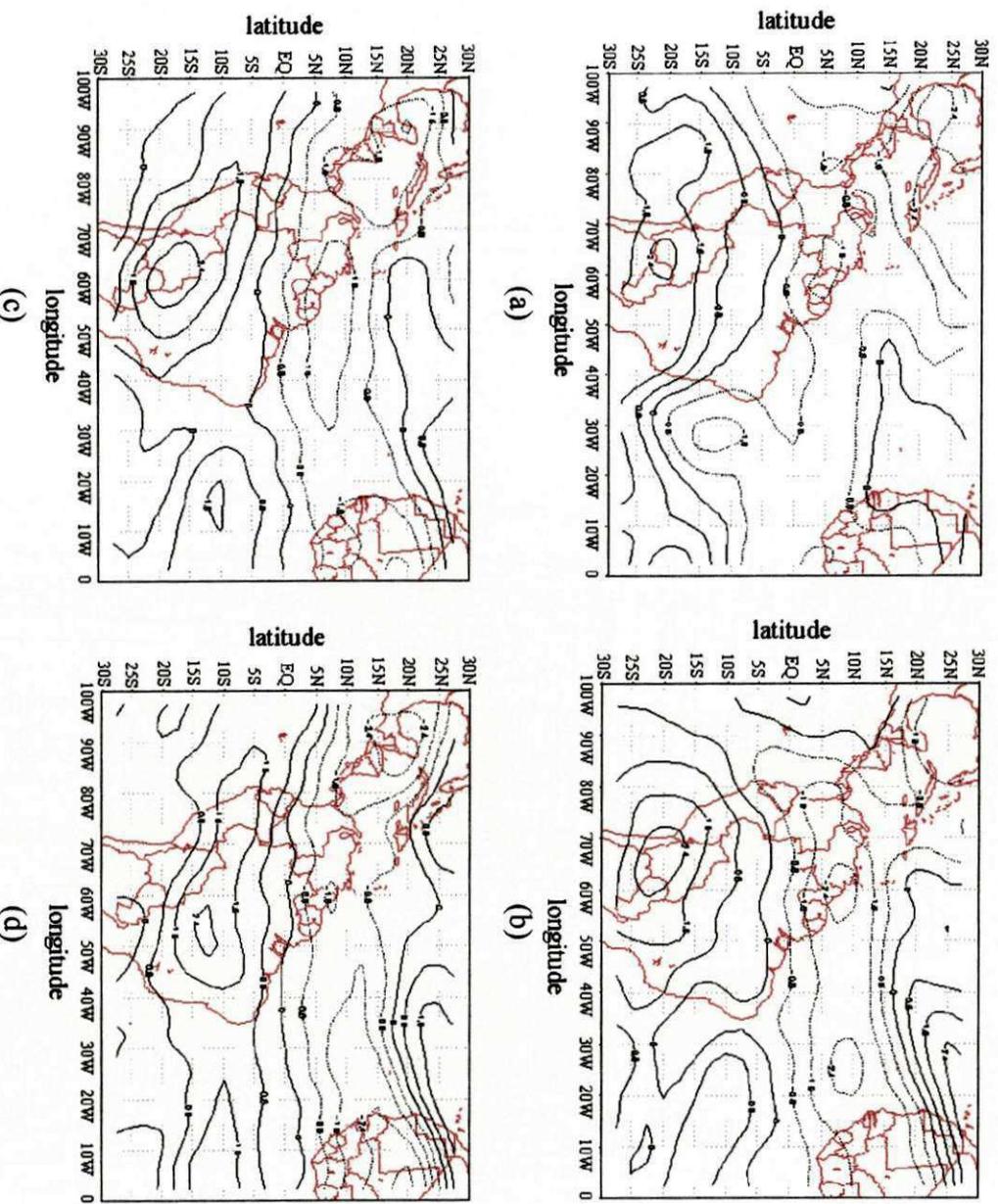


Fig. 5.37 - Campos médios da vorticidade relativa em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP/CPTec)

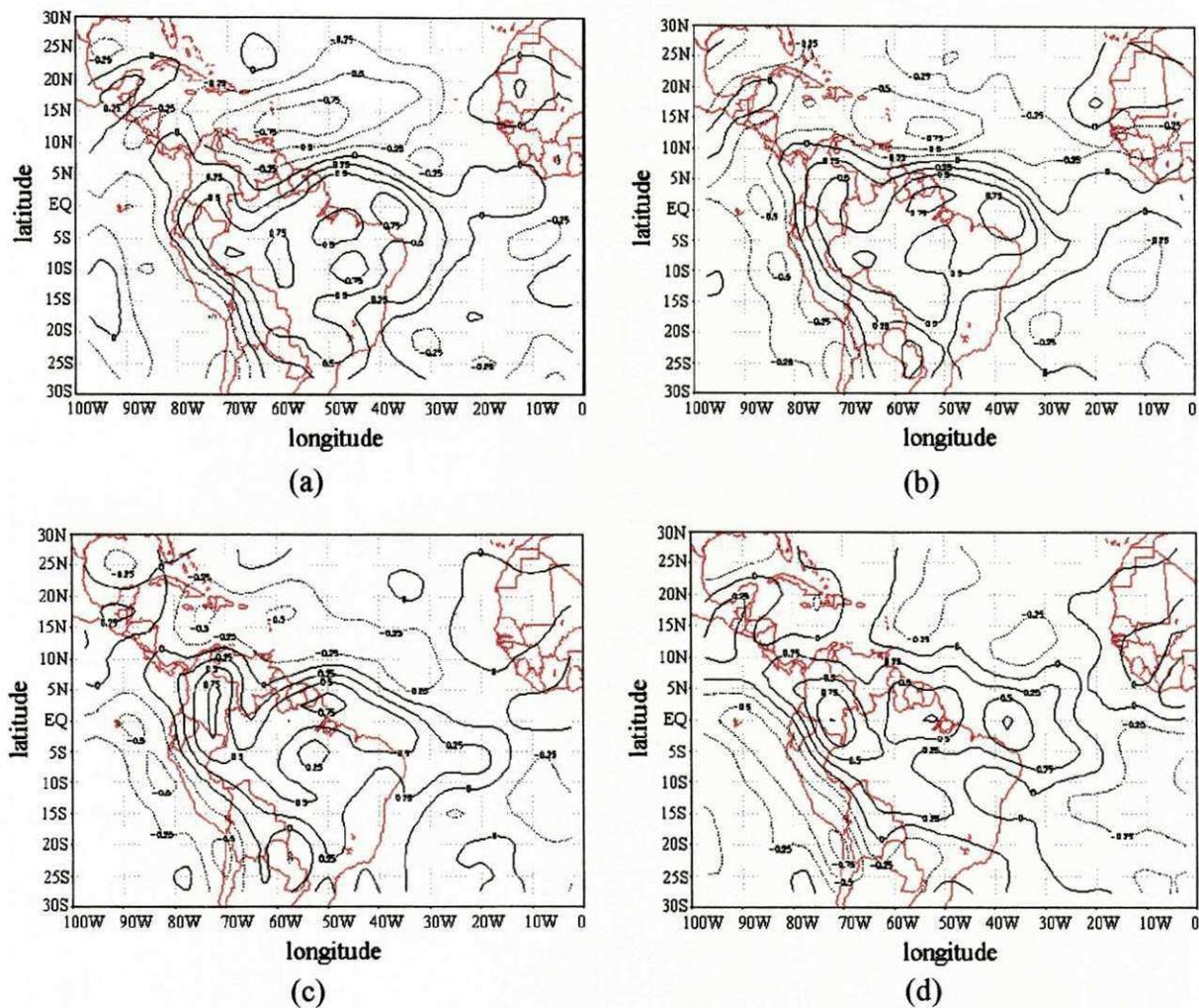


Fig. 5.38 - Campos médios da divergência horizontal em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP|CPTEC)

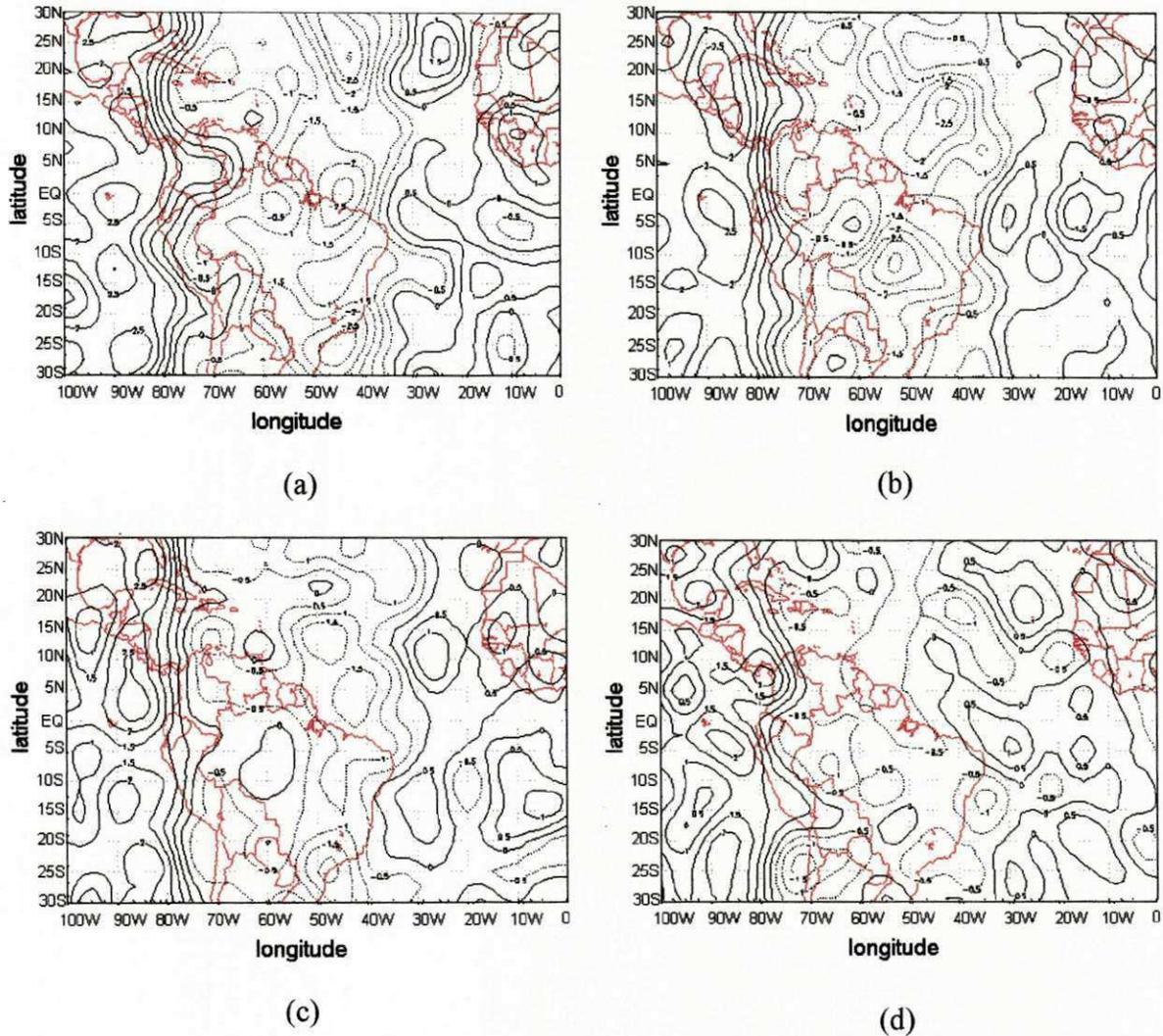


Fig. 5.39 - Campos médios do movimento vertical em 200 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-3} \text{hPa}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

*b) nível de 850 hPa*

Nos baixos níveis nos meses de fevereiro a maio (Fig. 5.40a,b,c,d) observa-se que o ASAS tem um deslocamento para sudeste em relação à posição vista nos meses anteriores (Fig. 5.29a,b,c,d). É interessante observar que o ASAS apresenta-se subdividido em abril e maio (Fig. 5.40c,d) com um dos centros anticiclônicos sobre o sul do País.

No composto seco o ASAS subdivide-se em duas células em fevereiro e março (Fig. 5.18a,b), enquanto que em abril e maio (Fig. 5.18c,d) ele mostra tendência para a subdivisão. O ASAN nos meses de fevereiro e março (Fig. 5.40a,b) mostra-se ainda

subdividido com eixo centrado em 25°N com orientação sudoeste-nordeste. No composto seco o ASAN aparece na forma de um única célula centrada em 30°N (Fig. 5.18a,b,c,d).

Observa-se nos campos da vorticidade relativa e da divergência, nos meses de fevereiro a maio (Figs. 5.41a,b,c,d e 5.42a,b,c,d), vorticidade anticiclônica e divergência fracas na área dos anticiclones subtropicais. Nos meses de março a maio (Fig. 5.41b,c,d) nota-se que o Brasil tem vorticidade anticiclônica fraca enquanto que em fevereiro (Fig. 5.41a) há um núcleo anticiclônico (ciclônico) forte (fraco) sobre a Região Norte (Regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do Nordeste).

A comparação entre os dois compostos mostra dissimilaridades evidentes nos meses de março e abril, já que há no composto seco (Fig. 5.19b,c) um núcleo ciclônico sobre o Brasil que não aparece neste composto (Fig. 5.41b,c). Assinala-se ainda a presença, nos quatro meses deste composto (Fig. 5.41a,b,c,d), de um núcleo anticiclônico sobre o noroeste da América do Sul-América Central que também aparece no composto seco (Fig. 5.19a,b,c,d). Os campos da divergência horizontal (Fig. 5.42a,b,c,d) são semelhantes aos do composto seco (Fig. 5.20a,b,c,d), já que mostram convergência sobre todo o País, com exceção da Região Sul nos quatro meses e do leste do Nordeste, de março a maio (Fig. 5.42b,c,d).

Os campos do movimento vertical deste composto (Fig. 5.43a,b,c,d) mostram movimentos ascendentes no oeste da América do Sul nos quatro meses. Observa-se ainda nesses meses movimentos descendentes sobre a Amazônia brasileira e Região Sul enquanto que há movimentos descendentes sobre parte do Nordeste em fevereiro, março e maio (Fig. 5.43a,b,d). Movimentos ascendentes de fracos a moderados dominam total ou parcialmente o Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste no decorrer do período. Vale ressaltar a presença do núcleo ascendente intenso que domina todo o Nordeste em abril (Fig. 5.43c). A dissimilaridade mais evidente entre estes campos e os do composto seco (Fig. 5.21a,b,c,d) encontra-se no mês de abril, já que no composto seco um núcleo ascendente fraco atua sobre parte do Nordeste em contraste com aquele visto na Figura 5.43c. Tal dissimilaridade é compatível com a ocorrência de chuvas acima da média no mês de abril do composto chuvoso.

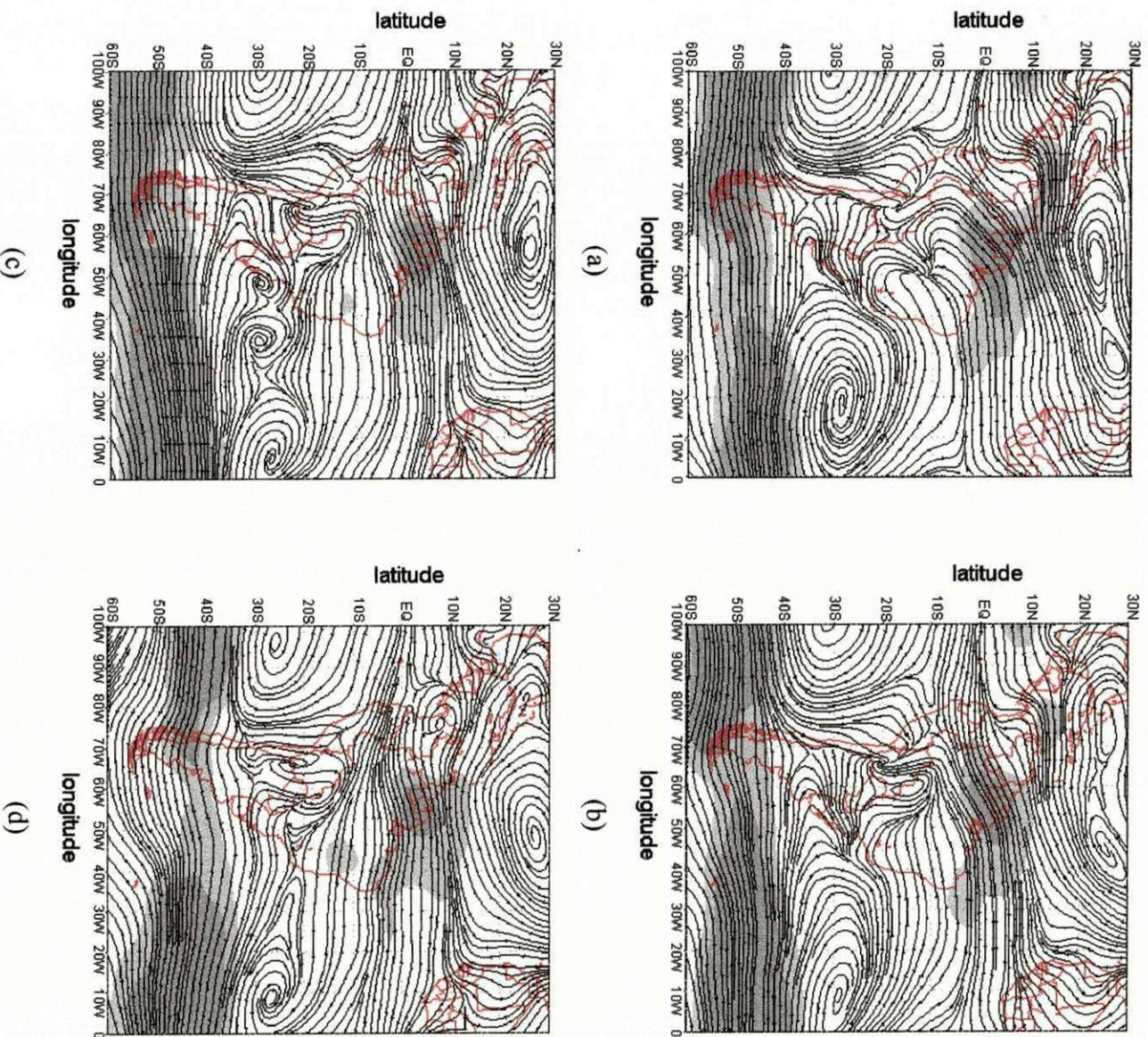


Fig. 5.40 – Campos de linhas de corrente e intensidade do vento médio (hachurada) em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. As áreas sombreadas mais claras correspondem a intensidade acima de  $8 \text{ ms}^{-1}$  enquanto que as mais escuras correspondem a intensidades acima de  $10 \text{ ms}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

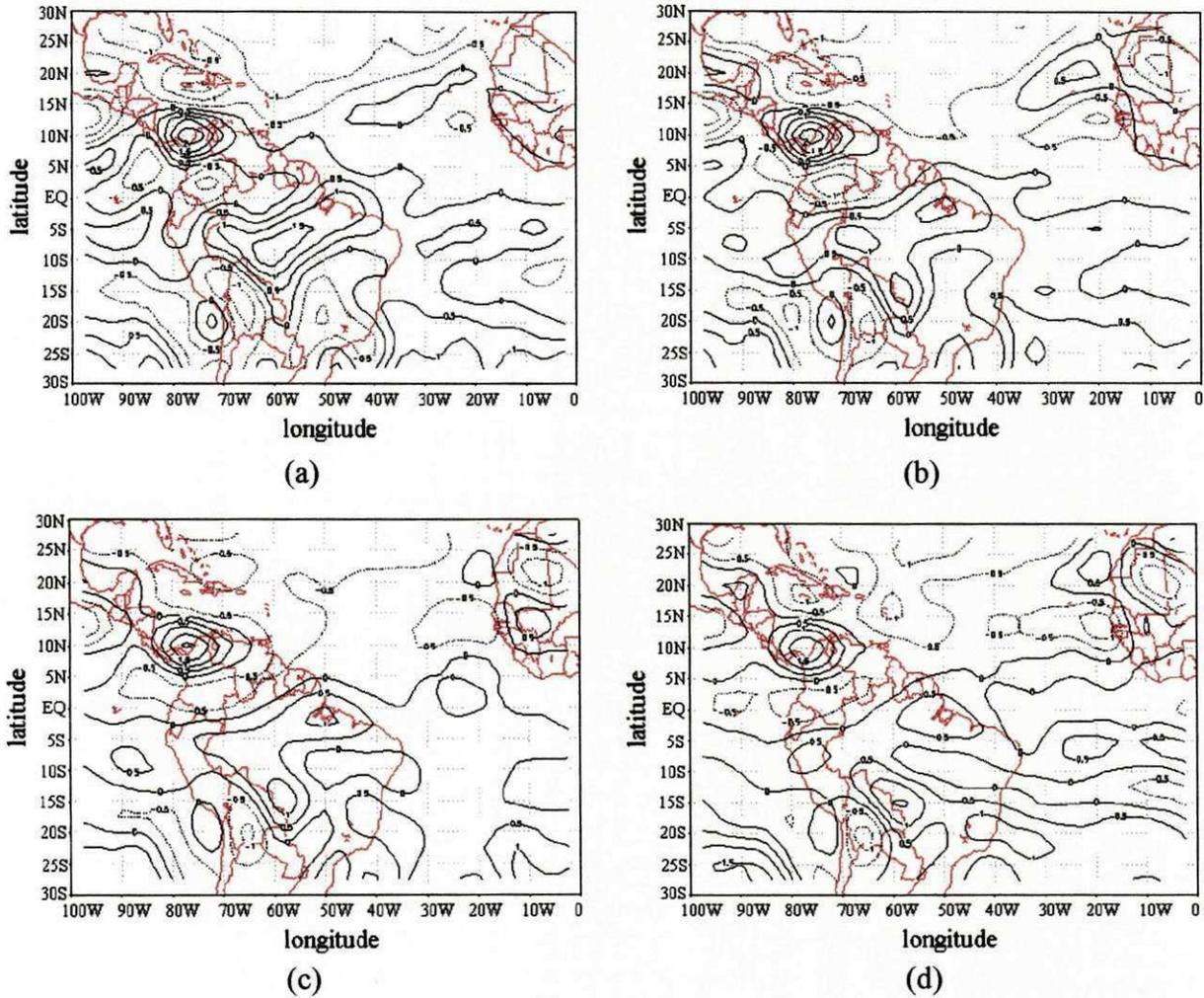


Fig. 5.41 - Campos médios da vorticidade relativa em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos).  
(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

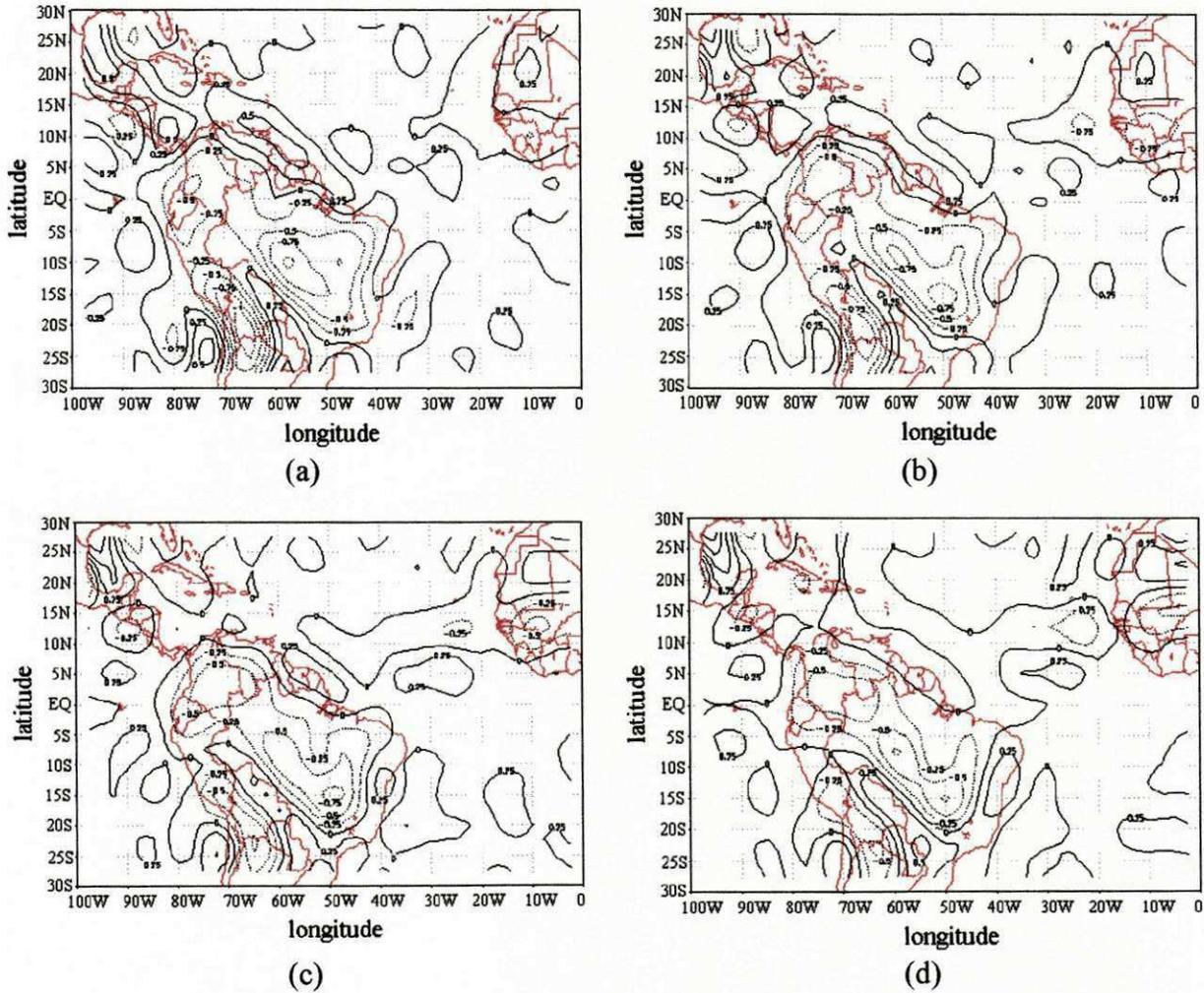


Fig. 5.42 - Campos médios da divergência horizontal em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $0,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  com as linhas contínuas (pontilhadas) representando valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

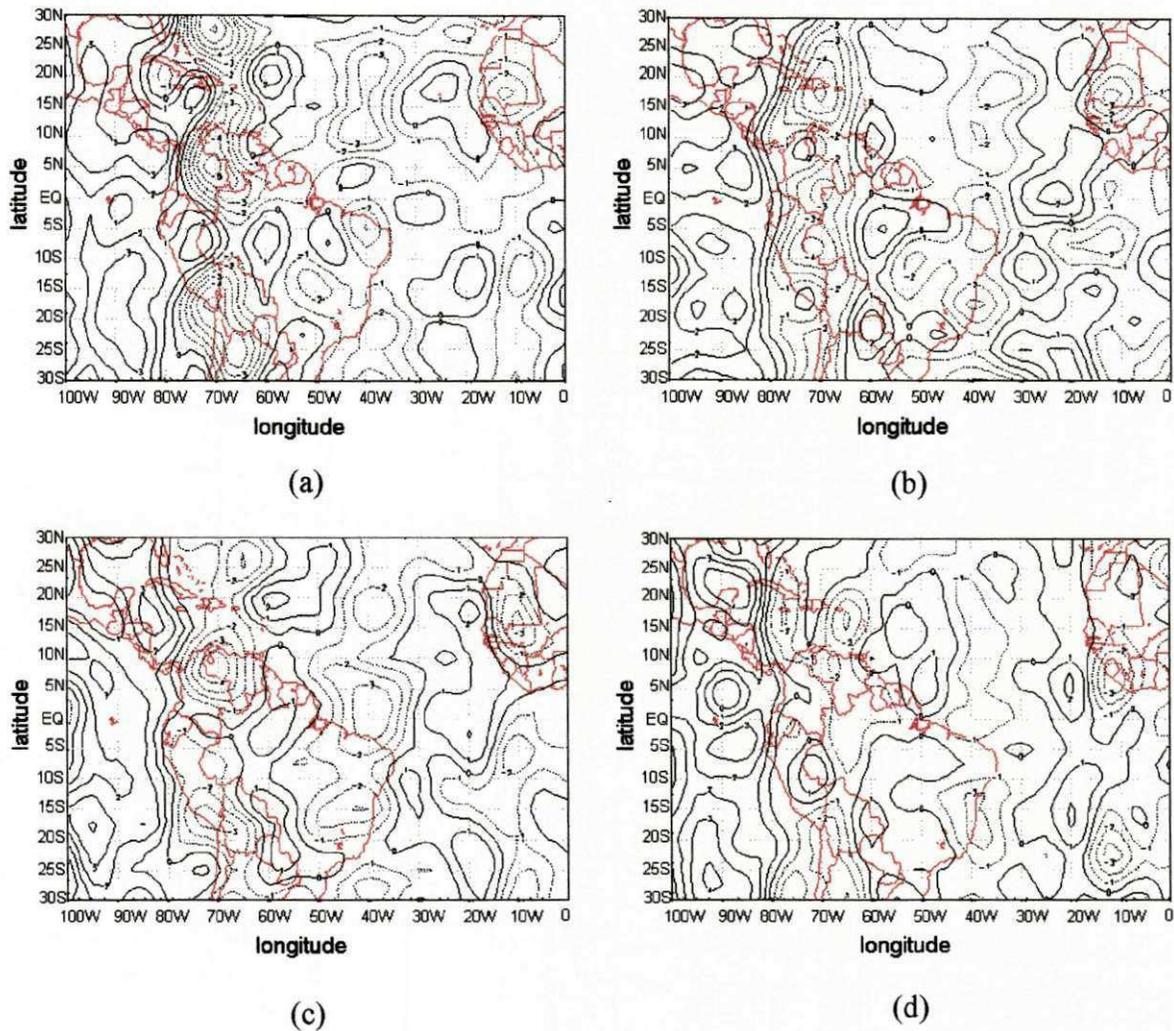


Fig. 5.43 - Campos médios do movimento vertical ( $10^{-3}\text{hPa}^{-1}$ ) em 850 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de  $1 \times 10^{-3}\text{hPa}^{-1}$ . (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

### 5.3.2.2 – Umidade específica (700 hPa)

Nos campos da umidade específica de fevereiro a maio (Fig. 5.44a, b, c, d) nota-se que permanece a região de máxima umidade que se estende desde a Amazônia até parte do Nordeste. A partir de março a região de máxima umidade começa a diminuir sobre o Nordeste. Nos meses de abril e maio (Fig. 5.44c, d) a umidade é baixa sobre o Nordeste em comparação com as demais regiões. As análises dos campos da umidade específica mostram ainda o forte gradiente de umidade específica sobre o Nordeste do Brasil. Esse último continua como nos meses anteriores, mais intenso no composto chuvoso em comparação com o composto seco.

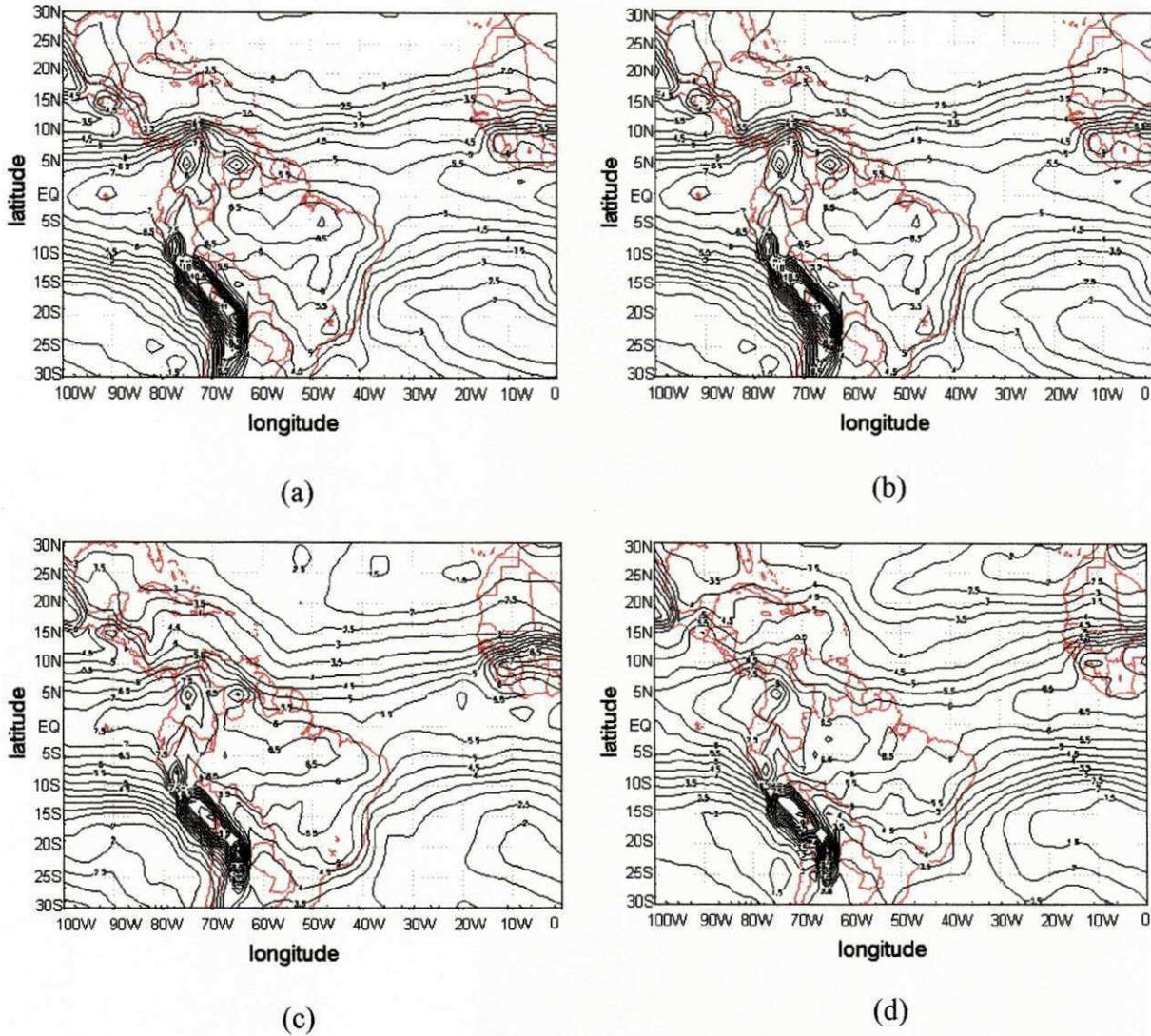


Fig. 5.44 – Campos médios da umidade específica em 700 hPa, referentes aos meses do composto chuvoso de: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio. O intervalo de análise visto acima é de 2 gkg<sup>-1</sup>. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

### 5.3.2.3 – Anomalias da temperatura da superfície do mar

Ainda em fevereiro e março observa-se a presença de anomalias positivas sobre o Pacífico Sul em 1979 (Fig. 5.45a,b), porém, no decorrer de abril a maio essas anomalias diminuem gradativamente (Fig. 5.45c, d). No meses de fevereiro a maio de 1985, nota-se ainda a configuração de La Niña (Fig. 5.46a,b,c,d).

Nos meses de fevereiro, março e maio (Fig. 5.46a,b,d) dos três anos classificados com janeiro chuvoso, observa-se ainda o núcleo positivo no Atlântico Norte e o núcleo negativo no Atlântico Sul, em torno da latitude de 25° (norte e sul).

É interessante observar no Pacífico Norte em alguns meses de 1979 e 1985 a presença de uma área de anomalias negativas que se estendem desde 30°N até em torno de 15°N. Vale assinalar que tais anomalias não são vistas nos meses de outubro a janeiro (Fig. 5.34,35).

Nota-se ainda de fevereiro a maio no ano de 1979 uma área de anomalias negativas no Pacífico Sul em torno da altitude de 20°S, enquanto que no ano de 1985 são vistas anomalias positivas nessa região. Por outro lado, pode-se notar no ano de 1985 que as anomalias negativas próximas à África permanecem e se estendem para oeste enquanto que em 1979 a intensidade das anomalias positivas situadas próximo à costa oeste da América do Sul diminui gradativamente.

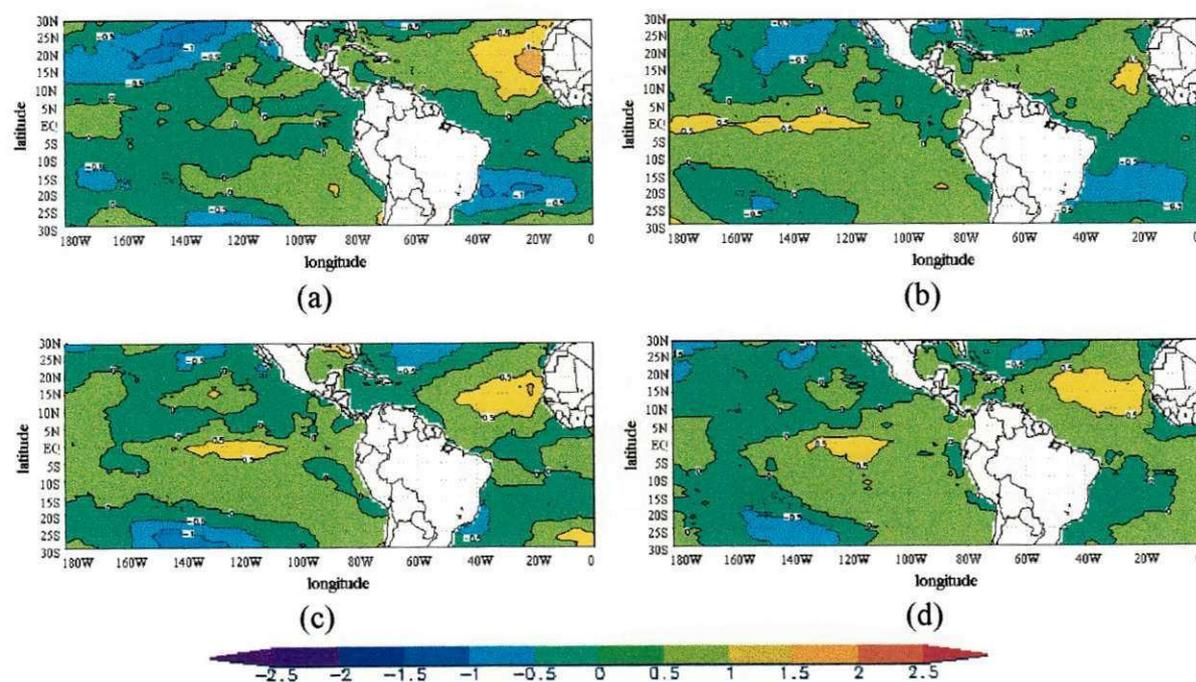


Fig. 5.45 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar (°C) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio de 1979. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

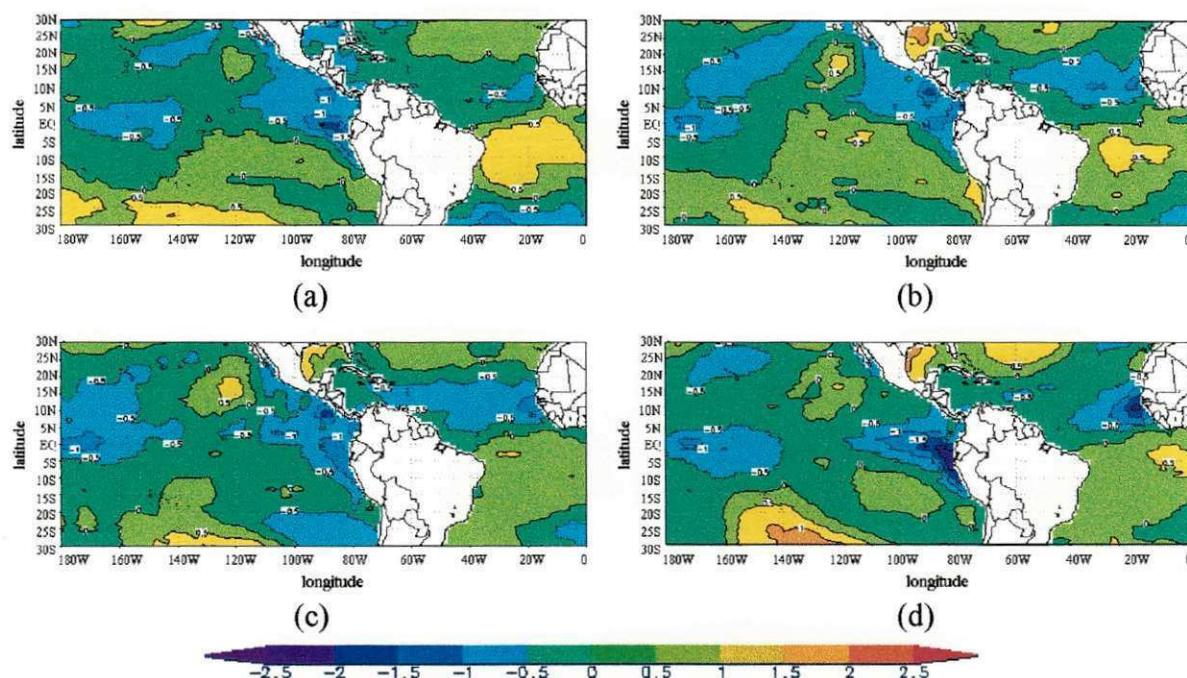


Fig. 5.46 - Campos das anomalias da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) referentes aos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) maio de 1985. Observar que a convenção de cores utilizada encontra-se abaixo dos campos. (Fonte dos dados: NCEP\CPTEC)

#### 5.4 - Seções longitude-tempo da componente meridional do vento

As seções longitude-tempo da componente meridional do vento em 200 hPa nas latitudes de  $20^{\circ}\text{S}$  e  $10^{\circ}\text{S}$  são utilizadas para identificar a passagem de sistemas de latitudes médias, sua frequência de ocorrência e penetração latitudinal nos meses anteriores (OND) e janeiro de 1985 (chuvoso)/janeiro de 1990 (seco). Fêz-se essa análise com o objetivo de verificar a existência de dissimilaridades que possibilitem um prognóstico qualitativo do comportamento da atmosfera no mês de janeiro com base na evolução temporal vista nos meses precedentes.

Nota-se na seção para  $20^{\circ}\text{S}$  do período de 84/85 (Fig. 5.49a) que, em geral, o escoamento está de norte (sul) na faixa longitudinal de  $100^{\circ}\text{W}$  a  $60^{\circ}\text{W}$  ( $60^{\circ}\text{W}$  a  $20^{\circ}\text{W}$ ), aproximadamente, o que sugere a presença de um eixo de crista em  $60^{\circ}\text{W}$ . Vale ressaltar que os valores negativos estão associados ao ramo oeste do AB e os valores positivos ao ramo leste. A inclinação das áreas positivas na seção e a alternância entre áreas positivas e negativas indica o deslocamento sistemático para leste de cavados e cristas associados a

sistemas de latitudes médias na faixa de 30°W a 0°W e também ao deslocamento do cavado no Atlântico Tropical.

Em outras longitudes o que observa-se é a intensificação ou enfraquecimento do escoamento de sul, sugerindo que a passagem dos sistemas não chega a mudar o sinal da componente meridional, embora afete sua intensidade. É possível notar o deslocamento de sistemas para leste principalmente na primeira quinzena dos quatro meses. É interessante observar que parece haver deslocamento para oeste entre as longitudes de 30°W e 70°W na segunda quinzena de novembro, o que está relacionado ao deslocamento do AB para oeste. A configuração vista na segunda quinzena de dezembro e no mês de janeiro sugere a presença de uma onda quase estacionária, já que praticamente não se observa inclinação nas áreas positivas e alternância entre valores positivos e negativos, o que demonstra que nesse caso, o AB permanece estacionário.

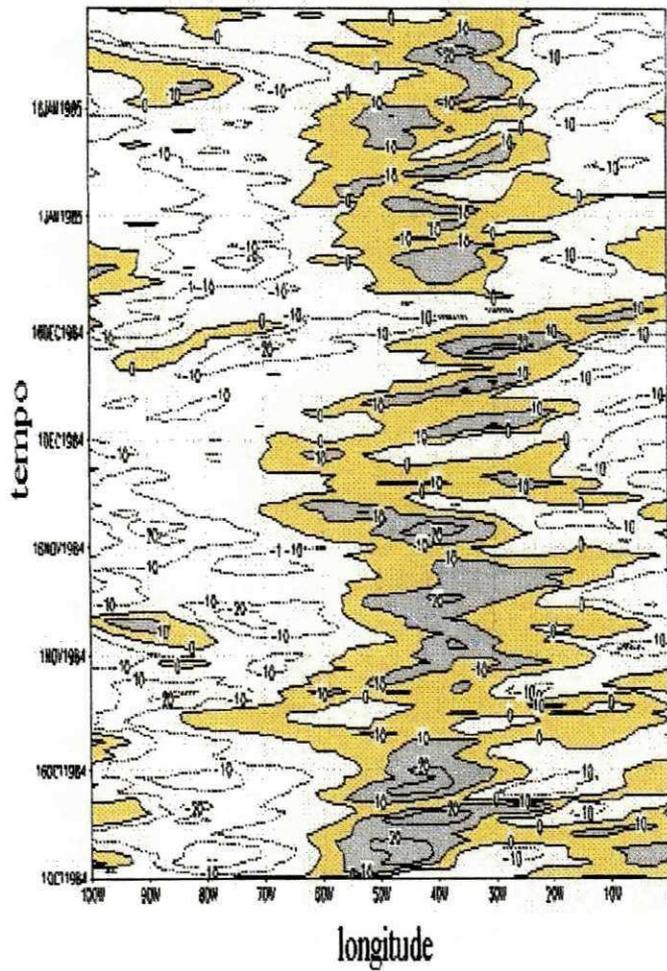
A seção longitude-tempo para 20°S do período 89/90 (Fig. 5.49b) mostra que o escoamento está de norte (sul) na faixa longitudinal de 100°W a 60°W (60°W a 20°W), aproximadamente, porém, a configuração é bem diferente do que aquela vista para o período 84/85. A inclinação das áreas sombreadas e a alternância entre áreas positivas e negativas é maior em outubro e novembro comparando com o caso a seção longitude tempo para 84/85 o que evidencia o deslocamento de sistemas para leste em outubro e na primeira quinzena de novembro. A partir da segunda quinzena de novembro observa-se uma configuração quase-estacionária, já que não há inclinação nas áreas sombreadas e alternância entre valores positivos e negativos. Esse estado quase-estacionário permanece até a primeira quinzena de dezembro, evidenciando a ação do AB e do cavado de latitudes médias austrais sobre a parte leste do Brasil. Após esse período há deslocamento desses dois sistemas.

A comparação entre as duas seções evidencia que, em geral, a componente meridional está mais intensa em 89/90, do início de outubro até a primeira quinzena de dezembro, inclusive. Observa-se ainda que a passagem de sistemas de latitudes médias ocorre em épocas diferentes nos dois casos, sendo mais evidente em 89/90, em outubro e novembro. Outra dissimilaridade entre os dois períodos é o deslocamento para oeste visto no final de 89/90, o que não se verifica na mesma época em 84//85.

A inclinação das áreas sombreadas e a alternância entre áreas positivas e negativas na seção para 10°S do período 84/85 (Fig. 5.50a) indica deslocamento para oeste de sistemas de latitudes médias entre as longitudes de 40°W e 0°W nos meses de outubro, novembro e dezembro. A partir de janeiro (Fig. 5.50a) nota-se uma configuração quase-estacionária, já que não há inclinação nas áreas sombreadas e alternância de valores positivos e negativos. É importante observar que máximos de componente de sul desta seção ocorrem na mesma época daqueles vistos na seção para 20°S (Fig. 5.49a), o que comprova a penetração de sistemas de latitudes médias austrais até a latitude de 10°S.

Nota-se na seção para 10°S do período de 89/90 (Fig. 5.50b) a mesma configuração básica vista nas seções anteriores. O deslocamento de cavados/cristas é, de maneira geral, menos evidente nesta seção. Há indicação de deslocamento para oeste em outubro, leste em novembro, uma situação quase-estacionária na primeira quinzena de dezembro e para oeste no restante do período. A época de ocorrência dos máximos nesta seção é semelhante àquela dos máximos na seção para 20°S (Fig. 5.49b).

A comparação entre as seções para 10°S permite concluir, a exemplo do que foi visto para 20°S, que a componente meridional está mais intensa no período 89/90. O deslocamento de sistemas para oeste é evidente em 84/85 entre a segunda quinzena de outubro e dezembro enquanto que em 89/90 isso ocorre na segunda quinzena de outubro e dezembro e no mês de janeiro. Outra característica importante é que nas seções para 10°S a componente de sul é mais forte em 89/90 em comparação com aquela vista em 84/85, indicando que a ação de cavados de latitudes médias sobre o setor leste do Brasil. Comparando as seções para as latitudes de 20°S e 10°S, observa-se que em 20°S os sistemas são mais intensos, bem como há uma alternância maior de valores positivos e negativos, o que indica uma frequência maior de sistemas nessa latitude.



(a)

Fig. 5.47 – Seção longitude-tempo da componente meridional do vento na latitude de 20°S para o período de (a) outubro de 1984 a janeiro de 1985 e (b) outubro de 1989 a janeiro de 1990. A faixa longitudinal varia de 0° a 100°W. Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

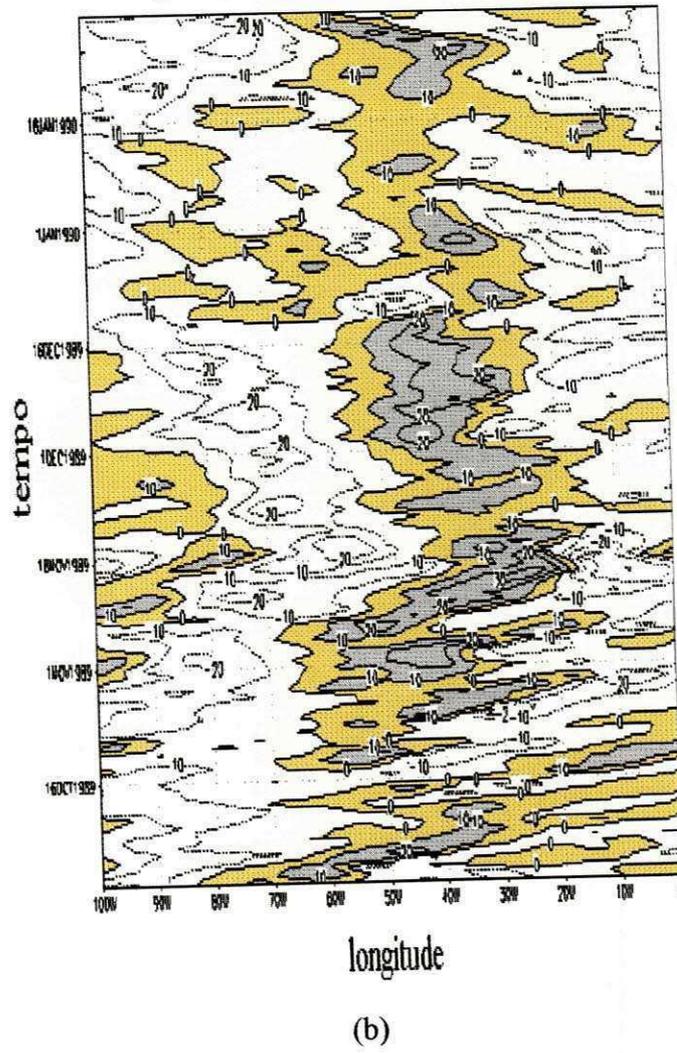
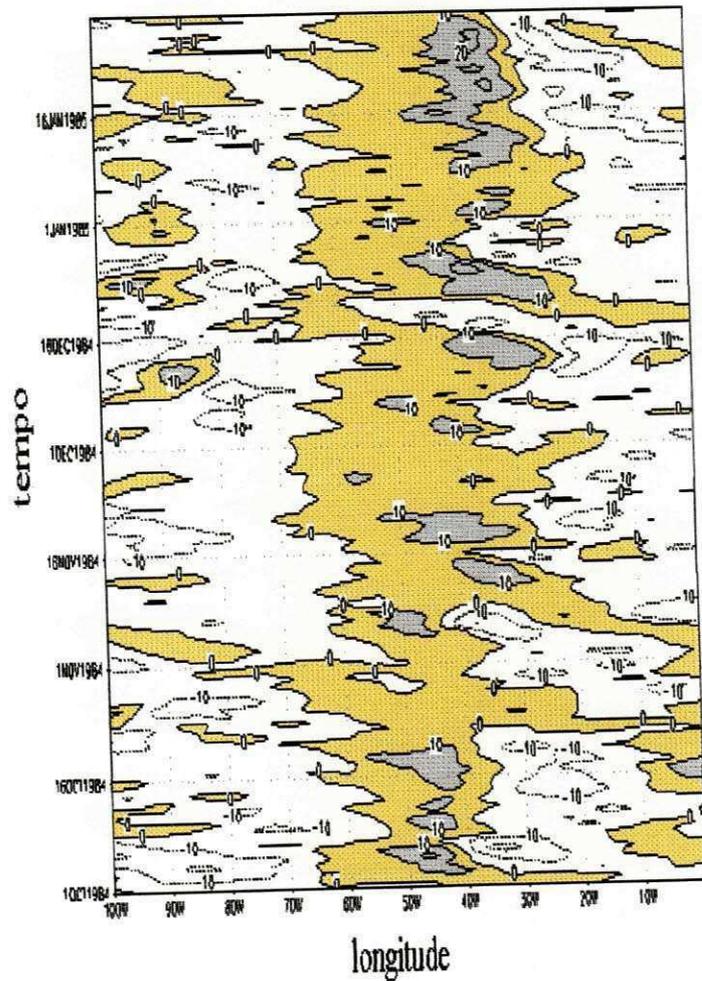


Fig. 5.47 – conclusão



(a)

Fig. 5.48 – Seção longitude-tempo da componente meridional do vento na latitude de  $10^{\circ}\text{S}$  para o período de (a) outubro de 1984 a janeiro de 1985 e (b) outubro de 1989 a janeiro de 1990. A faixa longitudinal varia de  $0^{\circ}$  a  $100^{\circ}\text{W}$ . Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC)

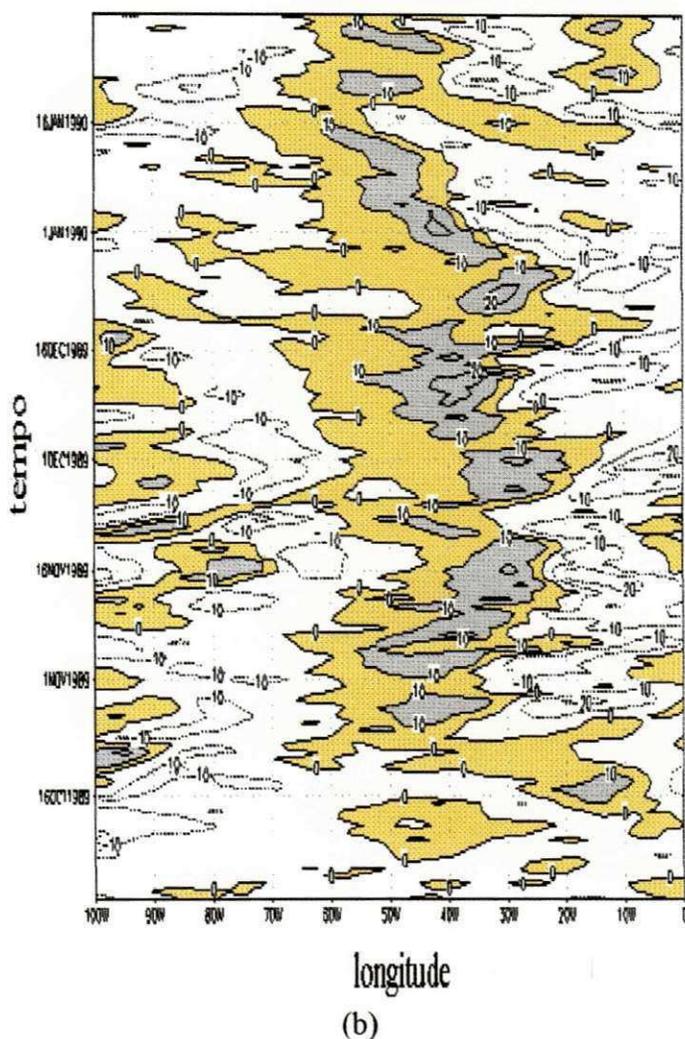


Fig. 5.59 – conclusão

#### 5.4 - Sumário

É interessante lembrar que o objetivo do estudo da situação atmosférica nos compostos seco e chuvoso foi identificar contrastes no comportamento médio da circulação de grande escala em janeiro e OND, que possibilitassem um prognóstico qualitativo do comportamento da precipitação em FMAM no semi-árido do Nordeste do Brasil. Analisou-se primeiramente os desvios de precipitação normalizados com respeito à média climatológica para cada mês de janeiro no período de 1979 a 1990, para a região semi-árida de cada estado do Nordeste, para cada composto. O composto seco foi formado pelos anos de 1984, 1987 e 1990, já que apresentaram desvios abaixo de -25%, enquanto

que o composto chuvoso foi formado por 1979, 1980 e 1985, anos esses que apresentaram desvios acima de 25%. Notou-se com base na distribuição temporal dos desvios de precipitação normalizados para o período de janeiro a maio que no composto seco, em geral, fevereiro foi seco, março e abril tiveram precipitação em torno da média e maio teve totais pluviométricos abaixo da média. No composto chuvoso, fevereiro e abril foram chuvosos, março teve precipitação em torno da média e maio foi seco ou teve precipitação em torno da média.

Notou-se nos campos médios do vento nos altos níveis a presença de um VCAN no mês de janeiro do composto seco enquanto que não houve VCAN no composto chuvoso. É importante observar que, em geral, nos dois compostos o eixo do cavado do Nordeste/VCAN ficou localizado sobre a costa norte do Nordeste com orientação noroeste-sudeste. A localização desse eixo mostrou-se condicionado à posição mais para oeste (leste) do AB no composto seco (chuvoso). Outro aspecto contrastante entre os campos médios do vento nos dois compostos foi a presença da circulação anticiclônica situada no noroeste da América do Sul-América Central que mostrou-se mais evidente nos meses anteriores do composto seco. Pode-se assinalar ainda, a presença de um cavado de latitudes médias sobre o hemisfério norte a partir do mês de outubro no composto seco e de janeiro no composto chuvoso.

Nos campos da vorticidade relativa nos altos níveis as situações mais contrastantes foram referentes ao deslocamento do centro ciclônico associado ao cavado do Nordeste/VCAN. No composto seco esse centro deslocou-se do Oceano Atlântico Sul para o continente situando-se sobre o Nordeste, enquanto que no composto chuvoso esse centro teve um deslocamento inverso, ou seja, o centro ciclônico deslocou-se do continente (sobre o Nordeste do Brasil) para o oceano.

Nos campos da divergência horizontal em 200 hPa foi evidente no composto seco a presença de uma área contínua de divergência sobre o Atlântico Tropical nos meses de outubro a janeiro enquanto que no composto chuvoso ela apareceu no período de outubro a dezembro. É interessante assinalar que no compostos seco, a área de divergência não atinge a costa leste do Nordeste, o que pode ser visto no composto chuvoso. No composto chuvoso notou-se que a medida que o centro de convergência associada ao cavado do

Nordeste/VCAN deslocou-se para leste a área de divergência também deslocou-se para leste, cobrindo todo o Nordeste em janeiro.

Nos baixos níveis os campos médios do vento mostraram contrastes mais evidentes na área dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e Sul. Nos meses de outubro e novembro no composto seco o ASAS apareceu subdividido em duas células, já no composto chuvoso foi vista apenas uma tendência à subdivisão nesses meses, o que sugere que no composto seco o ASAS é menos intenso, podendo acarretar na localização mais para sudeste da ZCAS. O ASAN mostrou-se subdividido em duas células centradas em torno de 30° N nos meses de outubro a janeiro no composto chuvoso enquanto que isso foi visto no composto seco apenas em outubro e novembro. Essa subdivisão no ASAN pode facilitar na posição mais ao sul dos sistemas frontais boreais, o que pode acarretar na amplificação e intensificação do cavado do Nordeste/VCAN.

É importante destacar que em janeiro no composto seco o escoamento associado ao ASAS é perpendicular à costa leste do Nordeste e o ASAN localizou-se mais ao norte enquanto que no composto chuvoso o escoamento do ASAS foi de leste adentrando no continente e o ASAN situa-se mais para sul.

As situações mais marcantes vistas nos campos da vorticidade relativa nos baixos níveis ocorreram no mês de novembro nas Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. No composto seco sobre essas regiões observou-se um núcleo anticiclônico e no composto chuvoso um núcleo ciclônico. Já os campos da divergência horizontal dos dois compostos mostram configurações semelhantes para os quatro meses.

A comparação entre os campos do movimento vertical nos baixos níveis não evidenciou contrastes marcantes entre os dois compostos.

Os resultados encontrados mostraram que os meses de novembro e janeiro foram aqueles que apresentaram maiores contrastes entre os campos médios da variáveis atmosféricas no período de outubro a janeiro.

Os campos médios do vento nos altos níveis para os meses posteriores (FMAM) mostraram a presença de um VCAN sobre o Nordeste em fevereiro no composto seco, enquanto que no composto chuvoso só foi visto o cavado do Nordeste amplificado sobre o

oceano. No período de março a maio o cavado do Nordeste está mais amplificado no composto seco em comparação com o composto chuvoso. Semelhante ao que foi encontrado para o cavado do Nordeste, observou-se que o cavado de latitudes médias situado no hemisfério norte teve maior amplitude no composto seco.

Nos campos da vorticidade relativa em 200 hPa observou-se que a vorticidade anticiclônica situada sobre o centro-oeste da América do Sul foi mais intensa em março e abril no composto chuvoso. Nos campos da divergência horizontal do composto chuvoso verificou-se a presença de uma área contínua divergente sobre o Atlântico Tropical, enquanto que no composto seco essa área divergente esteve subdividida em março e abril.

Nos campos do movimento vertical os dois compostos tiveram características semelhantes.

Nos campos médios do vento nos baixos níveis os principais contrastes também foram encontrados na área dos anticlones subtropicais. Observou-se que em fevereiro e março no composto seco o ASAS está subdividido em duas células enquanto que no composto chuvoso foi visto apenas uma tendência a subdivisão. O ASAN nos meses posteriores mantém a mesma configuração vista nos meses anteriores e em janeiro, ou seja, o ASAN apareceu subdividido em duas células no composto chuvoso e como uma única célula no composto seco. É importante assinalar ainda que o escoamento associado ao ASAS continua em fevereiro no composto chuvoso perpendicular à costa leste da América do Sul e de leste no composto seco. O escoamento do ASAS no composto chuvoso no decorrer do período de março a maio torna-se de leste, porém menos intensos do que aqueles visto nesses mesmos meses no composto seco.

Os campos da vorticidade relativa e da divergência horizontal nos baixos níveis mostraram poucas diferenças entre os dois compostos, tendo em alguns dos meses configurações semelhantes.

Nos campos do movimento vertical em 850 hPa foi evidente na área do Nordeste os movimentos ascendentes fracos (fortes) em abril do composto seco (chuvoso).

Os resultados mostraram que os meses de fevereiro e abril foram aqueles que apresentaram maiores contrastes entre os dois compostos, o que compatível com os resultados encontrados para os desvios de precipitação normalizados.

Os campos da umidade relativa mostraram um forte gradiente sobre o Nordeste do Brasil, tendo um gradiente de umidade específica mais intenso no composto chuvoso em comparação com o seco.

Os campos de anomalias de TSM mostraram, em linhas gerais, nos anos em que janeiro foi classificado como seco, anomalias positivas no Pacífico Subtropical e anomalias negativas no Pacífico Equatorial. Já os anos em que janeiro foi classificado como chuvoso apresentaram sobre o Atlântico uma configuração de dipolo fraco.

É relevante assinalar a presença de um núcleo negativo no Pacífico Subtropical Sul (em torno de  $20^{\circ}\text{S}/170^{\circ}\text{W}$ ) no composto seco, enquanto que no composto chuvoso esse núcleo aparece próximo à costa oeste da América do Sul. O Atlântico Norte está no composto seco dominado por anomalias positivas com um núcleo mais intenso próximo a África, enquanto que no composto chuvoso próximo a África foi visto anomalias negativas. No composto chuvoso foi possível notar ainda a presença de anomalias positivas no leste do Atlântico Sul em torno de  $20^{\circ}\text{S}/40^{\circ}\text{W}$ .

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo é apresentada uma síntese dos principais resultados discutidos separadamente nos capítulos 4 e 5. A ocorrência das chuvas extremas sobre o semi-árido do Nordeste do Brasil no mês de janeiro de 1985, é associada à atuação de sistemas de grande escala e à presença de sistemas convectivos de mesoescala.

#### 6.1 – Características da circulação de grande escala

As análises do escoamento em 200 hPa no estudo de caso e no estudo dos compostos mostraram que a localização e intensificação do cavado do Nordeste/VCAN estão condicionados à posição mais para leste ou oeste do anticiclone da Bolívia (AB). No composto seco notou-se em janeiro a circulação associada ao VCAN sobre o Nordeste, enquanto que no composto chuvoso a circulação associada ao cavado do Nordeste posicionou-se sobre o Oceano Atlântico.

Outro aspecto interessante nos campos de vento em altos níveis é a presença de uma circulação anticiclônica/anticiclone a noroeste da América do Sul-América Central, que se estende desde os baixos níveis. Essa circulação, no estudo de caso de janeiro de 1985, parece estar em fase com o AB. A relação do anticiclone a noroeste da América do Sul com a manutenção e formação dos VCAN foi mencionada por Ramirez (1998), Ramirez (1996) e Anjos (1995).

Verifica-se ainda tanto no estudo dos compostos como no estudo de caso a atuação de um cavado de latitude média sobre o Atlântico Norte associado à atuação de sistemas frontais boreais. No composto seco esse cavado foi visto a partir do mês de outubro e no composto chuvoso esse último foi visto a partir de janeiro (Fig. 6.1b, 6.2b).

No estudo de caso percebe-se que esse cavado teve um deslocamento lento para leste, podendo ter favorecido a intensificação do cavado do Nordeste/VCAN (Anjos, 1995).

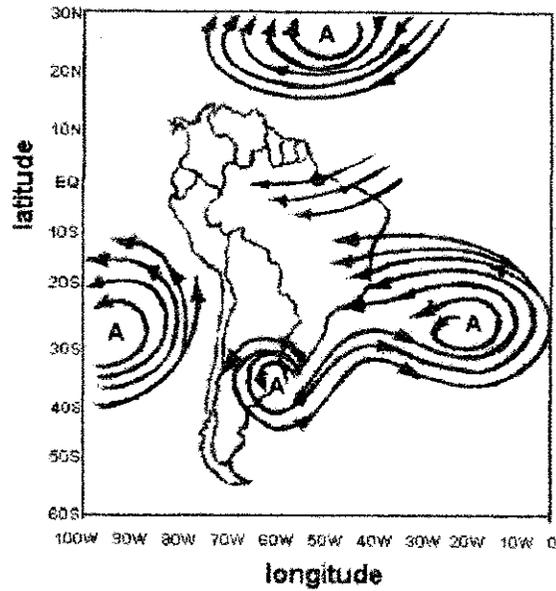
Nos campos da vorticidade relativa em 200 hPa, no estudo de caso, notou-se a presença evidente do núcleo ciclônico associado ao cavado do Nordeste/VCAN sobre o Oceano Atlântico. Os campos da vorticidade relativa no estudo dos compostos mostraram que o núcleo ciclônico associado ao cavado do Nordeste/VCAN, nos meses de outubro a janeiro teve um deslocamento do oceano para o continente no composto seco, situando-se sobre o Nordeste. No composto chuvoso esse núcleo ciclônico localizado sobre o Nordeste, deslocou-se do continente para o oceano, de outubro a janeiro.

Nos campos da divergência horizontal em altos níveis foi evidente nos meses de outubro a janeiro a presença de uma área divergente sobre o Atlântico Tropical. Essa área divergente também estava presente no estudo de caso. É relevante assinalar ainda que essa última no composto seco, nos meses anteriores e em janeiro, não atinge a costa leste do Nordeste enquanto que no composto chuvoso, a medida que o centro convergente associado ao cavado do Nordeste/VCAN deslocou-se para leste, a área divergente também deslocou-se para leste cobrindo todo o Nordeste.

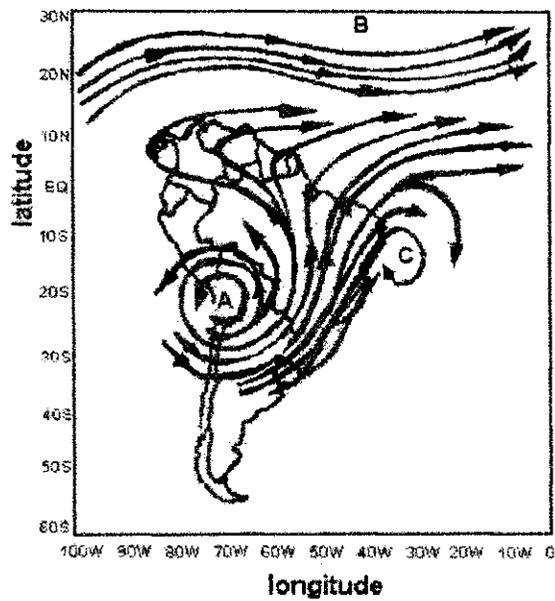
Nos campos do vento em baixos níveis é evidente a atuação dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e Sul. O ASAS esteve subdividido em duas células no composto seco nos meses de outubro e novembro enquanto que no composto chuvoso esse apareceu apenas com uma tendência à subdivisão nesses meses. A configuração do ASAS no composto chuvoso contrasta com aquela vista no estudo de caso, onde percebeu-se uma divisão no escoamento do ASAS (Fig. 6.1a, 6.2a). A maior diferença no escoamento em baixos níveis entre os dois compostos está na confluência dos ventos sobre o continente e na orientação dos ventos na costa norte da América do Sul. No composto chuvoso a confluência ocorre na parte leste do continente principalmente em novembro e janeiro, e no composto seco, ocorre na parte oeste, em outubro, novembro e janeiro. Em janeiro, os ventos alísios tem orientação diferente na costa norte, nos dois compostos.

O ASAN mostrou-se no composto chuvoso subdividido em duas células centradas em torno de 30°N, enquanto que no composto seco esse apareceu como uma única célula na maioria dos meses (Fig. 6.1a, 6.2a). Nota-se ainda, que no composto seco o ASAN está

situado mais para norte e que no composto chuvoso esse localiza-se mais ao sul. Essa subdivisão no ASAN favorece no deslocamento mais para sul dos sistemas frontais boreais.



(a)

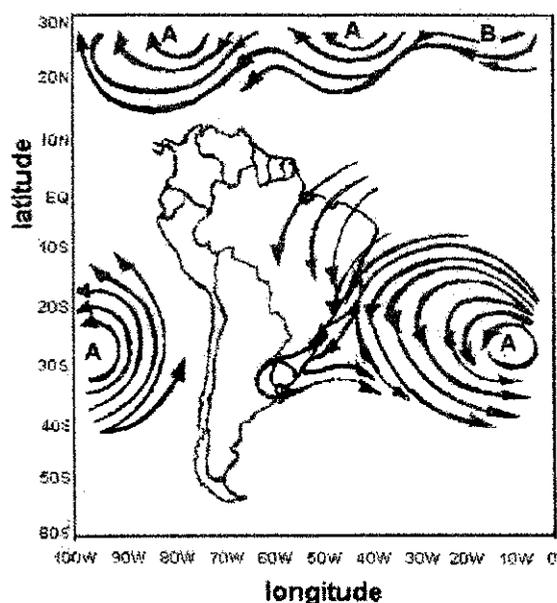


(b)

Figura 6.1 - Esquema da circulação atmosférica de grande escala para o composto seco nos baixos níveis (a) e altos níveis (b). "A" corresponde a um centro de alta pressão, "B" corresponde a um cavado e "C" a um VCAN.

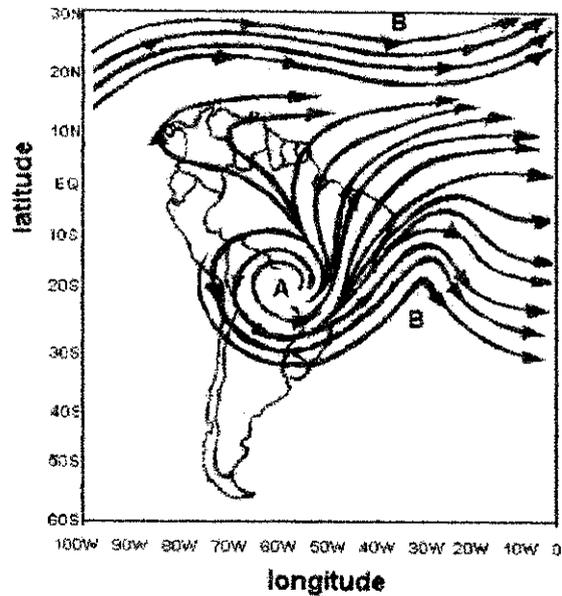
Dentre os campos das variáveis atmosféricas, analisados no estudo da climatologia estão os da umidade específica que mostraram nos dois compostos uma área de máxima umidade sobre a Região Norte e Centro-Oeste da América do Sul e um forte gradiente de umidade sobre o Nordeste. Esse gradiente mostrou-se mais intenso no composto chuvoso.

É interessante observar ainda com base nos diagramas de longitude-tempo que na latitude de 20°S, em geral, a componente meridional esteve mais intensa em 89/90 em comparação com o período 84/85. Observa-se também que as passagens de sistemas de latitudes médias ocorrem em épocas distintas nos dois compostos, sendo mais evidente em 89/90.



(a)

Figura 6.2 - Esquema da circulação atmosférica de grande escala para o composto chuvoso nos baixos níveis (a) e altos níveis (b). "A" corresponde a um centro de alta pressão, "B" corresponde a um cavado e "C" a um VCAN.



(b)

## 6.2 - conclusão

### 6.2 – Associação das características da circulação de grande escala com o regime pluviométrico nos dois compostos.

Neste tópico será feita uma associação qualitativa das características vistas na circulação atmosférica nos meses de outubro a janeiro com a precipitação observada no semi-árido do Nordeste do Brasil nos meses de fevereiro a maio.

Com base nos resultados assinalados acima tem-se que os meses de novembro e janeiro foram aqueles que apresentaram maiores contrastes entre os campos médios das variáveis atmosféricas, o que é coerente com os resultados encontrados nos desvios de precipitação normalizados. As análises dos desvios de precipitação normalizados com respeito à média de longo prazo, dos dois compostos, mostraram que quando janeiro é seco fevereiro é seco. Já quando janeiro é chuvoso, fevereiro e abril também o são. Com relação aos demais meses posteriores, os desvios de precipitação normalizados mostraram que se janeiro é seco, março e abril tem precipitação em torno da média, enquanto que se janeiro é chuvoso, março tem precipitação em torno da média. O mês de maio mostrou uma grande variabilidade aparecendo seco ou em torno da média.

É interessante assinalar que em fevereiro o escoamento em altos níveis mostrou a presença de um VCAN no composto seco enquanto que no composto chuvoso só foi visto o cavado do Nordeste amplificado sobre o oceano. Por outro lado nos campos da vorticidade relativa em altos níveis observou-se que a vorticidade anticiclônica situada sobre o centro-oeste da América do Sul é mais intensa no composto chuvoso. No composto chuvoso, há uma faixa de divergência em altos níveis sobre o Atlântico Tropical, que se estende da América do Sul até a África, de fevereiro a maio, enquanto no composto seco ela só tem esse comportamento em abril.

Nos baixos níveis percebeu-se que o escoamento e a configuração do ASAN e do ASAS tem um papel importante na situação atmosférica nos meses de fevereiro a abril.

O deslocamento do núcleo ciclônico associado ao VCAN ou ao cavado do Nordeste, mostrou ser um bom indicativo para o prognóstico das chuvas no período de fevereiro a abril. A localização do par AB-cavado do Nordeste também mostrou ser um indicativo para um prognóstico do regime pluviométrico no semi-árido do Nordeste.

Os resultados obtidos no estudo de caso sugerem investigar a contribuição da precipitação associada a sistemas convectivos de mesoescala para os totais pluviométricos no semi-árido do Nordeste do Brasil. No caso específico do período estudado, sugere-se diagnosticar os campos da convergência de umidade nos baixos níveis e movimento vertical em diferentes níveis da atmosfera, já que essas variáveis desempenham um papel importante no desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala.

No estudo dos compostos sugere-se que a seleção dos anos extremos seja feita com base em regiões homogêneas de precipitação, visto que a quadra chuvosa não é necessariamente a mesma em todo o semi-árido de um mesmo estado nordestino. Sugere-se ainda a obtenção de campos de anomalias das variáveis atmosféricas (em relação a uma média de longo prazo) utilizadas nesse trabalho e a utilização de digramas longitude-tempo de ROL e do movimento vertical e latitude-tempo da componente zonal e meridional do vento, com o intuito de verificar a presença e evolução de sistemas meteorológicos que atuaram durante esses anos contrastantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU I. P.. *Estudo da Variabilidade da Precipitação na Região de Petrolina. Relatório Técnico do ECA - 01/79, IAE - CTA*. S. José dos Campos. São Paulo. 1979.
- ANJOS B. L.. *Conexões entre a Circulação do Hemisfério Norte e os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera na Região Nordeste do Brasil: Um Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 119 pp. 1995.
- ARAGÃO J. O. R.. *Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais: (51). São Paulo. 1975.
- \_\_\_\_\_, *A General Circulation Model Investigation of the Atmospheric Response to El Niño*. NCAR / CT-100: (144). 1986.
- ARAGÃO J. O. R., ROUCOU P., HARZALLAH A., FONTAINE B.. *Variabilité Atmosphérique Sur le Nordeste Brésilien Dans le Modèle de Circulation Générale du LMD (1970-1988)*. Publication de l'Association Internationale de Climatologie, 7. Paris. 432-438 pp. 1994.
- ARAÚJO H. A.. *Padrões de Ecos de Radar Meteorológico no Semi-Árido Brasileiro e Condições Atmosféricas Associadas*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 130 pp. 1996.
- ARAÚJO H. A., CORREIA M. F., RODRIGUES R. S.. *Convecção Profunda em Regiões Semi-Áridas*. VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais 2*. São Paulo. 626-631 pp. 1992.

ARAÚJO H. A., CORREIA M. F., SILVA ARAGÃO M. R., *Padrões de Ecos de Radar Meteorológico Observados no Semi-Árido Brasileiro*. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, **Anais 1**. Belo Horizonte. Minas Gerais. . 238-241 pp. 1994

\_\_\_\_\_, *Precipitação Via Radar e a Energia da Parcela à Superfície no Semi-Árido Nordestino*. IX Cong. Brasileiro de Meteorologia, **Anais 1**. Campos do Jordão. São Paulo. 143-146 pp. 1996.

BETTS A. K., DUGAN F. J., *Empirical Formula for Saturation Pseudoadiabatic and Saturation Equivalent Potential Temperature*. **Journal of Applied Meteorology**, 12. 731-732 pp. 1973.

BOLTON D., *The Computation of Equivalent Potential Temperature*. **Mon. Wea. Rev.**, 108. 1046-1980 pp. 1980.

BRABO A. J. M., SOUZA E. B., FERREIRA N. S., *Um Estudo da Variabilidade Pluviométrica no Setor Leste do Nordeste Brasileiro e a Influência do Fenômeno El Niño/Oscilação Sul*. **Rev. Bras. de Meteorologia**, 12: (2). 25-39 pp. 1997a.

BRABO A. J. M., SOUZA E. B., REPELLI C. A., *Episódios de La Niña na Bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a Distribuição Sazonal e Intrusazonal das Chuvas no Setor Norte do Nordeste Brasileiro*. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, 11: (1). 63-76 pp. 1997b.

CALBETE N., CAVALCANTI I. F. A., QUADRO M. F. L., *Características da Precipitação sobre o Brasil no Verão e Outono de 1998*. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília. Distrito Federal. 1998.

CAVALCANTI I. F. A., *Um Estudo sobre Interações entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais*. INPE-2494-TDL/097. 1982.

\_\_\_\_\_, *The Anomalous Rainfall in Northeastern Brazil in 1985*. **II International Conference on Southern Hemisphere Meteorology**. Wellington. New Zealand. 446-448 pp. 1986.

- CAVALCANTI I. F. A... *Episódios El Niño/Oscilação Sul Durante a Década de 1986 a 1996 e suas Influências sobre o Brasil*. **Climanálise Especial**, 10 anos. 1996.
- CAVALCANTI I. F. A., RAO V. B.. *Variações nas Características de Umidade nos Anos de El Niño e La Niña de 1987 e 1988*. VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais 1**. Campos de Jordão. São Paulo. 1996.
- CHAN C. S.. *Análise dos Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais. São Paulo. 134 pp. 1990.
- CHU P. S.. *Diagnostic Studies of Rainfall Anomalies in Northeast Brazil*. **Mon. Wea. Rev.**, 111. 1655-1664 pp. 1983.
- CORREIA M. F.. *Diagnóstico Via Radar dos Sistemas Precipitantes do Semi-Árido Brasileiro: O Evento de 1985*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São Paulo: Universidade de São Paulo. 88 pp. 1989.
- CORREIA M. F, MASSAMBANI O.. *Características da Convecção no Semi-Árido Brasileiro Determinadas Através de Observações Via Radar*, VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais 1**. Salvador. Bahia. 39-43 pp. 1990a.
- CORREIA M. F, MASSAMBANI O .. *Dimensões Típicas de Ecos de Radar Observadas no Semi-Árido Brasileiro para o Evento de 1985*. VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais 2**. Salvador. Bahia. 763-767 pp. 1990b.
- CORREIA M. F., SILVA ARAGÃO M. R., ARAÚJO H. A.. *Ecos de Radar Meteorológico no Semi-Árido Nordestino e a Penetração de um Sistema de Origem Frontal*. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais 1**. Campos do Jordão. São Paulo. 136-138 pp. 1996.
- DEAN G. A.. *The Three-Dimensional Wind Structure Over South America and Associated Rainfall Over Brazil*. Florida State University: Department of Meteorology. (Rep. LAFE-164). 1971.

- FARAH A. C., JUSTO M. L. V.. *Estudo das Inversões Térmicas da Atmosfera em Petrolina e seus Efeitos na Qualidade de Chuva Caída. Relatório Técnico. ECA-05/79.IAE-CTA. INPE. São José dos Campos. São Paulo. 1979. 58 pp.*
- FUNCEME.. *Redimensionamento da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil. Fortaleza. 112 pp. 1993.*
- HASTENRATH, S. , HELLER L.. *Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 103: (435). . 77-92 pp. 1977*
- HARZALLAH A., ARAGÃO J. O. R., SADOURNY R.. *Interannual Rainfall Variability in North-East Brazil: Observation and Model Simulation. International Journal of Climatology, 16. 816-176 pp. 1996.*
- KAYANO M. T., KOUSKY V. E, STUDZINSKI C. D, DIAS P. L. S.. *As Variações Intra-Sazonais da Precipitação no Brasil Durante o Verão de 1989/1990. Climanálise, 5: (4). 40-50 pp. 1990.*
- KAYANO M. T., SATYAMURTI P.. *Oscilações Intra-Sazonais na Precipitação do Sul do Ceará. Climanálise, 6: (8). 38-45. 1991.*
- KNUTSON T. R., WEICKMAM K. M.. *30-60 Day Atmospheric Oscillations: Composite Life Cycles of Convection and Circulation Anomalies. Monthly Weather Review, 115: (7). 1407-1436 pp. 1987.*
- KOUSKY V. E.. *Frontal Influences on Northeast Brazil. Monthly Weather Review, 107 (9). 1140-1153 pp. 1979.*
- \_\_\_\_\_. *The Global Climate for December 1984-February 1985: A Case of Strong Intraseasonal Oscillations. Mon. Wea. Rev, 113. 2158-2172 pp. 1985.*
- KOUSKY V. E., GAN M. A.. *Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. Tellus, 33. . 538-550 pp. 1981*
- KOUSKY V. E., KAYANO M. T.. *A Climatological Study of the Tropospheric Circulation Over the Amazon Region. Acta. Amazônica, 11. 743-758 pp. 1981.*

- KOUSKY V. E., KAYANO M. T., *Principal Modes of Outgoing Longwave Radiation and 250 mb Circulation for the South American Sector*. *Journal of Climate*, 7: (7), 1131-1143 pp. 1994.
- KOUSKY V. E., CAVALCANTI I. F. A., *Evento Oscilação do Sul-El Niño: Características, Evolução e Anomalias de Precipitação*. *Rev. Ciência e Cultura*, 36: (11), São Paulo, 1888-1899 pp. 1984.
- LACAVA C. I. V., *Influências de Zonas de Convergência na Organização da Convecção Tropical sobre o Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 1995.
- LIMA M. C., RAO V. B., *Estudos de Casos Extremos (secas/enchentes) no leste da Região Nordeste do Brasil*. VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais 2*. Belo Horizonte, 46-47 pp. 1994.
- MADDEN R. A., JULIAN P.R., *Detection of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28, 702-708 pp. 1972.
- MASSAMBANI O., CORREIA M. F., *A Natureza da Precipitação no Semi-Árido Brasileiro: Uma Análise dos Dados do Radar Meteorológico de Petrolina-PE*. V Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais 2*. V 8/ VIII 9/ VIII 3. Rio de Janeiro, 1988.
- MELO A. B. C., *Previsibilidade de Precipitação na Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil, Durante a Estação Chuvosa em Função do Comportamento Diário das Chuvas na Pré-Estação*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 1997.
- MOURA A. D., SHUKLA J., *On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38: (12), 2653-2675 pp. 1981
- MOLION L. C. B., *Enos e o Clima do Brasil*. *Rev. Ciência Hoje*, 58; (10). São Paulo, 23-29. pp. 1989.

- MOTA G. V., GANDU A. W.. *Análise dos Padrões Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro Durante o Inverno de 1984*. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília. Distrito Federal. 1998.
- NAMIAS J. *Influence of Northern Hemisphere General Circulation on Drought in Northeast Brazil*. *Tellus*, 24: (4). 336-342. 1972.
- NOBRE P.. *On the Genesis of Anomalous SST and Rainfall Patterns Over the Tropical Atlantic Basin*. Dissertação de Doutorado em Meteorologia. Department of Meteorology University Maryland at College Park. 151 pp. 1993.
- NOBRE P., SHUKLA J.. *Variation of Sea Surface Temperature, Wind Stress and Rainfall Over the Tropical Atlantic and South America*. *Journal of Climate*, 9. 2464-2479 pp. 1996.
- OLIVEIRA A. S.. *Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais. São Paulo. 1986.
- OLIVEIRA A. S., NOBRE C. A.. *Interaction Between Frontal Systems in South America and Tropical Convection Over the Amazon*. **Preprints of Second International Conf. on Southern Hemisphere Meteorology**. Wellington. New Zeland. 1986.
- OLIVEIRA L. L.. *Zonas de Convergência no Atlântico Sul e suas Influências no Regime de Precipitação no Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2307 - TDL /074. São Paulo. 125 pp. 1982.
- PHILANDER S. G.. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Ed. Academic Press. New York. 1990. 8-57 pp.
- QUADRO M. F. L.. *Estudo de Episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais. São Paulo. 1994.

- RAMÍREZ M. C. V., *Padrões Climáticos em Altos Níveis no Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE. São Paulo. 109 pp. 1996.
- RAMIREZ M. C. V., KAYANO M. T., FERREIRA N. J., *Statistical Analysis of Upper Tropospheric Vortices in the Vicinity of Northeast Brazil During the 1980-1989 Period*. artigo submetido a publicação. 1998.
- RAO V. B., SATYAMURTY P., DE BRITO J. I. B., *On the 1983 Drought in North-East Brazil*. *Journal of Climatology*, 6. 43-51 pp. 1986
- RAO V. B., BONATTI J. P., *On the Origin of Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the South Atlantic Ocean and Adjoining Brazil During the Summer*. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 37. 11-16 pp. 1987.
- RAO V. B., HADA K., HERDIES D., *On the Severe Drought of 1993 in North-East Brazil*. *International Journal Climatology*, 15. São Paulo. 697-704 pp. 1995.
- RAO V. B., SÁ L. D. A., FRANCHITO S. H., HADA K., *Interannual Variations of Rainfall and Corn Yields in Northeast Brazil*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85. 63-74 pp. 1997.
- ROUCOU P., FONTAINE B., ARAGÃO J. O. R., HARZALLAH A., *Vertical Motion Changes Related to North-East Brazil Rainfall Variability: A GCM Simulation*. *International Journal of Climatology*, 16. 879-891 pp. 1996.
- SAKAMOTO M. S., *Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). III Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica*. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba. São Paulo. 1993.
- SATYAMURTI P., NOBRE C. A., *Meteorological Monographs*. Chapter 3. Vol.25 (47). artigo submetido a publicação. 1998.

SILVA ARAGÃO M. R., CORREIA M. F., ARAÚJO H. A.. *Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera no Nordeste do Brasil: Campos de Precipitação Via Radar e Condições Atmosféricas Associadas*. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais 1**. Campos do Jordão. São Paulo. 139-143 pp. 1996a.

\_\_\_\_\_, *Characteristics of C-band Meteorological Radar Echoes at Petrolina, Northeast Brazil*. artigo aceito para publicação. **International Journal of Climatology**. 1999.

SILVA ARAGÃO M. R., CORREIA M. F., ARAÚJO H. A... *Vento à Superfície e Chuva em Anos Contrastantes no Sub-Médio São Francisco*. **Segundo Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. São Paulo: Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo. 213-217 pp. 1996b.

SILVA DIAS S. P., SCHUBERT W. H., De MARIA M.. *Large-scale Response of the Tropical Atmosphere to Transient Convection*. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 40. 2689-2707. 1983.

SILVESTRE E.. *Distúrbios nos Ventos de Leste no Atlântico Tropical*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais. 1996.

UVO C. R. B.. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação da Região norte do Nordeste Brasileiro*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE. São Paulo. 1989.

VINCENT D. G.. *Circulation Features Over South Pacific During 10-18 January 1979*. **Monthly Weather Review**, 110 (8). 981-993 pp. 1982.

VIRGI H.. *A Preliminary Study of Summer Time Tropospheric Circulation Patterns Over South Americas Estimated From Cloud Winds*. **Monthly Weather Review**, 109. 599-610 pp. 1981.

VITORINO M. I., ARAÚJO H. A., CORREIA M. F.. *A Natureza da Chuva na Região de Petrolina/PE*. VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Resumos**. Viçosa. Minas Gerais. 274-276 pp. 1991

YAMAZAKY Y., RAO V. B.. *Tropical Cloudiness Over the South Atlantic Ocean*. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 55: (2). 205-207 pp. 1977.

## ***ANEXO***

Nesse anexo estão expostos os desvios normalizados com relação a uma média histórica de longo prazo (1991 a 1990), bem como o número de estações utilizadas.

Através das tabelas encontradas nesse anexo pode ser visto o decréscimo de estações em funcionamento no Nordeste do Brasil.

Outro ponto interessante é a grande variabilidade pluviométrica entre estados, como pode ser vista na tabela dos desvios normalizados de precipitação.

Localidades		R. G. Norte					
Piauí							
todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)	todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)
1979	0	1979	16	1979	-43	1979	-31
1980	15	1980	19	1980	-37	1980	-46
1981	-12	1981	-9	1981	17	1981	46
1982	-3	1982	3	1982	-71	1982	-72
1983	-61	1983	-56	1983	-70	1983	-74
1984	-3	1984	-3	1984	-50	1984	-55
1985	137	1985	132	1985	175	1985	107
1986	-20	1986	-22	1986	75	1986	74
1987	-34	1987	-36	1987	-35	1987	-19
1988	45	1988	-28	1988	-13	1988	-6
1989	-3	1989	-48	1989	17	1989	3
1990	-70	1990	-62	1990	-82	1990	-87

Ceará		Paraíba					
todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)	todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)
1979	-8	1979	0	1979	-7	1979	-1
1980	9	1980	11	1980	0	1980	-12
1981	-26	1981	-20	1981	49	1981	63
1982	-3	1982	0	1982	-50	1982	-50
1983	-82	1983	-79	1983	-48	1983	-47
1984	-45	1984	-36	1984	-21	1984	-33
1985	156	1985	150	1985	106	1985	-117
1986	16	1986	18	1986	67	1986	-67
1987	-36	1987	-33	1987	-22	1987	-18
1988	13	1988	25	1988	-23	1988	-19
1989	15	1989	10	1989	-10	1989	-9
1990	-78	1990	-66	1990	-73	1990	82

TABELA 1 – Desvio de precipitação normalizado (%) no mês de janeiro dos anos de 1979 a 1990, da Região do Nordeste do Brasil.

Pernambuco				Alagoas			
todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)	todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)
1979	76	1979	88	1979	57	1979	88
1980	74	1980	79	1980	61	1980	121
1981	41	1981	60	1981	38	1981	6
1982	-47	1982	-47	1982	-41	1982	-62
1983	1	1983	8	1983	-23	1983	-20
1984	-41	1984	-45	1984	-64	1984	-81
1985	162	1985	158	1985	-2	1985	29
1986	22	1986	-23	1986	-39	1986	-63
1987	32	1987	-43	1987	-23	1987	-49
1988	24	1988	-42	1988	-70	1988	-72
1989	23	1989	-30	1989	-9	1989	-60
1990	53	1990	-52	1990	-44	1990	-45

Sergipe				Bahia			
todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)	todo o estado	desvio (%)	semi-árido	desvio (%)
1979	10	1979	36	1979	108	1979	103
1980	90	1980	102	1980	132	1980	116
1981	-3	1981	15	1981	-22	1981	-32
1982	-58	1982	-84	1982	-6	1982	3
1983	-42	1983	-43	1983	39	1983	60
1984	-64	1984	-80	1984	-63	1984	-59
1985	0	1985	38	1985	477	1985	198
1986	-22	1986	10	1986	-31	1986	-24
1987	40	1987	20	1987	-63	1987	-62
1988	-53	1988	-57	1988	-20	1988	-7
1989	-37	1989	-75	1989	-65	1989	-63
1990	-31	1990	-45	1990	-79	1990	-78

TABELA 1 - conclusão

Número de Estações da Região Nordeste do Brasil							
Piauí				Ceará			
todo o estado	estações	semi-árido	estações	todo o estado	estações	semi-árido	estações
1979	20	1979	11	1979	166	1979	75
1980	21	1980	13	1980	157	1980	70
1981	21	1981	12	1981	135	1981	62
1982	19	1982	11	1982	142	1982	67
1983	18	1983	10	1983	141	1983	34
1984	20	1984	11	1984	144	1984	35
1985	19	1985	12	1985	152	1985	38
1986	13	1986	7	1986	131	1986	58
1987	15	1987	8	1987	117	1987	51
1988	15	1988	7	1988	98	1988	44
1989	6	1989	1	1989	86	1989	35
1990	3	1990	1	1990	67	1990	26

R. G. Norte				Paraíba			
todo o estado	estações	semi-árido	estações	todo o estado	estações	semi-árido	estações
1979	56	1979	29	1979	52	1979	39
1980	49	1980	24	1980	53	1980	38
1981	53	1981	28	1981	57	1981	41
1982	51	1982	25	1982	57	1982	41
1983	51	1983	25	1983	47	1983	33
1984	52	1984	24	1984	52	1984	38
1985	55	1985	26	1985	53	1985	36
1986	41	1986	19	1986	40	1986	27
1987	42	1987	20	1987	41	1987	30
1988	41	1988	22	1988	42	1988	31
1989	37	1989	19	1989	36	1989	25
1990	27	1990	15	1990	24	1990	17

TABELA 2 – Número de postos observados no mês de janeiro dos anos 1979 a 1990, da Região Nordeste do Brasil.

Pernambuco				Alagoas			
todo o estado	estações	semi-árido	estações	todo o estado	estações	semi-árido	estações
1979	46	1979	29	1979	22	1979	10
1980	53	1980	35	1980	25	1980	12
1981	50	1981	33	1981	23	1981	10
1982	19	1982	35	1982	22	1982	10
1983	50	1983	31	1983	20	1983	11
1984	52	1984	36	1984	23	1984	11
1985	53	1985	36	1985	21	1985	11
1986	35	1986	19	1986	18	1986	7
1987	37	1987	21	1987	18	1987	7
1988	33	1988	17	1988	16	1988	5
1989	25	1989	12	1989	12	1989	5
1990	24	1990	12	1990	10	1990	3

Sergipe				Bahia			
todo o estado	estações	semi-árido	estações	todo o estado	estações	semi-árido	estações
1979	18	1979	11	1979	114	1979	55
1980	20	1980	15	1980	128	1980	62
1981	19	1981	13	1981	112	1981	58
1982	18	1982	13	1982	130	1982	67
1983	16	1983	11	1983	114	1983	58
1984	19	1984	12	1984	119	1984	60
1985	18	1985	12	1985	124	1985	63
1986	10	1986	8	1986	97	1986	50
1987	16	1987	14	1987	96	1987	51
1988	16	1988	13	1988	82	1988	46
1989	6	1989	3	1989	65	1989	37
1990	5	1990	2	1990	62	1990	36

TABELA 2- conclusão

Obs. O estado do Maranhão por apresentar dados apenas para São Luís foi excluído deste trabalho.