

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ATMOSFERICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO

BERNADETE LIRA DOS ANJOS

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO DE 1995



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ATMOSFERICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

CONEXÕES ENTRE A CIRCULAÇÃO DO HEMISFERIO NORTE E OS
VORTICES CICLONICOS DA ALTA TROPOSFERA NA REGIAO
NORDESTE DO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação elaborada em
cumprimento às exigências
para a obtenção do grau
de Mestre pela Universidade
Federal da Paraíba - UFPb.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: METEOROLOGIA SINOTICA

MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Orientadora

ZENAIDE ROSA SOBRAL
Co-orientadora

7-3
2011-11-10
A. M. C.

2011-11-10



A559c Anjos, Bernadete Lira dos.
Conexoes entre a circulacao do Hemisferio Norte e os vortices ciclonicos da alta troposfera na regio Nordeste do Brasil : um estudo de caso / Bernadete Lira dos Anjos. - Campina Grande, 1995.
119 f.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Ciclones. 2. Ciclone - Brasil - Nordeste. 3. Dissertacao - Meteorologia. I. Arago, Maria Regina da Silva II. Sobral, Zenaide Rosa III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 551.515.2(043)

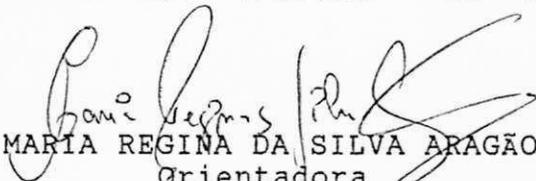
Aos meus pais,
Paulo e Laurita,
por terem me ensinado o
caminho do saber,
Meu Reconhecimento.

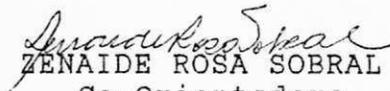
Dedico meu amor e meu agradecimento
a Raimundo e aos meus filhos Diego e
Mayara, que me perdoaram por lhes
roubar tanto tempo a fim de elaborar
esta dissertação.

CONEXÕES ENTRE A CIRCULAÇÃO DO HEMISFÉRIO NORTE E OS VÓRTICES
CICLÔNICOS DA ALTA TROPOFERA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL:
UM ESTUDO DE CASO

BERNADETE LIRA DO ANJOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/03/95


MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Orientadora


ZENAIDE ROSA SOBRAL
Co-Orientadora


NELSON JESUS FERREIRA
Membro


ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Membro

CAMPINA GRANDE
MARÇO - 1995

INDICE

	página
RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	IV
AGRADECIMENTOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE SIMBOLOS.....	XVIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIX
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO.....	01
CAPITULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	04
CAPITULO 3 - METODOLOGIA.....	10
3.1 - DADOS UTILIZADOS E PERIODO DE ESTUDO.....	10
3.2 - METODOS DE ANALISE.....	14
CAPITULO 4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	18
4.1 - CARTAS DE SUPERFICIE E IMAGENS DE SATELITE...	18
4.2 - ANALISES DO VENTO, COMPONENTE VERTICAL DA VORTICIDADE RELATIVA E DIVERGENCIA HORIZONTAL NOS NIVEIS DE 200 E 500 hPa.....	26
4.2.1 - ANALISES PARA O NIVEL DE 200 hPa.....	26
4.2.2 - ANALISES PARA O NIVEL DE 500 hPa.....	59

4.3 - SEÇÕES LONGITUDE-TEMPO DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO EM 200 hPa.....	97
4.4 - SÉRIES TEMPORAIS DA COMPONENTE VERTICAL DA VORTICIDADE RELATIVA EM 200 hPa.....	105
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
APÊNDICE A.....	118

RESUMO

Este trabalho investiga as conexões entre a circulação do hemisfério norte e os vórtices ciclônicos da alta troposfera do Nordeste do Brasil. Um estudo de caso é feito para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Imagens de satélite meteorológico, totais diários de precipitação e dados em pontos de grade do National Meteorological Center (NMC) são utilizados.

O ciclone causou precipitação acima da normal em vários estados nordestinos. Seu desenvolvimento não foi típico. O vórtice se forma no nível de 500 hPa no dia 18 de novembro sobre o sul do Nordeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes enquanto que um cavado é visto na mesma área no nível de 200 hPa. A penetração de um sistema frontal austral em latitudes baixas auxilia a formação do vórtice na média troposfera. Um segundo sistema frontal austral favorece a amplificação do cavado em 200 hPa e o conseqüente desprendimento do ciclone três dias depois.

O anticiclone da Bolívia se faz presente no nível de 200 hPa um dia após a formação do ciclone em 500 hPa. A formação do anticiclone é resultado do acoplamento entre um vórtice anti-horário localizado sobre o Pacífico equatorial leste e a crista associada ao primeiro sistema frontal austral. A amplificação de um cavado de latitudes médias localizado ao Norte da América do Sul desempenha um papel fundamental nesse processo.

O ciclone se move para noroeste na troposfera superior e para norte-noroeste-oeste na média troposfera. Há evidências de que o deslocamento do vórtice no nível de 500 hPa está associado ao movimento para oeste de um ciclone localizado sobre o Atlântico Norte. Outra característica marcante no nível de 500 hPa é a presença de intenso escoamento inter-hemisférico sobre a Amazônia e o Atlântico antes da formação do vórtice. Cavados de grande escala quase estacionários estão presentes no Atlântico Norte e Sul no nível de 200 hPa durante todo o ciclo de vida do vórtice. Tais características fazem com que a estrutura do campo do escoamento se assemelhe àquela de modos de onda confinados à região equatorial especificamente a onda mista de Rossby-gravidade e a onda de Rossby com deslocamento para oeste. Tais resultados sugerem a existência de conexões entre a circulação do hemisfério norte e o desenvolvimento dos vórtices ciclônicos da alta troposfera no Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

This work investigates the conexions between the Northern Hemisphere circulation and the upper tropospheric cyclonic vortices of Northeast Brazil. A case study is performed for the period 15 to 25 November 1986. Meteorological satellite images, daily precipitation totals and National Meteorological Center (NMC) gridpoint data are used.

The cyclone caused above normal precipitation in several Northeastern states. Its development is not typical. The vortex forms at the 500 hPa level on November 18 over southern Northeast Brazil and adjoining oceanic areas while a trough is seen in the same general area at the 200 hPa level. Penetration of a Southern Hemisphere frontal system deep into the tropics helps the formation of the vortex in the middle troposphere. A second austral frontal system favors amplification of the 200 hPa trough and a cyclone cut-off three days later.

Establishment of the Bolivian anticyclone at 200 hPa occurs one day after cyclone formation at 500 hPa. The formation of the anticyclone is the result of coupling between a counterclockwise vortex located over the eastern equatorial Pacific and the ridge associated with the first Southern Hemisphere frontal system. Furthermore, amplification of a mid-latitude trough located to the north of South America is found to play a fundamental role in this process.

The cyclone is seen to move northwestward in the upper troposphere and towards the north-northwest-west in the middle troposphere. There is evidence that the displacement of the vortex at the 500 hPa level is linked to the westward movement of a cyclone located over the North Atlantic. Another striking characteristic of the flow field at the 500 hPa level is the presence of strong inter-hemispheric flow over Amazonia and the Atlantic before cyclone formation. Quasi-stationary 200 hPa large-scale troughs are seen over the North and South Atlantic throughout the vortex life cycle. Such features cause the structure of the flow field to bear resemblance to the expected structure of equatorially-trapped wave modes namely, the mixed Rossby-gravity wave and the westward moving Rossby wave. Such results suggest the existence of connections between the Northern Hemisphere circulation and the development of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Dra. Maria Regina da Silva Aragão e a MSc Zenaide Rosa Sobral por acompanhar esta dissertação do início ao fim e fazer inúmeras sugestões sobre como melhorá-la,

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela oportunidade oferecida e pelo fornecimento dos dados de precipitação,

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos,

Aos MSc Luiz Francisco P.G. Maia e MSc Alfredo S. da Silva do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pela cessão dos dados de vento do National Meteorological Center (NMC),

Ao Dr. Nelson de Jesus Ferreira e a MSc Maria Rosely Cabral do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento dos dados descompactados e mapas de vetor vento,

Ao Dr. Manoel Alonso Gan do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela cessão de software utilizado neste trabalho,

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha pelo fornecimento dos mapas de superfície,

Ao MSc Enilson Palmeira Cavalcanti e ao Meteorologista Ricardo de Souza Rodrigues do Departamento de Ciências

Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo auxílio e apoio na utilização do software empregado na obtenção de algumas figuras,

Ao Dr. Eduardo Gorge de Brito Bastos do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e a pesquisadora Graziela B. Scofield do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento dos mapas de vortacidade e divergência,

A Engenheira Eyres Diana Ventura da Silva da UFPB pelo auxílio na parte computacional,

Ao pessoal do Núcleo de Processamento de Dados (NPD) da UFPB, plantonistas e operadores pelos eficientes serviços prestados,

A desenhista Cleide dos Santos da UFPB pelo desenho dos mapas de linhas de corrente,

Aos colegas do 3º Distrito de Meteorologia-Recife pelo apoio e compreensão durante as várias fases de elaboração deste trabalho,

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Página

- Fig. 3.1 - Vetor vento médio em 200 hPa para novembro de 1986 (análise final do NMC). Os ventos são analisados em uma grade de $2,5^\circ$ e interpolados para cada 5° em projeção Mercator. O comprimento de um vetor de 5° de longitude representa uma velocidade do vento de 20ms^{-1} . O intervalo de análise das isotacas é de 10ms^{-1} .(Fonte: NMC, 1986) ...12
- Fig. 3.2 - Anomalia do vetor vento em 200 hPa para novembro de 1986 (análise final do NMC), baseada em médias mensais para o período de 1968-1983. O comprimento de um vetor de 5° de longitude representa uma velocidade do vento de $6,25\text{ms}^{-1}$. O intervalo de análise das isotacas é de 5ms^{-1} .(Fonte: NMC, 1986) ...13
- Fig. 4.1 - Carta de superfície (hPa) para as 12:00 UTC do dia 10/11/86.(Fonte: DHN, 1986) ...19
- Fig. 4.2 - Carta de superfície (hPa) para as 12:00 UTC do dia 13/11/86.(Fonte: DHN, 1986) ...20
- Fig. 4.3 - Carta de superfície (hPa) para as 12:00 UTC do dia 16/11/86.(Fonte: DHN, 1986) ...21
- Fig. 4.4 - Carta de superfície (hPa) para as 12:00 UTC do dia 18/11/86.(Fonte: DHN, 1986) ...22
- Fig. 4.5 - Carta de superfície (hPa) para as 12:00 UTC do dia 21/11/86.(Fonte: DHN, 1986) ...23
- Fig. 4.6 - Imagens do satélite GOES-OESTE na banda do infravermelho para as 12:00 UTC do dia:
a) 20/11/86, b) 21/11/86, c) 22/11/86 e
d) 23/11/86 ...24

- Fig. 4.7 - Precipitação total acumulada (mm) no período de 21 a 25 de novembro de 1986. ...25
- Fig. 4.8 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...28
- Fig. 4.9 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...29
- Fig. 4.10 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...31
- Fig. 4.11 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...32
- Fig. 4.12 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...33

- Fig. 4.13 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...34
- Fig. 4.14 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...36
- Fig. 4.15 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...37
- Fig. 4.16 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...39
- Fig. 4.17 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...40
- Fig. 4.18 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...42

- Fig. 4.19 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...43
- Fig. 4.20 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...45
- Fig. 4.21 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...46
- Fig. 4.22 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...48
- Fig. 4.23 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...49
- Fig. 4.24 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...50

- Fig. 4.25 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...51
- Fig. 4.26 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...54
- Fig. 4.27 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...55
- Fig. 4.28 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...57
- Fig. 4.29 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...58
- Fig. 4.30 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...61

- Fig. 4.31 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...62
- Fig. 4.32 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...64
- Fig. 4.33 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...65
- Fig. 4.34 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...68
- Fig. 4.35 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...69
- Fig. 4.36 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...71

- Fig. 4.37 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...72
- Fig. 4.38 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...75
- Fig. 4.39 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...76
- Fig. 4.40 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...78
- Fig. 4.41 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...79
- Fig. 4.42 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...82

- Fig. 4.43 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...83
- Fig. 4.44 Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...85
- Fig. 4.45 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...86
- Fig. 4.46 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...88
- Fig. 4.47 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...89
- Fig. 4.48 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...92

- Fig. 4.49 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. O intervalo de análise é de (a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...93
- Fig. 4.50 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente ...95
- Fig. 4.51 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. O intervalo de análise é de (a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e (b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$...96
- Fig. 4.52 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa em 20°S para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte) ...98
- Fig. 4.53 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa em 10°S para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte) ..100
- Fig. 4.54 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa em 0° para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte) ..101

- Fig. 4.55 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa em 10°N para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte) ..103
- Fig. 4.56 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa em 20°N para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte) ..104
- Fig. 4.57 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa (10^{-6}s^{-1}) no nível de 200 hPa no ponto ($15,0^{\circ}\text{S}-52,5^{\circ}\text{W}$) ..105
- Fig. 4.58 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa (10^{-6}s^{-1}) no nível de 200 hPa no ponto ($5,0^{\circ}\text{S}-30,0^{\circ}\text{W}$) ..106
- Fig. 4.59 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa (10^{-6}s^{-1}) no nível de 200 hPa no ponto ($17,5^{\circ}\text{N}-45,0^{\circ}\text{W}$) ..107
- Fig. 4.60 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa (10^{-6}s^{-1}) no nível de 200 hPa no ponto ($10,0^{\circ}\text{N}-22,5^{\circ}\text{W}$) ..108
- Fig. 4.61 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa (10^{-6}s^{-1}) no nível de 200 hPa no ponto ($2,5^{\circ}\text{N}-57,5^{\circ}\text{W}$) ..109

LISTA DE SIMBOLOS

- a - raio médio da Terra (m)
- u - componente zonal do vento (ms^{-1})
- v - componente meridional do vento (ms^{-1})
- ζ - vorticidade relativa (s^{-1})
- ϕ - latitude (graus)
- λ - longitude (graus)
- Δ - operador nabla

LISTA DE ABREVIATURAS

- NMC - National Meteorological Center
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UFPB - Universidade Federal da Paraíba
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação
- DEPV - Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo
- CLIMANALISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática
- ZCIT - Zona de Convergência Intertropical
- UTC - Universal Time Coordinated
- hPa - Hecto Pascal
- NEB - Nordeste do Brasil
- NPD - Núcleo de Processamento de Dados

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Alguns pesquisadores, utilizando médias mensais, correlacionaram a circulação geral dos hemisférios norte e sul com o clima na Região Nordeste do Brasil, destacando-se: Namias (1972), Hastenrath e Heller (1977), Markhan e Maclain (1977), Moura e Shukla (1981). Na busca de um melhor entendimento dos mecanismos físicos responsáveis pela alta variabilidade pluviométrica do Nordeste, alguns autores conseguiram identificar características típicas da atmosfera em períodos com excesso ou escassez de precipitação. As anomalias na quantidade de precipitação na Região Nordeste do Brasil tem sido associada, dentre outros, a fatores tais como: a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Serra, 1946), a localização e intensidade do anticiclone do Atlântico Sul (Dean, 1971); a localização, deslocamento e intensidade dos vórtices ciclônicos da alta troposfera (Aragão, 1975); o deslocamento e intensidade dos sistemas frontais ao longo da costa leste da Região Nordeste (Kousky, 1979).

Os vórtices ciclônicos ou baixas frias da alta troposfera estão entre os principais sistemas de grande escala causadores de chuva no início da estação chuvosa do Nordeste, o que tem motivado seu estudo desde o início da década de 70. Sua alta frequência de ocorrência no período de verão é explicada pela

climatologia, já que o Nordeste é dominado por um cavado de ar superior nessa época do ano. Vários pesquisadores têm usado diferentes metodologias para diagnosticar e explicar as características dos vórtices ciclônicos da alta troposfera, tanto sob o ponto de vista climatológico quanto sinótico-dinâmico, para os hemisférios norte e sul.

No conjunto de trabalhos já realizados sobre vórtices ciclônicos da alta troposfera no Nordeste do Brasil é documentada a interligação entre esses sistemas e: (a) a presença na alta troposfera do par anticiclone da Bolívia - cavado à jusante, (b) a penetração na Região de sistemas frontais (assíntotas de confluência) provenientes de sul e (c) a orientação e intensidade da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul.

O trabalho de Dean (1971) foi o primeiro a documentar a presença de uma baixa fria (vórtice ciclônico) sobre o Nordeste, verificada através da análise de cartas médias mensais para o ano de 1969, nos níveis de 300 e 200 hPa. Dean concluiu que o surgimento desses vórtices ciclônicos estaria relacionado com a circulação geral de ambos os hemisférios. Assim, concorreria para o seu aparecimento a desintensificação dos ventos de leste da alta troposfera sobre o Atlântico Tropical causada pela substituição desses por ventos de oeste provenientes do hemisfério norte. O trabalho de Dean tem um enfoque essencialmente climatológico, apesar de se basear em apenas um ano de informações. Entretanto, os resultados encontrados por ele e outros autores (Davis, 1982; Rao e Bonatti, 1986; Anjos e Sobral, 1989) permitem formular a hipótese de que o

ciclo de vida de baixas frias individuais pode ser influenciado, direta ou indiretamente, por sistemas de circulação do hemisfério norte que atuam em escalas de tempo menores do que a climatológica. Há, por exemplo, evidências da influência de sistemas extratropicais do hemisfério norte sobre o tempo na Amazônia (Riehl, 1977; Gray e Clapp, 1978; Molion et al., 1987). Considerando que tal possibilidade ainda não foi explorada em relação aos ciclones de ar superior que atuam no Nordeste, este trabalho tem como objetivo investigar a existência de conexões entre esses sistemas e a circulação do hemisfério norte, com ênfase na escala de tempo sinótica.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O número de trabalhos já realizados sobre vórtices ciclônicos da alta troposfera nos hemisférios norte e sul é relativamente pequeno. A seguir, com o intuito de documentar as principais características sinótico-dinâmicas desses sistemas, é apresentada uma revisão de estudos observacionais relacionados com sua atuação no Nordeste do Brasil.

Dean (1971) foi o primeiro pesquisador a constatar a presença de uma baixa fria (vórtice ciclônico) sobre a Região Nordeste do Brasil, através da análise de cartas médias mensais para o ano de 1969, nos níveis de 850, 700, 500, 300 e 200 hPa. Ele detectou a presença de vórtices ciclônicos de núcleo frio nos níveis de 300 e 200 hPa, nos meses de novembro a março. Dean sugere que a formação dessas baixas é favorecida pelo enfraquecimento dos ventos de leste da alta troposfera sobre a porção tropical do Atlântico Sul os quais são substituídos por ventos de oeste oriundos do hemisfério norte, já a partir de outubro. Dean ainda ressalta que a baixa fria nos altos níveis atua como um sistema de grande escala que provoca chuvas na Região Nordeste do Brasil.

Aragão (1975) procurou identificar alguns aspectos da estrutura de sistemas sinóticos de grande escala que agem como mecanismos provocadores de precipitação na Região Nordeste do

Brasil estudando três períodos: dois considerados como sendo de chuva intensa - 19 a 30 de janeiro de 1970 e 18 a 29 de abril de 1970 - e um como sendo de estiagem - 1 a 10 de setembro de 1970. Análises subjetivas de linhas de corrente e isotacas serviram de base à obtenção de campos derivados de velocidade vertical, vorticidade e divergência. Foram elaboradas ainda cartas de nebulosidade e precipitação. Perfis verticais de temperatura potencial e temperatura potencial equivalente foram obtidos para várias estações de altitude do Nordeste do Brasil. Aragão observou que nos períodos de chuva intensa havia na troposfera da Região Norte-Nordeste do Brasil vórtices ciclônicos que se estendiam desde o nível de 700 hPa até o nível de 300 hPa e que movimentos ascendentes persistiam em toda a troposfera. Em contrapartida, no período de estiagem o anticiclone subtropical do Atlântico Sul dominava toda a baixa e média troposfera e havia movimentos ascendentes e descendentes que se alternavam na vertical.

Kousky e Gan (1981), utilizando imagens de satélite e dados em pontos de grade do National Meteorological Center (NMC) para o período de 1975 a 1979, fizeram um estudo sobre vórtices ciclônicos no hemisfério sul (casos em que havia nebulosidade bem definida), sendo que sua principal área de interesse foi a parte subtropical do Atlântico Sul e a Região Nordeste do Brasil. Eles constataram que não houve formação de vórtices ciclônicos da alta troposfera nos meses de maio a setembro. Observaram ainda uma maior frequência de formação desses sistemas nos meses de verão, sendo janeiro o mês com maior

número de casos, coincidindo com a época do ano em que o escoamento em 200 hPa na América do Sul tem componente meridional maior.

Gan (1982), dando continuidade ao trabalho anterior, determinaram a climatologia de vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuaram no Nordeste do Brasil no período de 1974 a 1981 e os processos dinâmicos de formação desses vórtices. Dados em pontos de grade do National Meteorological Center (NMC) das componentes meridional e zonal do vento para os níveis padrões entre 1000 e 200 hPa, permitiram a obtenção de cartas de vorticidade relativa e linhas de corrente que foram utilizadas em conjunto com imagens de satélite. Gan concluiu que no período de maio a agosto não ocorreram vórtices ciclônicos úmidos (vórtices com nebulosidade bem definida) e que a maior frequência de formação desses sistemas se deu nos meses de verão, sendo janeiro o mês de maior índice. Os resultados obtidos concordam quase que inteiramente com os de Kousky e Gan (1981), diferindo apenas no fato de que os mesmos não encontraram formação de vórtices ciclônicos úmidos no mês de setembro. Os autores sugerem que a formação dos vórtices está relacionada com a propagação de energia de onda no sentido sudoeste-nordeste.

Davis (1982), utilizando dados de vento derivados de imagens do satélite METEOSAT (no canal do vapor d'água e do infravermelho), estudou um vórtice ciclônico que atuou sobre o Nordeste do Brasil em fevereiro de 1979, concluindo que o sistema se formou devido ao estabelecimento de um fluxo de noro-

este que cruzava o equador, constituindo a circulação no setor oriental do vórtice ciclônico.

Rao e Bonatti (1986) examinaram a importância do mecanismo de instabilidade barotrópica na geração de vórtices ciclônicos da alta troposfera no período de dezembro de 1977 a fevereiro de 1978. Os valores encontrados para a troca de energia barotrópica indicam que, em média, e em alguns dias a energia cinética zonal é convertida em energia cinética da perturbação, sugerindo a ocorrência de instabilidade barotrópica. Por outro lado, o exame dos perfis do vento médio zonal revelou pequenas taxas de crescimento. Esse resultado fez com que os autores assinalassem outros possíveis mecanismos para a geração desses vórtices sendo uma delas a conexão lateral com o hemisfério norte.

Cavalcanti (1986) estudou as características meteorológicas associadas a precipitações intensas que ocorreram no Nordeste do Brasil no período de janeiro a abril de 1985. Os resultados encontrados mostraram que vários fatores influenciaram a ocorrência da precipitação, tais como: a Zona de Convergência Intertropical se encontrava mais ao sul em relação a sua posição média e mais intensa, a temperatura da superfície do mar no litoral do Nordeste estava mais alta do que a média, a alta subtropical do Atlântico Norte estava mais intensa, os sistemas frontais estacionaram na costa leste do Brasil, contribuindo para o aumento da convecção no sul do Nordeste do Brasil. Cavalcanti observou ainda a atuação de vórtices ciclônicos nos altos níveis e que a circulação anticiclônica na alta troposfera (anticiclone

da Bolívia) se apresentava deslocada para leste de sua posição média, favorecendo assim a ocorrência de convecção na Região Nordeste do Brasil.

Silva e Paz (1988) estudaram o caso de um vórtice ciclônico que atuou sobre a Região Nordeste do Brasil no período de 15 a 25 de dezembro de 1980, correlacionando os campos de vorticidade e advecção de vorticidade no nível de 500 hPa. Constataram existir uma relação entre o sentido do deslocamento do vórtice ciclônico e o núcleo de valores mínimos de advecção de vorticidade ciclônica, ou seja, que o vórtice se deslocava na direção desse núcleo. Observaram, ainda, que a formação do vórtice esteve associada ao escoamento gerado pelo anticiclone da Bolívia e que um sistema frontal contribuiu para a sua intensificação.

Anjos e Sobral (1989) estudaram o caso de um vórtice ciclônico que atuou na Região Nordeste do Brasil em novembro de 1986. Esse vórtice perdurou por vários dias e provocou elevados totais diários de precipitação em vários estados do Nordeste. Os resultados obtidos através da análise de linhas de corrente para os altos níveis sugerem que a formação do vórtice ciclônico não esteve relacionada apenas com a circulação do hemisfério sul já que é evidente a penetração na Região de ventos com componente de oeste oriundos do hemisfério norte.

Silva (1991) utilizou um modelo de diagnóstico para estudar a formação e desenvolvimento de vórtices ciclônicos da alta troposfera no Nordeste do Brasil, nos períodos de 15 a 30 de

dezembro de 1980 e 09 a 20 de dezembro de 1989. Foram empregadas cartas de linhas de corrente, vorticidade, advecção de vorticidade e temperatura, divergência de massa e de umidade. O autor observou que a intensidade do anticiclone da Bolívia e a posição e intensidade da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul foram fundamentais para a formação e manutenção dos sistemas. Os resultados sugerem que advecção de vorticidade ciclônica e advecção fria na média e alta troposfera sobre o Nordeste do Brasil contribuíram para a formação e manutenção dos vórtices.

Os estudos discutidos acima constituem um valioso acervo de conhecimentos sobre aspectos fundamentais dos vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam no Nordeste do Brasil. Por outro lado, o número total de trabalhos realizados é pequeno para que se possa definir certas características de forma a que sejam confiáveis (estáveis) sob o ponto de vista estatístico. Além disso, quase todos os trabalhos buscavam relacionar os vórtices com sistemas de circulação do hemisfério sul apenas. Assim, este trabalho visa contribuir através da realização do estudo de um caso com o principal objetivo de estabelecer relações entre a circulação do hemisfério norte e os ciclones da alta troposfera que atuam no Nordeste do Brasil.

CAPITULO 3

METODOLOGIA

3.1 - Dados Utilizados e Período de Estudo

Na realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

- a) Imagens diárias na banda do infravermelho do satélite GOES-W, adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
- b) Dados de precipitação total diária das estações climatológicas principais do Nordeste, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- c) Dados das componentes zonal(u) e meridional (v) do vento em pontos de grade gerados pelo National Meteorological Center (NMC) para o horário das 12:00 UTC e níveis padrões de 200 e 500 hPa, espaçados de 2,5 graus de latitude e longitude e cobrindo a área compreendida entre as longitudes de 102,5°W e 2,5°E e as latitudes de 37,5°N e 37,5°S, cedidos pelo Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- d) Mapas de superfície cedidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH) do Ministério da Marinha;

O período escolhido para estudo foi de 15 a 25 de novembro

de 1986. Uma análise preliminar desse período foi realizada por Anjos e Sobral (1989) que utilizaram dados de radiossonda da América do Sul para identificar a presença do sistema. Imagens de satélites meteorológicos e análises dos totais diários de precipitação também foram utilizadas. As análises mostraram que houve chuvas acima da normal nos estados de Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e sudeste do Ceará, com um índice maior no leste desses estados, conforme será visto mais adiante.

O Climate Diagnostics Bulletin do NMC relativo ao mês de novembro de 1986 apresenta no campo do vento médio em 200 hPa (Fig. 3.1) fortes ventos de oeste-noroeste sobre a parte central América do Sul, um cavado bem definido sobre o Nordeste e fortes ventos de sudoeste-oeste sobre o norte da África. No campo das anomalias (Fig. 3.2) é evidente a presença de dois núcleos sobre a América do Sul: um anticiclônico, localizado sobre o centro-leste do continente e outro ciclônico situado sobre o Nordeste e região oceânica adjacente. Anomalias de oeste-sudoeste podem ser vistas sobre todo o Atlântico Equatorial Sul enquanto que o norte da África apresenta anomalias de sul-sudoeste. É importante também assinalar a presença de uma anomalia ciclônica sobre o Mar do Caribe e de ventos anômalos de nordeste sobre o Pacífico Equatorial Norte. Esse conjunto de anomalias caracteriza uma situação de bloqueio sobre o centro-leste da América do Sul, o cavado médio do Nordeste com amplitude acima da média e maior intensidade do jato do norte da África.

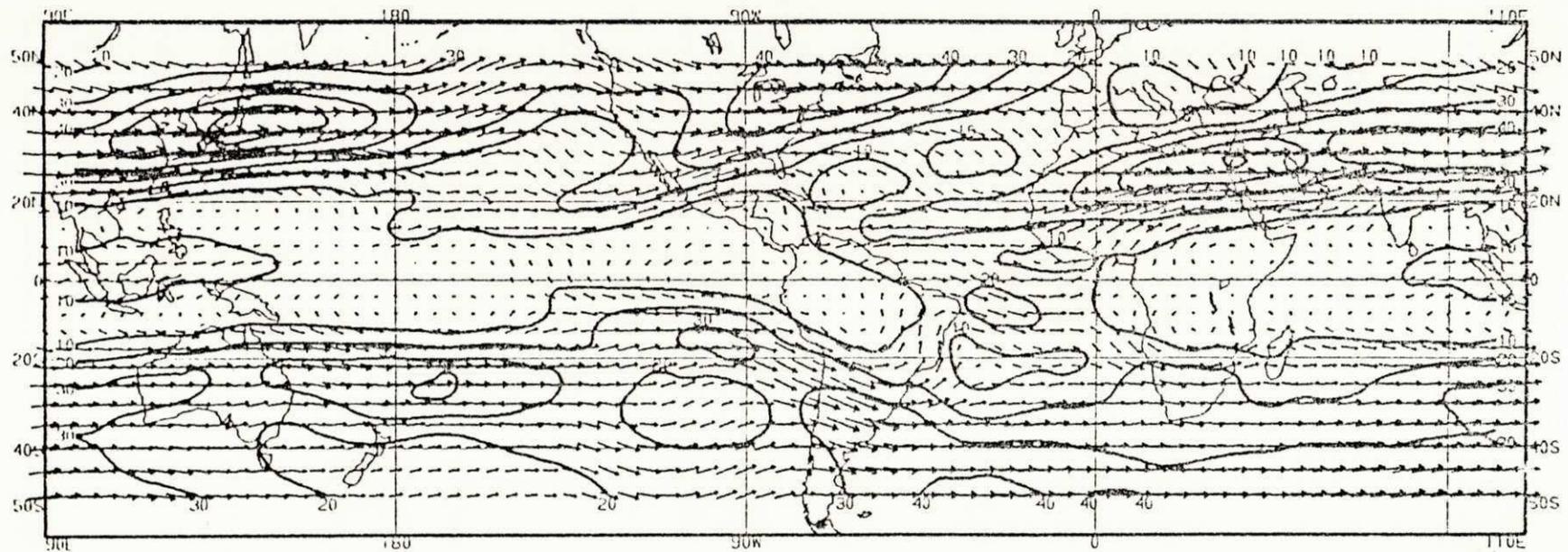


Fig. 3.1 - Vetor vento em 200 hPa para novembro de 1986 (análise final do NMC). Os ventos são analisados em uma grade de 2.5° e interpolados para cada 5° em projeção. Mercator. O comprimento de um vetor de 5° de longitude representa uma velocidade do vento de 20ms⁻¹. O intervalo de análise das isotacas é de 10ms⁻¹. (Fonte: NMC, 1986).

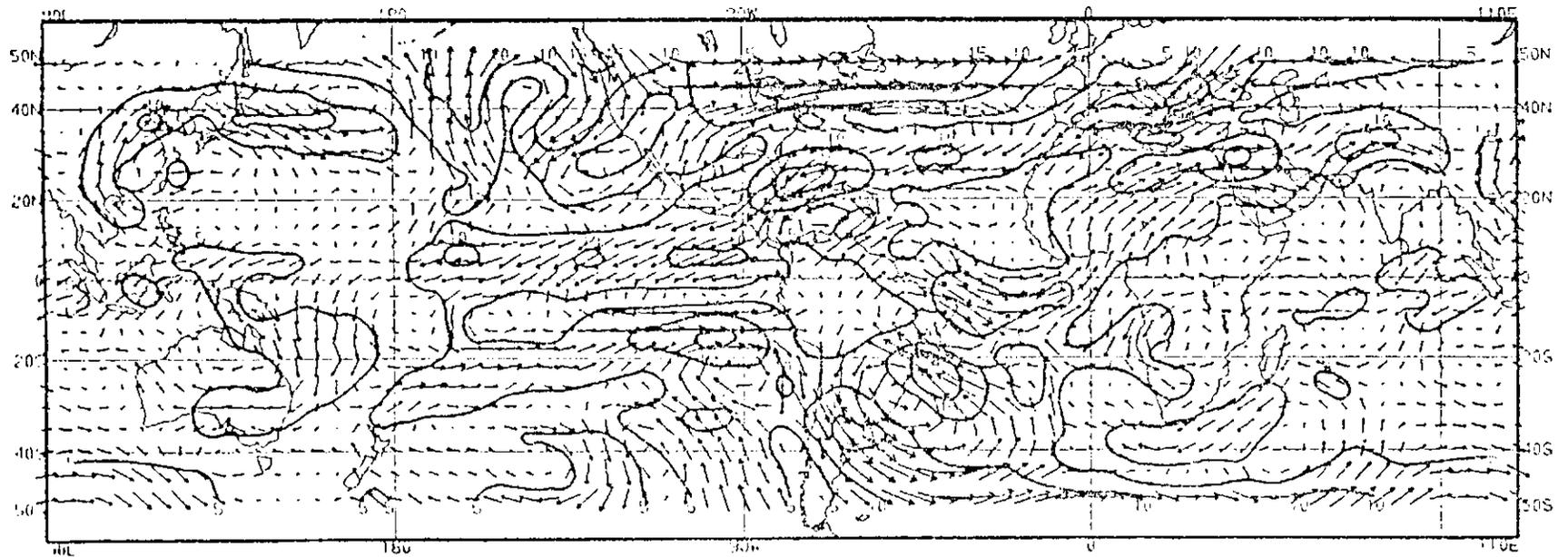


Fig. 3.2 - Anomalia do vetor vento em 200 hPa para novembro de 1986 (análise final do NMC), baseada em médias mensais para o período de 1968-1983. O comprimento do vetor de 5^o de longitude representa uma velocidade do vento de 6,25ms⁻¹. O intervalo de análise das isotacas é de 5ms⁻¹. (Fonte: NMC, 1986).

3.2 - Métodos de Análise

A escassez de dados sinóticos convencionais sobre as grandes extensões oceânicas dos dois hemisférios dificulta um estudo detalhado do ciclo de vida dos vórtices ciclônicos dos altos níveis que influenciam o Nordeste do Brasil. Neste estudo essa dificuldade foi contornada com o uso de dados em pontos de grade além de que foi dada especial atenção às imagens de satélite, já que elas permitem o acompanhamento dos sistemas desde a fase de formação da nebulosidade a eles associada até sua dissipação.

Análises dos campos do vento, vorticidade relativa e divergência horizontal nos níveis de 200 e 500 hPa foram elaboradas para servir de base ao diagnóstico.

As componentes zonal e meridional do vento foram utilizadas no cálculo da vorticidade relativa e da divergência em coordenadas cartesianas, através do método de diferenças finitas centradas. Nesses cálculos foi usada uma malha de nove pontos como a ilustrada abaixo.

$i+1^*,j-1$ $i+1^*,j$ $i+1^*,j+1$

$i^*,j-1$ i^*,j $i^*,j+1$

$i-1^*,j-1$ $i-1^*,j$ $i-1^*,j+1$

A vorticidade relativa em coordenadas cartesianas (VR) no ponto (i,j) foi obtida da seguinte expressão em diferenças finitas $VR(i,j) = \frac{\Delta v(i,j)}{\Delta x} - \frac{\Delta u(i,j)}{\Delta y}$

sendo que

$$\Delta v(i,j) = v(i, j+1) - v(i, j-1)$$

$$\Delta x(i,j) = x(i, j+1) - x(i, j-1)$$

$$\Delta u(i,j) = u(i+1, j) - u(i-1, j)$$

$$\Delta y(i,j) = y(i+1, j) - y(i-1, j)$$

O erro de aproximação cometido quando se utiliza coordenadas cartesianas em lugar de coordenadas esféricas pode ser estimado da seguinte forma:

$$V_{rel} = \frac{\Delta v}{\Delta x} - \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{u \operatorname{tg} \phi}{a}$$

a = raio médio da Terra

ϕ = latitude

V_{rel} = Vorticidade relativa em coordenadas esféricas

Sabendo que

$$\phi = 10^\circ$$

$$a \approx 6 \times 10^6 \text{ m}$$

então

$$\frac{u \operatorname{tg} \phi}{a} = \frac{10 \text{ ms}^{-1} \times \operatorname{tg}(10^\circ)}{6 \times 10^6 \text{ m}} = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Assim,

$$V_{rel} = VR + \frac{u \operatorname{tg} \phi}{a} = 10^{-6} \text{ s}^{-1} + 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Logo,

$$V_{rel} \approx VR + 0,1 \times VR$$

A divergência horizontal em coordenadas cartesianas (D) no ponto (i,j) foi obtida da seguinte expressão em diferenças finitas

$$D(i,j) = \frac{\Delta u(i,j)}{\Delta x} + \frac{\Delta v(i,j)}{\Delta y}$$

sendo que

$$\Delta u(i,j) = u(i, j+1) - u(i, j-1)$$

$$\Delta x(i,j) = x(i, j+1) - x(i, j-1)$$

$$\Delta v(i,j) = v(i+1, j) - v(i-1, j)$$

$$\Delta y(i,j) = y(i+1, j) - y(i-1, j)$$

Em analogia com o que foi feito para a vorticidade relativa, o erro de aproximação cometido quando se utiliza coordenadas cartesianas em lugar de coordenadas esféricas pode ser estimado da seguinte forma

$$DH = \frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} - \left(\frac{v}{a} \right) \operatorname{tg} \phi$$

onde DH é a divergência horizontal em coordenadas esféricas.

Foram analisadas seções longitude-tempo da componente meridional do vento em 200 hPa, para as latitudes de 20°S, 10°S, 0°, 10°N e 20°N. Elas foram utilizadas na obtenção do valor aproximado da velocidade de deslocamento dos sistemas

(cristas/cavados). Essa velocidade é dada pela razão entre a extensão longitudinal (em graus) percorrida pelos sistemas e o tempo gasto (em dias) nesse deslocamento.

Foi documentada ainda a evolução temporal da vorticidade relativa no nível de 200 hPa. Como pontos de referência escolheu-se, dentre aqueles próximos ao centro da baixa fria, os que possuíam maior vorticidade relativa no dia da formação do vórtice, que foram os pontos de coordenadas (15,0°S-52,5°W), (5,0°S-30,0°W), (17,5°N-45,0°W), (10,0°N-22,5°W), (2,5°N-57,5°W).

CAPITULO 4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 - Cartas de Superfície e Imagens de Satélite

As análises de superfície mostram que durante os primeiros nove dias do mês de novembro o anticiclone do Atlântico Sul dominava a Região Nordeste. Os sistemas frontais oriundos de sul deslocavam-se para o oceano ao atingir a Região Sudeste.

A situação começa a mudar no dia 10, quando um sistema frontal atuava no Estado de São Paulo (Fig. 4.1). Esse sistema se deslocou rapidamente para nordeste atingindo latitudes entre Salvador e Aracaju no dia 13 (Fig. 4.2), onde permaneceu estacionário nos dias 14 e 15. Ventos de sul-sudeste na retaguarda da frente no dia 13 (Fig. 4.2) são um forte indicador de sua presença no litoral leste do Nordeste. No dia 16 (Fig. 4.3) a frente perde intensidade vindo a dissipar-se no dia 18 (Fig. 4.4). Nesse dia, um sistema frontal pode ser visto na altura da baía do Rio da Prata. Esse sistema atinge o sul de Minas Gerais no dia 21 (Fig. 4.5) com pouca nebulosidade a ele associada (Fig. 4.6b).

Por outro lado, a partir do dia 20 é possível identificar em imagens de satélite (Fig. 4.6) a presença de um vórtice ciclônico da alta troposfera com convecção organizada ocupando as porções norte e leste da Região Nordeste. A cobertura de nuvens vista nas imagens de satélite mostra uma boa concordância com o campo da precipitação total observada no período de 21 a 25 de novembro de 1986 (Fig. 4.7).

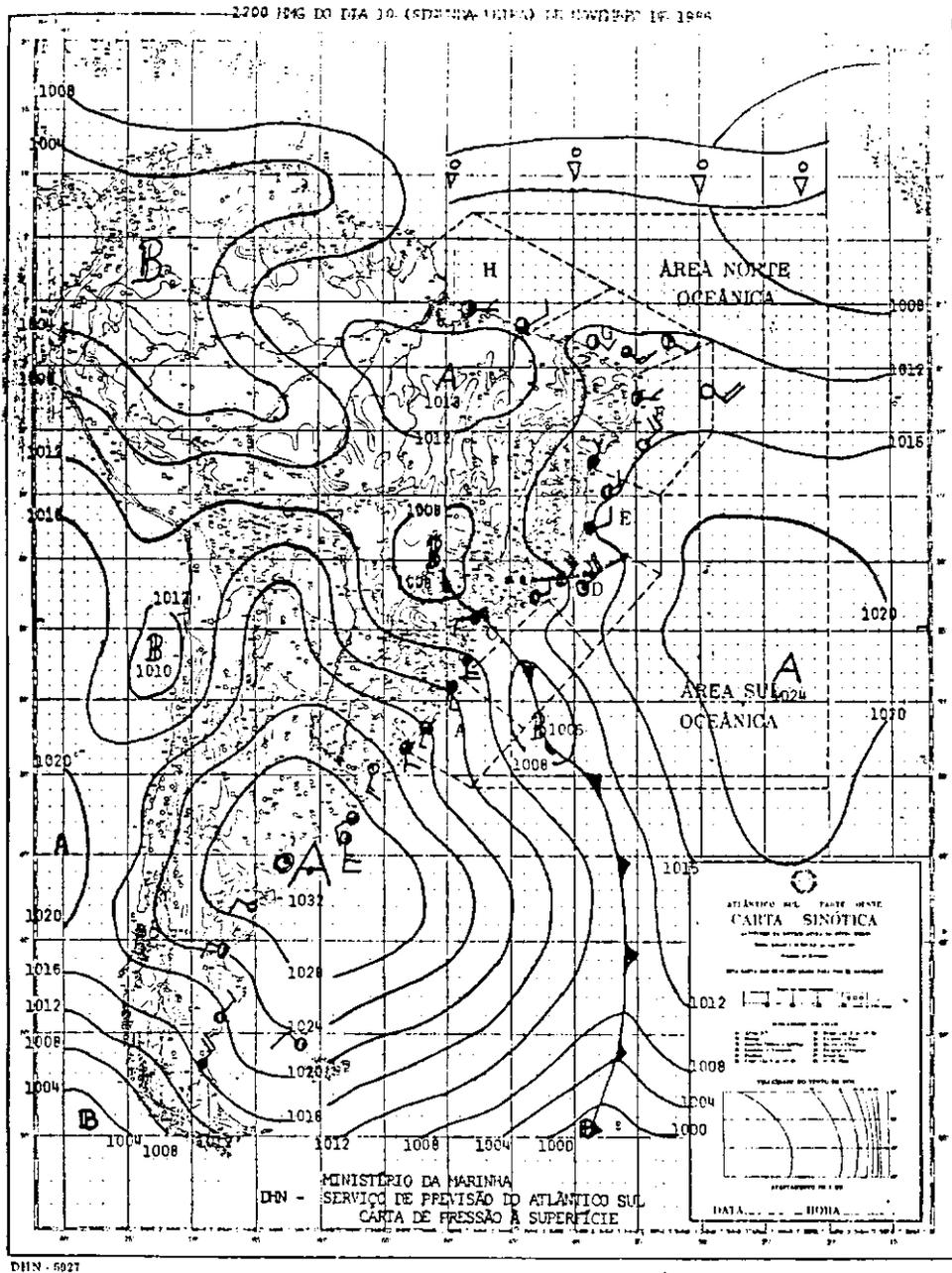
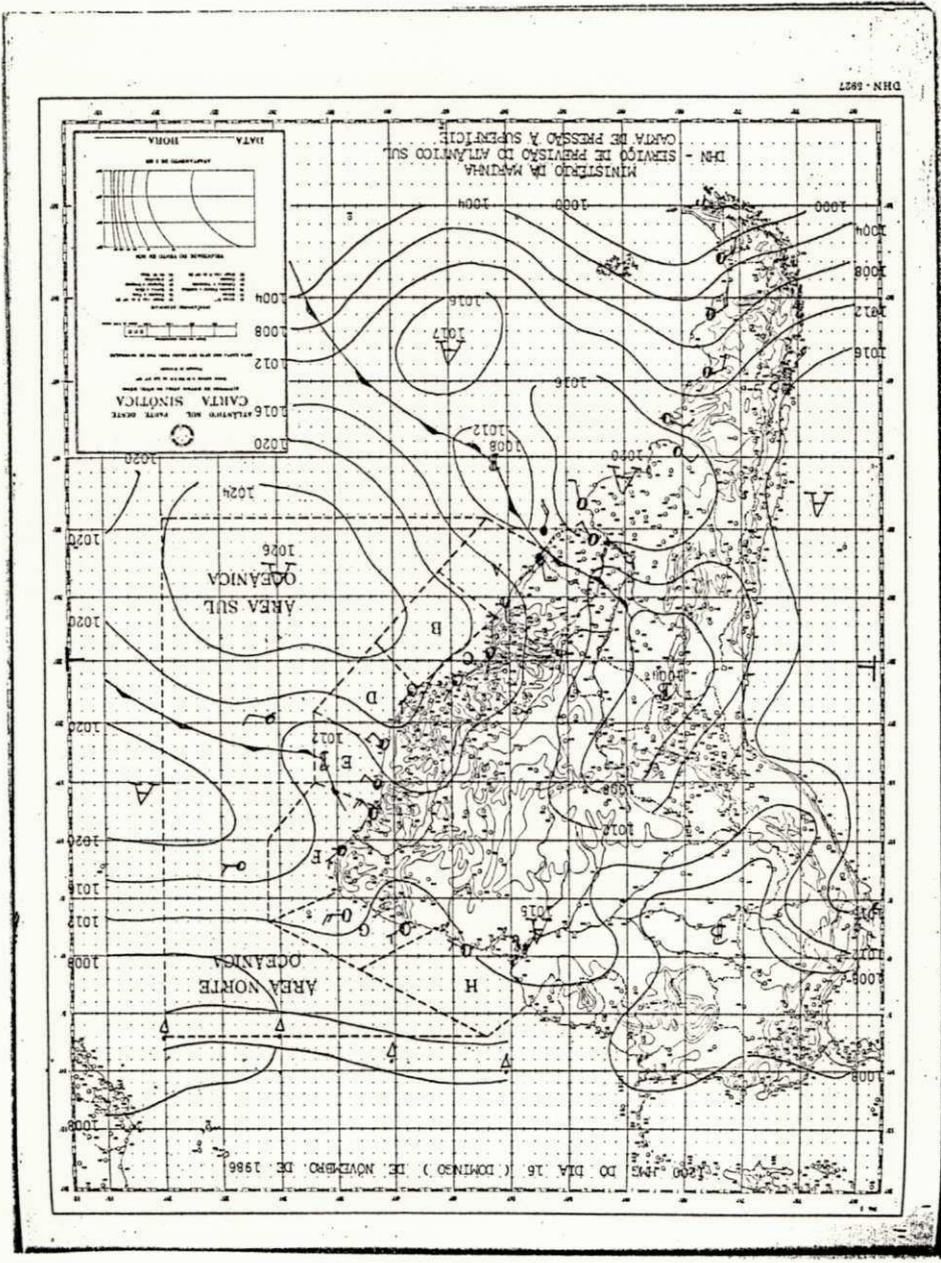


Fig. 4.1 - Carta de superfície para as 12:00 UTC do dia 10/11/86.
(Fonte: DHN, 1986).

Fig. 4.3 - Carta de superfície para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. (Fonte: DHN, 1986).



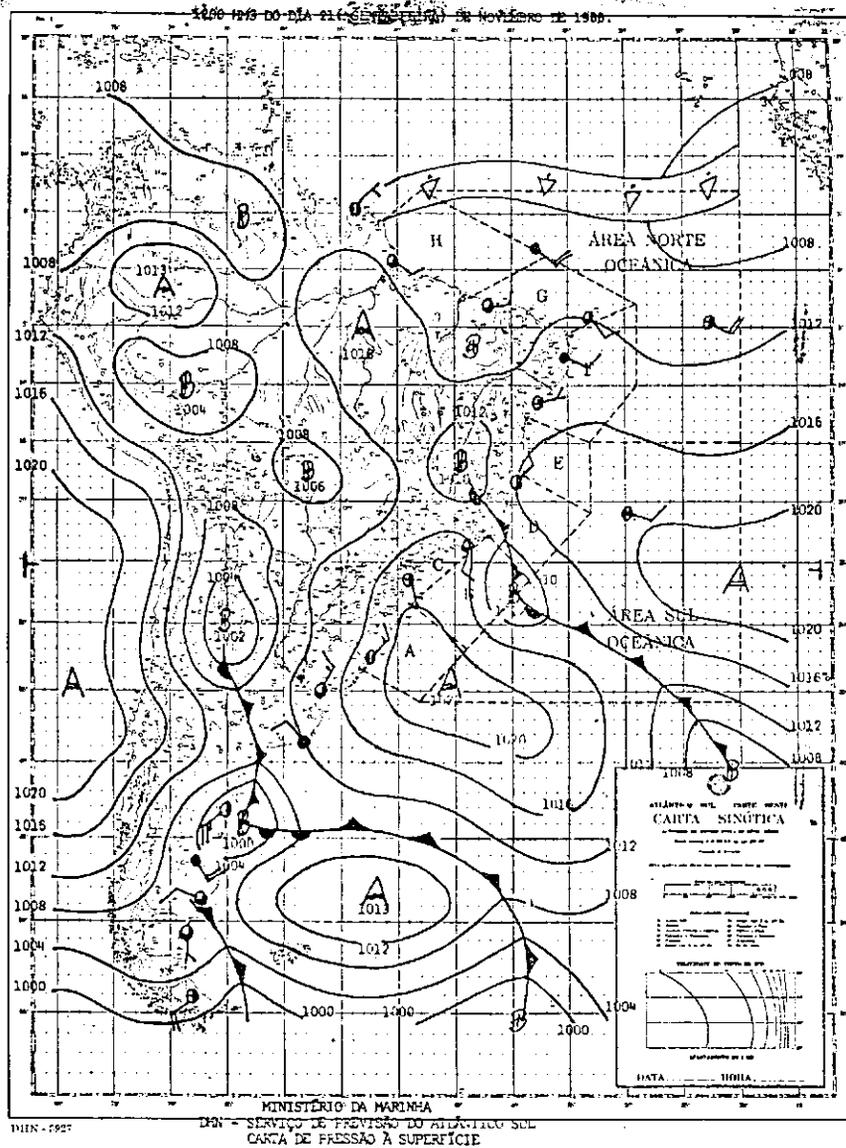
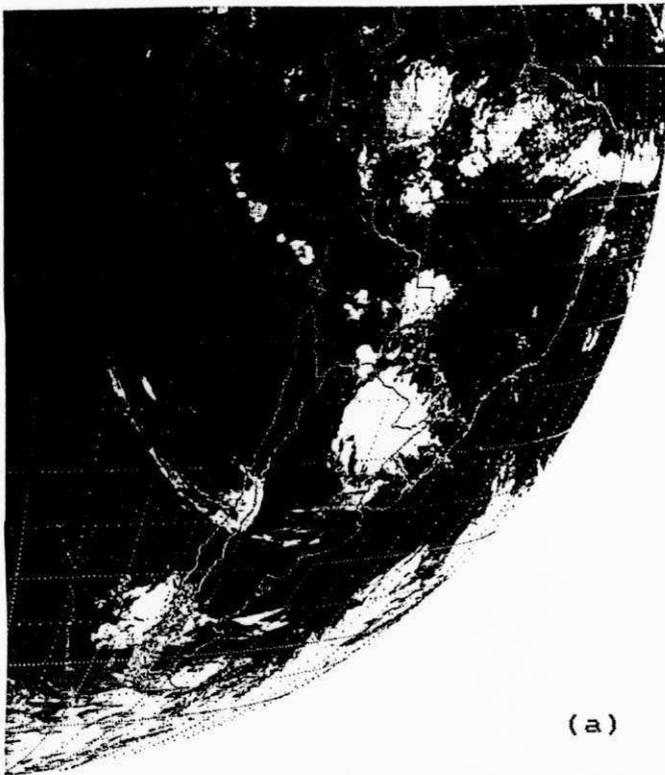


Fig. 4.5 - Carta de superfície para as 12:00 UTC do dia 21/11/86.
(Fonte: DHN, 1986).



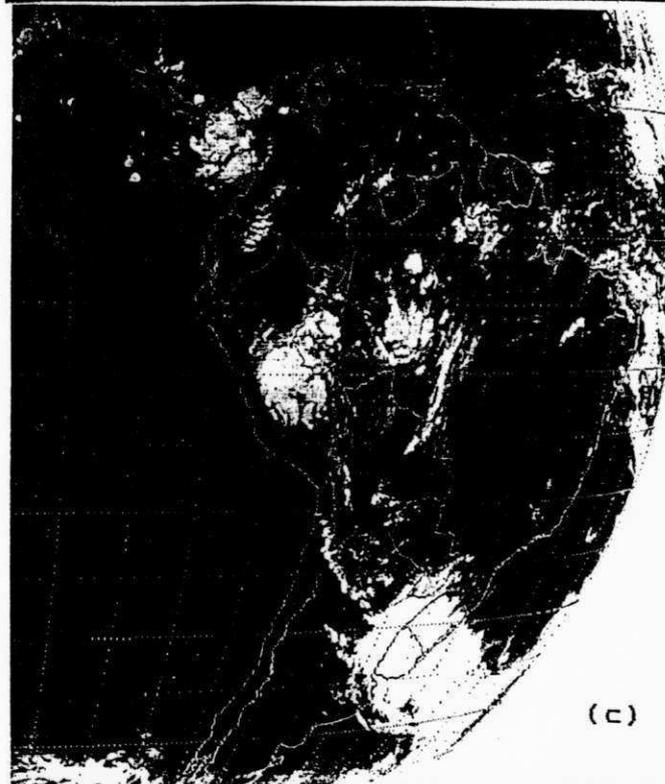
(a)



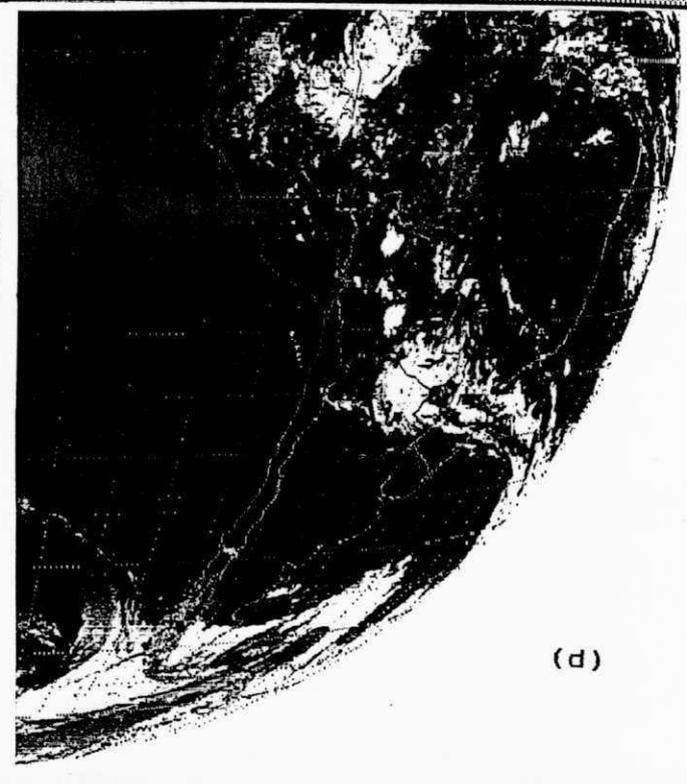
(b)

CP GOES-W 86-324 12:00

CP GOES-W 86-325 12:00



(c)



(d)

CP GOES-W 86-326 13:00

CP GOES-W 86-327 12:00

Fig. 4.6 - Imagens do satélite GOES-OESTE na banda do infravermelho para as 12:00 UTC do dia: a) 20/11/86, b) 21/11/86, c) 22/11/86 e d) 23/11/86.

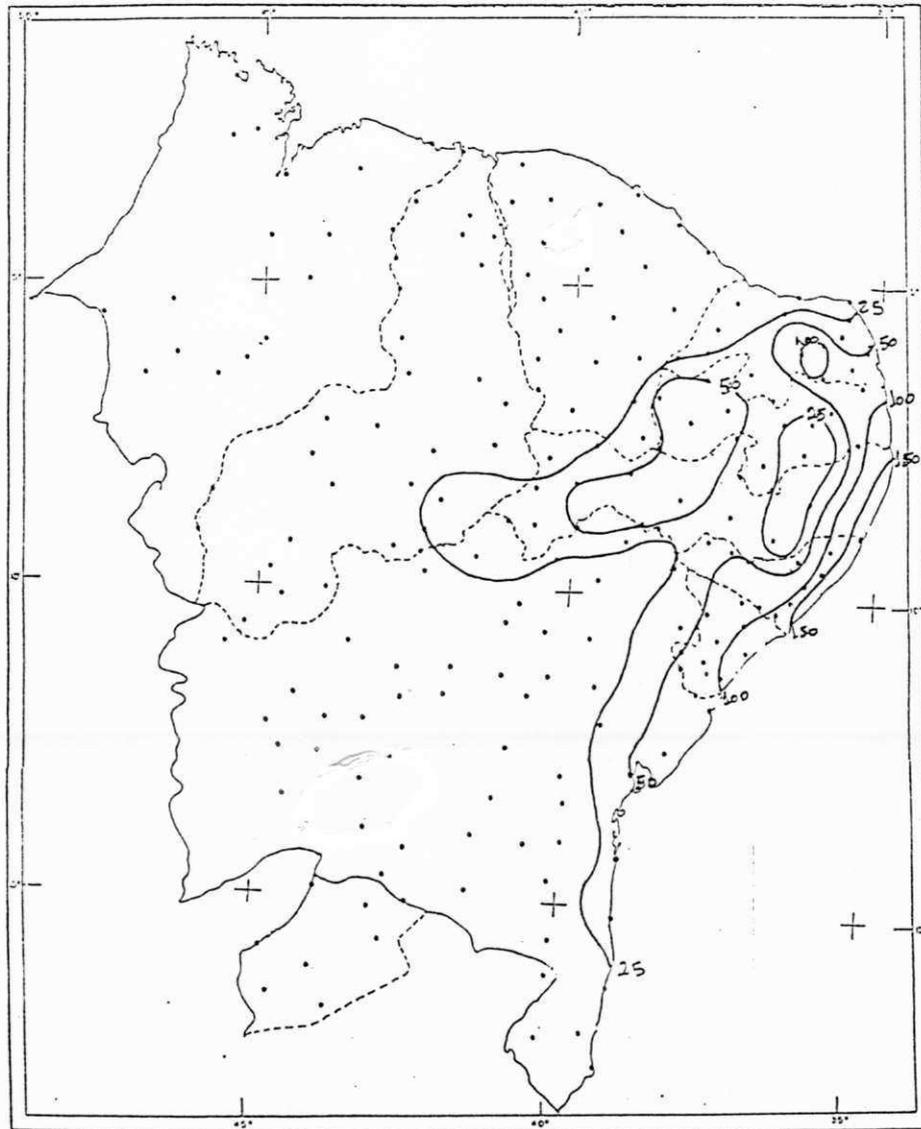


Fig. 4.7 - Precipitação total acumulada (mm) no período de 21 a 25 de novembro de 1986.

4.2 - Análises do Vento, Componente Vertical da Vorticidade Relativa e Divergência Horizontal nos Níveis de 200 e 500 hPa

Esta seção contém uma discussão detalhada da evolução temporal e espacial dos sistemas atmosféricos presentes na área de estudo. O leitor interessado em obter, a princípio, uma visão geral da situação estudada poderá se beneficiar lendo inicialmente o capítulo 5.

As diferentes análises apresentadas a seguir abrangem a mesma extensão longitudinal (0° a 100° W), enquanto que o mesmo não acontece com a cobertura latitudinal.

Os campos de vorticidade e divergência são apresentados na banda latitudinal de 35° N a 35° S, enquanto que as análises do campo do vento (linhas de corrente) abrangem a faixa de 20° N a 20° S, o que permitiu obter uma escala adequada para a representação dos vetores vento.

4.2.1 - Análises para o nível de 200 hPa

(a) Dia 15/11/86

As linhas de corrente (Fig. 4.8) mostram um cavado na porção oeste da América do Sul e um fraco cavado no leste do Brasil. Esse último está presente no campo da vorticidade relativa (Fig. 4.9a) na forma de uma área de vorticidade ciclônica, que cobre grande parte da região su-

deste e se prolonga sobre o Oceano Atlântico.

No hemisfério norte, há um par de anticiclones flanqueado por dois cavados, um dos quais está situado ao norte da América do Sul. Um dos anticiclones está centrado em torno de $(8^{\circ}\text{N}-26^{\circ}\text{W})$ e o outro em $(12^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{W})$. Uma área de vorticidade positiva orientada de noroeste-sudeste é vista em associação aos cavados.

Um vórtice anti-horário pode ser visto a noroeste da América do Sul, na faixa equatorial. É boa a concordância entre a localização dos anticiclones/cavados e os núcleos de divergência/convergência (Fig. 4.9b).

(b) Dia 16/11/86

De maneira geral, o campo do vento deste dia (Fig. 4.10) difere pouco daquele do dia anterior. Uma das exceções é o cavado com eixo orientado de noroeste-sudeste que domina grande parte do continente. Essa configuração sugere o alinhamento entre dois sistemas já presentes no dia 15: o cavado no leste do Brasil e a circulação à leste do vórtice situado a noroeste da América do Sul. Esse alinhamento parece ter sido favorecido pela amplificação e reorientação do cavado anteriormente situado ao norte da América do Sul. Os campos derivados refletem essas alterações sendo que o da divergência, em particular, apresenta núcleos negativos mais intensos em associação aos dois cavados citados.

No Atlântico Norte, houve dissipação de um dos anticiclones

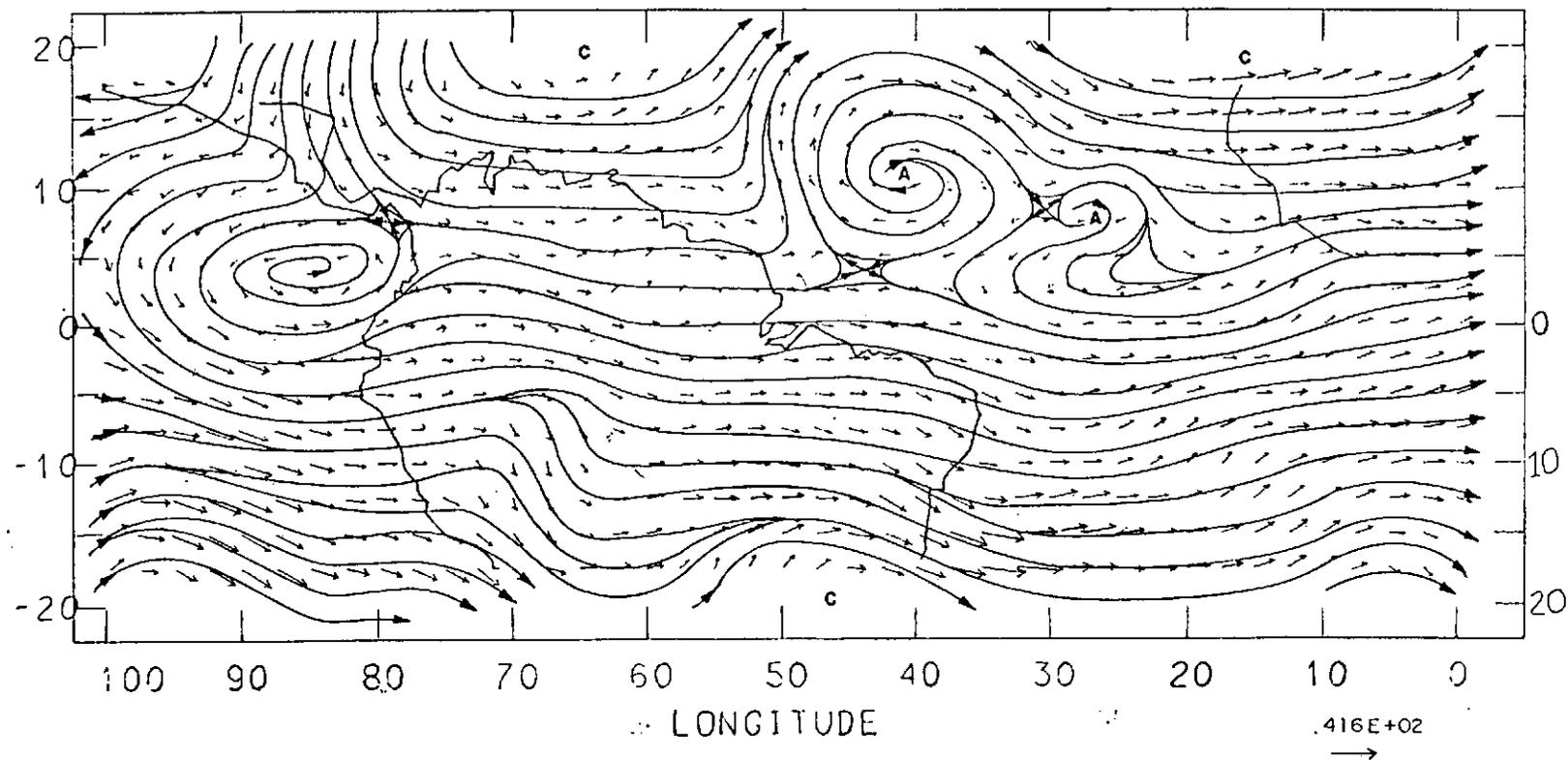


Fig.4.8 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

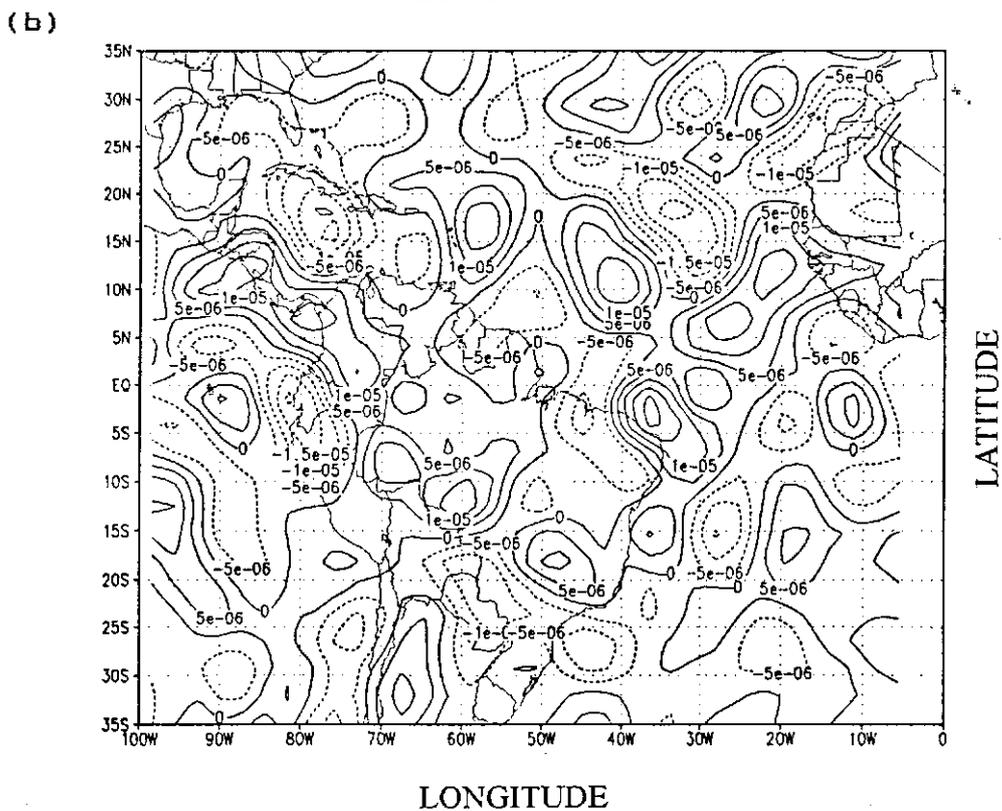
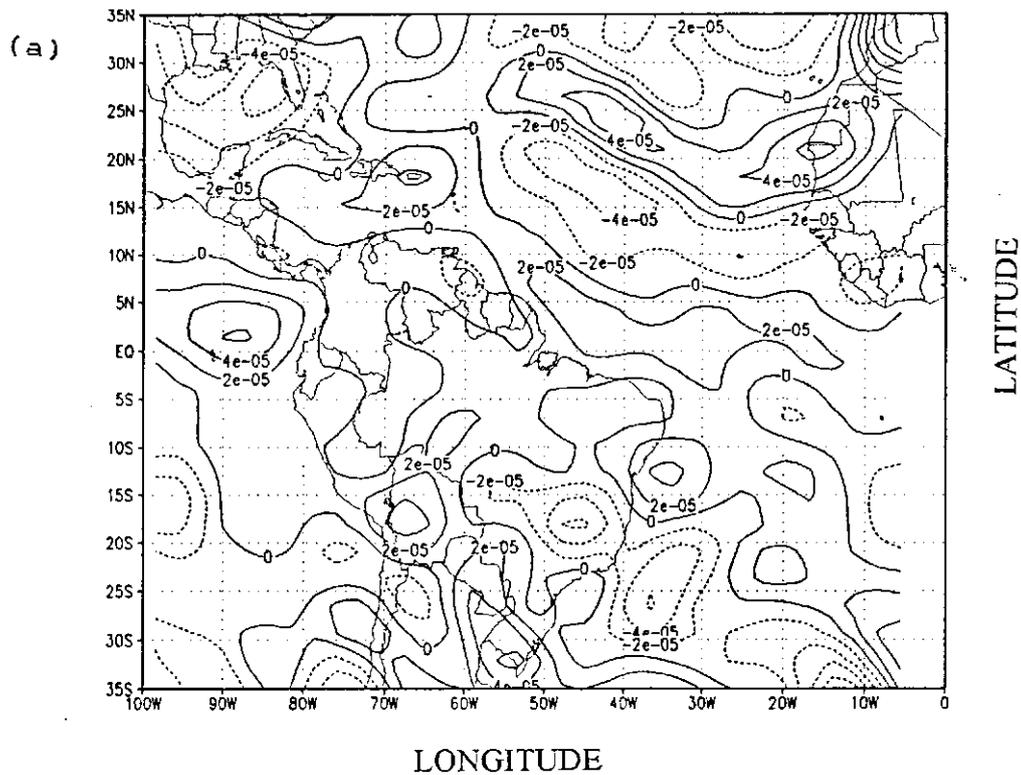


Fig.4.9 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

sendo que o campo de vorticidade é semelhante ao do dia 15. O campo da divergência apresenta maior organização nas áreas de convergência/divergência.

É evidente neste dia a presença de escoamento inter-hemisférico sobre o Pacífico.

(c) Dia 17/11/86

O escoamento deste dia (Fig. 4.12) apresenta sensíveis mudanças em relação ao dia anterior. Dissipou-se o anticiclone anteriormente situado sobre o Atlântico Norte, de forma que o hemisfério se apresenta dominado por dois cavados que tem associados intensos núcleos de convergência (Fig. 4.13b) e vorticidade ciclônica (Fig. 4.13a).

O cavado situado sobre a América do Sul aparece amplificado se estendendo até o hemisfério norte. Paralelamente, a crista a sua retaguarda sofreu considerável amplificação, se alinhando com o vórtice localizado a noroeste do continente.

Existe boa concordância entre as áreas de vorticidade anticiclônica/ciclônica e a posição da crista/cavado (Fig. 4.13a). Também no caso da divergência é boa a concordância na área da crista e do cavado (Fig. 4.13b).

A presença de escoamento inter-hemisférico é particularmente evidente sobre o noroeste da América do Sul.

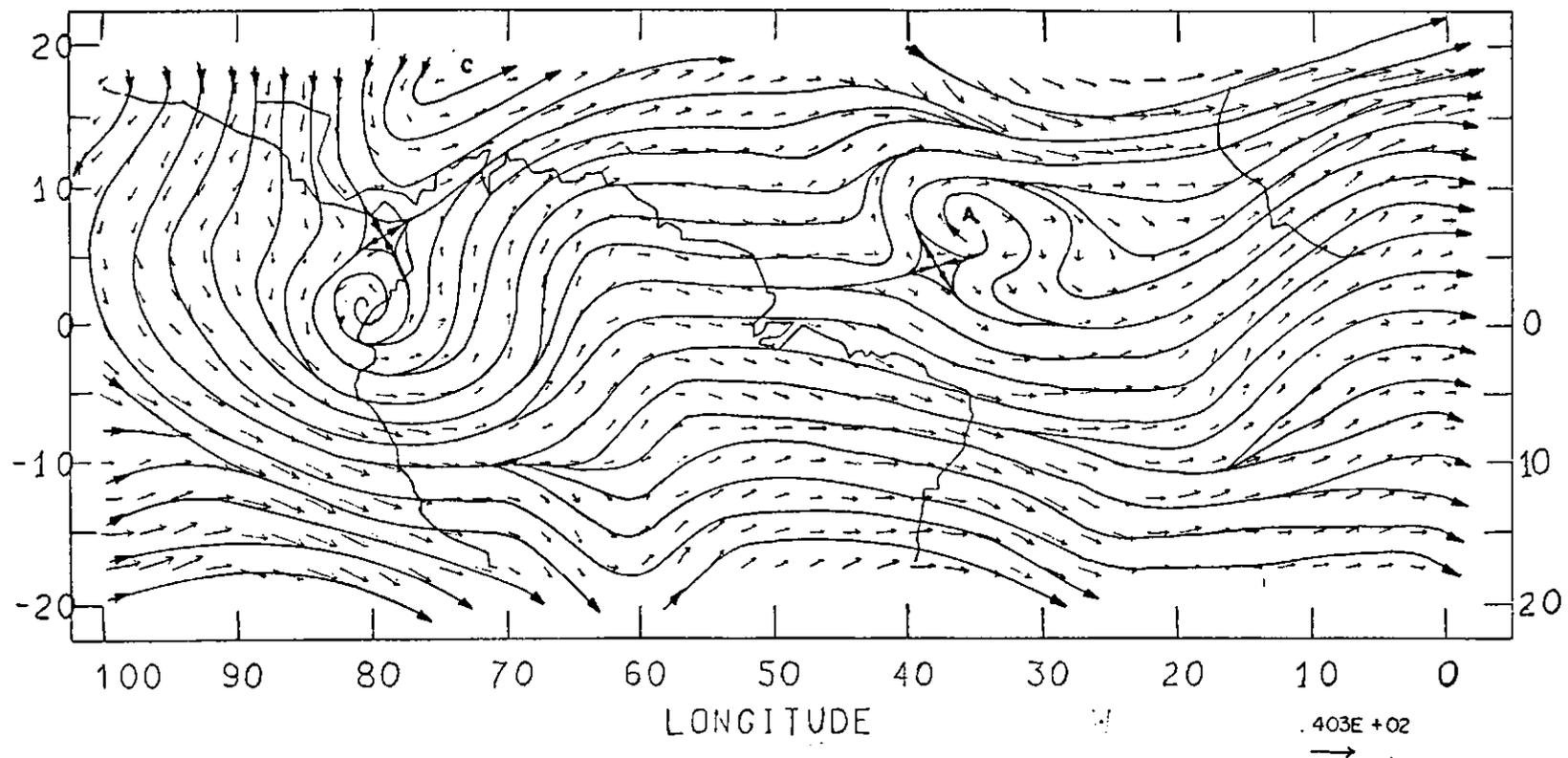


Fig.4.10 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

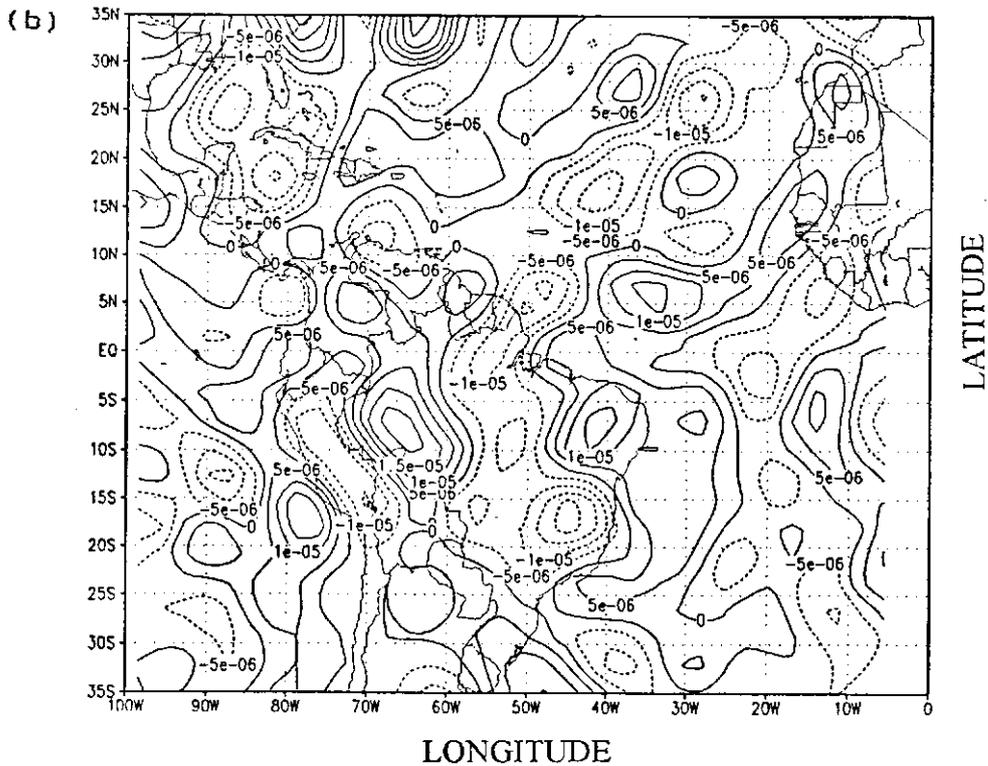
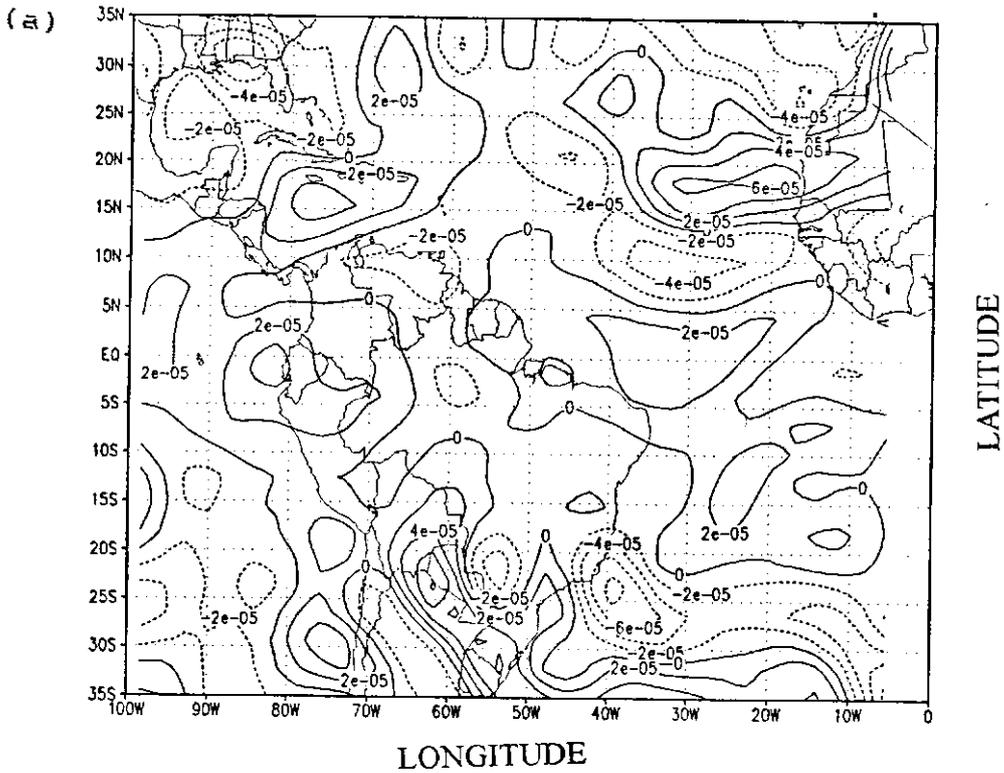


Fig.4.11 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} s^{-1}$ b) $5 \times 10^{-6} s^{-1}$

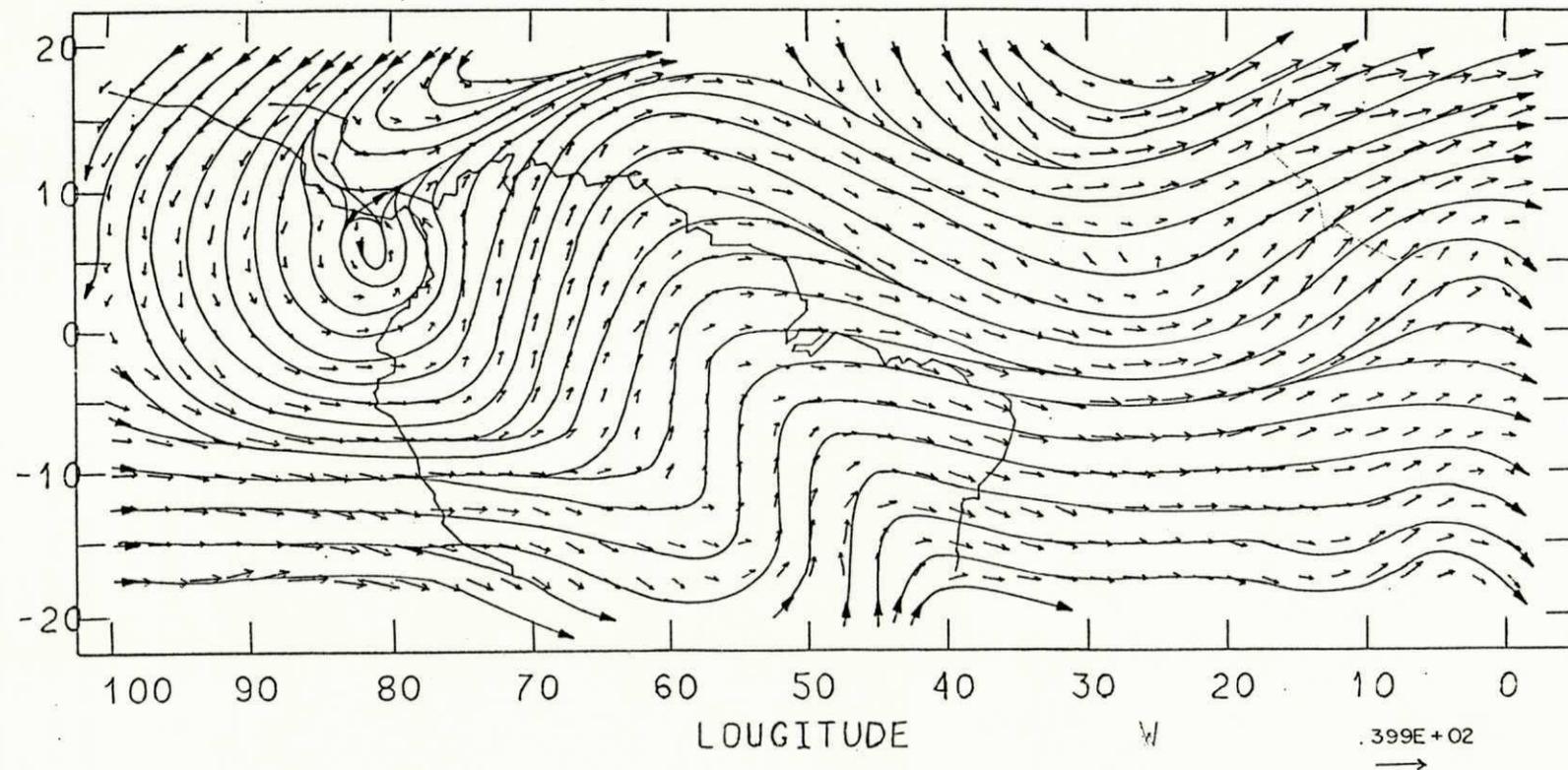


Fig.4.12 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

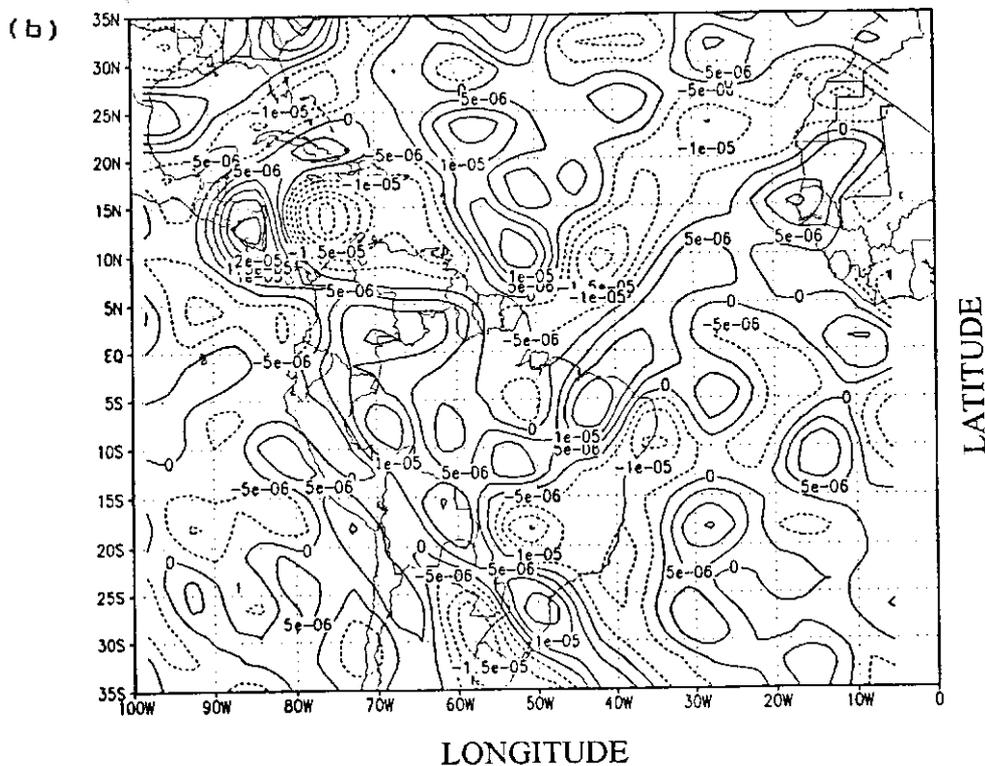
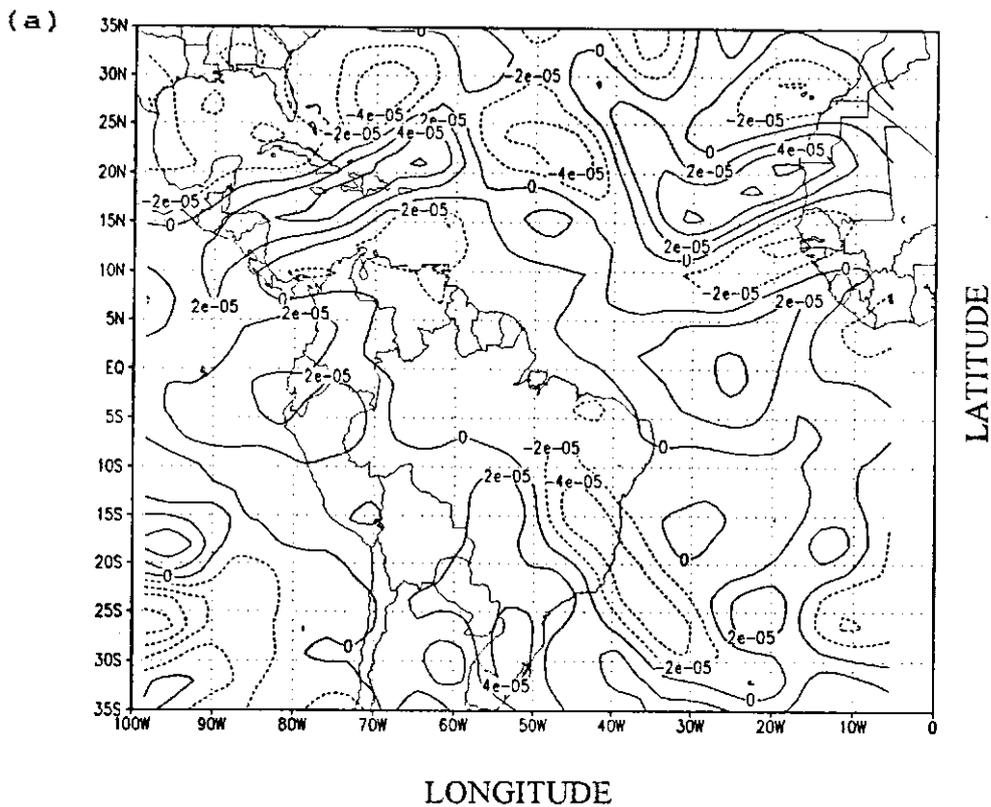


Fig.4.13 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$

(d) Dia 18/11/86

O campo do vento deste dia (Fig. 4.14) é semelhante ao do dia 17, com as seguintes exceções: a formação do vórtice ciclônico desprendido com centro em torno de (3°S-58°W), a reorientação do vórtice anti-horário situado a noroeste da América do Sul e o aprofundamento do cavado do Atlântico Norte.

É importante assinalar que, a partir deste dia e até o dia 21, a configuração do campo do vento na área do Atlântico se assemelha a de uma onda de Rossby com propagação para oeste (Matsuno, 1966; Liebmann e Hendon, 1990).

No hemisfério sul, é boa a concordância entre o campo da vorticidade e o campo do escoamento (Fig. 4.15a), já que existe vorticidade ciclônica na área do cavado. A concordância também é boa no hemisfério norte. Um núcleo positivo agora mais intenso está presente a sul-sudeste do eixo do cavado do Atlântico Norte enquanto que existe à retaguarda do mesmo um centro negativo associado ao cavado amplificado.

O campo da divergência (Fig. 4.15b) mostra núcleos cuja existência é explicada, em sua maior parte, pelo cisalhamento horizontal do vento. No caso do cavado amplificado, isso é particularmente evidente na área do Nordeste, onde há alternância entre núcleos positivos (situados nas áreas em que o vento aumenta de intensidade) e negativo (situado onde o vento diminui de intensidade).

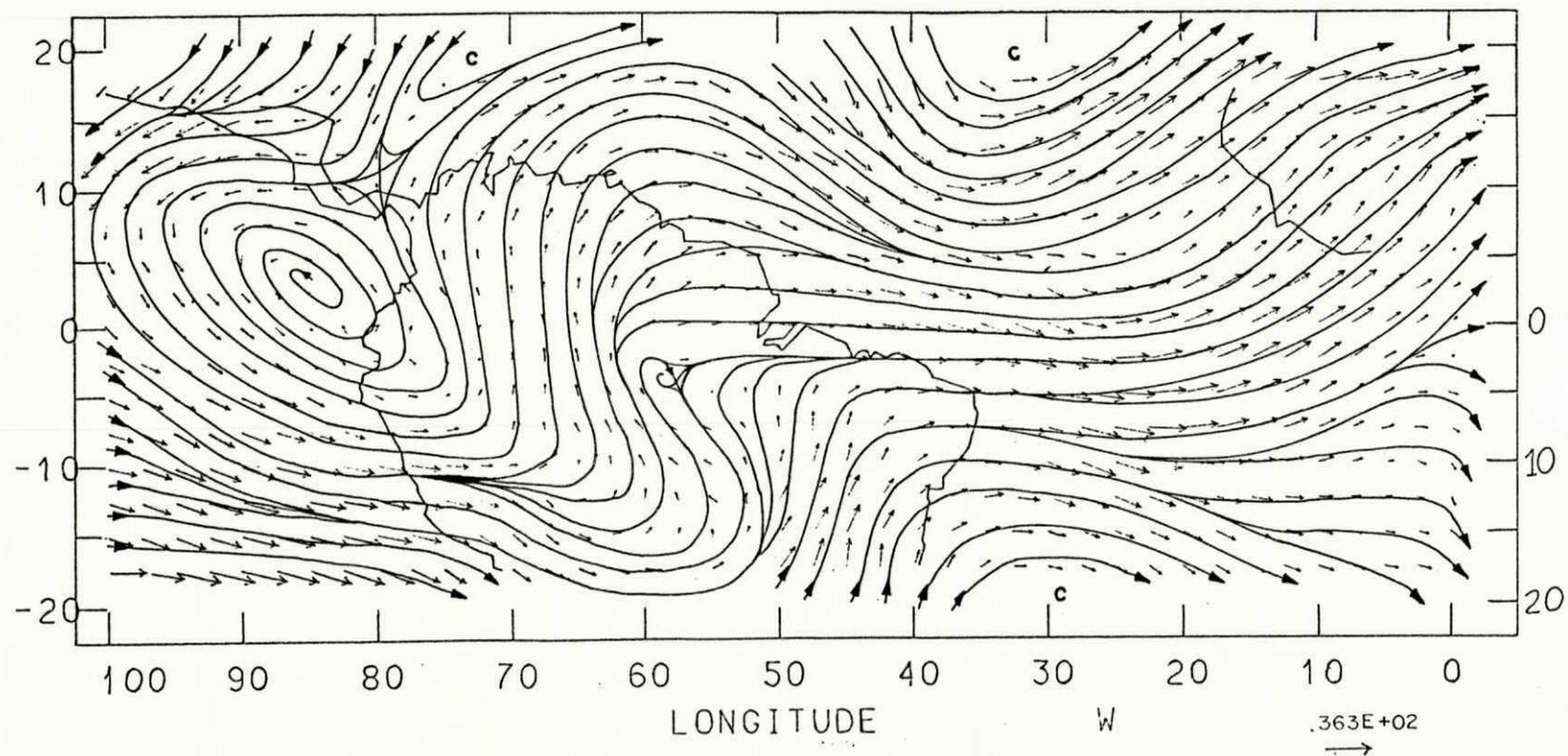


Fig.4.14 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

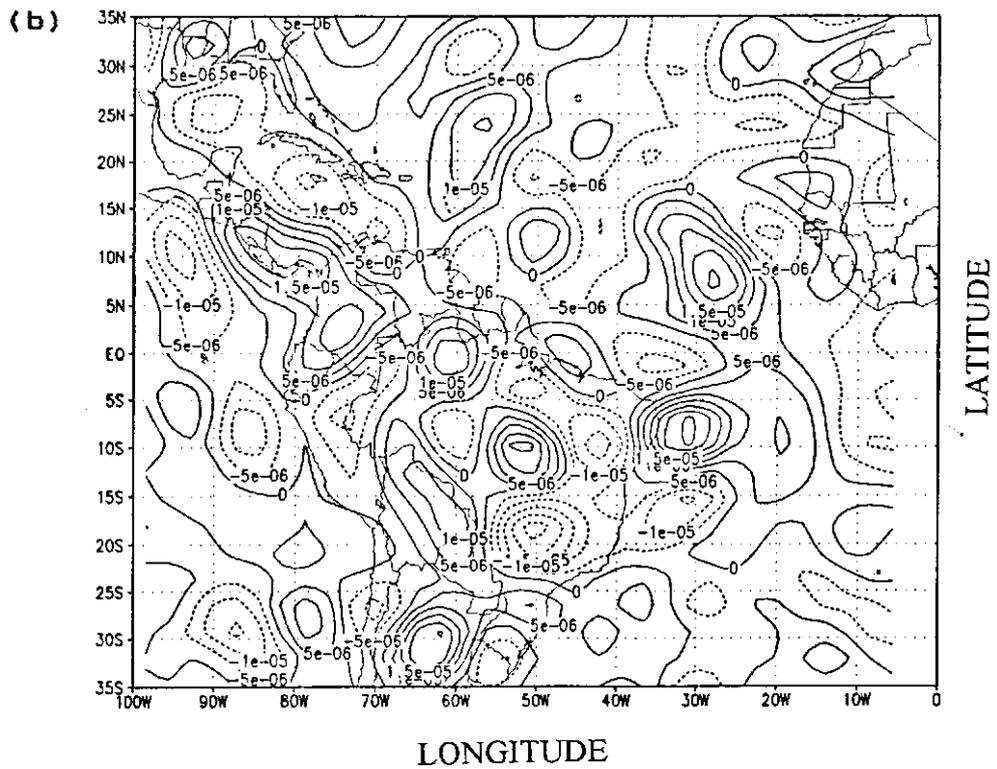
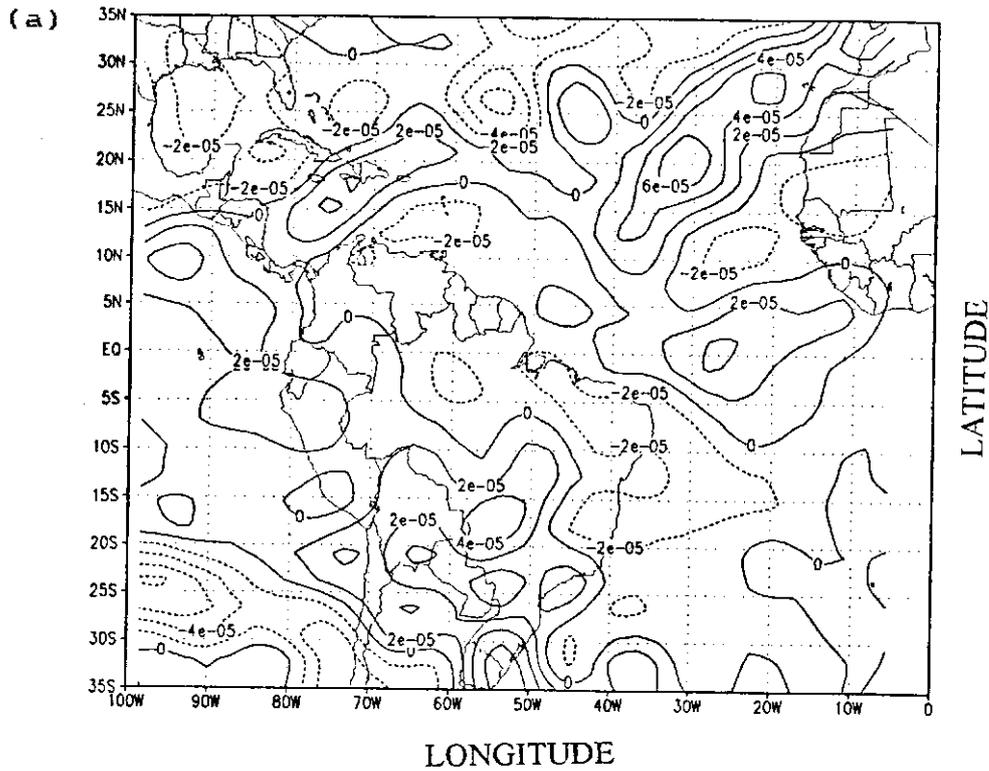


Fig.4.15 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

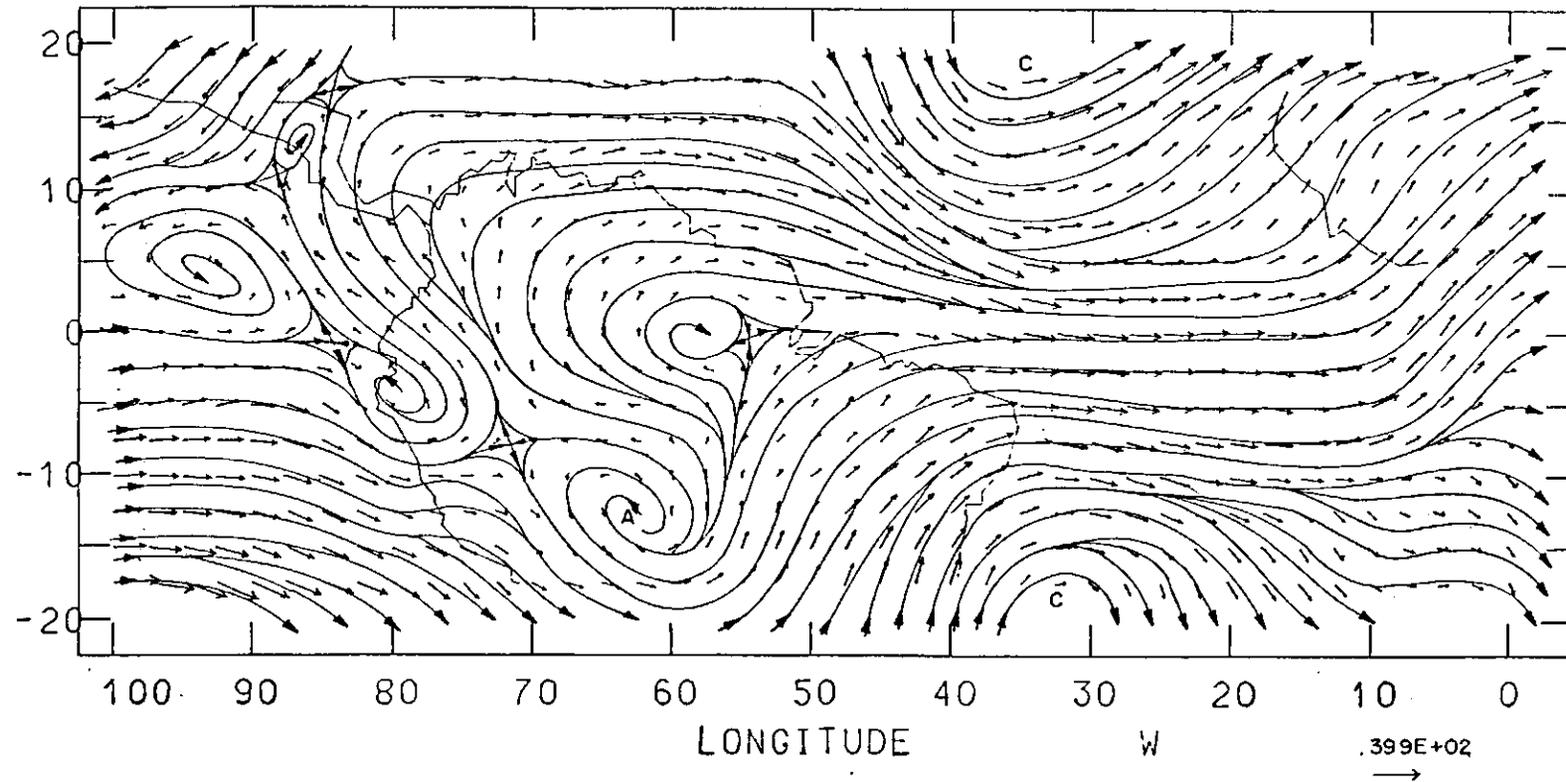


Fig.4.16 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

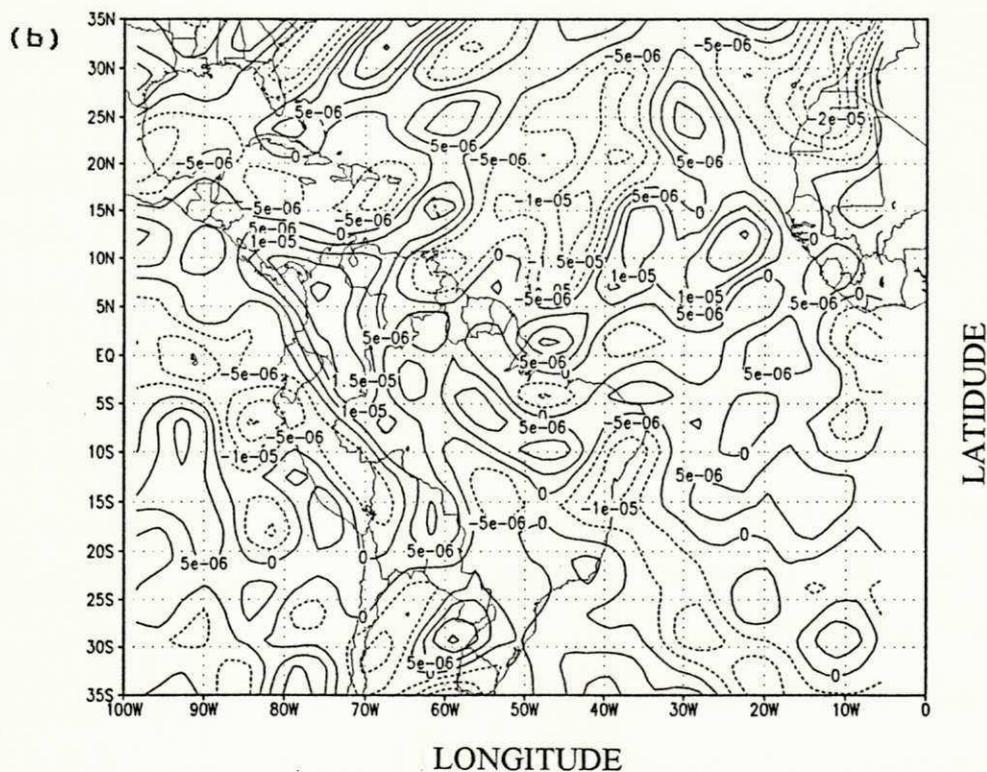
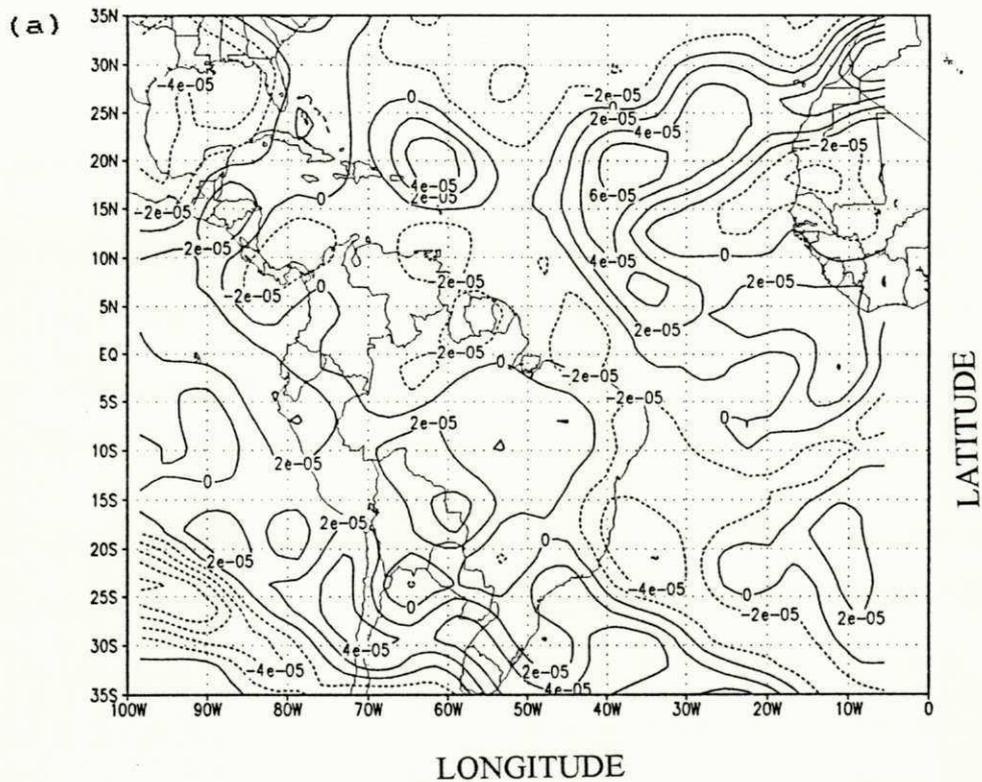


Fig.4.17 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$

anticiclônico é visto agora sobre a América do Sul, caracterizando o chamado anticiclone da Bolívia. A oeste dele, sobre o Pacífico, há um cavado bem definido.

As alterações que merecem destaque no campo da vorticidade (Fig. 4.19a) são o aumento da área ocupada por vorticidade ciclônica sobre o Brasil e a presença de vorticidade ciclônica ao norte de 20°S, sobre o Pacífico Sul.

No campo da divergência (Fig. 4.19b) destaca-se a intensificação dos núcleos de convergência/divergência situados sobre o Atlântico Norte e a presença de divergência sobre todo o Nordeste. É interessante observar que a área de forte divergência que se alonga quase que meridionalmente sobre o Atlântico Norte e parte leste do Nordeste pode ser observada nos dias subsequentes e sua localização coincide com as áreas de nebulosidade vistas nas imagens de satélite (Fig. 4.6).

(g) Dia 21/11/86

Neste dia o cavado situado sobre a América do Sul-Atlântico Sul aparece amplificado e ligeiramente deslocado para noroeste (Fig. 4.20). Essa amplificação provocou um pequeno deslocamento para noroeste do par de anticiclones, de forma tal que ele se situa agora sobre a América Central. Paralelamente, houve o deslocamento para sul do ciclone situado sobre o Pacífico Norte. Outra modificação importante em relação ao dia anterior foi a subdivisão do anticiclone da Bolívia em duas células.

A comparação entre o campo da vorticidade (Fig. 4.21a)

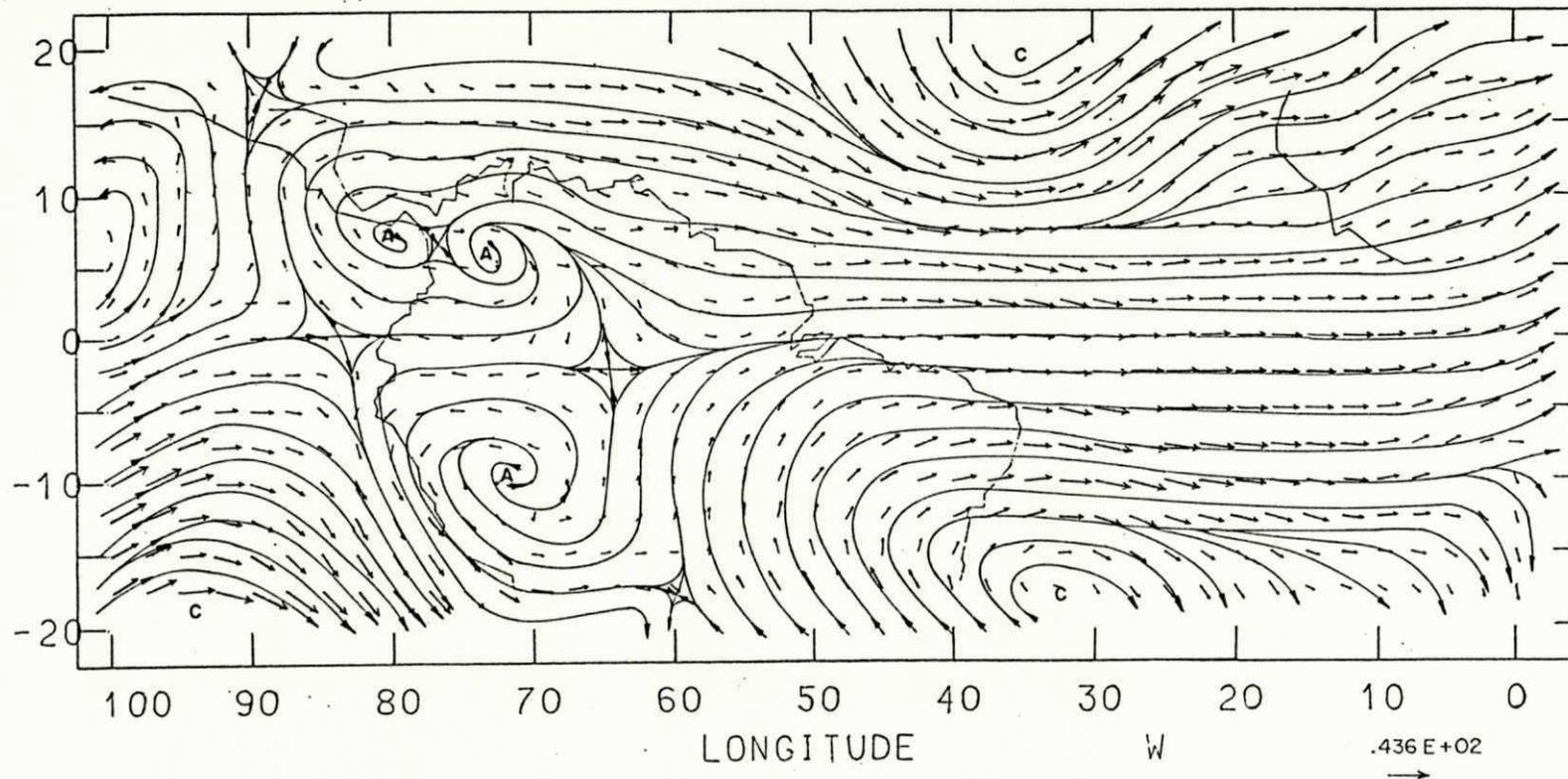


Fig.4.18 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

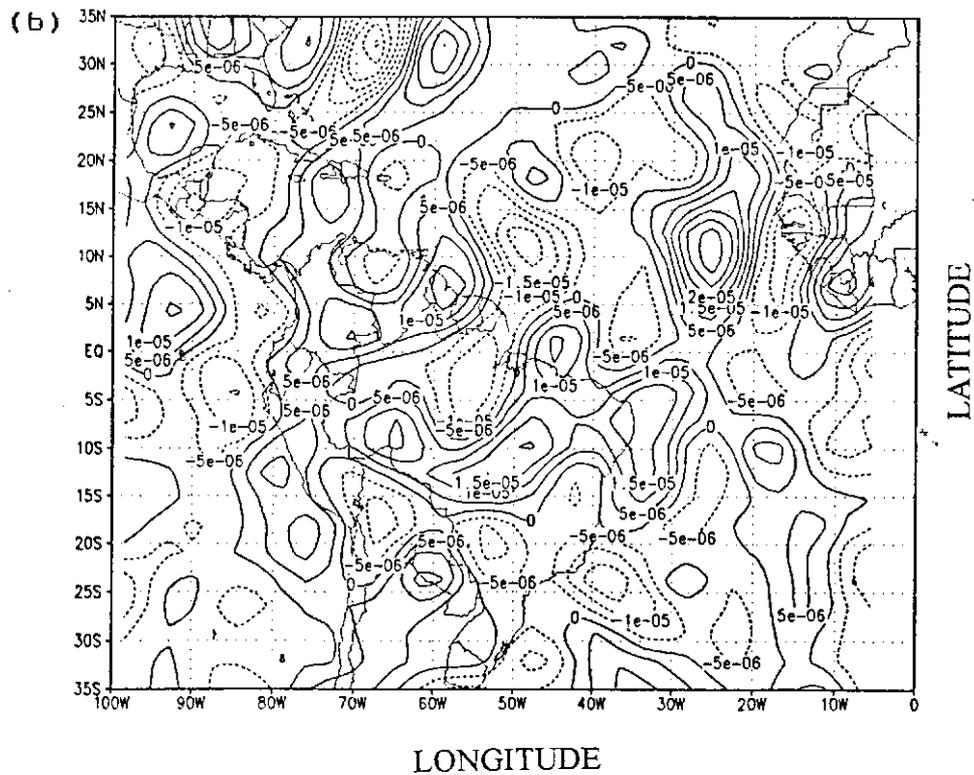
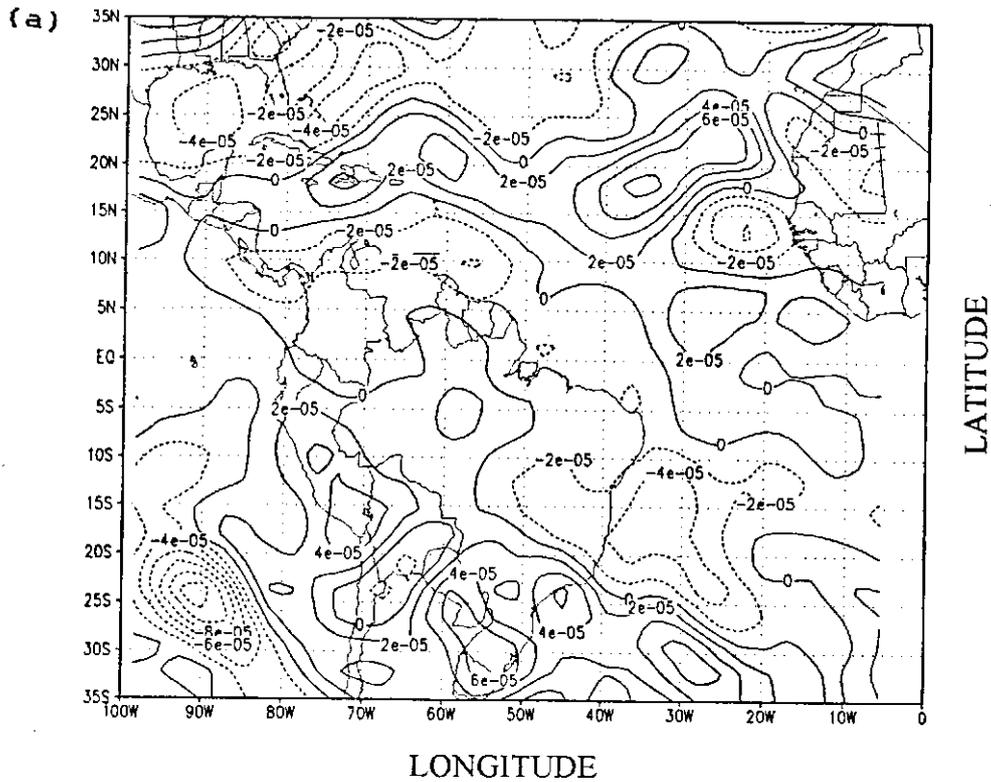


Fig.4.19 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

e o campo do vento evidencia que a amplificação do cavado se traduz em um núcleo de vortacidade ciclônica consideravelmente mais intenso sobre a Região Nordeste e Atlântico Sul. O campo de divergência (Fig. 4.21b) evidencia mudanças mais acentuadas ao norte da América do Sul e leste do Brasil. É particularmente importante o aparecimento de um dipolo intenso no norte e leste do Nordeste e regiões oceânicas adjacentes.

(h) Dia 22/11/86

A comparação da Figura 4.22 com a do dia anterior (Fig. 4.20) evidencia:

(a) uma modificação na orientação do eixo do cavado localizado sobre a América do Sul-Atlântico Sul que apresenta duas células devido a interação com o sistema de latitudes médias conforme sugere a carta de vortacidade discutida a seguir, (b) o enfraquecimento do cavado do Atlântico Norte, (c) a dissipação dos anticiclones situados sobre a América Central, dando lugar a uma crista e (d) o desprendimento na borda do ciclone situado sobre o Pacífico Norte, de um ciclone com centro em torno de ($2^{\circ}\text{N}-82^{\circ}\text{W}$).

Os campos do vento e da vortacidade (Fig. 4.23a) também mostram boa concordância neste dia, sendo que a vortacidade na área do cavado localizado sobre a América do Sul-Atlântico Sul apresenta núcleos mais fracos. Pode-se dizer que, em geral, os núcleos de vortacidade ciclônica se apresentam mais fracos neste dia.

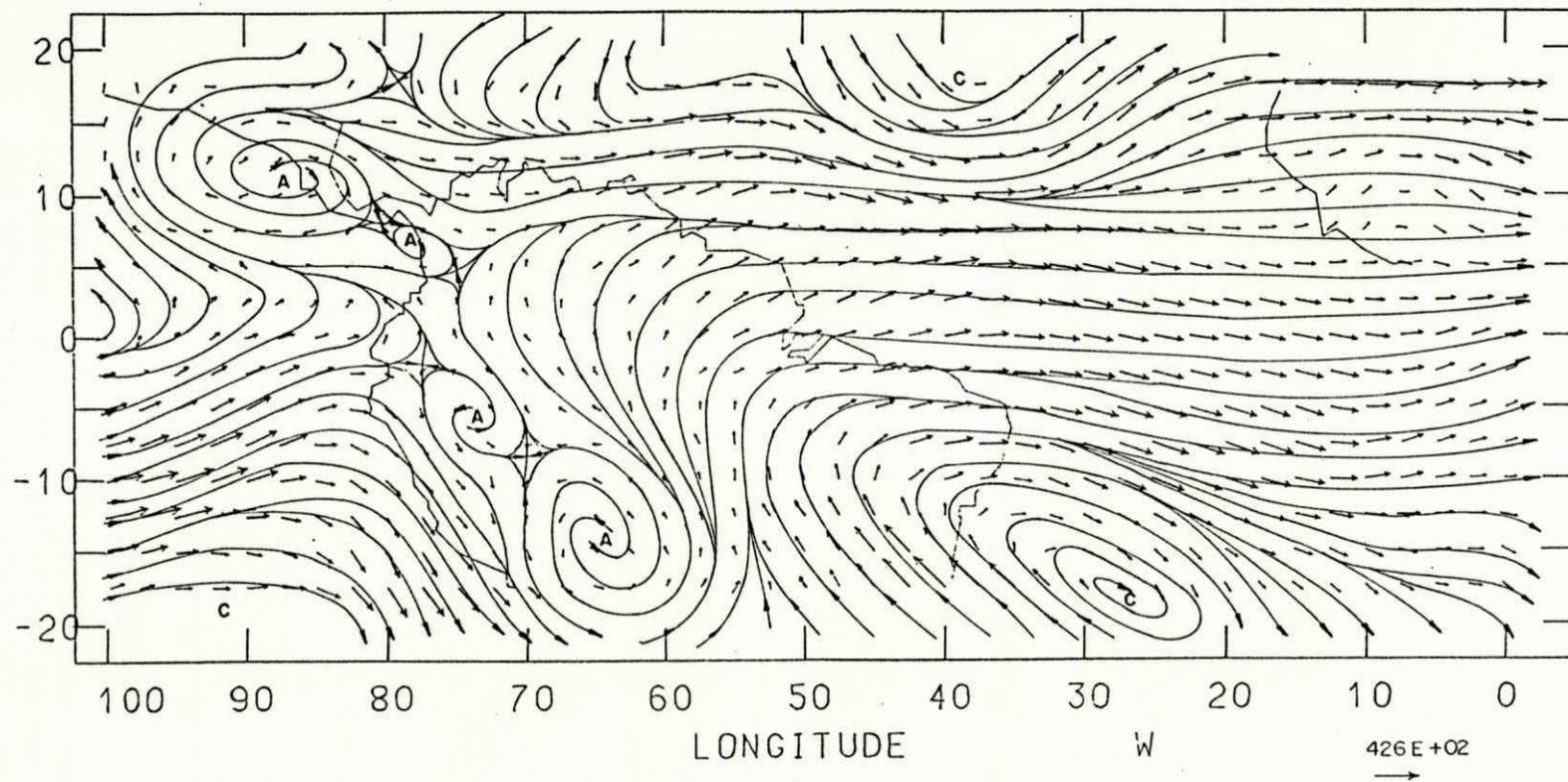


Fig.4.20 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

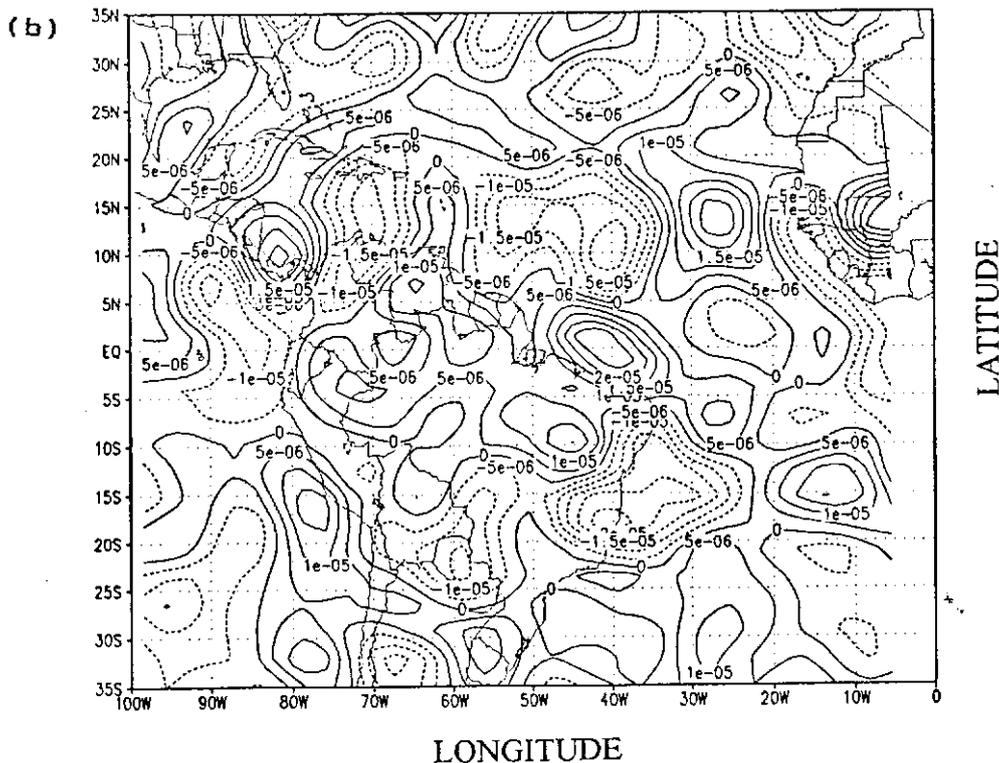
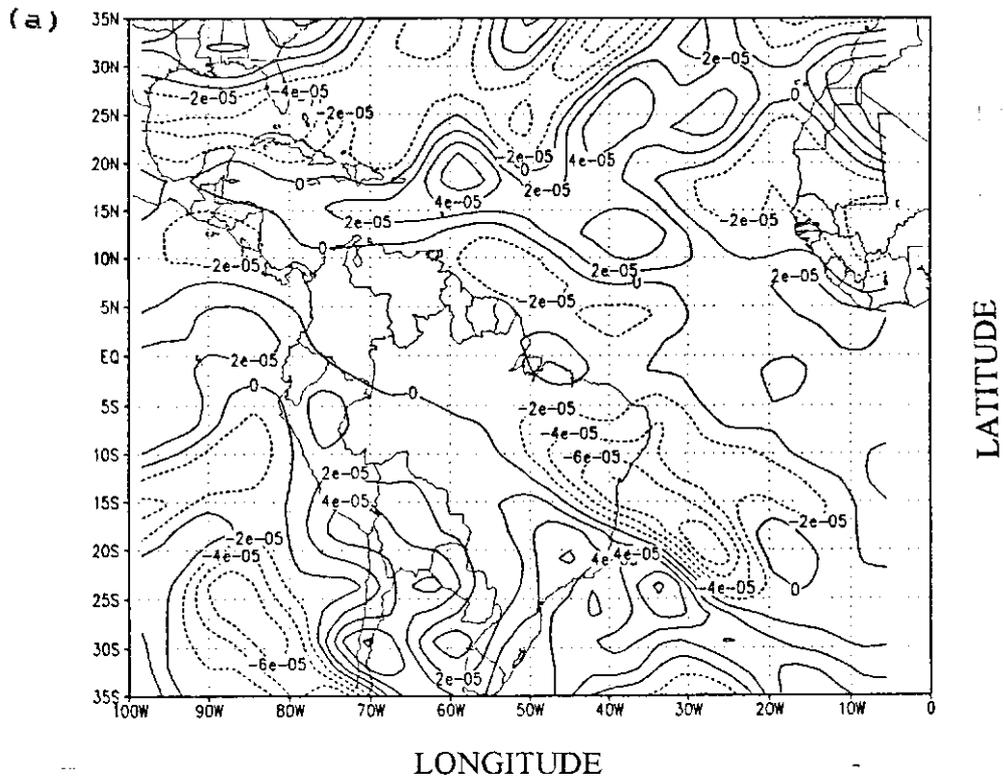


Fig.4.21 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

O campo de divergência (Fig. 4.23b) só não está bem relacionado com o campo do escoamento na área do anticiclone centrado em (18°S-60°W). A comparação com o dia anterior mostra mudanças acentuadas tanto ao norte da América do Sul, devido ao enfraquecimento dos núcleos ali localizados, quanto no leste e oeste do continente.

(i) Dia 23/11/86

O campo do vento deste dia (Fig. 4.24) evidencia mudanças: (a) na área da América Central-noroeste da América do Sul, (b) no leste do Oceano Atlântico e (c) na área do cavado amplificado. Na primeira, houve o desprendimento de um anticiclone na extremidade equatorial da crista enquanto que permaneceu o vórtice anti-horário próximo a costa noroeste da América do Sul. Na segunda, há uma onda amplificada que se estende de 15°N a 20°S. Na região do cavado amplificado vê-se apenas um centro ciclônico dentro da área analisada.

No campo da vorticidade (Fig. 4.25a) as mudanças mais evidentes ocorreram no hemisfério norte com o enfraquecimento/intensificação de vários centros.

O campo da divergência (Fig. 4.25b) evidencia mudanças mais acentuadas nas Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Um forte centro de divergência domina agora o oeste da América do Sul concordando com o escoamento anticiclônico na área, o que não acontecia no dia anterior.

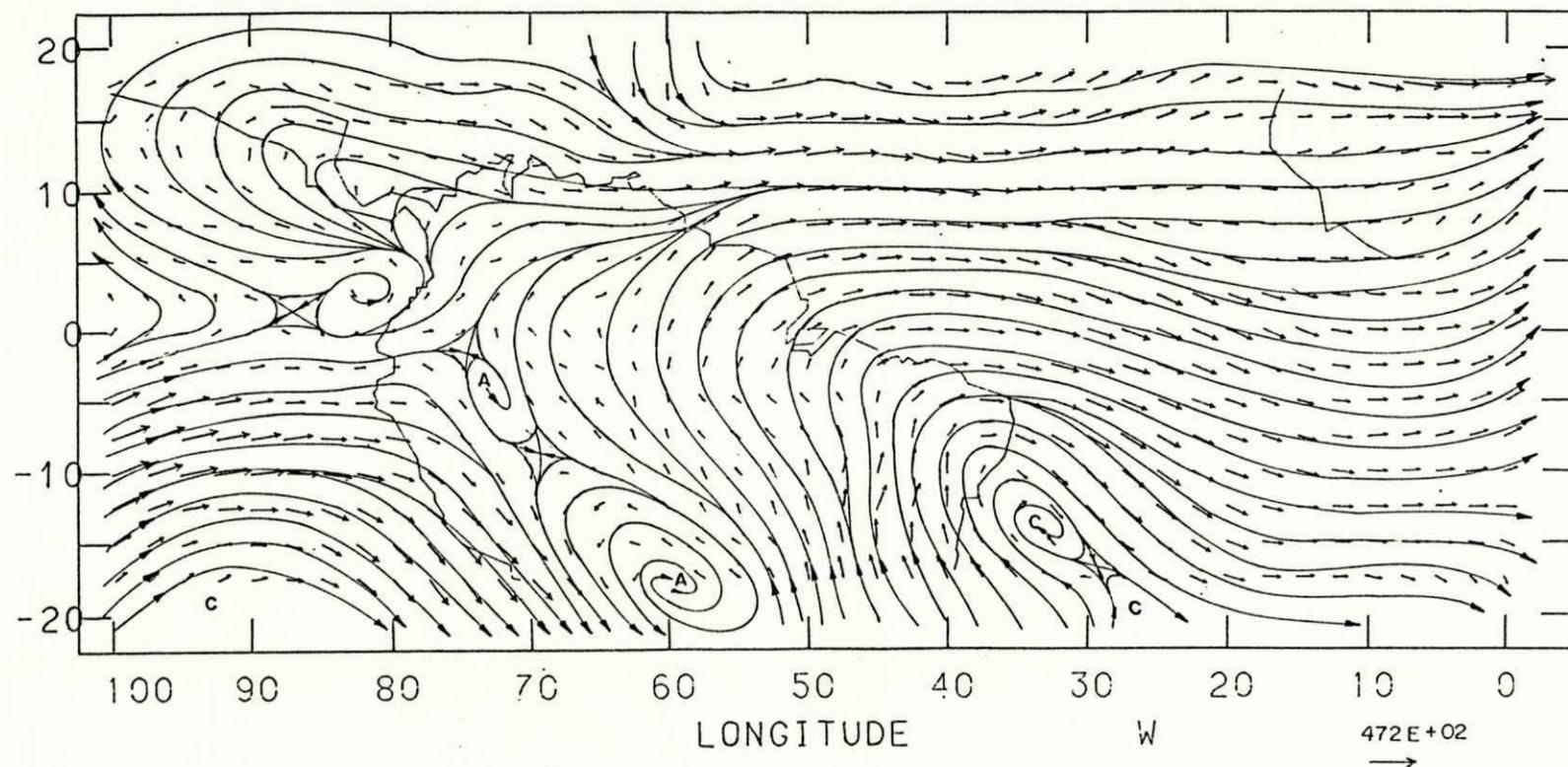


Fig.4.22 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

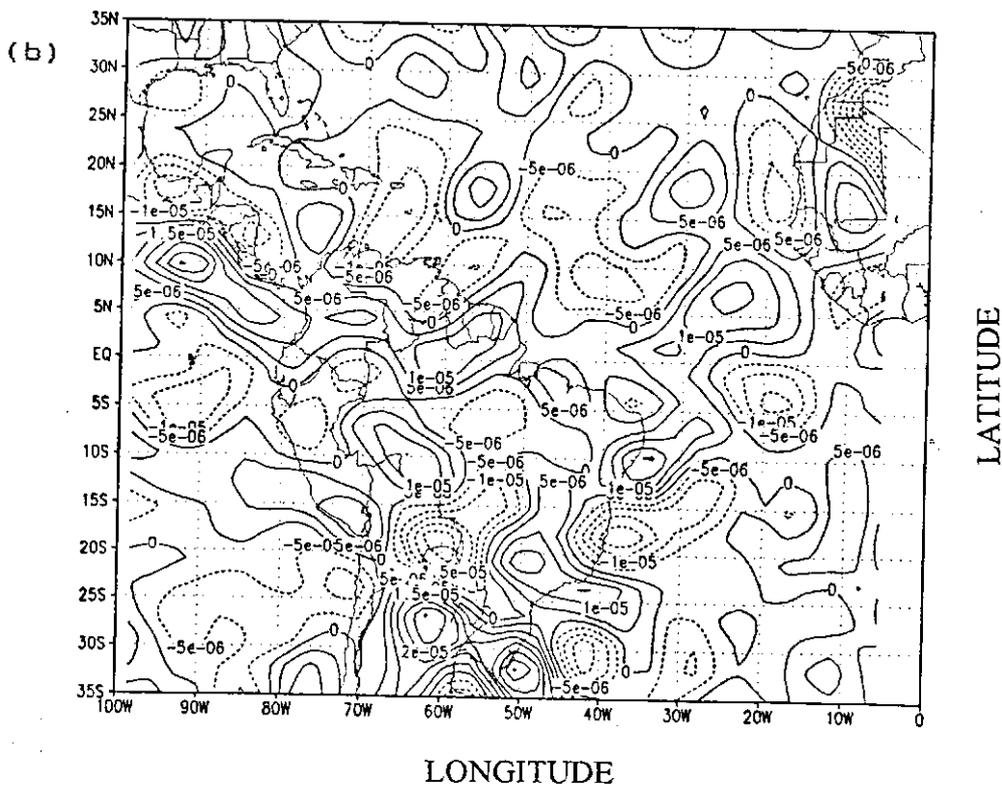
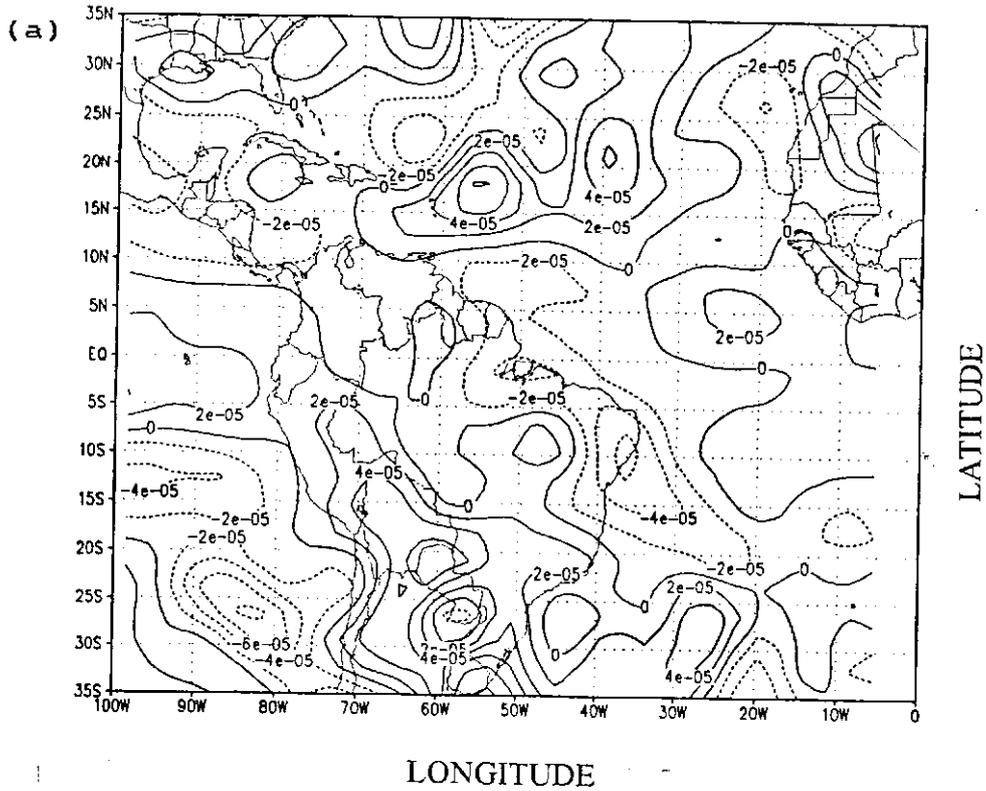


Fig.4.23 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

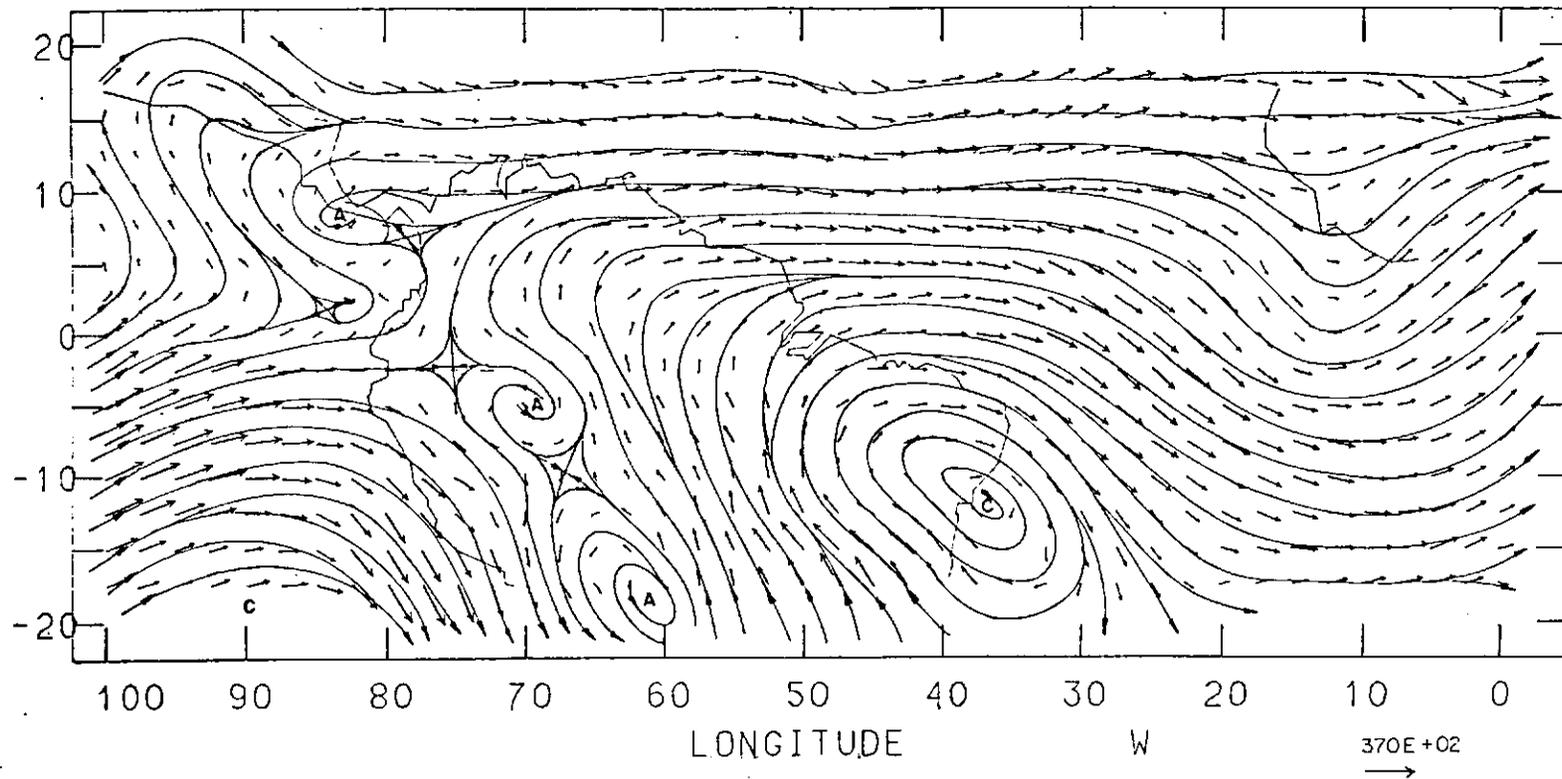


Fig.4.24 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

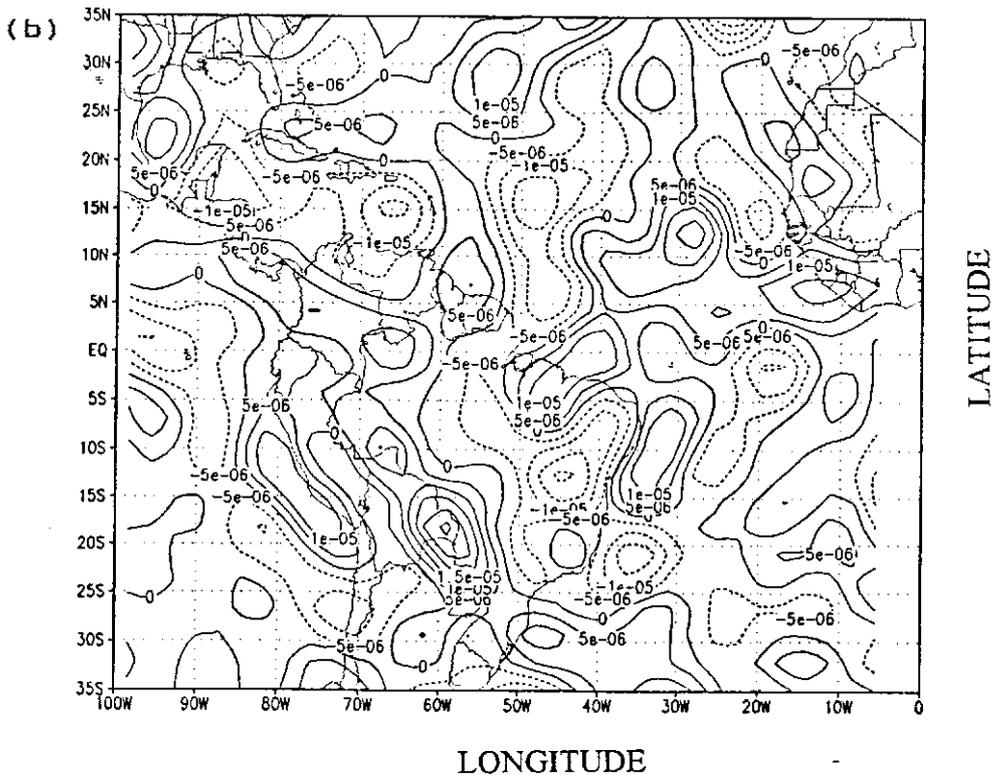
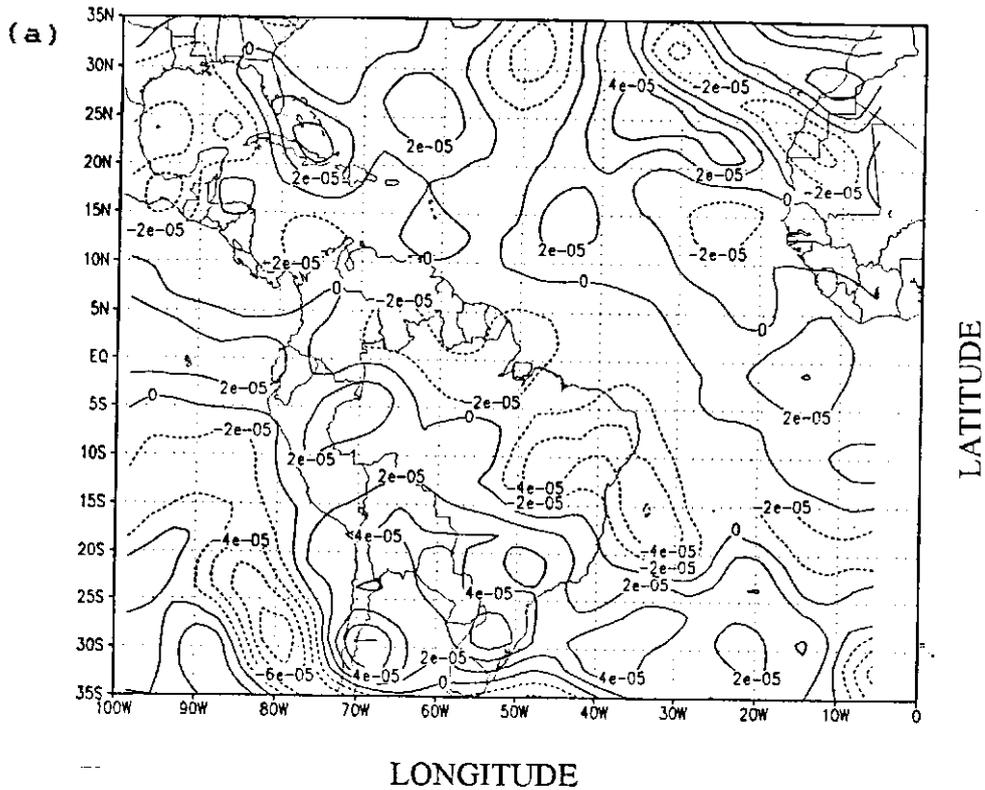


Fig.4.25 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} s^{-1}$

(j) Dia 24/11/86

A comparação com o dia anterior evidencia uma mudança drástica na área da América Central-Pacífico Norte. O par crista-anticiclone deu lugar a um cavado de latitudes médias (Fig. 4.26). Concomitantemente, o vórtice anti-horário centrado no equador se deslocou para oeste. Também é evidente a intensificação do vento sobre o Atlântico Norte causada pela maior penetração do escoamento de oeste do hemisfério norte. Na área do cavado amplificado podem ser vistos dois centros ciclônicos enquanto que permanece a onda amplificada no leste do Atlântico.

A comparação entre os campos do vento e da vorticidade (Fig. 4.27a) dá resultados semelhantes aos do dia anterior. Houve no campo da vorticidade mudanças compatíveis com aquelas ocorridas no campo do escoamento. O centro de vorticidade associado ao ciclone desprendido no Nordeste está mais intenso. Isso também acontece com o centro de vorticidade associado ao cavado de latitudes médias localizado sobre o Atlântico Sul. É interessante observar também a penetração no oeste do continente do centro de vorticidade ciclônica associado ao cavado visto sobre o Pacífico Sul na Figura 4.26. Convém assinalar ainda que, começando no dia 18 (Fig. 4.15a), o Pacífico Sul, ao sul de 20°S, se apresenta quase que totalmente dominado por vorticidade ciclônica.

O campo da divergência sofreu profundas alterações entre as quais se destacam: (a) a presença de intenso dipolo sobre a

porção equatorial do Pacífico; (b) o domínio em quase toda a área do Nordeste de fortes núcleos de convergência que parecem se alinhar com um centro situado sobre o Atlântico Norte e (c) o dipolo de convergência/divergência localizado ao sul de 15°S sobre a América do Sul, com orientação de noroeste-sudeste, associado ao cavado que penetra no continente. Destacam-se também as mudanças ocorridas sobre o Atlântico Norte. A comparação entre as Figuras 4.25b e 4.27b sugere o deslocamento para leste dos centros localizados a leste de 60°W na Figura 4.25b.

(1) Dia 25/11/86

A configuração deste dia (Fig. 4.28) apresenta modificações consideráveis em relação a do dia anterior. O cavado de latitudes médias situado ao norte da América do Sul sofreu amplificação. Um anticiclone domina o Pacífico Norte, já que o ciclone ali situado anteriormente se deslocou para sudeste. Seu centro está no equador próximo de 90°W . Uma crista domina o noroeste da América do Sul, na área antes ocupada por uma das células do anticiclone da Bolívia. Enquanto isso, a outra célula ocupa o centro-oeste do continente. Um dos ciclones formados na área do cavado amplificado está neste dia posicionado sobre o Nordeste com centro em $(8^{\circ}\text{S}-40^{\circ}\text{W})$.

O campo da vorticidade deste dia (Fig. 4.29a) evidencia que o núcleo ciclônico antes situado a leste de 80°W na área do Caribe, se estendeu para sudoeste em associação à amplificação do cavado de latitudes médias. O centro de vorticidade ciclônica situado sobre o Nordeste se apresenta ligeiramente deslocado para

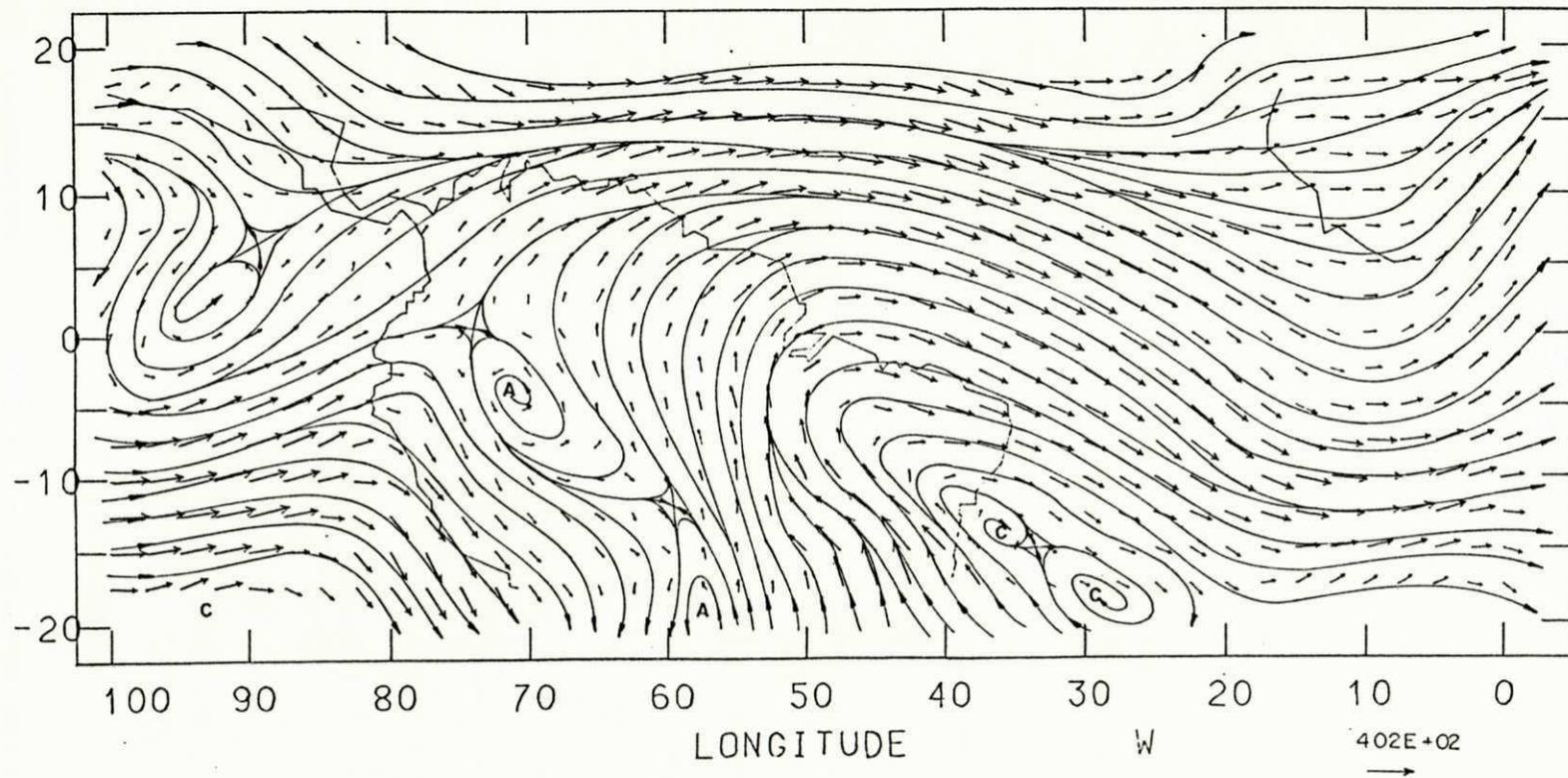


Fig.4.26 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

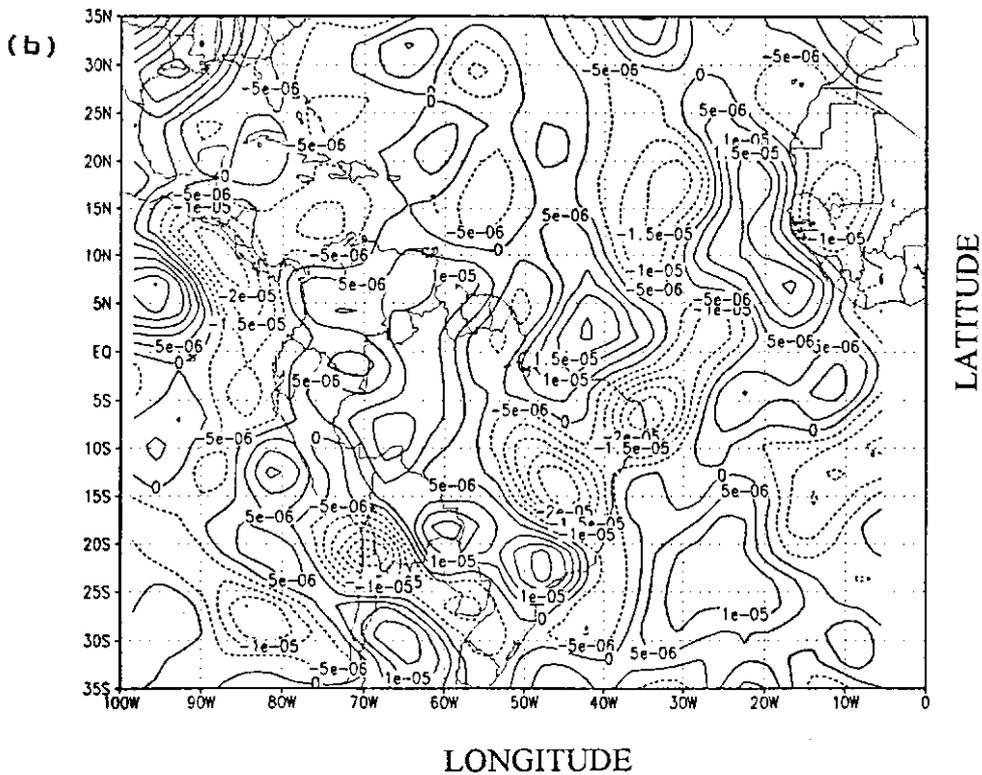
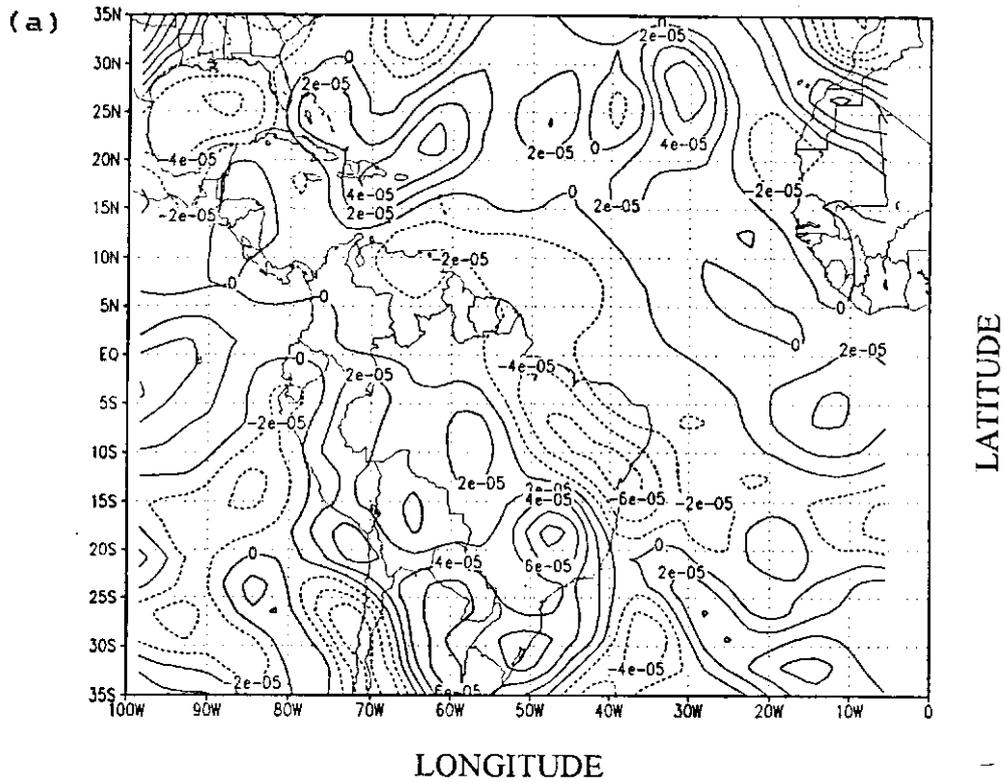


Fig.4.27 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$

Nordeste e está agora alinhado com o núcleo ciclônico associado ao sistema de latitudes médias austrais identificado na Figura 4.27a. Por outro lado, o campo de vorticidade sugere que o cavado que penetrou no oeste da América do Sul prosseguiu seu deslocamento para leste, ao sul de 30°S .

O campo da divergência (Fig. 4.29b) sofreu diversas alterações que merecem destaque. No hemisfério norte houve a intensificação (desintensificação) dos núcleos situados a oeste (leste) de 60°W . A presença de divergência sobre o Nordeste parece ser explicada pelo deslocamento para nordeste do dipolo discutido em relação à Figura 4.27b.

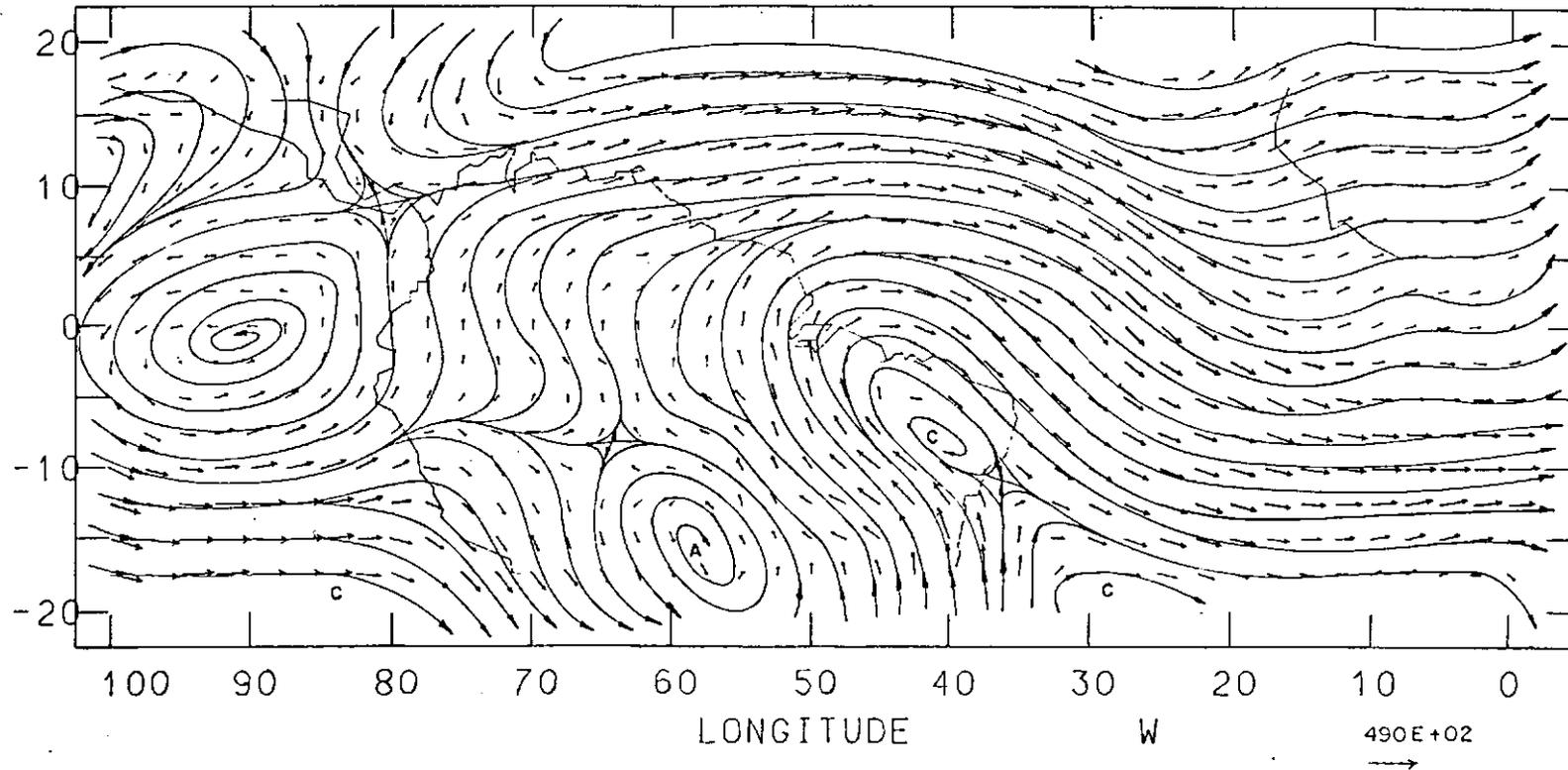


Fig.4.28 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 200 hPa para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

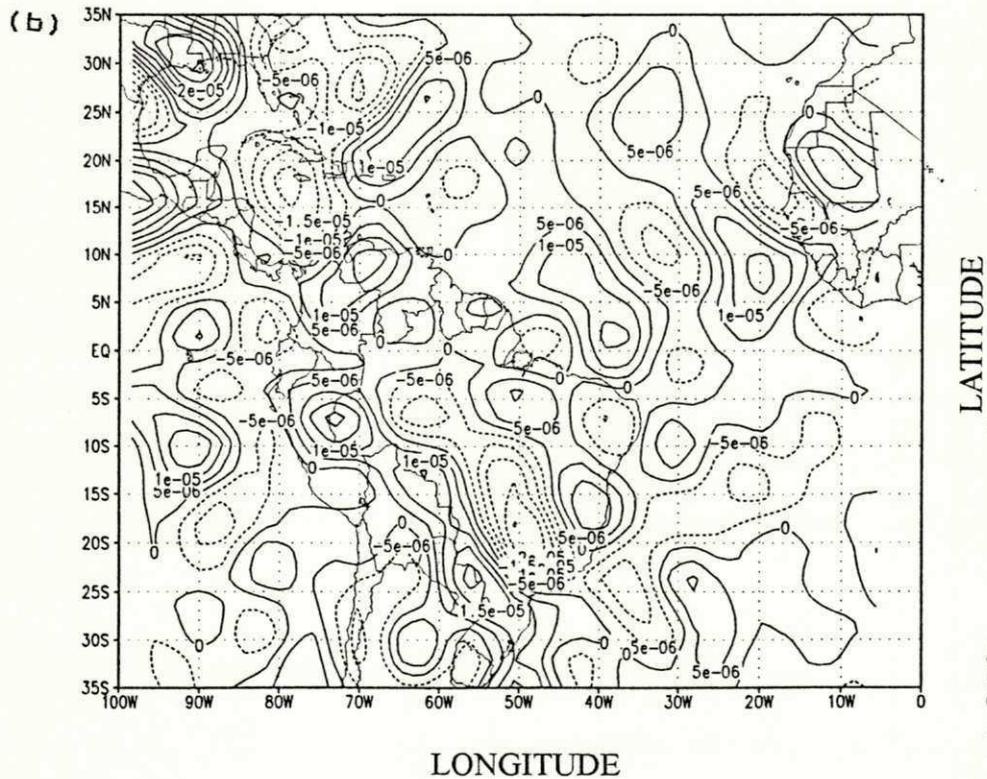
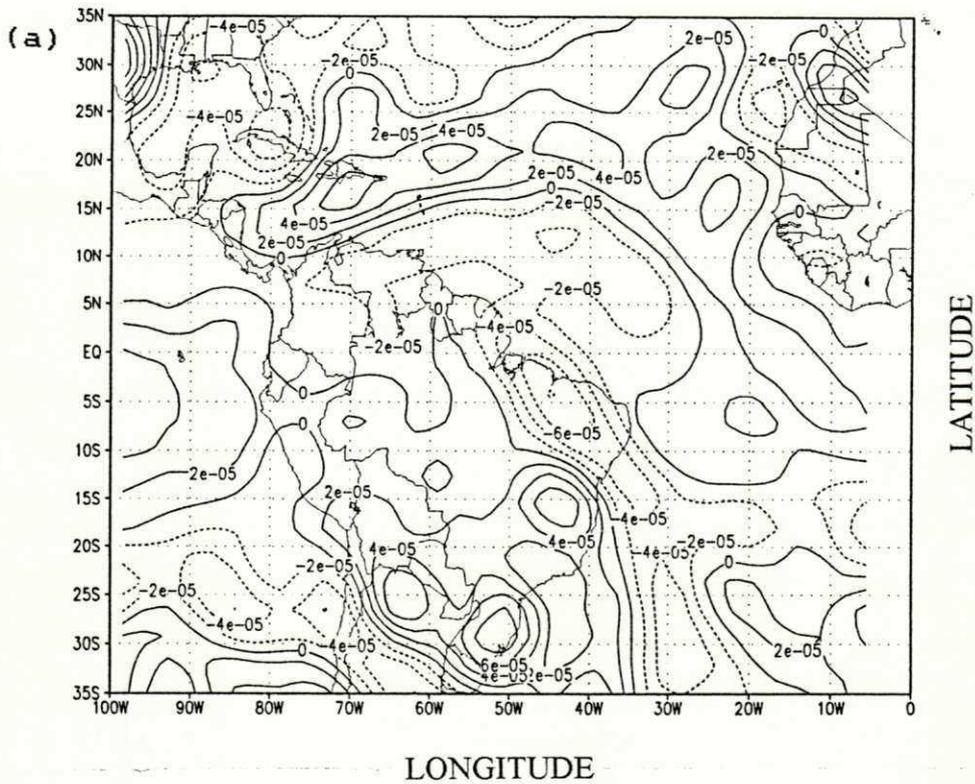


Fig.4.29 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 200 hPa, para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

4.2.2 - Análises para o nível de 500 hPa

(a) Dia 15/11/86

A figura 4.30 mostra que a área do Atlântico Norte está dominada por dois núcleos anticiclônicos, sendo um centrado em torno de (15°N-42°W) e outro com centro fora da área de estudo. O primeiro anticiclone apresenta a oeste uma crista que se prolonga sobre a parte norte da América do Sul. Um cavado domina a região oceânica ao norte da Venezuela e Colômbia. Na área da África há um cavado e uma crista.

Na faixa equatorial, um centro anti-horário domina o Pacífico enquanto que outro está próximo a Belém-PA. Um ciclone é visto em (4°S-28°W) com um eixo de crista orientado de noroeste-sudeste a leste do mesmo.

A parte central da América do Sul está sob a influência de circulação ciclônica enquanto que um anticiclone domina sua porção oeste. Um cavado fraco é visto sobre o Pacífico Sul. A leste do continente há um anticiclone centrado em (14°S-31°W). Um cavado é visto em torno de 19°W na extremidade inferior da área analisada.

A concordância entre o campo do escoamento e o campo da vorticidade (Fig. 4.31a) é boa, de maneira geral, já que áreas de vorticidade ciclônica (anticiclônica) são vistas à frente de cavados/ciclones (cristas/anticiclones). Também é boa a concordância entre os campos da divergência e do escoamento,

particularmente na área do Nordeste, onde há um núcleo de convergência, e na porção tropical do Atlântico Sul, dominada por um dipolo.

(b) Dia 16/11/86

A Figura 4.32 mostra que no Atlântico Norte houve uma rotação no eixo que liga os dois anticiclones, de forma que o anticiclone anteriormente centrado em ($15^{\circ}\text{N}-42^{\circ}\text{W}$) está agora em ($17^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{W}$). A oeste dele há um par de anticiclones na área anteriormente ocupada pela crista. Um centro ciclônico aparece em ($16^{\circ}\text{N}-65^{\circ}\text{W}$), sendo resultante da amplificação do cavado visto no dia anterior.

Permanece a circulação anti-horária situada na porção equatorial do Pacífico. O vórtice anti-horário centrado em Belém-PA sofreu dissipação. Na porção equatorial do Atlântico são vistos três núcleos anti-horários na região ocupada pela crista no dia anterior. O ciclone se deslocou ligeiramente para sudoeste. Seu centro está agora em ($5^{\circ}\text{S}-29^{\circ}\text{W}$). Escoamento de norte cruzando o equador existe à oeste desses vórtices sobre a Região Nordeste.

O anticiclone anteriormente localizado em ($14^{\circ}\text{S}-31^{\circ}\text{W}$) migrou para sudeste e cobre agora uma área mais extensa com centro em torno de ($20^{\circ}\text{S}-25^{\circ}\text{W}$). Ao sul de 10°S , todos os sistemas se deslocaram cerca de 10° de longitude para leste.

De maneira geral, é boa a concordância entre os campos do vento e da vorticidade (Fig. 4.33a). O campo da divergência

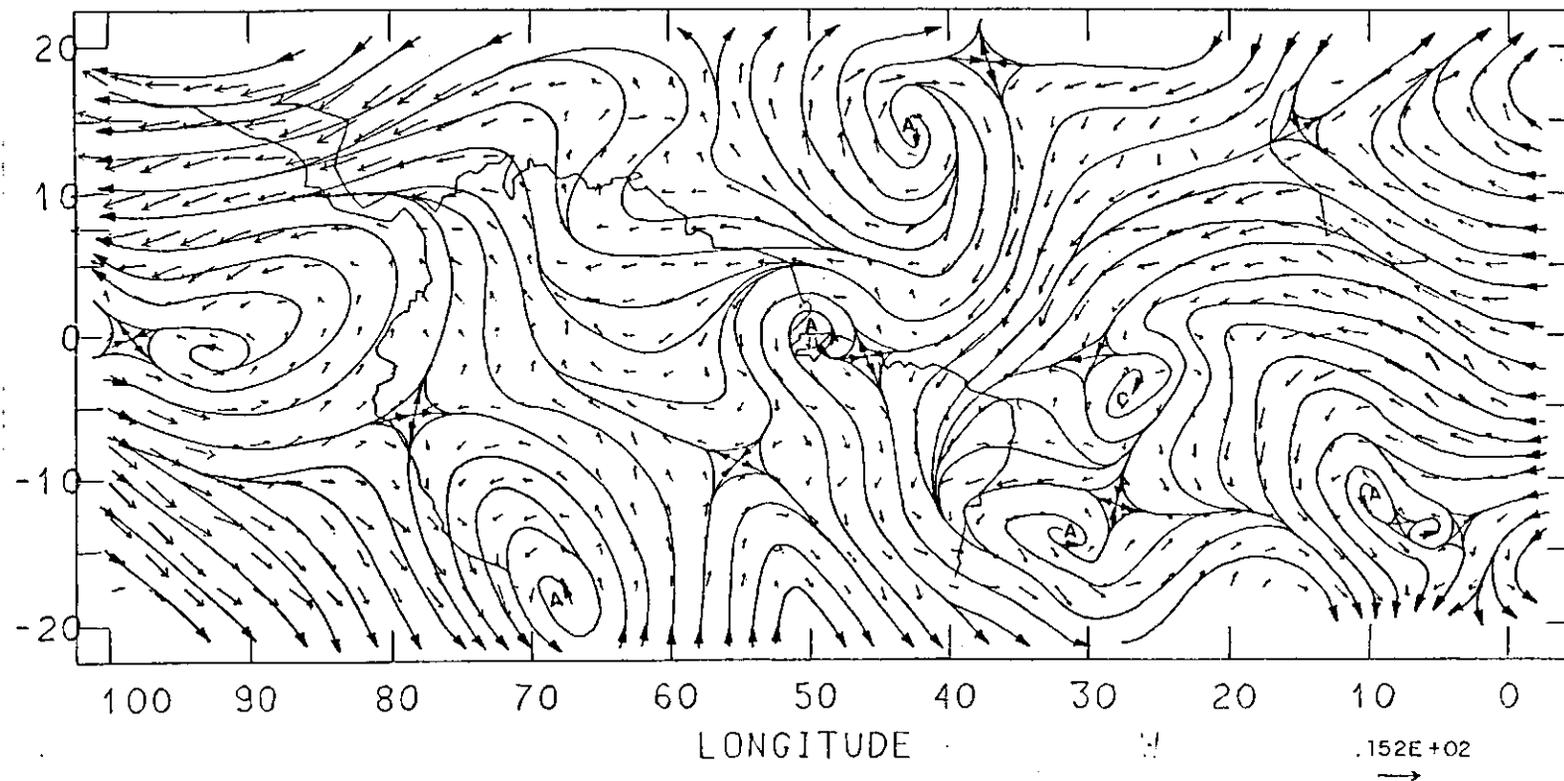


Fig.4.30 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

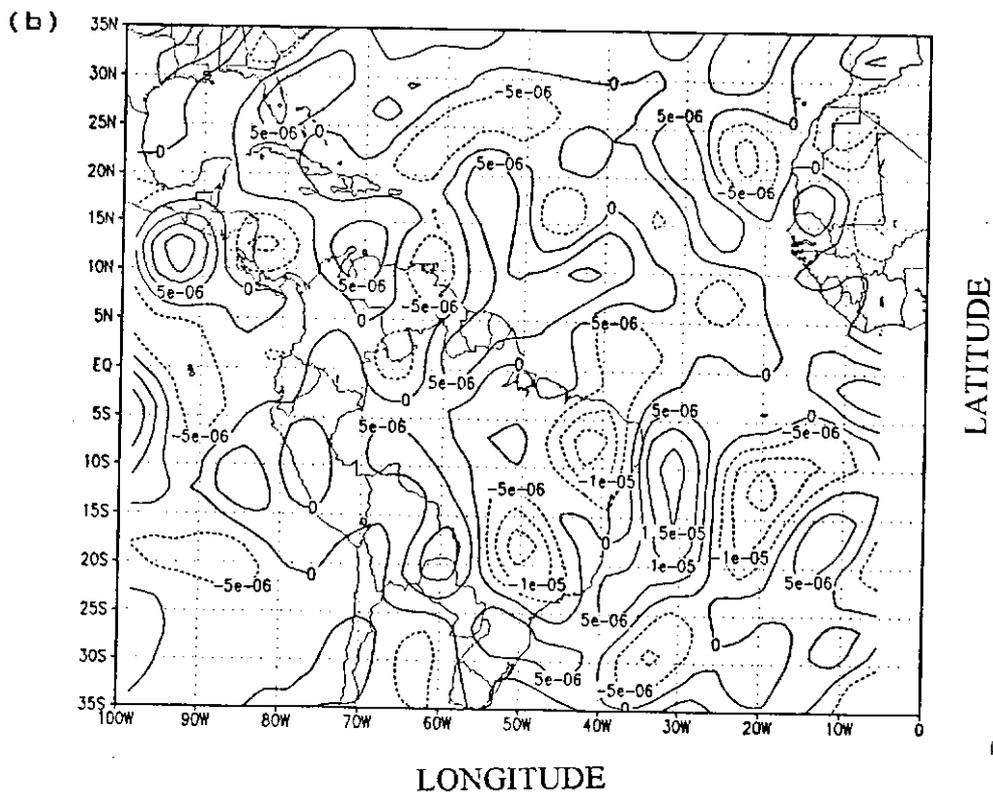
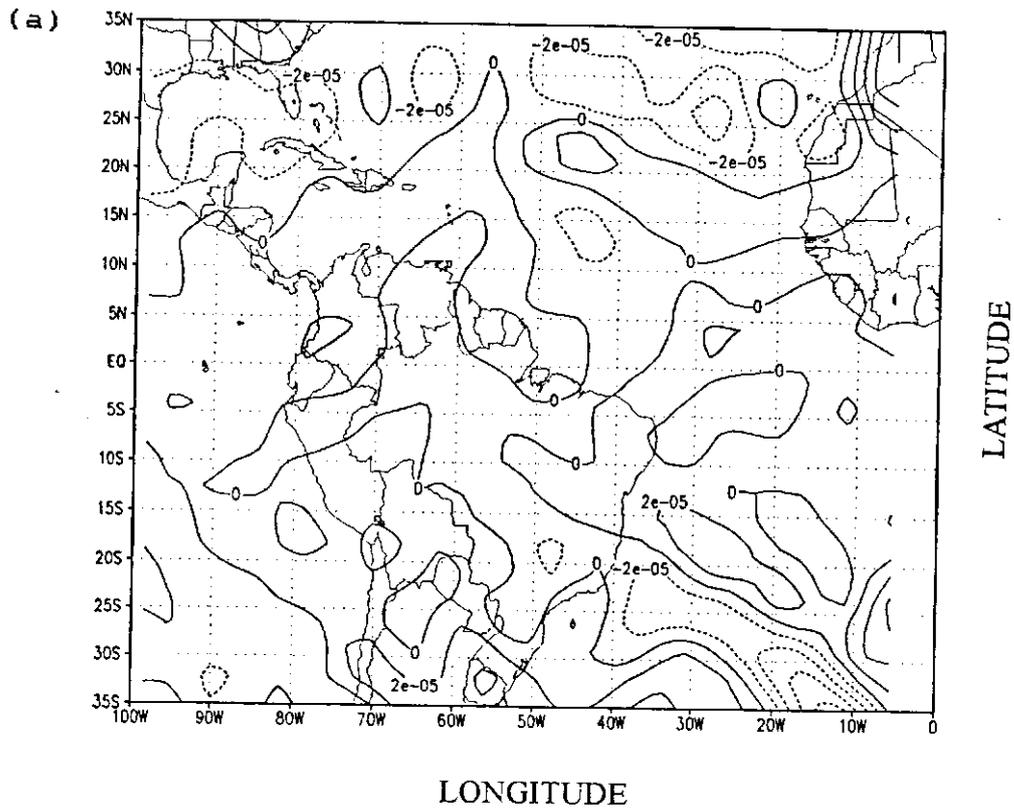


Fig.4.31 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 15/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} s^{-1}$

evidencia bem as mudanças ocorridas no campo do escoamento destacando-se a área de convergência que se estende agora do Nordeste até 15°N , aproximadamente, e o deslocamento para leste dos núcleos de convergência (divergência) associados aos cavados (cristas) situados ao sul de 10°S .

Escoamento inter-hemisférico de norte abrange todo o norte do Nordeste neste dia.

c) Dia 17/11/86

O escoamento no hemisfério norte apresenta grandes mudanças em relação ao dia anterior (Fig. 4.34). Houve dissipação dos três anticiclones situados ao norte da América do Sul enquanto que a circulação ciclônica ali localizada está melhor organizada. Uma das modificações mais importantes ocorridas neste hemisfério foi o deslocamento para sudoeste de um ciclone que se fazia parcialmente presente na extremidade nordeste da área analisada no dia 16. Esse ciclone está centrado em torno de ($17^{\circ}\text{N}-15^{\circ}\text{W}$). O deslocamento do ciclone ocorreu conjuntamente com o movimento para oeste da área de circulação horária situada a sul-sudeste do mesmo, que se apresenta subdividida em duas células.

Na região do equador, desapareceram os centros de circulação anti-horária situados sobre o Pacífico, embora a área ainda esteja sob influência desse tipo de circulação devido à atuação da alta subtropical do Pacífico Sul, cuja borda equatorial parece se mesclar com fortes ventos de leste do hemisfério norte. Um núcleo horário está centrado em torno de ($5^{\circ}\text{N}-77^{\circ}\text{W}$) enquanto

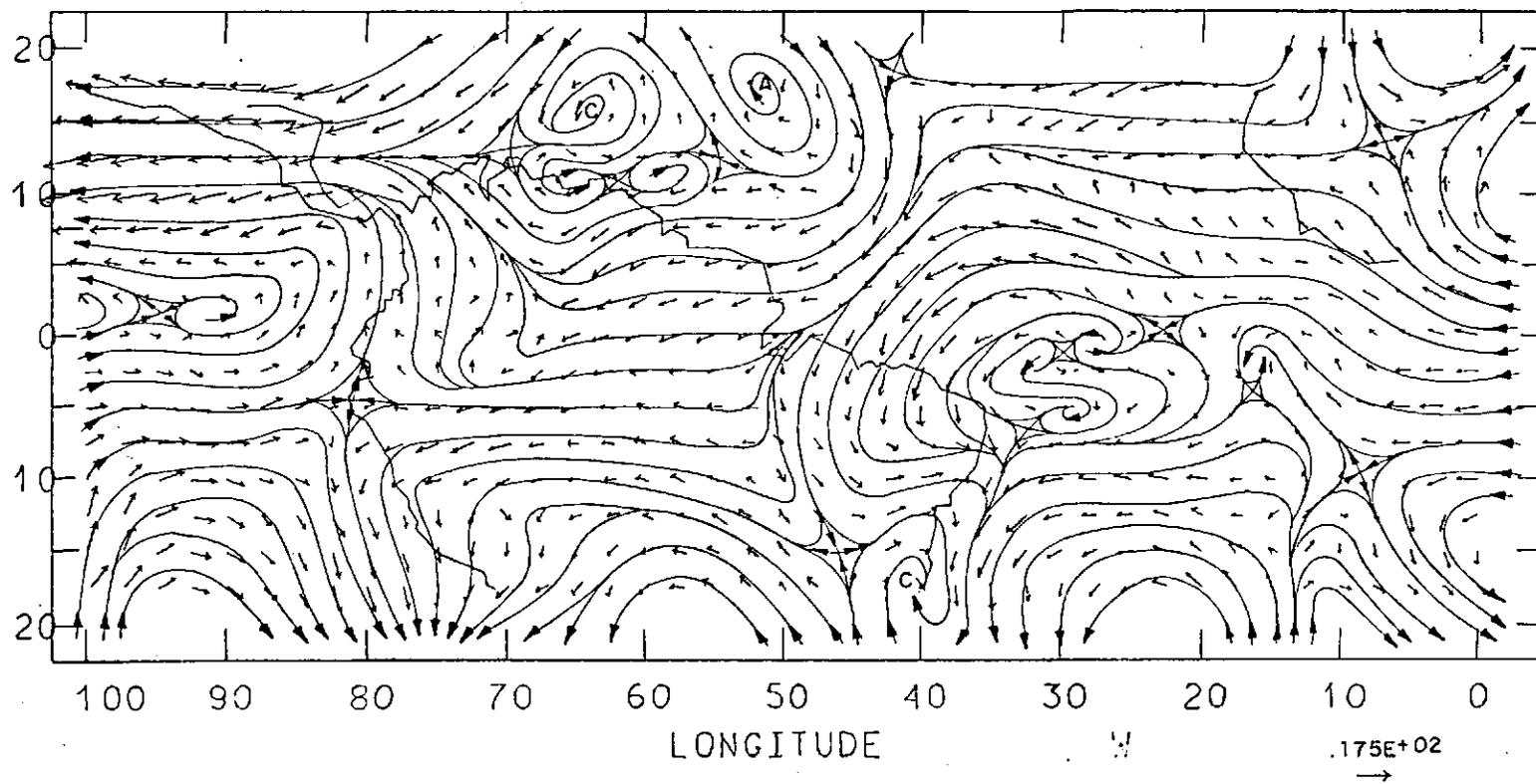


Fig.4.32 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

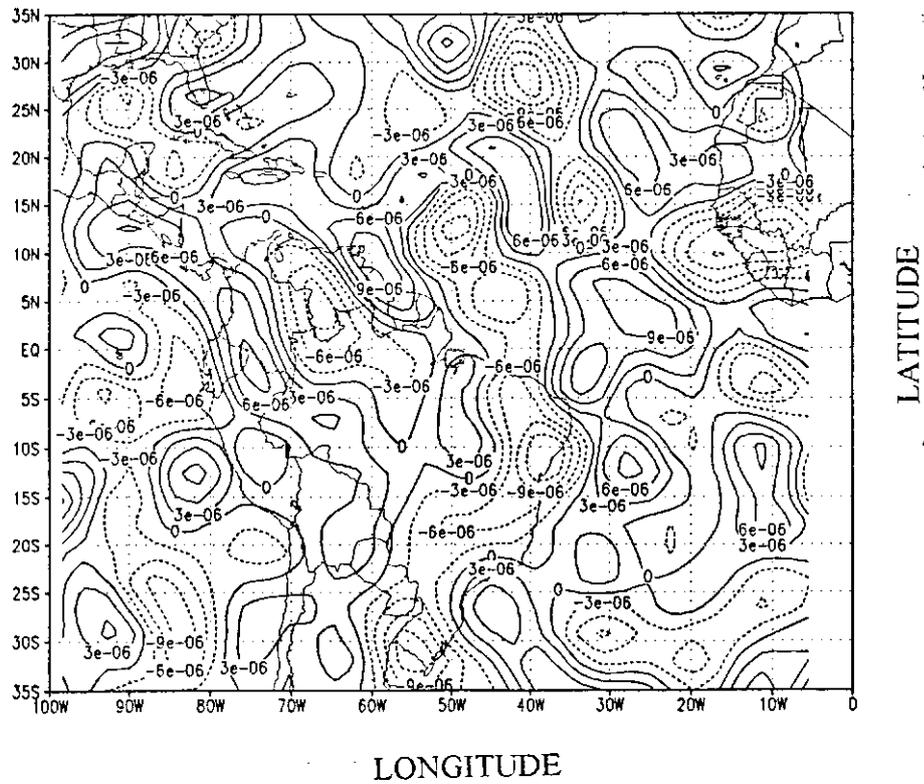
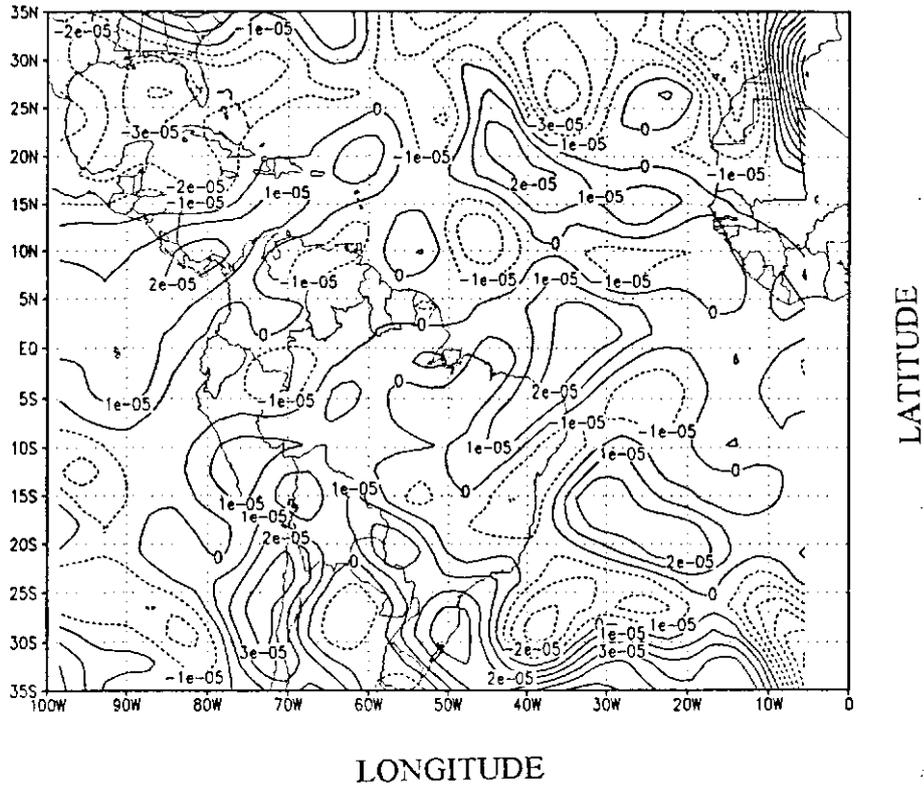


Fig.4.33 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 16/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} s^{-1}$

que um vórtice anti-horário domina todo o Nordeste e região oceânica adjacente. Escoamento inter-hemisférico de leste-nordeste (sul-sudoeste) é evidente a oeste (leste) desse vórtice.

O ciclone localizado no sudeste do Brasil se deslocou para leste, estando agora centrado próximo ao litoral. Um eixo parece ligar esse sistema com a circulação horária situada no Atlântico equatorial. Um ciclone desprendido é visto em $(11^{\circ}\text{S}-55^{\circ}\text{W})$. O anticiclone situado sobre o continente está subdividido em duas células: uma centrada em torno de $(11^{\circ}\text{S}-70^{\circ}\text{W})$ e outra com centro ao sul da área analisada. O cavado do Pacífico Sul tem agora seu eixo com orientação de sudoeste-nordeste, alinhado com a circulação horária situada sobre o continente.

A concordância entre o campo de vorticidade e o campo do escoamento (Fig. 4.35a) também é boa neste dia, já que áreas de vorticidade ciclônica (anticiclônica) coincidem ou estão à frente de cavados/ciclones (cristas/anticiclones). Em particular, um centro positivo está presente em quase toda a área de atuação do vórtice que domina o Nordeste. É importante observar também a presença, no centro-leste da América do Sul, de uma área de vorticidade ciclônica alongada de noroeste-sudeste, associada ao cavado de latitudes médias que penetrou no leste do continente no dia anterior (Fig. 4.32). O campo da divergência (Fig. 4.35b) se apresenta bastante diferente neste dia devido, principalmente, às mudanças ocorridas na posição e alinhamento dos centros situados na faixa equatorial. Vale assinalar que, em contraste com o dia anterior, o Nordeste se apresenta quase que totalmente

dominado por divergência.

(d) Dia 18/11/86

A Figura 4.36 evidencia mudanças importantes no hemisfério norte em comparação com o mapa do dia anterior (Fig. 4.35). O ciclone localizado ao norte da América do Sul se deslocou sensivelmente para nordeste de forma que está quase que totalmente fora da área analisada, enquanto que o anticiclone a leste se deslocou para sudoeste. É evidente a retrogressão do ciclone anteriormente centrado em ($17^{\circ}\text{N}-15^{\circ}\text{W}$) já que ele sofreu deslocamento para oeste estando situado em torno de ($20^{\circ}\text{N}-26^{\circ}\text{W}$). O anticiclone anteriormente situado ao sul do mesmo se deslocou para oeste.

Na região do equador, há neste dia uma circulação anti-horária sobre o Pacífico com centro em ($4^{\circ}\text{N}-95^{\circ}\text{W}$) e dois centros horários a sudeste do mesmo. O centro anti-horário que atuava sobre o Nordeste se subdividiu em duas células: uma centrada em ($2^{\circ}\text{N}-44^{\circ}\text{W}$) e outra em ($5^{\circ}\text{S}-58^{\circ}\text{W}$).

Uma linha de crista orientada de sudoeste-nordeste une os centros acima referidos com aquele localizado em ($13^{\circ}\text{S}-75^{\circ}\text{W}$). Permanece a circulação horária sobre o Atlântico equatorial e o cavado de latitudes médias próximo ao litoral do Brasil, só que posicionado mais a leste. O eixo do cavado situado sobre o Pacífico Sul mudou de orientação, estando meridionalmente alinhado. Um aspecto importante deste dia é o cavado situado ao sul de 15°S , na faixa longitudinal de ($60^{\circ}\text{W}-70^{\circ}\text{W}$). Ele se

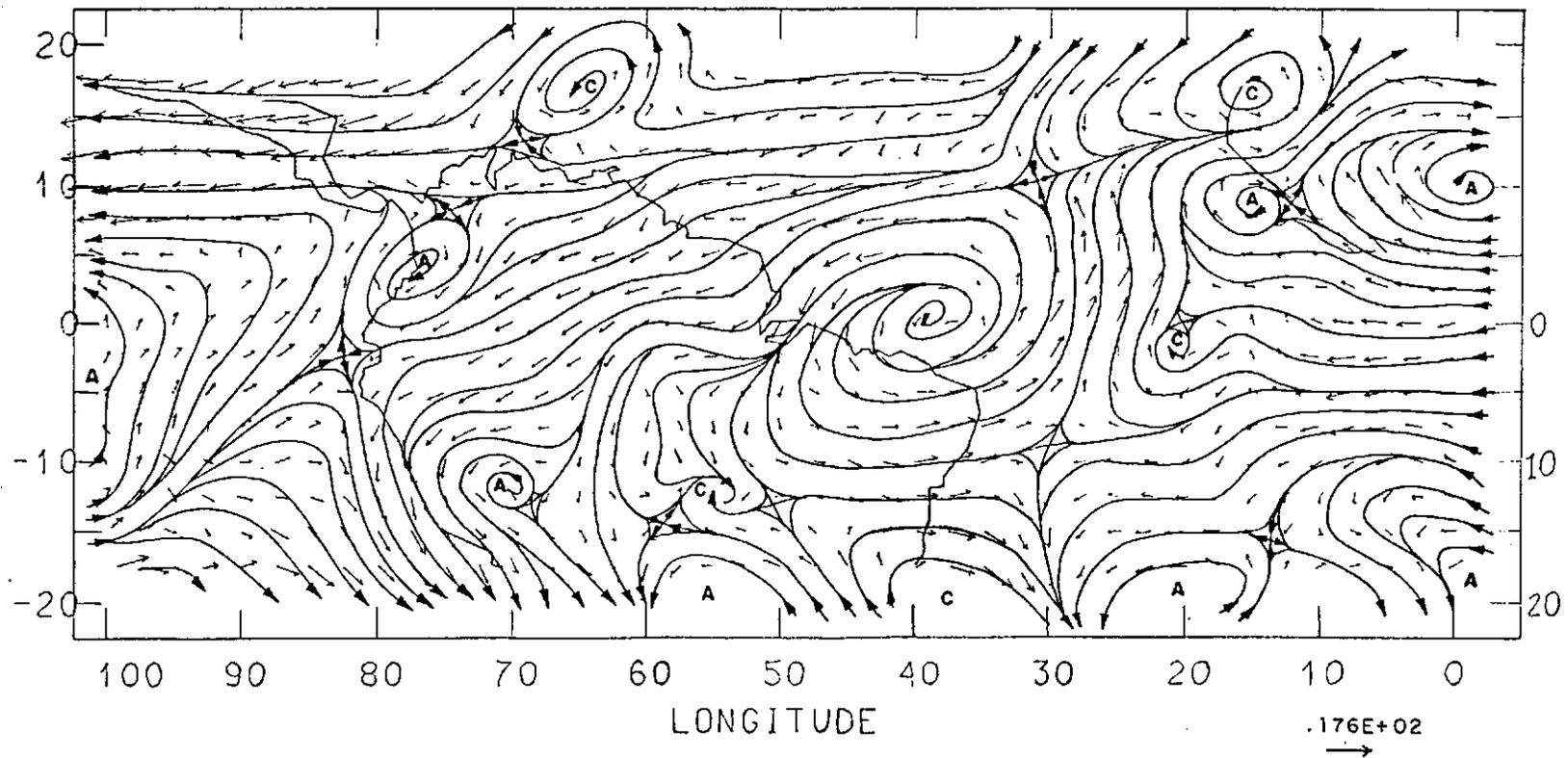


Fig.4.34 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

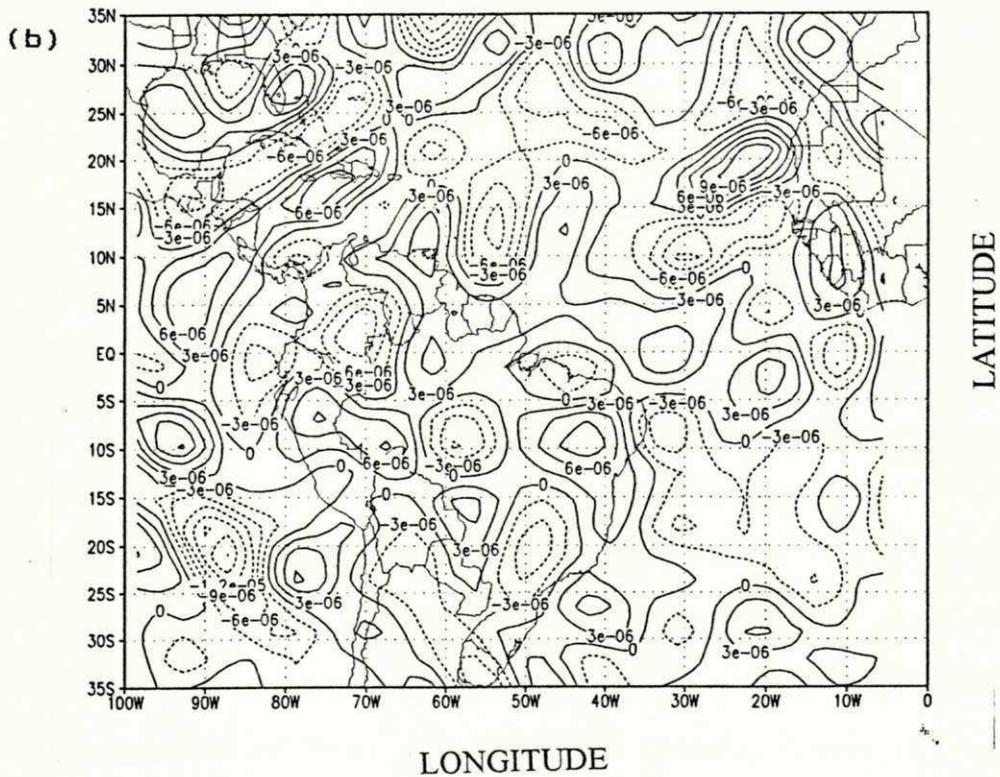
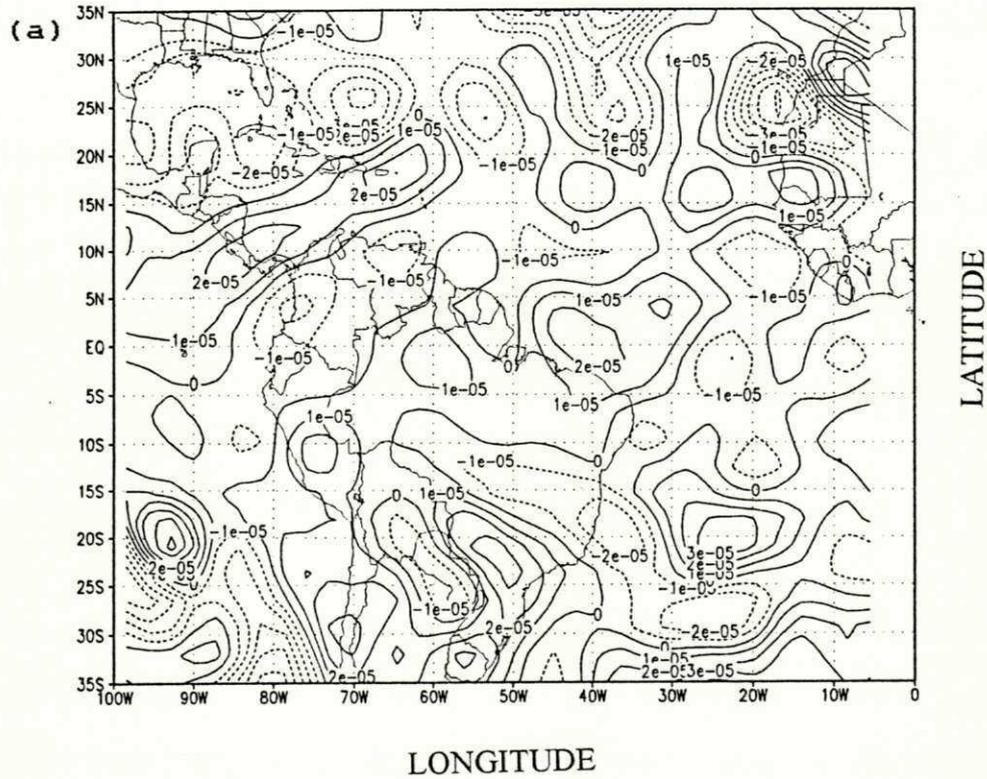


Fig.4.35 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 17/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$

originou daquele situado sobre o Pacífico, cuja porção equatorial sofreu bloqueio devido aos anticiclones situados sobre o continente.

E boa a concordância entre o campo de vortacidade e o campo do escoamento (Fig. 4.37a) com a existência de intensos centros de vortacidade associados aos sistemas de latitudes médias em ambos os hemisférios. A comparação com o campo do dia anterior (Fig. 4.35a) mostra que o centro ciclônico localizado no centro-leste do continente se apresenta deslocado para nordeste enquanto que permanece o núcleo positivo na parte norte do Nordeste. No campo da divergência (Fig. 4.37b) núcleos positivos e negativos bem definidos dominam a parte leste da América do Sul sendo que um forte núcleo de divergência domina a extremidade oriental do Nordeste.

A troca inter-hemisférica ainda está presente e mais intensa, com ventos de leste-nordeste sobre o norte-noroeste da América do Sul e fortes ventos de sul-sudoeste sobre o Atlântico, em torno de $30^{\circ}W$, sugerindo advecção de ar frio (quente) para o hemisfério sul (hemisfério norte), o que deve favorecer o enfraquecimento/dissipação dos anticiclones sobre a América do Sul e a intensificação da circulação anticiclônica na região da África. Neste dia, em particular, a configuração do campo do vento na região equatorial se assemelha a da onda mista de Rossby-gravidade discutida por Matsuno (1966). Isso já acontecia no dia anterior (Fig. 4.34), embora de uma forma não tão evidente.

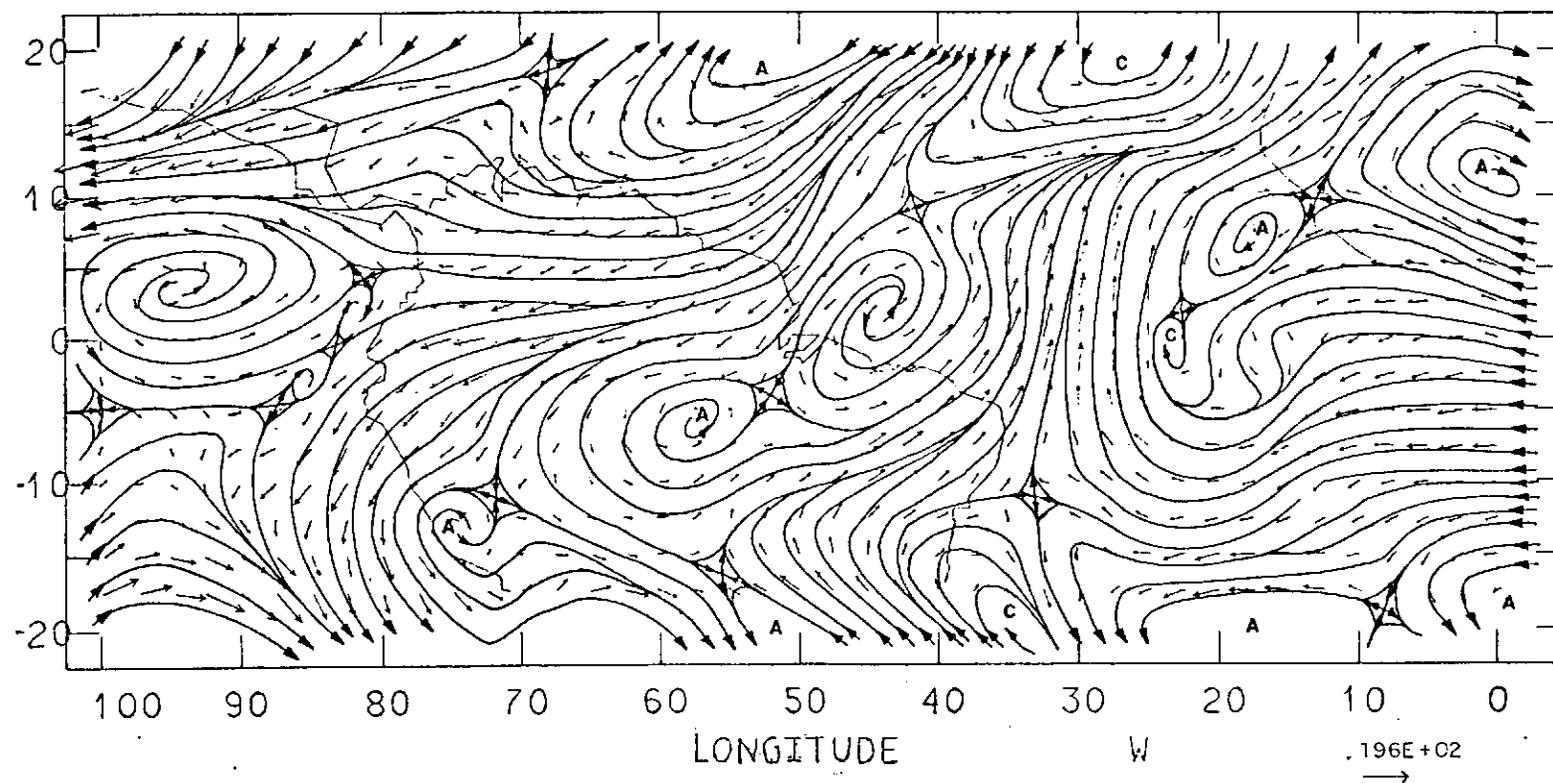
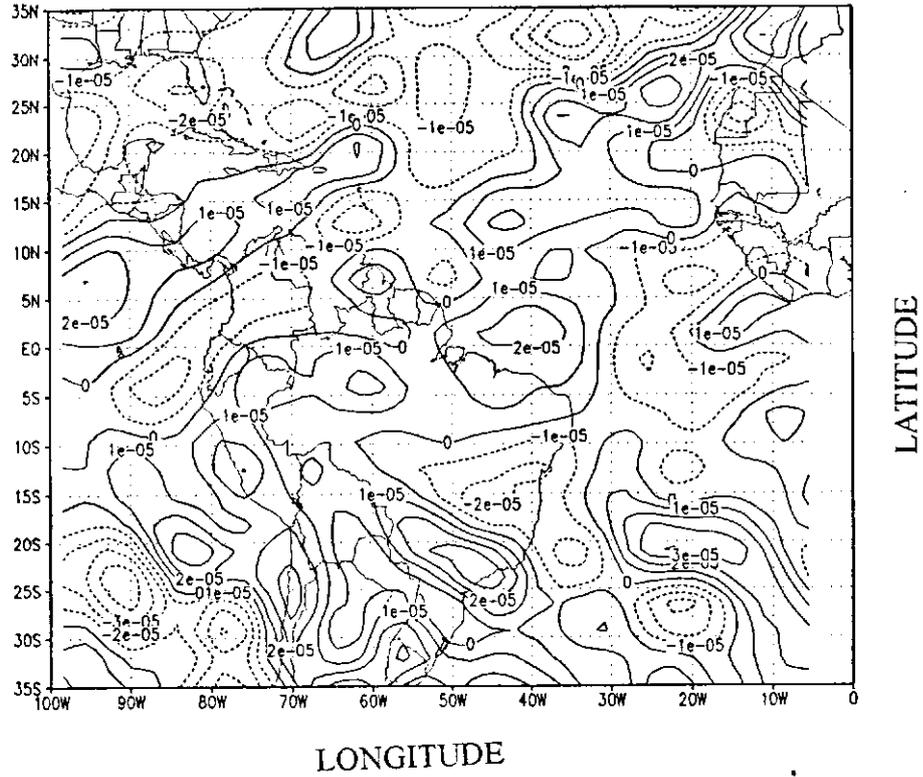


Fig.4.36 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

(a)



(b)

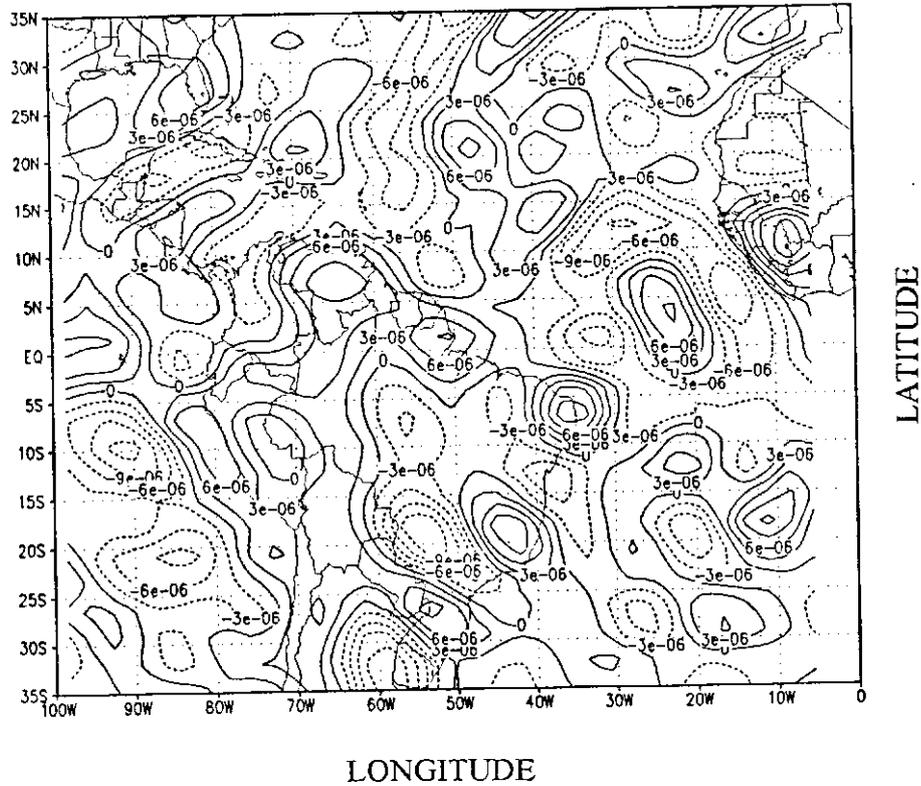


Fig.4.37 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 18/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} s^{-1}$

(e) Dia 19/11/86

O campo do escoamento no hemisfério norte não difere muito daquele do dia anterior (Fig. 4.38). Vale assinalar, entretanto, que os centros situados sobre o oceano se estenderam para sul-sudoeste, de forma tal que uma crista domina o noroeste da América do Sul e o escoamento associado ao ciclone se faz presente até 5°N, aproximadamente. Uma única célula anticiclônica domina a África e região oceânica adjacente.

Na região equatorial quatro sistemas se dissiparam: as circulações horárias próximas à costa noroeste da América do Sul, a célula anti-horária parcialmente situada sobre o Nordeste e o núcleo horário localizado sobre o Atlântico. O centro anticiclônico anteriormente situado em (5°S-58°W) sofreu considerável deslocamento para oeste, enquanto que aquele localizado no oeste do continente se moveu para sudeste. Tais mudanças eram esperadas, tendo em vista a troca inter-hemisférica do dia anterior.

O escoamento ciclônico sobre o litoral leste da América do Sul está subdividido em duas células e se estende para norte, de forma tal que sua circulação afeta todo o Nordeste. A alta subtropical domina o Atlântico Sul. Permanece o cavado localizado sobre o Pacífico Sul, agora com seu eixo orientado de sudoeste-nordeste.

No campo da vorticidade (Fig. 4.39a) os aspectos mais relevantes são o domínio de vorticidade ciclônica em quase todo o

Nordeste e a intensificação dos núcleos do Atlântico Norte, particularmente o de vorticidade ciclônica associado ao cavado de latitudes médias ali situado.

No campo da divergência (Fig. 4.39b) nota-se a desintensificação do núcleo positivo localizado na extremidade oriental do Nordeste e a intensificação da convergência sobre o centro-sul da Região. A área ao norte de 20°N apresenta, em geral, núcleos mais intensos.

Cessou a troca inter-hemisférica no noroeste da América do Sul embora permaneça o intercâmbio sobre o Atlântico. Por outro lado, começando neste dia e se prolongando até o dia 23, a configuração do campo do vento na área do Atlântico-leste da América do Sul se assemelha a de uma onda de Rossby confinada a região equatorial que se propaga para oeste (Matsuno, 1966; Liebmann e Hendon, 1990).

(f) Dia 20/11/86

O escoamento no hemisfério norte se apresenta consideravelmente diferente neste dia (Fig. 4.40). Dissipou-se o anticiclone situado sobre o Atlântico. O escoamento associado ao ciclone se estende agora até próximo do equador, onde parece se unir com aquele do par de ciclones que domina o Nordeste e região oceânica adjacente. O anticiclone situado sobre a África se estendeu consideravelmente para oeste, de forma que sua borda ocidental atinge a longitude de 30°W.

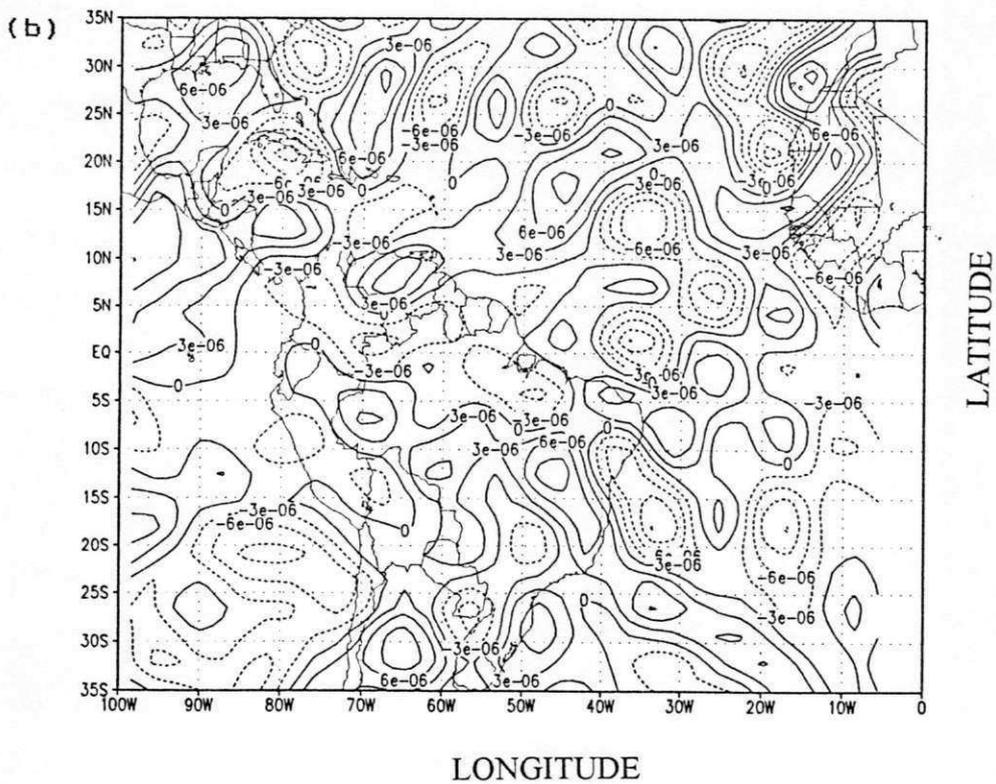
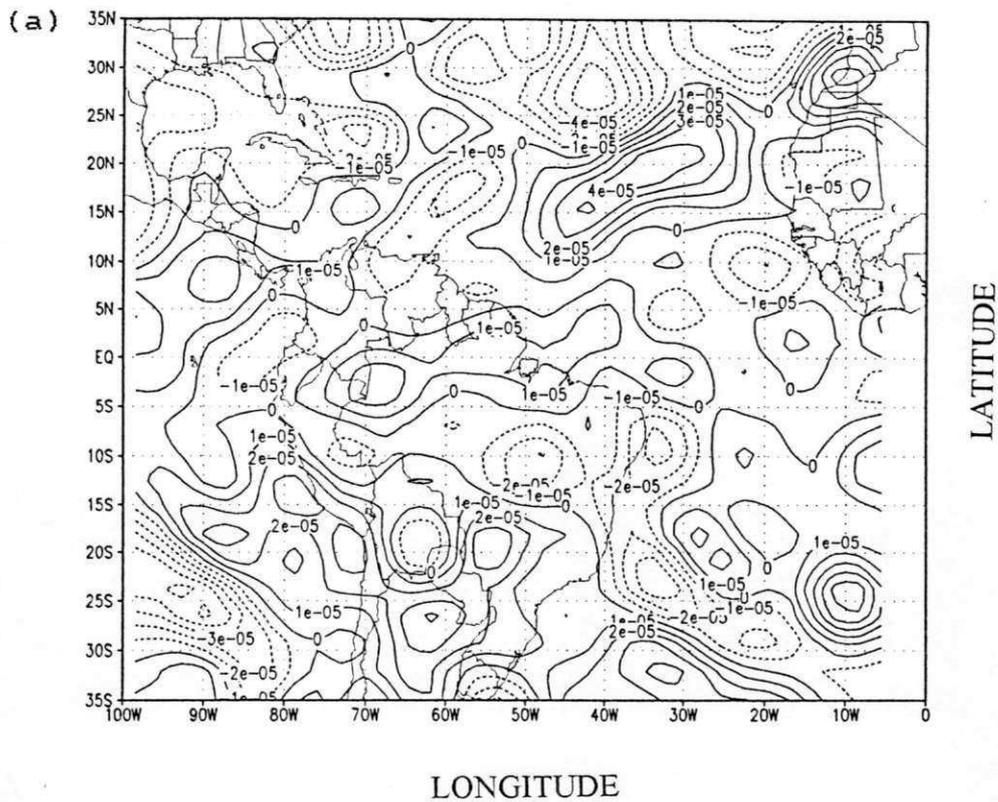


Fig.4.39 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 19/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Na região equatorial houve um sensível deslocamento para oeste do núcleo do Pacífico enquanto que desapareceu a crista sobre o noroeste da América do Sul. Assim, a região equatorial está, de maneira geral, dominada alternadamente por ventos de leste e de oeste.

No hemisfério sul, o escoamento se apresenta simplificado sobre o continente, já que se dissipou o anticiclone anteriormente situado sobre o noroeste do Brasil. A América do Sul está dominada: (a) pelo par de ciclones mencionado acima e que domina agora todo o Nordeste e parte da Região Norte e (b) pelo anticiclone centrado sobre a costa oeste agora em (16°S-75°W). Permanece o domínio do anticiclone semi-permanente na área do Atlântico e do cavado no Pacífico.

O campo da vorticidade deste dia (Fig. 4.41a), analisado com intervalo de $2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, é, em linhas gerais, semelhante ao do dia anterior (Fig. 4.39a), no qual foi utilizado o intervalo de análise de $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

No campo da divergência (Fig. 4.41b) nota-se, em particular, a intensificação dos núcleos situados no leste da América do Sul. Destacam-se também as mudanças ocorridas a oeste de 70°W, no hemisfério norte.

(g) Dia 21/11/86

A Figura 4.42 evidencia pequenas mudanças em relação ao dia anterior no hemisfério norte. O escoamento associado ao ciclone se estende até 5°S, onde parece se unir com dois pares de

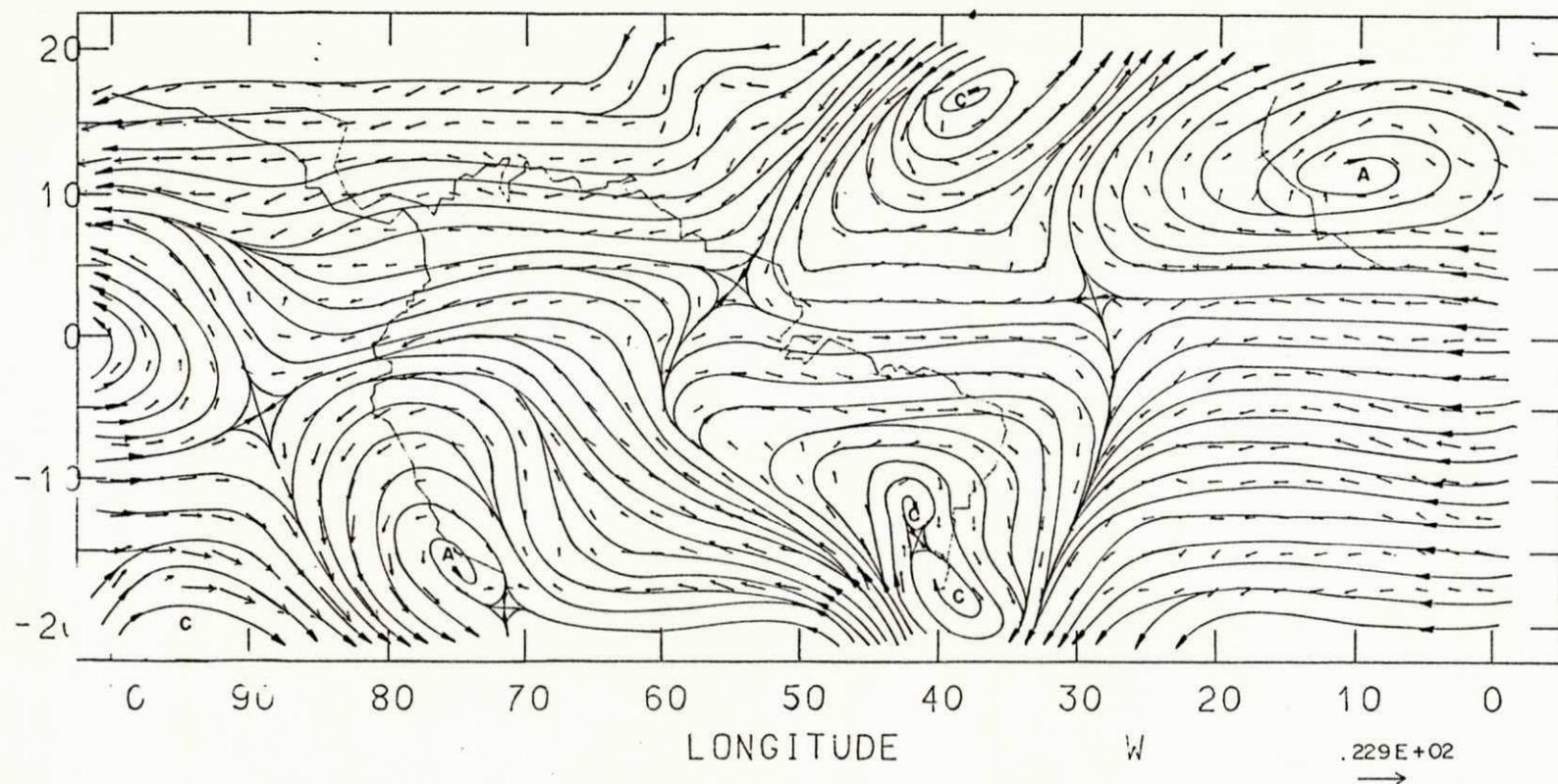
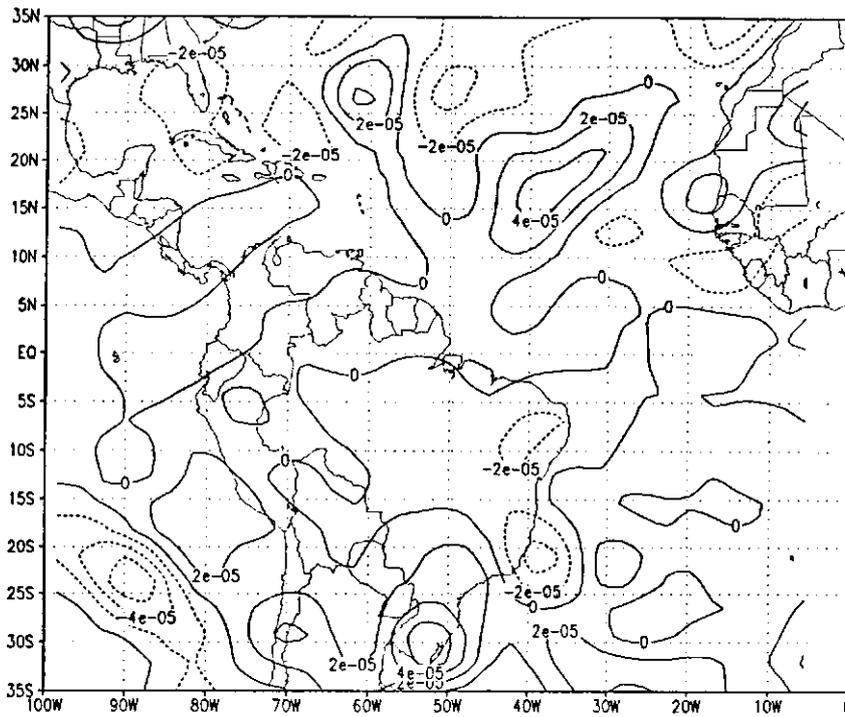
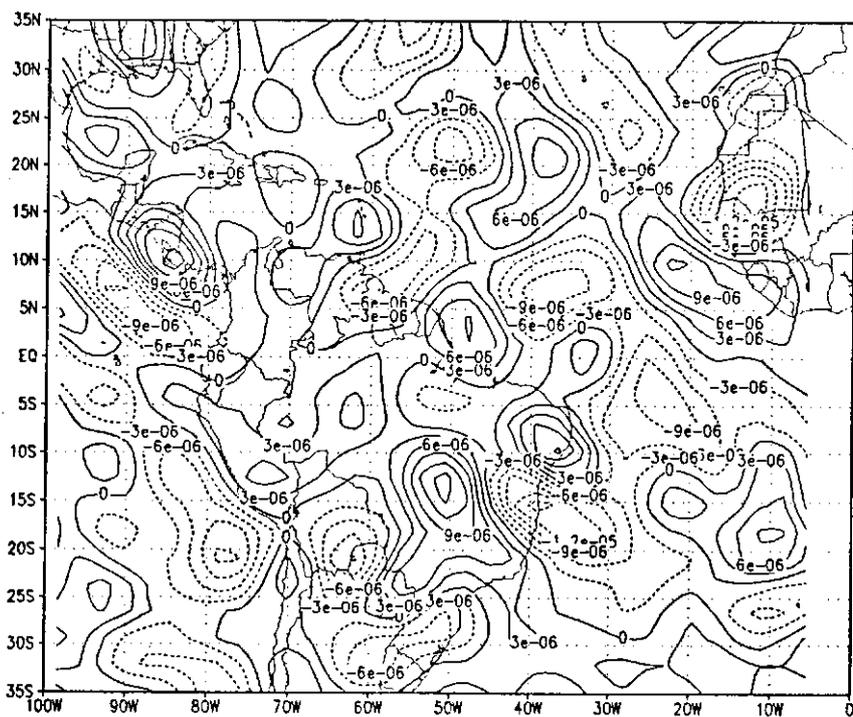


Fig.4.40 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.



LONGITUDE

LATITUDE



LONGITUDE

LATITUDE

Fig.4.41 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 20/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} s^{-1}$

ciclones localizados sobre a América do Sul. O anticiclone anteriormente situado sobre a Africa está subdividido em três células.

Na região equatorial, permanece o núcleo do Pacífico enquanto que um centro horário desprendido está localizado em (1°N-89°W). A região equatorial continua, de maneira geral, dominada alternadamente por ventos de leste e de oeste.

Na área anteriormente dominada pela circulação associada ao par de ciclones houve o desprendimento de dois ciclones sobre a Região Norte e um sobre a região oceânica adjacente ao Nordeste. Esse desprendimento foi provocado pelo alinhamento com um cavado de latitudes médias que faz par com um dos ciclones presentes no dia anterior, enquanto que o outro está deslocado para sudeste. A área que esse último ocupava no dia 20 está agora dominada por um anticiclone resultante da subdivisão do anticiclone situado sobre o continente. A crista associada ao anticiclone da costa oeste se prolonga até o equador. O cavado do Pacífico Sul sofreu amplificação enquanto que houve um realinhamento do anticiclone do Pacífico Sul. O Atlântico Sul continua dominado pelo anticiclone subtropical.

O campo da vorticidade mostra núcleos bem definidos associados aos sistemas de latitudes médias de ambos os hemisférios. Destaca-se também neste dia o centro positivo associado ao cavado situado sobre o Atlântico Norte. No hemisfério sul, o intenso núcleo ciclônico centrado em torno de 30°W, associado ao cavado de latitudes médias, se apresenta

isolado da área de vorticidade ciclônica zonalmente alongada que domina as Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

O campo da divergência deste dia (Fig. 4.43b), analisado com intervalo de $5 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, é, em linhas gerais, semelhante ao do dia anterior (Fig. 4.41b), no qual foi utilizado o intervalo de análise de $3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

(h) Dia 22/11/86

A comparação com o dia anterior (Fig. 4.44) evidencia que no hemisfério norte os sistemas localizados a oeste de 30°W se deslocaram para oeste, enquanto que houve um realinhamento do par de anticiclones situado próximo à costa da África. E também evidente a amplificação ocorrida no lado oeste do ciclone. Essa área amplificada afeta a porção norte da América do Sul.

Na região equatorial, os sistemas situados a oeste de 50°W também se deslocaram para oeste. Essa região continua, de maneira geral, dominada alternadamente por ventos com componente de leste e oeste.

No hemisfério sul as alterações mais importantes foram: (a) a presença de um único núcleo ciclônico sobre o Nordeste e uma pequena amplificação da crista situada a leste do mesmo, (b) o enfraquecimento do anticiclone do Atlântico Sul e (c) o deslocamento para leste dos sistemas presentes ao sul de 15°S . Esse deslocamento é evidente no campo da vorticidade (Fig. 4.45a) que, de maneira geral, apresenta valores mais fracos que os do dia anterior. Os centros ciclônicos localizados sobre o Nordeste

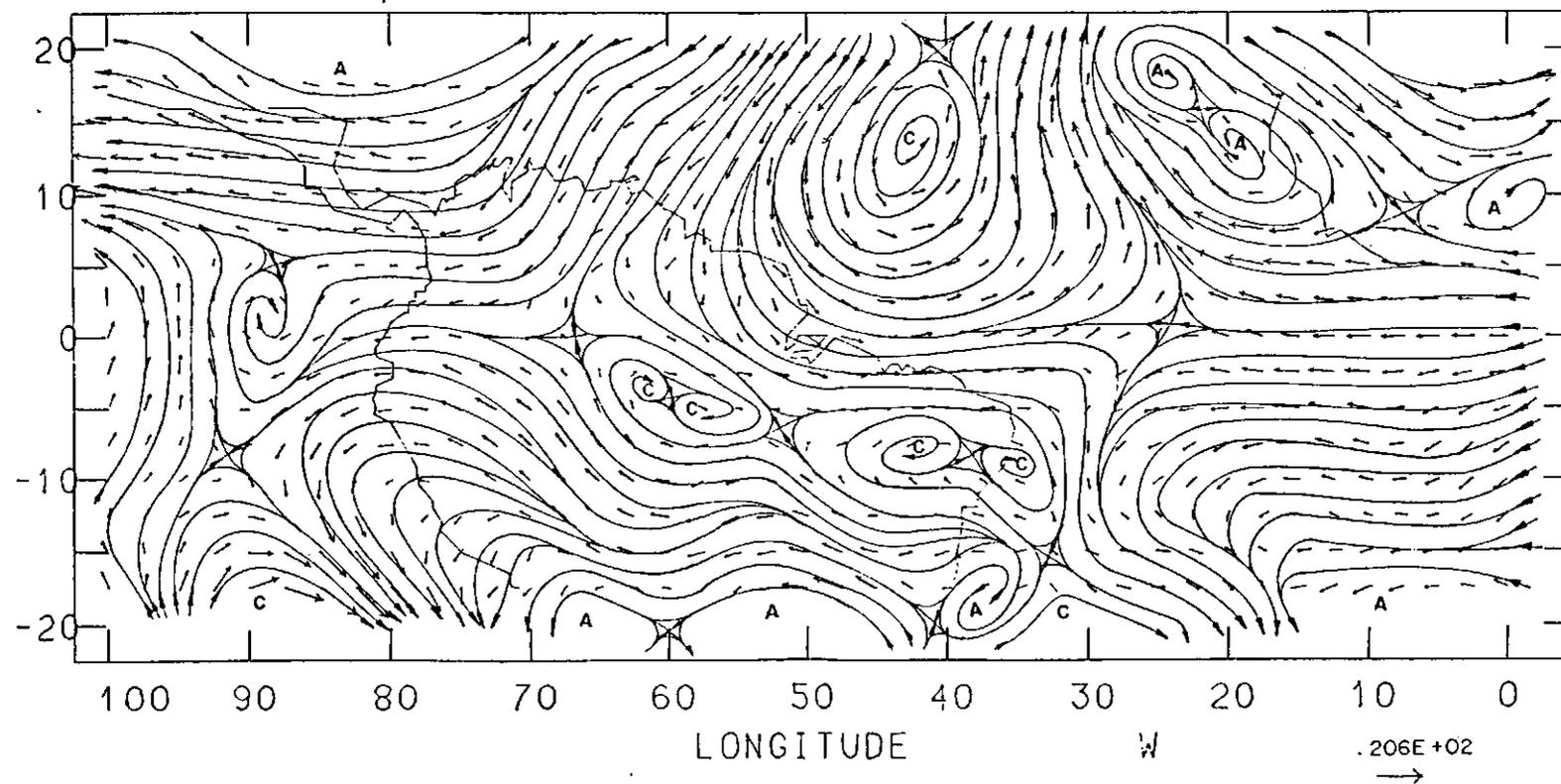


Fig.4.42 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

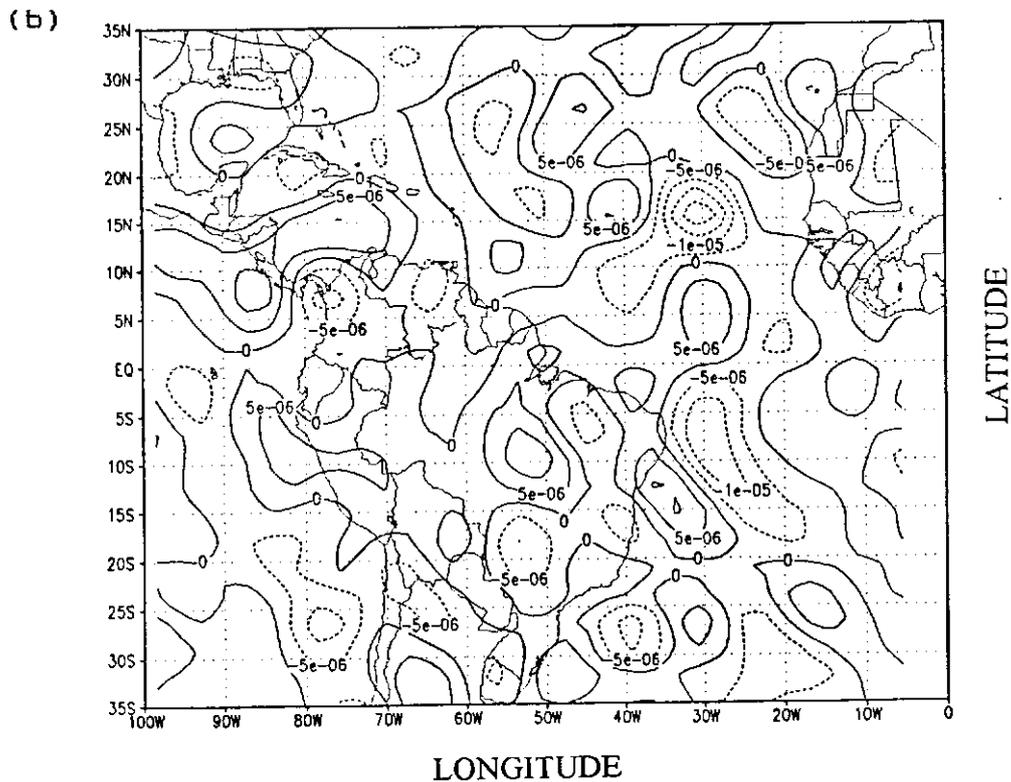
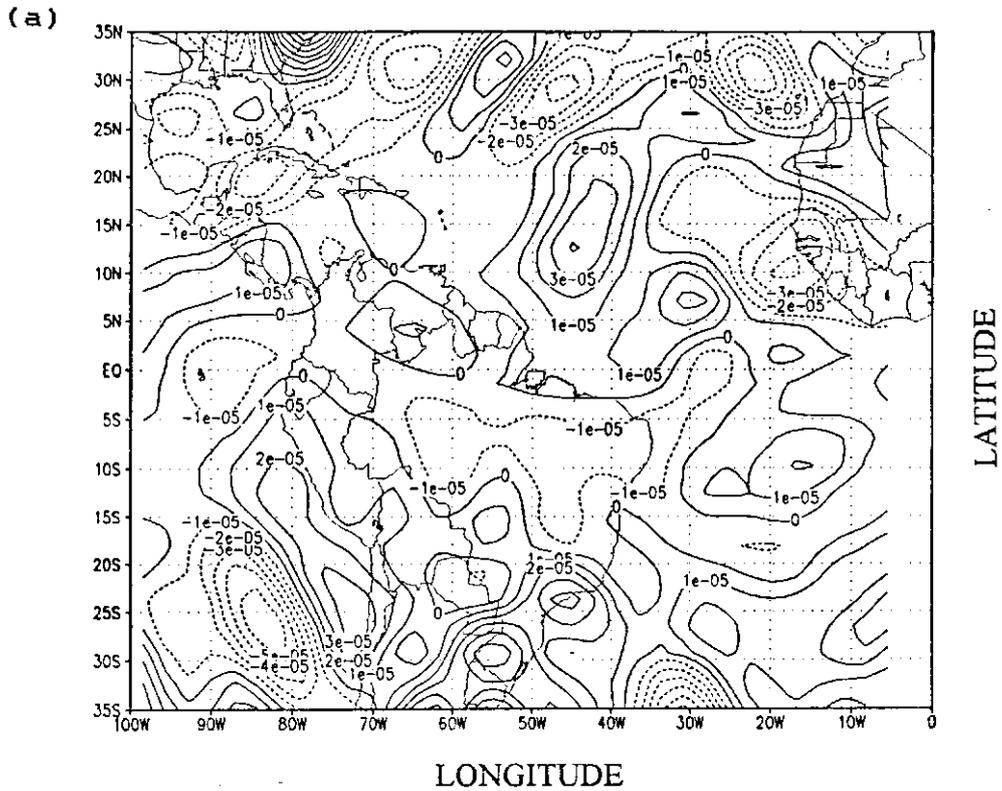


Fig.4.43 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 21/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} s^{-1}$

e o Pacífico Sul são exceções, já que se mostram mais intensos neste dia.

O campo da divergência (Fig. 4.45b) também apresenta, em geral, núcleos mais fracos. A modificação mais importante deste campo ocorreu no leste da América do Sul dominado agora, com exceção da extremidade norte do Nordeste, por um fraco núcleo de convergência meridionalmente orientado.

(i) Dia 23/11/86

Neste dia (Fig. 4.46) os vórtices do hemisfério norte estão praticamente na mesma posição embora sua circulação se estenda mais para oeste. Como consequência, os vórtices se apresentam alongados na direção zonal.

Na região equatorial, dissipou-se o núcleo localizado próximo à costa oeste do continente enquanto que houve o desprendimento de dois vórtices anti-horários com centro em ($1^{\circ}\text{S}-67^{\circ}\text{W}$) e ($1^{\circ}\text{S}-34^{\circ}\text{W}$). Outra modificação importante foi o deslocamento para oeste do vórtice horário do Pacífico, de forma que o mesmo se encontra fora da área analisada. Assim, o oeste do continente e a região equatorial se encontram sob o domínio de uma mesma circulação anticiclônica. Também neste dia a região equatorial se apresenta dominada alternadamente por circulação de leste e de oeste.

No hemisfério sul vale mencionar o ciclone do Nordeste com centro ligeiramente deslocado para oeste e o escoamento quase zonal na área do Atlântico Sul.

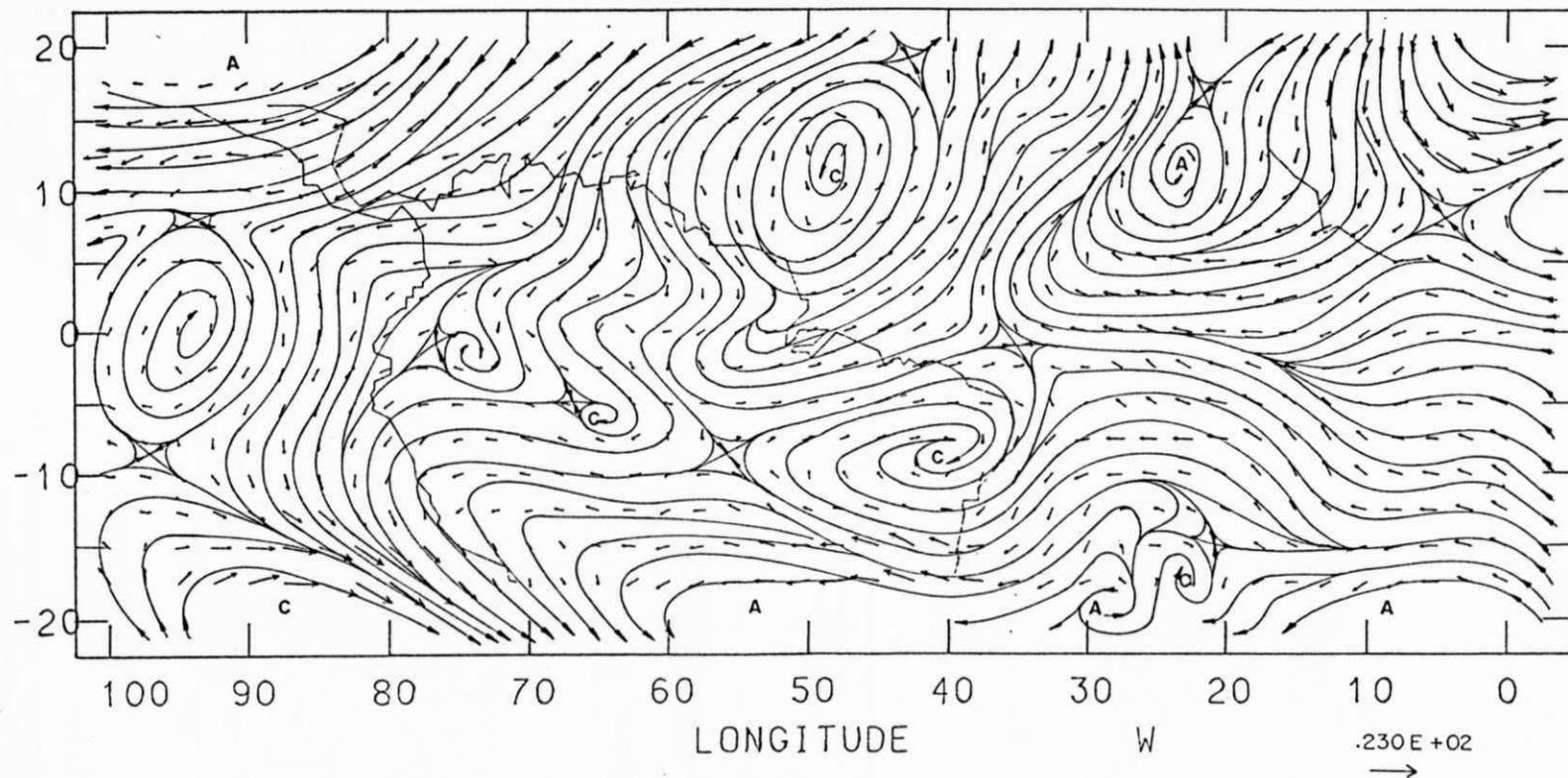


Fig.4.44 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

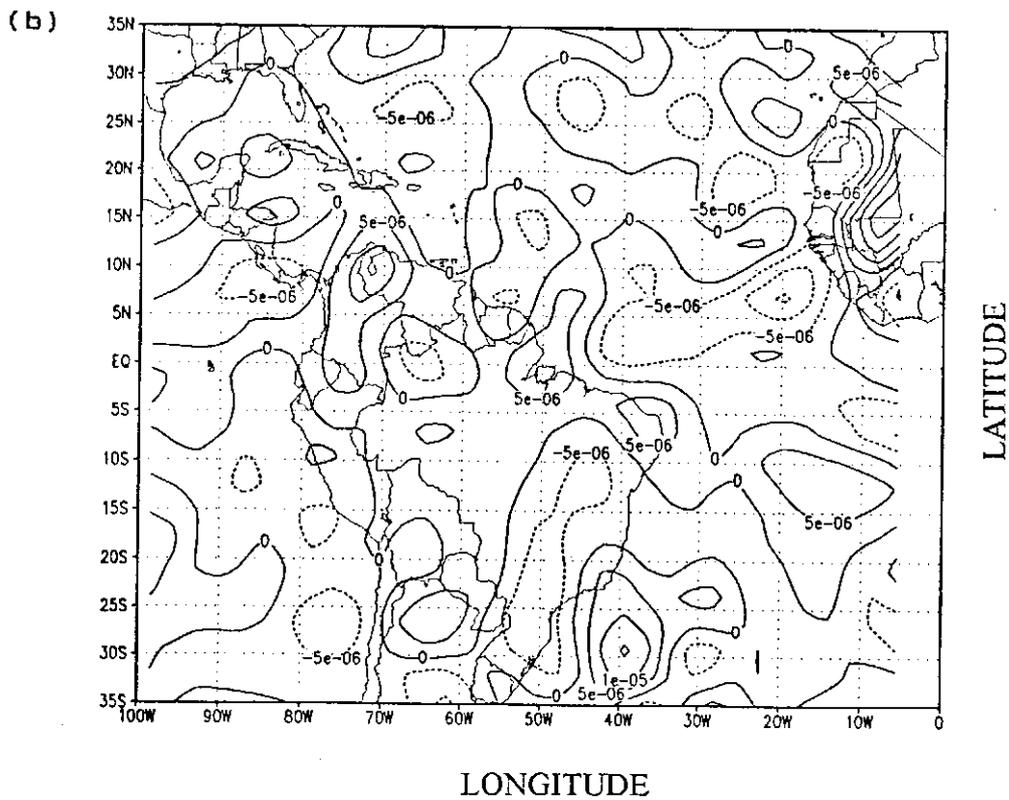
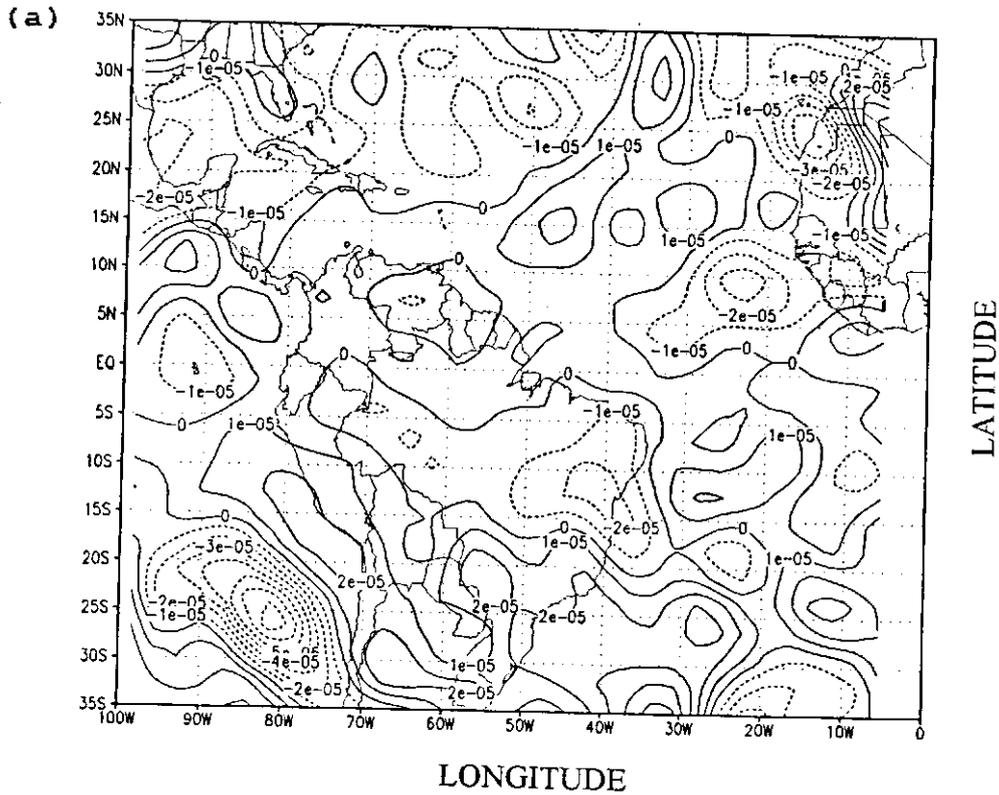


Fig.4.45 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 22/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

O campo da vorticidade (Fig. 4.47a) é semelhante ao do dia anterior (Fig. 4.45a). A única alteração importante foi o aparecimento, dentro da área analisada, do núcleo de vorticidade ciclônica centrado em torno de 40°W e do forte núcleo de vorticidade anticiclônica a sua retaguarda. No campo da divergência (Fig. 4.47b) permanece o centro alongado sobre o leste do continente que parece agora se fundir com uma área de convergência localizada no Atlântico Norte, a leste do ciclone ali situado.

(j) Dia 24/11/86

Neste dia (Fig. 4.48) o hemisfério norte se apresenta bastante modificado em relação ao dia anterior (Fig. 4.47). O centro do anticiclone da América Central está posicionado mais a leste enquanto que o anticiclone da África está subdividido em duas células que dominam o Atlântico Norte até a longitude de 40°W . Um eixo de crista (Atlântico Norte)/cavado (Atlântico Sul) bem definido pode ser visto se estendendo até 15°S na faixa longitudinal de 0° - 10°W . A leste dessas configurações há um cavado/crista de considerável amplitude. O ciclone do Atlântico Norte também está subdividido em duas células que se apresentam quase que meridionalmente alinhadas com o núcleo mais ao sul centrado em torno de (5°N - 50°W).

Na porção equatorial da América do Sul as alterações mais importantes foram o deslocamento para noroeste do vórtice horário ali localizado e a ampliação da área dominada pela circulação anti-horária centrada no litoral norte do Nordeste. Há, a leste

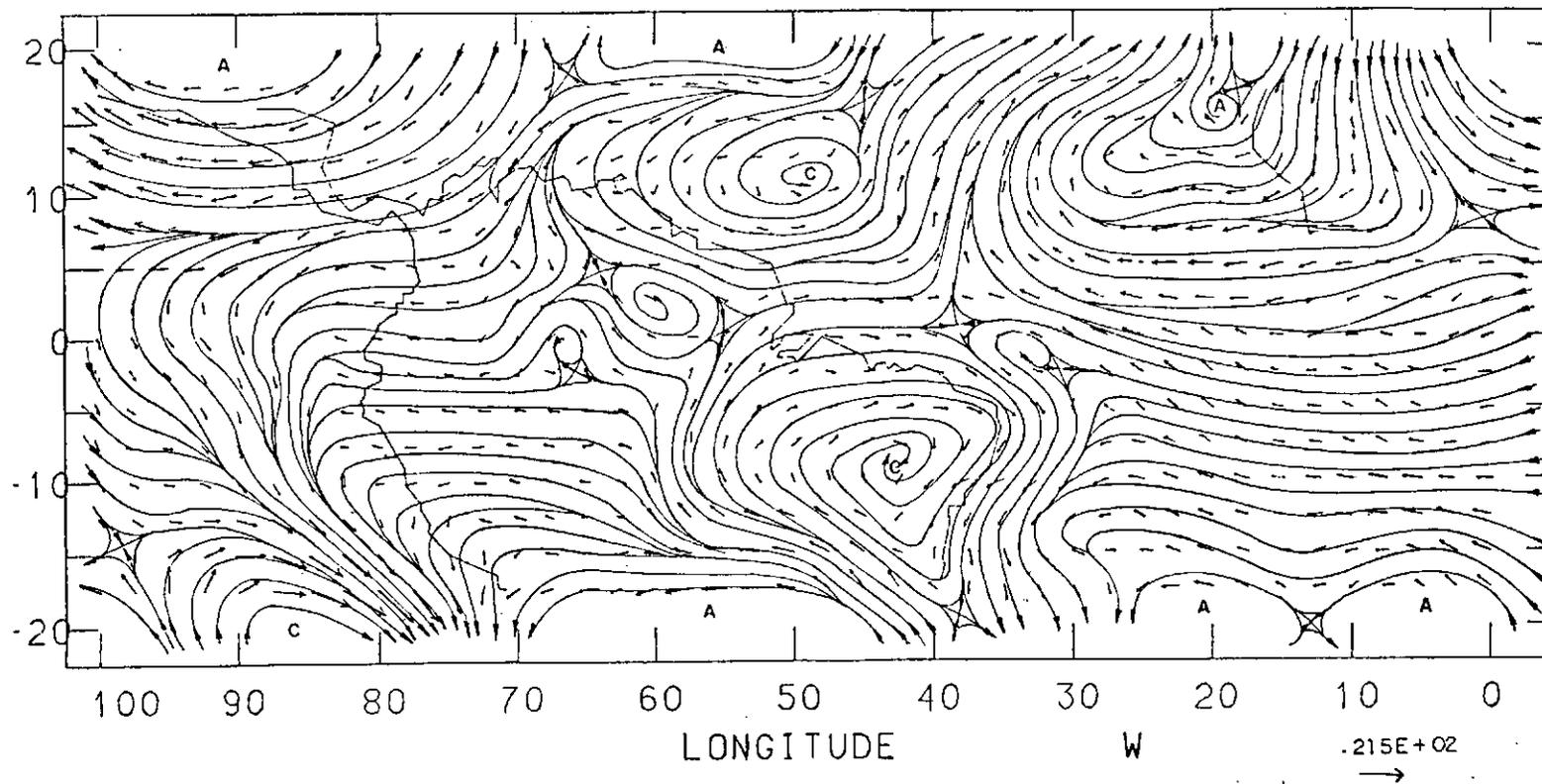


Fig.4.46 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

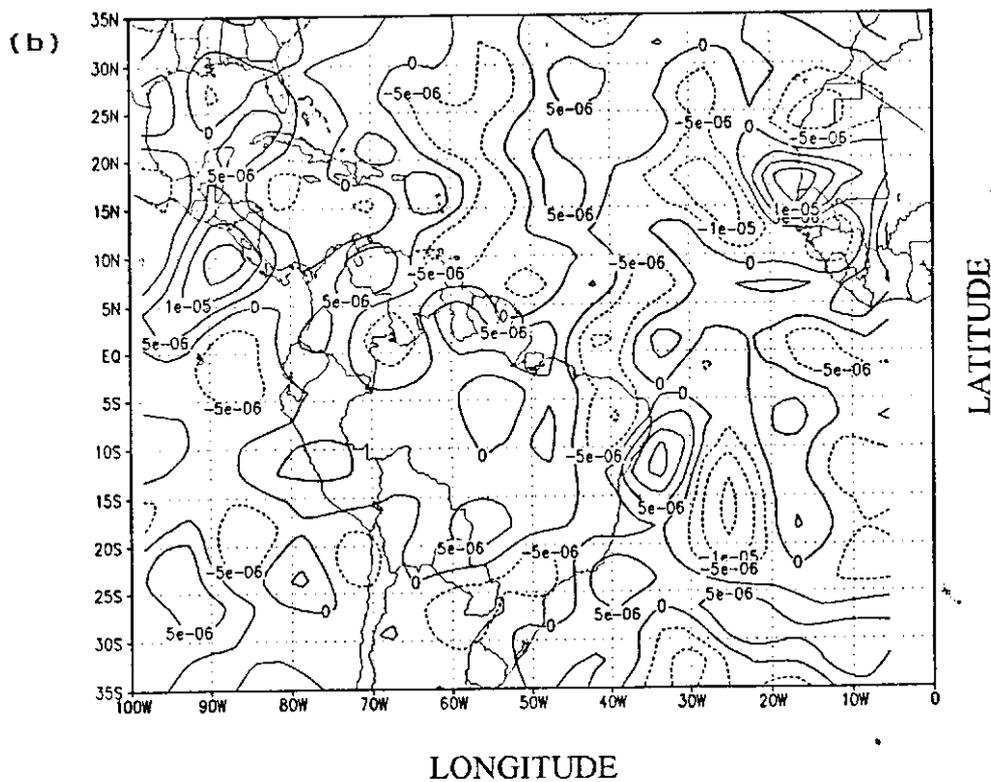
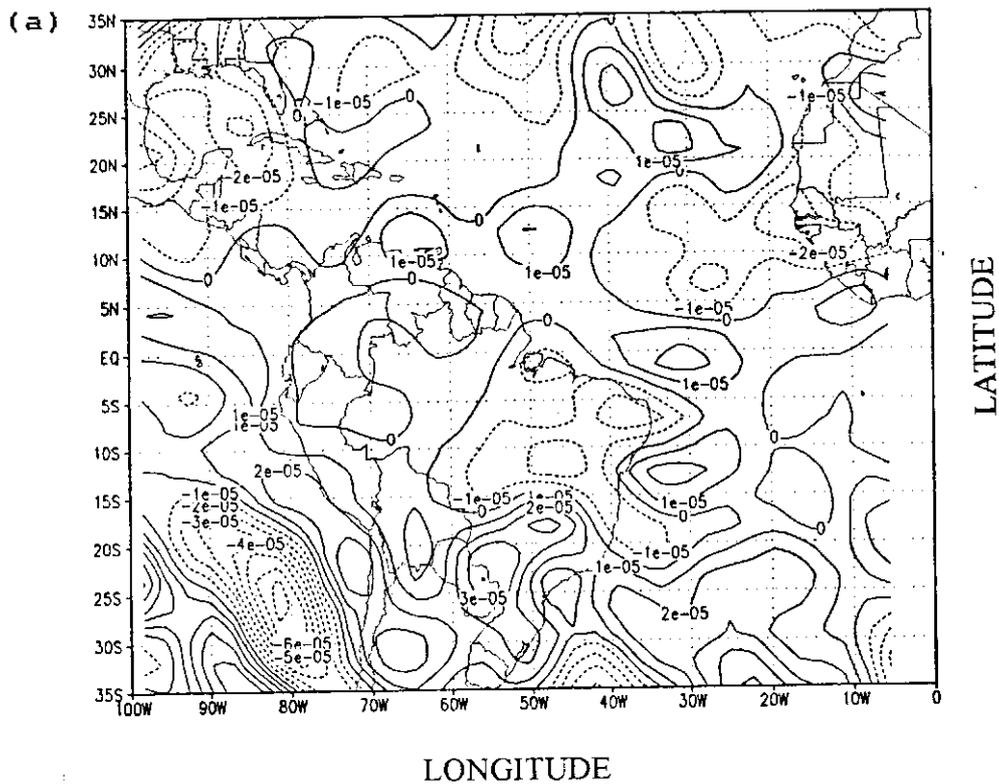


Fig.4.47 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 23/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} s^{-1}$

desse vórtice, uma amplificação do anticiclone da Africa. Por outro lado, a alteração mais drástica ocorreu sobre o Pacífico na faixa de 5°N-10°S onde o sentido do escoamento inverteu dando lugar a escoamento anticiclônico que se estende inclusive sobre o oeste da América do Sul. Associada a essa mudança houve, sobre o continente, a inversão no sentido do vento que era basicamente de leste e passou a ser de sudeste-sul-sudoeste.

Neste dia o ciclone anteriormente situado sobre o Nordeste também se apresenta subdividido em duas células que se encontram a oeste da posição ocupada pelo vórtice no dia anterior. A oeste de 40°W, na extremidade inferior do mapa, houve o avanço para leste da circulação associada ao cavado do Pacífico Sul e a consequente diminuição da área ocupada pelo anticiclone situado sobre o continente.

O campo de vorticidade deste dia (Fig. 4.49a) tem núcleos mais intensos em quase toda a área analisada destacando-se aqueles situados no leste da América do Sul e, em particular, o centro de vorticidade ciclônica do Nordeste. Outra mudança importante foi a entrada no continente do núcleo de vorticidade ciclônica associado ao cavado do Pacífico Sul.

No campo da divergência (Fig. 4.49b) permanece o alinhamento meridional das áreas de convergência situadas sobre o Atlântico Norte, leste da América do Sul e região oceânica adjacente. Essa convergência está mais forte neste dia enquanto que houve desintensificação do núcleo de divergência localizado

a leste do Nordeste.

(h) Dia 25/11/86

Comparado com o dia anterior este (Fig. 4.50) apresenta uma configuração mais simples na área do Atlântico Norte. Permanece o domínio do anticiclone da Africa até próximo de 50°W já que seu escoamento se estende até essa longitude. Um ciclone se despreendeu próximo a costa leste do Nordeste. Houve dissipação dos ciclones localizados ao norte da América do Sul e o aprofundamento da crista situada sobre a América Central.

Na faixa equatorial houve, na porção norte do continente, o deslocamento para sudoeste do vórtice horário, enquanto que ocorreu o desprendimento de um novo vórtice horário nessa área. Dois vórtices anti-horários se formaram ao sul do mesmo. O vórtice com centro próximo ao litoral norte do Nordeste se deslocou para noroeste em consequência das mudanças ocorridas a oeste-noroeste do mesmo. É notável a mudança na direção e intensidade do vento ao norte do equador, sobre o Pacífico, onde fica bem caracterizada a presença de escoamento inter-hemisférico.

Permanecem os dois ciclones na parte central do continente. Houve o desprendimento de dois anticiclones na costa oeste, próximo a latitude de 10°S. Um cavado de latitudes médias é visto entre as longitudes de 40°W e 30°W.

O campo da vorticidade (Fig. 4.51a), analisado com intervalo de $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, comparado com o do dia anterior (Figura 4.49a), com intervalo de análise de $1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, permite detectar a

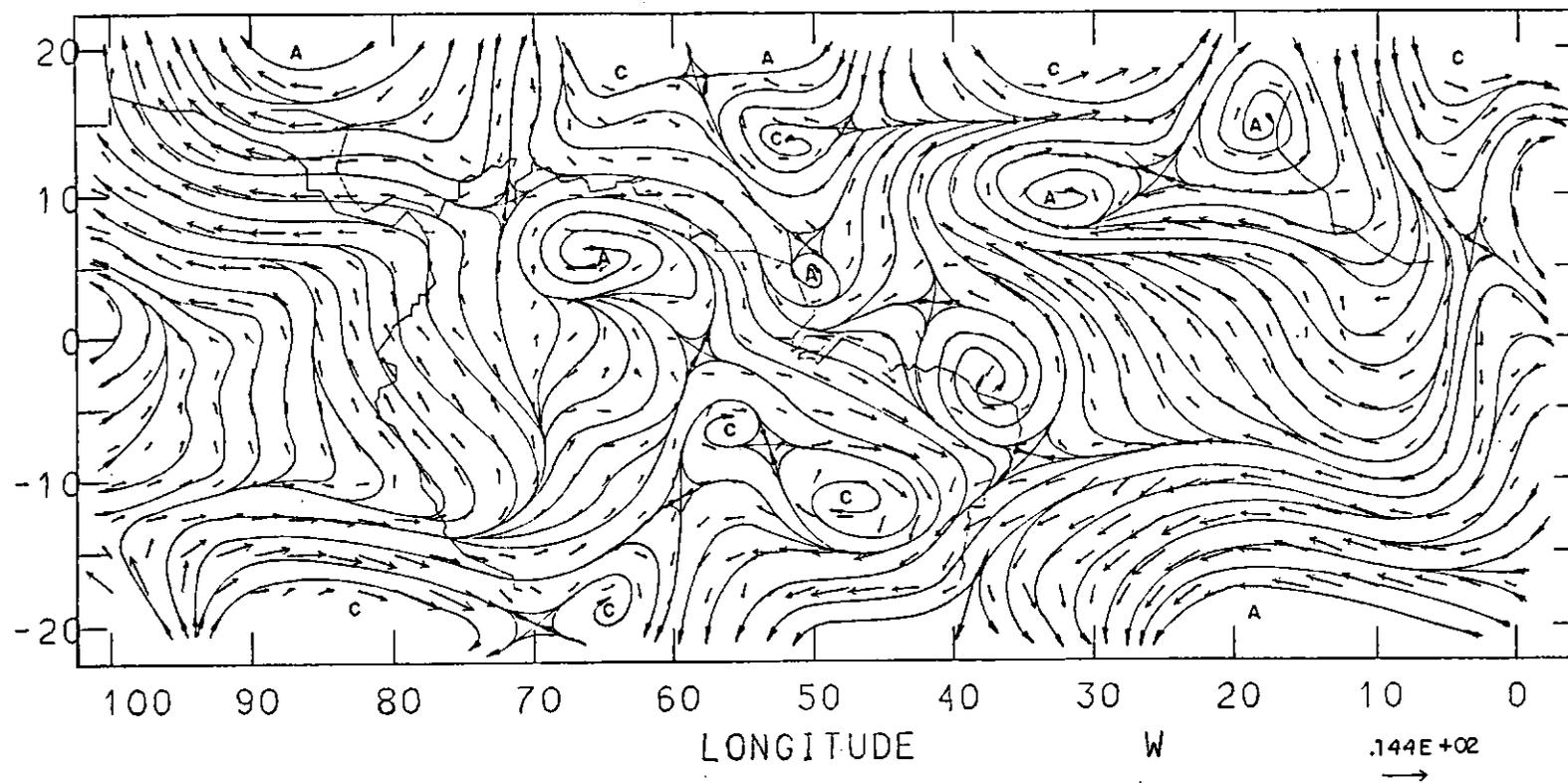


Fig.4.48 - Linhas de corrente e vetores vento (ms^{-1}) no nível de 500 hPa para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. A escala utilizada para os vetores vento é mostrada no canto inferior direito. As letras C e A representam ciclone e anticiclone, respectivamente.

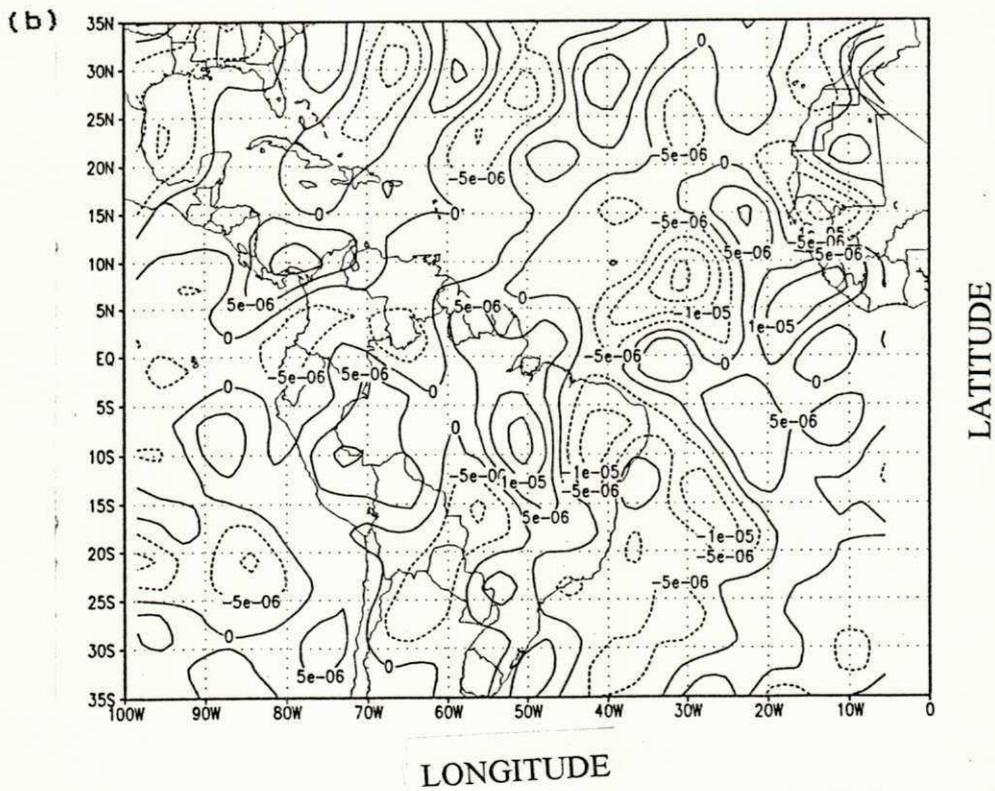
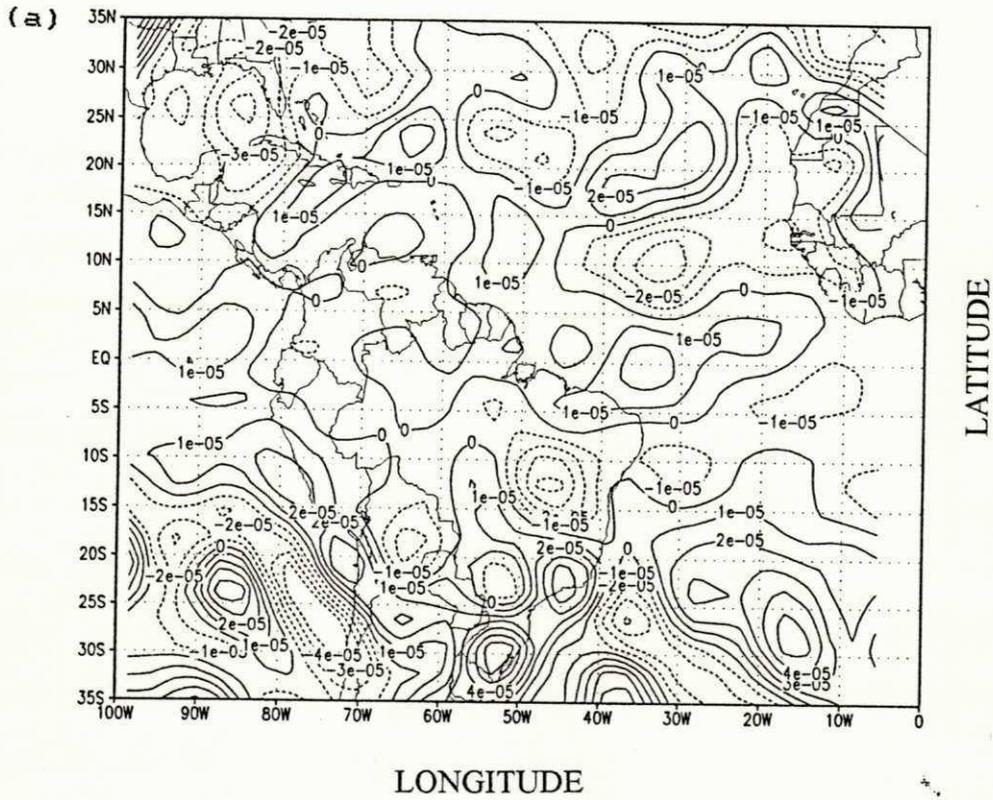


Fig.4.49 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 24/11/86. O intervalo de análise é de a) $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

desintensificação do núcleo ciclônico que penetrou na América do Sul associado ao cavado do Pacífico Sul. No leste do continente a configuração é, em linhas gerais, a mesma.

O campo da divergência (Fig. 4.51b), analisado com intervalo de $3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, comparado com o do dia anterior (Fig. 4.49b), com intervalo de análise de $5 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$, permite detectar a desintensificação e a separação entre as áreas de vorticidade ciclônica anteriormente alinhadas. Enquanto isso, o continente se apresenta dominado por divergência em torno de 20°S . Ao sul dessa latitude, um intenso núcleo de convergência, provavelmente associado ao cavado que veio de oeste, separa dois núcleos de divergência bem definidos.

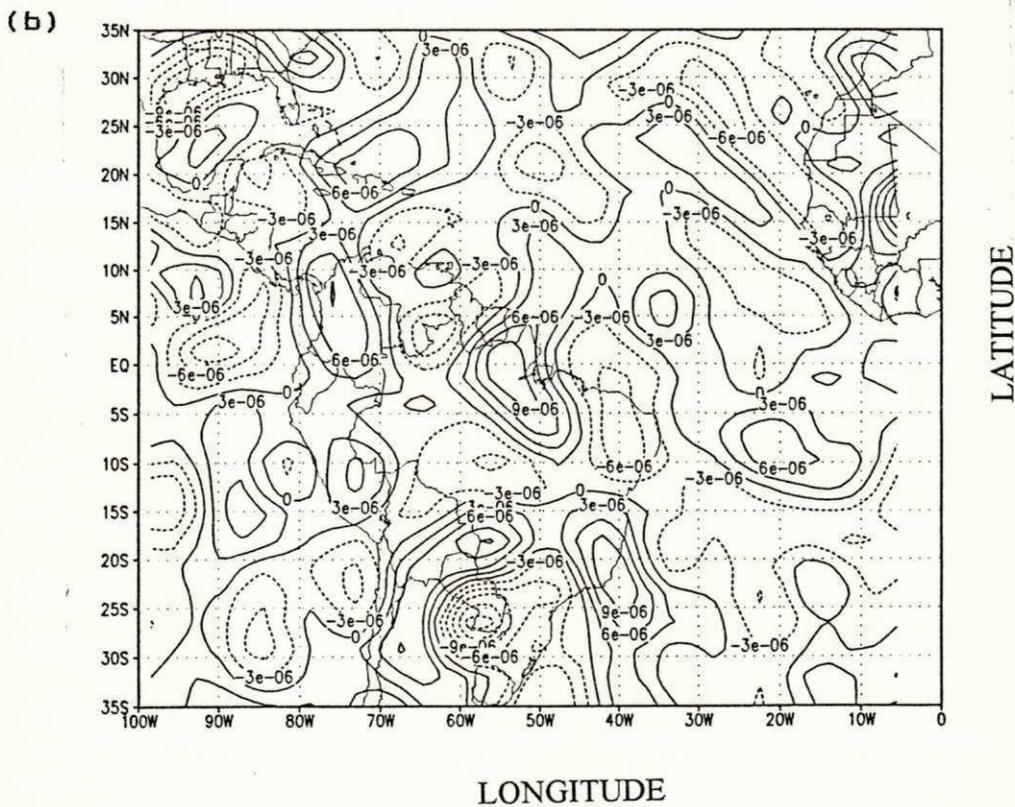
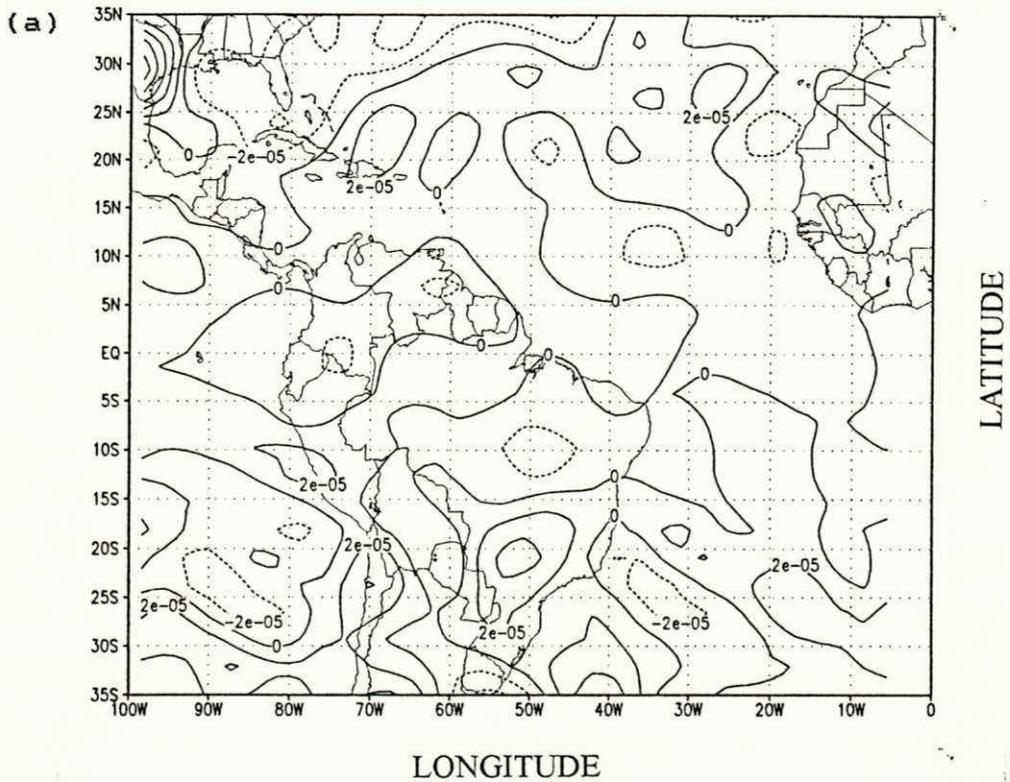


Fig.4.51 - Isolinhas de (a) componente vertical da vorticidade relativa e (b) divergência horizontal, no nível de 500 hPa, para as 12:00 UTC do dia 25/11/86. O intervalo de análise é de a) $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e b) $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

4.3 Seções Longitude-Tempo da Componente Meridional do Vento em 200 hPa

As seções longitude-tempo da componente meridional do vento são úteis para identificar características básicas dos distúrbios atmosféricos como, por exemplo, a direção e velocidade com que se propagam. Além disso, dão uma ilustração simplificada da evolução temporal do escoamento na latitude considerada.

A seção para a latitude de 20°S (Fig. 4.52) evidencia que, durante quase todo o período de estudo, o oeste da América do Sul esteve dominado por uma crista/anticiclone enquanto que o leste do continente-Atlântico Sul esteve sob a influência de um cavado/ciclone. É possível verificar que o cavado teve um deslocamento para leste de cerca de 2,5° de longitude por dia até o dia 21, após o que permaneceu estacionário.

A presença de componente meridional positiva (de sul) no sul do Nordeste (longitude de 40°W, aproximadamente) caracteriza o escoamento na banda oeste (banda leste) do cavado (crista) que se apresenta bem definido a partir do dia 17 (Fig. 4.12). Há intensificação da componente positiva até o dia 21, quando há a formação do vórtice (Fig. 4.20). Por outro lado, a componente negativa associada a banda oeste da crista atinge intensidade máxima nos dias 22 e 23. Essas mudanças ocorrem devido a penetração dos sistemas frontais vistos nas Figuras 4.2 e 4.5. É interessante assinalar que a componente positiva volta a se intensificar a partir do dia 23 com a penetração de outro sistema de latitudes médias que aparece centrado em torno de 40°W nas

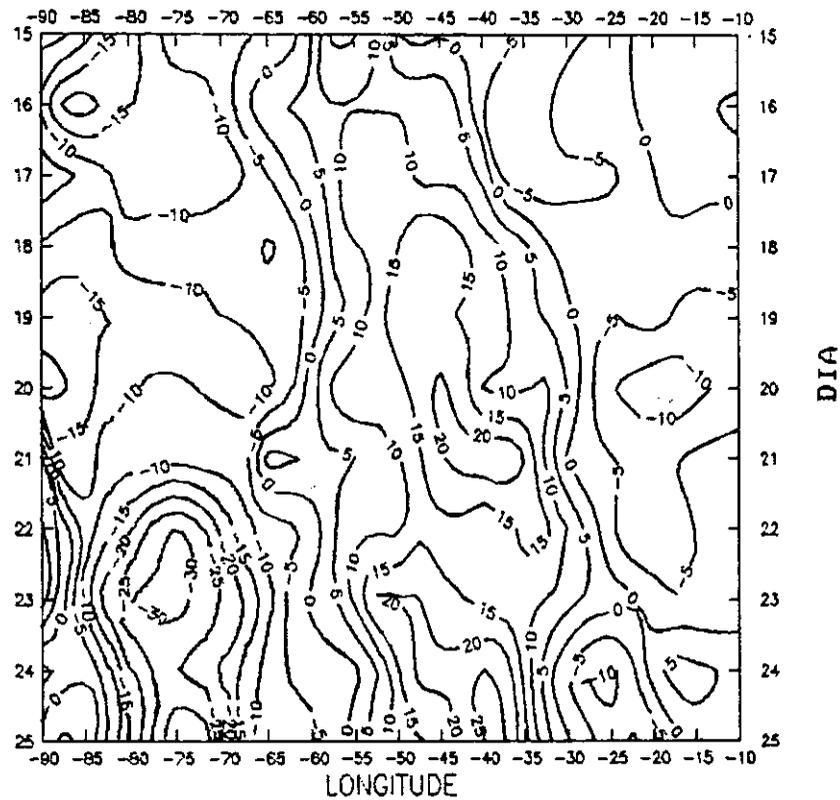


Fig. 4.52 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) para o nível de 200 hPa em 20°S para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte).

Figuras 4.26 e 4.28.

As características básicas da seção para a latitude de 10°S (Fig. 4.53) são, de maneira geral, semelhantes às da Figura 4.52. Entretanto, a Figura 4.53 apresenta valores mais fracos na maior parte do período, principalmente no caso da componente de norte no lado esquerdo da figura. Isso indica que a crista/anticiclone é menos intensa na latitude de 10°S . Outra diferença importante é que a componente positiva atinge sua maior intensidade no dia 23, ou seja, dois dias depois da ocorrência do máximo na latitude de 20°S .

O deslocamento do cavado é semelhante em ambas as latitudes, com uma velocidade estimada de 2,8 graus de longitude por dia na latitude de 10°S .

A seção para o equador (Fig. 4.54) é quase que totalmente dominada pela circulação do cavado. Nessa latitude suas bandas oeste e leste têm intensidades comparáveis, o que não ocorre nas seções anteriores. Além disso, ambas as componentes têm dois máximos: um nos dias 17-18, correspondendo à formação do cavado e outro nos dias 23-25, após a formação do vórtice.

A seção para a latitude de 10°N (Fig. 4.55) guarda certa simetria com a da latitude de 10°S (Fig. 4.53). A área com componente meridional negativa (de norte) caracteriza o escoamento na banda oeste (banda leste) de um cavado (crista) situado sobre o Atlântico Norte. Nos primeiros dias do período esse cavado se deslocou para oeste de cerca de 3,7 graus de longitude por dia. A partir do dia 20, seu deslocamento é para

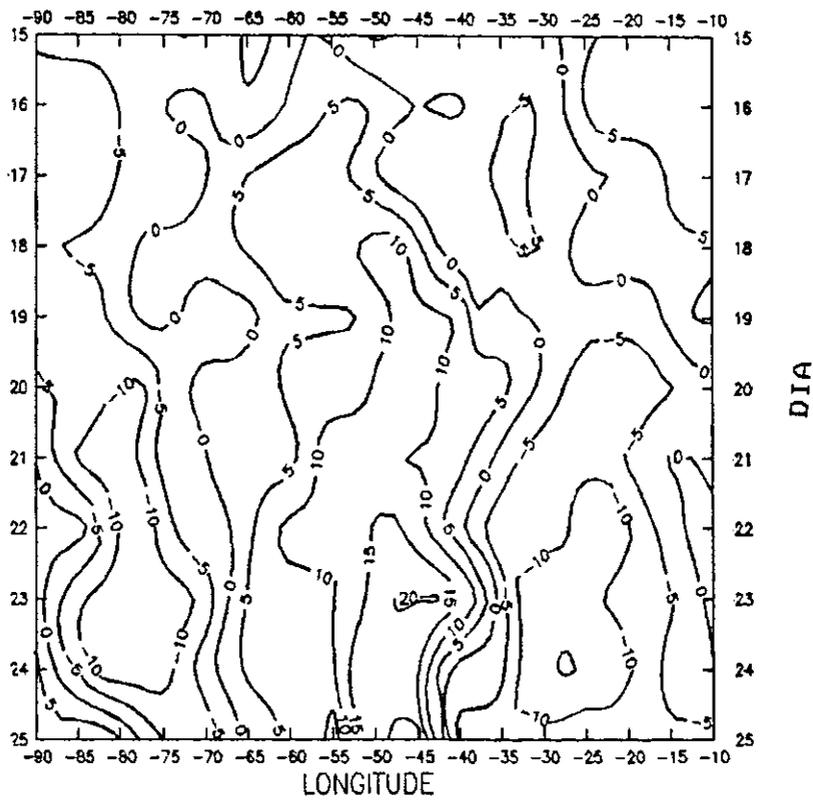


Fig. 4.53 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) para o nível de 200 hPa em 10°S para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte).

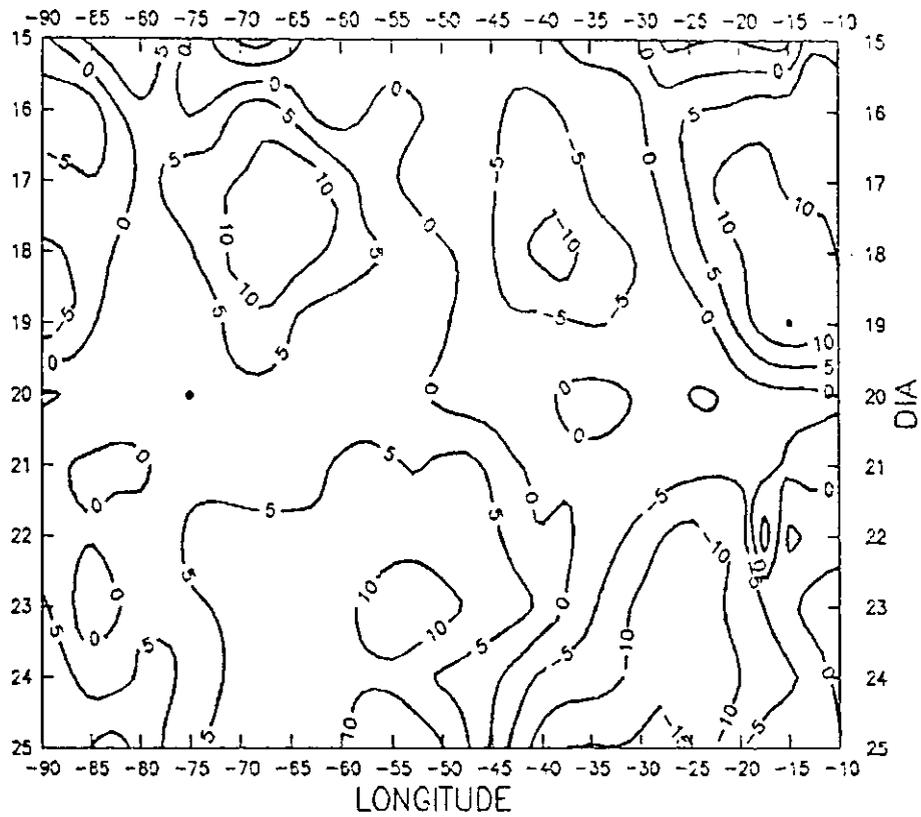


Fig. 4.54 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) para o nível de 200 hPa em 0° para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte).

leste a uma velocidade aproximada de cerca de 2,5 graus de longitude por dia.

Uma análise mais cuidadosa das Figuras 4.53 e 4.55 evidencia que o cavado do Atlântico Norte e o cavado do Atlântico Sul estiveram meridionalmente alinhados do dia 18 ao dia 21.

A comparação entre a Figura 4.55 e a seção para a latitude de 20°N (Fig. 4.56) evidencia que esta última tem núcleos mais intensos, particularmente na área do cavado do Atlântico Norte. Nos primeiros dias do período esse cavado se desloca para oeste a uma velocidade aproximada de 3,1 graus de longitude por dia passando depois a se deslocar para leste cerca de 1,6 graus de longitude por dia. É interessante observar também na Figura 4.56 que os sistemas a oeste de 50°W não são tão bem definidos e que parecem se intensificar/desintensificar com pouco ou nenhum deslocamento.

Vale assinalar que as seções obtidas para as latitudes de 30°N e 30°S (não mostradas) são dominadas por sistemas migratórios.

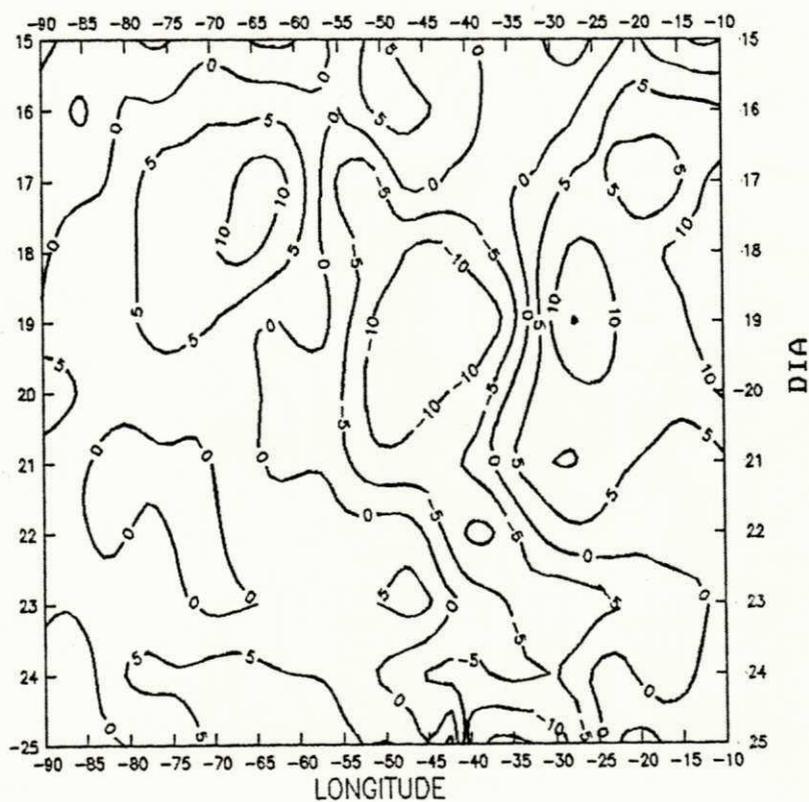


Fig. 4.55 - Seção longitude-tempo da componente meridional do vento (ms^{-1}) para o nível de 200 hpa em 10°N para o período de 15 a 25 de novembro de 1986. Os valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte).

Situação semelhante ocorre na primeira metade do período no ponto de coordenadas (5,0°S-30,0°W), situado na borda equatorial e à frente do eixo do cavado do Atlântico Sul (Fig. 4.58). A vorticidade se mantém fraca e negativa, embora aumentando, do dia 20 ao dia 24, passando a positiva no dia 25.

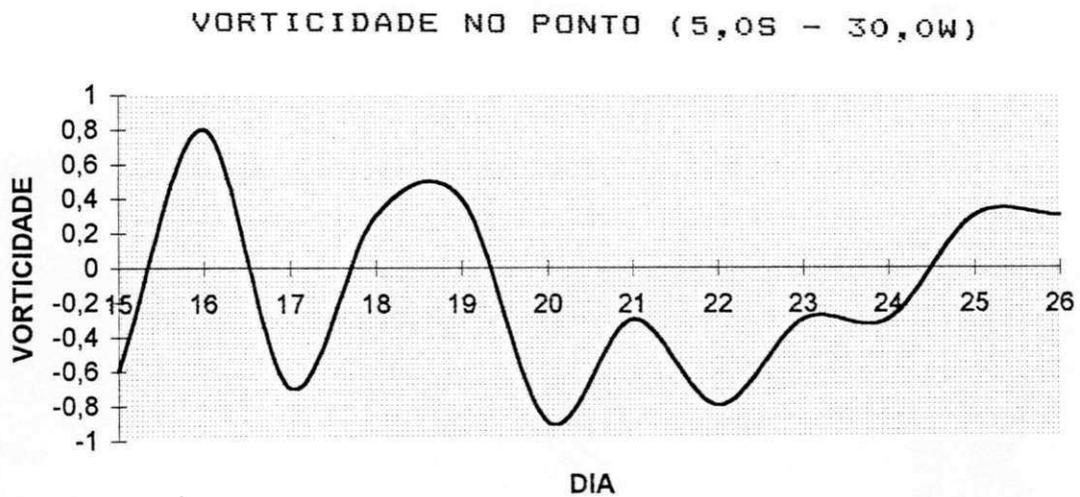


Fig.4.58 - Serie temporal da componente vertical da vorticidade relativa ($10^{-9}s^{-1}$) no nível de 200 hPa no ponto (5,0°S-30,0°W)

A série temporal para o ponto de coordenadas (17,5°N-45,0°W) vista na Figura 4.59 contrasta com as anteriores devido a intensidade dos valores apresentados e ao fato de que a vorticidade se mantém negativa durante todo o período estudado, à exceção do primeiro dia. Esse ponto está situado a oeste do eixo do cavado do Atlântico Norte que se intensifica e sofre retrogressão durante os sete primeiros dias, conforme evidenciado na seção longitude-tempo para a latitude de 20°N (Fig. 4.56).

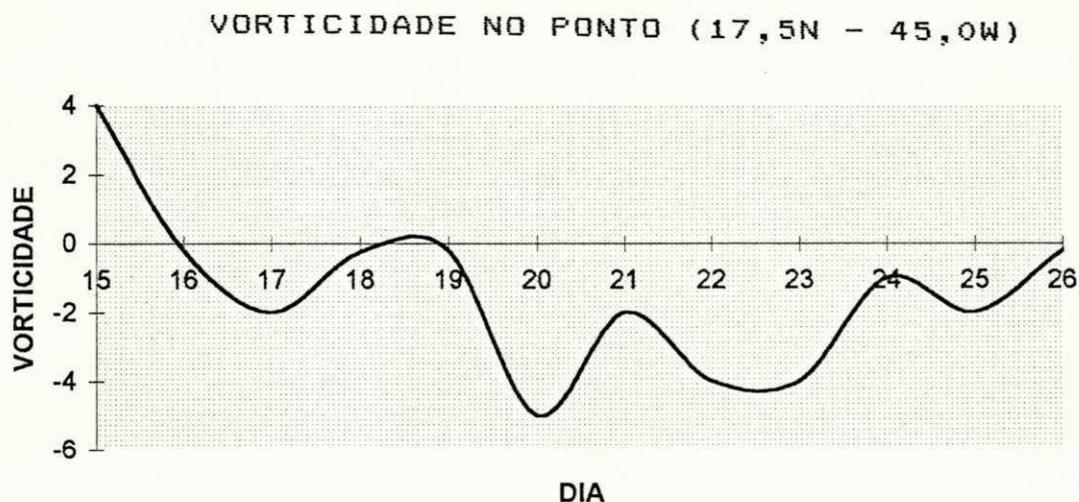


Fig.4.59 - Série temporal da componente vertical da vorticidade relativa ($10^{-9}s^{-1}$) no nível de 200 hPa no ponto (17,5°N-45,0°W)

Nos primeiros seis dias do período, a vorticidade anticiclônica no ponto de coordenadas (10,0°N-22,5°W) diminui gradualmente tornando-se negativa no dia 19 (Fig. 4.60). A partir daí, a vorticidade se alterna entre valores positivos e negativos, evolução essa que também é explicada pela intensificação e retrogressão do cavado do Atlântico Norte.

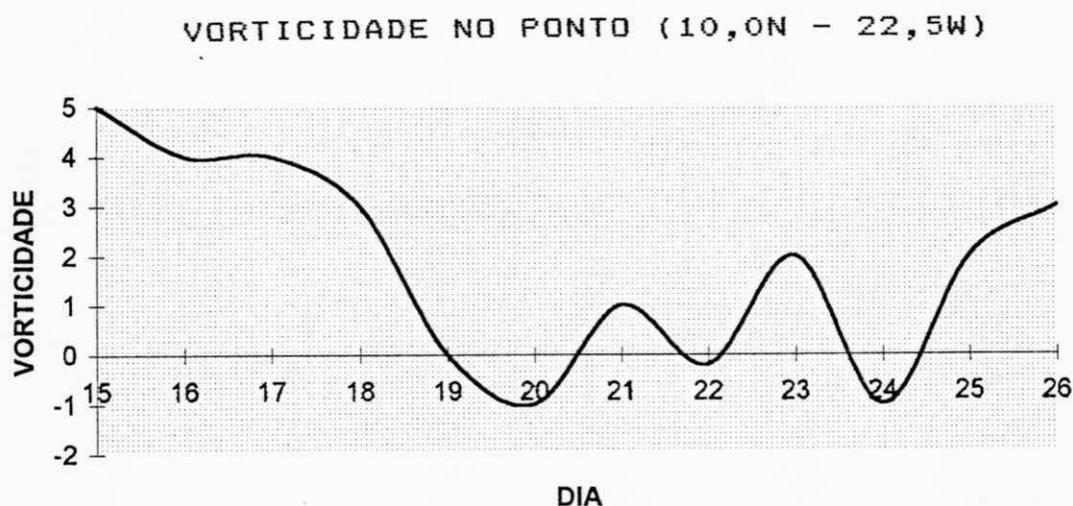


Fig.4.60 - Serie temporal da componente vertical da vorticidade relativa ($10^{-9}s^{-2}$) no nível de 200 hPa no ponto (10,0°N-22,5°W)

O ponto de coordenadas (2,5°N-57,5°W) está situado à frente do eixo do cavado do Atlântico Sul na quase totalidade do período analisado. O gráfico da vorticidade (Fig. 4.61) mostra diminuição da vorticidade até o dia 17, dia de formação do cavado, após o que há uma tendência de aumento até o final do período.

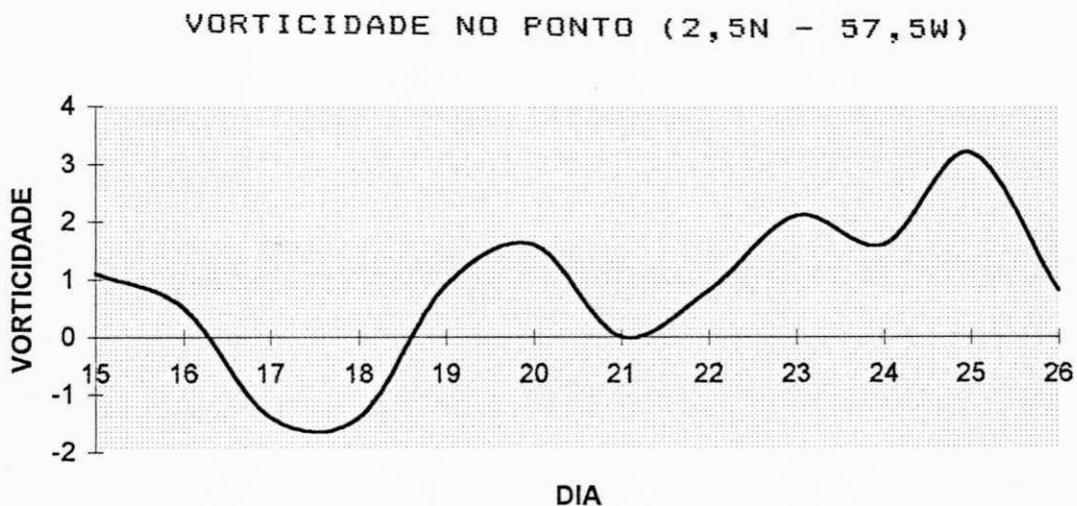


Fig.4.61 - Serie temporal da componente vertical da vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) no nível de 200 hPa no ponto (2,5°N-57,5°W)

CAPITULO 5

CONCLUSÕES

Este trabalho investiga a existência de conexões entre os ciclones da alta troposfera da Região Nordeste do Brasil e a circulação do hemisfério norte para uma situação ocorrida no mês de novembro de 1986. Durante esse período nos altos níveis observou-se a presença de fortes anomalias anticiclônicas no sul do Brasil. Esse padrão de anomalias sugere a intensificação do cavado do Atlântico Sul que é normalmente fraco no mês de novembro.

Os resultados encontrados evidenciam a presença do cavado do Atlântico Sul no decorrer da segunda quinzena do mês de novembro de 1986. A formação desse cavado no nível de 200 hPa ocorre em paralelo com a de uma crista amplificada a sua retaguarda. Essa crista amplificada (Fig. 4.12), que vem a dar origem ao anticiclone da Bolívia no dia 19 (Fig. 4.16), resulta do alinhamento entre um vórtice anti-horário situado sobre o Pacífico equatorial e a crista associada a um sistema frontal que penetrou no Nordeste no dia 13 e se dissipou no dia 18 (Figs. 4.2-4.4). A intensificação e reorientação de um cavado de latitudes médias situado ao norte da América do Sul parece ter sido fundamental no processo de alinhamento (Figs. 4.8, 4.10, 4.12).

A entrada de um sistema frontal no sudeste do Brasil no dia

21 (Fig. 4.5) provocou a amplificação do cavado e o consequente desprendimento de um vórtice com centro sobre o Atlântico Sul (Fig. 4.20), seguindo o modelo de formação dos vórtices ciclônicos proposto por Kousky e Gan (1981). A partir desse dia o vórtice tem um lento deslocamento para noroeste atingindo o Nordeste no dia 25 (Fig. 4.28).

Uma característica também importante do nível de 200 hPa é o alinhamento entre o cavado do Atlântico Sul e um cavado situado sobre o Atlântico Norte no período de 18 a 21. Esse alinhamento é evidente nas análises de linhas de corrente (Figs. 4.14, 4.16, 4.18 e 4.20) e também na comparação entre as seções longitude-tempo para as latitudes de 10°S e 10°N (Figs. 4.53 e 4.55). A estrutura presente sobre o Oceano Atlântico nesses quatro dias se assemelha a uma das ondas de Rossby confinadas à região equatorial discutida por Matsuno (1966). Liebmann e Hendon (1990) também encontraram uma estrutura semelhante sobre o Atlântico para o padrão de correlação entre o campo do vento e a componente zonal no ponto de grade (0°, 30°W).

A configuração do campo do vento no nível de 500 hPa é mais complexa, particularmente nos quatro primeiros (Figs. 4.30, 4.32, 4.34 e 4.36) e dois últimos dias (Figs. 4.48 e 4.50). Circulação anticiclônica domina o centro-oeste da América do Sul já a partir do primeiro dia do período. A formação do vórtice ciclônico se dá sobre o Atlântico Sul no dia 18 (Fig. 4.36), após a entrada do primeiro sistema frontal no Nordeste (Fig. 4.2). Paralelamente, dois núcleos, um ciclônico e outro anticiclônico, situados no hemisfério norte na região da África, sofrem retrogressão à

medida que se intensificam. A entrada do segundo sistema frontal sudeste do Brasil no dia 21 (Fig. 4.5) provocou o reposicionamento do vórtice sobre o Nordeste (Fig. 4.42).

Uma característica importante dos quatros primeiros dias do período é a existência de intenso escoamento inter-hemisférico. Ventos de norte-nordeste estão presentes sobre o Nordeste nos dias 15 e 16 (Figs. 4.30 e 4.32). Nos dias 17 e 18 (Figs. 4.34 e 4.36) ventos de leste-nordeste são vistos sobre o noroeste da América do Sul, enquanto que fortes ventos de sul-sudoeste sopram sobre o Atlântico em torno de 30°W . A distribuição dos ventos na área do Atlântico, particularmente no dia 18, se assemelha ao padrão de correlação entre o campo do vento e a componente meridional no ponto de grade (0° , 30°W) obtido por Liebmann e Hendon (1990). Os autores assinalam que a estrutura encontrada se assemelha a da onda mista de Rossby-gravidade (Matsuno, 1966).

A partir do dia 19 e até o dia 23 (Figs. 4.38, 4.40, 4.42, 4.44, 4.46), o campo do vento se apresenta consideravelmente simplificado. Particularmente importante é o fato de que o cavado/ciclone do Atlântico Norte se apresenta meridionalmente alinhado com o cavado/ciclone do Atlântico Sul. É evidente o lento deslocamento para oeste desses sistemas que se movimentam como que formando uma única estrutura que, nesses dias, se assemelha a de uma onda de Rossby vista também no nível de 200 hPa (Figs. 4.14, 4.16, 4.18, 4.20).

A análise conjunta dos níveis de 500 e 200 hPa evidencia que a evolução do vórtice não foi "típica" já que ele se formou

primeiro em 500 hPa, no dia 18, e em 200 hPa no dia 21. Foi a partir desse dia que o vórtice provocou totais de precipitação acima da normal em vários estados do Nordeste (Fig. 4.7 e Tab. A.1).

Os resultados encontrados corroboram o conhecimento já existente sobre o papel desempenhado pelos sistemas frontais austrais na formação dos vórtices ciclônicos da alta troposfera que afetam o Nordeste. Além disso, este estudo diagnosticou aspectos ainda desconhecidos da evolução desses vórtices. Foi visto que a ação conjunta de sistemas de latitudes médias dos hemisférios norte e sul foi fundamental para a formação do par anticiclone da Bolívia-cavado do Atlântico Sul. Também foi documentado que o deslocamento do vórtice para oeste ocorreu em associação com o movimento, também para oeste, de um cavado situado no Atlântico Norte.

E necessário esclarecer se tais acontecimentos são característicos de situações com fortes anomalias ou se também fazem parte de casos ditos "típicos". Esta é uma questão que só poderá ser respondida com a realização de outros estudos de caso nos quais a cobertura geográfica seja, no mínimo, igual àquela utilizada neste trabalho. Tais estudos deverão englobar casos ocorridos nos vários meses com maior frequência de vórtices. Por outro lado, um maior entendimento da sua dinâmica poderá ser obtido com a realização de balanços de vorticidade e energia. Nesse mesmo sentido, outro aspecto importante a ser investigado é o da influência de ondas equatoriais nas várias fases do ciclo de

vida dos vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam no Nordeste do Brasil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANJOS, B.L., SOBRAL, Z.R. Vórtice ciclônico sobre o Nordeste do Brasil, novembro de 1986. Relatório Técnico. Pesquisa CNPq, Campina Grande, Pb, 1989.
- ARAGAO, J.O.R. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais, (INPE-789-TPT/017). São José dos Campos, 1975. 51p.
- CAVALCANTI, I.F.A. The anomalous rainfall in northeastern Brazil. In: Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology 1985, New Zealand. International conference on Southern Hemisphere Meteorology. New Zealand, [S.E], 1986. p.446-448.
- CLIMANALISE. INPE. Boletim de monitoramento e Análise Climática. nov. 1986.
- DAVIS, N.E. Meteosat water vapor channel and a low-latitude vortex. Bulletin American Meteorological Society, n.63, 1982. p.747 - 750.
- DEAN, G.A. The three-dimensional wind structure over Shouth Shouth America and associated rainffal over Brazil. Department of Meteorology. Florida State University, 1971. (Rep. LAPE-164).
- GAN, M.A. Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais, (INPE-2685-TLD/126). São Jose'dos Campos, 1982.
- Gray Jr., Thomas j., Clapp, Philip. F. An interaction between Low - and High-Latitude Cloud Bands as Recorded on GOES-1 Imagery. Bulletin American Meteorological Society. n.7, v.59. Jul.1978.
- HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quartely Journal of the Royal. Meteorological Society, n.103, v.1, p.77-92.

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

KOUSKY, V.E., GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 3, p.538-551. 1981.

LIEBMANN, B., HENDON, H.H. Synoptic-scale disturbances near the equator. *Atmos. Sci.*, 47, p.1463-1479. 1990.

MARKHAN, C.G., MACLAIN, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, North-Eastern Brazil. *Nature*, n.265, v.5592, p.320-323. 1977.

MATSUNO, T. Quasi-geostrophic motions in the equatorial area. *J. Meteor. Soc. Japan*, Ser. II, 44, p.25-42. 1966.

Molion, L.C.B., Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, M.E. Influência da circulação atmosférica do hemisfério norte na precipitação pluviométrica da Amazônia: Um estudo de caso. In: VII SIMPOSIO LUSO BRASILEIRO DE HIDRAULICA E RECURSOS HIDRICOS, 3º Salvador (BA), 1987. *Anais...*, Salvador: ABRH, 1987. p.59-71, v.2.

MOURA, A.D., SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Science*, n.38, v.12, p.2653-2675. 1981.

NAMIAS, J. Influence of Northern Hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil. *Tellus*, n.24, v.4, p.336-342. 1972.

RAO, V.B., BONATTI, J.P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic ocean and adjoining Brazil during the summer. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1986. (INPE-4010-PRE/1002).

RIEHL, HERBERT. Venezuelan Rain Systems and the General Circulation of the Summer Tropics II: Relations between Low and High Latitudes. National Center for Atmospheric Research. v.105, nov. p.1421-1433. 1977.

SERRA, A. Meteorologia do Nordeste Brasileiro. IV Assembléia Geral do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - Rio de Janeiro, 1946. p.120.

SILVA, F.M., PAZ, R.S. Vórtice ciclônico da alta troposfera: Um caso no Nordeste do Brasil. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais..., Rio de Janeiro, 1988, Vol. 2, p.11-15.

SILVA, F.M. Vórtices ciclônicos da alta troposfera: Dois estudos de caso para o Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 1991.

APENDICE A

TABELA A.1 - TOTAL DE PRECIPITAÇÃO E DESVIO PERCENTUAL EM RELAÇÃO A NORMAL - PERÍODO DE 21 A 25 DE NOVEMBRO DE 1986.

ESTAÇÃO					PRECIPITAÇÃO (mm)		
NÚMERO SINÓTICO	NOME	ALTITUDE (metros)	LATTITUDE (° Sul)	LONGITUDE (° Oeste)	TOTAL DO PERÍODO	NORMAL	DESVIO
82480	Piripiri - PI	161	04 16	41 47	5.6	43.3	-37.7
82578	Teresina - PI	74	05 05	42 49	3.2	58.4	-55.2
82678	Floriano - PI	127	06 46	42 01	4.5	120.8	-116.3
82780	Picos - PI	208	07 04	41 29	41.0	46.0	-5.4
82882	Paulistana - PI	374	08 08	41 08	0.2	57.7	-57.5
82879	S.J.do Piauí - PI	235	08 21	42 15	13.2	87.6	-74.4
82294	Acarau - CE	16	02 53	40 08	1.1	5.6	-4.5
82392	Sobral - CE	83	03 42	40 21	0.0	5.9	-5.9
82397	Fortaleza - CE	26	03 46	38 36	14.9	16.1	-1.2
82487	Guaramiranga - CE	871	04 17	39 00	7.0	45.6	-38.6
82493	Jaguaruana - CE	12	04 47	37 46	6.9	3.5	+3.4
82586	Quixeramobim - CE	212	05 12	39 18	8.2	5.4	+2.8
82583	Crateus - CE	297	05 10	40 40	6.0	16.4	-10.4
82683	Tauá - CE	399	06 00	40 25	1.2	16.6	-15.4
82588	Morada Nova - CE	44	06 05	38 23	2.8	4.6	-1.8
82686	Iguatú - CE	218	06 22	39 18	20.1	10.6	+9.5
8277	Campos Sales - CE	583	07 00	40 23	15.5	31.6	-16.1
82784	Barbalha - CE	409	07 19	39 18	39.8	42.8	+3.0
82594	Macau - RN	6	05 07	36 38	18.4	0.2	+18.2
82598	Natal - RN	45	05 46	35 12	54.6	14.1	+40.5
82596	Ceará Mirim - RN	61	05 39	35 25	30.5	11.0	+19.5
82693	Cruzeta - RN	226	06 26	36 35	2.8	7.8	-5.0
82590	Apodi - RN	65	05 39	37 48	5.0	4.7	+0.3
82691	Florânia - RN	324	06 07	36 49	116.9	5.4	+111.5
82591	Mossoró - RN	18	05 11	37 20	4.9	8.8	-3.9
82798	João Pessoa - PB	7	07 06	34 52	106.8	29.1	+77.7
82795	Campina Grande - PB	547	07 13	35 53	23.4	12.5	+10.9
82792	Monteiro - PB	604	07 53	37 04	38.8	13.7	+25.1
82791	Patos - PB	249	07 01	37 16	74.9	17.0	+57.9
82689	São Gonçalo - PB	233	06 45	38 17	66.8	18.9	+47.9
82900	Recife - PE	7	08 03	34 55	185.9	35.1	+150.8

TABELA A.1 - CONTINUAÇÃO

ESTAÇÃO					PRECIPITAÇÃO (mm)		
NÚMERO SINÓTICO	NOME	ALTITUDE (metros)	LATITUDE (° Sul)	LONGITUDE (° Oeste)	TOTAL DO PERÍODO	NORMAL	DESVIO
82797	Surubim - PE	418	07 05	35 43	22.2	16.0	+6.2
82890	Arco Verde - PE	681	08 25	37 05	39.2	15.6	+23.6
82893	Garanhuns - PE	823	08 53	36 31	8.4	17.0	-8.6
82789	Triunfo - PE	1019	07 51	38 08	51.7	42.2	+9.5
82887	Floresta - PE	310	08 36	38 34	50.0	30.2	+19.8
82886	Cabrobó - PE	342	08 31	39 20	72.4	39.2	+33.2
82753	Ouricuri - PE	459	07 54	40 03	17.6	37.3	-19.7
82983	Petrolina - PE	370	09 23	40 29	0.0	45.5	-45.5
82994	Maceió - AL	64	09 40	35 42	162.3	29.0	+133.3
82992	P. dos Índios - AL	275	09 27	36 42	18.0	27.4	-9.4
82990	Pão de Açúcar - AL	19	09 45	37 26	58.1	27.9	+30.2
82989	Água Branca - AL	605	09 17	37 54	45.5	31.3	+14.2
82097	Propriá - SE	20	10 12	36 52	60.3	33.6	+26.7
82096	Aracajú - SE	4	10 55	37 03	137.8	55.6	+82.2
82195	Itabaianinha - SE	208	11 07	37 49	57.3	62.5	-5.2
82986	Paulo Afonso - BA	253	09 24	38 13	18.0	27.4	-9.4
83088	S. do Bonfim - BA	558	10 23	40 11	7.0	72.0	-65.0
83186	Jacobina - BA	485	11 11	40 28	17.1	82.7	-65.6
83190	Serrinha - BA	360	11 38	38 58	43.9	81.8	-37.9
83229	Salvador - BA	51	13 01	38 31	53.0	136.1	-83.1
83244	Itaberaba - BA	250	12 33	40 26	22.8	97.4	-74.6
83242	Lençóis - BA	439	12 34	41 23	35.2	165.4	-130.2
83182	Irecê - BA	747	11 18	41 52	5.6	118.4	-112.8
83184	M. do Chapéu - BA	1003	11 13	41 13	6.4	96.5	-90.1
83979	Remanso - BA	400	09 38	42 06	0.0	82.7	-82.7
83236	Barreiras - BA	439	12 09	45 00	1.6	174.9	-173.3
83288	Lapa - BA	440	13 16	43 25	3.6	160.4	-156.8
83408	Carinhanha - BA	440	14 10	43 55	0.0	149.4	-149.4
83339	Caitité - BA	882	14 03	42 37	0.0	156.6	-156.6
83292	Ituaçu - BA	531	13 49	41 18	0.2	114.9	-114.7
83344	V. da Conquista - BA	840	15 57	40 53	3.2	123.7	-120.5
83348	Ilhéus - BA	60	14 48	39 04	23.3	190.5	-167.2
83498	Caravelas - BA	3	17 44	39 15	9.4	239.0	-229.6