

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
MESTRADO EM METEOROLOGIA

**ESTUDO DA ATUAÇÃO DE UM SISTEMA DE LATITUDES MÉDIAS NO SEMI-
ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL: ASPECTOS DE MESO E GRANDE
ESCALAS**

PAULA PEREIRA DE SOUZA

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2003

PAULA PEREIRA DE SOUZA

**ESTUDO DA ATUAÇÃO DE UM SISTEMA DE LATITUDES MÉDIAS NO SEMI-
ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL: ASPECTOS DE MESO E GRANDE
ESCALAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Meteorologia da Universidade Federal de
Campina Grande em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas
Subárea: Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical

Orientadoras: Profa. Dra. Magaly de Fatima Correia
Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão

Campina Grande – PB
Fevereiro de 2003



CHA CATALOGRÁFICA

S 725 c Souza, Paula Pereira

2003

Estudo da Atuação de um Sistema de Latitudes Médias no Semi-árido do Nordeste do Brasil: Aspectos de Meso e Grande Escalas / Paula Pereira de Souza - Campina Grande: UFCG, 2003.

102 p.: il.

Inclui bibliografia

Dissertação (Mestrado em Meteorologia)

UFCG/CCT/DCA

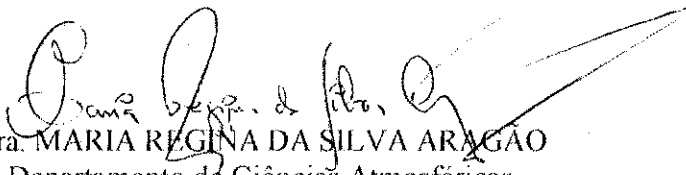
1. Sistema Frontal – Meteorologia
2. Região Nordeste
3. Radar

PAULA PEREIRA DE SOUZA


ESTUDO DA ATUAÇÃO DE UM SISTEMA DE LATITUDES MÉDIAS NO
SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL: ASPECTOS DE MESO E GRANDE
ESCALAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2003

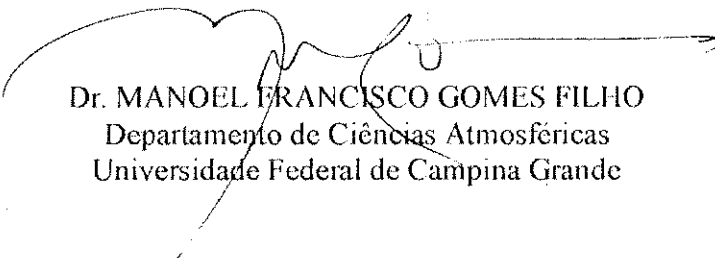
BANCA EXAMINADORA



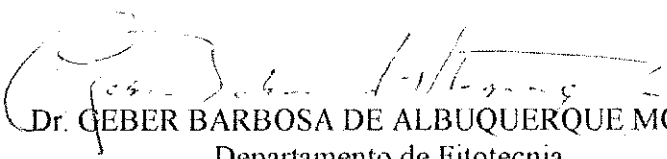
Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. MAGALY DE FÁTIMA CORREIA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA
Departamento de Fitotecnia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com muito amor a Rutli, Beatriz, e às minhas irmãs.

Roberta e Lourdinha. Também aos meus irmãos e sobrinhas.

OFERECIMENTO

Ao meu amor Ivânio, que sempre me incentiva a enfrentar os problemas, me dá força para vencer os desafios e comemora comigo as vitórias.

AGRADECIMENTOS

Os meus mais sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho e principalmente:

Aos meus familiares e amigos por TUDO;

Às professoras Dra. Magaly de Fatima Correia e Dra. Maria Regina da Silva Aragão pela orientação e valiosas sugestões;

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial à Enga. Eyres Diana Ventura Silva e à secretária Divanete C. Rocha, sempre dispostas a ajudar;

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade de realização do curso.

RESUMO

Este trabalho investiga as formas de atuação de um sistema de latitudes médias que avança sobre a zona semi-árida do Nordeste do Brasil no início de junho de 1985. Aspectos desse episódio em grande e mesoescala são diagnosticados utilizando: (a) dados em pontos de grade do NCEP, (b) imagens do satélite meteorológico METEOSAT, (c) campos de precipitação obtidos por um radar meteorológico banda-C instalado em Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W), (d) radiossondagens diárias realizadas na sede do radar, (e) taxas de precipitação e totais diários de chuva obtidos via pluviógrafo e pluviômetro na área de cobertura do radar.

O diagnóstico do cenário de grande escala evidencia que uma ciclogênese iniciada no dia 3, ao longo de uma banda frontal situada a leste da Região Sudeste, provoca uma seqüência de eventos dentre os quais estão: (a) o avanço, até próximo de 7°S, de um cavado de latitudes médias com eixo meridionalmente alinhado na média troposfera, em torno de 45°W, que se estende da Região Nordeste ao Atlântico Sul; (b) o enfraquecimento dos ventos alísios de leste-sudeste a partir do dia 4; (c) a presença de convergência de umidade nos baixos níveis em grande parte do Nordeste, nos dias 5 e 6; (d) a extensa cobertura de nuvens sobre o Nordeste nos dias 5 e 6, em contraste com os dias anteriores.

No cenário de mesoescala, condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos precipitantes são analisadas considerando como índice de estabilidade a energia máxima da parcela à superfície (E_{MAX}). Os resultados são confrontados com o grau de formação e intensificação dos ecos detectados pelo radar de Petrolina. Foi verificado que, apesar do aumento gradativo da E_{MAX} no período analisado, os valores indicam um grau de instabilidade insuficiente para explicar o desenvolvimento dos sistemas convectivos observados na área de alcance do radar. Células profundas com topos superiores a 15 km e organização em mesoescala foram responsáveis por altas taxas de precipitação e grandes áreas cobertas com chuva estratiforme com duração superior a 6 horas. A convergência de umidade nos baixos níveis associada à penetração do sistema de latitudes médias representa o mecanismo responsável pelo desenvolvimento e intensificação dos sistemas precipitantes.

ABSTRACT

This work investigates the consequences of a mid-latitude system invasion of semi-arid Northeast Brazil in the beginning of June 1985. Large and mesoscale aspects of the episode are diagnosed using: (a) NCEP gridpoint data, (b) METEOSAT images, (c) precipitation fields obtained by a C-band meteorological radar installed in Petrolina-PE (9°24'S, 40°29'W), (d) data from daily radiosonde ascents at Petrolina, (e) rain rates and daily rainfall totals obtained by raingauges located within the radar coverage area.

Diagnostics of the large scale scenario shows that a cyclogenesis starting on June 3 within a pre-existing frontal band off the southeastern coast of Brazil causes a sequence of events which includes: (a) the advance, up to 7°S approximately, of a mid-latitude trough whose axis is meridionally oriented in the middle troposphere, near 45°W, from the Northeast Brazil up to the South Atlantic; (b) the weakening of the trade winds regime starting on June 4, (c) the presence of low level moisture convergence in most of the Northeast, on June 5 and 6, (d) an extensive cloud coverage on the Northeast on June 5 and 6, in contrast with the previous days.

Ambient conditions favorable to development of precipitating convective systems are analyzed by considering as stability index the maximum parcel convective energy (E_{MAX}). Results are compared with the degree of organization and intensification of the echoes detected by the Petrolina radar. It is found that E_{MAX} values indicate a degree of instability which is insufficient to explain the convective systems' development within the radar coverage area, despite the gradual increase of E_{MAX} during the period of study. Deep cells with tops as high as 15 km and organization on the mesoscale are responsible by high rainfall rates and large areas covered by stratiform rain which last longer than 6 hours. Low level moisture convergence associated with the mid-latitude system is the mechanism responsible by the development and intensification of the precipitating systems.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xxv
1- INTRODUÇÃO	1
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3- MATERIAIS E METODOS	11
3.1 Material	16
3.1.1 Características do Radar Meteorológico de Petrolina	16
3.2 Métodos	14
3.2.1 Energia Máxima da Parcela à Superfície	14
3.2.2 Diagnóstico da Circulação Atmosférica e Precipitação Associada	14
4- RESULTADOS	16
4.1 Evolução Diária de Variáveis Meteorológicas em Junho de 1985	17
4.1.1 Superfície	17
4.1.2 Altitude	19
4.2 Características em Grande Escala	22
4.2.1 Dia 01 de junho de 1985	22
4.2.2 Dia 02 de junho de 1985	29
4.2.3 Dia 03 de junho de 1985	35
4.2.4 Dia 04 de junho de 1985	43
4.2.5 Dia 05 de junho de 1985	52

4.2.6 Dia 06 de junho de 1985	62
4.3 Características em Mesoescala	72
4.3.1 Dia 03 de junho de 1985	72
4.3.2 Dia 04 de junho de 1985	74
4.3.3 Dia 05 de junho de 1985	78
4.3.4 Dia 06 de junho de 1985	88
5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES	94
5.1 Conclusões	94
5.2 Sugestões	96
BIBLIOGRAFIA	97

LISTA DE SÍMBOLOS

θ	Temperatura Potencial
θ_e	Temperatura Potencial Equivalente
θ_{es}	Temperatura Potencial Equivalente de Saturação

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACOS	→	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
AERH	→	Área de Engenharia de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Campina Grande
ASAS	→	Alta Subtropical do Atlântico Sul ou Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
ATECEL	→	Associação Técnico-Científica Ernesto Luís de Oliveira Júnior
BA	→	Bahia
Be	→	Banda de Ecos
CPTEC	→	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTA	→	Centro Tecnológico da Aeronáutica
DCA	→	Departamento de Ciências Atmosféricas
E_{MAX}	→	Energia máxima da Parcela à Superfície
ESA	→	European Space Agency
HL	→	Hora Local
IAE	→	Instituto de Atividades Espaciais
MODART	→	Modificação Artificial do Tempo
NCEP	→	National Centers for Environmental Prediction
NMC	→	National Meteorological Center
PE	→	Pernambuco
PPI	→	Plan Position Indicator
RHI	→	Range, Height Indicator
ROL	→	Radiação de Ondas Longas

- SUDENE → Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
- TMG → Tempo Médio de Greenwich
- ZCAS → Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT → Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 2.1 Principais configurações de faixas de nebulosidade convectiva sobre o Nordeste do Brasil, classificadas como (a) tipo A e (b) tipo S. <i>(Fonte: Lucava, 1995).</i>	10
Figura 3.1 Mapa do relevo da região Nordeste do Brasil, com localização do radar banda-C de Petrolina-PE ($9^{\circ}24'S$, $40^{\circ}29'W$) e sua área de cobertura, representada pelo círculo maior de raio 400km. O círculo menor de raio 250km representa a área na qual foi feito o registro dos ecos. A convenção utilizada para o relevo é vista no canto inferior esquerdo. <i>(Fonte: Silva Aragão et al., 2000)</i>	13
Figura 4.1 Pressão (mb) e temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}C$) médias diárias para junho de 1985 em: (a) Caravelas e (b) Petrolina. <i>(Fonte: Araújo, 1996)</i>	18
Figura 4.2 Componentes zonal (u) e meridional (v) médias diárias (m/s) do vento à superfície e precipitação total diária (em) para junho de 1985 em: (a)-(b) Caravelas e (c)-(d) Petrolina. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). <i>(Fonte: Araújo, 1996).</i>	18
Figura 4.3 Seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 500 hPa para junho de 1995 na latitude de: (a) $18^{\circ}S$ e (b) $9^{\circ}S$. Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. O intervalo de análise é de 4m/s. <i>(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).</i>	20
Figura 4.4 Seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 200 hPa para junho de 1995 na latitude de: (a) $18^{\circ}S$ e (b) $9^{\circ}S$. Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. O intervalo de análise é de 4m/s. <i>(Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).</i>	21
Figura 4.5 Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. <i>(Fonte dos dados:</i>	

- NCEP/CPTEC*). 24
- Figura 4.6 Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 24
- Figura 4.7 Análises para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 25
- Figura 4.8 Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 26
- Figura 4.9 Movimento vertical para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 27
- Figura 4.10 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 28
- Figura 4.11 Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 30

- Figura 4.12 Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 30
- Figura 4.13 Análises para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 31
- Figura 4.14 Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 32
- Figura 4.15 Movimento vertical para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 33
- Figura 4.16 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 34
- Figura 4.17 Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 37
- Figura 4.18 Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (*Fonte dos dados:*

NCEP/CPTEC).

37

- Figura 4.19 Análises para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).*
- Figura 4.20 Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).*
- Figura 4.21 Movimento vertical para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).*
- Figura 4.22 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).*
- Figura 4.23 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 03 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (*Fonte da imagem: ESA).*
- Figura 4.24 Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).*

38

39

40

41

42

46

- Figura 4.25 Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 46
- Figura 4.26 Análises para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 47
- Figura 4.27 Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 48
- Figura 4.28 Movimento vertical para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 49
- Figura 4.29 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 50
- Figura 4.30 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 04 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (*Fonte da imagem: ESA*). 51
- Figura 4.31 Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 05 de junho de 1985

às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

55

Figura 4.32 Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

55

Figura 4.33 Análises para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

56

Figura 4.34 Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

57

Figura 4.35 Movimento vertical para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

58

Figura 4.36 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

59

Figura 4.37 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 05 de junho de 1985 às 18:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e

- Figura 4.44 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 06 de junho de 1985 às 06:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^{-5} \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^{-5} \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 69
- Figura 4.45 Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^{-5} \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^{-5} \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*). 70
- Figura 4.46 Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 06 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (*Fonte da imagem: ESA*). 71
- Figura 4.47 Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 03/06/85 às 09:00 HL. (*Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996*). 73
- Figura 4.48 Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 03/06/85 às 09:00 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componentes de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (*Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996*). 74
- Figura 4.49 Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 04/06/85 às 09:10 HL. (*Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996*). 75
- Figura 4.50 Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 04/06/85 às 09:10 HL. Valores positivos (negativos) de u representam

componentes de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

75

Figura 4.51 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 15:35 HL do dia 04/06/85 (a) e a convenção utilizada para a taxa de precipitação (b). Os círculos concêntricos ao local do radar são espaçados de 50 km. A linha sinuosa situada nos quadrantes nordeste e sudoeste representa o curso do Rio São Francisco. A seta no canto superior direito em (a) indica o norte geográfico. A escala de chuva utilizada é a R-1 (Fonte dos dados: LAE/CTA)

77

Figura 4.52 Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 05/06/85 às 09:10 HL. (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

78

Figura 4.53 Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 05/06/85 às 09:10 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componentes de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

79

Figura 4.54 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 14:40 HL do dia 05/06/85 (a) e RHI obtido às 14:50 HL do mesmo dia ao longo do azimute de 160° (b), representado pela linha AA' em (a). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: LAE/CTA)

82

Figura 4.55 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 15:41 HL do dia 05/06/85 (a) e RHI obtido às 15:57 HL do mesmo dia ao longo do azimute de $180,1^\circ$ (b) representado pela linha BB'' em (a). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: LAE/CTA)

83

Figura 4.56 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 16:36 HL do dia 05/06/85. A convenção utilizada para a taxa de precipitação

- é R-1 vista na Fig. 4.51b. (*Fonte dos dados: LAE/CTA*) 84
- Figura 4.57 Variação da intensidade máxima de chuva com o tempo para o dia 05 de junho de 1985 em (a) Uauá e (b) Macajuba. (*Fonte dos dados: ATECELABRI/SUDENE*) 86
- Figura 4.58 Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 06/06/85 às 08:58 HL. (*Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996*). 88
- Figura 4.59 Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 06/06/85 às 08:58 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componentes de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (*Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996*). 89
- Figura 4.60 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 08:00 HL do dia 06/06/85 (a), e RHI's obtidos às 08:05 HL (b) e 08:12 HL (c) do mesmo dia, ao longo dos azimutes de $190,1^\circ$ (linha CC' em (a)) e $90,1^\circ$ (linha CC' em (a)) respectivamente. A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (*Fonte dos dados: LAE/CTA*) 91
- Figura 4.61 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 08:55 HL do dia 06/06/85. A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (*Fonte dos dados: LAE/CTA*) 92
- Figura 4.62 PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 09:50 HL do dia 06/06/85 (a), RHI obtido às 09:57 HL do mesmo dia ao longo do azimute de $90,1^\circ$ (b). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (*Fonte dos dados: LAE/CTA*) 93

LISTA DE TABELAS

	Pag
Tabela 4.1 Totais pluviométricos observados entre 12:00 TMG do dia 05 e 12:00 TMG do dia 06 de junho de 1985.	87

que se organizam em mesoescala na presença de um cenário sinótico favorável (Kousky, 1980; Cavalcanti, 1982; Gomes Filho et al., 1996; Souza et al., 1998; Danião, 1999). Tais situações de convecção organizada resultantes da interação entre as diversas escalas são determinantes na definição de uma boa estação chuvosa sob o ponto de vista hidrológico. A formação e desenvolvimento das células precipitantes obedecem a uma lei de efeitos proporcionais, ou seja, seguem uma distribuição lognormal (Lopez, 1976; Houze e Cheng, 1977; Correia, 1989; Silva Aragão et al., 2000)

No domínio da grande escala, vários estudos evidenciam que os sistemas frontais desempenham papel importante na formação e/ou manutenção de outros sistemas atmosféricos. Na época de final de primavera, verão e início de outono, o avanço de sistemas frontais austrais sobre a América do Sul intensifica e organiza a convecção tropical sob três formas principais (Oliveira, 1986). Uma dessas formas é a de uma banda de nuvens orientada de noroeste-sudeste que se estende da Amazônia ao Atlântico Subtropical Sul. Ocasionalmente, essa banda de nuvens constitui uma das características de episódios intensos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As outras duas formas estão relacionadas com a amplificação do cavado situado em altos níveis na área do Nordeste-Atlântico Sul e a subsequente formação de um vórtice ciclônico de ar superior, outra consequência do avanço de sistemas frontais sobre a América do Sul (Kousky e Gan, 1981; Anjos, 1995).

A trajetória típica de um sistema frontal na região da América do Sul envolve o avanço da frente fria sobre o continente, no sentido sudoeste-nordeste, provocando redução da pressão e aumento da temperatura na sua vanguarda. Após sua passagem, a pressão aumenta e a temperatura diminui devido à penetração do ar frio do centro de alta pressão situado na

retaguarda da frente. No Brasil, essas mudanças são facilmente detectadas nas regiões Sul e Sudeste, especialmente no inverno. Por outro lado, há situações no período de inverno nas quais uma frente fria intensa avança rapidamente sobre o interior do continente, numa trajetória quase meridional, atingindo o sul e oeste da Amazônia onde causa mudanças acentuadas em diversas variáveis meteorológicas à superfície: temperatura do ar, vento, pressão, etc. Esse fenômeno, conhecido como "friagem" devido à queda acentuada de temperatura que provoca na região da Amazônia, foi primeiro estudado por Serra e Ratisbona (1942). Posteriormente, Myers (1964) e Parmenter (1976) também documentaram episódios de frentes frias austrais que atingiram a área equatorial na América do Sul. Mais recentemente, Marengo et al. (1997a,b) diagnosticaram friagens ocorridas no inverno de 1994.

Sistemas frontais austrais também influenciam a região Nordeste do Brasil, conforme mostrado por Kousky (1979) e Kousky e Ferreira (1981) através da análise de dados de superfície para o período 1961-1970. Kousky (1979) utilizou como critérios para identificar passagens frontais em Caravelas, localizada no sul da Bahia, a queda de, no mínimo, 2°C na temperatura do bulbo úmido média diária e a mudança para componente meridional de sul do vento à superfície. Foram identificados casos em todos os meses do ano, sendo que a maioria obedecia apenas ao segundo critério. Silva Aragão e Correia (1994) e Araújo (1996) utilizaram a mesma metodologia para analisar o primeiro semestre de 1985, ano classificado como chuvoso no norte do Nordeste (Uvo, 1989; Roucou et al., 1996; Rao et al., 1997). Esses autores detectaram passagens frontais em todos os meses, exceto janeiro, sendo que apenas uma, ocorrida no início de junho, obedeceu aos dois critérios. Os autores sugerem que essa invasão frontal influenciou também a região de Petrolina-PE, causando um total pluviométrico

diário acima da normal mensal e a interrupção/enfraquecimento do regime dos ventos alísios de sudeste predominante na região. Outra consequência foi a organização da convecção em mesoescala na forma de um padrão de ecos de radar meteorológico observado apenas em junho: a banda de ecos (Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 2000). Tendo em vista os resultados apresentados por esses autores, este trabalho tem como objetivo abordar os seguintes aspectos ainda não explorados desse episódio:

- (a) diagnosticar a evolução do cenário sinótico-dinâmico em superfície e altitude, juntamente com campos de precipitação obtidos via radar;
- (b) investigar a relação entre a estrutura termodinâmica em Petrolina e as informações de radar e de pluviômetros e pluviógrafos obtidas na área de cobertura de radar.

É esperado que o alcance dos objetivos acima ampliará o conhecimento sobre as formas de interação entre sistemas de meso e grande escalas no Nordeste do Brasil.

pela intensa interação entre a circulação atmosférica nos altos e baixos níveis troposféricos na região próxima aos Andes. O trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira foi feito o estudo dos aspectos sinóticos e climáticos de episódios de invasões de ar frio usando observações diárias de superfície. Na segunda parte foi feita uma análise dos aspectos dinâmicos do episódio e um estudo dos mecanismos de resfriamento, usando reanálises do NCEP/NCAR. Os autores sugerem um mecanismo para a evolução dos episódios de friagem. Ele inclui a presença de um cavado em altos níveis troposféricos que penetra no continente vindo do Pacífico em latitudes médias e/ou altas. No estágio inicial, muitos processos são propícios à intensificação do gradiente horizontal de temperatura a sotavento dos Andes, o que permite o transporte de ar frio para leste durante os dias subsequentes, sendo este transporte de ar frio o mecanismo parcialmente responsável pela amplificação da onda em altos níveis.

Marengo et al. (1997b) utilizaram observações meteorológicas do projeto ABRACOS, reanálises globais do NCEP e imagens de satélite para estudar a extensão espacial e intensidade das friagens na Bacia Amazônica. Foram estudados dois dos mais fortes eventos do inverno de 1994, o de 26 de junho e o de 10 de julho. Nos dois casos as temperaturas mínimas diárias no sudeste do Brasil caíram para próximo ou abaixo de 0°C , enquanto que a temperatura mínima no sul da Amazônia foi quase 8 graus abaixo do valor mínimo médio. A temperatura e umidade do ar também caíram no centro e oeste da Amazônia. Na localidade de Ji-Paraná as maiores quedas na temperatura mínima coincidiram com fortes ventos de sul, o que implica que a advecção foi o principal mecanismo para a diminuição da temperatura. Por outro lado, não houve aumento da velocidade do vento em Manaus e Marabá durante os dias

de temperatura reduzida. Nesses casos, o resfriamento foi devido à redução da temperatura máxima causada pelo aumento da nebulosidade.

Kousky e Ferreira (1981), num estudo das variações da pressão à superfície, fizeram a correlação entre as oscilações da pressão no sul do Brasil e as oscilações da pressão próximo ao Equador e concluíram que incursões de frentes frias na Amazônia durante os meses de inverno podem ser uma das causas para a variabilidade interanual observada nas análises dos coeficientes de correlação sobre a Bacia Amazônica. Gráficos da pressão e da temperatura potencial equivalente para estações selecionadas do Brasil demonstram a penetração nos trópicos de massas de ar de latitudes médias do Hemisfério Sul. Ocasionalmente, imagens de satélite evidenciam um considerável aumento na nebulosidade tropical e atividade convectiva associada a sistemas de latitudes médias que penetram em latitudes baixas sobre o Brasil.

Uma outra forma de atuação de sistemas frontais austrais em latitudes baixas da América do Sul está relacionada com a interação entre esses sistemas e outros de mesma escala ou de escala inferior.

Kousky e Gan (1981), num estudo sobre vórtices ciclônicos em altos níveis de origem tropical sobre o Atlântico Sul, propuseram um mecanismo para sua formação baseado na amplificação do cavado de ar superior situado sobre o Nordeste-Atlântico Sul. Levantaram a hipótese de que sistemas frontais austrais que penetram em latitudes baixas estão fortemente ligados à amplificação do cavado e, portanto, são indiretamente responsáveis pela formação do vórtice. Essa hipótese é corroborada no estudo de Anjos (1995) que diagnosticou que sistemas

frontais austrais exerceram papel importante no desenvolvimento de um vórtice ciclônico em ar superior sobre o Nordeste-Atlântico Sul no período de 15 a 25 de novembro de 1986.

Lacava (1995) e Ferreira et al. (2001), com base em imagens do satélite GOES para os anos de 1980, 81, 82, 83, 87, e 88, destacaram duas principais configurações de nebulosidade convectiva organizada sobre o Nordeste do Brasil, classificando-as como tipo "S" e tipo "A". Estudando a faixa de nebulosidade tipo "S" (Fig. 2.1b), observaram que ela resulta da interação entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul ou sistemas frontais, vórtices ciclônicos de ar superior centrados a leste do Nordeste e a Zona de Convergência Intertropical. Observaram ainda que esta faixa tem orientação norte-sul e maior frequência de ocorrência nos meses de verão e que sua contribuição para a precipitação na parte oeste e central do Nordeste é expressiva. A nebulosidade organizada tipo A (Fig. 2.1a), de orientação noroeste-sudeste, é mais freqüente nos meses de outubro e novembro e está associada a zonas de convergência formadas por sistemas frontais provenientes de sul ou vórtices ciclônicos que se formam sobre áreas oceânicas a sudeste do Nordeste.

Analisando cinco anos de dados pluviométricos da região de Petrolina-PE, Abreu (1979) concluiu que os sistemas frontais que atingem a região nos meses de novembro e dezembro são responsáveis pelo início da estação chuvosa e que a entrada de tais sistemas é mais freqüente nessa época do ano.

Kousky (1979) estudou a penetração de sistemas frontais na região Nordeste do Brasil com base em três observações diárias de superfície para um período de 10 anos (1961-70). Ele mostrou que os sistemas frontais influenciam a precipitação na parte sul do

nordeste brasileiro onde penetram durante todo o ano e que causam aumento da precipitação ao longo da costa leste do Nordeste durante os meses de outono e inverno. Mostrou ainda que nesses meses os sistemas frontais estavam associados a diminuição da pressão à superfície em latitudes baixas, favorecendo o deslocamento do cavado equatorial para sul.

Cavalcanti (1986), utilizando médias de radiação de onda longa (ROL) obtidas do NMC/NOAA e imagens dos satélites GOES e METEOSAT para o ano de 1985, observou intensa convecção sobre o Nordeste e que zonas frontais provenientes de sul se tornavam semi-estacionárias sobre a costa leste, contribuindo para a intensificação da convecção nessa região.

Araújo (1996) e Correia et al. (1996), com base em dados e mapas de superfície, imagens de satélite e radar meteorológico banda-C e perfis verticais obtidos de radiossondagens diárias realizadas em Petrolina, detectaram a passagem de um sistema frontal em Caravelas-BA no dia 4 de junho de 1985 e sugeriram sua influência sobre Petrolina-PE. Observaram mudanças acentuadas na estrutura termodinâmica da atmosfera e a interrupção dos ventos alísios de sudeste predominantes na região de Petrolina a partir do dia 4, quando a pressão média diária atingiu o valor mais baixo do mês nas duas localidades. Observaram ainda ecos de radar na forma de banda organizada em mesoescala no dia 6. A influência do sistema também foi indicada pelos perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento que mostraram ventos fracos na baixa troposfera e máximos na alta troposfera.

Seluchi e Marengo (2000), num estudo sobre troca de massas de ar entre latitudes médias e tropicais no verão e inverno na América do Sul, observaram que a entrada

de um sistema frontal em latitudes subtropicais no verão aumentou a convergência (divergência) em baixos (altos) níveis na região da ZCAS, estimulando o desenvolvimento de complexos convectivos que intensificaram consideravelmente a atividade convectiva na área.

A revisão apresentada evidencia a importância dos sistemas frontais, seja atuando isoladamente ou na formação e/ou manutenção de outros sistemas atmosféricos, tanto de mesma escala como de escala inferior, em latitudes tropicais da América do Sul.

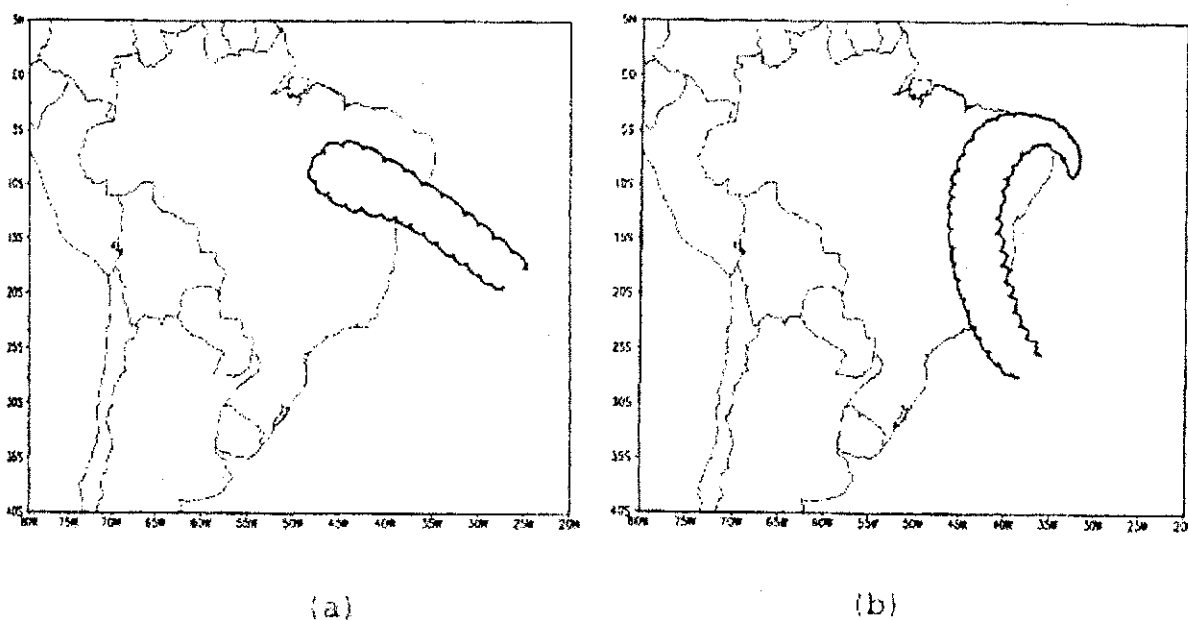


Fig. 2.1 – Principais configurações de faixas de nebulosidade convectiva sobre o Nordeste do Brasil, classificadas como (a) tipo A e (b) tipo S. (Fonte: Lacava, 1995)

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

O período escolhido para estudo está centrado nos 6 primeiros dias de junho de 1985. A razão fundamental para essa escolha são as mudanças significativas no tempo em Petrolina provavelmente associadas ao avanço do sistema frontal cuja passagem em Caravelas-BA foi detectada no dia 4 de junho.

3.1 Materiais

Os dados disponíveis para a realização desta pesquisa são os seguintes:

- a) dados do NCEP em pontos de grade para diversas variáveis atmosféricas, em vários níveis isobáricos;
- b) imagens do satélite METEOSAT para as 11:55 UTC nas bandas espectrais do visível, infravermelho térmico e vapor d'água;

- c) dados de ar superior obtidos através de radiossondagens realizadas diariamente às 12:00 TMG na sede do radar meteorológico banda-C localizado em Petrolina-PE;
- d) campos de precipitação obtidos pelo radar de Petrolina-PE;
- e) dados de intensidade de chuva coletados em postos pluviográficos da SUDENE situados na área de cobertura do radar de Petrolina;
- f) totais diários de precipitação obtidos da rede pluviométrica do Nordeste cedidos pela SUDENE ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande.

3.1.1 - Características do Radar Meteorológico de Petrolina

O radar meteorológico banda-C de Petrolina gerenciado pelo IAF-CTA, cuja área de cobertura é ilustrada na Figura 3.1, foi adquirido pelo Ministério da Aeronáutica para o projeto MODART. Seu período de operação foi limitado à estação chuvosa de 1985. O equipamento tem como características principais:

- Freqüência de emissão 5.625MHz
- Freqüência de repetição de pulso 2 μ S
- Antena parabólica 3,66m de diâmetro
- Altura da antena parabólica 17m
- Largura do feixe 1°
- Potência de pico 250kW.

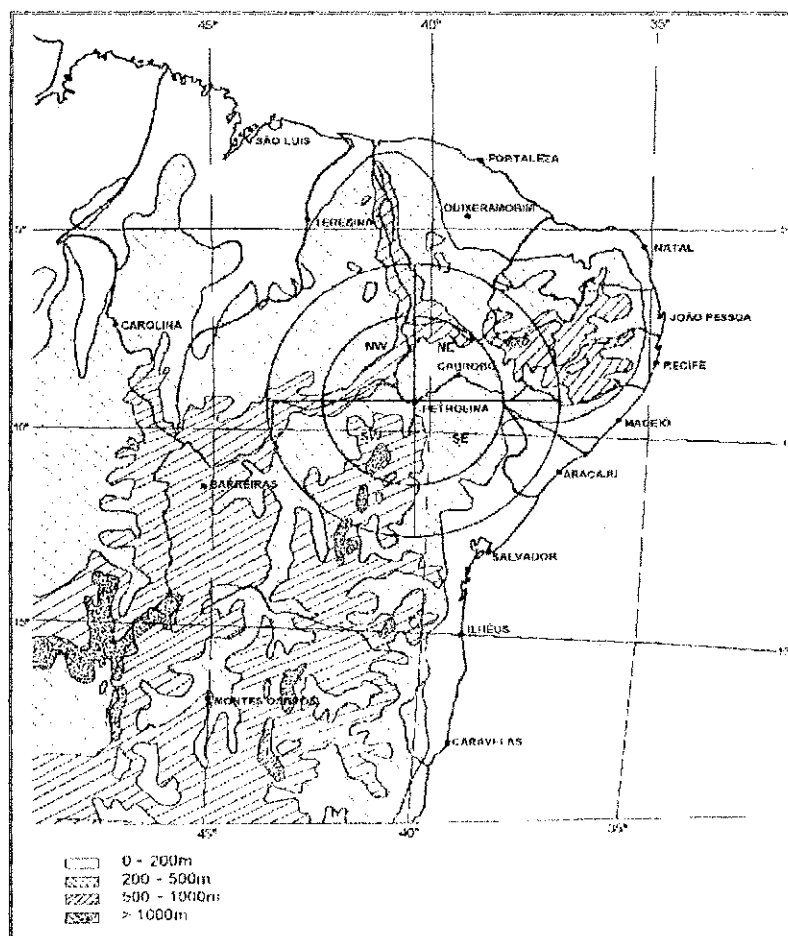


Fig. 3.1 - Mapa do relevo da região Nordeste do Brasil com a localização do radar banda-C de Petrolina-PE ($9^{\circ}24'S$, $40^{\circ}29'W$) e sua área de cobertura, representada pelo círculo maior de raio 400km. O círculo menor de raio 250km representa a área na qual foi feito o registro dos ecos. A convenção utilizada para o relevo é vista no canto inferior esquerdo. (Fonte: Silva Aragão et al., 2000)

3.2- Métodos

3.2.1- Energia máxima da parcela à superfície

Os dados de ar superior obtidos das radiossondagens realizadas nos dias 3, 4, 5 e 6 de junho são utilizados para obter a energia máxima da parcela à superfície (E_{MAX}) segundo a metodologia criada por Zawadzki e Ro (1978) e documentada em Silva Aragão et al. (2000). O valor desse parâmetro indica a possibilidade de haver ou não convecção profunda, em função das condições termodinâmicas em superfície ou, em outras palavras, o método permite avaliar a quantidade de energia disponível para a formação de nuvens convectivas na região. Na obtenção desse parâmetro, a sondagem de Petrolina é considerada como representativa da área de um círculo de raio igual a 250 km. A E_{MAX} é obtida a partir do valor mais alto da temperatura potencial do bulbo úmido, determinada com base nos dados diários de superfície. A área positiva (desde o nível de convecção livre até a interseção da pseudoadiabática com a sondagem) é calculada para a parcela definida por esse ponto no diagrama. A quantificação da área positiva e, portanto, do valor da energia convectiva é realizada com base nos valores retirados do diagrama.

3.2.2 – Diagnóstico da circulação atmosférica e precipitação associada

O diagnóstico da circulação atmosférica é realizado com base nos campos do vento, vorticidade relativa e movimento vertical nos níveis de 850, 500 e 200 hPa; divergência horizontal do fluxo de umidade em 925 hPa, pressão reduzida ao nível médio do mar e espessura da camada 1000-500 hPa. Foram utilizados ainda diagramas tempo-longitude da

componente meridional do vento. Esses campos possibilitam a análise da evolução temporal e espacial da estrutura atmosférica em grande escala no período de estudo.

As imagens do satélite METEOSAT, juntamente com os totais diários de precipitação, as intensidade de chuva e as imagens de radar permitem avaliar a influência do sistema sobre o tempo na área de estudo.

As imagens de radar permitem diagnosticar a estrutura de pequena e mesoescala dos sistemas de chuva que atuaram na região de Petrolina no período analisado. As taxas de precipitação obtidas através de pluviógrafos bem como os valores diários de precipitação das estações dentro da área de alcance do radar são relacionadas com as informações obtidas pelo radar.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

O sistema frontal enfocado neste estudo foi preliminarmente analisado por Araújo (1996) e Correia et al. (1996) conforme mencionado em capítulos anteriores. Esses autores basearam suas investigações em imagens de satélite e radar meteorológico, mapas de superfície, dados de altitude de Petrolina e dados de superfície de Petrolina-PE e Caravelas-BA. Foi com base na análise conjunta dessas informações que os autores diagnosticaram a passagem do sistema frontal em Caravelas e também sugeriram sua influência na área de Petrolina.

Parte dos resultados obtidos por esses autores é apresentada na primeira seção deste capítulo com o objetivo de ilustrar a variação diária em junho de 1985 de parâmetros meteorológicos coletados à superfície nas duas localidades. Nessa mesma seção, seções tempo-longitude da componente meridional do vento nos níveis de 500 e 200 hPa são utilizadas para ilustrar a variação nessa componente, ao longo do mês, nas latitudes de 18°S e 9° S, próximas de Caravelas-BA e Petrolina-PE, respectivamente. Nas duas seções seguintes

são discutidos os resultados do diagnóstico das características em grande e mesoescala nos seis primeiros dias do mês.

4.1 – Evolução Diária de Variáveis Meteorológicas em Junho de 1985

4.1.1 – Superfície

Uma das formas de investigação utilizadas por Araújo (1996) foi a análise das séries temporais dos valores médios diários: (a) da pressão reduzida ao nível médio do mar e da temperatura do bulbo úmido (Fig. 4.1) e (b) das componentes do vento em Caravelas e Petrolina (Fig. 4.2). As séries da pressão têm seu mínimo mais evidente no dia 4, associado à penetração do sistema frontal. Os gráficos do vento mostram, a partir desse dia, ventos fracos do quadrante sudeste em Caravelas (Fig. 4.2a) e ventos fracos do quadrante nordeste em Petrolina (Fig. 4.2c), esses últimos substituindo os ventos alísios de sudeste típicos da região. Não houve precipitação em Caravelas (Fig. 4.2b) enquanto que Petrolina registrou chuva acima da normal mensal que é de 10,1mm (Fig. 4.2d).

Uma análise de correlação linear entre as duas séries de pressão resultou num coeficiente de correlação de 0,9, ao nível de significância de 95%, indicando a atuação simultânea de sistemas de grande escala nas duas localidades.

Os valores acentuadamente mais baixos da temperatura do bulbo úmido nos últimos 20 dias do mês (Fig. 4.1) sugere a mudança de massa de ar nessas localidades favorecida pela passagem frontal ocorrida no dia 10 em Caravelas, conforme indica o vento do quadrante sudoeste entre os dias 10 e 14 (Fig. 4.2a).

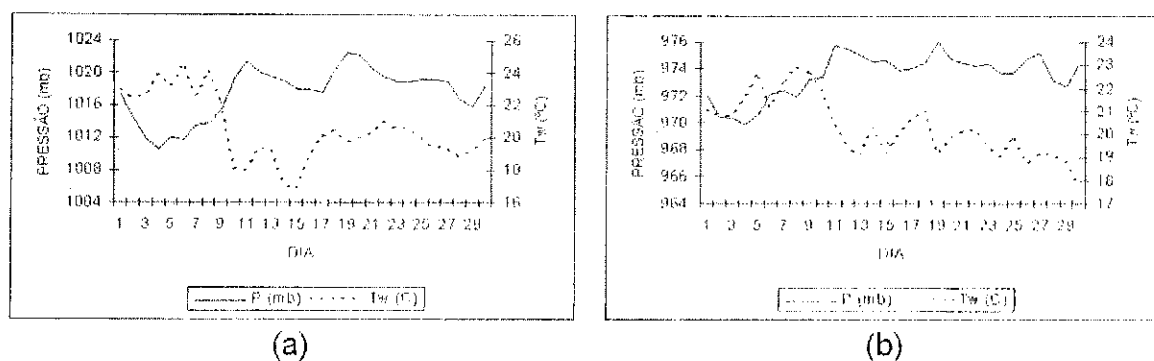


Fig. 4.1 - Pressão (mb) e temperatura do bulbo úmido (°C) médias diárias para junho de 1985 em: (a) Caravelas e (b) Petrolina. (Fonte: Araújo, 1996)

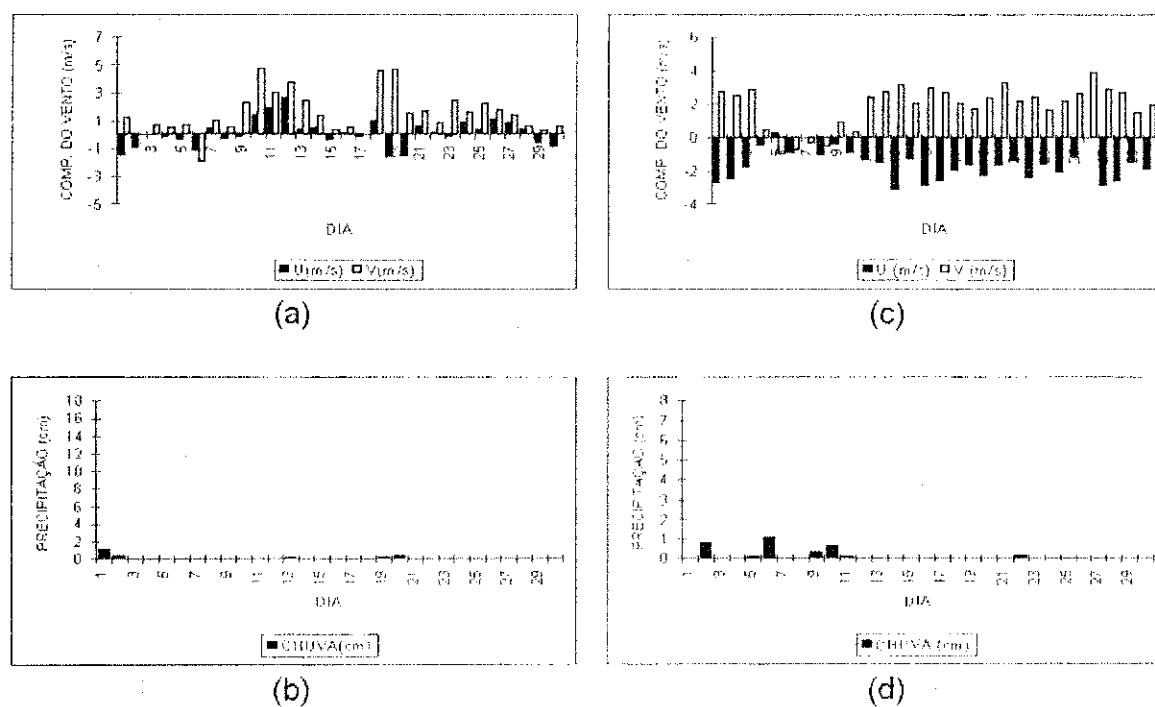


Fig. 4.2 - Componentes zonal (u) e meridional (v) médias diárias (m/s) do vento à superfície e precipitação total diária (cm) para junho de 1985 em: (a)-(b) Caravelas e (c)-(d) Petrolina. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996).

4.1.2 – Altitude

A seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 500 hPa, na latitude de 18°S, para o mês de junho de 1985 (Fig. 4.3a), permite observar as mudanças ocorridas no período de estudo em Caravelas-BA (17°44'S, 39°15'W). No dia primeiro a componente é de sul. A partir do dia 2 ela muda de sinal permanecendo de norte até o dia 5. Essa última mudança no sinal da componente é provocada pela entrada de um núcleo de valores positivos cuja origem parece estar no dia 2, em torno da longitude de 65°W. A pequena inclinação dessa área positiva entre as longitudes de 65°W e 40°W sugere propagação para leste, provavelmente associada a um cavado frontal. A maior intensidade dessa componente é observada no dia 4, com valor entre 4 e 8 m/s. A seção na latitude de 9°S (Fig. 4.3b) permite observar o comportamento da componente em Petrolina-Pe (9°24'S, 40°29'W). A seção mostra alternância no sinal da componente já que ela é de sul (norte), nos dias 1, 2, 4 e 6 (3 e 5), com intensidade inferior a 4 m/s. Não é possível observar deslocamento sistemático de qualquer núcleo no período de estudo.

A seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 200 hPa, na latitude de 18°S (Fig. 4.4a) evidencia que a componente é de sul nos três primeiros dias do mês, atingindo valor máximo em torno de 12 m/s no dia 2. A maior intensidade dessa componente, aproximadamente 20 m/s, ocorre no dia 6. A inclinação da área positiva nos primeiros seis dias do mês sugere deslocamento para leste. Essa orientação é provocada por um cavado que se desloca para leste entre o equador e 20°S. A seção na latitude de 9°S (Fig. 4.4b) apresenta as mesmas características gerais, porém melhor definidas. Por outro lado, a intensidade máxima atingida (12m/s) é consideravelmente menor.

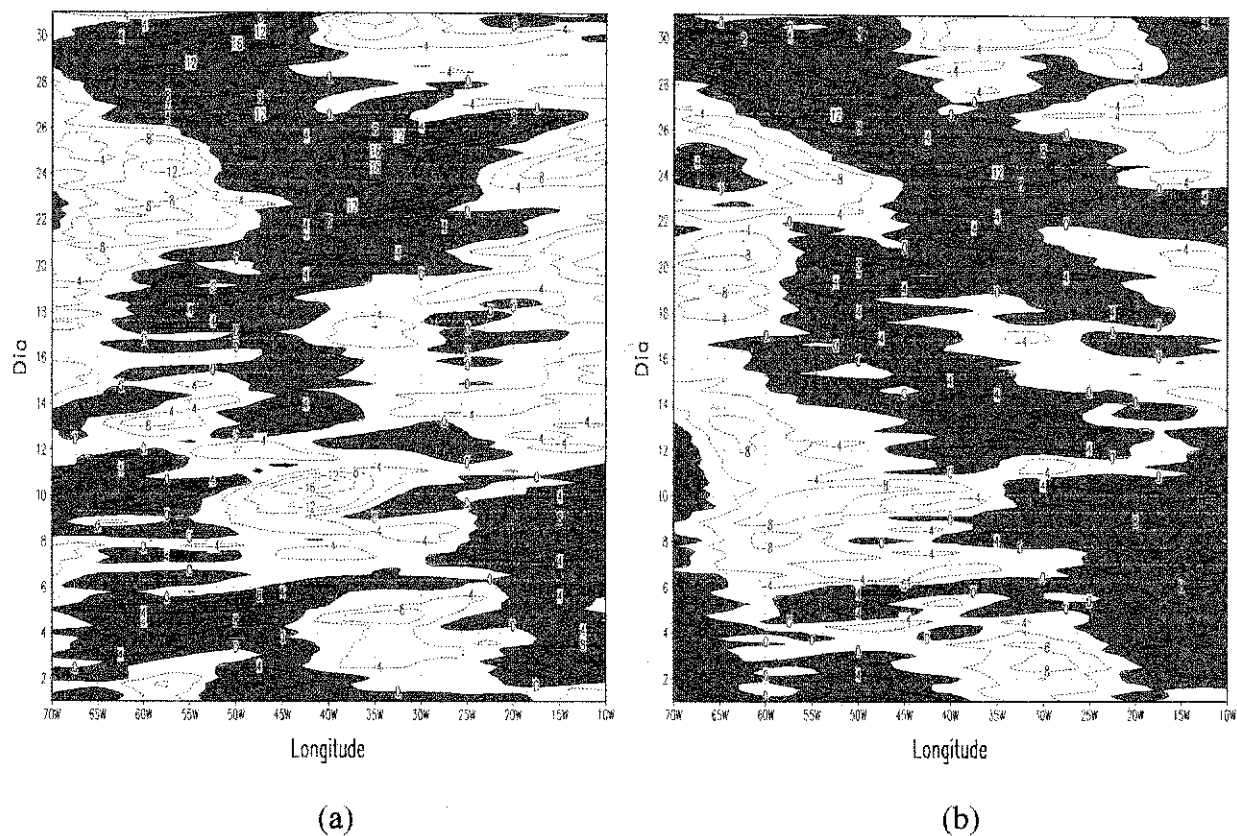


Fig. 4.3 - Seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 500 hPa para junho de 1985 na latitude de: (a) 18°S e (b) 9°S . Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. O intervalo de análise é de 4m/s. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

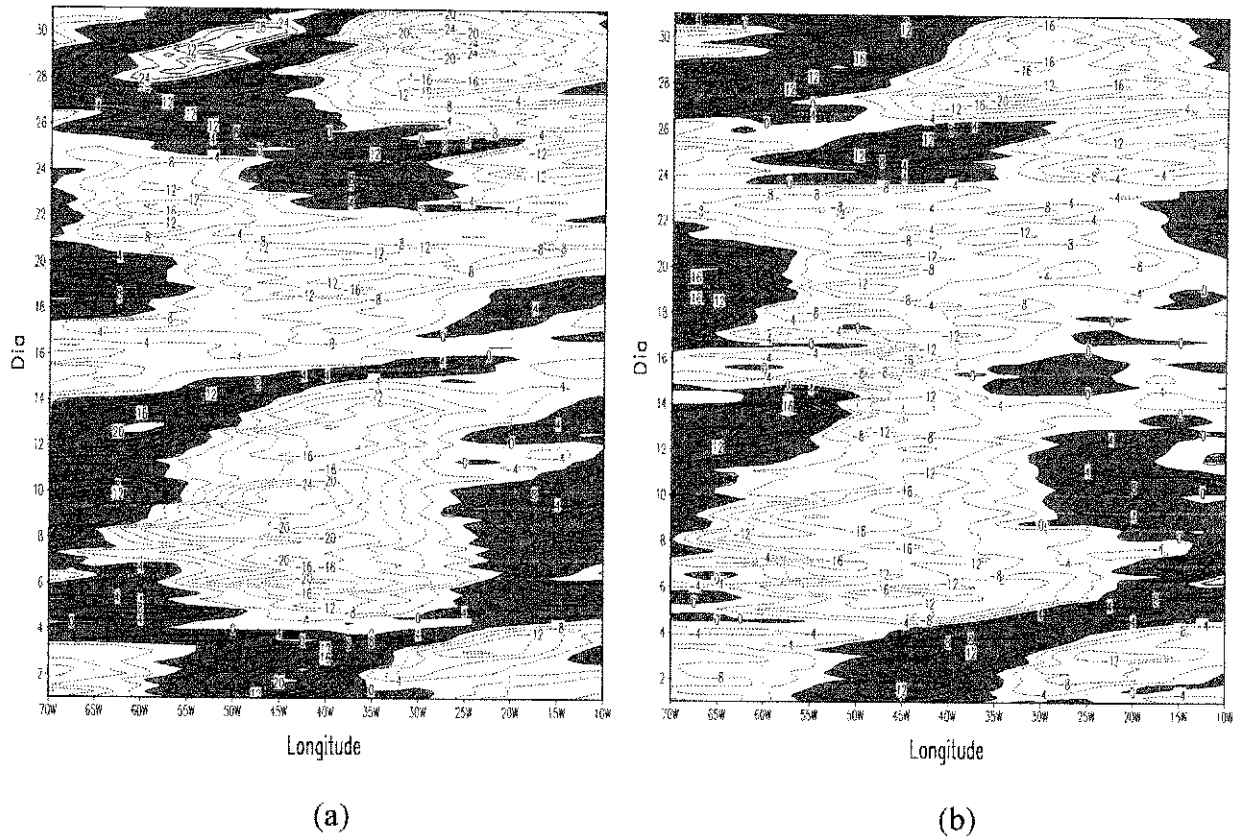


Fig. 4.4 - Seção tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 200 hPa para junho de 1985 na latitude de: (a) 18°S e (b) 9°S . Os valores positivos (componente de sul) estão representados pela área sombreada. O intervalo de análise é de 4m/s. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

4.2 – Características em Grande Escala

Nesta seção é discutida a evolução temporal e espacial do ambiente sinótico associado à penetração do sistema de latitudes médias no Nordeste do Brasil nos primeiros dias de junho de 1985. A discussão dos dias 1 e 2 é sucinta, já que o objetivo principal é fornecer informações básicas sobre as condições que antecederam o evento ocorrido entre os dias 3 e 6, cujas características de mesoescala são discutidas na seção subsequente.

4.2.1 – Dia 01 de Junho de 1985

No campo da pressão reduzida ao nível médio do mar (Fig. 4.5) as isóbaras de 1014 hPa delimitam a área de influência do cavado equatorial. É evidente o domínio da alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre quase todo o Brasil e de um cavado (frente fria) sobre o Uruguai/Rio Grande do Sul associado a uma baixa com pressão central de 1002 hPa próximo a (40°S, 50°W). No campo da espessura 1000-500 hPa (Fig. 4.6) é possível observar a curvatura nas isolinhas que caracteriza a presença dos setores quente e frio da baixa frontal, bem como o forte gradiente horizontal de espessura na retaguarda (vanguarda) da frente fria (quente) em superfície. A ASAS e o ciclone frontal também são evidentes no campo do vento em 850 hPa (Fig. 4.7a), no qual a área de atuação da frente fria é identificada pela assíntota de confluência. No campo da vorticidade relativa desse nível (Fig. 4.8a) apenas o sistema frontal é identificado pelo núcleo negativo localizado a leste da Argentina e Uruguai. Nos níveis de 500 e 200 hPa (Fig. 4.7b,c) o cavado frontal atinge a latitude de 20°S, característica essa confirmada no campo da vorticidade relativa pelo núcleo negativo alongado na direção noroeste-sudeste sobre o continente (Fig. 4.8). No nível de 200 hPa há outro cavado cujo eixo

se estende desde o leste do Nordeste, próximo de (5°S , 40°W), até o sul do Atlântico, em torno de (60°S , 10°W). O deslocamento para leste da porção norte desse cavado, situada entre o equador e 20°S , é responsável pelo núcleo positivo da componente meridional do vento visto na Figura 4.4 discutida anteriormente. No campo do movimento vertical em 850, 500 e 200 hPa (Fig. 4.9) uma área de movimento ascendente é vista à frente do eixo do cavado de latitudes médias. No campo da divergência do fluxo de umidade em 925 hPa (Fig. 4.10) uma área de convergência alongada na direção noroeste-sudeste assinala a presença do sistema frontal. Outro núcleo negativo cobre parte das Regiões Norte e Nordeste e área oceânica adjacente. Observando esse campo com mais detalhe na área do Nordeste fica evidenciada convergência de umidade na área de Petrolina (Fig. 4.10b).

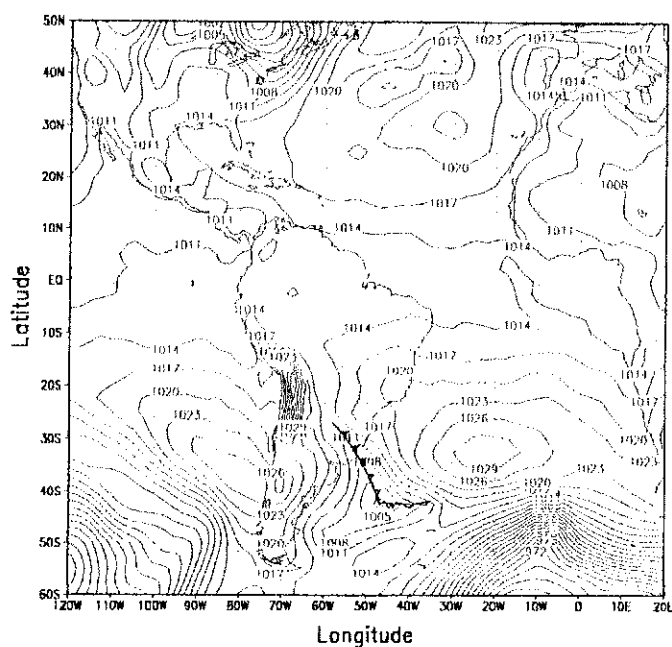


Fig. 4.5 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

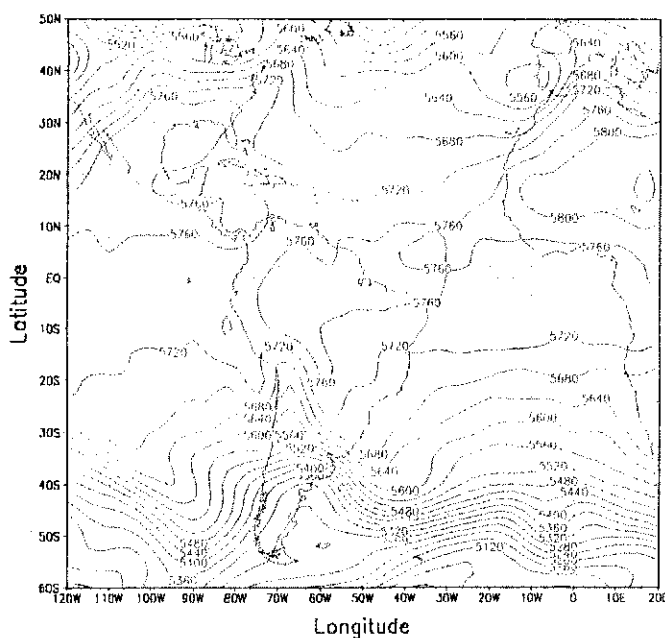


Fig. 4.6 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

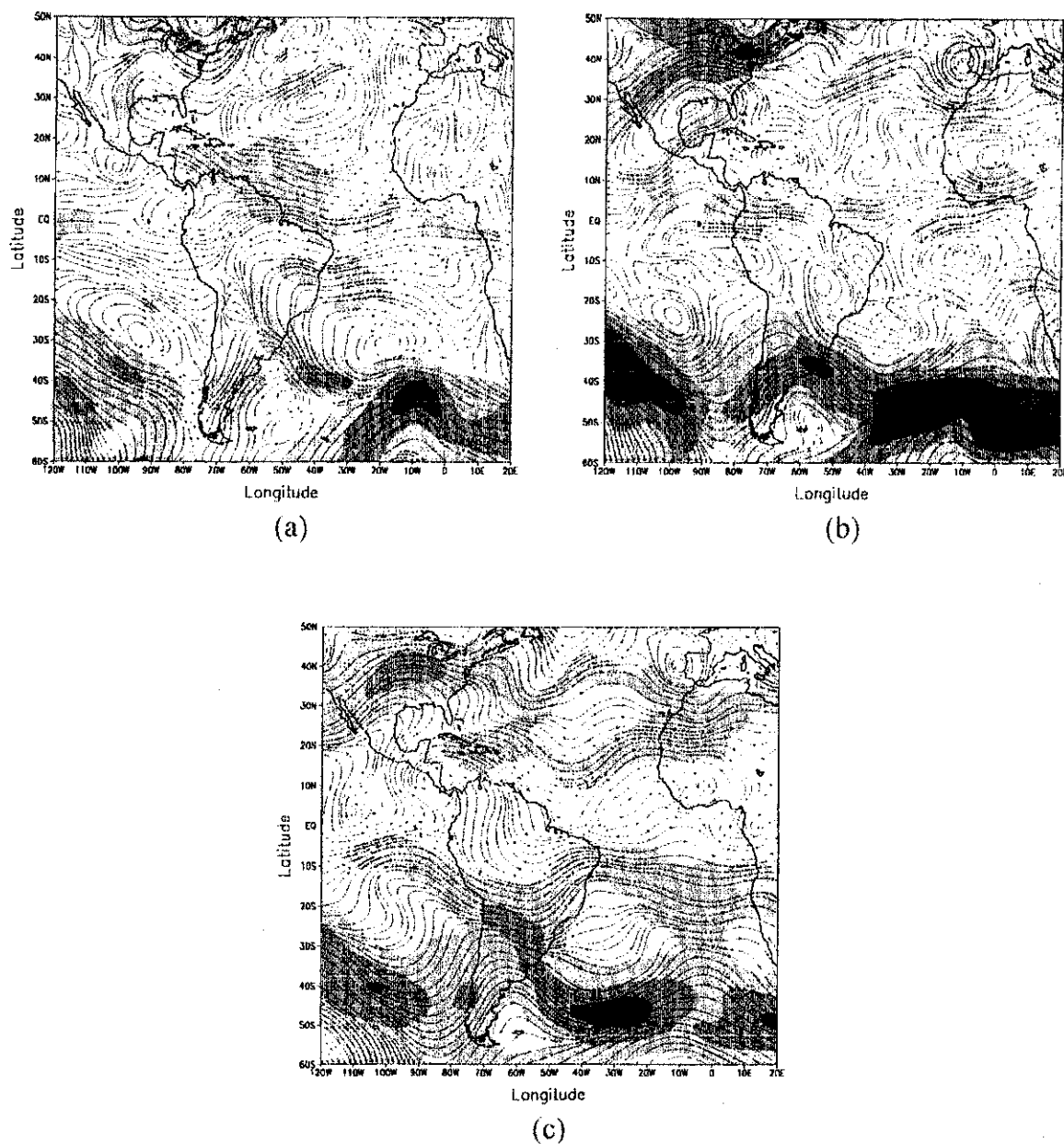


Fig 4.7 - Análises para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

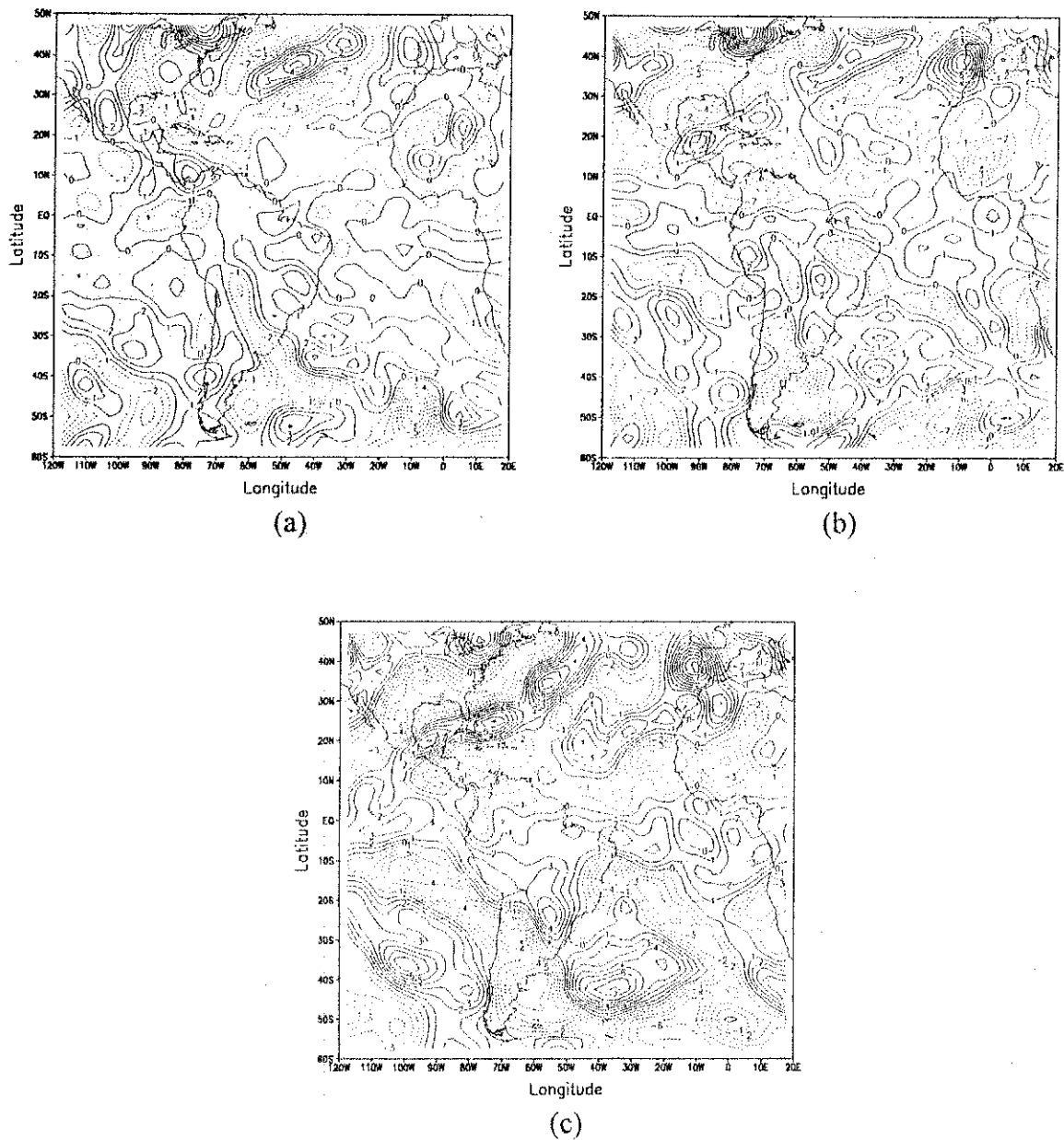


Fig. 4.8 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

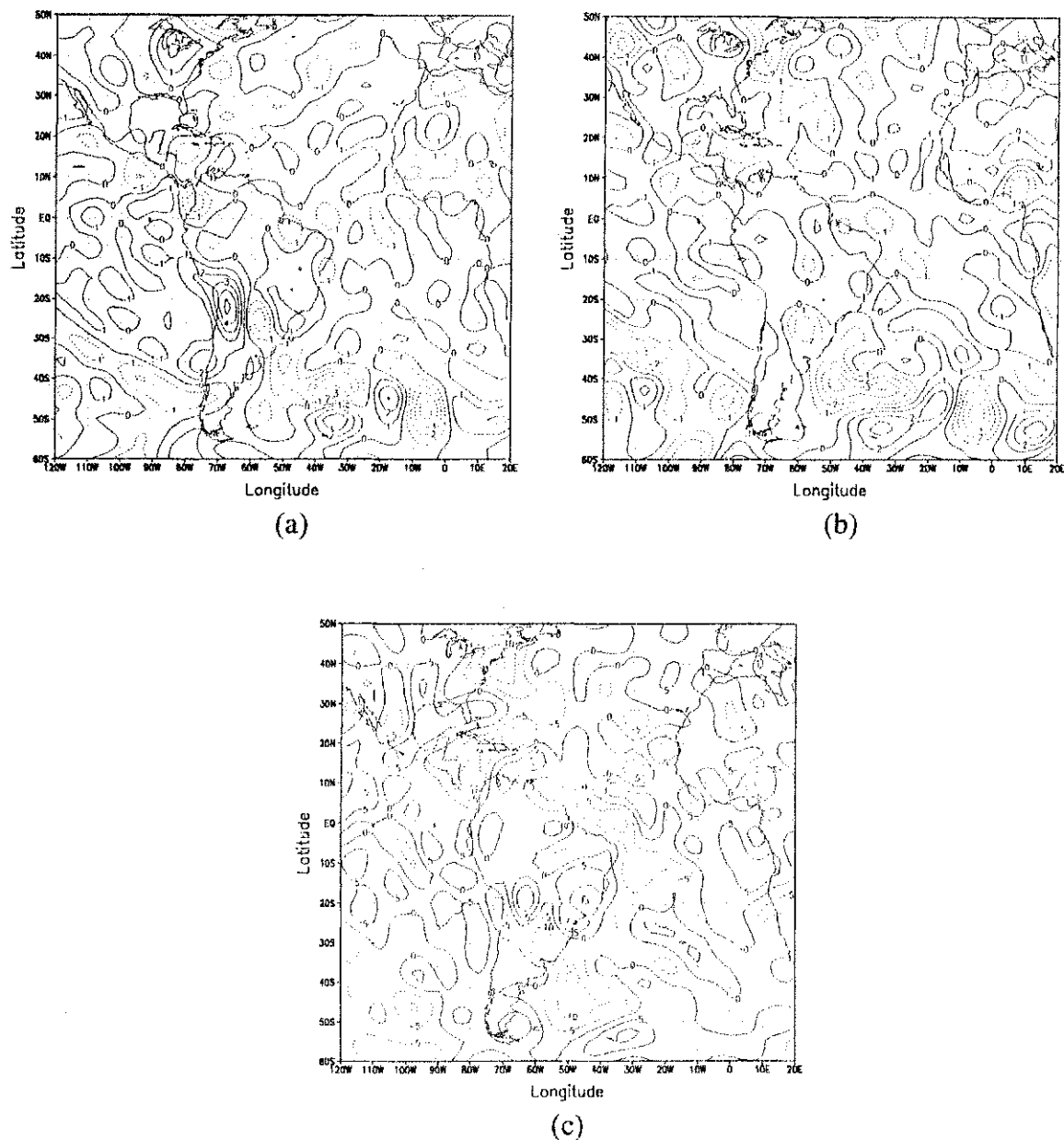
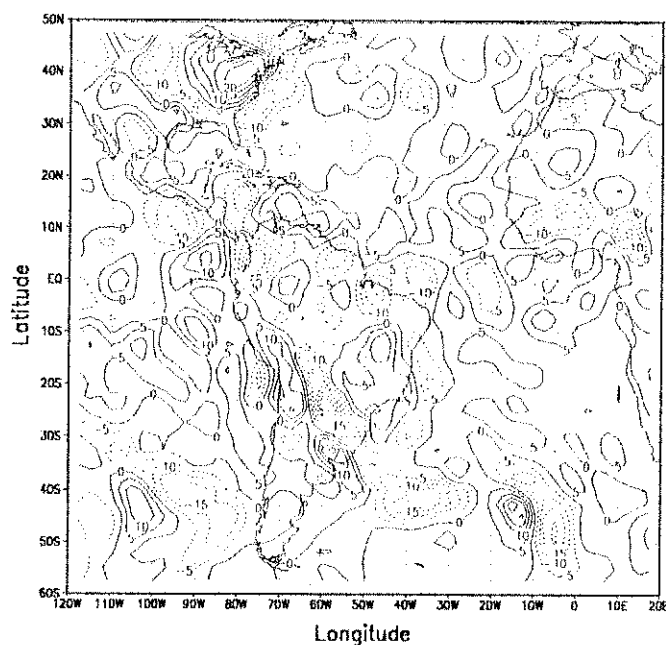
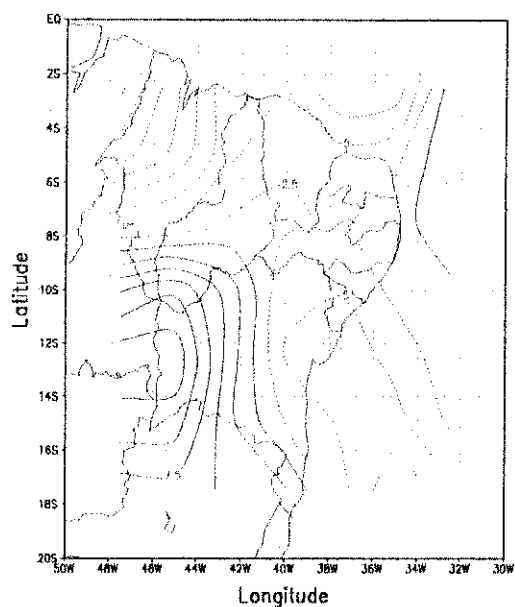


Fig. 4.9 - Movimento vertical para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTCC).



(a)



(b)

Fig. 4.10 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 01 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

4.2.2 – Dia 02 de Junho de 1985

O campo da pressão reduzida ao nível médio do mar (Fig. 4.11) mostra que o Brasil continua sob influência da ASAS e que a baixa frontal se encontra mais intensa (pressão central de 993 hPa) e centrada próximo a (45°S, 35°W), enquanto que o cavado associado à frente fria está na Região Sudeste. A intensificação da baixa frontal também pode ser observada no campo da espessura pela curvatura mais pronunciada das isolinhas, enquanto que os valores menores de espessura nas regiões Sul e Sudeste são resultantes do avanço da frente fria (Fig. 4.12). É possível observar esses sistemas no campo do vento em 850 hPa (Fig.4.13a): o anticiclone sobre o Atlântico e o ciclone situado também sobre o Atlântico, próximo ao sul da América do Sul. Nos níveis de 500 e 200hPa (Fig. 4.13b,c) é evidente a presença do cavado frontal, a leste da posição ocupada no dia anterior. Nos campos da vorticidade relativa para os três níveis (Fig. 4.14) o sistema frontal é definido pelo núcleo negativo localizado a leste da Argentina e Uruguai, sendo mais intenso no nível de 500 hPa (Fig. 4.14b). Uma área de movimento ascendente é vista à frente do cavado em 850, 500 e 200 hPa (Fig. 4.15). No campo da divergência horizontal do fluxo de umidade em 925 hPa (Fig. 4.16), a área de convergência alongada na direção noroeste-sudeste associada ao cavado frontal se estende desde o sul da Amazônia até o Atlântico Subtropical. Há outros núcleos de convergência cobrindo parte das Regiões Norte e Nordeste, enquanto que divergência de umidade é vista em Petrolina (Fig. 4.16b).

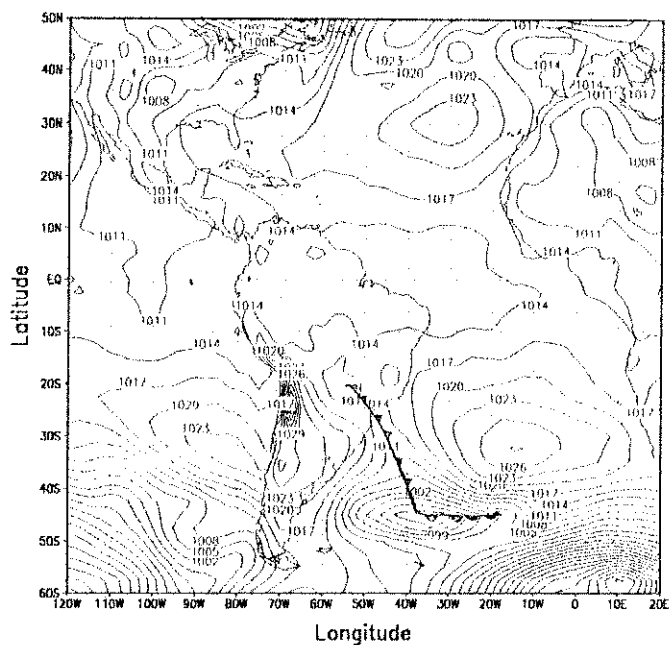


Fig. 4.11 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

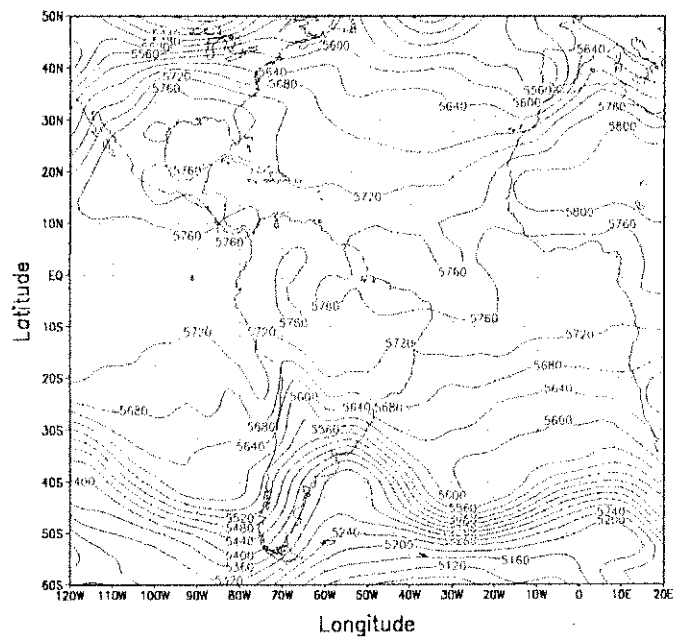


Fig. 4.12 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

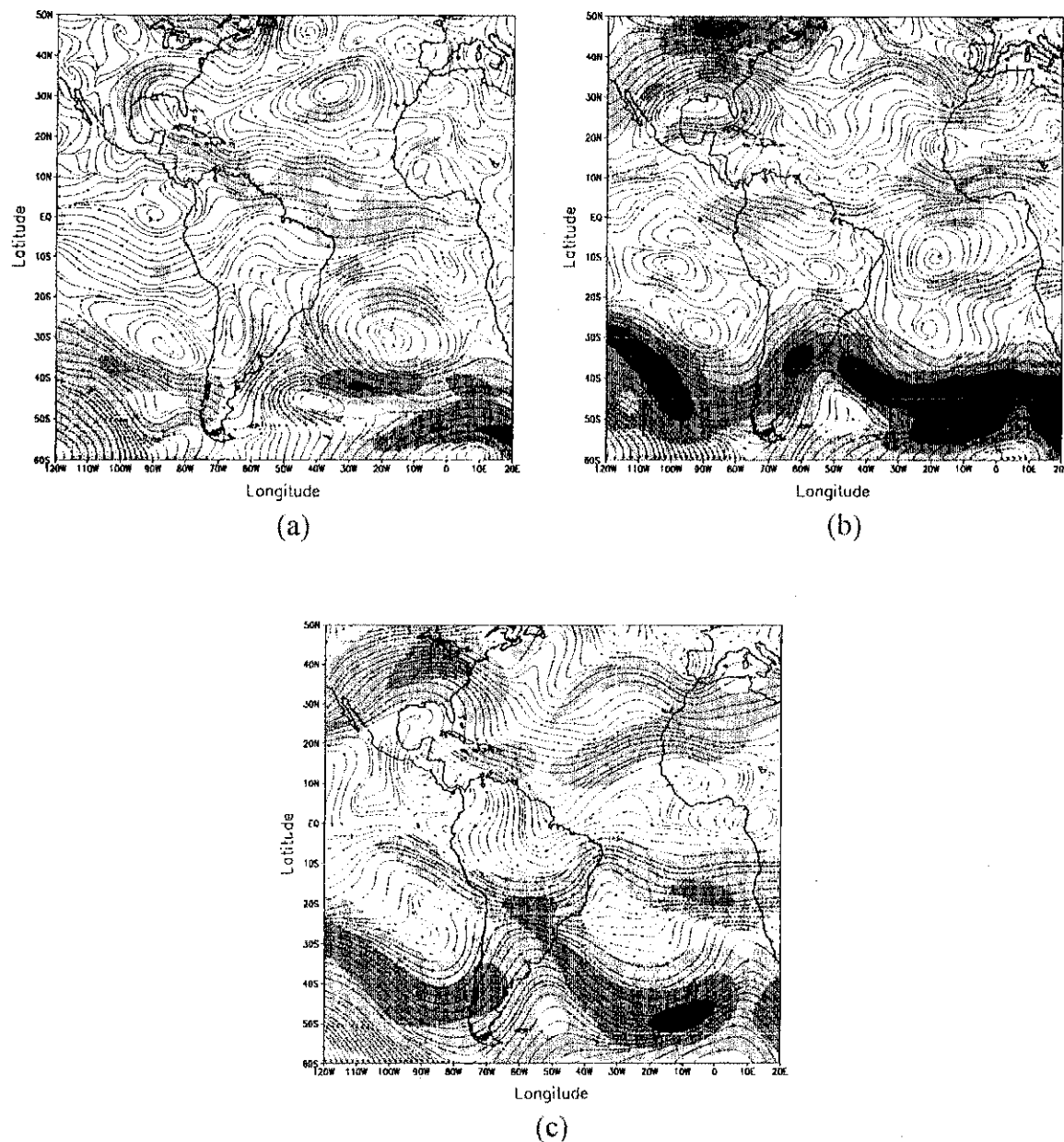


Fig. 4.13 - Análises para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

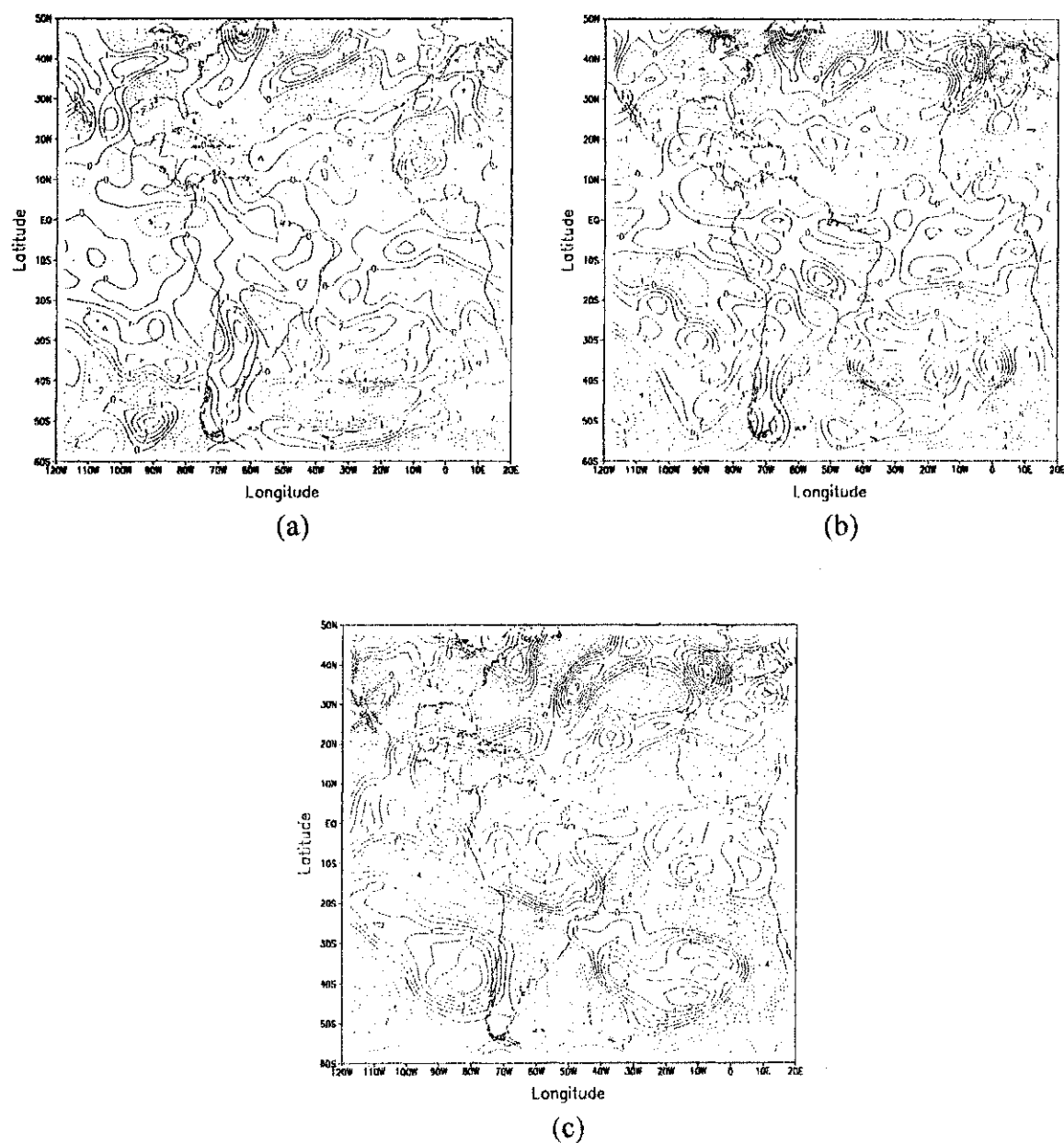


Fig. 4.14 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

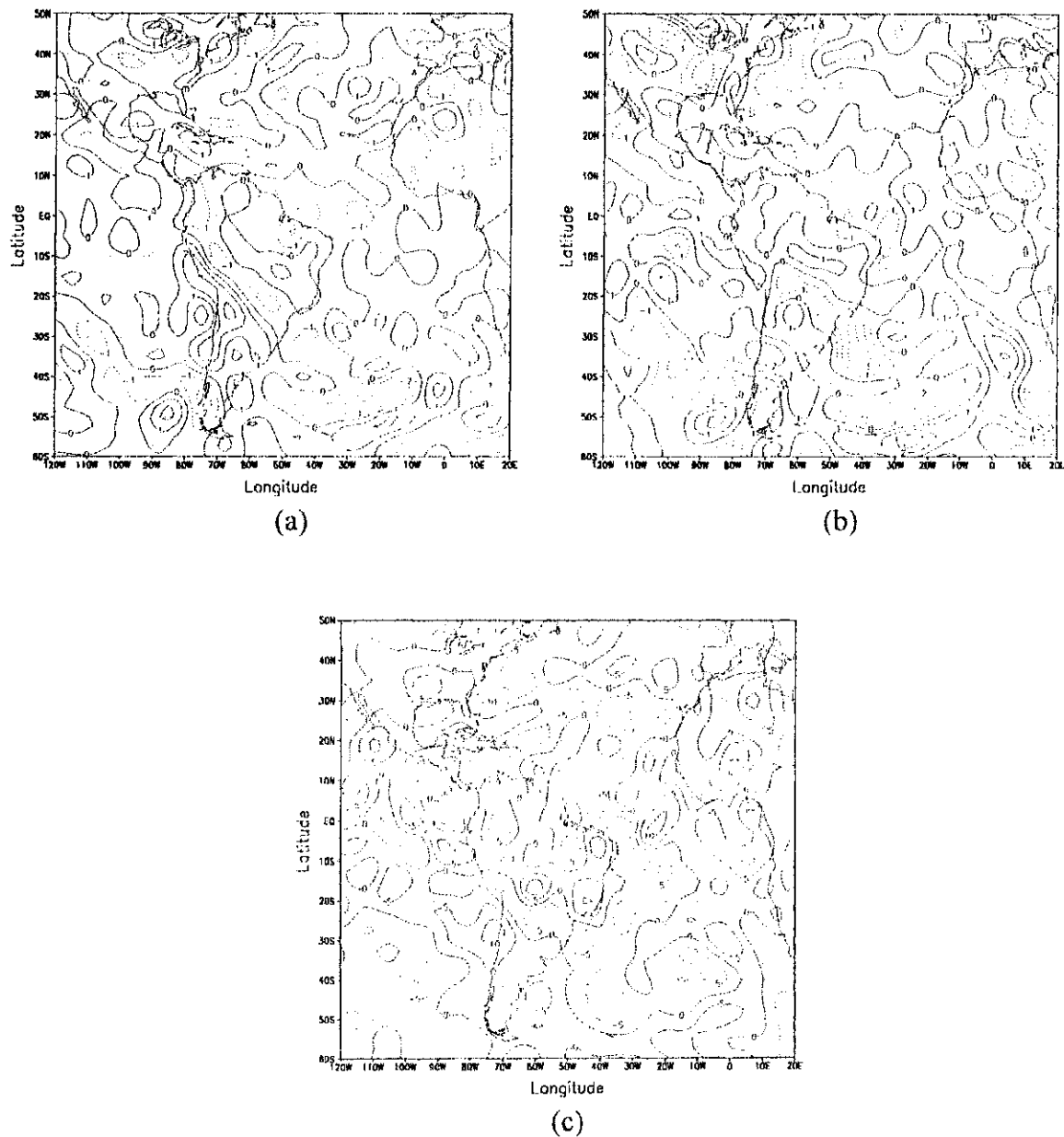


Fig. 4.15 - Movimento vertical para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

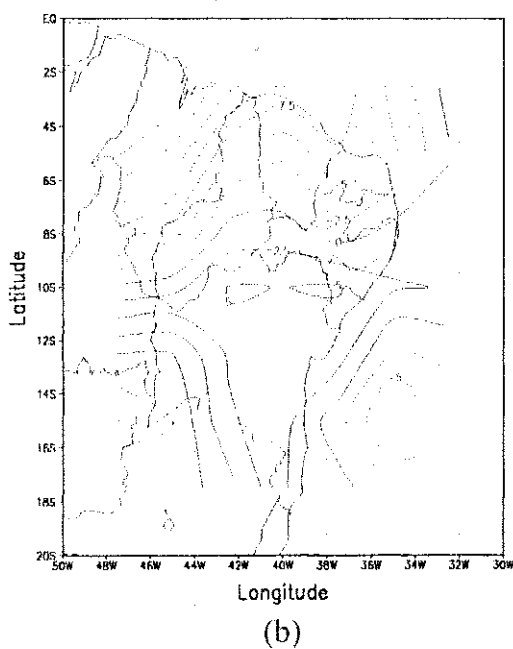
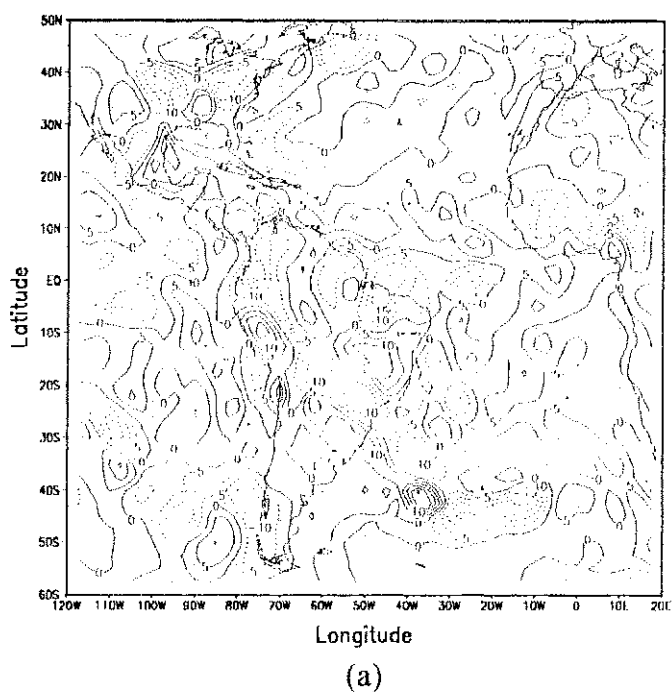


Fig. 4.16 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 02 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

4.2.3 – Dia 03 de Junho de 1985

O campo da pressão reduzida ao nível médio do mar (Fig. 4.17) mostra que houve intensificação da baixa frontal (pressão central de 987 hPa) e avanço da frente fria para nordeste e que tanto a baixa quanto a ASAS estão deslocadas para leste. O campo da espessura evidencia que houve enfraquecimento da estrutura térmica do ciclone (Fig. 4.18). Por outro lado, um resultado do avanço da frente fria pode ser visualizado pela posição mais ao norte da isolinha de 5680 mgp neste mapa. A nova posição da baixa frontal também pode ser observada no campo do vento em 850, 500 e 200 hPa (Fig. 4.19) através do cavado que alcança latitudes mais baixas, chegando a 15°S no nível de 500 hPa (Fig. 4.19b), no qual ainda é possível notar que a circulação de um dos anticiclones situados sobre o Atlântico Sul domina a maior parte da Região Nordeste. Nos três níveis os maiores valores de intensidade do vento estão localizados à frente do eixo do cavado, em latitudes médias. A presença do sistema frontal em latitudes mais baixas também pode ser observada no campo da vorticidade relativa em 500 e 200 hPa (Fig. 4.20b,c), através do núcleo negativo que atinge o sul da Região Nordeste. No nível de 850 hPa (Fig. 4.20a) não há evidência de uma área negativa associada ao cavado frontal.

Os campos do movimento vertical em 850, 500 e 200 hPa (Fig. 4.21) mostram uma área de movimentos ascendentes à frente do eixo do cavado, sendo o nível de 500 hPa o que apresenta valores mais intensos. Outra área de movimentos ascendentes também pode ser vista cobrindo parte das Regiões Norte e Nordeste e áreas oceânicas próximas. No campo da divergência horizontal do fluxo de umidade em 925 hPa (Fig. 4.22) o núcleo de convergência associado ao sistema frontal tem extensão menor e está a nordeste da posição ocupada no dia

anterior, influenciando a Região Sudeste e áreas oceânicas adjacentes. Áreas de convergência ainda são vistas sobre parte das Regiões Norte e Nordeste e também ao norte das mesmas. Um núcleo intenso de divergência atua em grande parte do Nordeste, inclusive a região de Petrolina (Fig. 4.22b).

A imagem do satélite METEOSAT (Fig. 4.23) mostra pouca nebulosidade sobre quase todo o Brasil, mas principalmente no Nordeste devido à influência da ASAS. Por outro lado, a Região Sudeste está sob influência da banda de nebulosidade associada ao sistema frontal. A forma ligeiramente arredondada da nebulosidade próximo ao litoral da Região Sudeste indica o estágio inicial de uma ciclogênese frontal nessa área. Outra área de nebulosidade pode ser observada na costa norte do Brasil, onde também há movimentos ascendentes e convergência de umidade.

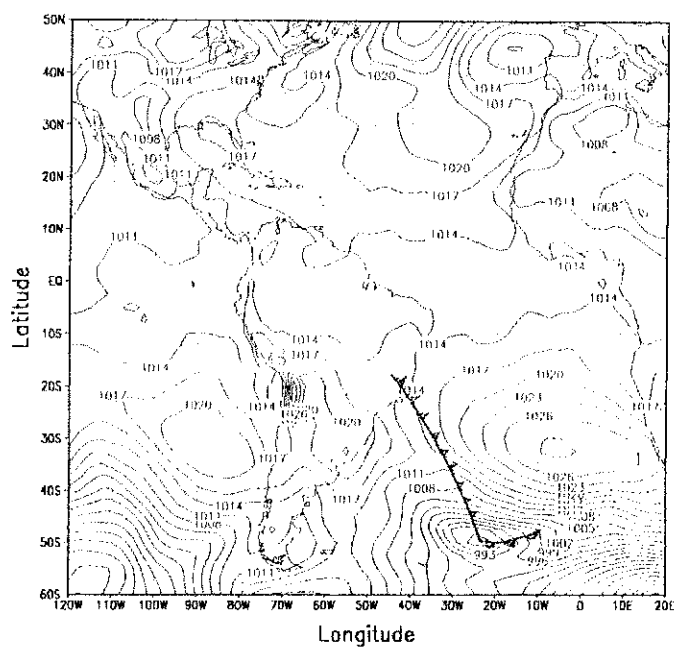


Fig. 4.17 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

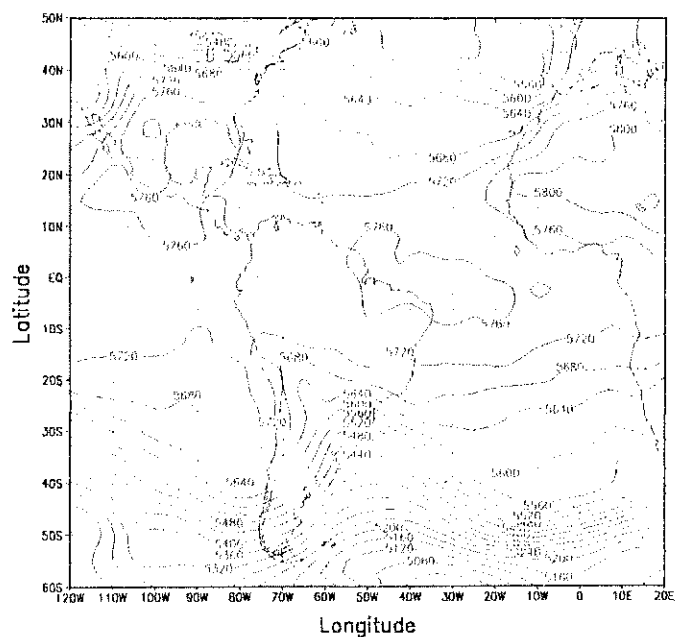


Fig. 4.18 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 m. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

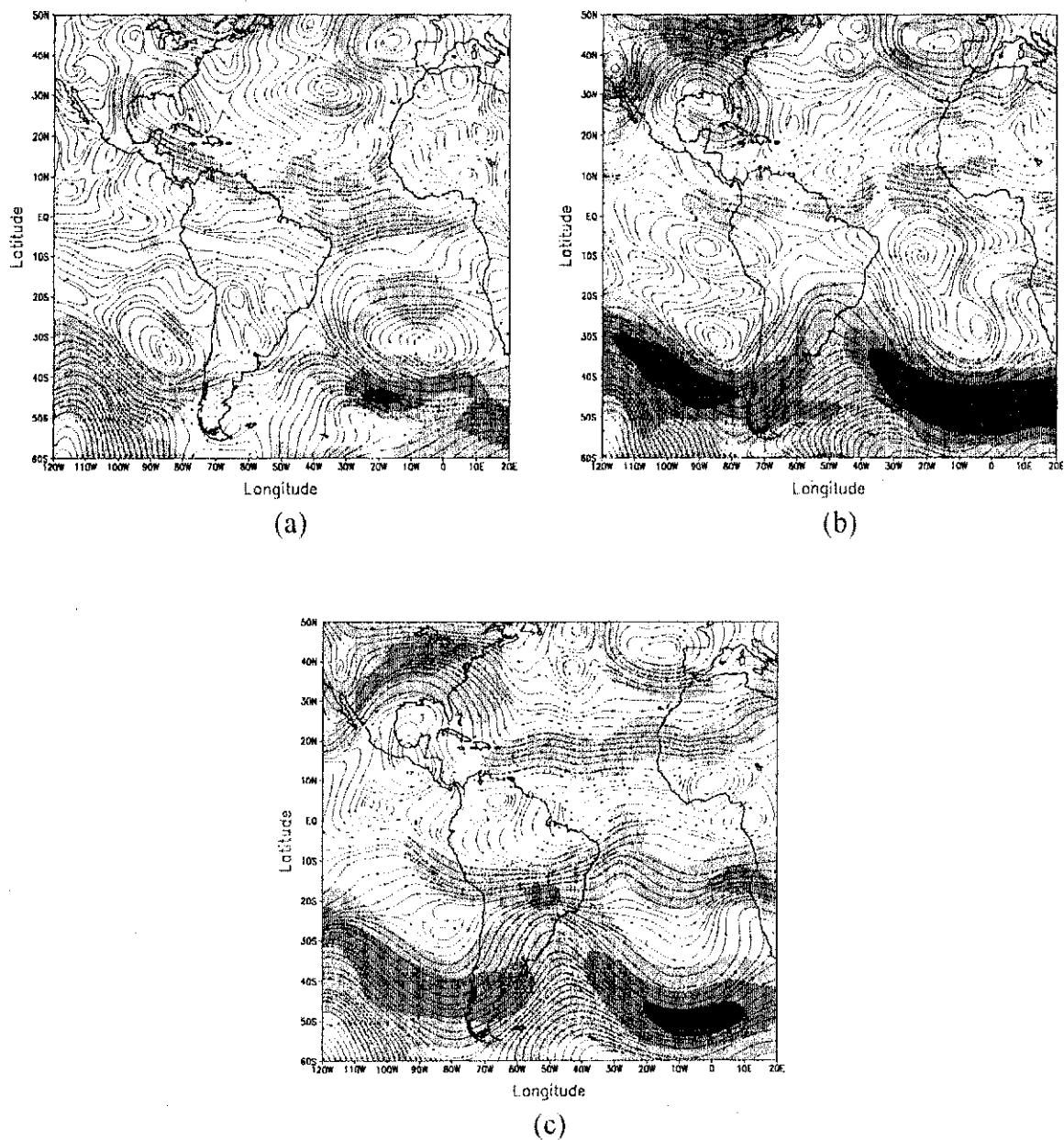


Fig. 4.19 - Análises para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

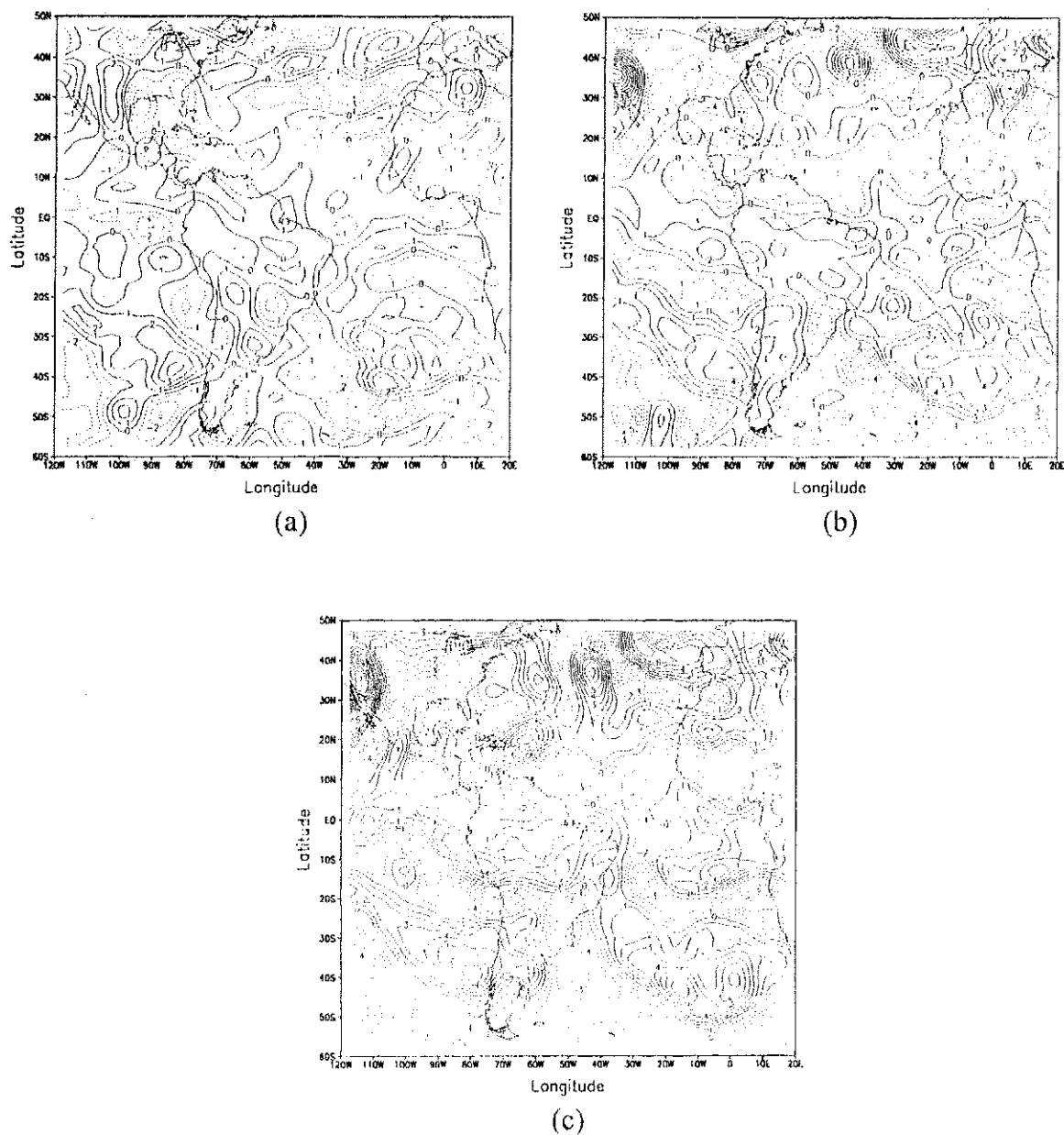


Fig. 4.20 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

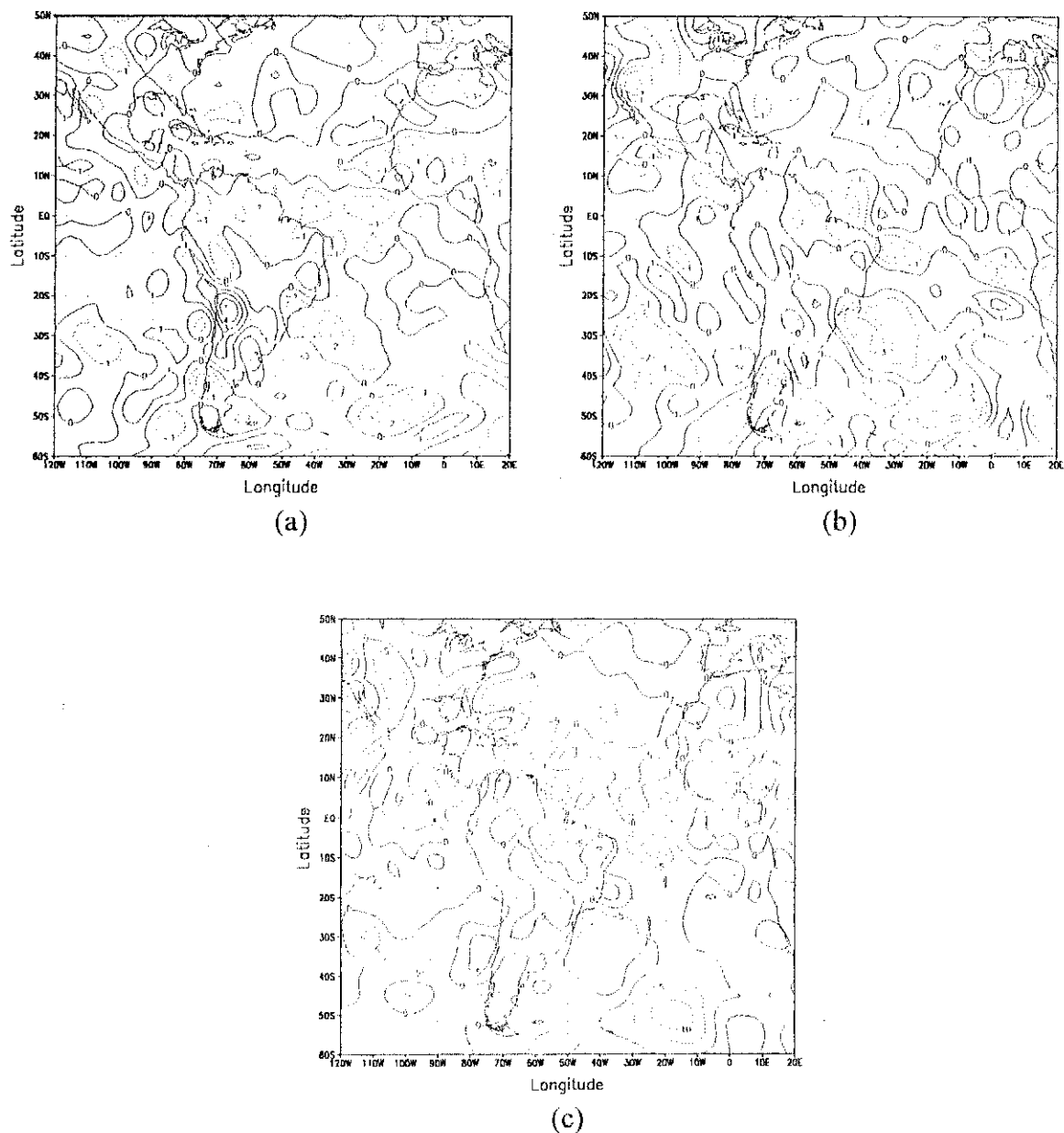
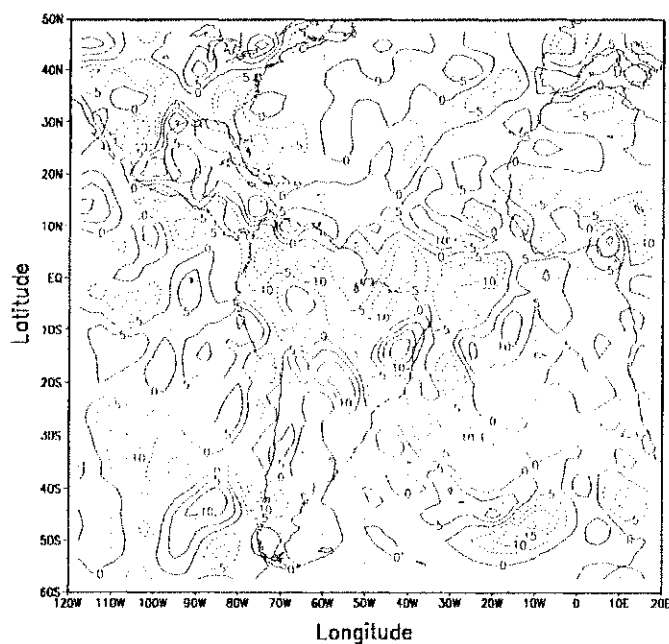
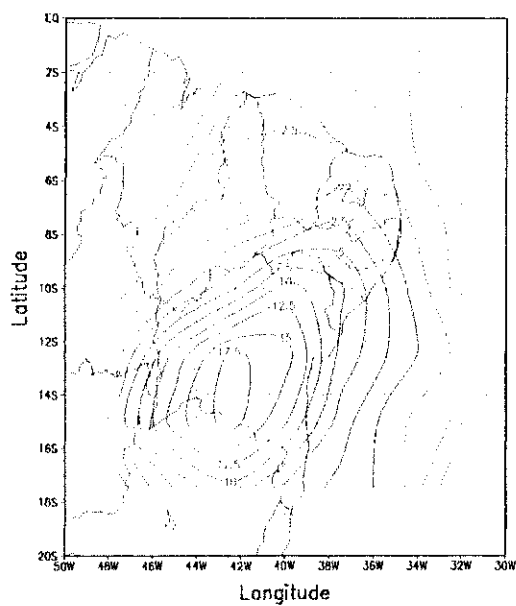


Fig. 4.21 - Movimento vertical para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).



(a)



(b)

Fig. 4.22 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 03 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

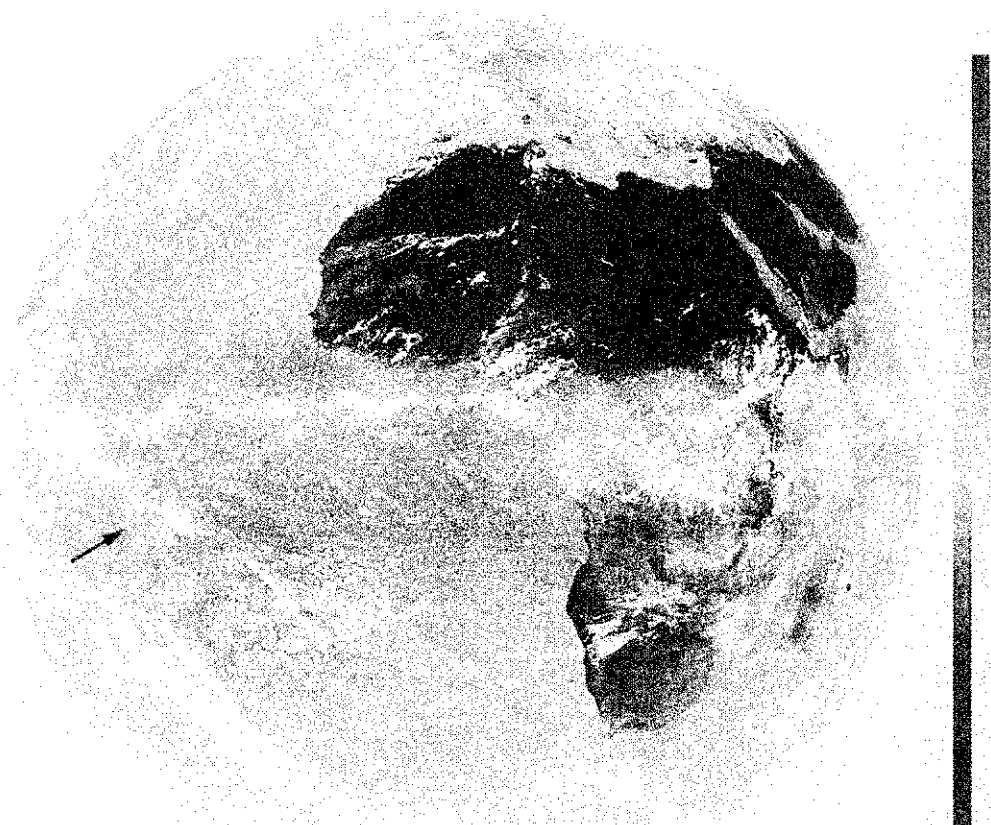


Fig 4.23 - Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 03 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (Fonte da imagem: ESA).

Os campos da vorticidade relativa (Fig. 4.27) para este dia confirmam a presença dos novos centros de baixa através de dois núcleos intensos de vorticidade ciclônica no nível de 850 hPa (Fig. 4.27). A penetração em latitudes baixas do cavado frontal é vista através da existência de uma área negativa, alongada na direção sudoeste-nordeste, que se estende desde o sul da Argentina até o Nordeste do Brasil no nível de 500 (Fig. 4.27b). No nível de 200 hPa as mudanças mais acentuadas ocorrem no sul da Argentina, devido à ciclogênese, e sobre o Atlântico Sul, ao norte de 30°S. Outro campo que confirma o avanço do cavado é o do movimento vertical (Fig. 4.28) que apresenta a área de movimentos ascendentes situada à frente do eixo do cavado deslocada para norte-nordeste em relação ao dia anterior. O campo da divergência horizontal do fluxo de umidade em 925 hPa (Fig. 4.29) apresenta uma área de convergência orientada na direção noroeste-sudeste que se estende sobre o oeste e sul da Amazônia, extremo sul e oeste do Nordeste e Atlântico Subtropical Sul, em torno de (35°S, 20°W). Há outra área de convergência ao norte do Nordeste, sobre o oceano. A configuração presente nos campos das outras variáveis neste dia indica que a ciclogênese ocorrida a leste da Região Sudeste provoca a reorganização das áreas de convergência previamente existentes sobre o norte do continente. Apesar disso, permanece a divergência na área de Petrolina, embora menos intensa.

Comparado com o dia anterior, este (Fig. 4.30) apresenta menor área de cobertura de nuvens já que não há nebulosidade sobre o continente. Por outro lado, é evidente a curva acentuada da banda frontal a leste do continente, assinalando a presença do novo centro de baixa identificado a leste da Região Sudeste no mapa de superfície (Fig. 4.24). Outra área de nebulosidade é vista a sudoeste, associada à baixa a leste da Argentina. Na região

equatorial, ao norte do equador e do Nordeste, há aumento considerável na área coberta por nuvens convectivas profundas na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

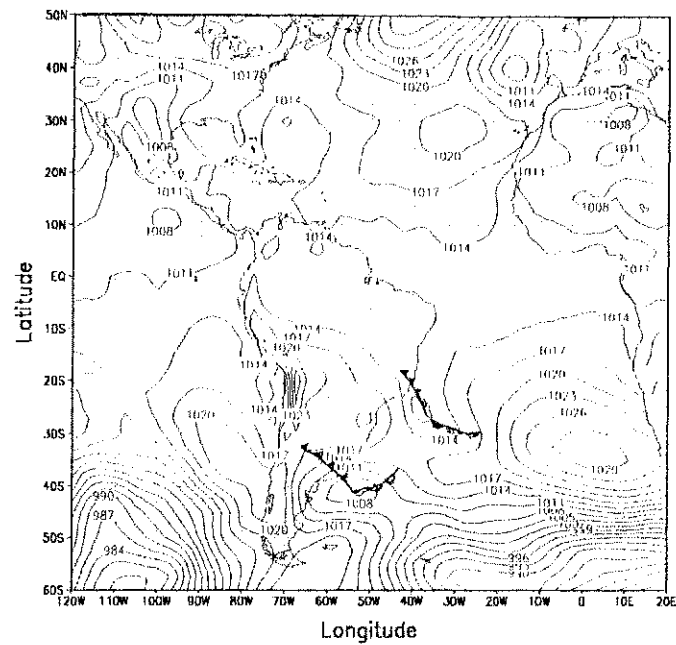


Fig. 4.24 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

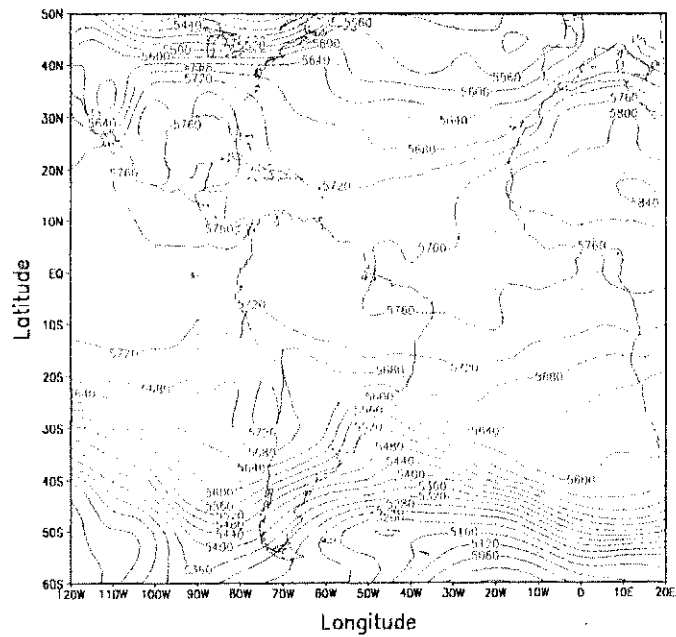


Fig. 4.25 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

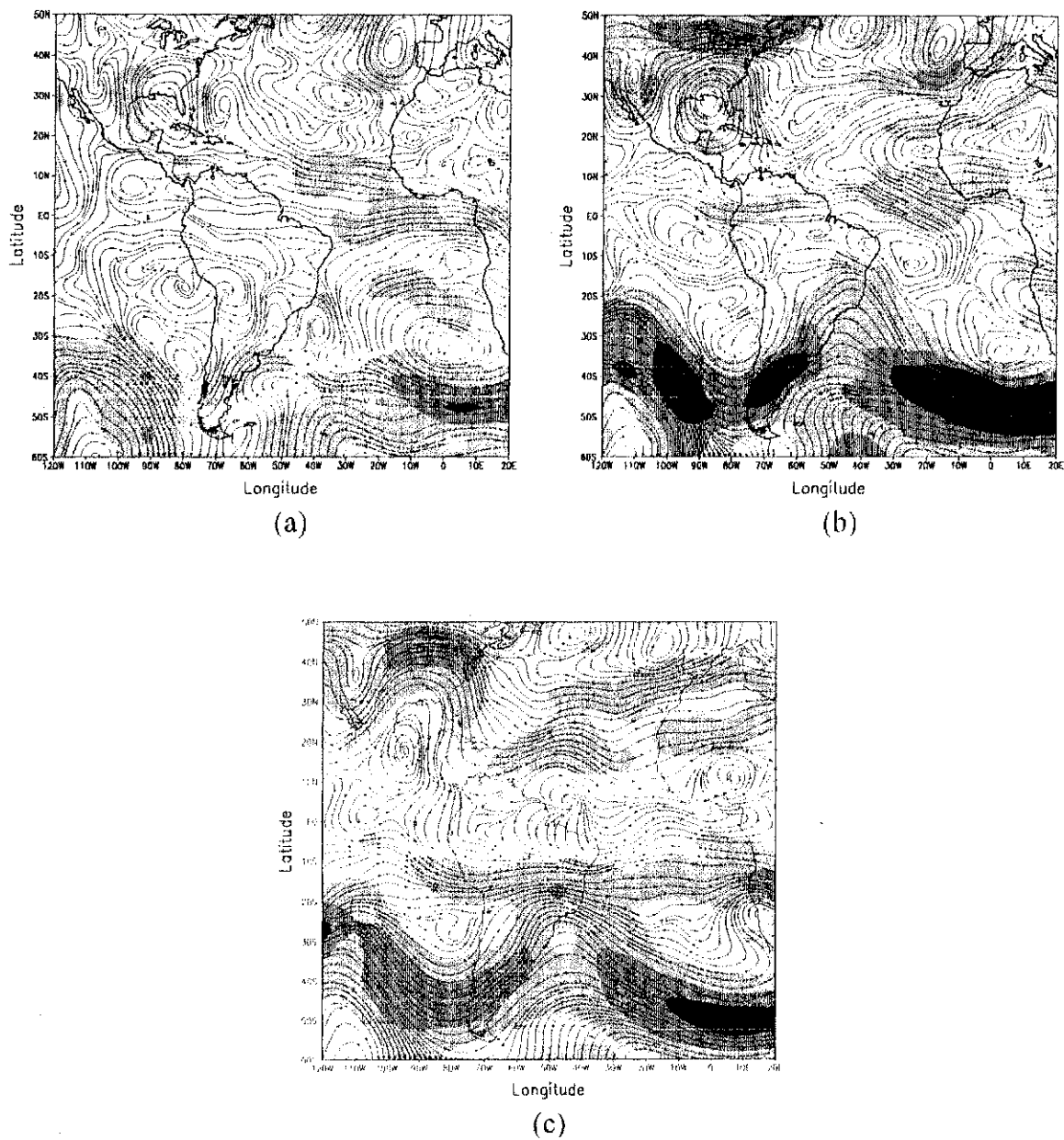


Fig. 4.26 - Análises para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (*Fonte dos dados: NCEP/CPTEC*).

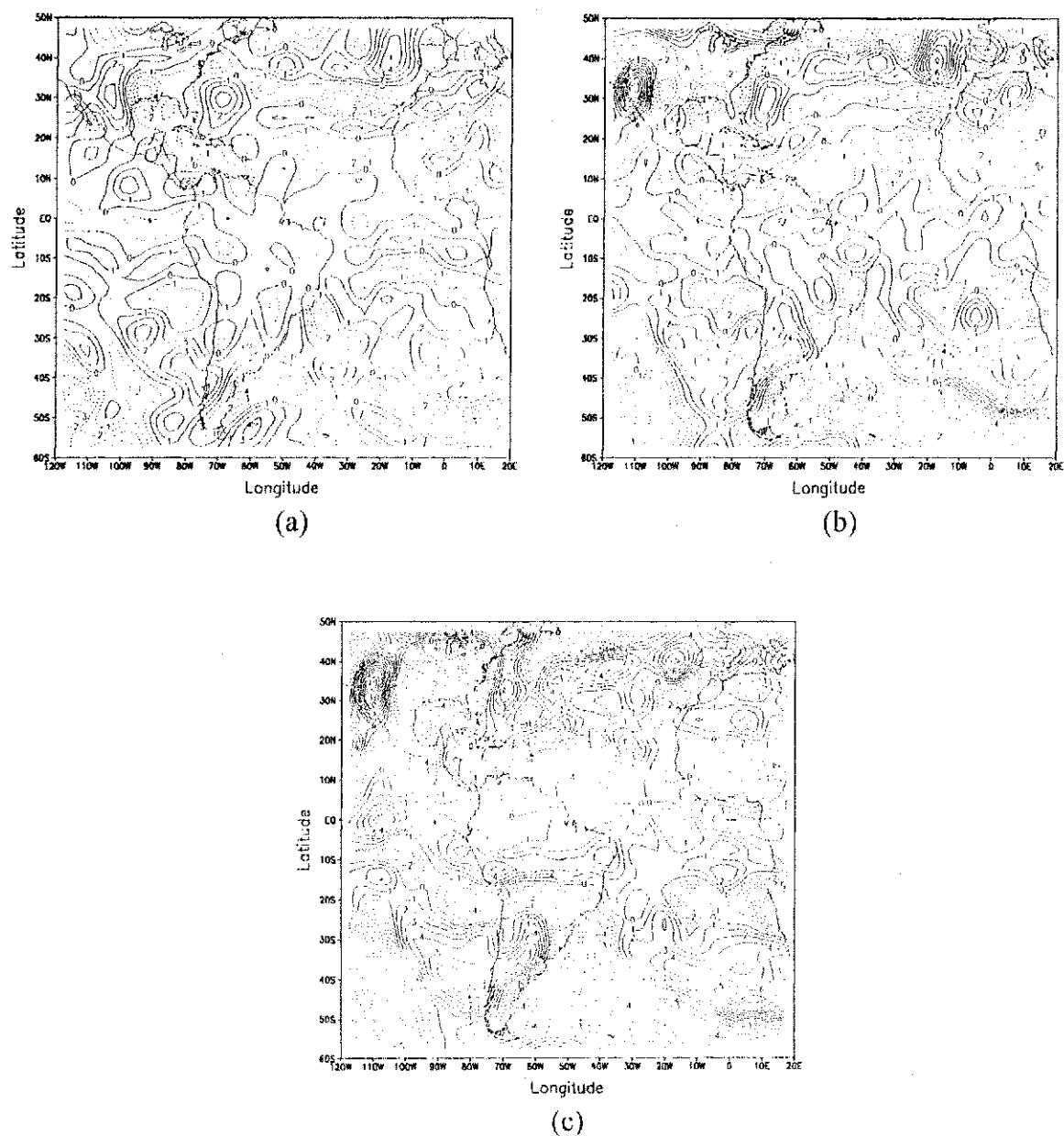


Fig. 4.27 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

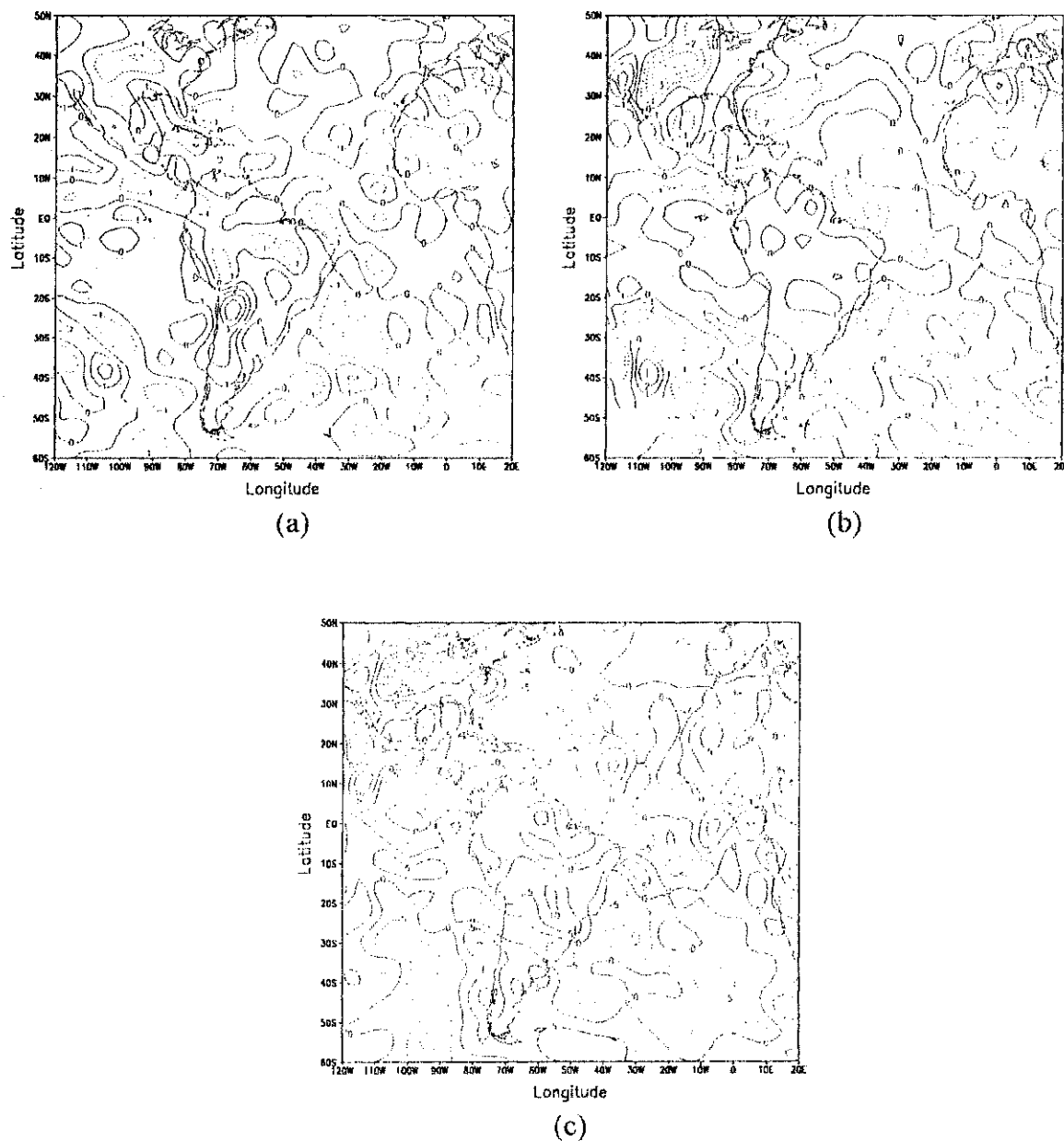


Fig. 4.28 - Movimento vertical para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

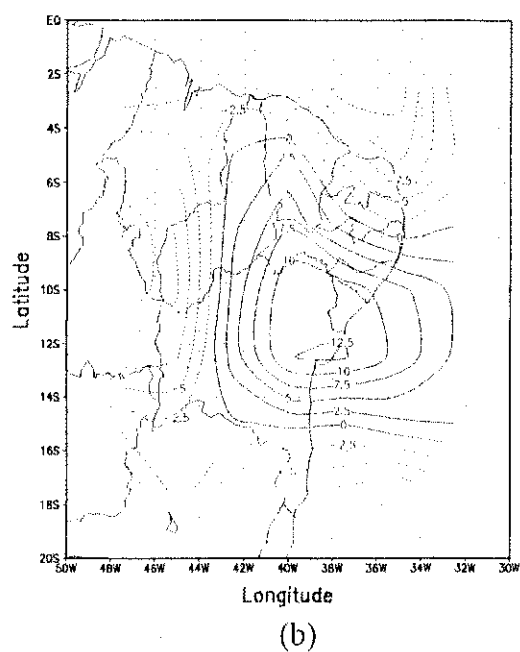
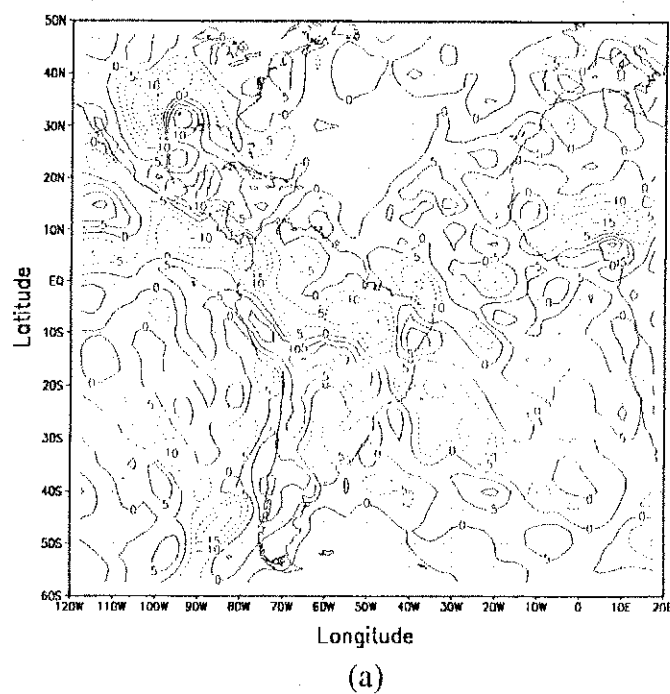


Fig 4.29 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 04 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

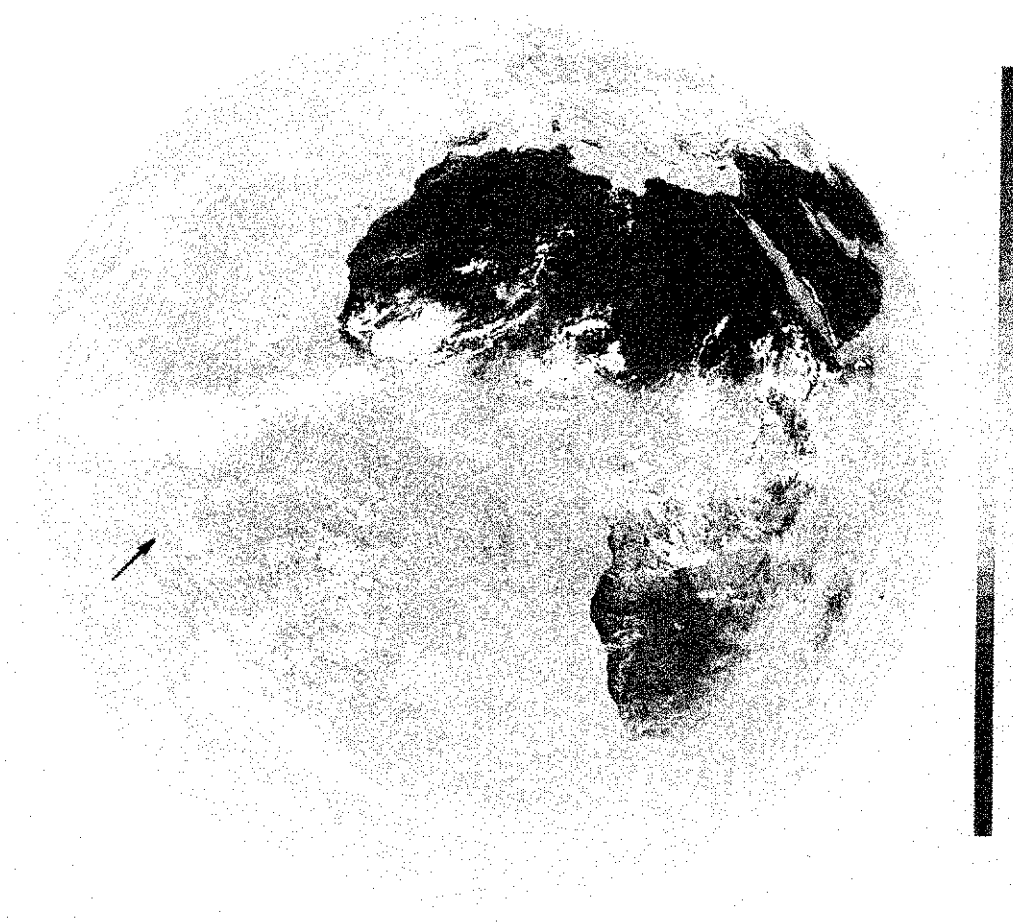


Fig. 4.30 - Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 04 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (Fonte da imagem: ESA).

4.2.5 – Dia 05 de Junho de 1985

No campo da pressão reduzida ao nível médio do mar (Fig. 4.31) a localização das isóbaras de 1014 hPa indica que o cavado equatorial está ao sul da posição que ocupava anteriormente. Um centro de baixa pressão é visto a leste do continente, resultado da interação entre as duas baixas frontais cujo centros ainda podem ser identificados no mapa (pressões centrais de 999 hPa e 1002 hPa). A análise indica ainda que a frente associada à baixa se estende sobre o Nordeste. Um centro de alta intenso está localizado no sul da América do Sul, na retaguarda do centro de baixa. O campo da espessura mostra a estrutura térmica das duas baixas e a coexistência de seus setores frio e quente, limitados pelas isolinhas de 5520 mgp e 5480 mgp, entre 30°S-40°S e 50°W-40°W (Fig. 4.32). Esse campo indica que a zona frontal fria avançou para norte já que a isolinha de 5680 mgp está ligeiramente ao norte da posição que ocupa no dia anterior sobre a Região Sudeste.

A análise do campo do vento no nível de 850 hPa (Fig. 4.33a) indica que a circulação permanece fraca na área do Nordeste. Por outro lado, o centro ciclônico associado à baixa em superfície, com uma área de confluência na sua periferia leste, é visto a leste da América do sul, em latitudes médias, juntamente com o anticiclone na sua retaguarda. No nível de 500 hPa (Fig. 4.33b) o eixo do cavado frontal tem orientação sudoeste-nordeste sobre o oceano, ao sul de 20°S, e orientação noroeste-sudeste sobre o continente, nas Regiões Norte e Nordeste. Assim, ele atinge latitudes ao norte de 10°S, induzindo um cavado nos ventos de leste na área litorânea da Região Norte e nos estados do Maranhão e Piauí. A configuração do cavado indica que o sistema entra no estágio de oclusão. No nível de 200 hPa (Fig. 4.33c) o

cavado frontal está amplificado enquanto que no norte do Nordeste a situação é semelhante a do dia anterior, já na sua área sul o escoamento adquire componente meridional de norte.

No campo da vorticidade relativa em 850 hPa (Fig. 4.34a) há dois núcleos intensos de vorticidade ciclônica muito próximos, ao sul de 20°S, o que reforça a informação do mapa de superfície de que ainda há dois sistemas distintos neste dia. Esse campo não mostra o padrão definido na área do Nordeste. No nível de 500 hPa (Fig. 4.34b) há um núcleo intenso de vorticidade ciclônica ao longo do eixo do cavado, ao sul de 20°S, e uma área negativa fraca sobre o sul do Nordeste, que não chega a atingir a latitude de 10°S. Há vorticidade anticiclônica sobre a Região Norte e na maior parte da Região Nordeste. No nível de 200 hPa (Fig. 4.34c) está mais intenso o núcleo ciclônico situado na retaguarda e ao longo do eixo do cavado de latitudes médias. Há vorticidade anticiclônica sobre as Regiões Norte e Nordeste.

No campo do movimento vertical (Fig. 4.35) o sistema de latitudes médias apresenta áreas de movimento ascendente que coincidem com parte central da circulação e/ou estão situadas à frente do eixo do cavado. Há no nível de 500 hPa (Fig. 4.35b) outro núcleo negativo que influencia parte do Rio Grande do Norte e Ceará e área oceânica adjacente.

O campo da divergência horizontal do fluxo de umidade em 925 hPa para as 12:00 TMG (Fig. 4.36) mostra uma área extensa de convergência sobre o Atlântico, próxima à localização da baixa frontal em superfície. Permanecem as áreas de convergência sobre as Regiões Norte e Nordeste mas, diferentemente do dia anterior, grande parte da Bahia e do Piauí e o oeste de Pernambuco na área de Petrolina (Fig. 4.36b) estão sob domínio de

convergência de umidade. O campo das 18:00 TMG (Fig. 4.37) mostra um aumento tanto do tamanho quanto da intensidade dos núcleos da área de convergência localizada sobre o Brasil. Na área do Nordeste (Fig. 4.37b) é evidente a intensificação do núcleo de convergência e seu deslocamento para leste.

A imagem do satélite METEOSAT para esse dia (Fig. 4.38) apresenta características bastante diferentes em relação ao dia anterior. O Nordeste está quase que totalmente encoberto em resposta à convergência de umidade em 925 hPa e ao aumento na vorticidade anticiclônica no nível de 200 hPa, enquanto que não há nebulosidade na Região Sudeste. Ainda podem ser vistas duas áreas de nebulosidade distintas na região ocupada pela baixa resultante da interação entre os dois centros de baixa vistos anteriormente. Paralelamente, ao norte do Nordeste, a área encoberta aumentou devido a presença, ao sul do equador, de trilhas de nuvens cirros ("cirrus trails"). Elas indicam que o cisalhamento horizontal, e provavelmente também o vertical, é intenso nessa região.

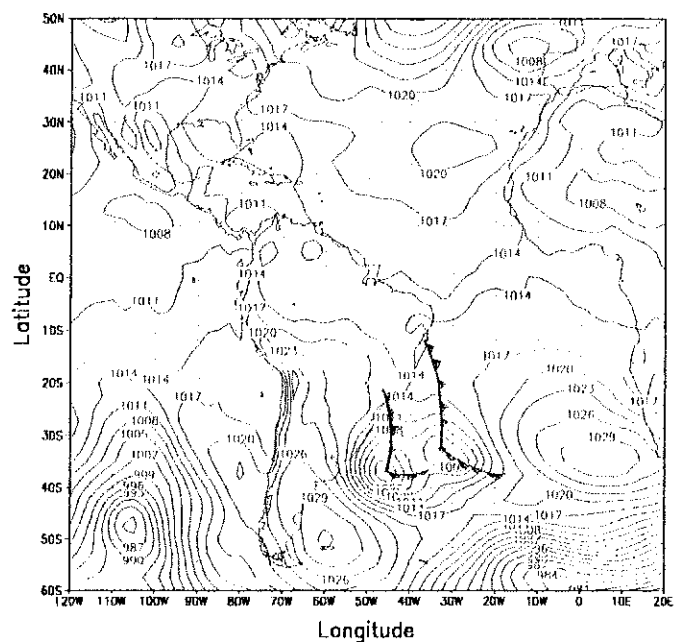


Fig 4.31 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

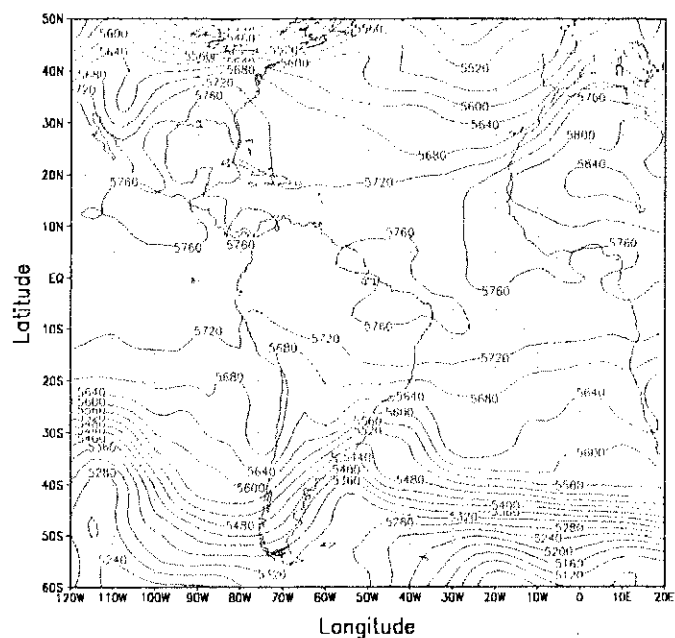


Fig. 4.32 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mmp. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

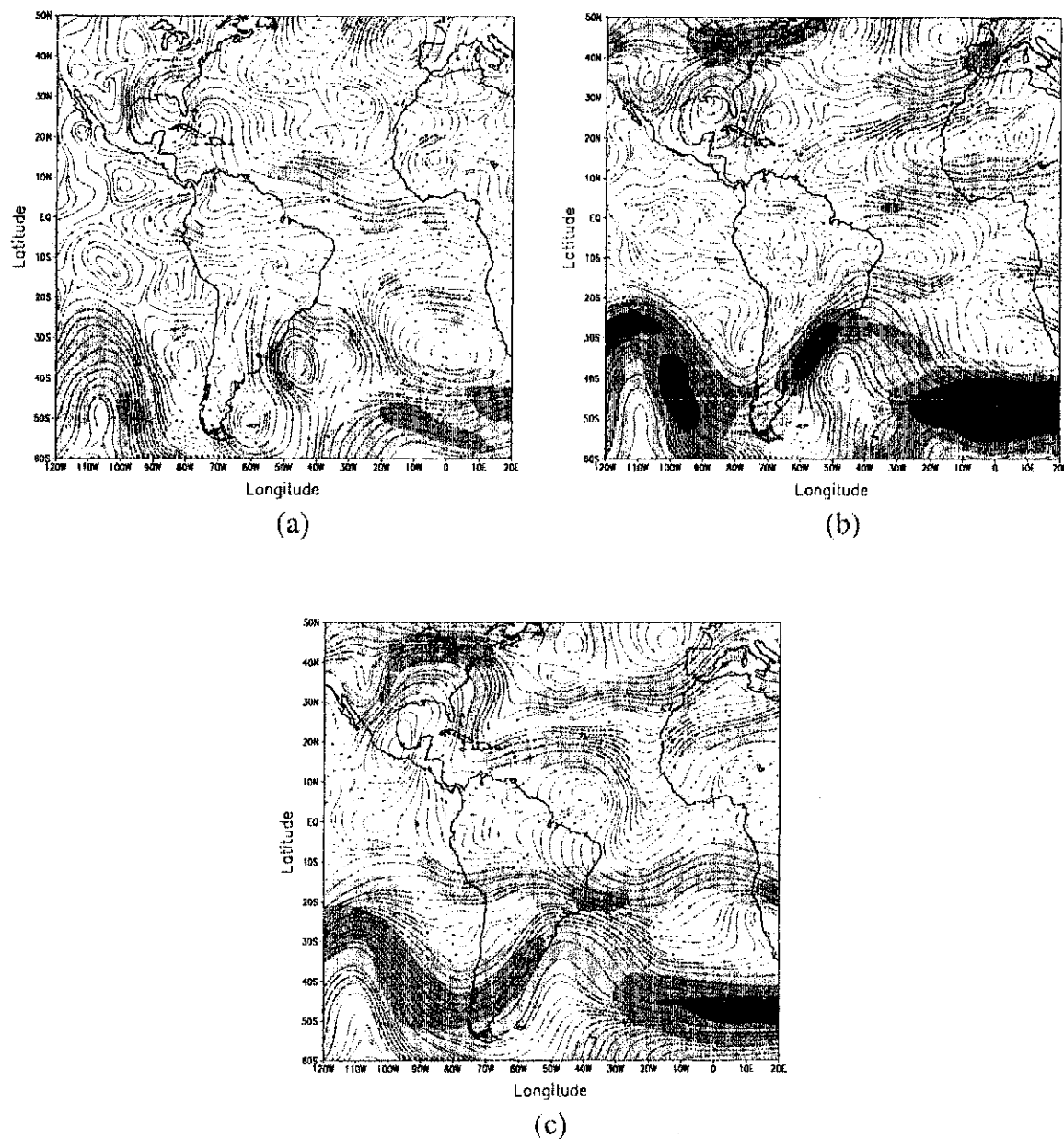


Fig. 4.33 - Análises para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

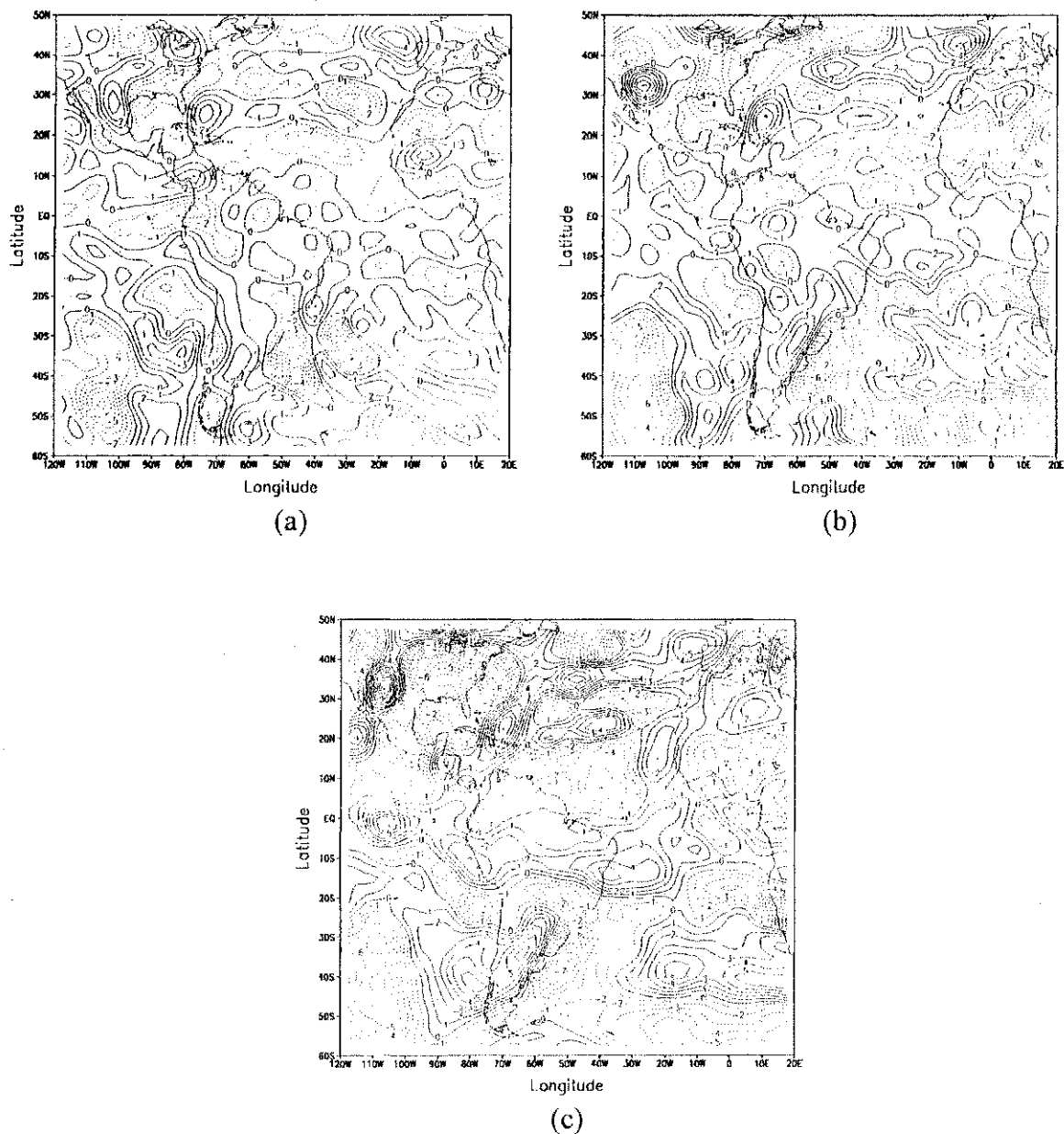


Fig. 4.34 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTec).

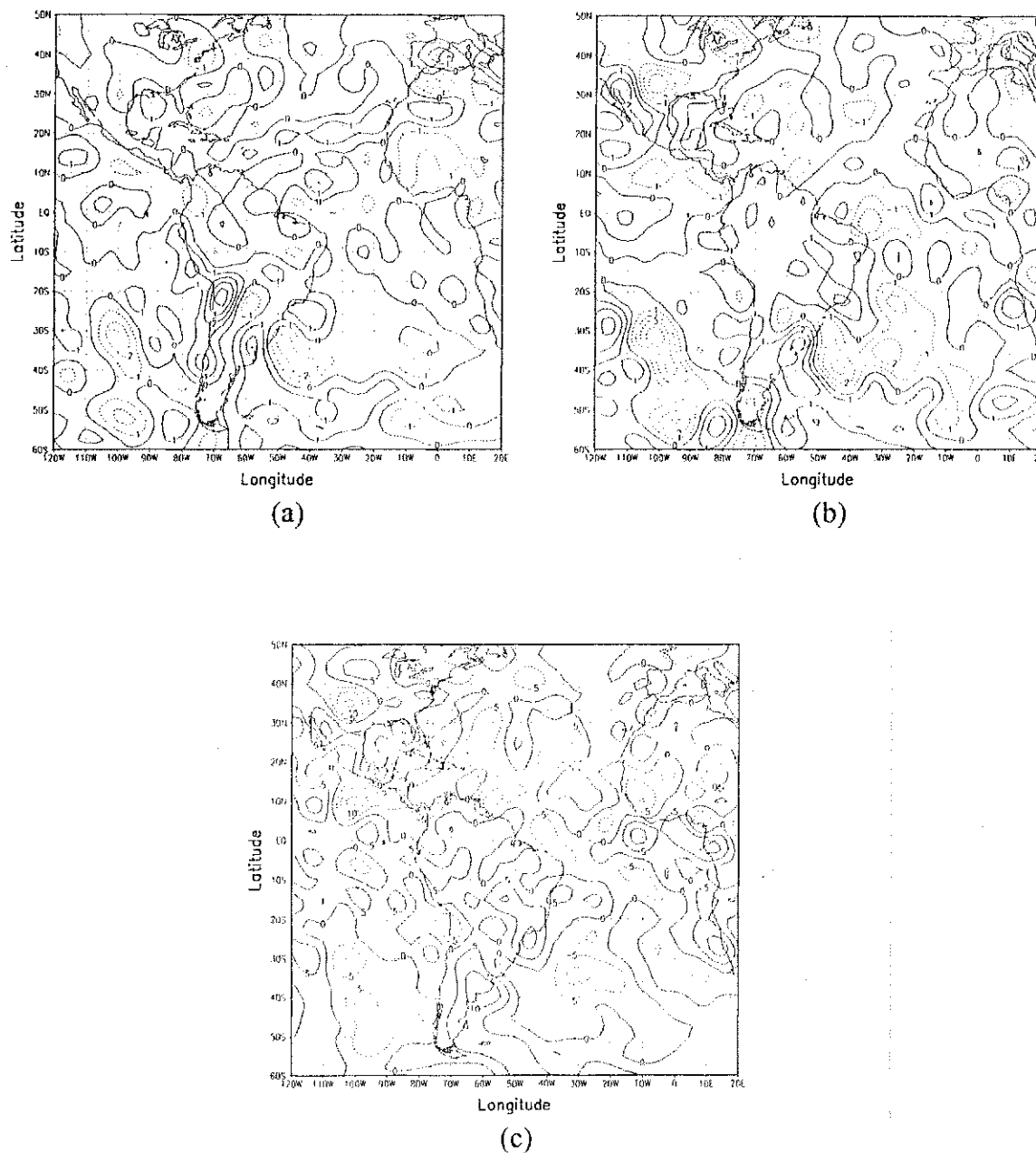


Fig. 4.35 - Movimento vertical para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

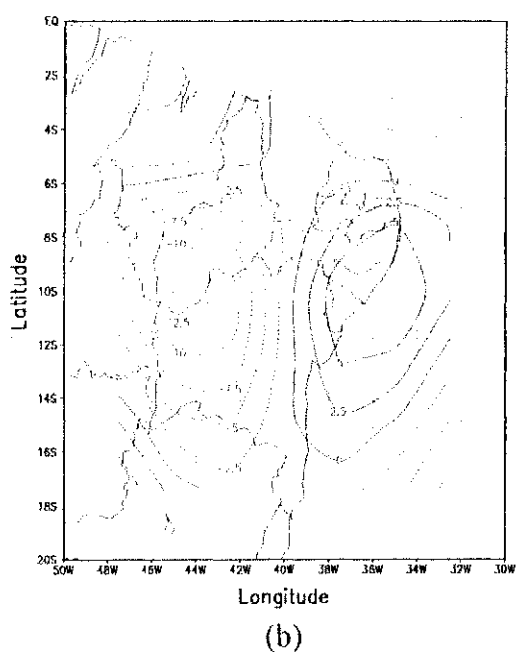
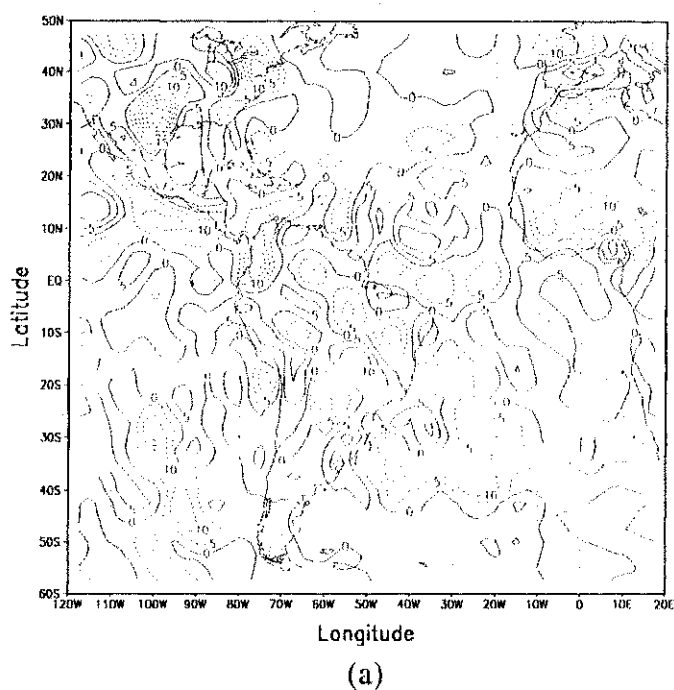


Fig. 4.36 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 05 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

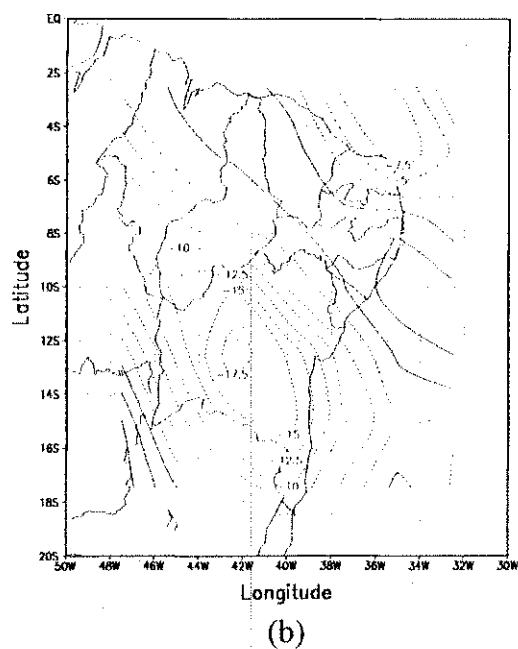
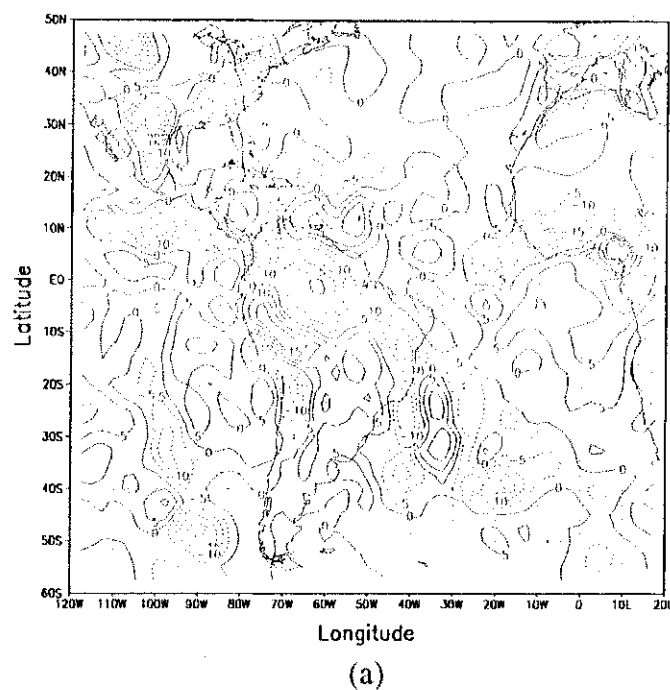


Fig. 4.37 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 05 de junho de 1985 às 18:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).



Fig. 4.38 - Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 05 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (*Fonte da imagem: ESA*).

4.2.6 – Dia 06 de Junho de 1985

O campo da pressão reduzida ao nível médio do mar (Fig. 4.39) sugere a presença de uma única baixa frontal, mais intensa do que no dia anterior (pressão central de 996 hPa). A alta situada na retaguarda também intensificou já que sua pressão central é 1035 hPa. A configuração das isóbaras de 1014 hPa deixa evidente que a frente se estende sobre o Nordeste. Neste dia o campo da espessura (Fig 4.40) mostra a estrutura térmica de uma baixa em estágio de oclusão, o que é indicado pela isolinha de 5240 mgp. A isolinha de 5680 mgp permanece sobre a Região Sudeste.

A análise do campo do vento no nível de 850 hPa (Fig. 4.41a) ainda indica circulação fraca na área do Nordeste. O centro ciclônico associado à baixa em superfície, com uma área de confluência na sua periferia leste, e o anticiclone na sua retaguarda, são vistos a leste da América do Sul, em latitudes médias, na mesma localização do dia anterior. No nível de 500 hPa (Fig. 4.41b) o eixo do cavado frontal continua com orientação noroeste-sudeste sobre o continente mas seu alcance em latitudes baixas é menor do que no dia anterior, atingindo latitudes próximas a 15°S. No nível de 200 hPa (Fig. 4.41c) a configuração é semelhante a do dia anterior.

No campo da vorticidade relativa em 850 hPa (Fig 4.42a) há fusão dos dois núcleos ao sul de 20°S, o que reforça a informação do mapa de superfície de que há uma única baixa frontal neste dia. Não há padrão definido na área do Nordeste. No nível de 500 hPa (Fig 4.42b) há um núcleo intenso de vorticidade ciclônica na área do cavado, ao sul de 20°S. Há vorticidade anticiclônica sobre a Região Norte e na maior parte da Região Nordeste. No nível

de 200 hPa (Fig. 4.42c) há núcleos intensos como no dia anterior: ciclônico na região do cavado de latitudes médias e anticiclônicos sobre as Regiões Norte e Nordeste.

No campo do movimento vertical (Fig. 4.43) o sistema de latitudes médias apresenta áreas de movimento ascendente que coincidem com a parte central da circulação e/ou estão situadas à frente do eixo do cavado.

O campo da divergência do fluxo de umidade em 925 hPa para as 06:00 TMG (Fig. 4.44) mostra uma área de convergência sobre a maior parte do Nordeste e área oceânica a leste das Regiões Sul e Sudeste. Essa área apresenta núcleos tão intensos quanto aqueles vistos às 18:00 TMG do dia anterior (Fig. 4.37a), embora exista uma pequena desintensificação na área do Nordeste conforme evidencia a comparação entre as Figuras 4.37b e 4.44b. O campo para as 12:00 TMG (Fig. 4.45) continua basicamente com a mesma configuração do horário anterior, mas o núcleo está menos intenso. Houve também nesse dia um aumento na convergência sobre a África.

Na imagem de satélite (Fig. 4.46) é evidente a fase de oclusão do sistema frontal e o aumento na área coberta sobre o continente já que ela abrange a Região Sudeste. A presença de convergência de umidade sobre essa região justifica a mudança observada em relação ao dia anterior. Uma análise mais detalhada da imagem na área continental sugere a presença de sistemas convectivos de mesoescala como linhas de instabilidade, por exemplo. É notável a ausência de nebulosidade ao norte do equador, na faixa longitudinal do Nordeste, já que há uma área extensa coberta por nuvens convectivas profundas no dia anterior (Fig. 4.38)

Por outro lado, há mudança oposta no restante da faixa equatorial ao norte do equador que apresenta aglomerados convectivos neste dia.

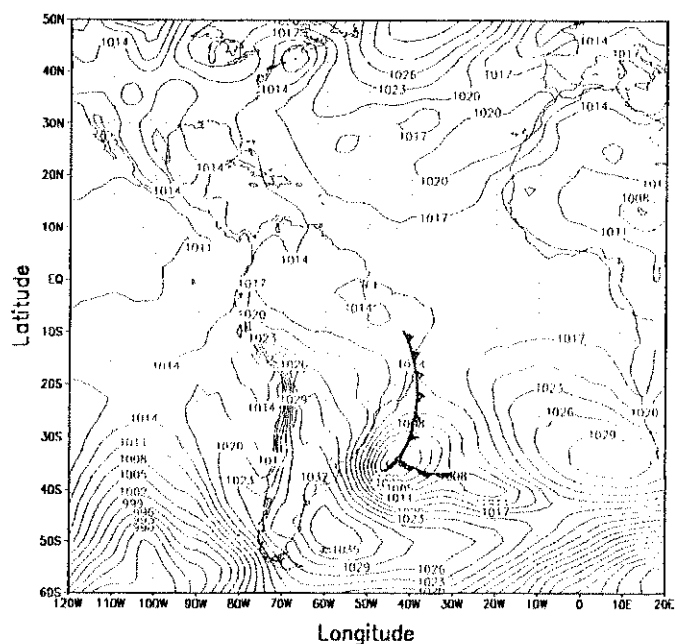


Fig. 4.39 - Pressão reduzida ao nível médio do mar para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 3hPa. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

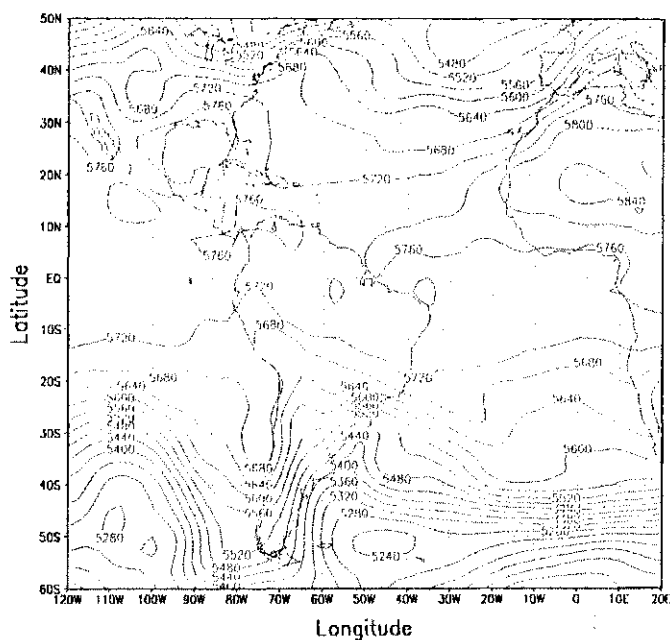


Fig. 4.40 - Espessura da camada 1000-500 hPa para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG. O intervalo de análise é de 40 mgp. (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

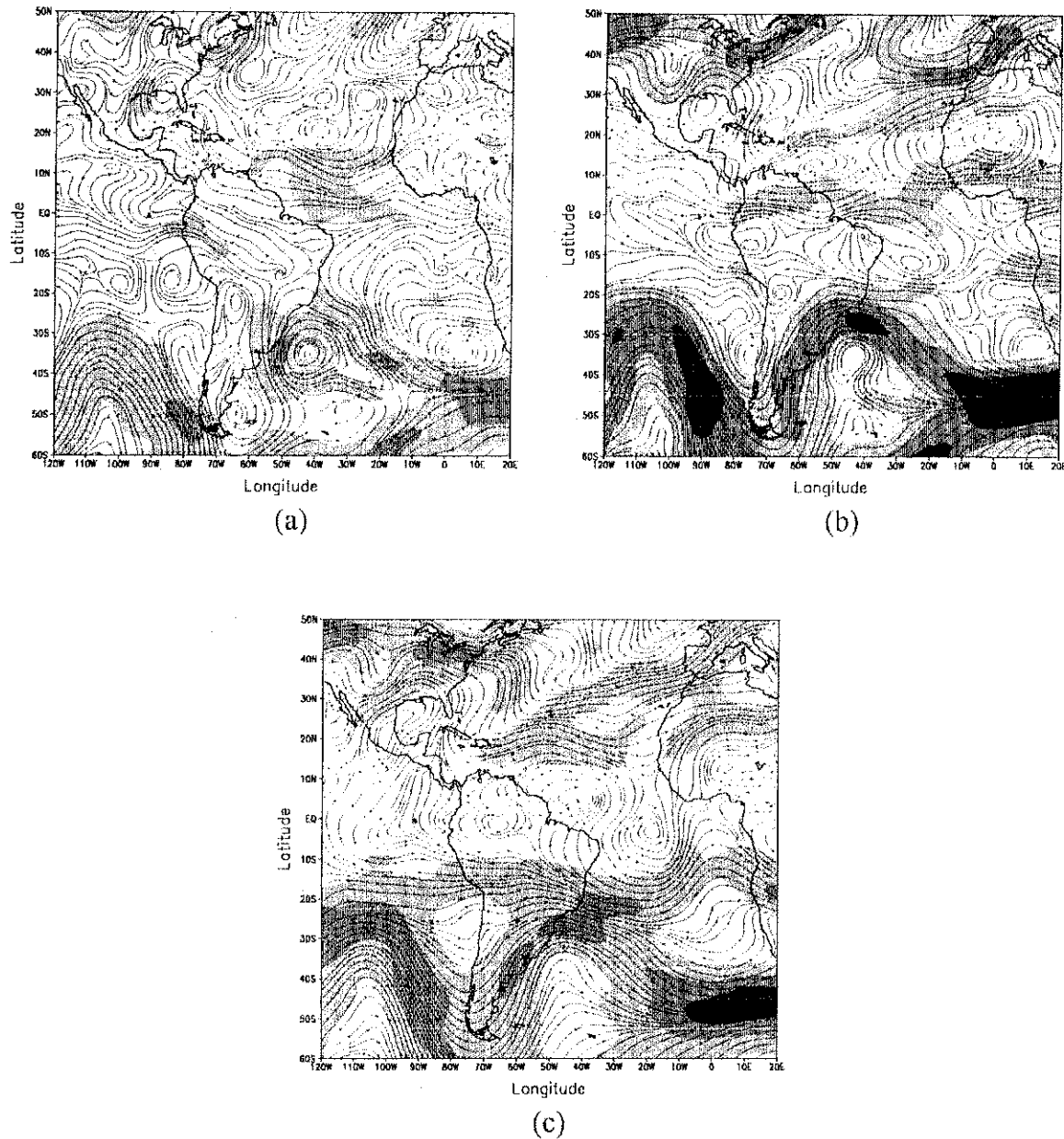


Fig. 4.41 - Análises para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG de linhas de corrente e intensidade do vento para os níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. As áreas sombreadas correspondem a intensidades acima de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). O intervalo de análise é de 10 m/s (20 m/s) nos níveis de 850 e 500 hPa (200 hPa). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

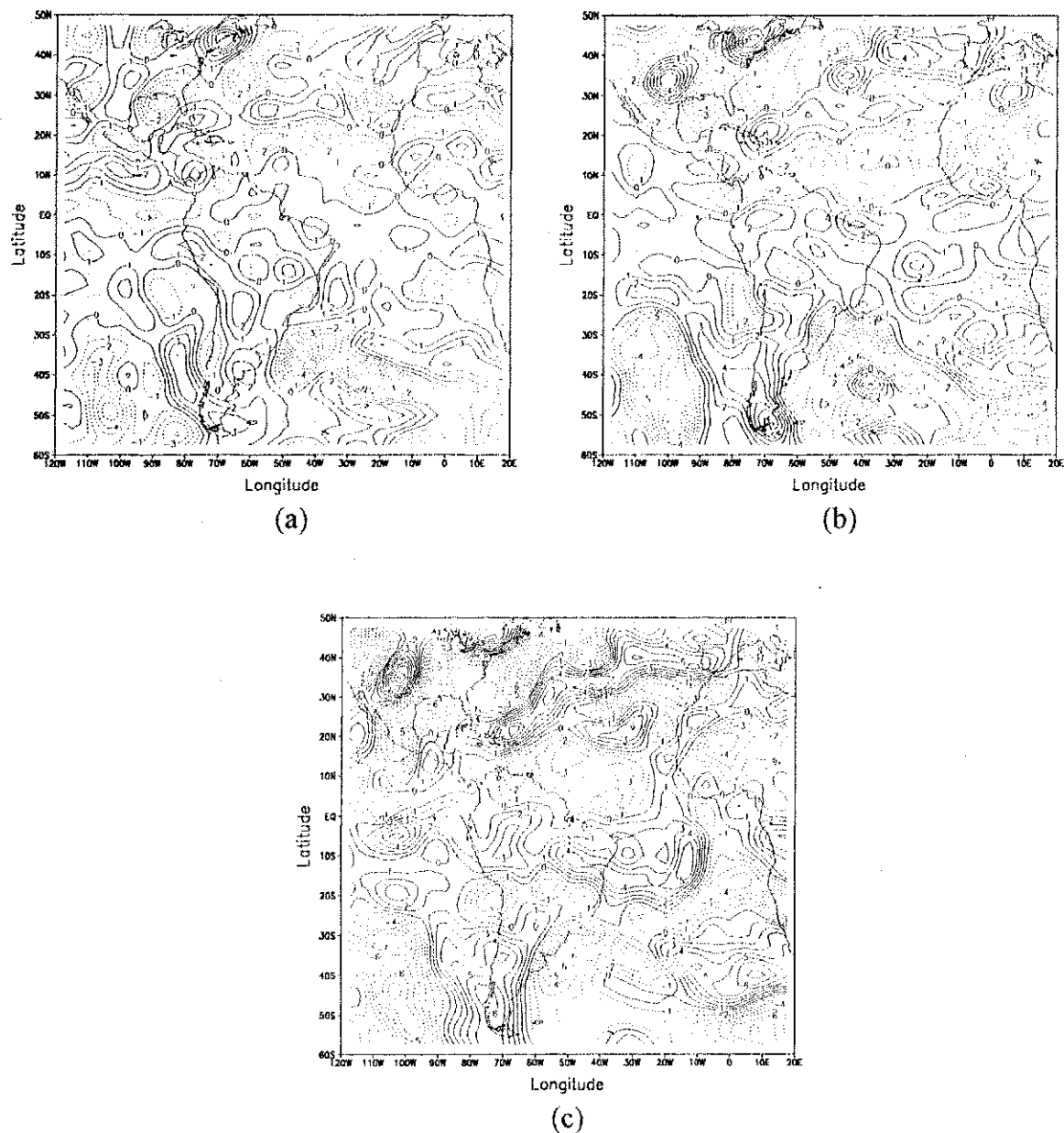


Fig 4.42 - Componente vertical da vorticidade relativa para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $1,0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

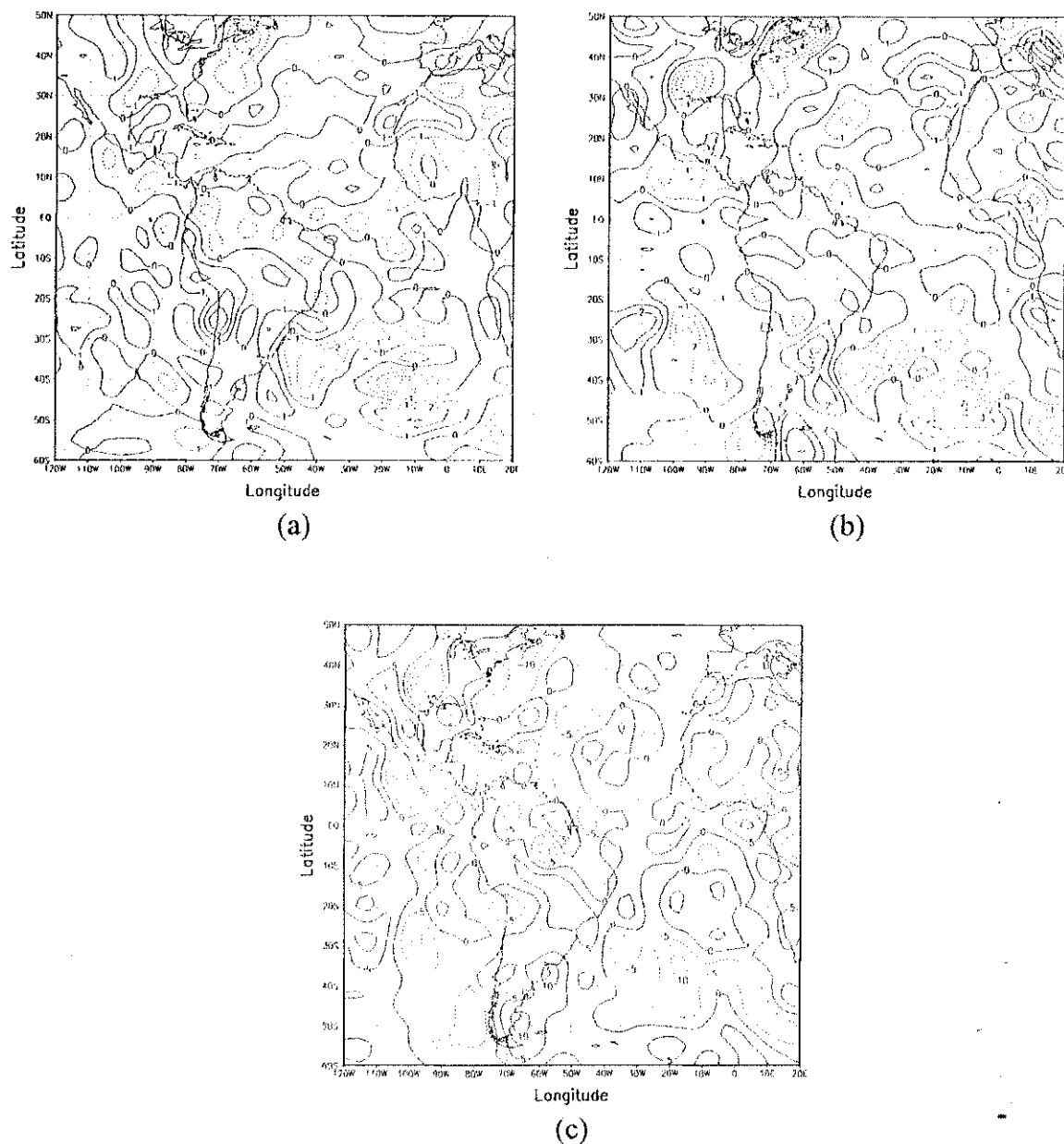
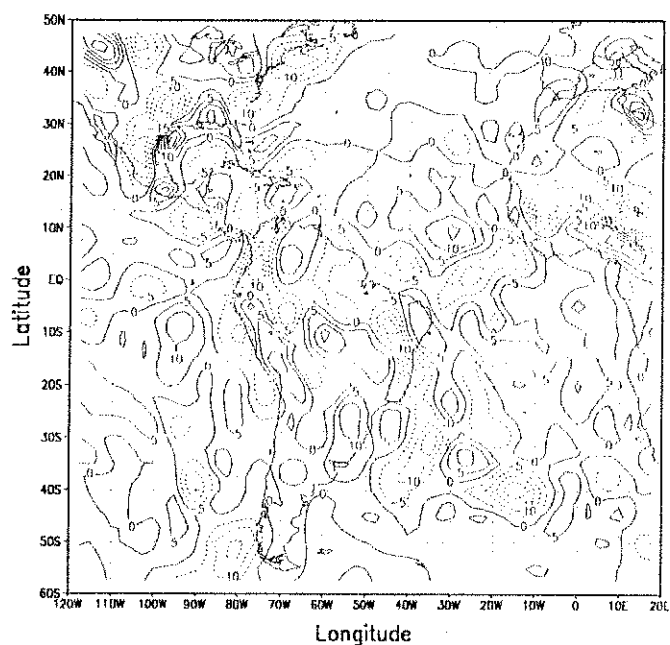
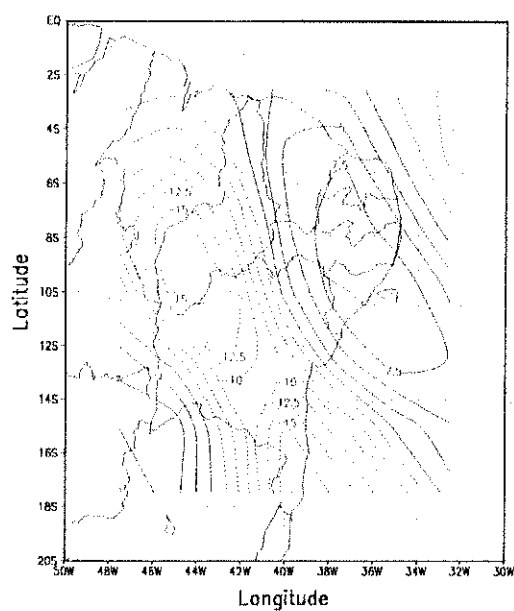


Fig. 4.43 - Movimento vertical para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise para os níveis de 850 e 500 hPa é de $1,0 \times 10^2 \text{ Pas}^{-1}$ e para o nível de 200 hPa é de $5,0 \times 10^3 \text{ Pas}^{-1}$. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).



(a)



(b)

Fig. 4.44 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 06 de junho de 1985 às 06:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).

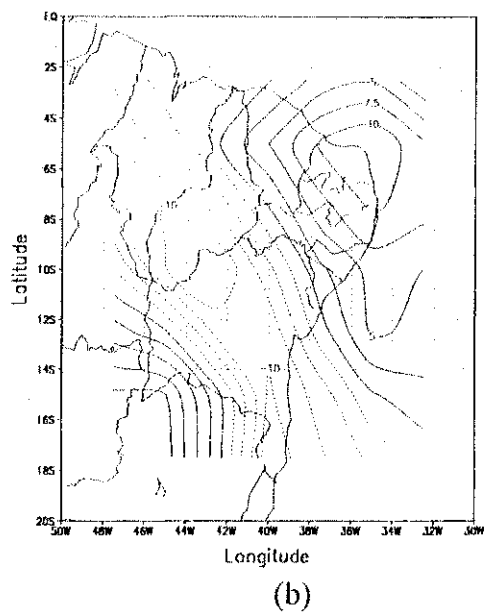
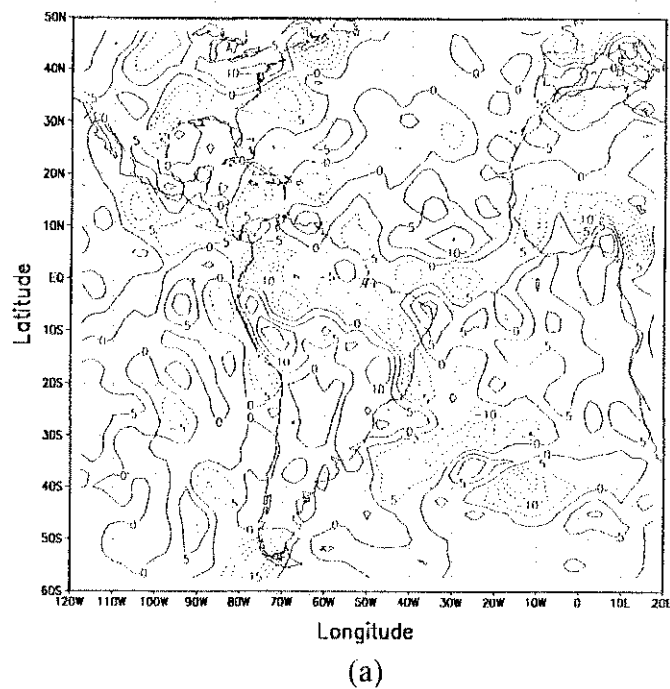


Fig. 4.45 - Divergência horizontal do fluxo de umidade para o dia 06 de junho de 1985 às 12:00 TMG no nível de 925 hPa: (a) setor da América do Sul e (b) Região Nordeste. O intervalo de análise é de $5,0 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ e $2,5 \times 10^5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectivamente. As linhas contínuas (pontilhadas) correspondem a valores positivos (negativos). (Fonte dos dados: NCEP/CPTEC).



Fig 4.46 - Imagem do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico para o dia 06 de junho de 1985 às 11:55 TMG. A ponta da flecha assinala a localização aproximada de Petrolina. (*Fonte da imagem: ESA*).

4.3 – Características em Mesoescala

Nesta seção são diagnosticadas as características em mesoescala do sistema em estudo no período de 3 a 6 de junho. As análises realizadas se fundamentam nos seguintes dados: intensidades de chuva obtidas em postos pluviográficos na área de alcance do radar, radiossondagens diárias realizadas em Petrolina e imagens do radar meteorológico banda-C operado naquela cidade. Essas informações são inter-relacionadas e associadas às características em grande escala discutidas na seção anterior.

4.3.1 - Dia 03 de junho de 1985

A Figura 4.47 ilustra os perfis verticais da temperatura potencial (θ), temperatura potencial equivalente (θ_e) e temperatura potencial equivalente de saturação (θ_{es}). Os perfis de θ_e e θ_{es} mostram que há uma camada de inversão térmica acompanhada de um decréscimo na umidade (secagem) cuja base está em torno de 750 mb. Esse comportamento caracteriza a inversão de subsidência, uma situação típica na região de Petrolina devido ao domínio da ASAS. Por outro lado, há também o decréscimo de θ_e com a altura em toda a camada abaixo de 650 mb, evidenciando a presença de instabilidade convectiva. O perfil de θ mostra que a atmosfera se encontra bem misturada entre a superfície e a base da camada de inversão de subsidência.

Os perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento observado em Petrolina (Fig. 4.48) mostram ventos fracos de leste (valores negativos) entre a superfície e 600 mb. Os valores mais intensos das duas componentes ocorrem entre 200 e 350 mb.

O valor da E_{MAX} obtido nesse dia é de 115 J/kg . Este valor é consistente com as informações obtidas das imagens do radar já que os PPT's não mostram atividade convectiva significativa. A imagem do satélite METEOSAT evidencia ausência de nebulosidade na Região Nordeste.

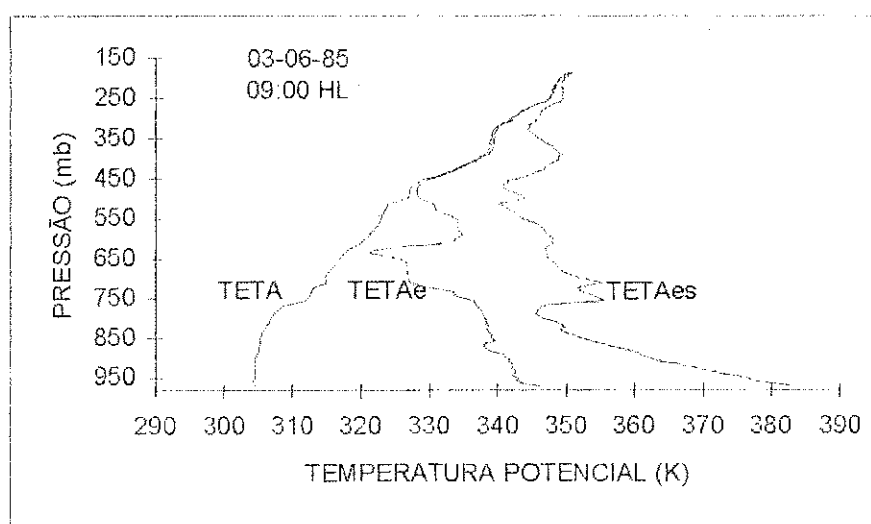


Fig. 4.47 - Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtido da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 03/06/85 às 09:00 HL. (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

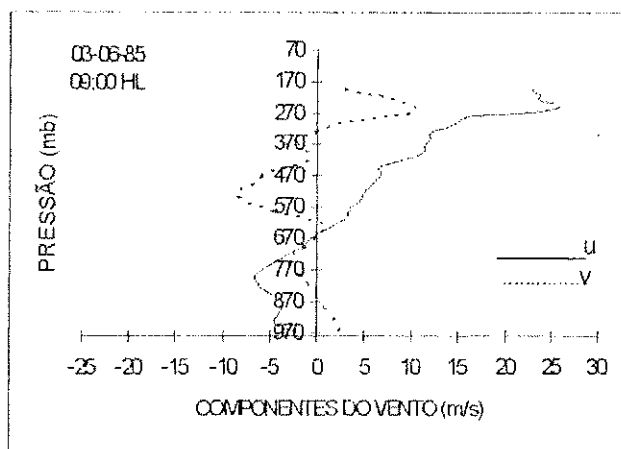


Fig. 4.48 - Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos pela radiossondagem realizada em Petrolina no dia 03/06/85 às 09:00 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

4.3.2 Dia 04 de junho de 1985

Os perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} podem ser vistos na Figura 4.49. O perfil de θ , quando comparado com o do dia anterior, mostra que a camada de mistura diminuiu de espessura, já que seu topo está abaixo de 850 mb. Os perfis de θ_e e de θ_{es} também estão diferentes. As duas curvas estão mais próximas mas, ainda assim, a inversão de subsidência está presente, embora mais fraca do que no dia anterior. O comportamento das curvas indica ainda que houve aumento no teor da umidade atmosférica.

Os perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento observado em Petrolina (Fig. 4.50) mostram ventos fracos de leste (valores negativos) entre a superfície e

próximo de 670 mb. Valores intensos, particularmente da componente zonal, ocorrem entre 500 e 100 mb.

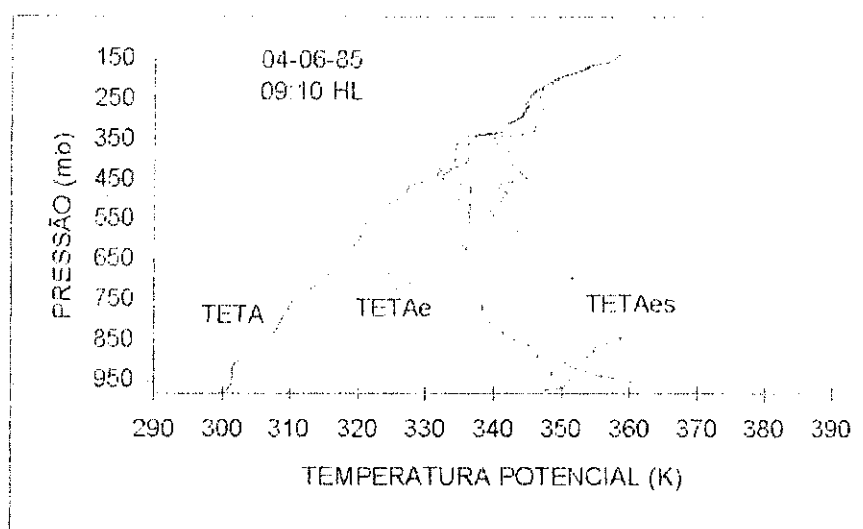


Fig. 4.49 - Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 04/06/85 às 09:10 HL. (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

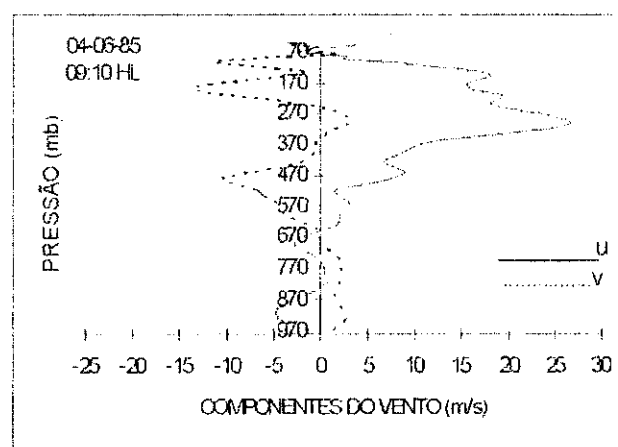
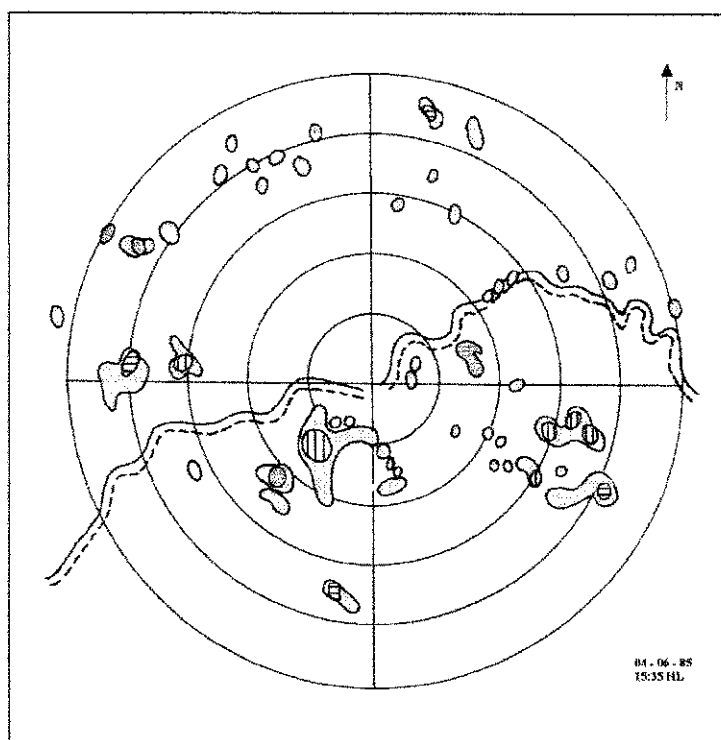


Fig. 4.50 - Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos pela radiossondagem realizada em Petrolina no dia 04/06/85 às 09:10 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

O valor da E_{MAX} obtido nesse dia é de 998 J/kg . Este valor indica atividade convectiva de natureza fraca, o que é não é consistente com as informações das imagens do radar e do satélite. Os ecos identificados através dos PPI's e RHI's são constituídos por várias células com área menor que 10^2 km^2 que coexistem com células maiores que contem núcleos intensos com topos atingindo a profundidade de 10 km.

A Figura 4.51 exibe a imagem de radar obtida às 15:35 HL, na qual é possível observar uma célula com grande área situada no quadrante sudoeste entre os raios de 50 e 100 km. No primeiro PPI do dia este eco tem área pequena mas intensidades de chuva entre 5 e 10mm/h. No decorrer do tempo a situação evolui, sendo evidente a formação de novas células com intensidade maior que 10 mm/h. A grande ocorrência de células maiores nos quadrantes nordeste e noroeste sugere a existência de regiões favoráveis ao desenvolvimento de convecção.



(a)

R-1	0.2-0.4	0.4-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	5.0-10.0	>10.0	mm/h
R-2	0.6-1.8	1.8-6.0	6.0-18	18-60	60-180	>180	mm/h

(b)

Fig. 4.51 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 15:35 HL do dia 04/06/85 (a) e a convenção utilizada para a taxa de precipitação (b). Os círculos concêntricos ao local do radar são espaçados de 50 km. A linha sinuosa situada nos quadrantes nordeste e sudoeste representa o curso do Rio São Francisco. A seta no canto superior direito em (a) indica o norte geográfico. A escala de chuva utilizada é a R-1 (Fonte dos dados: IAE/CTA)

4.3.3 Dia 05 de junho de 1985

A comparação com a estrutura termodinâmica do dia anterior evidencia a mudança nos perfis de θ_e e θ_{es} que se encontram próximos desde a superfície até os altos níveis, indicando um alto teor de umidade na troposfera. Há também um aumento de θ_e e θ_{es} com a altura entre níveis próximos a 950 e 850 mb, o que ilustra uma situação de inversão do tipo frontal. Os perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento observado em Petrolina (Fig. 4.53) mostram ventos fracos entre a superfície e 500hPa. Valores intensos das duas componentes ocorrem nos altos níveis, havendo dois máximos da componente zonal (positiva) e um máximo de intensidade da componente meridional (negativa). Os valores nesse dia são menos intensos que no dia anterior.

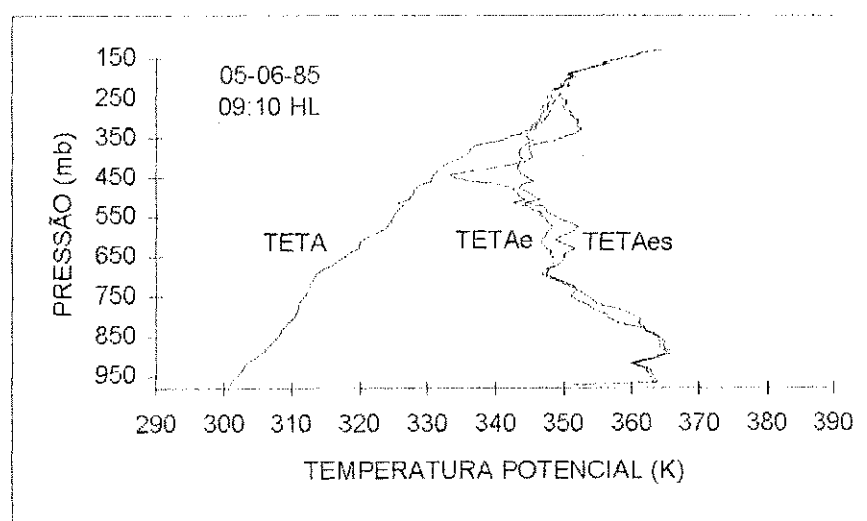


Fig. 4.52 - Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 05/06/85 às 09:10 HL. (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

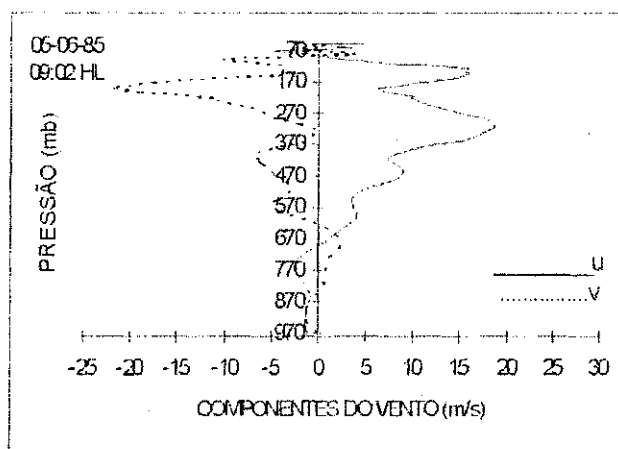


Fig. 4.53 - Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos pela radiossondagem realizada em Petrolina no dia 05/06/85 às 09:10 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

O valor de E_{MAX} de 1101 J/kg obtido para esse dia, bastante alto para o período, indica atividade convectiva de natureza moderada (Bluestein, 1993), o que vai de encontro às informações de radar e pluviógrafos. Os ecos identificados através dos PPI's e RHI's são basicamente de dois tipos: ordinários, cujos elementos tem curta duração, e multicelulares, constituídos por grupos de células contendo núcleos intensos com taxas acima de 10 mm/h e duração superior a 4 horas. Os RHI's mostram que algumas células atingem a profundidade de 15 km.

O primeiro (último) registro do radar foi feito às 09:16 HL (16:36 HL). O primeiro PPI (não mostrado), obtido próximo do horário da radiossondagem e da imagem de satélite, apresenta algumas células pequenas (área $< 100 \text{ km}^2$) de intensidade fraca. O número

de células aumenta muito pouco no período da manhã. O comportamento no início da tarde é o oposto. O aumento no número de ecos detectados pelo radar é evidente no intervalo entre 11:40HL e 14:50HL. Esse comportamento reflete a contribuição do aquecimento radiativo no processo de formação de nuvens convectivas. A partir desse horário o número de ecos permanece praticamente invariável. Entretanto, é evidente o alto grau de desenvolvimento e intensificação de sistemas individuais. Vários núcleos com intensidade superior a 10 mm/h coexistindo com precipitação mais fraca são encontrados nos ecos com área superior a 10^3 km². Essa tendência indica que os ecos maiores desenvolvem um ambiente favorável à formação de células novas e que as regiões de convecção mais intensa produzem áreas com chuva uniforme associadas às bigornas dos cúmulos-nimbos.

O conjunto de imagens de radar ilustradas nas Figuras 4.54, 4.55 e 4.56 permite acompanhar a evolução de células convectivas intensas que se desenvolvem nos quadrantes sudeste e noroeste com estrutura vertical característica de sistemas convectivos tropicais com altas taxas de precipitação associadas.

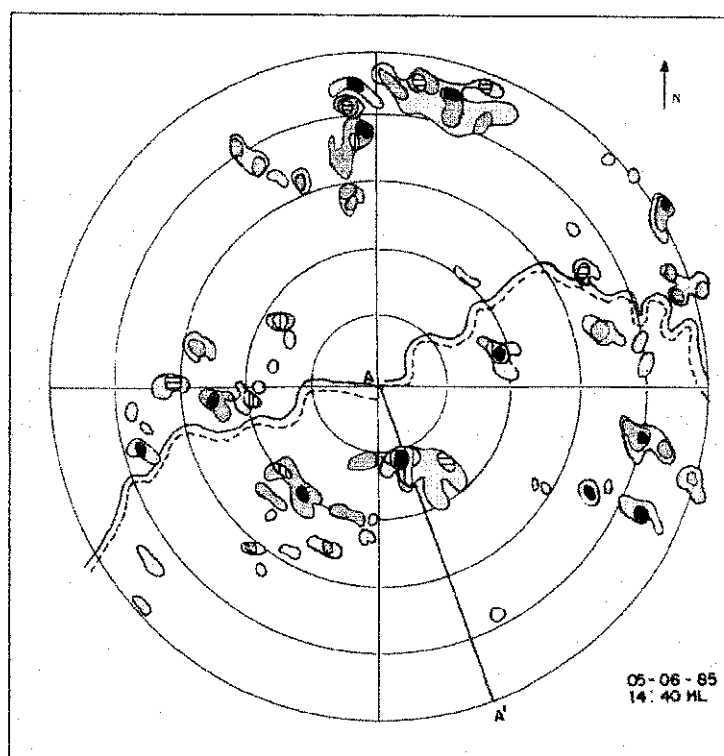
A partir das 14:40 HL, horário do PPI ilustrado na Figura 4.54 é possível observar que no processo de intensificação da célula localizada entre os raios de 50 e 100 km (azimute de 160° indicado pela linha AA') novas células convectivas se formam, enquanto as células já existentes crescem e se fundem formando grandes áreas contínuas nas quais as células estão interligadas por precipitação estratiforme de intensidade moderada. Esse é um comportamento normalmente observado durante a fase de intensificação de sistemas convectivos tropicais não lineares (Leary e Houze, 1979). A comparação entre o PPI das 15:41 HL (Fig. 4.55a) e os RHI's das 14:50 HL (Fig. 4.54b) e 15:57 HL (Fig. 4.55b) evidencia que,

no intervalo de uma hora aproximadamente, o primeiro sistema convectivo (eco situado a 50 km do radar) atinge o estágio maduro exibindo ainda uma mistura de precipitação convectiva (núcleo intenso) e estratiforme, porém com uma área bem mais extensa de chuva uniforme e fraca. O segundo sistema convectivo (eco situado a 100 km do radar) (Fig. 4.55a), em fase de desenvolvimento, mostra uma evolução mais explosiva com células mais intensas e profundas. Posteriormente, os dois sistemas interagem formando uma única célula maior com estrutura típica de sistemas mais duradouros que é vista no PPI das 16:36 HL (Fig. 4.56).

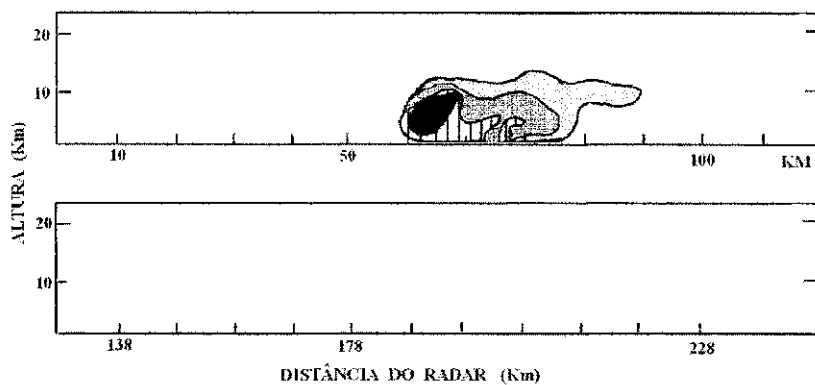
Outra estrutura cuja evolução é de particular interesse por atingir dimensões bem maiores são as células intensas situadas no quadrante noroeste, próximo ao azimute de 0°. Como no caso anterior, o processo de fusão entre células dá origem a um sistema mais extenso e com maior intensidade que exhibe vários núcleos intensos como pode ser visto no PPI das 16:36 HL (Fig. 4.56).

No conjunto de PPI's deste dia não há evidência de deslocamento sistemático das células, o que é consistente com o vento fraco registrado nos baixos níveis na área de Petrolina (intensidade de 2,2 m/s no nível de 700 mb).

Apesar da predominância de áreas pequenas de chuva e da distribuição irregular de postos pluviométricos e pluviográficos, totais de precipitação e intensidades de chuva registrados em postos no círculo de 250km de raio da área de alcance do radar comprovam que a região foi atingida por chuvas intensas e persistentes. Curvas de tendência

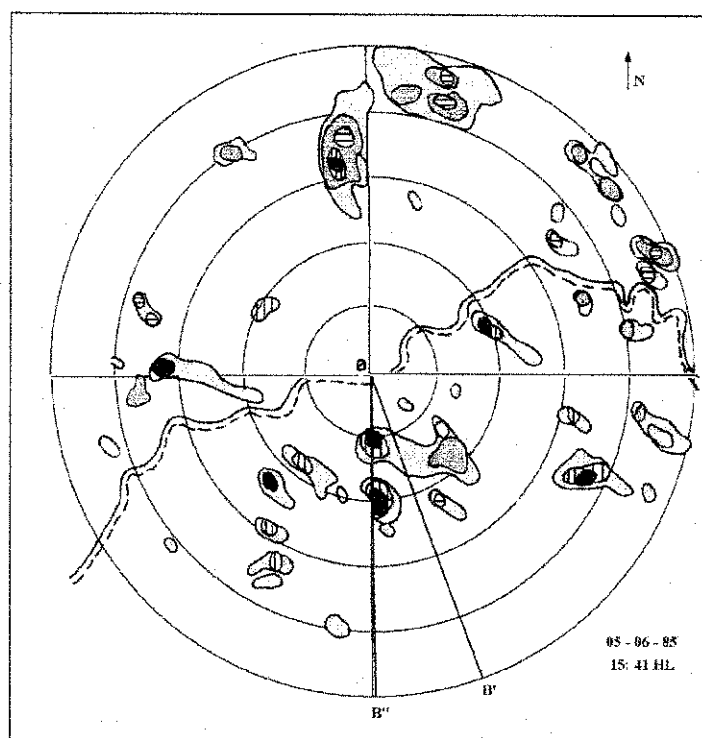


(a)

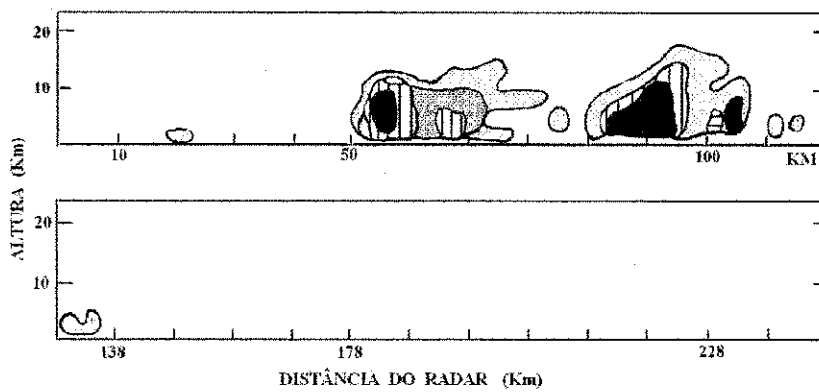


(b)

Fig. 4.54 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 14:40 HL do dia 05/06/85 (a) e RHI obtido às 14:50 HL do mesmo dia ao longo do azimute de 160° (b), representado pela linha AA' em (a). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)



(a)



(b)

Fig. 4.55 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 15:41 HL do dia 05/06/85 (a) e RHI obtido às 15:57 HL do mesmo dia ao longo do azimute de $180,1^\circ$ (b) representado pela linha BB'' em (a). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)

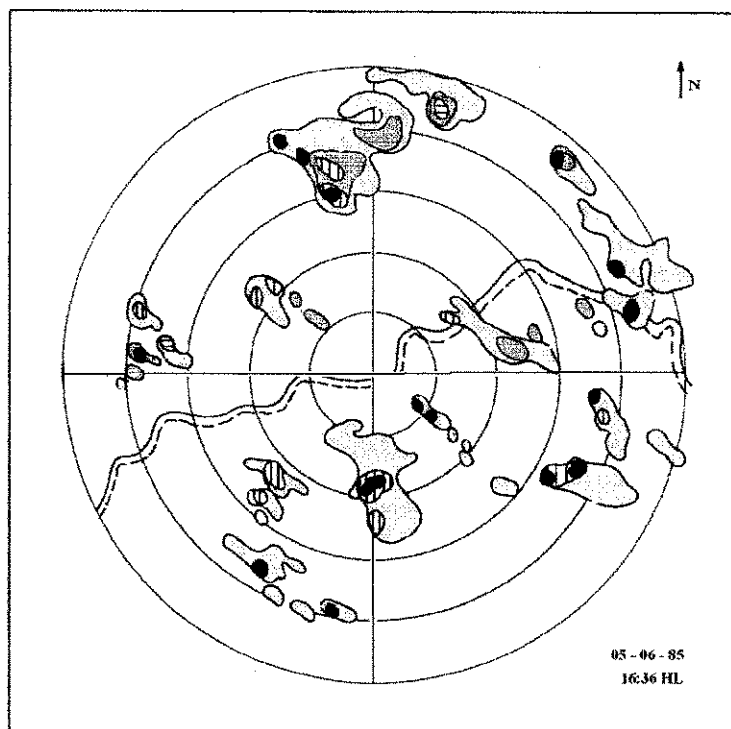
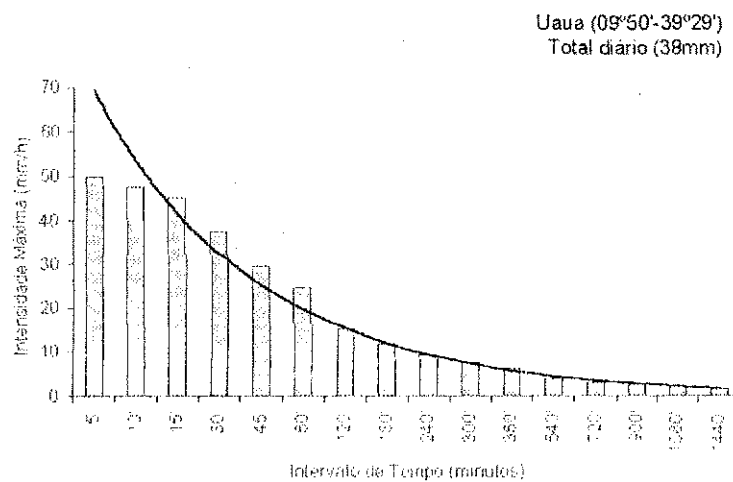


Fig. 4.56 – PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 16:36 HL do dia 05/06/85. A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)

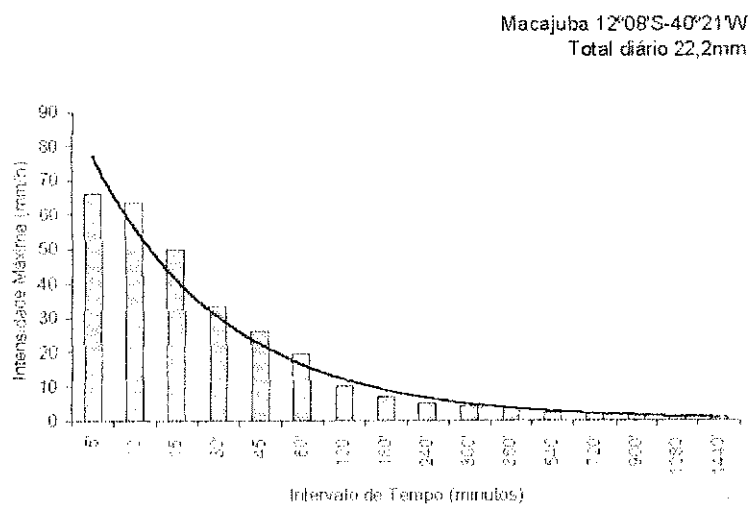
construídas a partir de valores de intensidade de chuva para diferentes intervalos de tempo ilustradas na Figura 4.57 refletem bem a magnitude dos sistemas precipitantes. Valores de totais diários são apresentados na Tabela 4.1.

As características dos ecos observados sugerem que o fator aquecimento radiativo é importante no processo de formação e distribuição da população inicial de células observadas. Porém, mecanismos dinâmicos são responsáveis pela evolução e manutenção dos sistemas convectivos que ocorrem inclusive no período noturno. Essa hipótese é confirmada pelos campos de precipitação obtidos pelo radar no início da manhã do dia 6 e pelos campos de convergência do fluxo de umidade mostrados na seção anterior (Figs. 4.36, 4.37, 4.44 e 4.45).

Conforme mencionado anteriormente, o valor da E_{MAX} de 1101 J/kg indica um grau de instabilidade pouco compatível com a intensa atividade convectiva observada. Entretanto, os perfis verticais das temperaturas potencial equivalente e equivalente de saturação indicam um alto teor de umidade na baixa e média troposfera e a presença de uma camada de inversão térmica do tipo frontal, caracterizando uma situação propícia ao desenvolvimento e intensificação dos sistemas precipitantes.



(a)



(b)

Fig. 4.57 - Variação da intensidade máxima de chuva com o tempo para o dia 05 de junho de 1985 em: (a) Uaua (9°50'S, 9°29'W) e (b) Macajuba (12°8'S, 40°21'W). (Fonte dos dados: ATECEL/AERH/SUDENE)

Tabela 4.1. Totais pluviométricos observados entre 12:00 TMG do dia 05 e 12:00 TMG do dia 06 de junho de 1985.

NOME DO POSTO	LATITUDE / LONGITUDE (° 'S/ ° 'W)	ALTITUDE (m)	TOTAL DIÁRIO (mm)
Abóbora-BA	09°48' - 40°03'	420	40
Tanque Novo	09°31' - 39°57'	390	60,4
Petrolina	09°23' - 40° 30'	376	10,3
Uauá	09°50' - 39°29'	439	38
Poço de Pedra	09°01' - 41°02'	450	75,2
Macajuba	12°08' - 40°21'	449	22,2
Açude Cocorobó	09°53' - 39°03'	340	14,2

4.3.4 Dia 06 de junho de 1985

Os perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} (Fig. 4.58) mostram que há pouca diferença em relação ao dia anterior. É possível observar nesse dia um alto teor de umidade em toda a troposfera. Os perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento observado nesse dia (Fig. 4.58) mostram ventos fracos na baixa e média troposfera. Valores mais intensos das duas componentes ocorrem nos altos níveis.

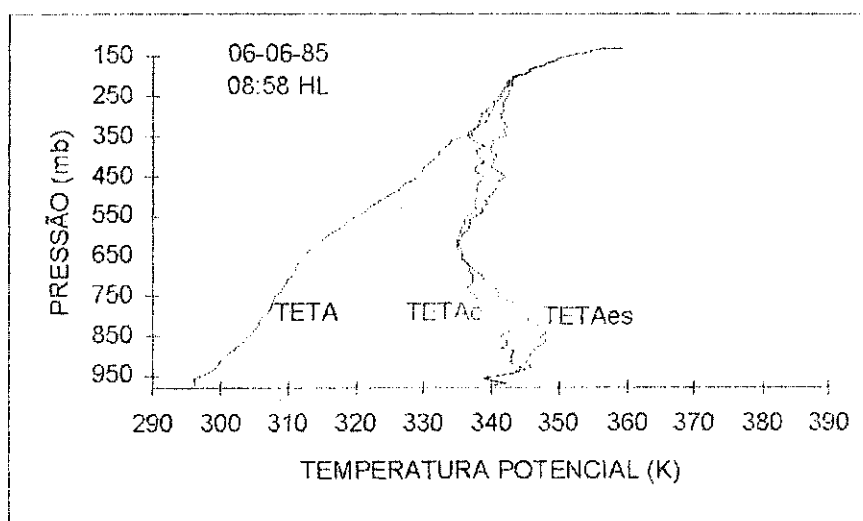


Fig. 4.58 - Perfis verticais de θ , θ_e e θ_{es} obtidos da radiossondagem realizada em Petrolina no dia 06/06/85 às 08:58 HL. (Fonte: Araújo, 1996; Correia et al., 1996).

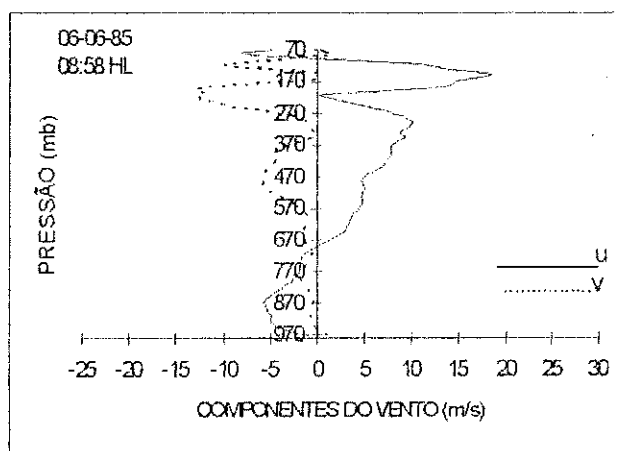


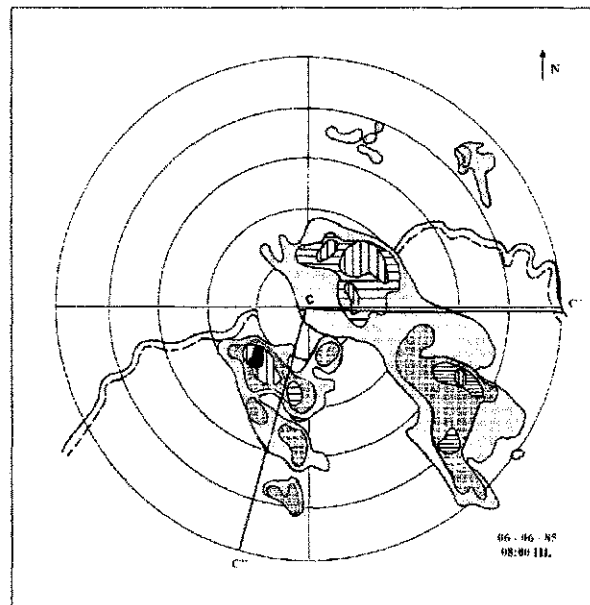
Fig. 4.59 - Perfis verticais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) obtidos pela radiossondagem realizada em Petrolina no dia 06/06/85 às 08:58 HL. Valores positivos (negativos) de u representam componente de oeste (leste). Valores positivos (negativos) de v representam componente de sul (norte). (Fonte: Araujo, 1996; Correia et al., 1996).

A E_{MAX} para esse dia é de 1532 J/kg. Este valor, que indica a ocorrência de atividade convectiva moderada, é compatível com os campos de precipitação observados via radar e com a nebulosidade detectada na imagem do satélite. Os ecos deste dia têm características típicas de um sistema de mesoescala em dissipação. As células apresentam áreas extensas de chuva estratiforme com poucos núcleos intensos inseridos. A organização das células na direção noroeste-sudeste é denominada banda de ecos (Be). Segundo Araujo (1996), esse padrão ocorre apenas nos quadrantes sudeste e sudoeste, nos meses de janeiro e junho, sendo predominante neste último. O autor sugere que a Be é um dos padrões típicos apenas do mês de junho.

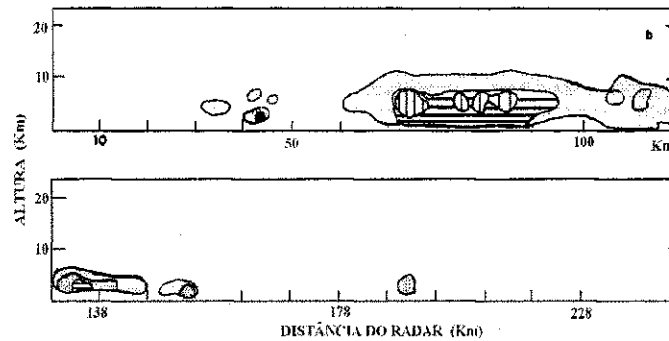
O conjunto de imagens de radar ilustradas nas Figuras 4.60, 4.61 e 4.62 permite acompanhar a evolução das Be (apesar da inexistência de campos de precipitação com a formação inicial) que se desenvolveram nos quadrantes sudeste e sudoeste. O PPI das 08:00

HL (Fig. 4.60a) é, como já foi dito, o primeiro desse dia. O RHI das 08:05 HL obtido ao longo do azimute de $190,1^\circ$ (Fig. 4.60b), mostra uma célula com mais de 60 km de extensão horizontal e 10 km de profundidade. No próximo RHI, obtido às 08:12 HL (Fig. 4.60c) ao longo do azimute de $90,1^\circ$ (Fig. 4.60c), há uma área ainda maior do que a do RHI anterior, com 100 km de extensão. É possível observar a presença de dois núcleos com intensidade de chuva entre 5 e 10mm/h em seu interior, denominados banda brilhante, o que caracteriza ainda melhor o estágio de dissipação do sistema de mesoescala.

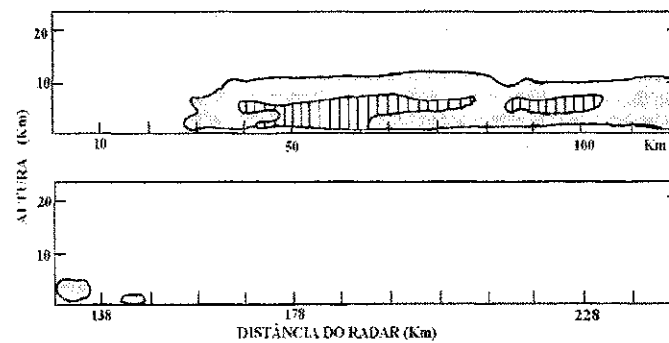
O segundo PPI, mostrado na Figura 4.61, foi obtido às 08:55 HL (Fig. 4.61). Nele ainda podem ser observadas as duas Be, apesar de ter diminuído o número de núcleos com intensidade maior que 5 mm/h e a área do eco do quadrante sudoeste. No quadrante nordeste há o surgimento de núcleos associados a fracas intensidades de chuva. No PPI obtido às 09:50 HL (Fig. 4.62) não é mais possível observar a Be do quadrante sudoeste pois não existe mais a grande área contínua na qual as células mais intensas estavam inseridas. Por outro lado, há duas áreas menores em seu lugar. A Be do quadrante sudeste também apresenta diminuição na área, enquanto que no quadrante nordeste é possível observar aumento da área e intensificação dos núcleos. No terceiro RHI, obtido às 09:57 HL ao longo do azimute de $90,1^\circ$ (Fig. 4.62b) é possível observar diminuição da grande área vista no RHI anterior. Há agora em seu lugar duas áreas menores enquanto que somente a célula localizada num raio entre 50 e 80 km apresenta núcleo associado a intensidades entre 5 e 10 mm/h. Nos demais PPI's do dia é possível acompanhar a total dissipação da Be do quadrante sudeste. É possível observar também que o surgimento de novas células convectivas diminui consideravelmente. Os dados de intensidade de chuva e os totais diários não apresentam grandes valores para esse dia.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.60 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 08:00 HL do dia 06/06/85 (a), e RHI's obtidos às 08:05 HL (b) e 08:12 HL (c) do mesmo dia, ao longo dos azimutes de $190,1^\circ$ (linha CC'' em (a)) e $90,1^\circ$ (linha CC' em (a)) respectivamente. A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)

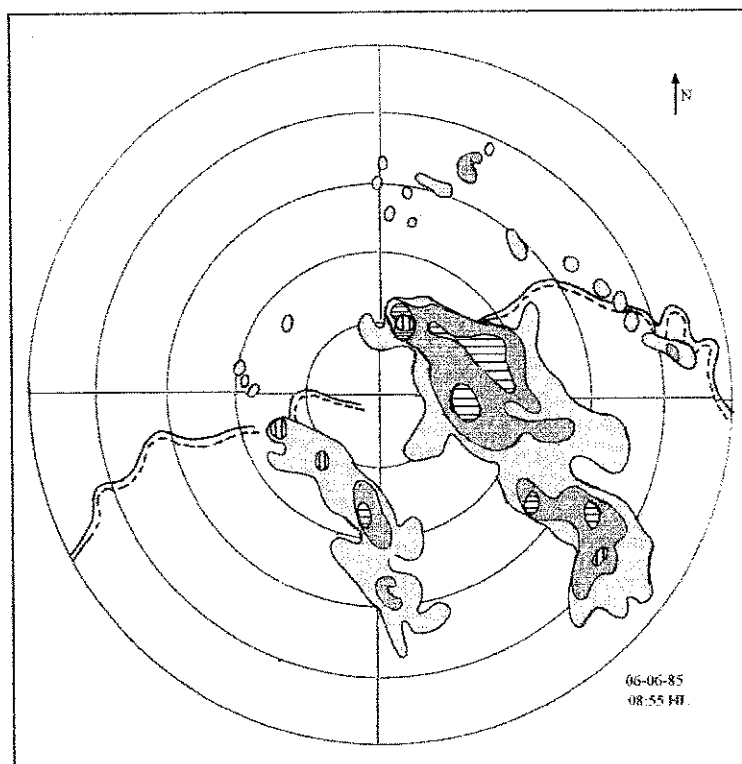
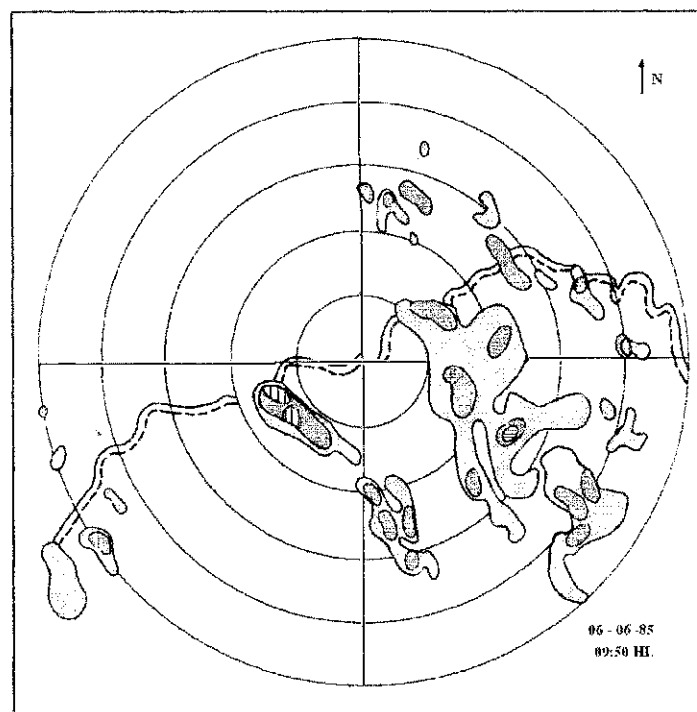
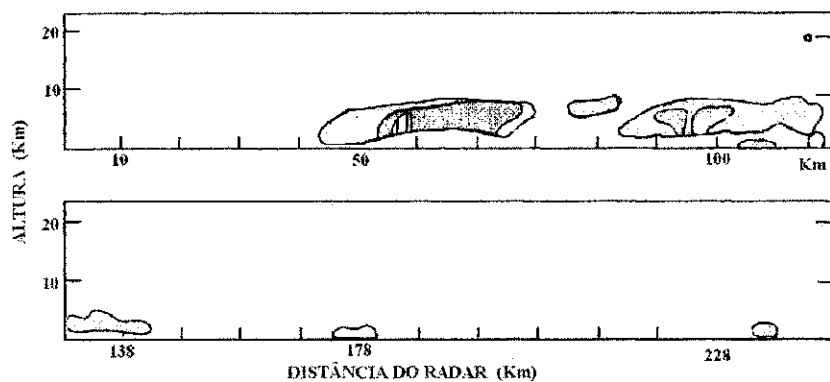


Fig. 4.61 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 08:55 HL do dia 06/06/85. A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)



(a)



(b)

Fig. 4.62 - PPI obtido pelo radar meteorológico banda-C de Petrolina-PE às 09:50 HL do dia 06/06/85 (a), e RHI obtido às 09:57 HL do mesmo dia ao longo do azimute de $90,1^\circ$ (b). A convenção utilizada para a taxa de precipitação é R-1 vista na Fig. 4.51b. (Fonte dos dados: IAE/CTA)

(b) o avanço, até próximo de 7°S, de um cavado de latitudes médias com eixo meridionalmente alinhado na média troposférica, que se estende da Região Nordeste ao Atlântico Sul, em torno da longitude de 45°W;

(c) a presença de convergência de umidade nos baixos níveis, em grande parte do Nordeste, nos dias 5 e 6;

(d) a extensa cobertura de nuvens sobre o Nordeste nos dias 5 e 6, em contraste com os dias anteriores.

No cenário de mesoescala é observado que:

(a) a evolução da convecção mostra uma grande variabilidade no período de formação dos ecos, embora ocorra tipicamente entre 10:00 e 15:00 HL. A relação entre o desenvolvimento das células e o aquecimento diurno é obtida de forma subjetiva, exigindo mais investigações. Entretanto, os campos de precipitação via radar mostram que existem regiões preferenciais para o desenvolvimento e intensificação dos ecos.

(b) há várias situações nas quais a organização em mesoescala é evidente, sugerindo que o processo multicelular explica parcialmente a evolução dos cúmulos-nimbos.

(c) uma característica marcante dos campos via radar é a fusão dos ecos. Esse processo produz, na maioria dos casos, o aumento das áreas com precipitação estratiforme e maior duração dos sistemas convectivos.

(d) células profundas se desenvolvem em situações nas quais os valores da E_{MAX} indicam atividade convectiva fraca ou moderada e um regime de umidade alta. Por outro lado, os valores registrados entre os dias 3 e 6 são bem superiores ao valor normalmente observado no mês de junho, dada a baixa frequência de sistemas precipitantes no período.

(e) a convergência de umidade nos baixos níveis representa o mecanismo fundamental para o desenvolvimento e manutenção dos sistemas de mesoescala responsáveis por extensas áreas cobertas com precipitação (bandas de ecos) nos dias 5 e 6.

(f) na evolução dos perfis de θ , θ_e e θ_{es} é evidente a transformação ocorrida na estrutura termodinâmica da atmosfera com a aproximação do sistema frontal. As diferenças são marcantes entre os dias 4 e 6, com o rompimento de uma estrutura típica da inversão de subsidência, caracterizada pela presença de ar úmido nos baixos níveis e extremamente seco e estável nos níveis médios, para uma estrutura de alto teor de umidade desde a superfície até os altos níveis da troposfera.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

(a) Realizar simulações numéricas para investigar a estrutura e dinâmica da mesoescala associada ao sistema frontal estudado.

(b) Validar os resultados numéricos com os dados observacionais disponíveis.

(c) Investigar a relação entre o desenvolvimento das células e o aquecimento diurno.

(d) Investigar os mecanismos que favoreceram a ciclogênese a leste da Região Sudeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, I. P. *Estudo da Variabilidade da Precipitação na Região de Petrolina*. Relatório Técnico do ECA – 01/79, IAE – CTA S. São 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*. 1995. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ARAGÃO, J. O. R. *Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil*. 1975. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ARAÚJO, H. A. *Padrões de Ecos de Radar Meteorológico no Semi-árido Brasileiro e Condições Atmosféricas Associadas*. 1996. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

BLUESTEIN, H. B. *Synoptic Dynamic Meteorology in Midlatitudes* . New York: Oxford University Press, 1993, 2v. v. 2: Observations and Theory of Weather Systems, p. 426-455.

CAVALCANTI, I. F. A. *The Anomalous Rainfall in Northeastern Brazil in 1985*. in: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY, 2.,1986. Wellington. New Zealand. 1986. 446-448 pp.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um Estudo Sobre Interações entre Sistemas de Escala Sinótica e Circulações Locais**. 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CORREIA, M. F. **Diagnóstico Via Radar dos Sistemas Precipitantes do Semi-árido Brasileiro: O Evento de 1985**. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade de São Paulo, São Paulo.

CORREIA M. F.; SILVA ARAGÃO M. R.; ARAÚJO H. A. **Ecos de Radar Observados no Semi-árido Nordestino e a Penetração de um Sistema de Origem Frontal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão Anais I. São Paulo. 1996. p.136-139.

FERREIRA, N. J.; LACAVA, C. L. V.; SOBRAL, Z. R. **A Climatological Study of Convective Cloudbands in Northeastern Brasil Part I: Preliminary Analysis**. *Australian Meteorological Magazine* , v. 50, n. 2, p. 105-113, 2001.

GOMES FILHO, M. F.; SOUZA, E. P.; BECKER, C. T. **Sistemas Convectivos de Mesoescala com Precipitação Intensa na Paraíba: Um Estudo de Caso**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.11, p. 36-43, 1996.

HARZALLAH, A.; ARAGÃO, J. O. R.; SADOURNY, R.. **Interannual Rainfall Variability in North-East Brazil: Observation and Model Simulation**. *International Journal of Climatology*, v. 16, p. 816-176, 1996.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, v. 103, p. 77-92, 1977.

HOUZE, R. A; CHENG, C. P. Radar Characteristics of Tropical Convection Observed During GATE: Mean Properties and Trends Over the Summer Season. *Monthly Weather Review*, v.105, p. 964-980, 1977.

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

KOUSKY, V. E. Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v.108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E; FERREIRA, N. J. Interdiurnal Surface Pressure Variations in Brasil: Their Spatial Distributions, Origins and Effects. *Monthly Weather Review*, v.109, n. 9, 1981.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in Tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, p. 538-550, 1981

LACAVALA, C. I. V. Influências de Zonas de Convergência na Organização da Convecção Tropical sobre o Nordeste do Brasil. 1995. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

LEARY, C. A.; HOUZE, J. Behavior of the Wind Field in Vicinity of a Cloud Cluster in the Intertropical Convergence Zone. *Journal of Atmospheric Science*, v. 36, p. 437-457, 1979

LÓPEZ, R. E. Radar Characteristics of the Cloud Population of Tropical Disturbances in the Northwest Atlantic. *Monthly Weather Review*, v.104, n. 9, p. 269-283, 1976.

MARENGO, J. A.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; SIA, W. Cold Surges in Tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. *Monthly Weather Review*, v. 125, p. 2759-2786, 1997.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic Impacts of Friagens in Forested and Deforested Areas of the Amazon Basin. *Journal of Applied Meteorology*, v. 36, p. 1553-1566, 1997.

MOTA, G.V. Estudo Observacional de Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro. 1997. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade de São Paulo, São Paulo.

MYERS V. A. A Cold Front Invasion of Southern Venezuela. *Monthly Weather Review*, v. 92, n. 11, 1964.

OLIVEIRA, L. L. Zonas de Convergência no Atlântico Sul e suas Influências no Regime de Precipitação no Nordeste do Brasil. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2307 – TDL/074. São Paulo. 1982. 125 pp.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um Estudo Sobre Interações entre Sistemas de Escala Sinótica e Circulações Locais.** 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CORREIA, M. F. **Diagnóstico Via Radar dos Sistemas Precipitantes do Semi-árido Brasileiro: O Evento de 1985.** 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade de São Paulo, São Paulo.

CORREIA M. F.; SILVA ARAGÃO M. R.; ARAÚJO H. A. **Ecos de Radar Observados no Semi-árido Nordestino e a Penetração de um Sistema de Origem Frontal.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão Anais I. São Paulo. 1996. p.136-139.

FERREIRA, N. J.; LACAVA, C. I. V.; SOBRAL, Z. R. **A Climatological Study of Convective Cloudbands in Northeastern Brasil Part I: Preliminary Analysis.** *Australian Meteorological Magazine*, v. 50, n. 2, p. 105-113, 2001.

GOMES FILHO, M. F.; SOUZA, E. P.; BECKER, C. T. **Sistemas Convectivos de Mesoescala com Precipitação Intensa na Paraíba: Um Estudo de Caso.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.11, p. 36-43, 1996.

HARZALLAH, A.; ARAGÃO, J. O. R.; SADOURNY, R.. **Interannual Rainfall Variability in North-East Brazil: Observation and Model Simulation.** *International Journal of Climatology*, v. 16, p. 816-176, 1996.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, v. 103, p. 77-92, 1977.

HOUZE, R. A; CHENG, C. P. Radar Characteristics of Tropical Convection Observed During GATE: Mean Properties and Trends Over the Summer Season. *Monthly Weather Review*, v.105, p. 964-980, 1977.

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

KOUSKY, V. E. Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v.108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E; FERREIRA, N. J. Interdiurnal Surface Pressure Variations in Brasil: Their Spatial Distributions, Origins and Effects. *Monthly Weather Review*, v.109, n. 9, 1981.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in Tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, p. 538-550, 1981

LACAVALA, C. I. V. *Influências de Zonas de Convergência na Organização da Convecção Tropical sobre o Nordeste do Brasil*. 1995. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

LEARY, C. A.; HOUZE, J. Behavior of the Wind Field in Vicinity of a Cloud Cluster in the Intertropical Convergence Zone. *Journal of Atmospheric Science*, v. 36, p. 437-457, 1979

LÓPEZ, R. E. Radar Characteristics of the Cloud Population of Tropical Disturbances in the Northwest Atlantic. *Monthly Weather Review*, v.104, n. 9, p. 269-283, 1976.

MARENGO, J. A.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; SEA, W. Cold Surges in Tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. *Monthly Weather Review*, v. 125, p. 2759-2786, 1997.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic Impacts of Friagens in Forested and Deforested Areas of the Amazon Basin. *Journal of Applied Meteorology*, v. 36, p. 1553-1566, 1997.

MOTA, G.V. **Estudo Observacional de Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro.** 1997. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade de São Paulo, São Paulo.

MYERS V. A. A Cold Front Invasion of Southern Venezuela. *Monthly Weather Review*, v. 92, n. 11, 1964.

OLIVEIRA, L. L. **Zonas de Convergência no Atlântico Sul e suas Influências no Regime de Precipitação no Nordeste do Brasil.** São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2307 – TDL/074. São Paulo. 1982. 125 pp.

PARMENTER, F.C. A Southern Hemisphere Cold Front Passage at the Equator. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 57, n. 12, p. 1435-1440, 1976.

RAO, V. B.; SATYAMURTY, P.; DE BRITO J. I. B. On the 1983 Drought in Northeast Brazil. *Journal of Climatology*, v. 6, p. 43-51, 1986.

RAO, V. B.; AS, L. D. A.; FRANCHITO S. II; HADA, K. Interannual Variations of Rainfall and Corn Yields in Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, p. 63-74, 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*, v. 16, p. 879-891, 1996.

SELUCHI, M.E.; MARENGO, J.A. Tropical-Midlatitude Exchange of Air Masses During Summer and Winter In South America: Climatic Aspects and Examples of Intense Events. *International Journal of Climatology*, v. 20, p. 1167-1190, 2000.

SERRA, A.; RATISBONA L. As Massas de Ar da América do Sul. Ministério da Agricultura, Serviço de Meteorologia, Rio de Janeiro, 1942.

SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Uma Investigação sobre a Influência de Sistemas Frontais em Petrolina-PE: O Ano de 1985. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. Anais II. 1994.

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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão. Anais I. São Paulo. 1996. p.139-143.

SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A. Characteristics of C-Band Meteorological Radar Echoes at Petrolina, Northeast Brazil . *International Journal of Climatology*, v. 20, p. 279-298, 2000.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Um Complexo Convectivo de Mesoescala Associado à Precipitação Intensas sobre Fortaleza-CE. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 13, p. 01-14, 1998.

UVO, C. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ZAWADZKI, I.I.; RO, C.U. Correlation between Maximum Rate of Precipitation and Mesoscale Parameters. *Journal of Applied Meteorology*, v. 17, 1978.