

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

**Estudo das Circulações de Mesoescala sobre a Paraíba**

***RICARDO DE SOUSA RODRIGUES***

**Campina Grande - Pb  
Junho/1995**

Estudo das Circulações de Mesoescala sobre a Paraíba

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: *Meteorologia Dinâmica*

*RICARDO DE SOUSA RODRIGUES*

Orientando

*MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO*


Orientador

Campina Grande, Junho/1995

ESTUDO DAS CIRCULAÇÕES DE MESOESCALA SOBRE A PARAÍBA.

RICARDO DE SOUSA RODRIGUES

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 22/06/95



MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO  
Orientador



JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO  
Membro



ADILSON WAGNER GANDU  
Membro

CAMPINA GRANDE  
JUNHO - 1995



R696e      Rodrigues, Ricardo de Sousa.  
              Estudo das circulações de mesoescala sobre a Paraíba /  
              Ricardo de Sousa Rodrigues. - Campina Grande, 1995.  
              87 f.

              Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade  
              Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1995.  
              Referências.  
              "Orientação : Prof. Manoel Francisco Gomes Filho".

              1. Mesoclima - Clima Local - Paraíba. 2. Climatologia -  
              Paraíba. 3. Meteorologia Dinâmica. 4. Dissertação -  
              Meteorologia. I. Gomes Filho, Manoel Francisco. II.  
              Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB)

CDU 551.584.2(813.3)(043)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais (*Edison e Mércia*) e a meu irmão (*Veto*) que deram-me força e confiança. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a sua realização. Em especial a minha noiva (*Andréia*) e ao grande amigo (*Heráclio*).

## AGRADECIMENTOS

"Na procura interminável do conhecimento, são encontradas inúmeras dificuldades por aqueles que se propõem a realizar pesquisas científicas".

Deixo aqui, o meu agradecimento a instituição que proporcionou e contribuiu para o aprimoramento do nosso trabalho, tornando-o útil a comunidade Meteorológica do nosso País.

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPB pela permissão para utilização dos dados diários de vento obtidos da SUDENE,

Aos Profs. Enilson Palmeira Cavalcanti, Magaly de Fátima Correia e Mário Miranda V.B.R. Leitão, pelo auxílio e apoio nos aplicativos computacionais utilizados na confecção de algumas figuras,

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de Estudos,

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) através do grupo de mesoescala da divisão de meteorologia pelo uso do modelo RAMS.

Ao Prof. Manoel Francisco Gomes Filho pela sua orientação e permanente encorajamento para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho,

A Eng.<sup>a</sup>. Eyres Ventura da Silva pelo auxílio na parte computacional, e a Secretária Divanete Cruz Rocha na parte administrativa,

Aos colegas do curso pelo apoio nas dificuldades encontradas nas várias fases da elaboração deste trabalho,

Aos meus pais, José Edison Rodrigues e Maria Mércia de Sousa Rodrigues, pelas palavras de apoio, que nunca me faltaram, nas horas mais difíceis, e ao carinho de minha noiva, Neuma Andréia Alves Brasileiro, e a Deus, fonte de onde tirei forças para concluir este trabalho.

## RESUMO

Apresenta-se um estudo sobre os sistemas de circulação de mesoescala sobre a Paraíba utilizando-se para isso três enfoques diferentes. O primeiro, partindo de um modelo numérico de circulação para a camada limite já existente, desenvolvido por *Gomes Filho* (1979) para simular os efeitos da topografia e albedo na circulação sobre o Nordeste, realizou-se um refinamento na grade de pontos de modo a simular a circulação atmosférica sobre a Paraíba. O segundo enfoque utiliza-se de um modelo de circulação regional (RAMS) desenvolvido na Universidade do Colorado - USA, tomando como ponto central a cidade de Taperoá ( $7,0^{\circ}$  S;  $36,5^{\circ}$  W) na Paraíba, com a grade de pontos estendendo-se 300 Km tanto para Leste como Oeste. No terceiro enfoque foram utilizados dados observacionais do vento à superfície, para cinco anos de 1977 a 1981, com valores horários. Nos três casos, uma característica comum aparece sempre que é a intensificação dos ventos em baixos níveis sobre o Planalto da Borborema. Nos casos da simulação com o RAMS, o ciclo diário da circulação de brisa é bem definido, além disso, no sistema de movimentos ascendentes/descendentes que sugere ondas estacionárias devido a interação da brisa com a topografia do terreno e ventos alíseos está representado. Outra característica importante mostrada nessas três abordagens é a indicação de uma zona de convergência com movimentos ascendentes na área de encontro dos três Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, coincidentemente uma área de muita convecção.

## ABSTRACT

This study presents the mesoscale circulation systems over Paraíba. For this purpose three different approaches were utilized. The first approach is a numerical circulation model for the boundary layer, developed by *Gomes Filho* (1979) to simulate the effects of topography and albedo on the circulation over the Northeast Brazil, with a refinement in the grid points in a way to simulate the atmospheric circulation over Paraíba. The second approach utilized a regional circulation model (RAMS) developed by the University of Colorado - USA, with the central point over the city of Taperoá (7,0 S;36,5 W) - Paraíba, with the grid points extending towards the East and West by 300 Km. The third approach utilized the hourly surface wind data observed during a five year period (1977 to 1981). A common characteristic which was observed in all the three cases was the intensification of the winds in the lower levels over the region of Borborema. In the case of simulation with RAMS, the daily cycle of sea breeze circulation is well delineated. Besides this, a system of ascending/descending movements which suggests the presence of stationary waves due to the interaction of the breeze with the terrain topography and the easterly winds. The other important characteristic that was noted in these three approaches is the indication of a convergence zone with ascending motions in the area of the very frequent occurrence of convection, that is located in the intersection of the three States namely Ceará, Paraíba and Pernambuco.



## LISTA DE SÍMBOLOS

- $c_p$  - Calor específico a pressão constante (1004 J/K\*Kg)  
 $d$  - Distância entre dois pontos da grade horizontal (m)  
 $D_h$  - Direção horária dos ventos à superfície (graus)  
 $e$  - Pressão do vapor d'água (N/m<sup>2</sup>)  
 $f$  - Parâmetro de Coriolis (s<sup>-1</sup>)  
 $F_x, F_y$  - Forças de atrito (N)  
 $g$  - Aceleração devida a gravidade (m/s<sup>2</sup>)  
 $h$  - Altura acima do nível médio do mar (m)  
 $k$  - Constante real positiva  
 $p$  - Pressão atmosférica (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_0$  - Pressão atmosférica na superfície (N/m<sup>2</sup>)  
 $r$  - Razão entre pressões atmosféricas à superfície, real e padrão  
 $R$  - Constante universal dos gases (J/K)  
 $t$  - Tempo (s)  
 $T$  - Temperatura (K)  
 $u$  - Velocidade do vento na direção Leste/Oeste (m/s)  
 $u_T$  - Velocidade zonal do vento no topo da camada limite (m/s)  
 $u_h$  - Componente zonal de  $V_h$  (m/s)  
 $v$  - Velocidade do vento na direção Norte/Sul (m/s)  
 $v_T$  - Velocidade meridional do vento no topo da camada limite (m/s)  
 $V_h$  - Velocidade horária dos ventos à superfície (Km/h)  
 $v_h$  - Componente meridional de  $V_h$  (m/s)  
 $w$  - Velocidade vertical (m/s)  
 $x$  - Coordenada ao longo da direção Leste/Oeste (m)  
 $y$  - Coordenada ao longo da direção Norte/Sul (m)  
 $z$  - Coordenada vertical (m)  
 $\beta$  - Parâmetro de Rossby (s<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)  
 $\theta$  - Temperatura potencial (K)  
 $\theta_T$  - Temperatura potencial média no topo da camada limite (K)  
 $\rho$  - Densidade (Kg/m<sup>3</sup>)  
 $\sigma$  - Coordenada vertical ( $p/p_0$ )  
 $\sigma_T$  - Ordenada no topo da camada limite  
 $\dot{\sigma}_-$  - "velocidade vertical" (s<sup>-1</sup>)  
 $\Phi$  - Geopotencial (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

**Lista de símbolos** (continuação ... )

$\Phi_0$  - Geopotencial médio na superfície  $G = 1$  ( $m^2/s^2$ )

$\Phi_T$  - Geopotencial médio no topo da camada limite ( $m^2/s^2$ )

$\omega$  - "Velocidade vertical" (mb/s)

**LISTA DE ABREVIÇÕES**

RAMS - Regional Atmospheric Modelling System

CLP - Camada Limite Planetaria

USA - United States of America

## LISTA DE TABELA E FIGURAS

Figura	Página
01 Localização do Estado de Paraíba na Região Nordeste.	02
02 Topografia do terreno do Estado da Paraíba. As linhas tracejadas representam as curvas de níveis.	02
03 Distribuição das estações de superfície que foram utilizadas para a obtenção das componentes meridional, zonal e vertical do vento observado.	13

Tabela	Página
01 Distribuição das estações de superfície nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.	12

### Figuras do Modelo Integrado

Figura	Página
04 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 24 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	19
05 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 36 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	20
06 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 48 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	21
07 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 60 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	22
08 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 72 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	23
09 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 84 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	24
10 Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 96 horas de integração. (a) Meridional; (b) Zonal e (c) Vertical ( $\sigma$ ).	25
11 Campo zonal no topo da camada limite calculado pelo modelo integrado:	
(a) após 24 horas de integração	26
(b) após 36 horas de integração	26
(c) após 48 horas de integração	26
(d) após 60 horas de integração	27
(e) após 72 horas de integração	27
(f) após 84 horas de integração	27
(g) após 96 horas de integração	28

## Figuras do RAMS

Figura		Página
18	(a) Campo inicial da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,9 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 10/03/1994.	33
19	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,9 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994.	34
20	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	35
21	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	35
22	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,8 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994.	36
23	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	37
24	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	37
25	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,7 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994.	38
26	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	39
27	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	39
28	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,6 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994.	40
29	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	41
30	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.	41

## Figuras do RAMS (continuação ...)

Figura		Página
31	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 4,1 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994.	42
32	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas continuas indicam valores positivos.	43
33	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas continuas indicam valores positivos.	43
34	(a) Campo da velocidade dos ventos as nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,4 m/s; (b) Campo das linhas de corrente. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 12/03/1994.	44
35	Campo da velocidade vertical $w$ (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 12/03/1994. As linhas continuas indicam valores positivos.	45
36	Perfil vertical de $w$ (cm/s) em 7° S. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas continuas indicam valores positivos.	45

## Figuras do campo observado

Figura		Página
37	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas continuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	48
38	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas continuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	49
39	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas continuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	50
40	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas continuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	51
41	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas continuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	52

## Figuras do campo observado (continuação ...)

Figura		Página
42	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	54
43	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	55
44	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	56
45	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	57
46	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	58
47	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	60
48	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	61
49	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	62
50	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	63
51	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	64

## Figuras do campo observado (continuação ...)

Figura		Pagina
52	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	66
53	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	67
54	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	68
55	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	69
56	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	70
57	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	72
58	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	73
59	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	74
60	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	75
61	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	76

## Figuras do campo observado (continuação ...)

Figura		Pagina
62	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	78
63	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	79
64	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	80
65	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	81
66	Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical $\omega$ ( $10^{-3}$ mb/s).	82



## SUMÁRIO

Capítulo	Página	
1	Introdução	01
2	Revisão Bibliográfica	03
3	Metodologia	08
	3.1 - Experimento com o modelo verticalmente integrado	08
	3.2 - Experimento com o RAMS	11
	3.3 - Parte observacional	12
4	Resultados	16
	4.1 - Resultados do modelo verticalmente integrado	16
	4.2 - Resultados do RAMS	29
	4.3 - Resultados observacionais	46
	4.3.1 - Análise do mês de Janeiro de 1978	46
	4.3.2 - Análise do mês de Fevereiro de 1978	53
	4.3.3 - Análise do mês de Março de 1978	59
	4.3.4 - Análise do mês de Setembro de 1978	65
	4.3.5 - Análise do mês de Outubro de 1978	71
	4.3.6 - Análise do mês de Novembro de 1978	77
5	Conclusões e Sugestões	83
6	Referências Bibliográficas	85

## CAPÍTULO 1

### 1 - INTRODUÇÃO

O Estado da Paraíba está situado na faixa tropical da América do Sul, entre os meridianos 34°45'54" e 38°45'45" de longitude Oeste e os paralelos de 6°02'12" e 8°19'18" de latitude Sul. Ver quadro 01.

Sua topografia subdivide-se em três sub-regiões diferentes: a Planície Costeira, o Planalto da Borborema, e as baixadas do Norte e do Oeste da Bacia do Rio Piranhas. A estas repartições, a grosso modo, correspondem a regimes climáticos diferentes embora estejam situados dentro da faixa tropical dos ventos alíseos de Sudeste. O Planalto da Borborema, cuja direção é transversal à direção do alíseos, age para modificar o regime dos ventos sobre o próprio Planalto e sobre as outras sub-regiões.

A Planície Costeira (litoral), Serras do Brejo e o Planalto da Borborema, são atingidas pelos ventos úmidos de Sudeste vindos do Atlântico, que se elevam e ultrapassam o bordo oriental do Planalto da Borborema, aproximadamente em Campina Grande, entrando na Bacia do Picuí chegando a atingir o Sertão do Seridó e o Baixo Sertão, onde os ventos predominantes também são de Sudeste. Numa tentativa de se investigar o desenvolvimento de sistemas de mesoescala associados com a brisa marítima, o seu possível acoplamento com os ventos alíseos e sua propagação sobre o continente, a partir da costa do Estado da Paraíba até o Alto-Sertão, foi usado um modelo desenvolvido por *Gomes Filho (1979)*, o qual utiliza equações primitivas e inclui os efeitos da orografia e do aquecimento diferenciado da superfície através do albedo. Com os resultados gerados pelo modelo, foram feitas comparações entre as estruturas vertical e horizontal dos sistemas de vento, e com os dados reais de vento à superfície na forma de componentes zonal, meridional e vertical. Sendo estes, por sua vez, comparados com as estruturas dos ventos vertical e horizontal gerados pelo RAMS (*Regional Atmospheric Modelling System*) da Universidade do Colorado - USA.

Foram também investigadas as influências exercidas pela topografia do terreno sobre o sistema brisa/alíseos. Para tanto, foram usados valores iniciais dos ventos próximos do real onde tentou-se verificar a capacidade e eficiência dos modelos na descrição de quanto a brisa marítima penetra sobre o continente, tentando-se avaliar a interação entre o sistema brisa/alíseos e a topografia do terreno para delinear o perfil

do trem de ondas formado pela força do campo de vento no seu deslocamento continente a dentro. Sendo assim, talvez possível, verificar se realmente o sistema acoplado brisa/alísios atinge o Alto Sertão paraibano.

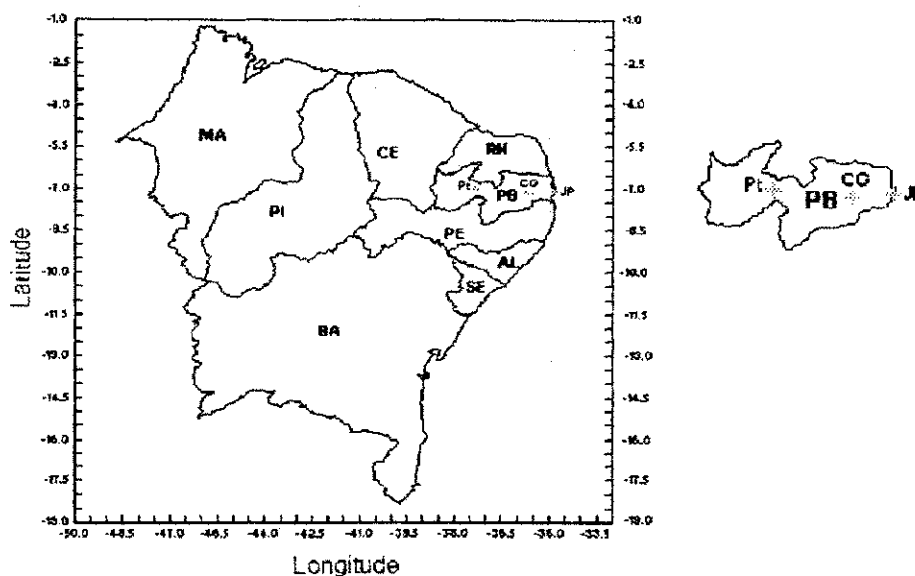


Figura 01 - Localização do Estado da Paraíba

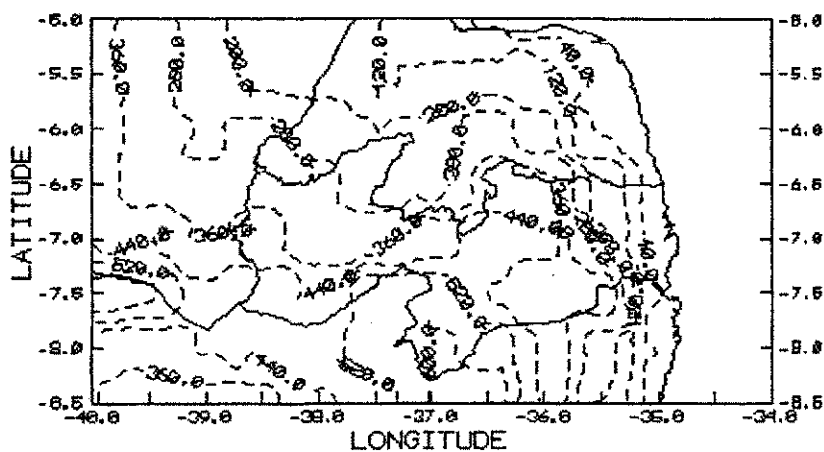


Figura 02 - Topografia do terreno do estado da Paraíba. As linhas tracejadas representam as curvas de níveis.

## CAPÍTULO 2

### 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Queney (1948) em um trabalho clássico sobre os efeitos de uma cadeia de montanhas no escoamento atmosférico, prova que a maioria das características observadas podem ser explicadas pela teoria hidrodinâmica de pequenas perturbações adiabáticas internas a uma atmosfera estratificada em rotação. Ele delineou algumas soluções para o caso de uma corrente uniforme com velocidade  $\underline{u}$ , na qual o coeficiente de estabilidade estática  $\underline{s}$  é também uniforme e determinou que o padrão das perturbações correspondentes a uma montanha suavizada varia fortemente de acordo com a metade da largura  $\underline{a}$  deste perfil de montanha. Suas principais conclusões podem ser sintetizadas como segue:

i) se  $\underline{a}$  é comparável ao valor crítico  $(L_s / 2\pi) = (u / s) \approx 1$  Km, existe um sistema de pequenas ondas de sotavento estacionárias, ou ondas de gravidade, com comprimento de onda  $L_s$ ;

ii) se  $\underline{a}$  é comparável à  $(L_f / 2\pi) = (u / f) \approx 100$  Km, onde  $f$  é o parâmetro de Coriolis, existe um sistema complexo de ondas de sotavento de gravidade-inercial com o comprimento de onda horizontal  $L_f$  ao nível do solo e o comprimento de onda vertical  $L_s$  no plano vertical da crista;

iii) no caso de ventos de Oeste, se  $\underline{a}$  é comparável a três vezes o valor crítico  $(L_\beta / 2\pi) = (u / \beta)^{1/2} \approx 1000$  Km, onde  $\beta$  é a variação latitudinal de  $f$ , existe um sistema de ondas longas de sotavento geostróficas, do tipo estudado por Rossby, com o comprimento de onda horizontal  $L_\beta$  ao nível do chão;

iv) em outros casos, não existem ondas de Lee e ambos sistemas de ondas estão ausentes (casos a «  $(u / s)$  e a »  $(u / f)$ ) ou restrito as vizinhanças de um plano vertical da crista, com o comprimento de onda  $L_s$  ( caso  $(u / s)$  « a »  $(u / f)$ ).

MAHRER & PIELKE (1977) fazem uso de um modelo matemático hidrostático de duas dimensões nos estudos das circulações de mesoescala que desenvolvem-se sobre uma barreira de montanhas, em uma linha costeira plana e uma linha costeira montanhosa, quando o fluxo predominante é zero. Uma das características médias desse modelo é a inclusão da parametrização do balanço de calor à superfície, e os fluxos radiativos das ondas longa e curta. Os resultados mostram que a combinação das circulações de brisa marítima e montanha produzem uma maior

intensificação na circulação tanto durante o dia e a noite como quando eles atuam separadamente. A linha costeira montanhosa causa geralmente uma maior penetração da brisa marítima sobre o continente, com o desenvolvimento de uma célula a sotavento da montanha com velocidade vertical ascendente. As previsões estão em concordância qualitativa com o fenômeno observado.

*Gomes Filho (1979)* considerou os mecanismos albedo e topografia atuando simultaneamente sobre a circulação atmosférica no Nordeste do Brasil. Concluiu que o efeito resultante é uma intensificação dos movimentos descendentes sobre áreas críticas nordestinas, parecendo, que os efeitos da topografia e do albedo atuam sobre a circulação atmosférica, de modo que, enquanto um efeito é de induzir movimentos descendentes, o outro tende a manter a situação estabelecida. Conseqüentemente, os efeitos locais combinados da orografia e albedo tendem a manter, climatologicamente, uma baixa distribuição da precipitação na zona semi-árida do Nordeste do Brasil. A função da montanha parece ser fundamental na presença de cada um dos aspectos sinóticos e na estatística dos aspectos turbulentos.

*Kousky (1980)* investigou a variação diurna da precipitação na Região Nordeste do Brasil para o período 1961-1970. Ele concluiu que a maioria das áreas costeiras experimentam um máximo noturno na atividade chuvosa, provavelmente devido a convergência entre as brisas marítima e terrestre. As áreas sobre o continente até 300 Km da costa apresentam máximos diurnos que estão associados com o desenvolvimento e o avanço da brisa marítima sobre a região, e a variabilidade na precipitação diurna, parece ser devido as circulações do tipo vale-montanha. As variações sazonais na precipitação média mensal próxima a costa Leste estão bem correlacionadas com a intensidade da brisa terrestre, a qual é determinada pela diferença entre a temperatura média da superfície do mar e a temperatura média do ar próximo ao solo.

*Mechoso (1981)* através de experimentos numéricos utilizando casos de escoamento sem-montanha e com montanha sobre a Antártica, concluiu que no primeiro caso, o transporte de calor pelos turbilhões sobre a região é aumentada, enquanto que, a convergência de momentum para Oeste nas altas latitudes é reduzida. De acordo com este comportamento dos turbilhões, a atmosfera é aquecida e o cisalhamento vertical é reduzido e além disso, os ciclones simulados nas altas latitudes próximos à região são substancialmente menos frequentes. No segundo caso, ele concluiu que a alta resolução obtida com os modelos espectrais tem uma representação mais acurada das elevações topográficas e, conseqüentemente, a simulação dos movimentos forçados topograficamente é melhorado quando comparado com os

modelos que utilizam o método dos pontos de grade. Este último apresentou estabilidade nas soluções obtidas, apesar de ter sido observado uma diminuição na intensidade máxima da brisa marítima e um pequeno aumento da brisa terrestre. Verificou que a circulação da brisa é ativada por uma forçante térmica aplicada à superfície do continente que pode estar relacionado com o ajustamento convectivo utilizado, o que provoca uma diminuição da temperatura do continente na integração de um dia para outro.

*Franchito & Kousky (1982)* desenvolveram um modelo prognóstico para estudar a circulação de brisa marítima-terrestre na região Norte-Nordeste do Brasil utilizando um modelo não-linear, bidimensional, de equações primitivas para o ar seco e que envolve uma formulação da camada limite. Três casos foram estudados: [a] vento médio e topografia plana; [b] vento médio e topografia não-plana; [c] vento médio não-nulo e topografia plana.

No caso [a], a análise das variações sazonais da circulação, revelaram a importância do contraste térmico continente-oceano no controle da intensidade da circulação, tanto durante o dia como a noite. Os resultados desta análise mostram ainda que a intensidade da brisa terrestre tem um papel importante na precipitação na região, sendo que os meses mais chuvosos correspondem àqueles em que esta circulação é mais forte.

No caso [b], a circulação resultante é mais intensa que no caso [a], tanto durante o dia como a noite, devido às interações das brisas marítima e terrestre com os ventos de vale e montanha, respectivamente.

No caso [c], a brisa marítima apresenta uma diminuição de intensidade, causada pela advecção de ar marítimo sobre o continente, a qual contribui para a diminuição da temperatura da superfície do continente. Concluíram ainda que a influência da estabilidade da atmosfera sobre a circulação de brisa revela que, quanto mais instável estiver a atmosfera, mais intensa torna-se a circulação, tanto durante o dia como a noite. Além disso, eles notaram que a topografia não-plana exerce um papel de intensificador da circulação de brisa, contribuindo para o aumento da sua profundidade e penetração sobre o continente.

*Franchito & Yamazaki (1984-a)* utilizando um modelo prognóstico para estudar as circulações locais na Região Nordeste do Brasil, verificaram que na presença dos efeitos de topografia não-plana e vento médio, o ar marítimo atinge maiores distâncias horizontais sobre a terra, pois ambos contribuem para uma maior penetração da brisa marítima. Além disso à medida que aumenta o vento médio a circulação torna-se mais fraca devido à diminuição do contraste térmico continente-oceano

causado pela advecção de ar marítimo sobre a terra. Os resultados obtidos com um modelo tri-dimensional desenvolvido para o estudo e simulação das circulações locais, apresentaram semelhanças com os resultados adquiridos a partir do modelo bidimensional. Contudo, nos casos em que envolvem a topografia não-plana, foram constatadas certas discrepâncias que podem estar relacionadas com problemas de contorno.

*Magalhães (1987)* ao analisar as máximas precipitações no litoral nordestino, durante a noite nos meses de Maio/Junho, concluiu que estas máximas estão relacionadas com a ocorrência de movimentos ascendentes ao longo da costa devido a convergência dos ventos alíseos (predominantemente fluxo de Oceano-Terra) com a brisa terrestre noturna.

*Mckendry (1989)* usando o RAMS para investigar um dia típico de brisa marítima, na região de Auckland, obteve resultados que são comparáveis qualitativamente com observações e revelam um campo complexo de ventos caracterizado por uma zona de convergência migratória da brisa marítima. Associado com estas características, o modelo prevê um acréscimo das velocidades verticais ascendentes e a elevação do topo da camada limite planetária (CLP). A variação diurna na profundidade da CLP é mostrado atuar intensamente em diferentes locais e é dependente da posição com relação a zona de convergência migratória.

*Yoshikado & Kondo (1989)* apresentaram resultados observacionais da estrutura da brisa marítima sobre as áreas urbanas e suburbanas de Tokyo para quatro dias de verão. Observaram que, em dois destes dias, a penetração de uma frente de brisa marítima é claramente traçada. Em um caso a brisa marítima foi observada, primeiramente, ao longo do litoral da Baía de Tokyo próximo às 09:00 horas, (horário do Japão) e propagando em três horas através da cidade de Tokyo, com cerca de 20 Km de extensão, avançando sobre a terra à uma taxa de 16 Km/h. Antes da chegada da brisa marítima na área suburbana, a altura da camada de mistura fica em torno de 600 m por quatro horas. Com a chegada da frente da brisa marítima acompanhada por uma súbita mudança na direção e velocidade do vento, a altura da camada de mistura aumenta bruscamente para 1700 m. É sugerido que este comportamento e a estrutura da frente são intensificadas devido ao efeito urbano, ou a diferença nas características térmicas entre as áreas rural e urbanas. Observaram ainda que nos dias que não ocorre a frente da brisa marítima, o sistema de brisa terrestre no início da manhã é menos intensa, permitindo o desenvolvimento simultâneo com os ventos de vale sobre a região e forma facilmente um sistema de ventos locais em grande escala durante as primeiras horas da manhã. Em ambos os casos, o movimento vertical acompanha o sistema de

ventos local funcionando como um mecanismo de realimentação para controlar os ventos locais pelas mudanças dos campos da pressão e temperatura.

*Bernardet & Silva Dias (1992)* usando o RAMS para modelar o desenvolvimento e penetração da brisa marítima sobre a região de São Paulo, mostraram que, quando os processos de mistura estão presentes, o acoplamento entre as circulações forçadas topograficamente e os gatilhos de brisa, geram uma onda de gravidade que propaga-se sobre o continente, causando movimentos ascendentes distantes 400 Km da costa e levando a uma defasagem entre a precipitação da costa e a do interior do continente. No entanto, a inexistência do atraso da fase na precipitação a Oeste com relação à Leste, indica que a onda de gravidade não se acopla à convecção.

*Vidale & Silva Dias (1992)* utilizaram um modelo de equações primitivas caracterizando um tratamento especificado da camada limite para simular os efeitos locais de oscilações diurnas no aquecimento do ciclo solar, para os casos de verão e inverno na região que inclui o Estado de São Paulo. Concluíram que a brisa marítima e a brisa vale-montanha chegam a se acoplar durante o dia, para os casos em que o escoamento básico não se opõe à brisa, gerando movimentos de maior intensidade e extensão, mas no começo da noite a formação da camada de inversão noturna desorganiza este acoplamento e a brisa continua atuando por algumas horas em níveis ligeiramente acima da superfície. O escoamento básico de Noroeste consegue atrasar e reduzir a penetração da brisa marítima, mas não parece afetar de maneira tão determinante os movimentos de encosta, que ainda são observáveis.



## CAPÍTULO 3

### 3 - METODOLOGIA

#### 3.1 - Experimento com o modelo verticalmente integrado

O modelo da circulação de mesoescala dado por *Gomes Filho* (1979) é integrado na vertical com uma só camada, usa o sistema de coordenadas Sigma, e resolução na vertical somente para a Camada Limite. A velocidade vertical no topo dessa camada é obtida como função da topografia do terreno e do albedo diferencial da superfície e uma das vantagens desse modelo é que ele admite a topografia real.

As equações básicas utilizadas pelo modelo são as seguintes:

Equação de momentum nas componentes zonal e meridional

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\overline{p_0 \langle \bar{u} \rangle}) + \frac{\partial}{\partial x}(\overline{p_0 \langle \bar{v} \rangle}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{p_0 \langle \bar{w} \rangle}) + \frac{\overline{p_0}}{(\sigma_t - 1)} \overline{v_t \sigma_t} - \beta \overline{p_0 \langle \bar{v} \rangle} y = \\ = -\overline{p_0} \frac{\partial}{\partial x}(\langle \bar{\Phi} \rangle) + \langle \sigma \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \sigma} \rangle \frac{\partial \overline{p_0}}{\partial x} - \langle \bar{G}_x \rangle \end{aligned} \quad (01)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\overline{p_0 \langle \bar{v} \rangle}) + \frac{\partial}{\partial x}(\overline{p_0 \langle \bar{w} \rangle}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{p_0 \langle \bar{u} \rangle}) + \frac{\overline{p_0}}{(\sigma_t - 1)} \overline{v_t \sigma_t} - \beta \overline{p_0 \langle \bar{u} \rangle} y = \\ = -\overline{p_0} \frac{\partial}{\partial y}(\langle \bar{\Phi} \rangle) + \langle \sigma \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \sigma} \rangle \frac{\partial \overline{p_0}}{\partial y} - \langle \bar{G}_y \rangle \end{aligned} \quad (02)$$

onde os termos  $\langle \bar{G}_x \rangle$  e  $\langle \bar{G}_y \rangle$  são dados por:

$$\begin{aligned} \langle \bar{G}_x \rangle \cong \left\langle -\frac{\partial}{\partial \sigma} \overline{p_0 \langle \bar{u}' \sigma' \rangle} \right\rangle = \frac{-\overline{p_0} [\langle \bar{u}' \sigma' \rangle_{\sigma=\sigma_t} - \langle \bar{u}' \sigma' \rangle_{\sigma=1}]}{(\sigma_t - 1)} \cong \\ \cong \frac{(\overline{p_0 \langle \bar{u}' \sigma' \rangle}_{\sigma=1}}{(\sigma_t - 1)} \cong \frac{g(\overline{p_{x, \sigma}})_{\sigma=1}}{(\sigma_t - 1)} \end{aligned} \quad (03)$$

$$\begin{aligned} \langle \bar{G}_y \rangle \cong \left\langle -\frac{\partial}{\partial \sigma} \overline{p_0 \langle \bar{v}' \sigma' \rangle} \right\rangle = \frac{-\overline{p_0} [\langle \bar{v}' \sigma' \rangle_{\sigma=\sigma_t} - \langle \bar{v}' \sigma' \rangle_{\sigma=1}]}{(\sigma_t - 1)} \cong \\ \cong \frac{(\overline{p_0 \langle \bar{v}' \sigma' \rangle}_{\sigma=1}}{(\sigma_t - 1)} \cong \frac{g(\overline{p_{y, \sigma}})_{\sigma=1}}{(\sigma_t - 1)} \end{aligned} \quad (04)$$

portanto,

$$\overline{\langle G_x \rangle} \overline{\langle G_y \rangle} = - \frac{g p_o c_d}{(\sigma_t - 1) R r} \frac{1}{k} \left[ \overline{u_o^2 + v_o^2} \right]^{1/2} \overline{(u_o, v_o)} \quad (05)$$

sendo que:

$$\overline{\langle \pi_{x, \sigma} \rangle}_{\sigma=1} = - p_o c_d \left| \overline{v_o} \right| \overline{u_o} \quad (06)$$

$$\overline{\langle \pi_{y, \sigma} \rangle}_{\sigma=1} = - p_o c_d \left| \overline{v_o} \right| \overline{v_o} \quad (07)$$

onde:

$$\overline{\rho_o} = \frac{\overline{p_o}}{R T_o} = \frac{\overline{p_o}}{R \overline{\theta_r}} \quad (08)$$

Calculando os termos não lineares, obtém-se:

$$\overline{\langle uu \rangle} = \frac{9}{5} \overline{\langle \bar{u} \rangle} \overline{\langle \bar{u} \rangle} - \frac{8}{5} \overline{\langle \bar{u} \rangle} \overline{u_t} + \frac{4}{5} \overline{u_t u_t} \quad (09)$$

$$\overline{\langle uv \rangle} = \frac{9}{5} \overline{\langle \bar{u} \rangle} \overline{\langle \bar{v} \rangle} - \frac{4}{5} \overline{\langle \bar{u} \rangle} \overline{v_t} - \frac{4}{5} \overline{\langle \bar{v} \rangle} \overline{u_t} + \frac{4}{5} \overline{u_t v_t} \quad (10)$$

$$\overline{\langle u\theta \rangle} = \overline{\langle \bar{\theta} \rangle} [\overline{\langle c_{\lambda}^2 \rangle} \overline{\langle \bar{u} \rangle} + (1 - \overline{\langle c_{\lambda}^2 \rangle}) \overline{u_t}] \quad (11)$$

Equação da continuidade

$$\frac{\overline{p_o}}{(\sigma_t - 1)} \overline{\sigma_t} = \frac{\partial \overline{p_o}}{\partial t} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} (\overline{p_o} \overline{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{p_o} \overline{v}) \right] \quad (12)$$

Equação da tendência da pressão à superfície

$$\frac{\partial \overline{p_o}}{\partial t} = - \int_0^{\sigma_t} \left[ \frac{\partial (p_o u)}{\partial x} + \frac{\partial (p_o v)}{\partial y} \right] d\sigma \quad (13)$$

Equação da termodinâmica

$$\frac{\partial}{\partial t} (\overline{p_o} \overline{\theta}) + \frac{\partial}{\partial x} (\overline{p_o} \overline{u\theta}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{p_o} \overline{v\theta}) + \frac{\overline{p_o}}{(\sigma_t - 1)} \overline{\theta_t} \sigma_t = - \frac{\overline{p_o}}{c_p} \langle (\sigma_t)^{-k} q \rangle + \overline{Q_t} \quad (14)$$

onde:

$$T = \theta(\sigma r)^k; \quad r = p_0 / p_{00} \text{ e } k = R/c_p$$

Q → taxa de aquecimento

$p_0$  → pressão à superfície (incluindo a topografia)

$\sigma = p/p_0$  → coordenada vertical

$$\bar{\Phi}(x, y, \sigma, t) = \bar{\Phi}_0(x, y, t) + R \int_0^1 \frac{(\sigma r)^k}{\sigma} \bar{\theta} d\sigma \quad (15)$$

$$\bar{\Phi}_t = \bar{\Phi}_0 + R \frac{(\sigma r)^k \bar{\theta}}{\sigma} (1 - \sigma_t) \quad (16)$$

$$\langle \bar{\Phi} \rangle = \bar{\Phi}_0 + R \int_0^1 \frac{(\sigma r)^k}{\sigma} \bar{\Phi} d\sigma \quad (17)$$

Operador média vertical

$$\langle ( ) \rangle = \frac{1}{(\sigma_t - 1)} \int_{\sigma_t}^1 ( ) d\sigma \quad (18)$$

Essas equações são integradas numericamente através do método de diferenças finitas, com o esquema espacial dado por Arakawa (1968). Este esquema calcula as variáveis  $u$  e  $v$  a meia distância entre os pontos de grade e a integração temporal Euler-Backward, com exceção do primeiro incremento no tempo que foi Forward, com uma grade de 13x8 pontos espaçados igualmente, com 0.5° por 0.5° de latitude e longitude, que inclui o Estado da Paraíba e engloba as latitudes de 5.0° a 8.5° Sul e longitudes 34.0° a 40.0° Oeste. As condições de contorno utilizadas neste modelo foram: variáveis cíclicas na direção Leste/Oeste e a condição de Schuman (1962) na direção Norte/Sul.

Sua inicialização pode ser feita com o vento zonal de Leste (ou Oeste) e distribuição do albedo diferencial da superfície. Então para a sua inicialização utilizou-se os seguintes parâmetros:

$$\langle u \rangle = -4,0 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad \langle v \rangle = 0,0$$

$$\langle \theta \rangle = Ay^2 + \theta_0, \quad \theta_0 = 300 \text{ K}$$

$$\langle \Phi \rangle = \langle \theta \rangle c_1$$

$$\sigma = 0, \quad \sigma_T = 0,8$$

$$u_t = c_2/c_1 \langle u \rangle$$

$$c_1 = Rc(\sigma_t) \left[ (1 - \sigma_t) - \frac{[(1 - \sigma_t)^{k+1}]/(k+1)}{k(1 - \sigma_t)} \right]$$

$$c_2 = Rc(\sigma_t) \left[ (1 - \sigma_t)^k / k \right]$$

$$\text{Albedo (terra} = 0,25 \text{ e água} = 0,08)$$

### 3.2 - Experimento com o RAMS

Foi realizada também uma integração do modelo RAMS da Universidade do Colorado dos Estados Unidos da América com vistas a verificar os resultados obtidos com o modelo do item anterior, além de se tentar obter mais detalhes sobre a estrutura do sistema formado pela brisa e ventos alísseos, a partir da interação com a topografia do terreno. Nesta experiência é feita uma simulação tridimensional com a opção de modelo não hidrostático e anelástica (*Tripoli e Cotton, 1980*) e foi utilizada uma grade horizontal do tipo polar estereográfica, com resolução horizontal de 20 Km, com 30 pontos de grade na direção Leste/Oeste e 20 na direção Sul/Norte, centrado nas coordenadas da cidade de Taperoá (7,0° S; 36,5° W) no Estado da Paraíba, a partir daí a grade estendeu-se 300 Km para Leste até o Oceano Atlântico e para Oeste até o Sul do Ceará.

Na direção vertical utilizou-se 14 níveis com resolução variável, sendo maiores nas altitudes mais próximas da superfície e 5 níveis de profundidade de solo.

O esquema numérico utilizado foi do tipo híbrido que faz uma miscelânea dos esquemas avançado e centrado no espaço.

Utilizou-se a condição de fronteira lateral de *Orlanski (1976)* e parede rígida no topo da atmosfera.

Para o cálculo dos fluxos de radiação solar e de onda longa, utilizou-se a parametrização baseada em *Chen e Cotton (1983)*.

A topografia do terreno usada foi a real e a vegetação considerada foi a do tipo Caatinga predominante na região (Semi-deserto). Outros parâmetros de superfície que foram inicializados homoganeamente foram, o tipo de solo (franco argiloso arenoso) a constante de rugosidade (0,1), o albedo (0,25), a temperatura de superfície da água (301 K), nível z (360,5 metros) e a umidade do solo (50%).

O intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) foi de 40 segundos e a integração foi realizada por 48 horas. Nesta integração usou-se um campo inicial de Sudeste com magnitude de 2,9 m/s (ver figura 29) na tentativa de simular os ventos alísseos.

Os resultados desse experimento realizado na FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), são apresentados no capítulo 4.

### 3.3 - Parte observacional

Partindo dos dados de velocidade e direção do vento à superfície (10 m de altura) para um período de cinco anos 1977-81, com 28 estações nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco como mostra a tabela 01 e a figura 03:

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Latitude (Sul)</b>	<b>Longitude (Oeste)</b>	<b>Altitude</b>
82296	Aracau - CE	Ar	02° 53'	40° 07'	007
82392	Sobral - CE	Sb	03° 42'	40° 21'	075
82397	Fortaleza - CE	Fz	03° 43'	38° 28'	026
82487	Guaramiranga - CE	Gg	04° 16'	38° 57'	----
82493	Jaguaruana - CE	Jg	04° 50'	37° 48'	020
82583	Crateus - CE	Ct	05° 11'	40° 40'	275
82586	Quixeramobim - CE	Qb	05° 12'	38° 18'	187
82588	Morada Nova - CE	MN	05° 06'	38° 23'	050
82686	Iguatu - CE	Ig	06° 22'	39° 18'	213
82784	Barbalha - CE	Bb	07° 19'	39° 18'	405
82590	Apodi - RN	Ap	05° 39'	37° 48'	305
82594	Macau - RN	Mc	05° 07'	36° 38'	002
82598	Ceará Mirim - RN	CM	05° 38'	35° 26'	040
82598	Natal - RN	Nt	05° 49'	35° 12'	010
82693	Cruzeta - RN	Cz	06° 26'	36° 49'	145
82753	Ouricuri - PE	Oc	07° 54'	40° 03'	432
82789	Triunfo - PE	Tf	07° 51'	38° 08'	1010
82797	Surubim - PE	Sr	07° 50'	35° 46'	380
82876	Arcoverde - PE	Av	08° 20'	36° 45'	663
82886	Cabrobo - PE	Cb	08° 31'	39° 18'	350
82893	Garanhuns - PE	Gh	08° 53'	36° 29'	866
82900	Recife - PE	Re	08° 03'	34° 55'	005
82983	Petrolina - PE	Pl	09° 23'	40° 30'	376
82689	São Gonçalo - PB	SG	06° 45'	38° 13'	----
82791	Patos - PB	Pt	07° 00'	37° 18'	250
82792	Monteiro - PB	Mt	07° 53'	37° 07'	590
82795	Campina Grande - PB	CG	07° 13'	35° 53'	508
82798	João Pessoa - PB	JP	07° 07'	34° 53'	005

Tabela 1 - Distribuição das estações de superfície nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba.

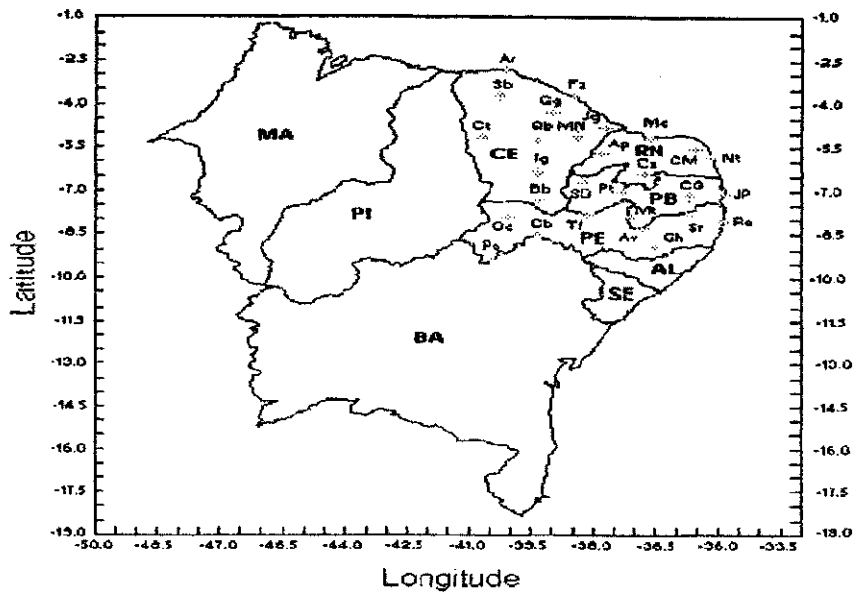


Figura 03 - Distribuição das estações de superfície que foram utilizadas para a obtenção das componentes meridional, zonal e vertical do vento observado.

Os dados estão disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba.

Para analisar os dados foram desenvolvidos programas em Fortran que tiveram por finalidade decompor o campo dos ventos em suas componentes zonal e meridional usando o seguinte procedimento:

Componentes Zonal e Meridional

$$u_h = (-1) \text{ABS} \left( \frac{V_h}{3,6} \right) \text{sen} \left( D_h \frac{\pi}{180} \right) \quad (19)$$

$$v_h = (-1) \text{ABS} \left( \frac{V_h}{3,6} \right) \text{cos} \left( D_h \frac{\pi}{180} \right) \quad (20)$$

onde,  $V_h$  - Velocidade horária dos ventos à superfície (Km/h);  
 $u_h$  - Componente zonal de  $V_h$  (m/s);  
 $v_h$  - Componente meridional de  $V_h$  (m/s);  
 $D_h$  - Direção horária dos ventos a superfície.

A partir destas componentes horárias foram determinadas as médias

mensal horária para as componentes zonal e meridional do vento, a partir das expressões:

Média mensal horária das componentes

$$\bar{u}_h = \frac{\sum_{m=1}^N u_{h,m}}{N} \quad (21)$$

$$\bar{v}_h = \frac{\sum_{m=1}^N v_{h,m}}{N} \quad (22)$$

onde,  $u_h$  - média mensal horária da componente zonal;  
 $v_h$  - média mensal horária da componente meridional;  
 $N$  - Número de dias.

De posse dessas médias mensais horárias foram obtidas as análises dessas variáveis através do aplicativo gráfico SURFER, o qual usa o método de Média Ponderada para interpolar as variáveis nos pontos de grade. Os pesos são inversamente proporcionais à distância dos pontos de grade; os dados que estiverem fora da grade escolhida terão menos influência. Além disso, os pesos podem ser aumentados para melhorar o efeito da função peso. O inverso do quadrado da distância é a função mais usada. Os pontos de grade de 13x8 de latitude e longitude respectivamente.

Para determinarmos a média da componente vertical, usou-se a equação dada por Holton:

Componente vertical

$$\bar{\omega}_h = k \left( \bar{u}_h \frac{\partial p_0}{\partial x} + \bar{v}_h \frac{\partial p_0}{\partial y} \right) \quad (23)$$

$$k = \rho_0 g \quad (24)$$

$$\bar{p}_0 = 1013,08 \left( \frac{1 - 0,0065Z}{298} \right)^{5,2568} \quad (25)$$

onde,  $\omega_h$  é dada em mb/s; e a pressão a superfície  $p_0$  (hPa) foi obtida pela equação proposta por *Vianello e Alves* (1991).

Foram usados os seguintes procedimentos para a obtenção de  $\omega_h$ :

1 - Toma-se o valor do campo do vento  $V$  real e decompõe-se em duas componentes zonal e meridional;

2 - interpola-se para a obtenção dos pontos de grade, fazendo uso do aplicativo gráfico SURFER;

3 - introduz-se estes campos em pontos de grade de  $u_h$  e  $v_h$  em um programa FORTRAN para obter o campo da componente vertical  $\omega_h$ ;

4 - calcula-se a pressão à superfície nos pontos de grade pela equação acima (11);

5 - calcula-se a variação da pressão à superfície nas direções  $x$  e  $y$  pela expressão:

Varição da pressão à superfície

$$\frac{\partial p_o}{\partial x} = \frac{p_o(i+1,j) + p_o(i-1,j)}{2d} \quad (26)$$

$$\frac{\partial p_o}{\partial y} = \frac{p_o(i,j+1) + p_o(i,j-1)}{2d} \quad (27)$$

6 - finalmente, aplica-se o campo gerado pelo programa FORTRAN no SURFER para a análise final dos resultados que são apresentados no capítulo 4.



## CAPÍTULO 4

### 4 - RESULTADOS

#### 4.1 - Resultados do modelo verticalmente integrado

Utilizando-se o modelo descrito em *Gomes Filho* (1979) tentou-se reproduzir as circulações características de mesoescala sobre a região da Paraíba. Para isso, a grade de pontos original desse modelo foi refinada passando a contar com 13x8 pontos espaçados de  $0,5^\circ$  de latitude e longitude

Evidentemente, devido ao carácter crítico desse modelo, não foi possível simular o ciclo diário da brisa, como mostra as figuras de 04 a 17, que representam os resultados da simulação em intervalos de 12 horas até 96 horas iniciando-se com um campo de ventos homogêneo com velocidade zonal de Leste de magnitude 4,0 m/s.

Os resultados das componente meridional, zonal e vertical após 12 horas de integração do modelo não serão apresentados neste trabalho, pois não houve mudanças significativas quando comparadas com os campos iniciais.

A região de confluência dos Estados Ceará, Paraíba e Pernambuco será identificado no contexto como sendo "*Região A*", enquanto que a região de confluência dos Estados Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba por "*Região B*".

A figura 04.a mostra a componente meridional após 24:00 horas de integração do modelo, o qual apresenta uma predominância de ventos de Sul sobre todo Estado da Paraíba, podendo ainda, ser observado uma intensificação de um núcleo de ventos de Sul sobre a "*Região A*". Na figura 04.b, componente zonal para o mesmo horário, observa-se um predomínio de ventos de Leste sobre toda a região, onde os ventos intensificam-se próximo ao Planalto da Borborema e perdem intensidade a jusante deste Planalto. Na "*Região A*", observa-se uma intensificação dos ventos com velocidades acima de -4,3 m/s. A figura 04.c, que representa a componente vertical ( $\omega$ ) em mb/s, mostra movimentos ascendentes sobre o Planalto da Borborema e sobre a "*Região A*", e movimentos descendentes logo após o Planalto e sobre a "*Região B*".

A figura 05.a, mostra que a componente meridional após 36:00 horas de integração do modelo, continua com a predominância de ventos de Sul sobre toda a região, e observa-se que o núcleo de ventos de Sul intensifica-se sobre a "*Região A*". A figura 05.b, mostra a componente zonal para o mesmo horário, onde ventos de Leste são predominantes por todo o Estado da Paraíba, e que próximo a Campina Grande no Planalto da Borborema os ventos chegam a atingir -4.3 m/s, perdendo velocidade ao

transpor este Planalto e finalmente chegando ao Alto Sertão com velocidades de -3,4 m/s próximo a São Gonçalo. A componente vertical ( $\omega$ ), figura 05.c, mostra que sobre o Litoral, Planalto da Borborema e na "Região A", os movimentos são ascendentes, enquanto que, logo após o Planalto da Borborema e na "Região B", os movimentos são descendentes.

A figura 06.a representa a componente meridional após 48:00 horas de integração, a qual mostra que os ventos de Sul prevalecem por todo o Estado da Paraíba. A componente zonal que esta representada pela figura 06.b, mostra que os ventos de Leste predominam sobre toda a região, exceto na "Região B" e podendo ser observado a intensificação dos ventos de Leste na "Região A". Na figura 06.c, que mostra a componente vertical ( $\omega$ ), onde pode ser notado movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao Litoral, Planalto da Borborema e "Região A", e movimentos descendentes sobre o Seridó e Cariri Velho no Estado da Paraíba e na "Região B".

A predominância dos ventos de Sul é mostrada na componente meridional após 60:00 horas de integração, figura 07.a, onde observa-se que estes ventos ganham intensidade sobre a "Região A". A componente zonal, figura 07.b, mostra que os ventos de Leste prevalecem por todo o Estado da Paraíba, exceto na "Região B", onde os ventos de Oeste mostram-se intensificados. E que na "Região A", também ocorre uma intensificação do ventos de Leste. A figura 07.c, que mostra a componente vertical ( $\omega$ ), pode-se observar movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral paraibano e sobre a "Região A", enquanto que os movimentos descendente são observados sobre o Planalto da Borborema, Seridó, Cariri Velho e Alto Sertão.

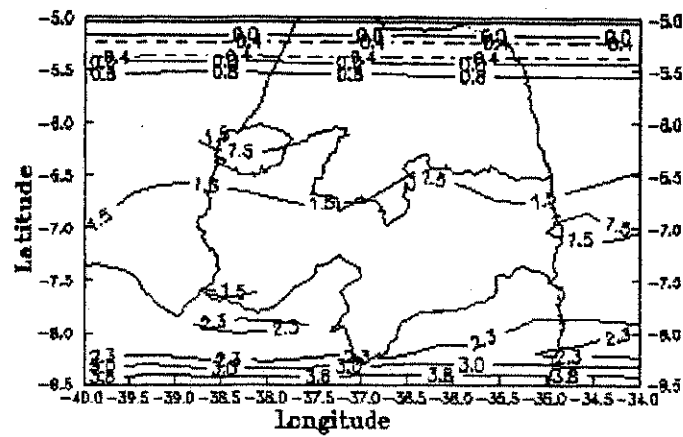
Após 72:00 horas de integração do modelo, a componente meridional, figura 08.a, mostra-se bastante modificado devido a quase total implementação da topografia do terreno, onde pode-se ver qualitativamente que os ventos de Sul prevalecem por todo o Estado da Paraíba, enquanto que na "Região A" surgem dois núcleos de ventos de Norte. Na componente zonal, figura 08.b, observa-se que os ventos de Leste adquirem velocidades ao atingir o Planalto da Borborema, mas perde intensidade ao transpor este planalto, no entanto, sobre o Alto Sertão os ventos predominantes são de Oeste. Na "Região A" nota-se uma intensificação com velocidade acima de -10,0 m/s. A componente vertical ( $\omega$ ) mostram movimentos ascendentes, figura 08.c, sobre o Oceano Atlântico, Litoral, parte do Planalto da Borborema e "Região A", e movimentos descendentes sobre a "Região B", Seridó e Cariri paraibano.

Na figura 09.a, que mostra a componente meridional após 84:00 de integração, na qual a topografia esta plena, nota-se que os ventos de Sul abrangem todo o Estado da Paraíba, enquanto que na "Região A" observa-se uma intensificação de dois núcleos de ventos de Norte. A figura 09.b, componente zonal, nota-se que os ventos de Leste atingem o Planalto da Borborema próximo a Campina Grande com velocidades de -10,0 m/s, perdendo intensidade a jusante deste Planalto e ventos de Oeste sobre o Alto Sertão com velocidades de 7,5 m/s, pode-se ainda notar a intensificação dos ventos na "Região A". A componente vertical ( $\omega$ ), figura 09.c, mostra movimentos ascendentes no Oceano Atlântico, Litoral, Planalto da Borborema e na "Região A", enquanto que os movimento descendentes são observados sobre o Seridó paraibano e "Região B".

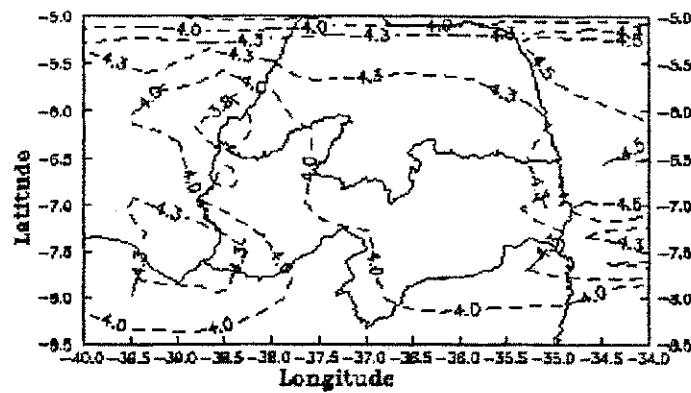
Após 96:00 horas de integração quando a topografia esta totalmente plena, apesar dos valores quantitativos não serem mais representativos o aspecto qualitativo pode ainda ser valido. A figura 10.a, que representa a componente meridional, mostra a predominância de ventos de Sul sobre todo o Estado da Paraíba exceto na "Região A", onde os ventos predominante são de Norte. A figura 10.b, que apresenta a componente zonal, mostra uma intensificação dos ventos de Leste ao atingirem o Planalto da Borborema e de perde intensidade ao transpor este Planalto, enquanto que, no Alto Sertão os ventos predominantes são de Oeste e na "Região A" ocorre uma intensificação dos ventos de Leste. Na componente vertical ( $\omega$ ), figura 10.c, observa-se movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral, parte do Planalto da Borborema e sobre a "Região A", ao passo que, os movimentos descendentes são observados na "Região B".

Como pode ser notado, o modelo reage bem a forçante topográfica, haja vista a desaceleração no campo zonal à medida que a topografia vai sendo introduzida gradualmente no modelo.

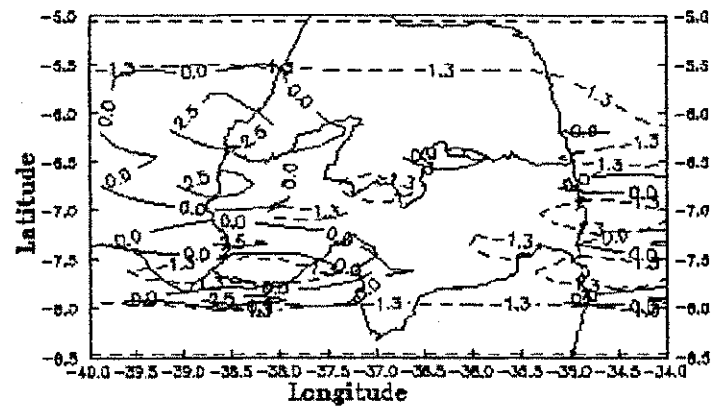
Esses resultados apresentam também semelhanças com o campo climatológico, analisados na seção 4.3, especialmente no que se refere a intensificação observada sobre o Planalto da Borborema. Isto pode ser observado a partir das figuras 11 a 17, onde está representada a velocidade zonal no topo da camada limite planetária. Uma outra característica observada nesse campo de vento é que ele simula tanto no vento zonal quanto na meridional uma zona de forte convergência na "Região A". Essa região de convergência também foi observada nos campos mostrados na sequência de figuras de 37 a 66 e ao que tudo indica pode ser um aspecto climatológico da circulação sobre aquela região, introduzido pela própria topografia do terreno.



(a)

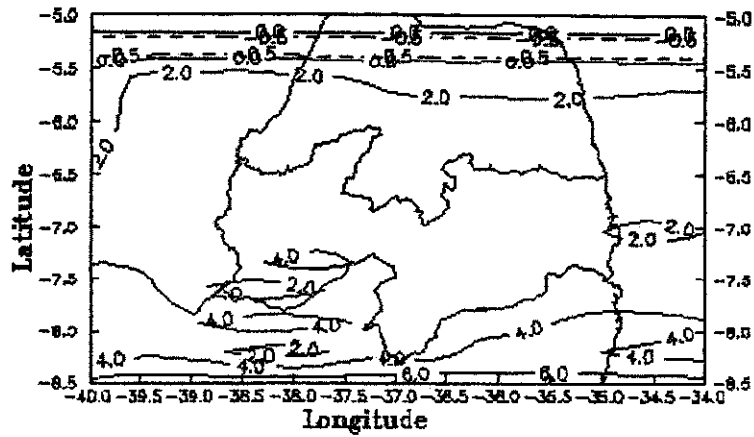


(b)

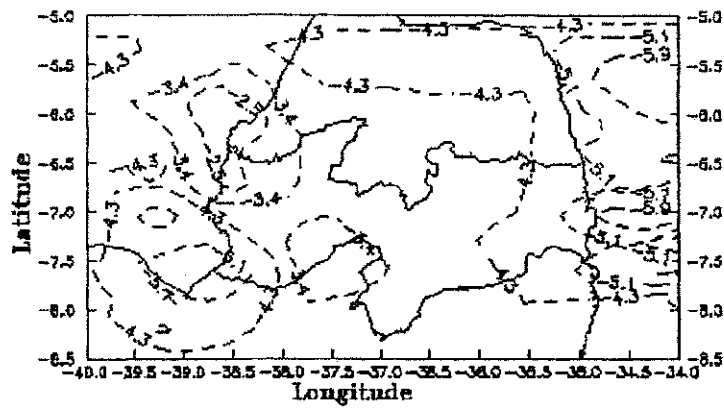


(c)

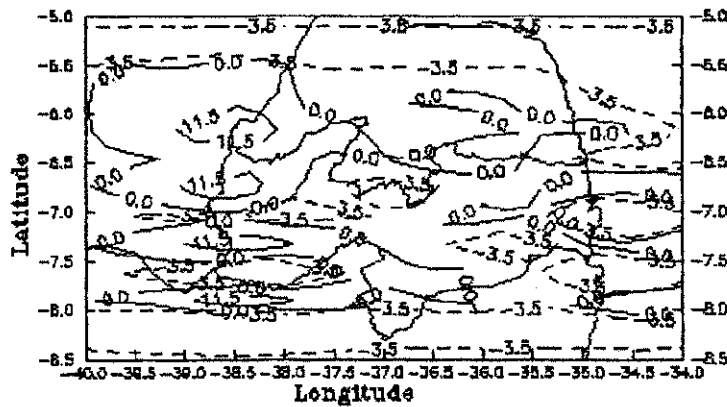
Figura. 04 - Campos das componentes do vento calculadas pelo modelo integrado após 24 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).



(a)

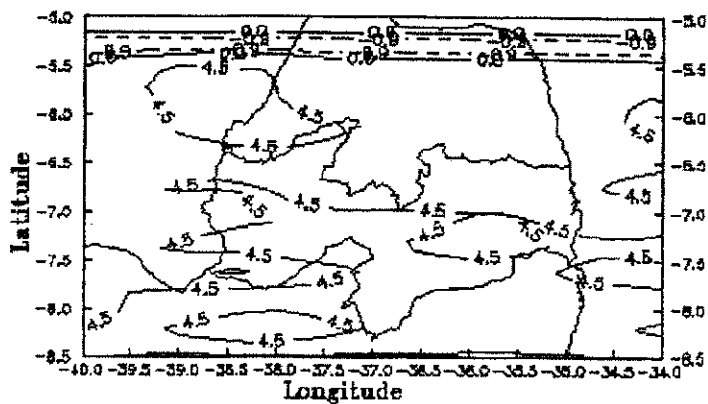


(b)

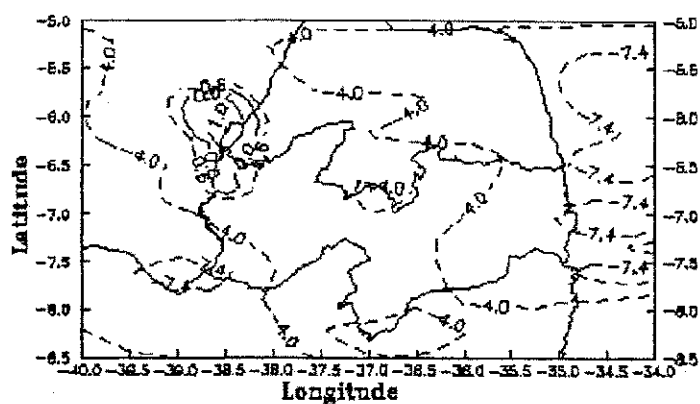


(c)

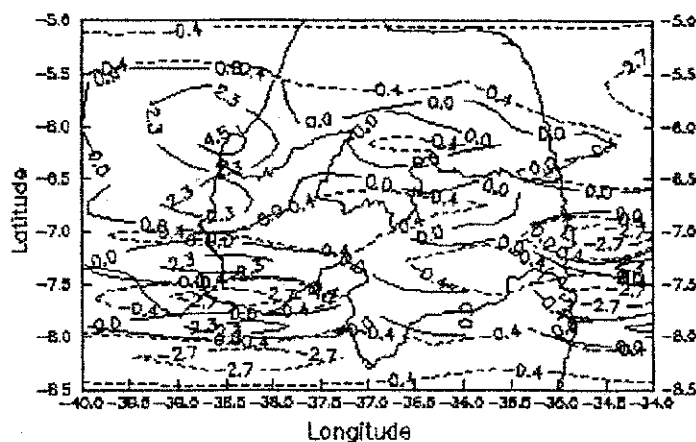
Figura 05 - Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 36 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).



(a)

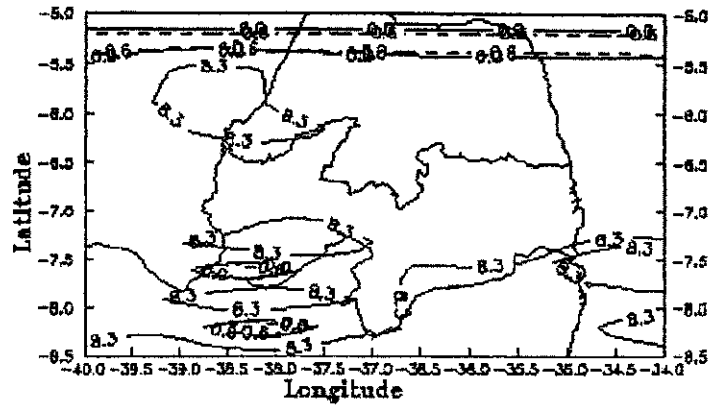


(b)

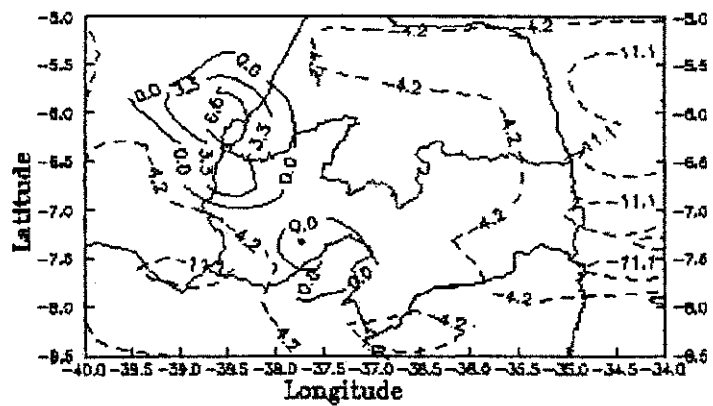


(c)

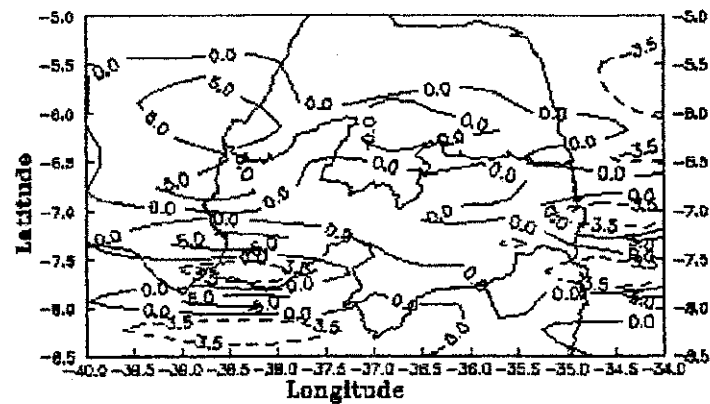
Figura 06 - Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 48 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).



(a)

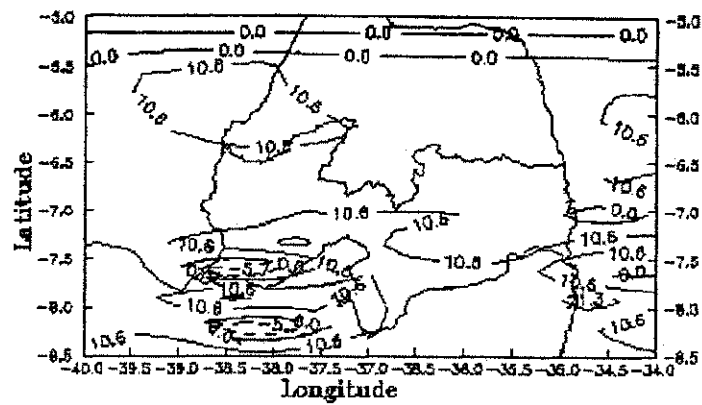


(b)

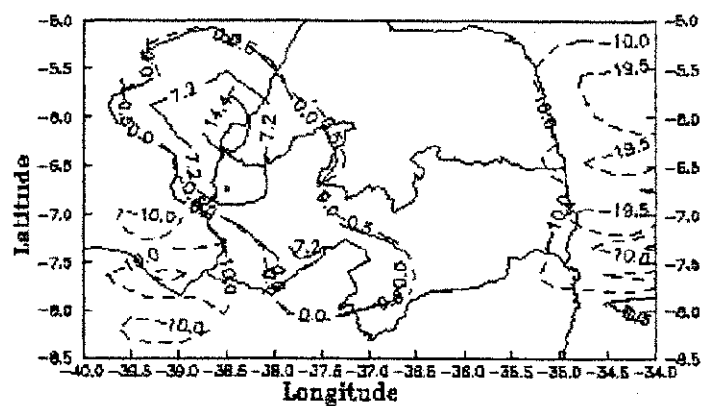


(c)

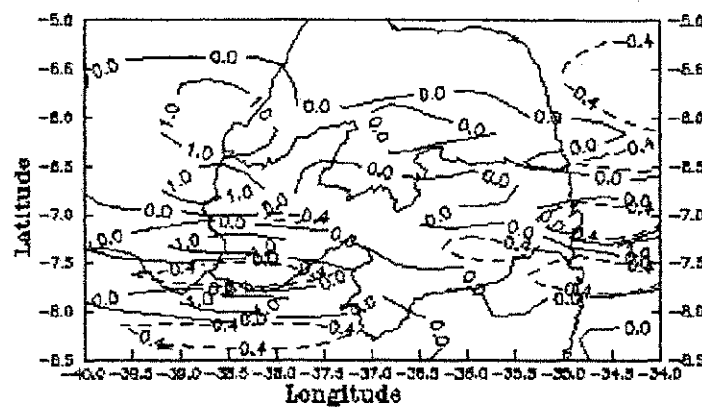
Figura 07 - Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 60 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).



(a)



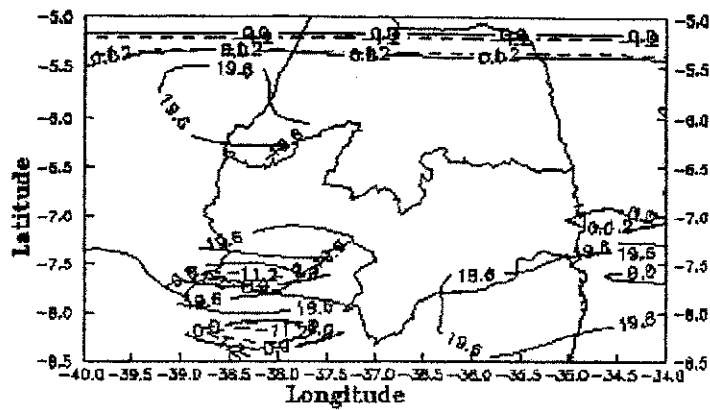
(b)



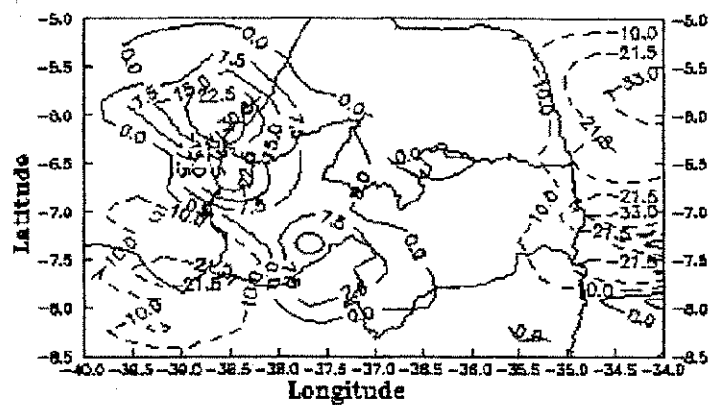
(c)

Figura 08 - Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 72 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).

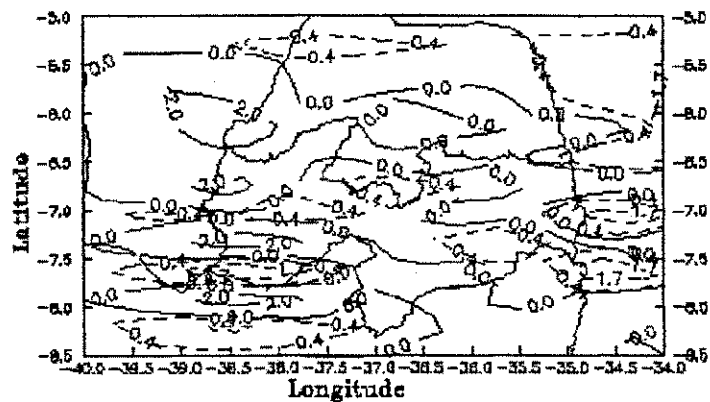




(a)

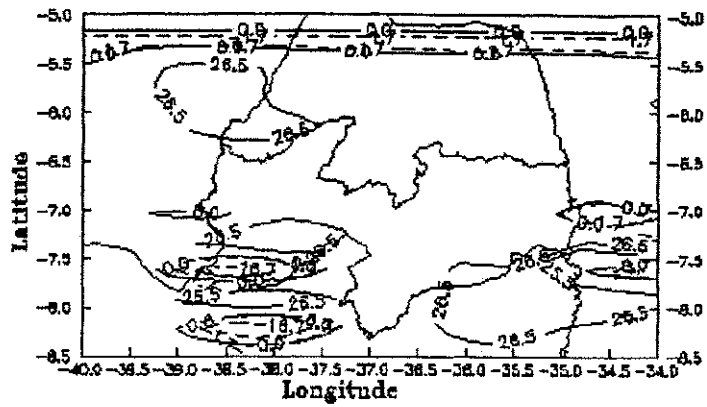


(b)

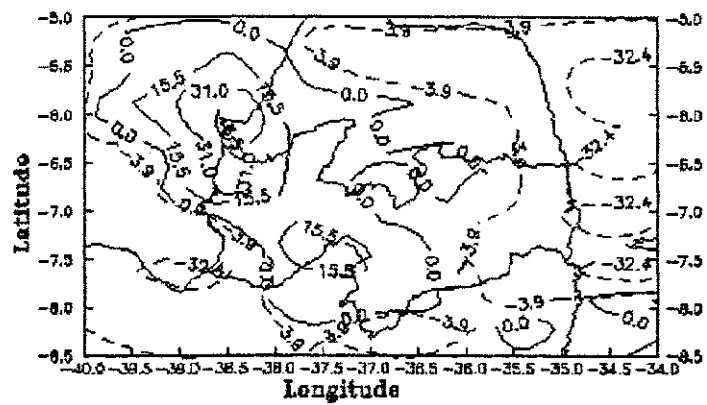


(c)

Figura 09 - Campos das componentes do vento calculados pelo modelo integrado após 84 horas de integração. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical ( $\sigma \rightarrow 10^{-7}$  mb/s).



(a)



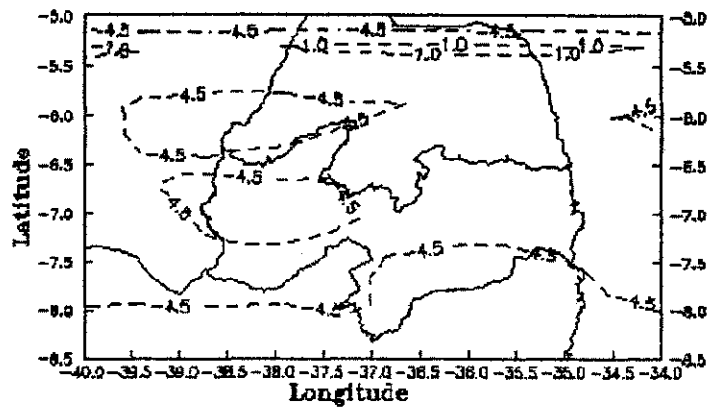


Figura 11.a - Campo zonal no topo da camada limite calculado pelo modelo integrado, após 24:00 horas de integração.

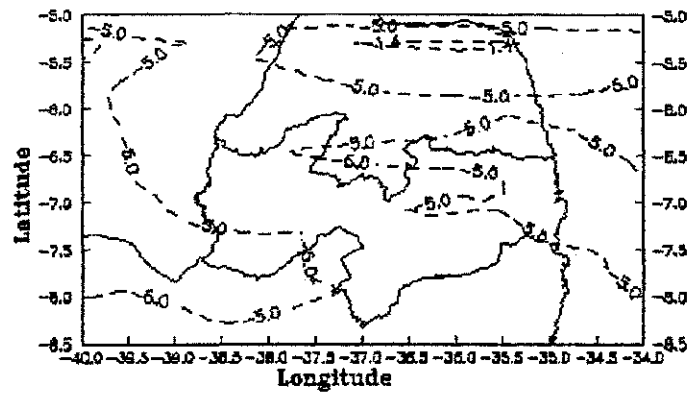


Figura 11.b - Idem, após 36:00 horas de integração.

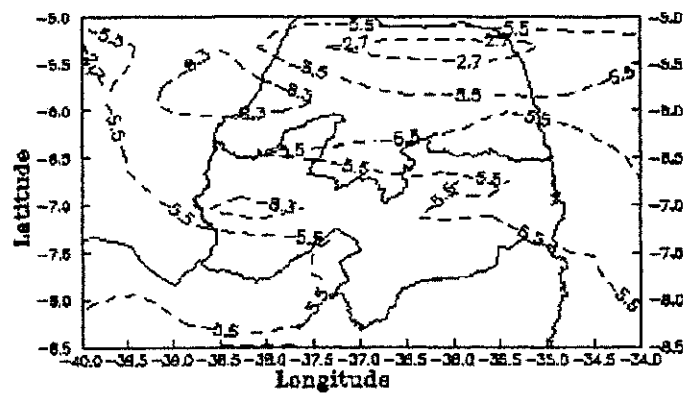


Figura 11.c - Idem, após 48:00 horas de integração.

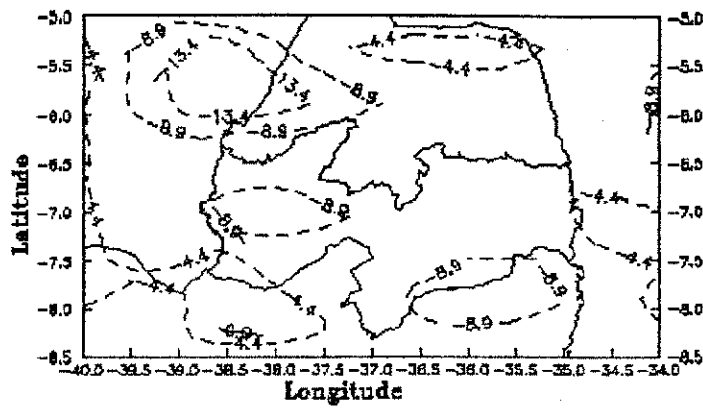


Figura 11.d - Idem, após 60:00 horas de integração.

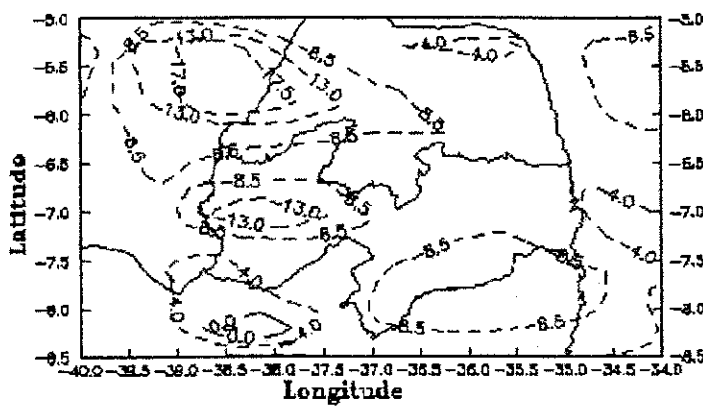


Figura 11.e - Idem, após 72:00 horas de integração.

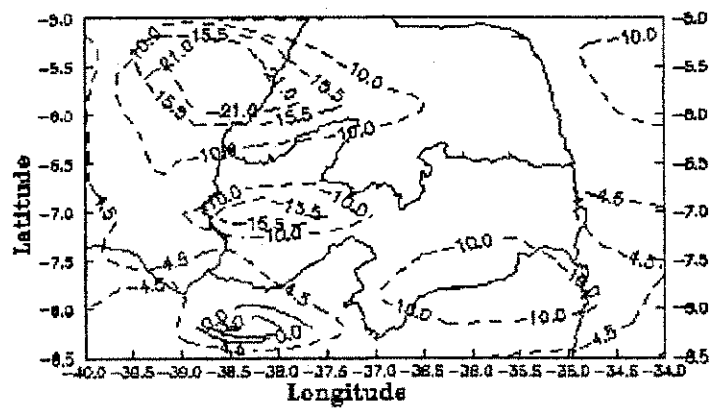


Figura 11.f - Idem, após 84:00 horas de integração.

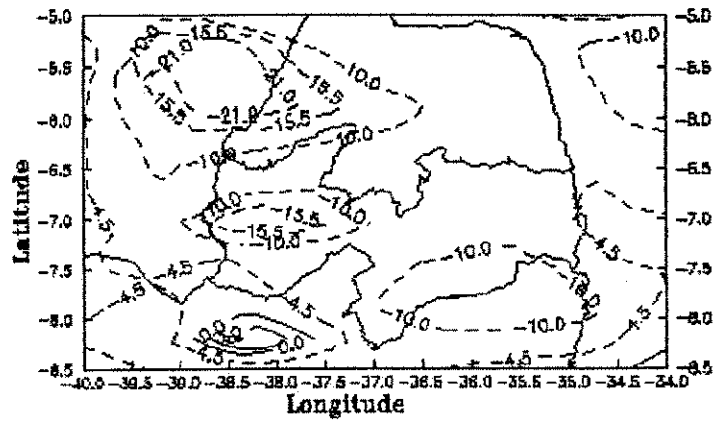


Figura 11.g - Idem fig. 11, após 48:00 horas de integração.

## 4.2 - Resultados do RAMS

A região de confluência dos Estados Ceará, Paraíba e Pernambuco será identificado no contexto como sendo "Região A", e a região de confluência dos Estados Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba como "Região B".

Os resultados da integração realizada com o modelo RAMS são apresentados através das figuras 18 a 36. Nessa integração tentou-se estudar tão somente os efeitos da topografia da Paraíba sobre os sistemas de circulação de mesoescala com a propagação sobre aquela região, iniciando às 06:00 horas local do dia 10/03/1994, figura 18, a qual mostra o campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 metros (figura 18.a) e o campo inicial das linhas de corrente (figura 18.b).

Na figura 19.a, relativa as 12:00 horas local do dia 10/03/1994, verifica-se que o campo inicial dos ventos apresentam modificações significativas na direção predominante porém a magnitude do vetor máximo permanece igual à inicial que era de 2,9 m/s. A figura 19.b, mostra que sobre o Oceano Atlântico e continente os ventos predominantes são de Sudeste. Nas figuras 20 e 21, verifica-se movimentos descendentes com velocidades de 0,40 cm/s sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral e movimentos ascendentes, com 2,0 cm/s distantes 100 Km da costa, sobre o Planalto da Borborema, caracterizando desta forma, um sistema de vale-montanha e um sistema de brisa marítima próximo ao litoral. Logo após este Planalto são observados movimentos descendentes com velocidades acima de 0,80 cm/s à 250 Km da costa, sobre a região do Seridó Paraibano e Cariri Velho, voltando à ascender sobre o Sertão distante 400 Km da costa com velocidades em torno de 0,10 cm/s. Observa-se então, uma estrutura de movimentos ascendentes/descendentes cujo eixo encontra-se orientado na direção zonal.

Às 18:00 horas local do dia 10/03/1994, figura 22.a, o campo do vento apresenta-se modificado e acompanha os contornos da topografia do terreno, tendo a magnitude do vetor máximo aumentado para 3,8 m/s. A figura 22.b, mostra o campo das isolinhas de corrente, onde pode-se observar ventos de Sudeste sobre o Oceano Atlântico e ventos de Leste sobre o Planalto da Borborema, enquanto que no Alto Sertão próximo a Região A, nota-se que os ventos tendem a convergir nesta região.

Nas figuras 23 e 24, os movimentos descendentes com velocidades de 0,40 cm/s são observados sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral, e movimentos ascendentes de 2,60 cm/s distantes 100 Km da costa, onde ocorre uma intensificação talvez devida ao sistema de brisa marítima. Imediatamente após o Planalto, são observados movimentos descendentes com velocidades de 0,60 cm/s à 250 Km do

litoral, sobre o Seridó Paraibano e Cariri Velho. No Sertão, distante 400 Km do litoral, os movimentos ascendentes atingem velocidades em torno de 0,80 cm/s. Observa-se também, que o eixo do sistema de movimentos ascendentes/descendentes possui uma pequena inclinação na direção Noroeste/Sudeste fazendo um ângulo com a latitude.

Na figura 25.a, onde está representado o campo dos ventos às 00:00 horas local do dia 11/03/1994, ele está bastante modificado seguindo quase que fielmente os contornos da topografia da região e com uma magnitude de 3,7 m/s. Na figura 25.b, pode-se observar que as linhas de corrente apresentam-se contornando quase que fielmente a orografia. Os ventos predominante sobre o Oceano Atlântico são de Sudeste, ventos de Leste na parte central do Estado da Paraíba e ventos de Nordeste no Alto Sertão. Nota-se ainda, que a zona de convergência dos ventos está bem mais visível um pouco ao Norte da *Região A*, e uma região de divergência sobre o Planalto da Borborema.

Nas figuras 26 e 27, às 00:00 horas local do dia 11/03/94, nota-se sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral, que os movimentos passam a ser ascendentes com velocidades em torno de 0,40 cm/s e uma pequena faixa de movimentos descendentes distante 100 Km do litoral, caracterizando assim, uma estrutura de brisa terrestre. Observa-se também, que os movimentos descendentes atingem velocidades superiores a 0,50 cm/s distante 240 Km da costa. No entanto, os movimentos ascendentes podem alcançar velocidades acima de 0,70 cm/s distantes 400 Km do litoral. Note que, mesmo às 00:00 horas local, a estrutura dos movimentos ascendentes/descendentes permanece bem definida e que o seu eixo inclina-se mais na direção Noroeste/Sudeste.

Na figura 28.a, 06:00 horas local para dia 11/03/1994, nota-se que o campo dos ventos mostra-se bastante modificado com os vetores velocidade de 2,6 m/s, seguindo basicamente os contornos da orografia, encerrando assim o primeiro dia de integração do modelo. Observa-se nas linhas de corrente representada pela figura 28.b, que os ventos de Sul predominam sobre o Oceano Atlântico, ventos de Sudoeste sobre o Planalto da Borborema e ventos de Nordeste no Alto Sertão. Observa-se também, que a região de divergência dos ventos deslocou-se na direção do Seridó e Cariri paraibano, e a zona de convergência dos ventos deslocam-se mais para Sul da *Região A*.

A figura 29, à 06:00 horas local do 11/03/1994, mostra o campo vertical ( $w$ ), onde são observados movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral e movimentos descendentes sobre o Planalto da Borborema, e que seu eixo fica paralelo a direção Leste/Oeste. Observando o perfil vertical ( $w$ ), figura 30, nota-se que os movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral atingem

velocidades acima de 0,4 cm/s, e sobre o Planalto da Borborema os movimentos descendentes chegam a atingir velocidades superiores a 0,8 cm/s distante 400 Km da costa paraibana. Caracterizando assim, uma estrutura de movimentos ascendentes/descendentes.

Na figura 31.a, onde está representado o campo dos ventos às 18:00 horas local do dia 11/03/1994 com uma magnitude de 3,7 m/s, observa-se que os ventos seguem mais ou menos os contornos da topografia do terreno. Na figura 31.b, pode-se observar que as linhas de corrente mostram uma predominância de ventos de Sudeste sobre o Oceano Atlântico, ventos de Leste sobre a parte central do Estado da Paraíba e ventos de Nordeste sobre o Alto Sertão. Nota-se ainda, que a zona de convergência dos ventos está bem mais visível ao Norte da *Região A*, e que a região de divergência desaparece.

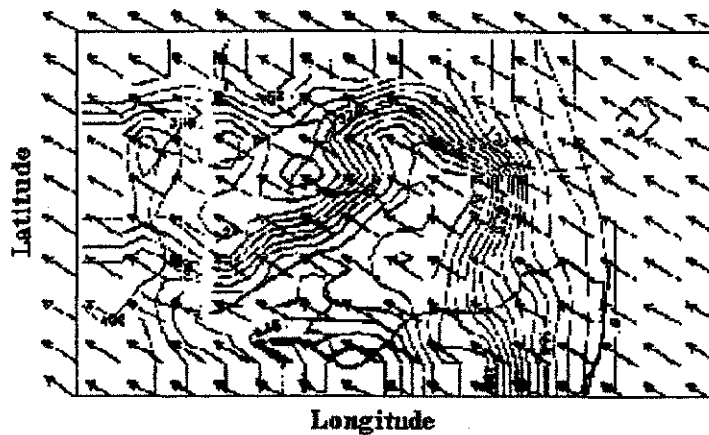
A figura 32, às 18:00 horas local para o dia 11/03/1994, mostra o campo vertical ( $w$ ) onde pode ser observado movimentos descendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral e movimentos ascendentes sobre o Planalto da Borborema, nota-se ainda que o eixo inclina-se na direção Noroeste/Sudeste. Analisando a figura 33, que mostra o perfil vertical ( $w$ ) para o mesmo horário, observa-se que os movimentos descendentes sobre o Oceano Atlântico atingem velocidades acima de 0,8 cm/s, e movimentos ascendentes na parte oriental do Planalto da Borborema com velocidades de 3,2 cm/s, enquanto que, na parte mais ocidental deste planalto os movimentos passam a ser descendentes com velocidades de 0,6 cm/s distante 250 Km da costa. Já sobre o Alto Sertão os movimentos ascendentes atingem velocidades superiores a 0,8 cm/s, distante 400 Km do litoral paraibano. Caracterizando assim uma estrutura de movimentos ascendentes e descendentes.

A figura 34.a, mostra o campo do ventos das 06:00 horas local do dia 12/03/1994 com um vetor magnitude de 3,4 m/s, observa-se que os ventos seguem fielmente os contornos da topografia do terreno. Na figura 34.b, nota-se que as linhas de corrente mostram uma predominância de ventos de Sul sobre o Oceano Atlântico, ventos de Sudoeste sobre o Planalto da Borborema, ventos de Leste na parte central do Estado e ventos de Nordeste no Alto Sertão paraibano. Verifica-se também, que a zona de convergência de ventos desloca-se para Sul da *Região A*, e a zona de divergência volta a ser observada sobre o Planalto da Borborema.

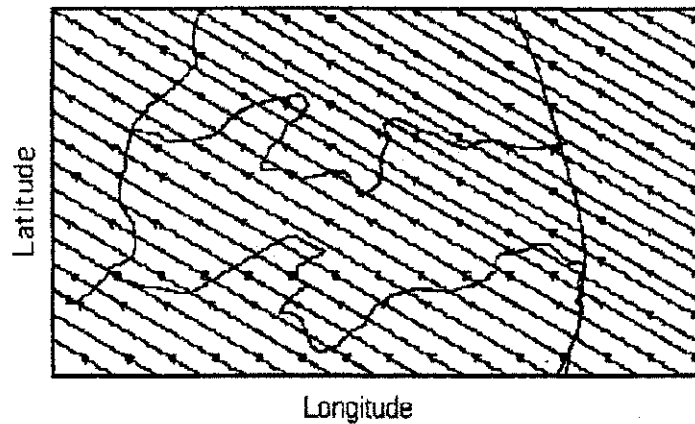
A figura 35, às 06:00 horas local para o dia 12/03/1994, mostra o campo vertical( $w$ ), onde pode ser observado movimentos ascendentes sobre o oceano próximo ao litoral, movimentos descendentes sobre o Planalto da Borborema e que seu eixo inclina-se na direção Leste /Oeste. Observando o perfil vertical de ( $w$ ), figura 36, nota-se



que os movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral atingem velocidades inferiores 0,4 cm/s, movimentos descendentes com velocidades de 0,8 cm/s sobre o Planalto da Borborema e movimentos ascendentes distante 400 Km da costa com velocidades superiores a 1,6 cm/s. Caracterizando uma estrutura de movimentos ascendente e descendentes.

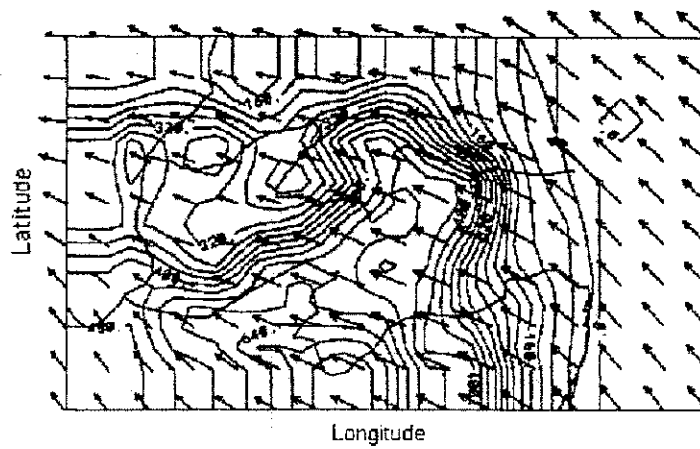


(a)

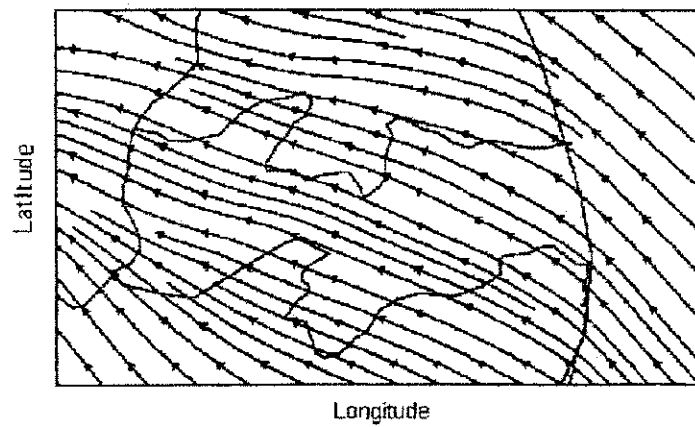


(b)

Figura 18 - (a) campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,9 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 10/03/1994.



(a)



(b)

Figura 19 - (a) campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,9 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994.

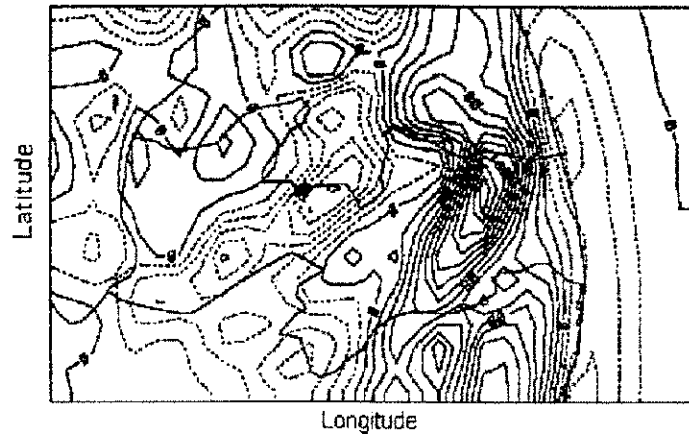


Figura 20 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

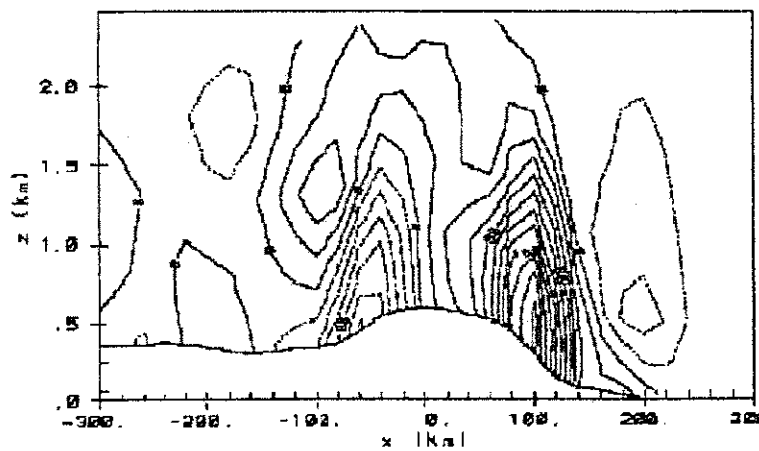
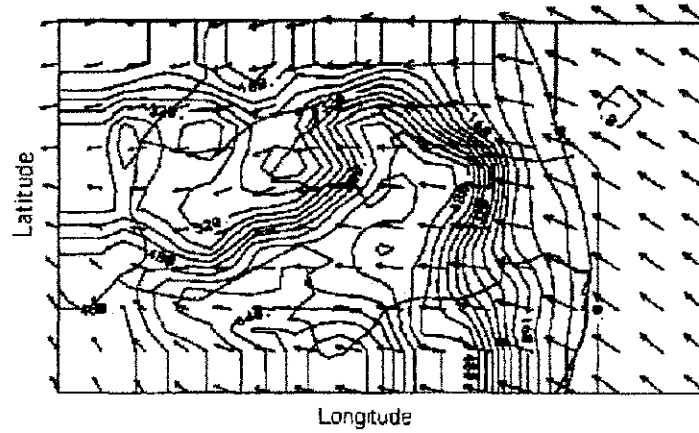
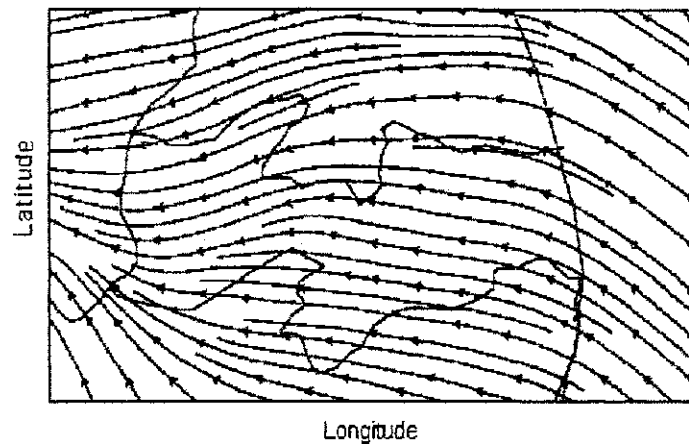


Figura 21 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 12:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.



(a)



(b)

Figura 22 - (a) campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,8 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994.

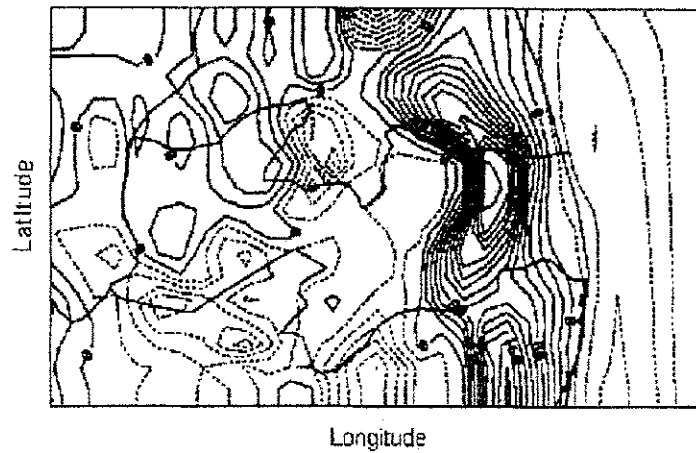


Figura 23 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

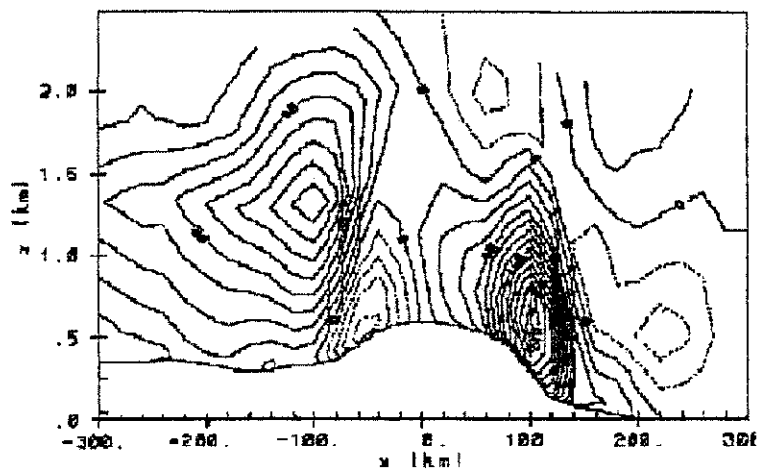


Figura 24 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 10/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

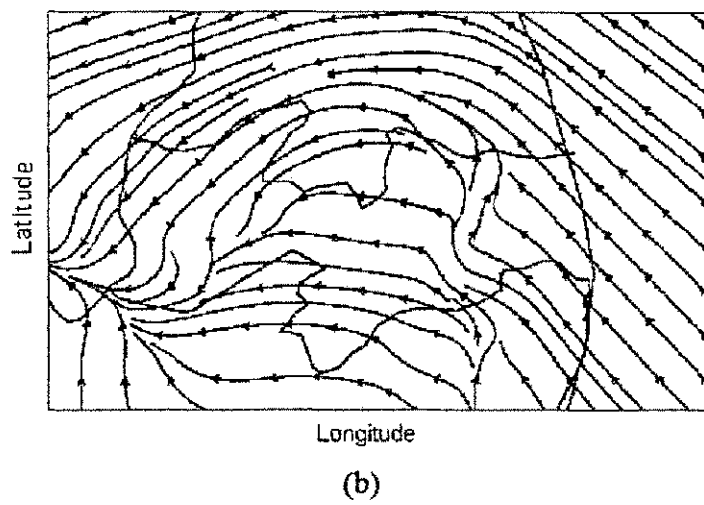
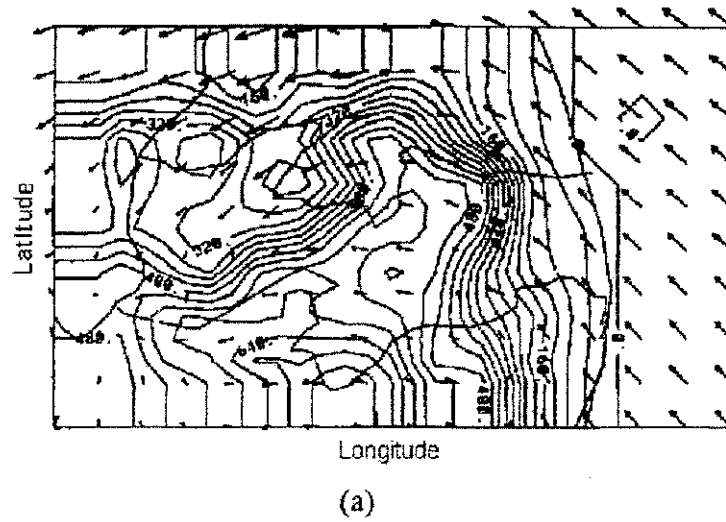


Figura 25 - (a) Campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,7 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994.

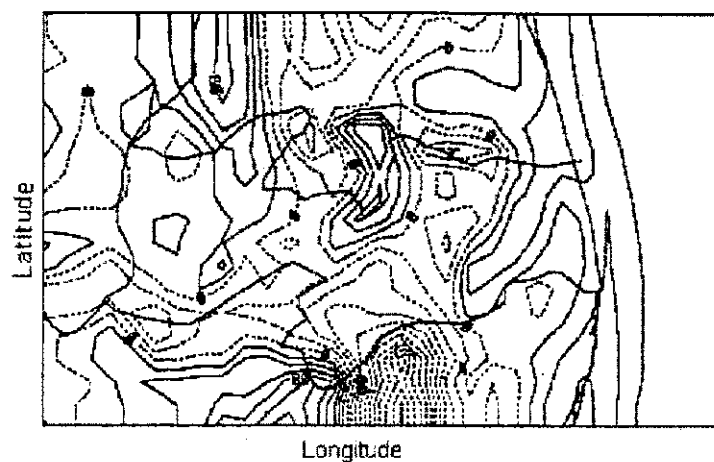


Figura 26 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

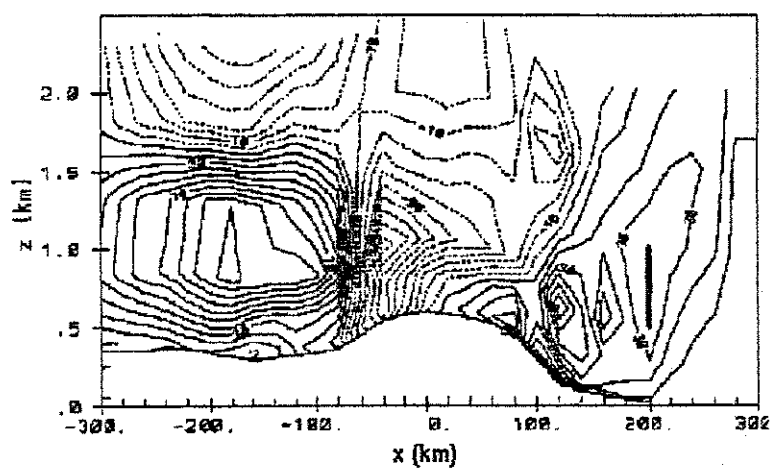
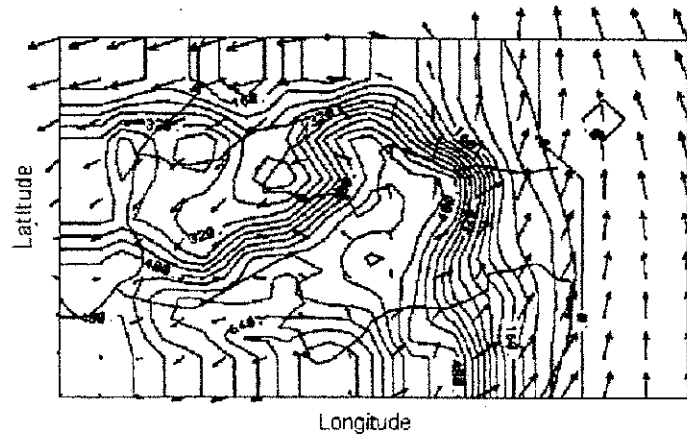
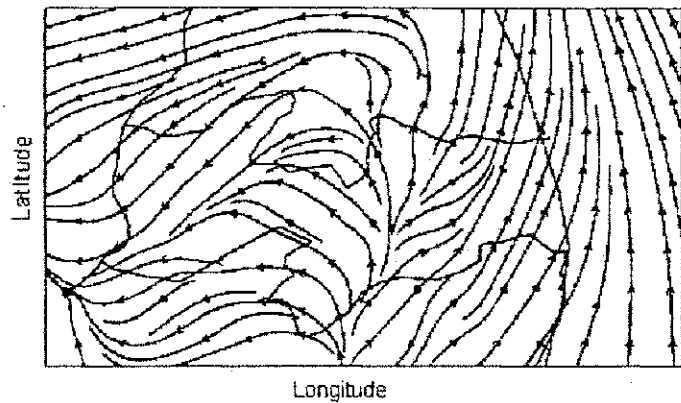


Figura 27 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 00:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.





(a)



(b)

Figura 28 - (a) Campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 2,6 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994.

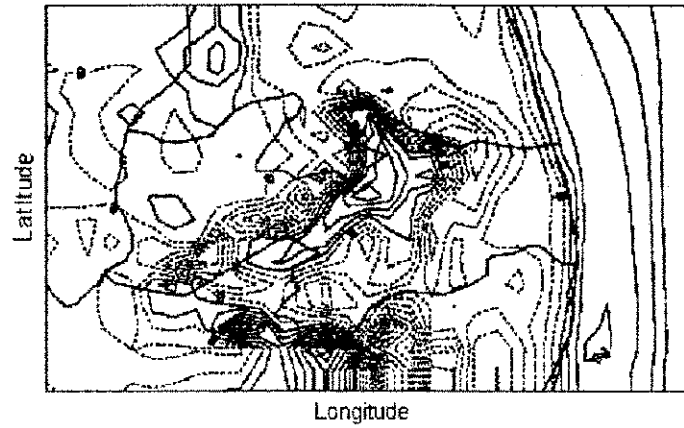


Figura 29 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

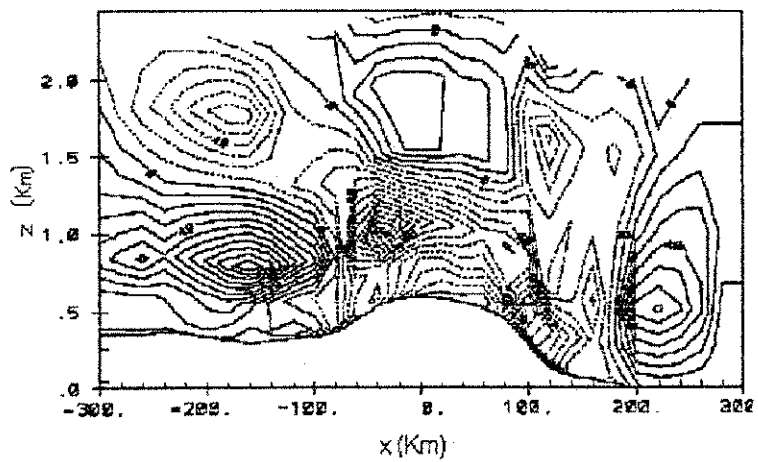
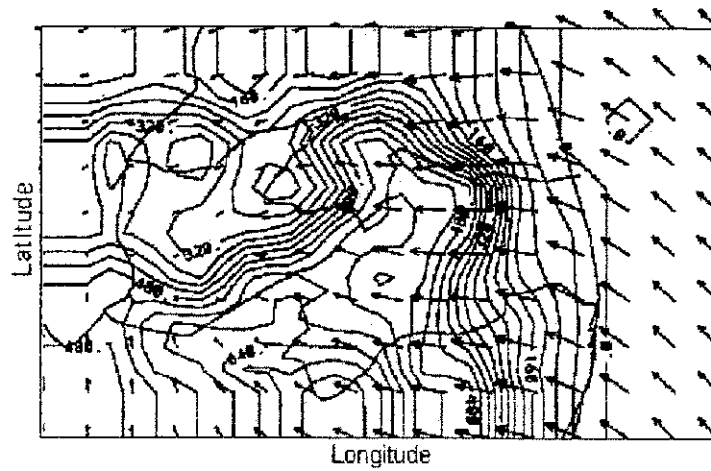
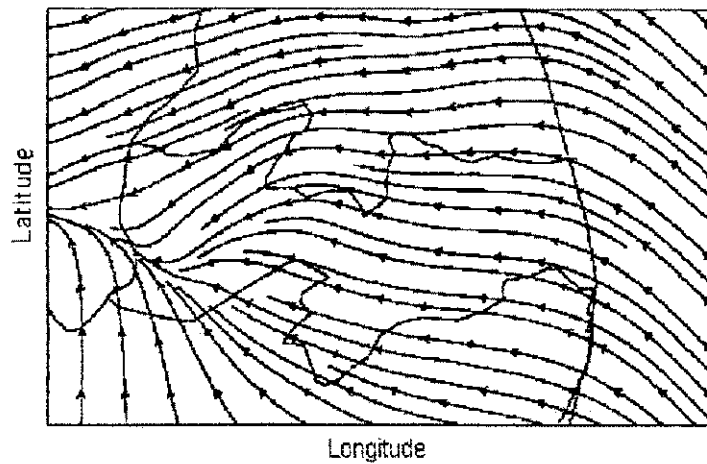


Figura 30 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.



(a)



(b)

Figura 31 - (a) Campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 4,1 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994.

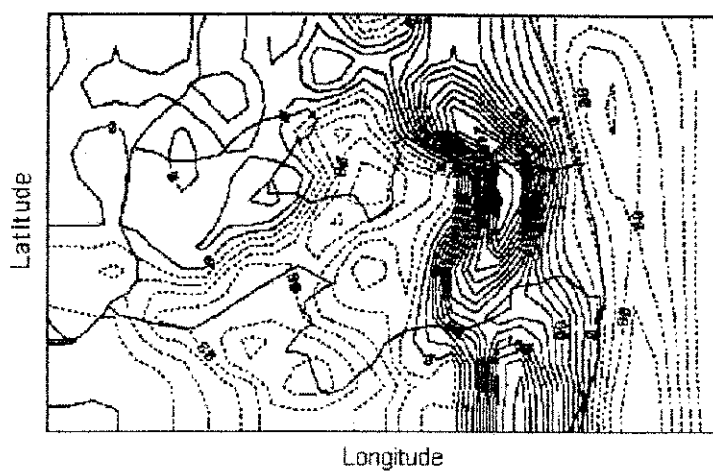


Figura 32 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

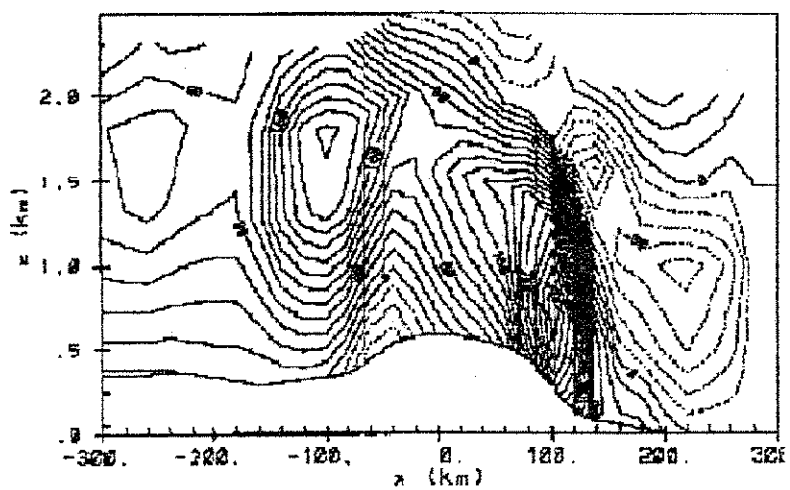
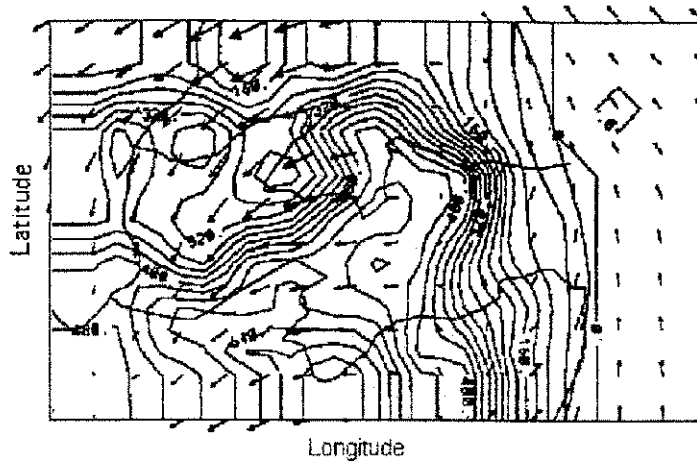
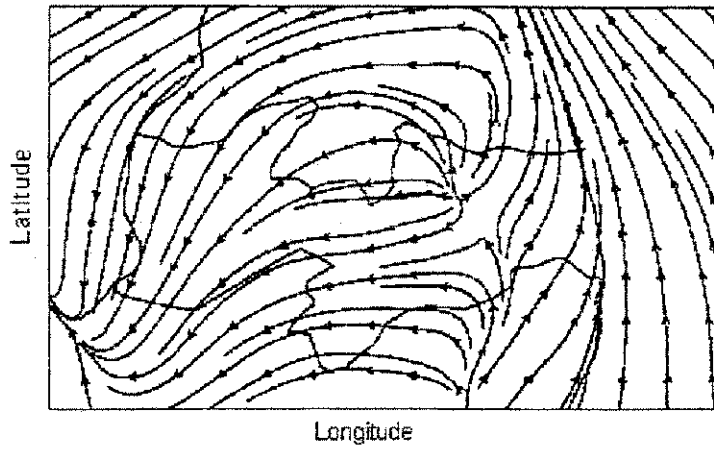


Figura 33 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 18:00 horas local para o dia 11/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.



(a)



(b)

Figura 34 - (a) Campo inicial da velocidade dos ventos ao nível de 360,7 m e vetor máximo de 3,4 m/s; (b) Campo inicial das linhas de corrente. O horário corresponde as 06.00 horas local para o dia 12/03/1994.

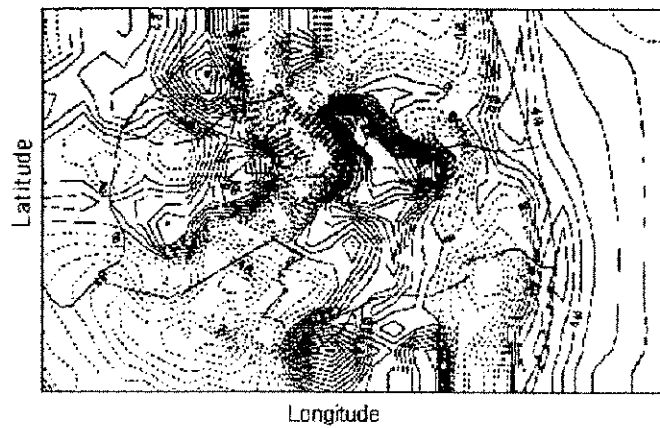


Figura 35 - Campo da velocidade vertical  $w$  (cm/s) ao nível de 360,7 m. O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 12/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

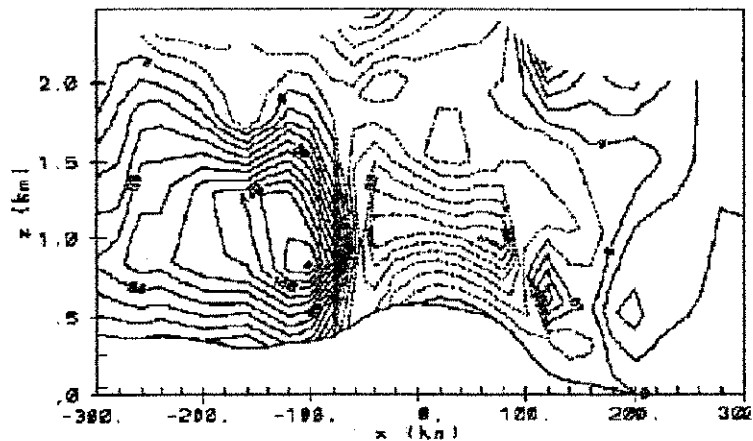


Figura 36 - Perfil vertical de  $w$  (cm/s) em  $7.0^{\circ}\text{S}$ . O horário corresponde as 06:00 horas local para o dia 12/03/1994. As linhas contínuas indicam valores positivos.

### 4.3 - Resultados observacionais

Utilizando-se da média mensal horária da velocidade do vento à superfície, ao nível do anemômetro (10 metros) para os trimestres de Janeiro/Fevereiro/Março e trimestre de Setembro/Octubro/Novembro de 1978, foram analisadas as figuras correspondentes às componentes meridional, zonal e vertical do vento. Os valores das velocidades da componente vertical estão multiplicados por  $10^4$ .

#### 4.3.1 - Análise do mês de Janeiro de 1978

Observando as componentes meridional e zonal da velocidade dos ventos à superfície às 00:00 horas, figuras 37.a e 37.b, nota-se que após a composição destas componentes verifica-se uma predominância dos ventos de Sudeste na maior parte dos Estados da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, enquanto que, sobre o Estado do Ceará prevalecem ventos de Nordeste.

Na figura 37.c, verifica-se que, sobre o Oceano Atlântico, próximo ao litoral e sobre o Planalto da Borborema, os movimentos ascendentes atingem velocidades acima de 0,5 mb/s e que sobre o Sertão e o Cariri os movimentos descendentes prevalecem com velocidades em torno de 0,9 mb/s. Observa-se também, movimentos ascendentes sobre o a região de confluência dos Estados Ceará, Paraíba e Pernambuco.

Observa-se na figura 38.a, a predominância de ventos de Sul por quase toda a região, podendo ser notado um centro de máximo de 2,4 m/s sobre o Planalto da Borborema. São observados dois centros de escoamento de Norte, ambos com 0,3 m/s sobre o Seridó Norte-riograndense e próximo a região de confluência dos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco.

Podem ser observados ventos de Oeste sobre os litorais da Paraíba e Rio Grande do Norte, figura 38.b, com velocidades não superiores a 0,2 m/s, caracterizando assim uma estrutura de brisa terrestre sobre a região.

Na figura 38.c, nota-se uma pequena intensificação nos movimentos ascendentes, 1,2 m/s sobre o Planalto da Borborema, enquanto que, os movimentos descendentes permanecem com velocidades de 0,9 mb/s sobre a região próximo a Patos.

Às 12:00 horas local, figura 39.a, observa-se que os ventos de Sul ganham intensidade e que predomina sobre o Oceano Atlântico e sobre o Planalto da Borborema, exceto sobre a região de confluência dos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, onde os ventos de Norte perdem muita intensidade.

Na figura 39.b, observa-se que o escoamento de Leste prevalece e atinge o Planalto da Borborema com velocidades de 2,5 m/s, e ao transpor o bordo oriental deste planalto perde velocidade chegando ao Sertão com velocidades em torno de 1,6 m/s.

Na figura 39.c, verifica-se que os movimentos ascendentes ganham um pouco mais de intensidade no litoral e sobre o Planalto da Borborema, 0,9 mb/s. Por outro lado, os movimentos descendentes perdem intensidade, 0,4 mb/s, sobre o Cariri Velho e Sertão.

A figura 40.a, 14:00 horas, apresenta uma intensificação significativa nos fluxos de Sul ao atingir o Planalto da Borborema com velocidades acima de 3,6 m/s, no entanto perde velocidade, 2,7 m/s, ao ultrapassar este planalto, chegando à alcançar o Alto Sertão com velocidades maiores do que 0,9 m/s. Observa-se que os ventos de Norte diminuem significativamente sobre a região de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco.

Os ventos de Leste na figura 40.b, mostram-se mais intensificados sobre o Planalto da Borborema e parte do litoral paraibano com velocidades superiores à 2,5 m/s, mas perde intensidade, 1,7 m/s sobre o Cariri Velho, continuando a desacelerar até atingir o Alto Sertão.

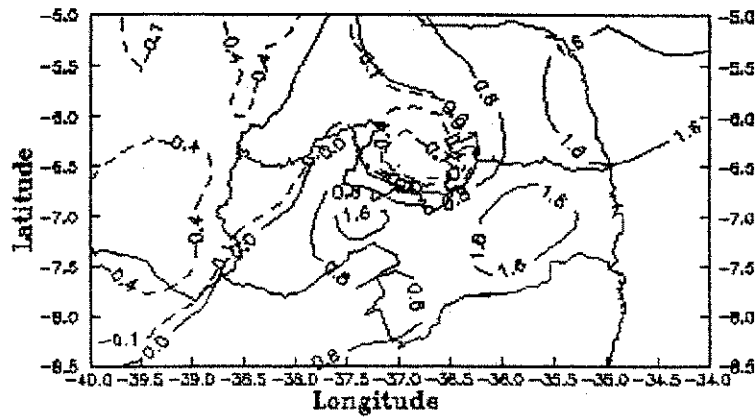
Observe que na figura 40.c, os movimentos ascendentes adquirem as maiores velocidades, 0,7 mb/s sobre o litoral e de 1,1 mb/s sobre o Planalto da Borborema, enquanto que próximo a Patos os movimentos descendentes ganham um pouco mais de velocidade, 0,5 mb/s.

Às 16:00 horas, figura 41.a, os ventos de Sul continuam à se intensificar próximo ao litoral e sobre o Planalto da Borborema, com velocidades de 4,0 m/s, perdendo intensidade ao transpor este planalto, até atingir o Alto Sertão próximo a São Gonçalo, quando os fluxos de Norte começam a prevalecer, com velocidades de 0,2 m/s.

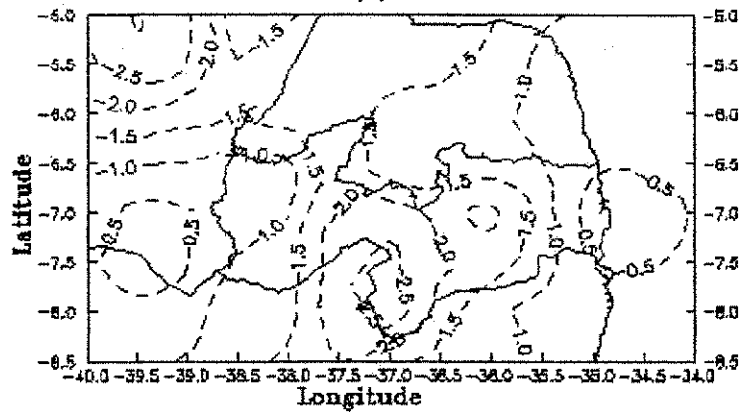
A figura 41.b, mostra que os fluxos de leste continuam a intensificar-se sobre o Planalto da Borborema com velocidades de 2,8 m/s próximo a Campina Grande, e diminui ao transpor este planalto, 1,8 m/s chegando ao Alto Sertão com velocidades abaixo de 0,8 m/s.

Os movimentos ascendentes observados na figura 41.c, permanecem iguais em intensidade e predominância, desde o Oceano Atlântico próximo ao litoral até o Cariri Velho com velocidades de 1,1 mb/s, sobre o Planalto da Borborema próximo a Campina Grande. Por outro lado, os movimentos descendentes perdem intensidade alcançando velocidades menores que 0,3 mb/s sobre Patos e São Gonçalo.

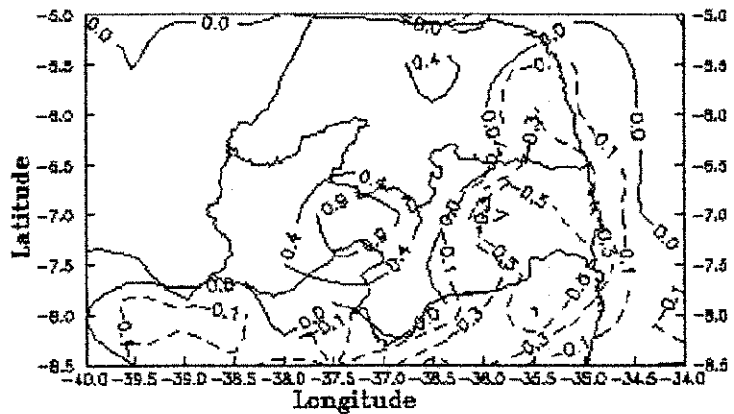




(a)

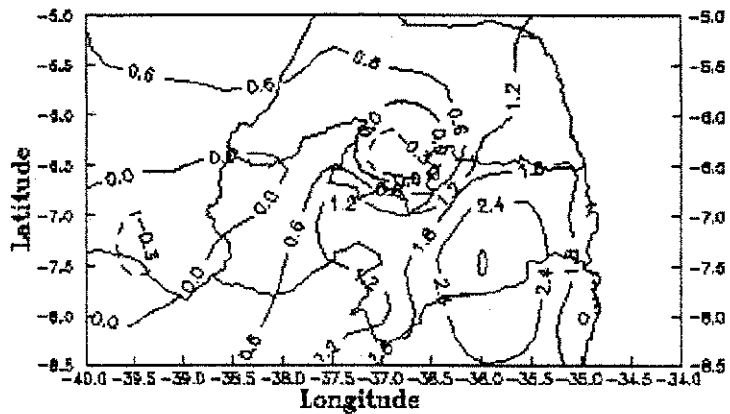


(b)

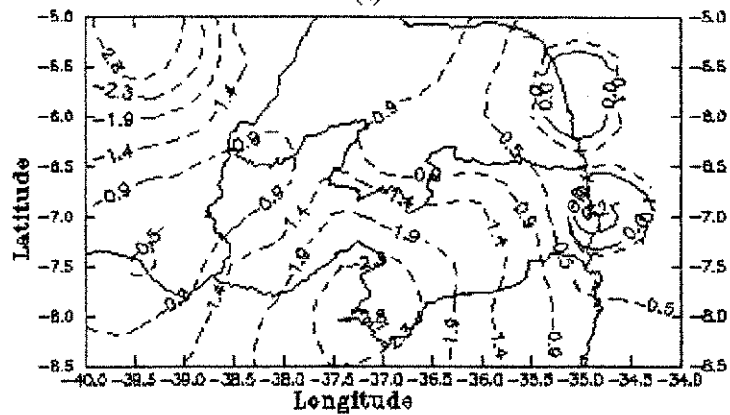


(c)

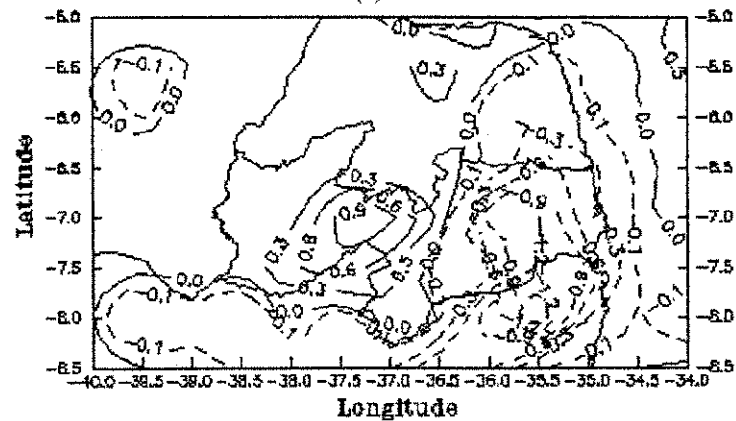
Figura 37 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

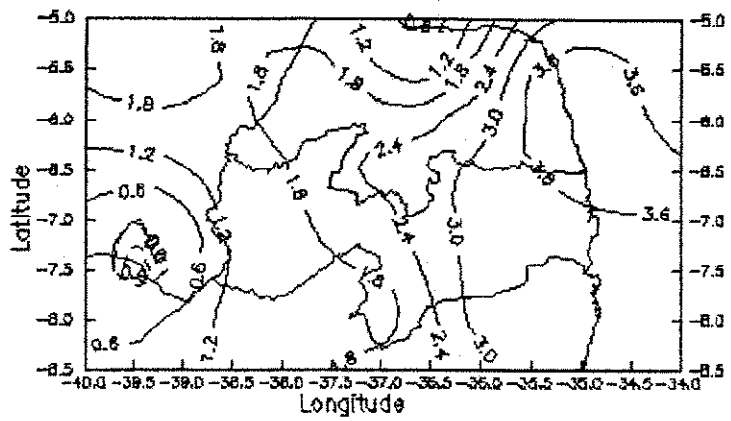


(b)

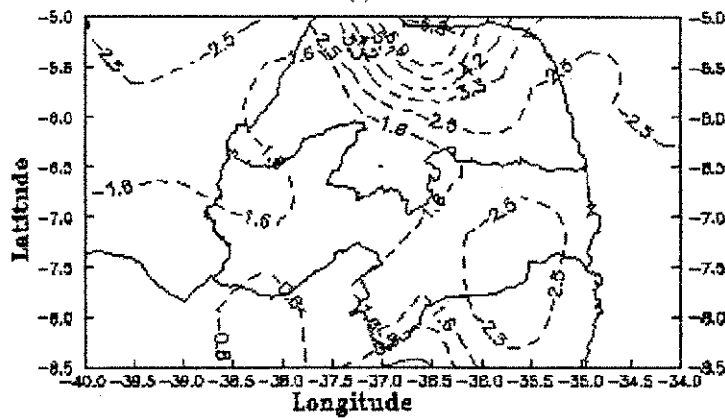


(c)

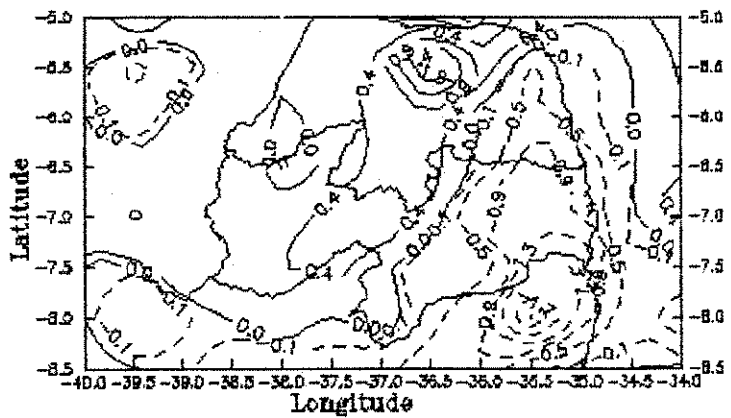
Figura 38 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

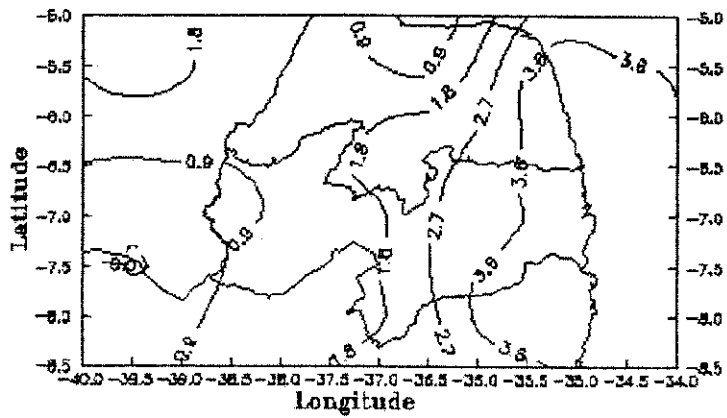


(b)

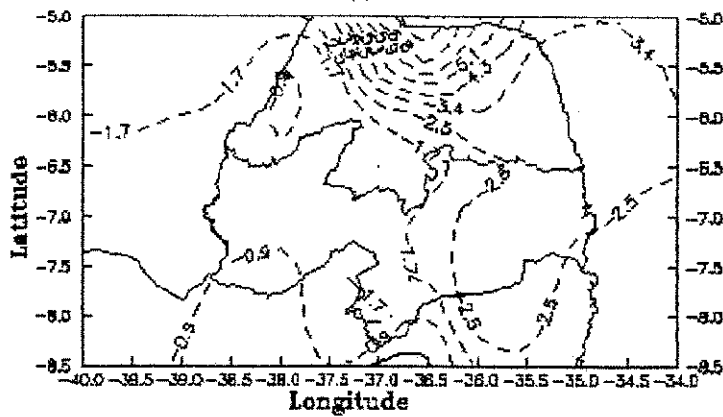


(c)

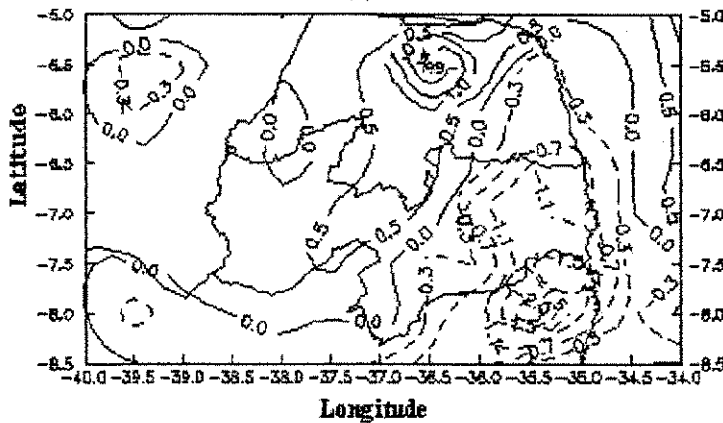
Figura 39 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

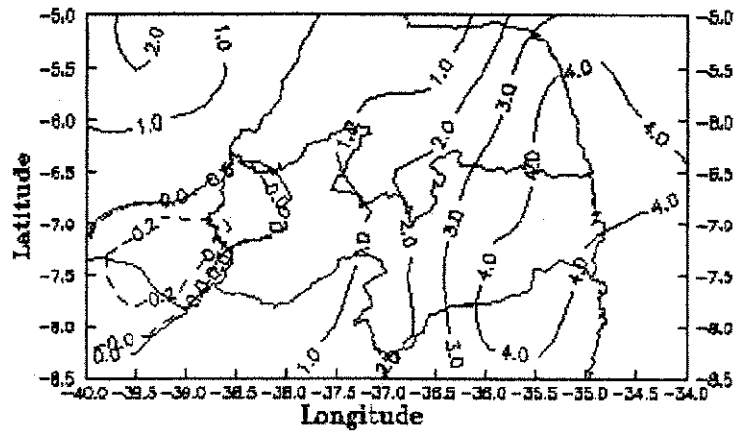


(b)

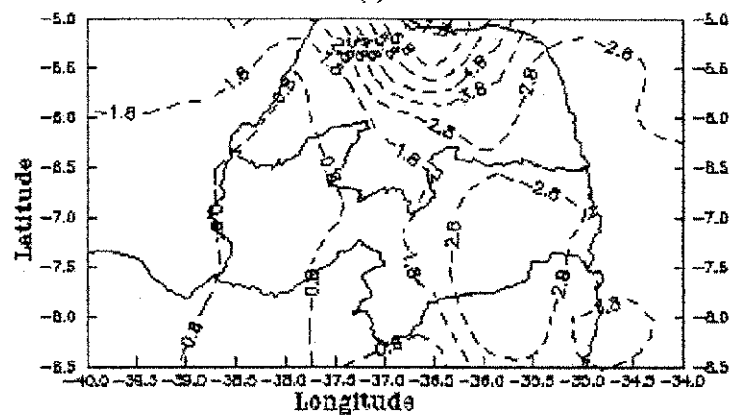


(c)

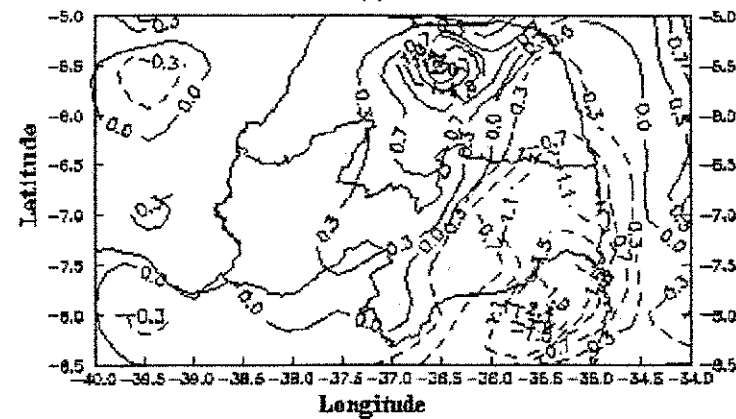
Figura 40 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\otimes$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 41 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Janeiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical @ ( $10^{-3}$  mb/s).

#### 4.3.2 - Análise do mês de Fevereiro de 1978

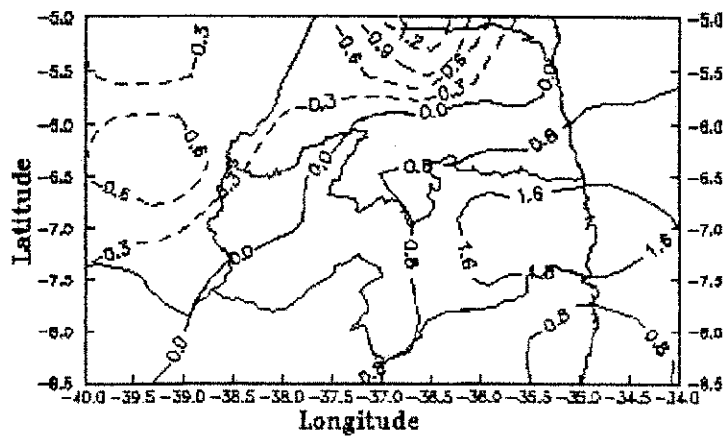
Analizando a componente meridional nas figuras 42.a e 43.a, nota-se ventos de Sul com intensidade máxima de 1,6 m/s as 00:00 horas local e de 1,8 m/s as 06:00 horas local. No entanto as figuras 44.a, 45.a e 46.a, mostram uma intensificação nos fluxos de Sul próximo ao litoral e sobre o Planalto da Borborema com velocidades de 2,4 m/s. Observa-se também um aumento gradual no escoamento de Norte sobre a região de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, atingindo velocidade de 0,5 m/s, as 16:00 horas.

Nota-se nas figuras 42.b e 43.b que ocorre uma intensificação e um predomínio nos fluxos de Leste próximo ao Planalto da Borborema com velocidades de 1,4 m/s a 1,6 m/s, perdendo intensidade próximo a São Gonçalo com velocidades de 0,9 m/s a 0,7 m/s. Por outro lado, os ventos de Leste nas figuras 44.b, 45.b e 46.b, apresentam uma maior intensificação sobre o Planalto da Borborema, nas vizinhanças de Campina Grande, com velocidades de 2,8 m/s a 3,1 m/s, e sobre o Alto Sertão o fluxo de Leste perde intensidade com velocidades de 1,7 m/s a 0,9 m/s.

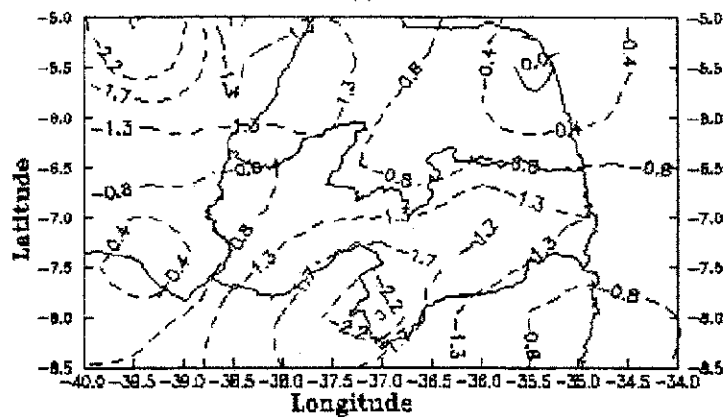
Nas figuras 42.c e 43.c, podem ser verificadas pequenas intensificações nos movimentos ascendentes, de 0,5 mb/s para 0,6 mb/s, sobre o Planalto da Borborema, e nos movimentos descendentes, 0,4 mb/s, próximo a Patos.

Nas figuras 44.c, 45.c e 46.c, Nota-se uma certa intensificação nos movimentos ascendentes sobre o Oceano Atlântico próximo ao litoral e sobre o Planalto da Borborema, com velocidades máximas de 1,4 mb/s, 1,6 mb/s, 1,4 mb/s, respectivamente. Também observa-se que, os movimentos descendentes são menos intensos com velocidades variando de 0,7 mb/s a 0,3 mb/s sobre Patos.

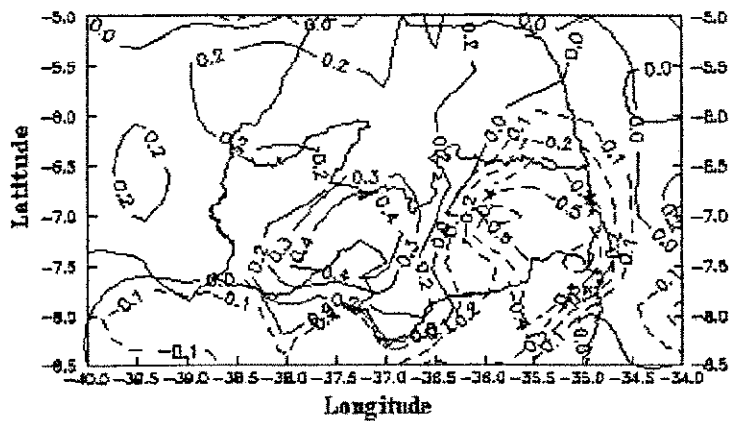
As figuras 42.c, 43.c, 44.c, 45.c e 46.c, apresentam a mesma estrutura de movimentos ascendentes/descendentes que foram observados tanto pelo MODELO INTEGRADO (figuras 04.c, 05.c, 06.c, 07.c, 08.c, 09.c e 10.c) como pelo RAMS ( figuras 20, 21, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35 e 36).



(a)



(b)



(c)

Figura 42 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

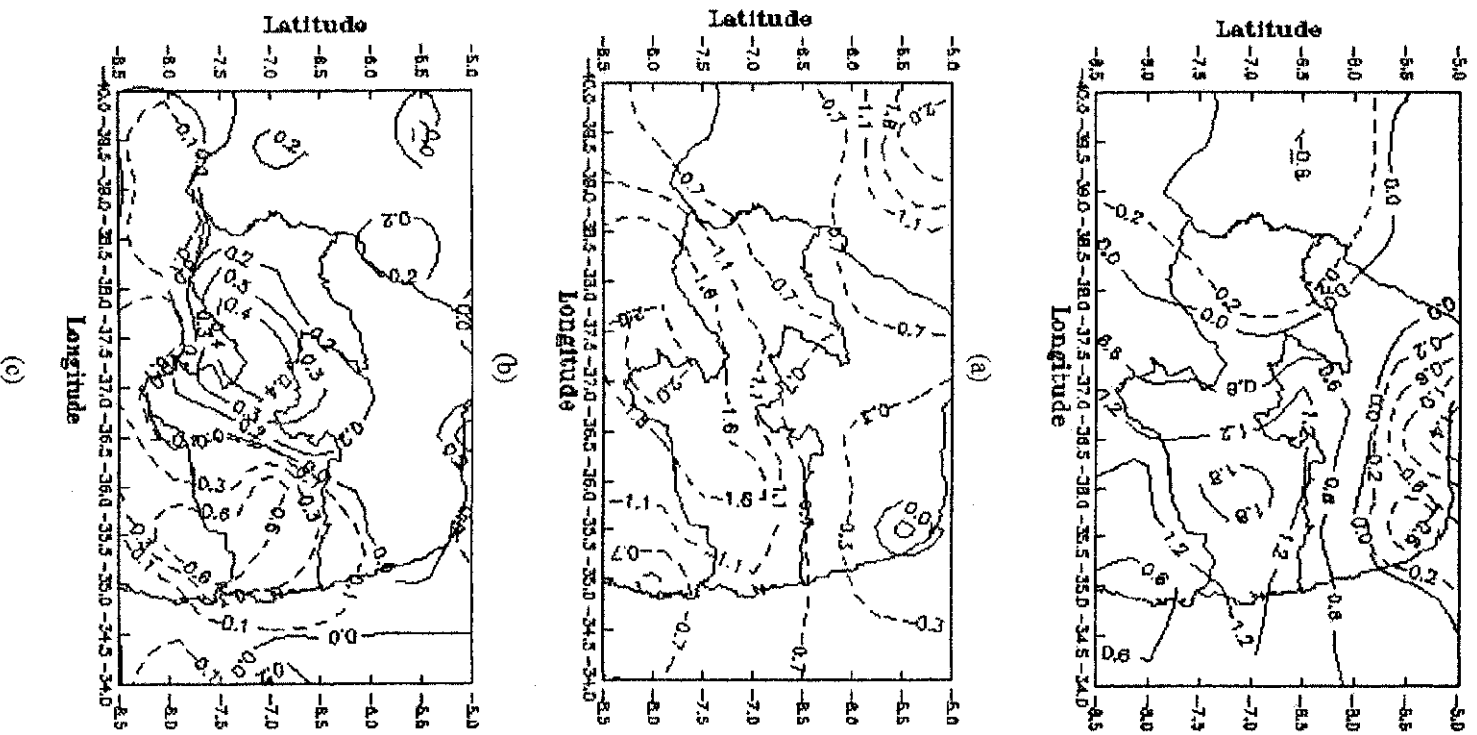
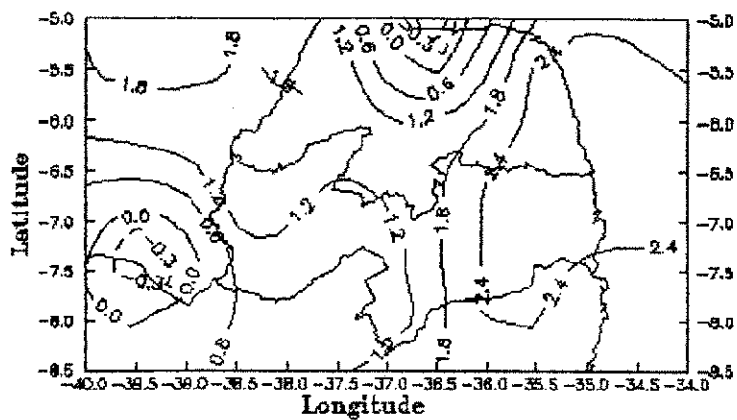
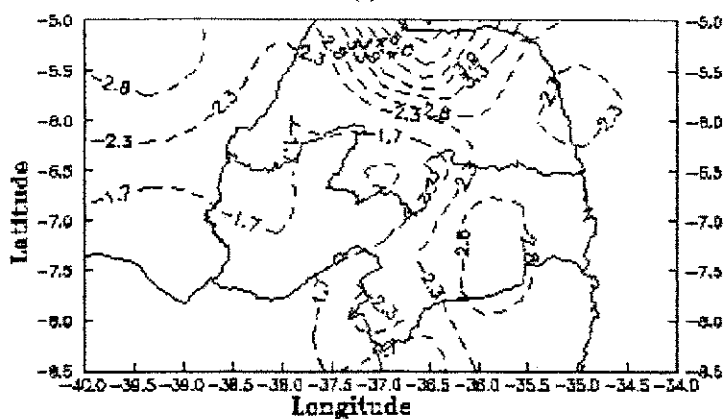


Figura 43 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\times 10^{-3}$  (m/s).

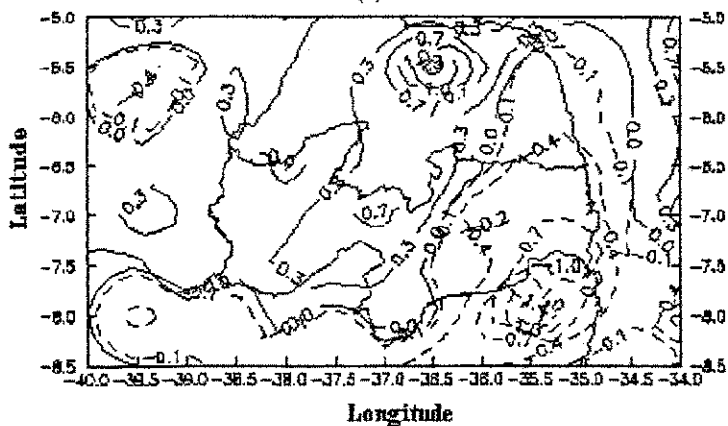




(a)

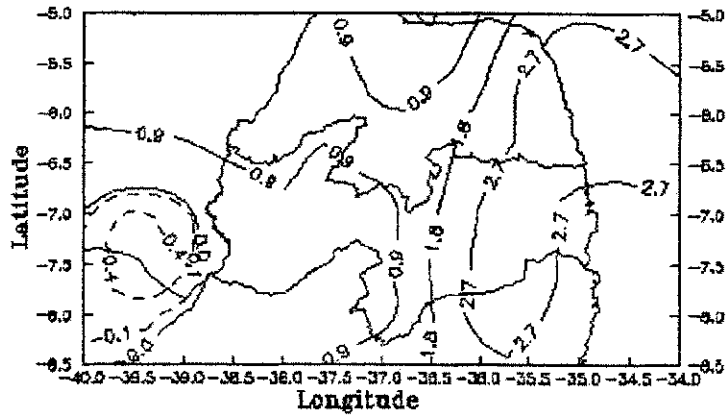


(b)

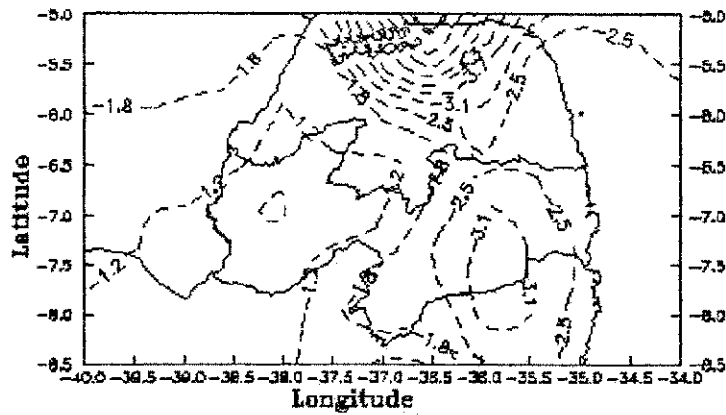


(c)

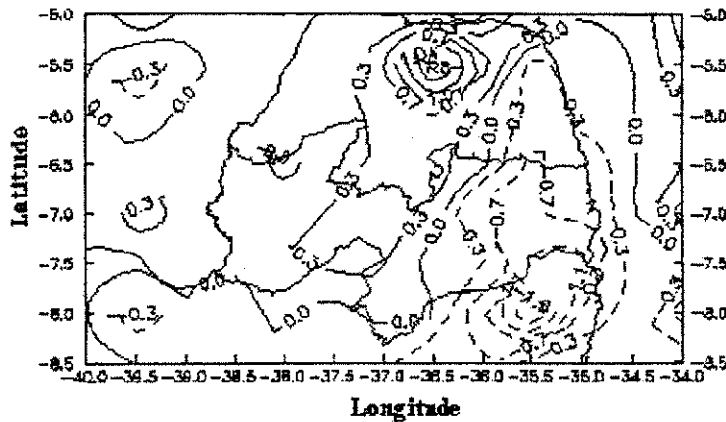
Figura 44 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

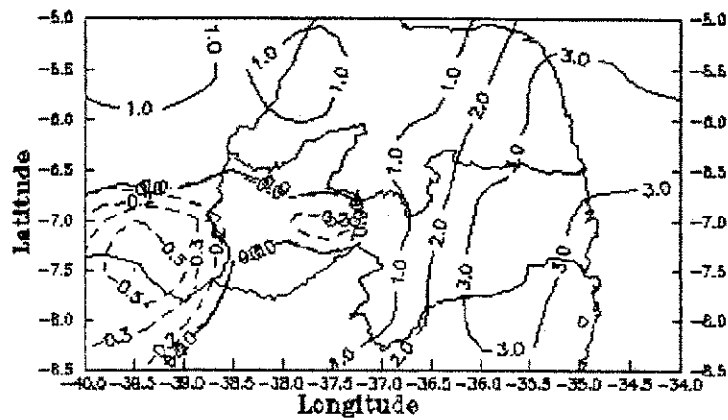


(b)

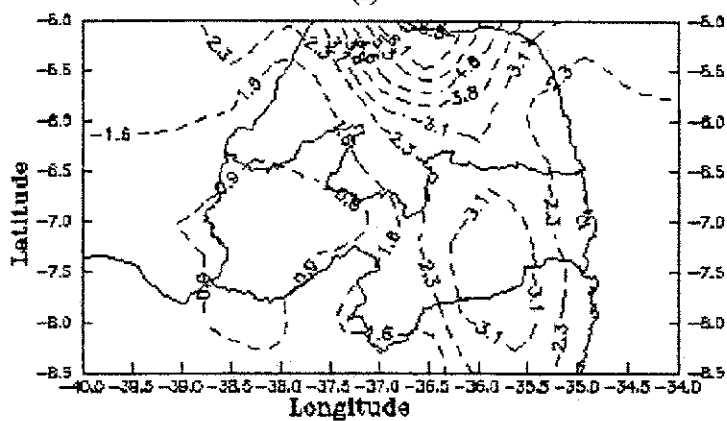


(c)

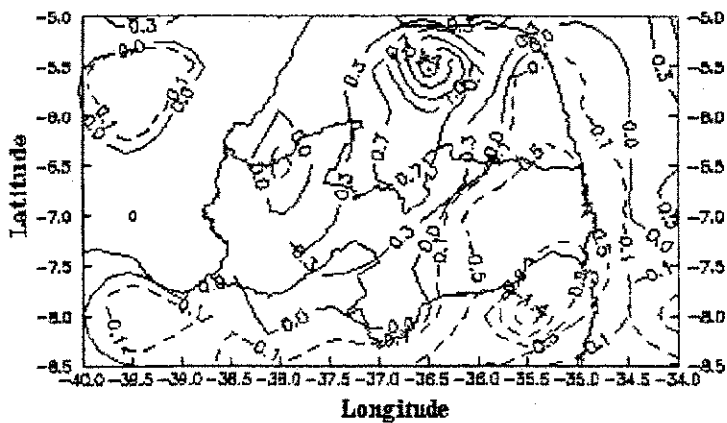
Figura 45 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 46 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Fevereiro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

#### 4.3.3 - Análise do mês de Março de 1978.

Observando as figuras 47.a e 48.a, nota-se que ocorre um deslocamento nos ventos de Sul com velocidades de 1,8 m/s, partindo do litoral pernambucano em direção ao Planalto da Borborema próximo a Campina Grande com velocidades de 1,2 m/s.

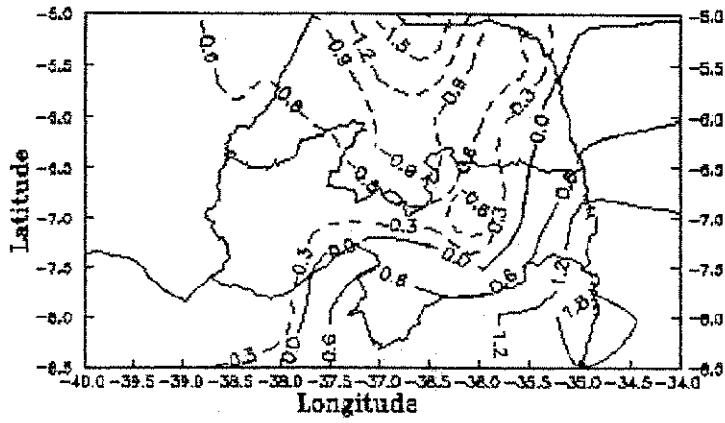
A figura 49.a, mostra uma predominância nos fluxos de Sul sobre toda a região, enquanto que, a figura 50.a, apresenta uma região com movimentos de Norte com velocidades de 1,1 m/s sobre o Estado do Rio Grande do Norte, e na figura 51.a, os movimentos nesta região perdem intensidade, 0,9 m/s, podendo ser observado o desenvolvimento de ventos de Norte sobre o Sertão paraibano com velocidades acima de 0,1 m/s.

Verificando as figuras 47.b e 48.b, nota-se o deslocamento de uma zona de divergência próxima ao litoral do Estado da Paraíba em direção ao Planalto da Borborema, o que poderia caracterizar a intensificação e o deslocamento da brisa terrestre devido ao resfriamento do continente.

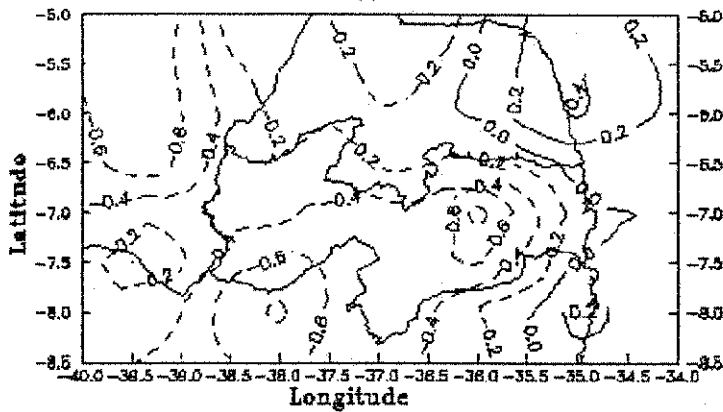
Nas figuras 49.b, 50.b e 51.b, para as 12:00, 14:00 e 16:00 horas local, respectivamente, nota-se uma intensificação nos fluxos de Leste ao subir o Planalto da Borborema com velocidades de 1,5 m/s, 1,7 m/s e 2,3 m/s, no entanto os fluxos perdem intensidade ao transpor este planalto e ao atingir o Alto Sertão próximo a São Gonçalo perderam ainda mais intensidade com velocidades de 1,0 m/s, 0,8 m/s e 0,5 m/s.

Pode-se observar, figuras 47.c e 48.c, o deslocamento do centro de movimentos ascendentes, 0,4 mb/s, partindo do litoral pernambucano as 00:00 horas local em direção ao Planalto da Borborema nas vizinhanças de Campina Grande as 06:00 horas, com velocidades de 0,4 mb/s. Em consequência, o centro de movimentos descendentes que encontrava-se sobre aquele Planalto com velocidades de 0,2 mb/s, desloca-se para Leste, na direção do Alto Sertão, podendo ainda ser observado um centro de movimentos descendentes na região de confluência dos Estados de Ceará, Paraíba e Pernambuco.

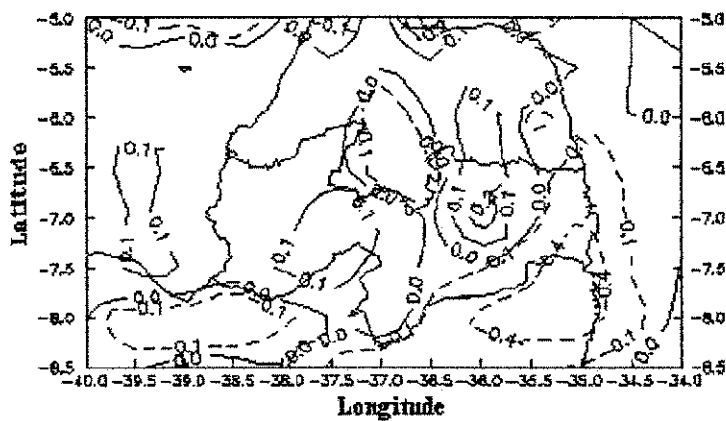
Nas figuras 49.c, 50.c e 51.c, observa-se uma desintensificação nos movimentos ascendentes de 1,3 mb/s, 1,0 mb/s e 0,9 mb/s, e nos movimentos descendentes sobre o Sertão, onde as velocidades são inferiores a 0,3 mb/s. Observa-se uma estrutura de movimentos ascendentes/descendentes sobre a região, tanto durante a noite como durante o dia, figuras 47.c, 48.c, 49.c, 50.c e 51.c. Conforme também observado nas figuras das secções 4.1 e 4.2.



(a)

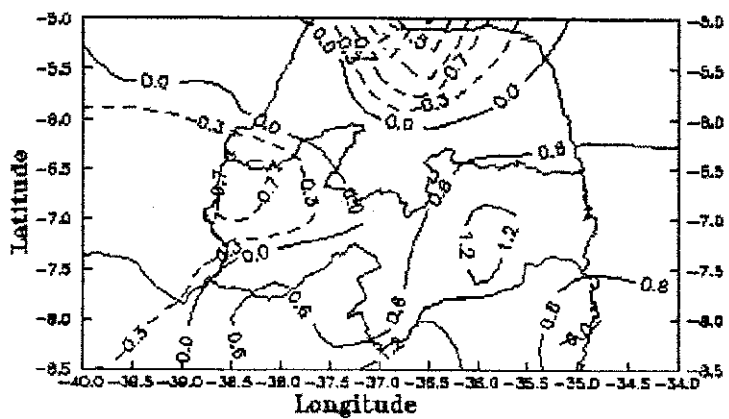


(b)

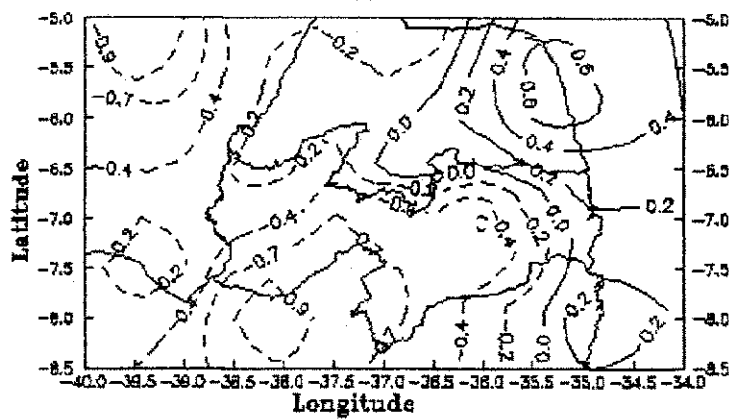


(c)

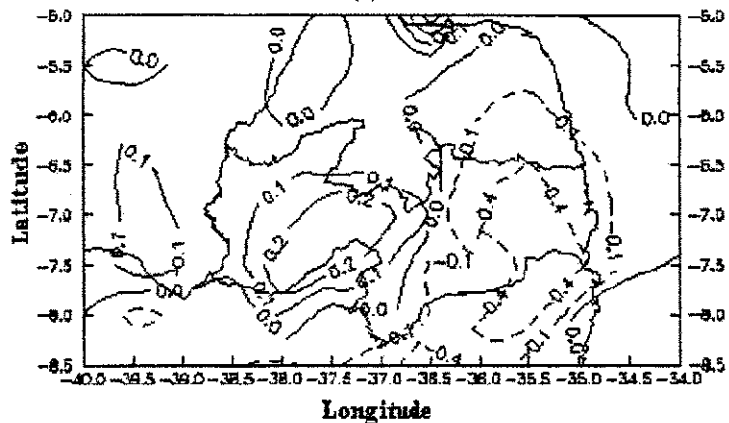
Figura 47 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical @ ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 48 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

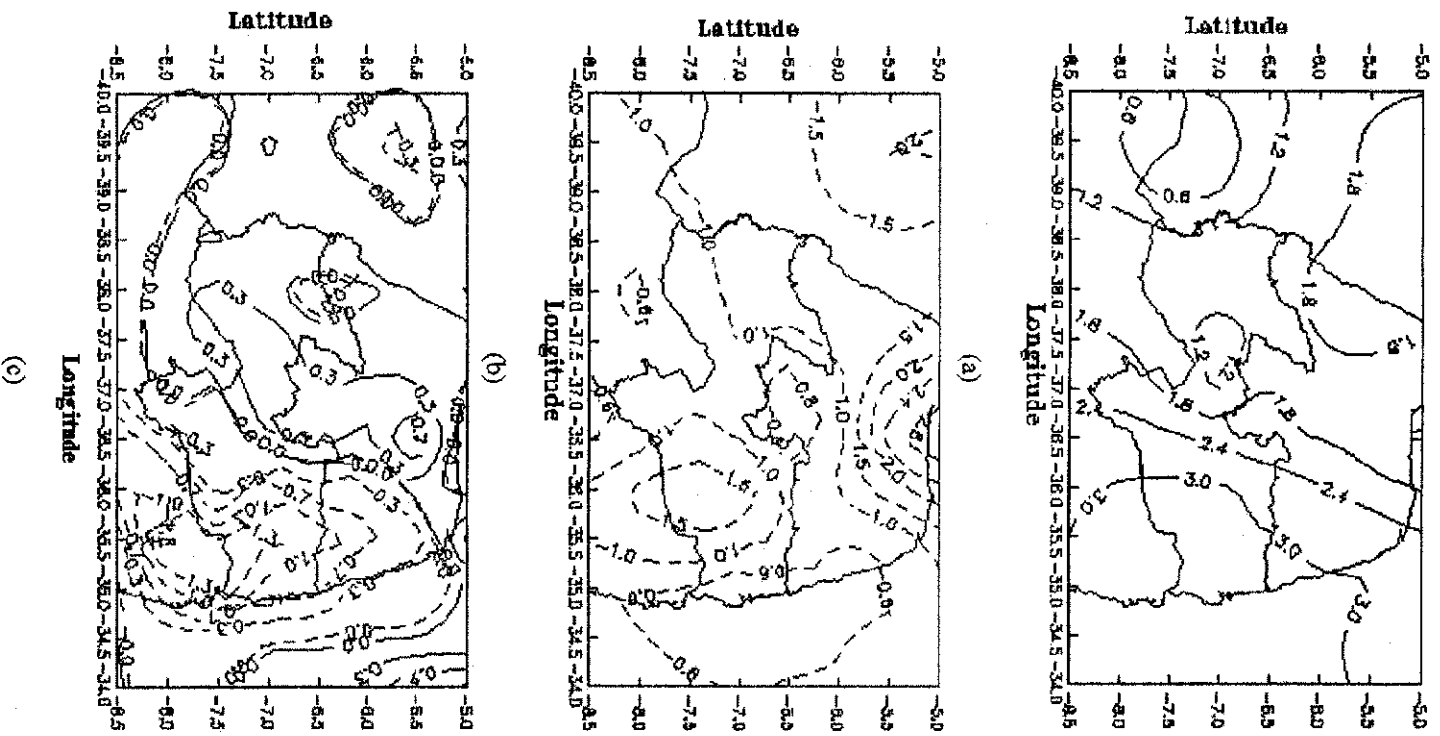
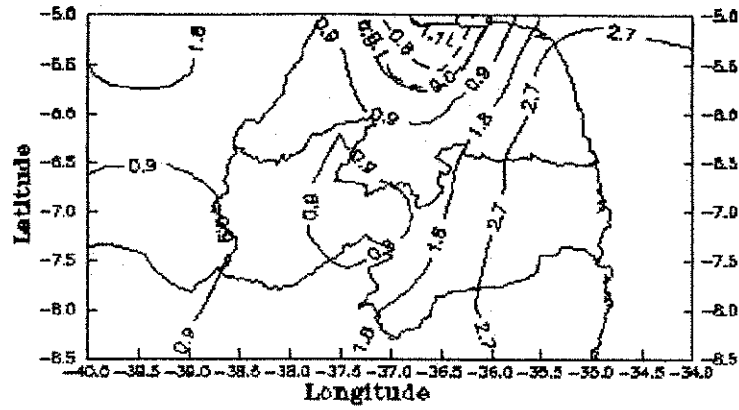
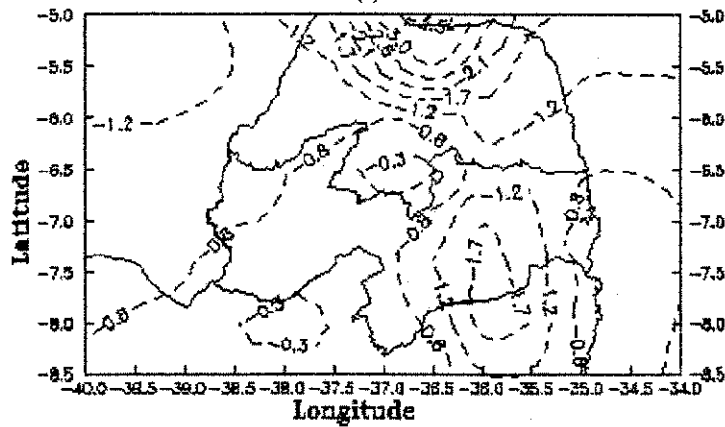


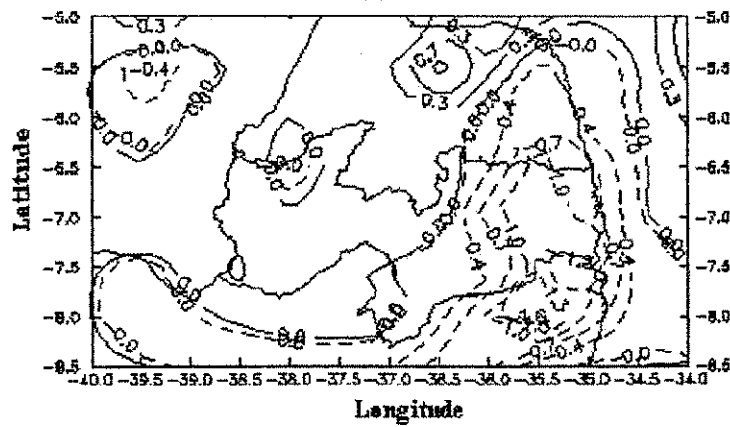
Figura 49 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s)e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 50 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



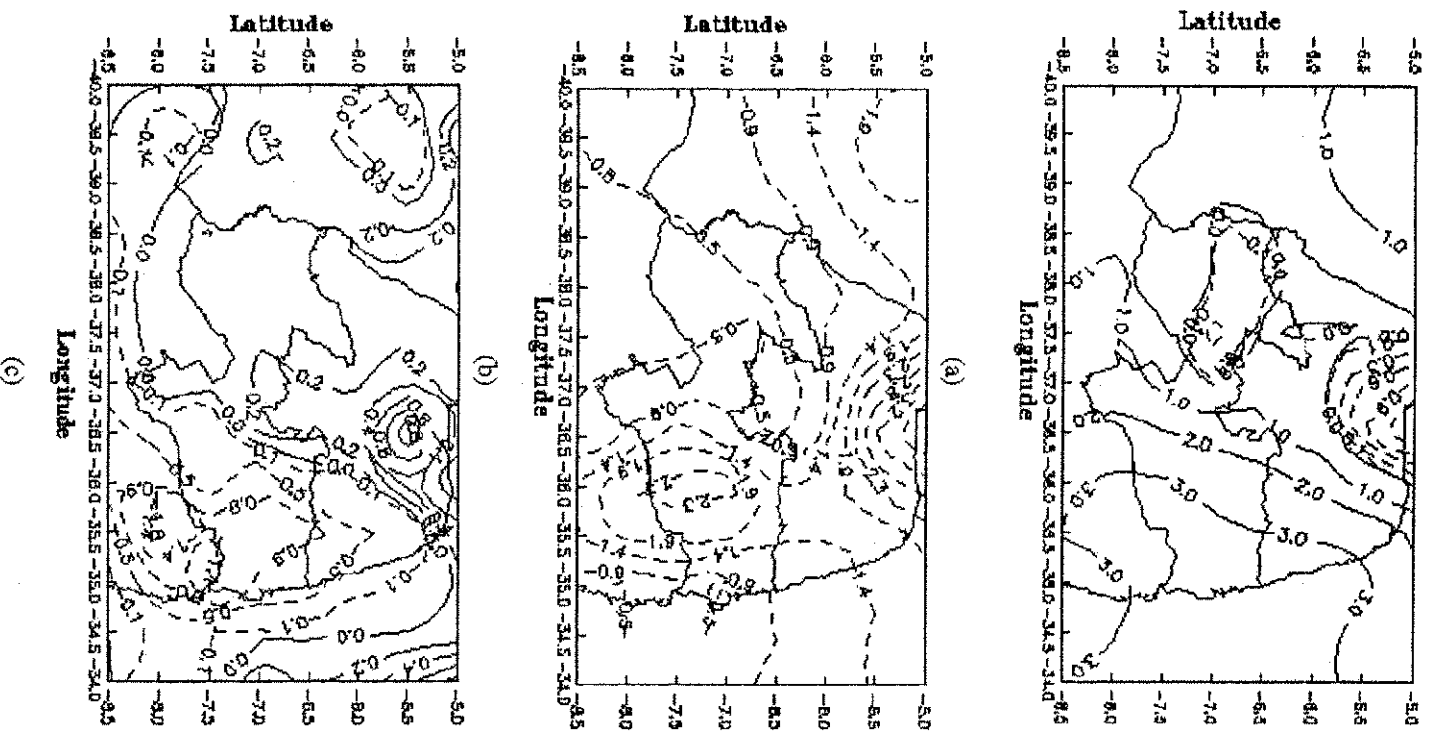


Figura 51 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Março de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s); (c) Vertical  $\times 10^{-3}$  mb/s).

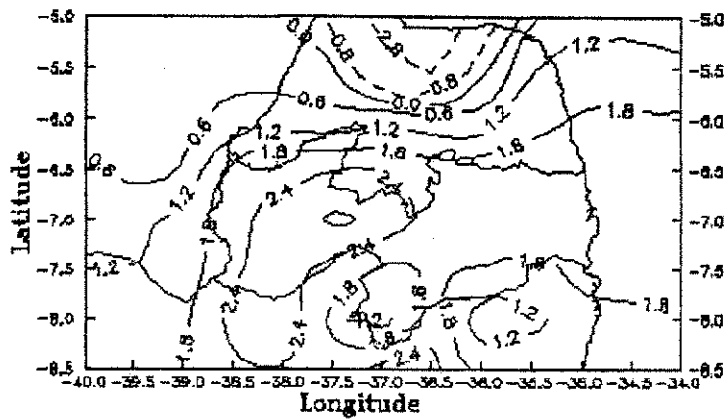
#### 4.3.4 - Análise do mês de Setembro de 1978

Podem ser observados nas figuras 52.a, 53.a, 54.a, 55.a e 56.a, que os fluxos de Sul prevalecem tanto durante a noite como durante o dia, exceto sobre o Estado do Rio Grande do Norte, onde os ventos de Norte perdem intensidade durante a noite e intensificam-se durante o dia.

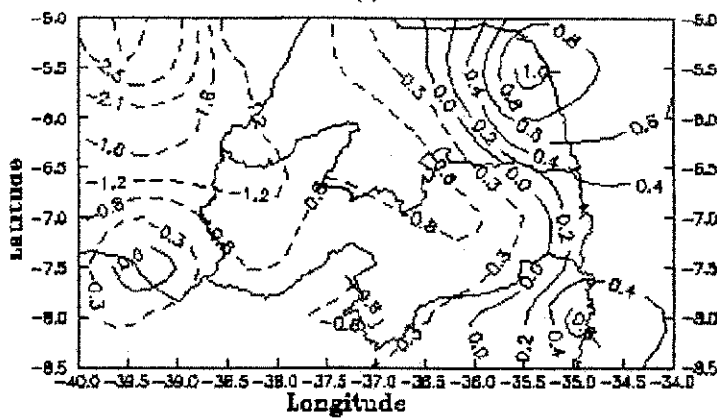
Nas figuras 52.b e 53.b, observam-se claramente a predominância da brisa terrestre sobre a marítima durante a noite até as primeiras horas da manhã, enquanto que nas figuras 54.b, 55.b e 56.b, nota-se intensificação nos ventos de Leste sobre o litoral paraibano, o que aumenta a velocidade ao subir o Planalto da Borborema com valores na região de Campina Grande da ordem de 2,5 m/s.

Analizando as figuras 52.c e 53.c, observa-se que os movimentos ascendentes começam a ganhar intensidade, 0,2 mb/s, sobre o Oceano Atlântico nas proximidades do litoral paraibano e ao atingir o Planalto da Borborema, 1,0 mb/s e 1,4 mb/s, e perde intensidade ao transpor este Planalto. Os movimentos descendentes na parte central do Estado da Paraíba, sobre Patos, intensificam-se e atingem velocidades de 0,4 mb/s e 0,5 mb/s. Observa-se ainda, um centro de movimentos ascendentes sobre a área de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, que desloca-se mais para o Norte dessa região.

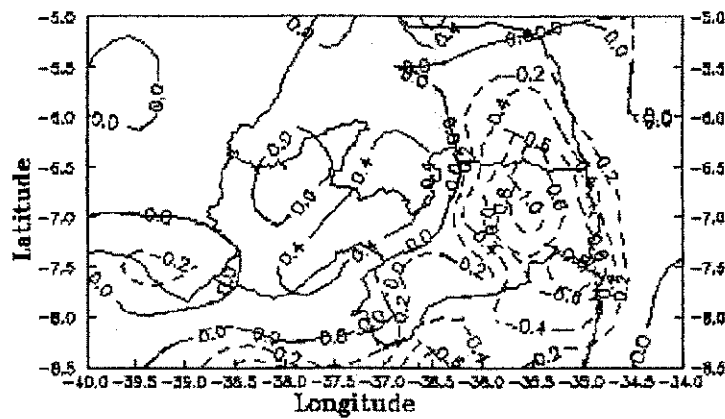
As figuras 54.c, 55.c e 56.c, mostram que os movimentos ascendentes sobre o Planalto da Borborema são mais intensos, chegando a 2,0 mb/s as 12:00 horas local, e os movimentos descendentes nas vizinhanças de Patos, as 14:00 horas local, atingem velocidades de 1,2 mb/s.



(a)

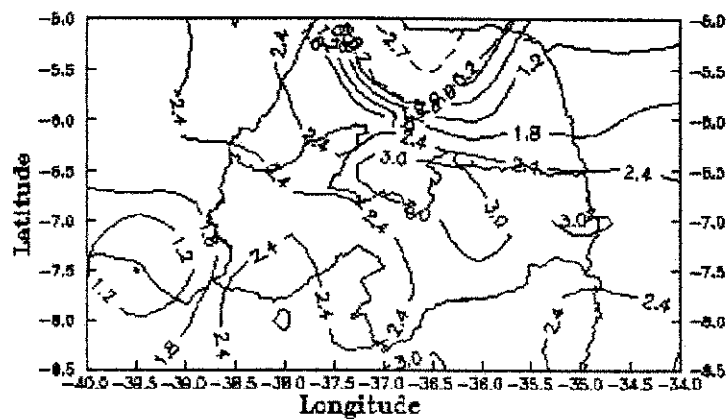


(b)

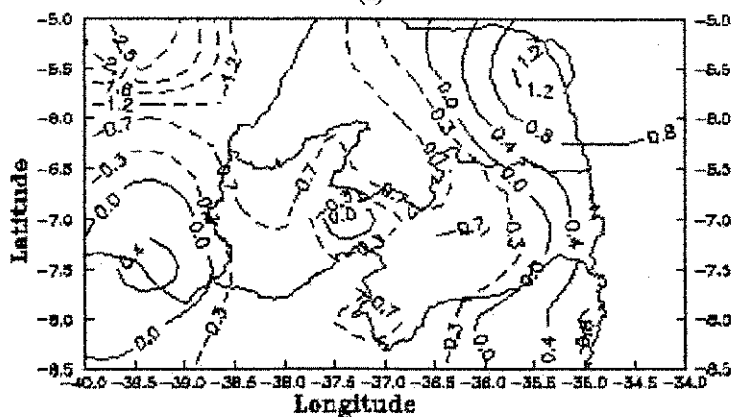


(c)

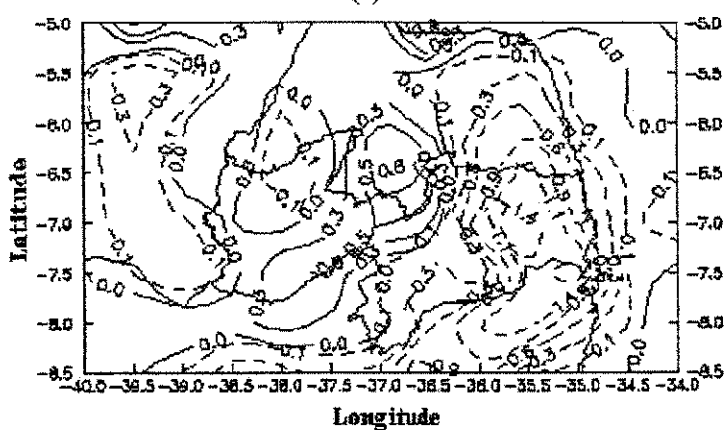
Figura 52 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

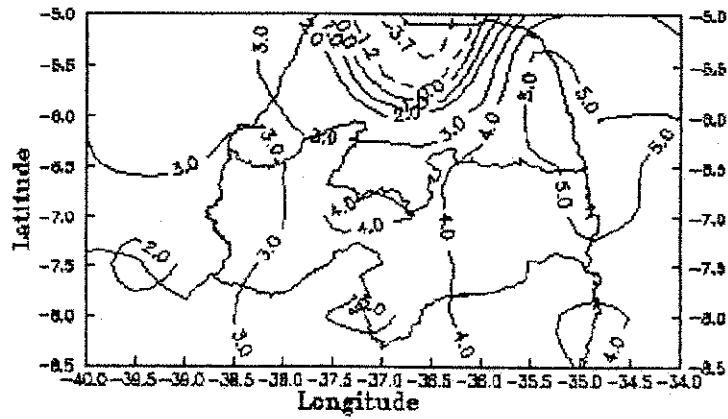


(b)

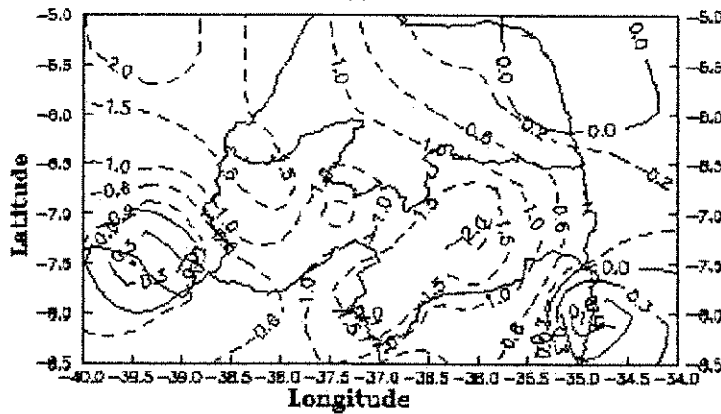


(c)

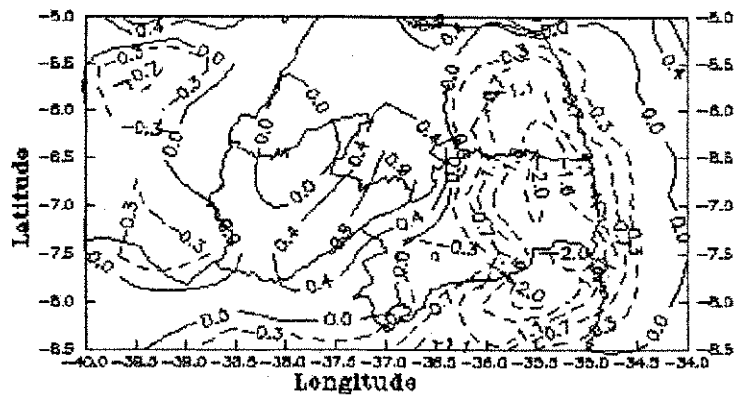
Figura 53 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

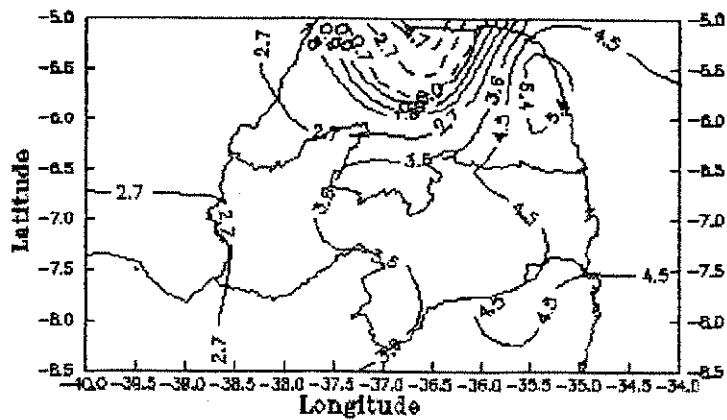


(b)

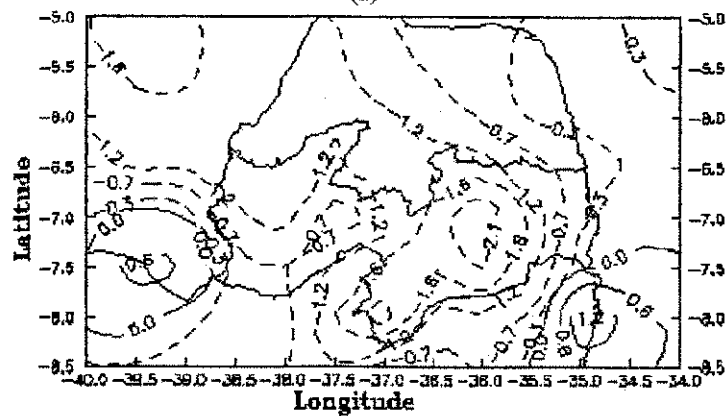


(c)

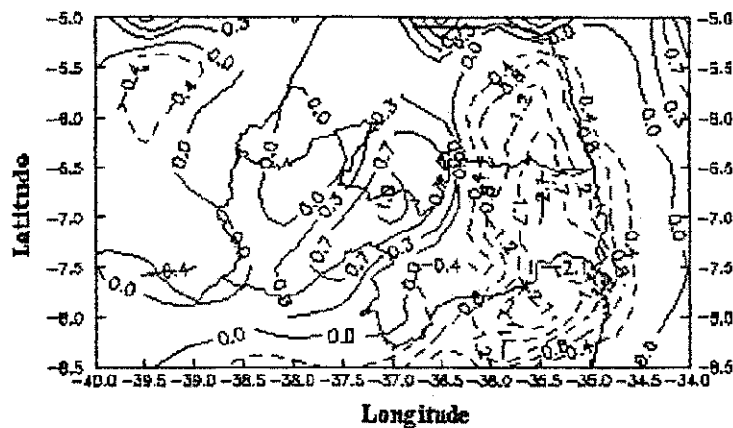
Figura 54 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

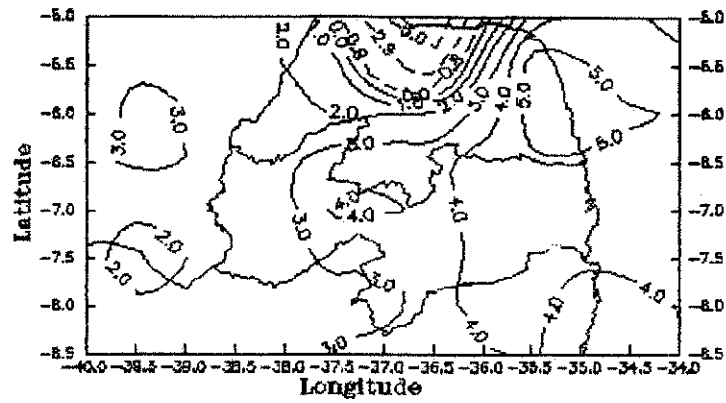


(b)

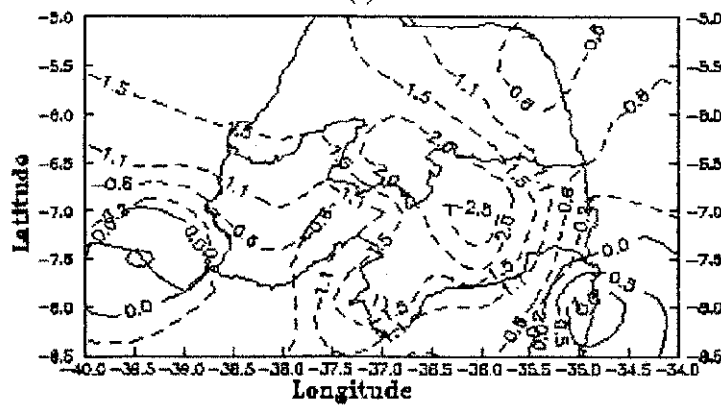


(c)

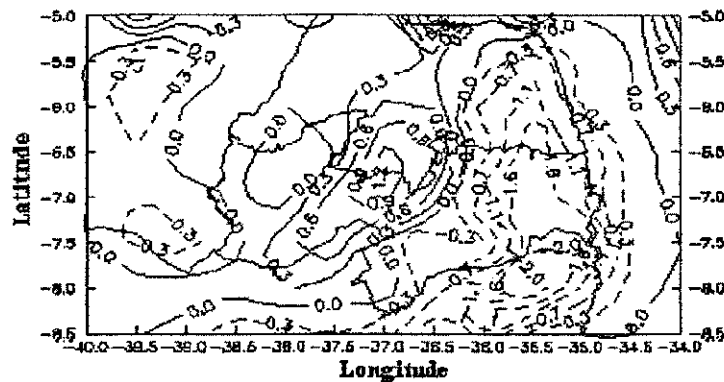
Figura 55 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 56 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Setembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

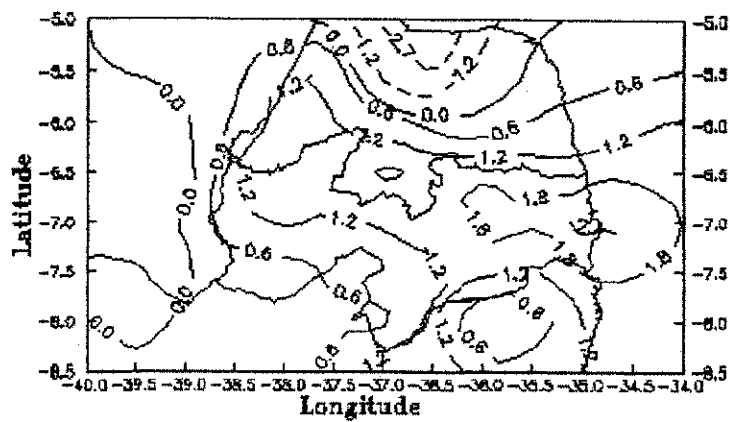
#### 4.3.5 - Análise do mês de Outubro de 1978

Nas figuras 57.a e 58.a, observam-se uma intensificação nos ventos de Sul de 2,0 m/s, 1,8 m/s e 1,2 m/s, as 00:00 horas local, para 3,0 m/s, 3,0 m/s e 2,4 m/s, as 06:00 horas local, respectivamente sobre o Litoral do Estado da Paraíba, Planalto da Borborema e Alto Sertão, enquanto que, as 12:00, 14:00 e 16:00 horas local, figuras 59.a, 60.a e 61.a, pode-se verificar uma maior intensificação no escoamento de Sul.

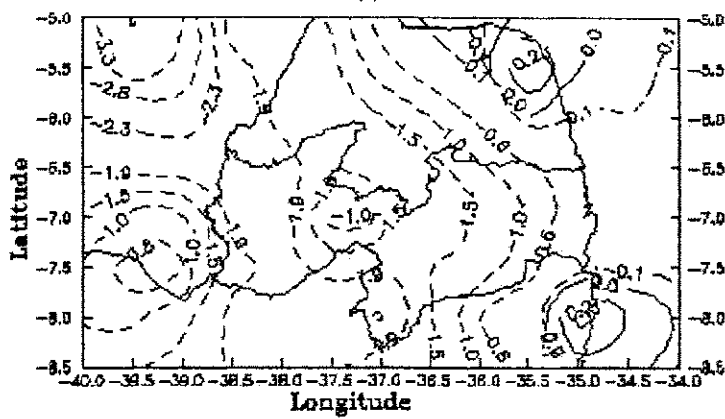
Os ventos de Leste prevalecem sobre todo o estado da Paraíba, tanto durante a noite até às primeiras horas da manhã, figuras 57.b e 58.b, como durante o dia, figuras 59.b, 60.b e 61.b.

Analizando as figuras 57.c e 58.c, 59.c, 60.c e 61.c, observa-se que os movimentos ascendentes sobre o Planalto da Borborema próximo a Campina Grande são mais intensos durante o dia, 1,4 mb/s, do que durante a noite, 0,7 mb/s, e os movimentos descendentes sobre o Sertão, na região de Patos, também são menos intensos durante a noite, 0,4 mb/s, e que durante o dia chegam a 1,0 mb/s.

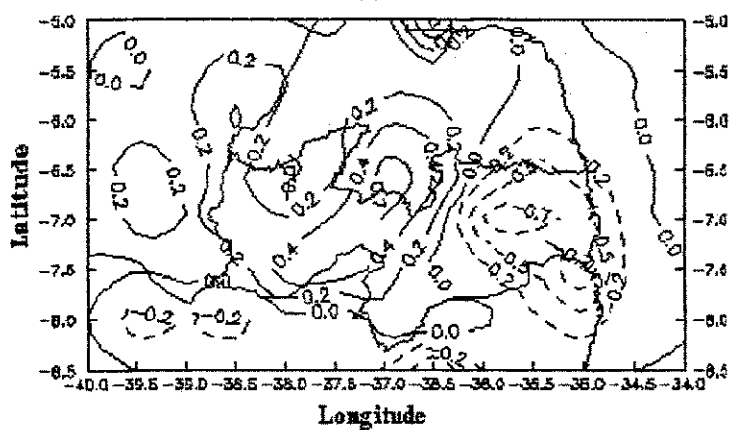




(a)

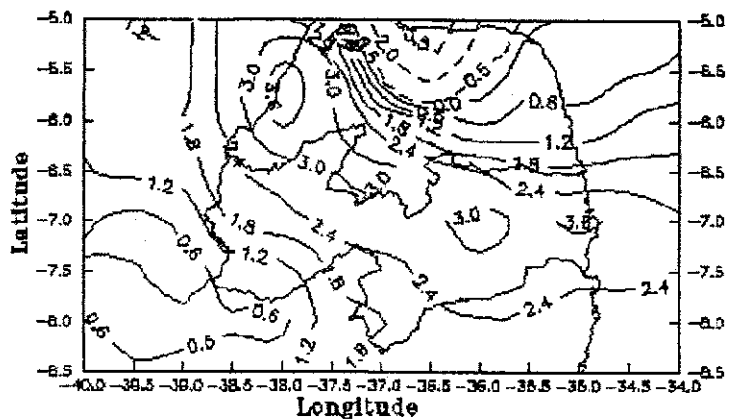


(b)

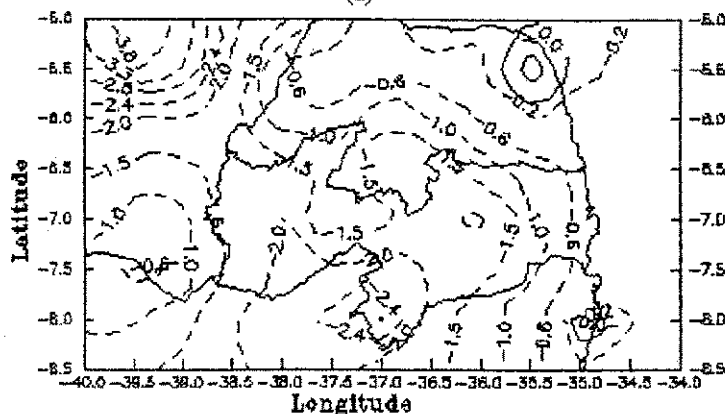


(c)

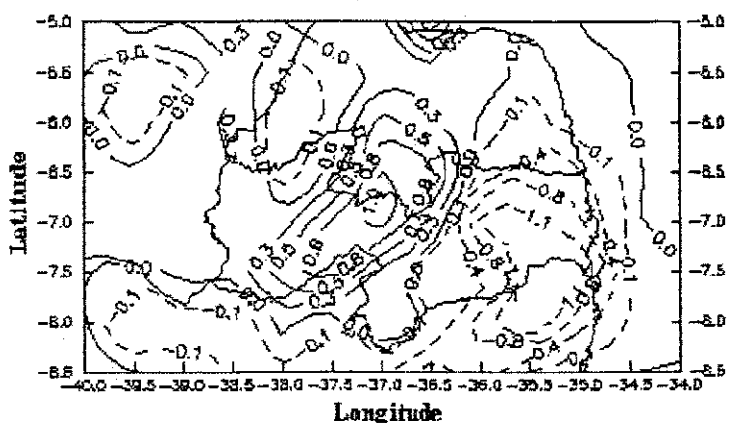
Figura 57 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

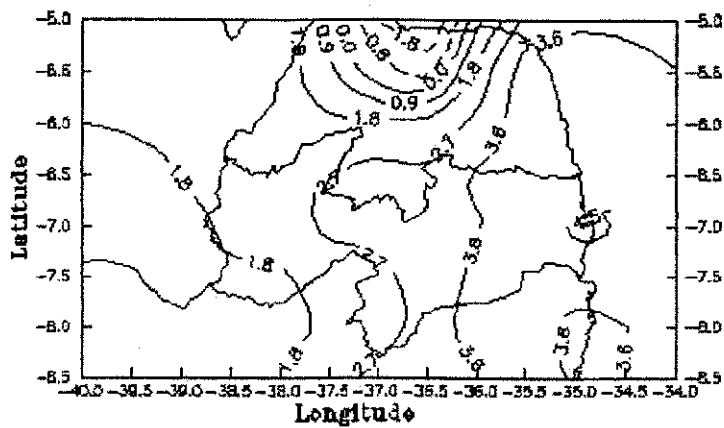


(b)

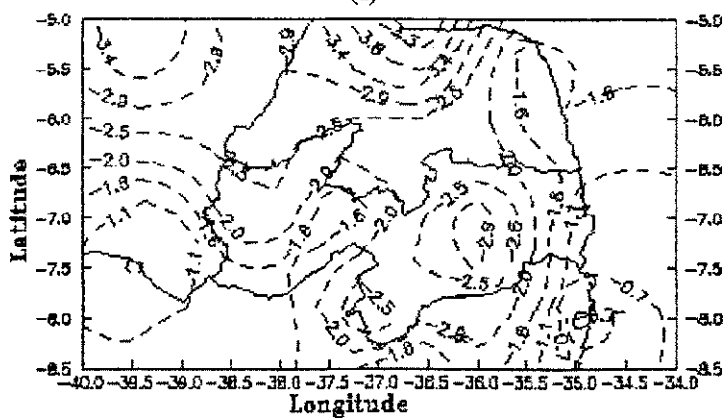


(c)

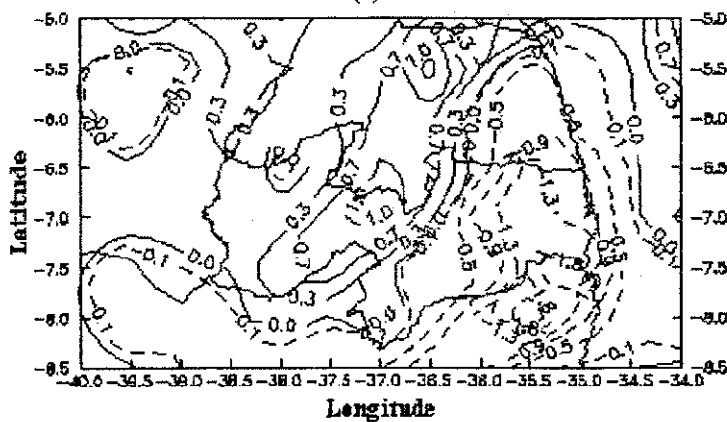
Figura 58 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

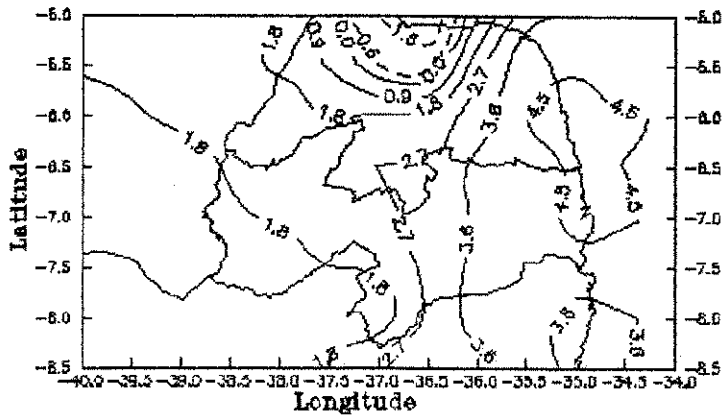


(b)

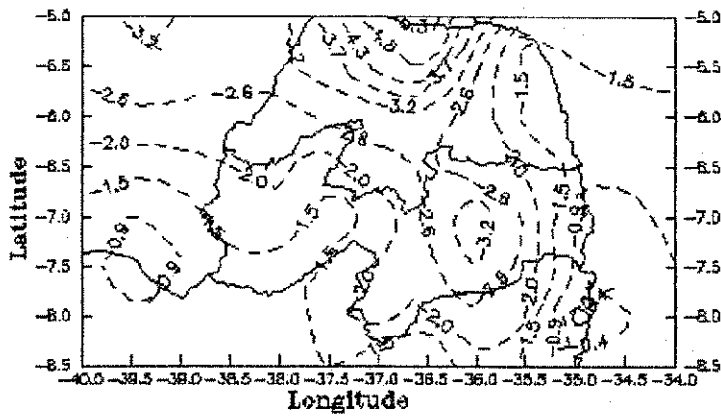


(c)

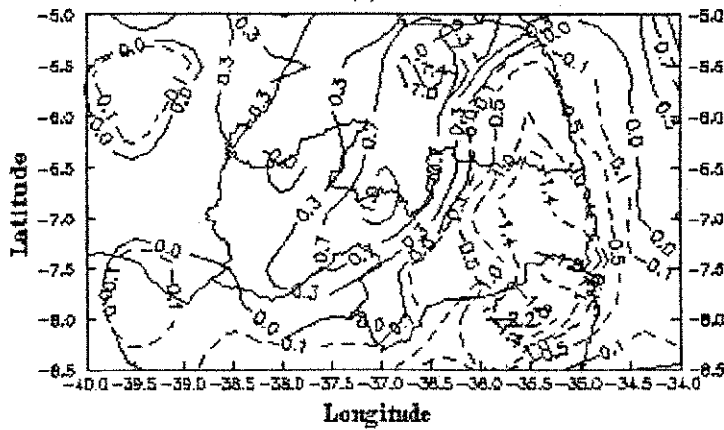
Figura 59 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

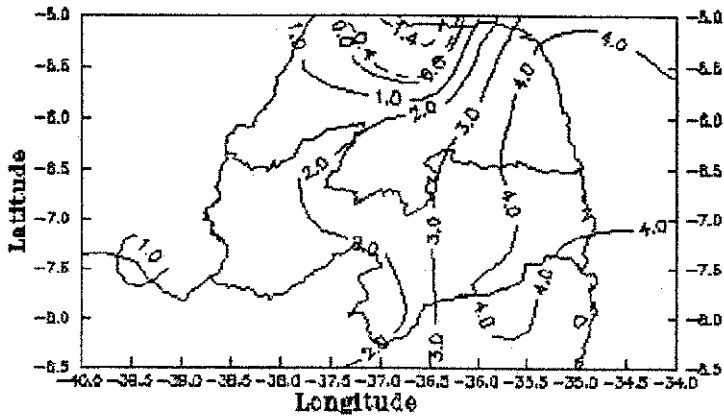


(b)

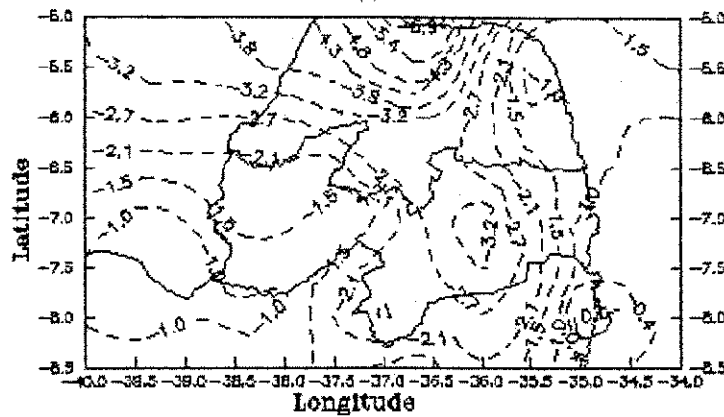


(c)

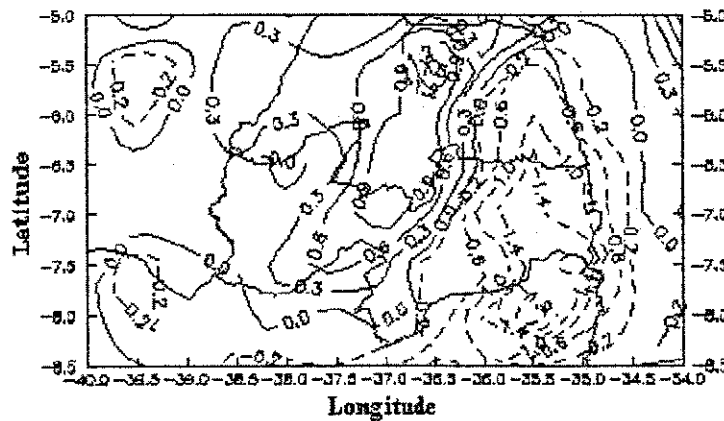
Figura 60 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 61 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Outubro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

#### 4.3.6 - Análise do mês de Novembro de 1978

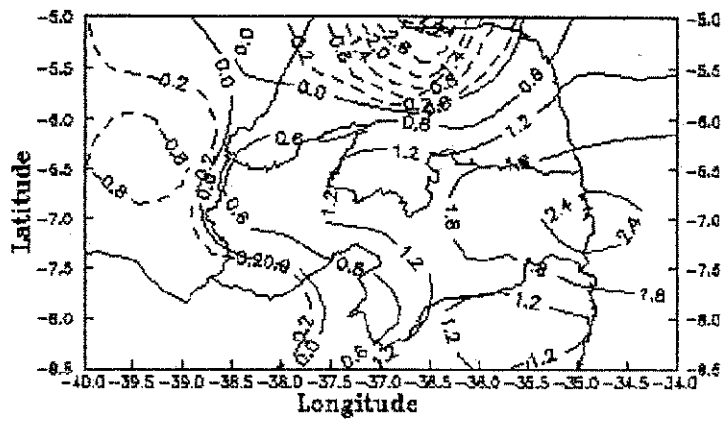
Analisando as figuras 62.a, 63.a, 64.a, 65.a e 66.a, observa-se a predominância e a intensificação dos ventos de Sul da componente meridional, com velocidades máximas de 5,0 m/s sobre o litoral do Rio Grande do Norte às 14:00 horas local, e velocidades máximas de 2,4 m/s sobre o litoral do Estado da Paraíba às 00:00 horas local.

As figuras 62.b e 63.b, mostram que os fluxos de Leste sobre o Planalto da Borborema permanecem com a mesma velocidade, 1,5 m/s, tanto às 00:00 horas como às 06:00 horas local, e ao atingir o Alto Sertão chegam a velocidades de até 2,0 m/s nesses dois horários.

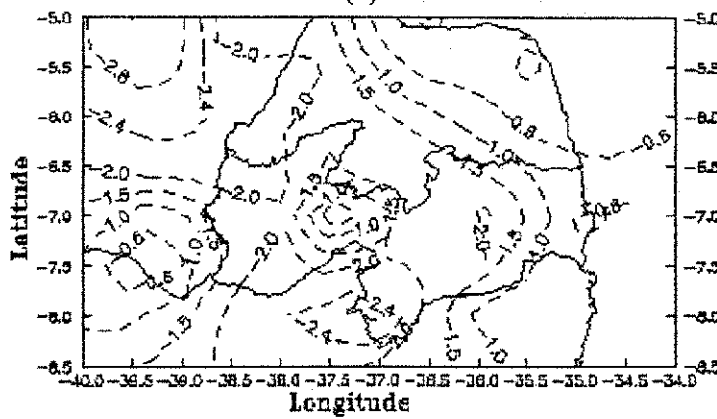
Nas figuras 64.b, 65.b e 66.b, é mostrado o escoamento de Leste que se intensifica ao subir o Planalto da Borborema, perdendo intensidade a sotavento da serra e finalmente ao atingir o Alto Sertão volta a adquirir uma maior velocidade.

Observando as figuras 62.c e 63.c, nota-se uma intensificação nos movimentos ascendentes sobre o Planalto da Borborema, passando de 0,7 mb/s as 00:00 horas, para 1,4 mb/s as 06:00 horas local, e o mesmo acontecendo com os movimentos descendentes que passam de 0,4 mb/s as 00:00 horas para 0,8 mb/s, nas vizinhanças de Patos no Sertão paraibano.

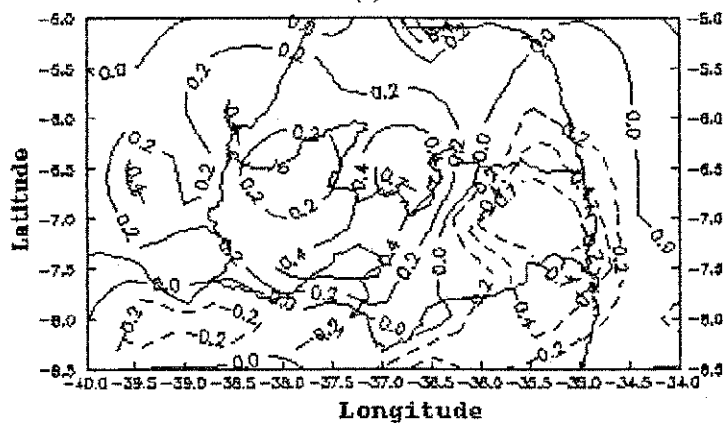
Ao analisar as figuras 64.c, 65.c e 66.c, nota-se que os movimentos ascendentes ganham intensidade devido ao aquecimento do continente atingindo a sua máxima velocidade as 14:00 horas local, 1,5 mb/s, sobre o Planalto da Borborema nas proximidades de Campina Grande, e os movimentos descendentes atingem seus máximos de velocidades, 0,7 mb/s, as 12:00 e 14:00 horas local, sobre a mesma região.



(a)

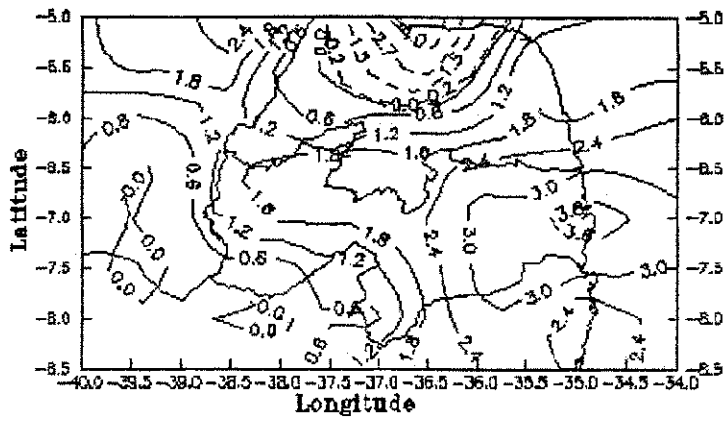


(b)

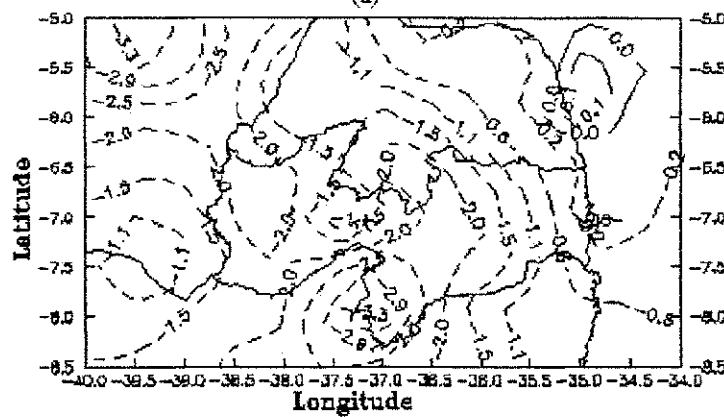


(c)

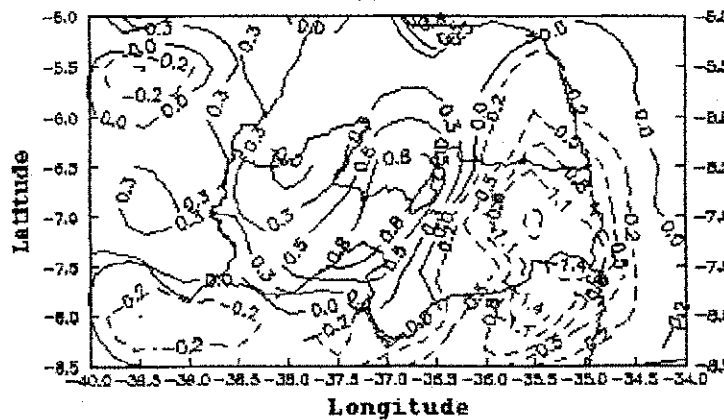
Figura 62 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 00:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



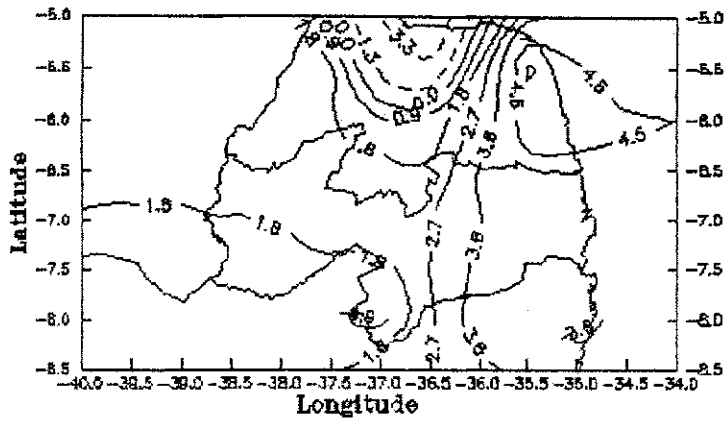
(b)



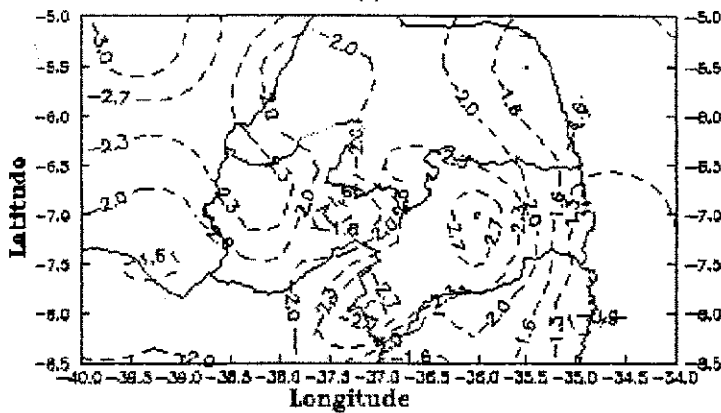
(c)

Figura 63 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 06:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).

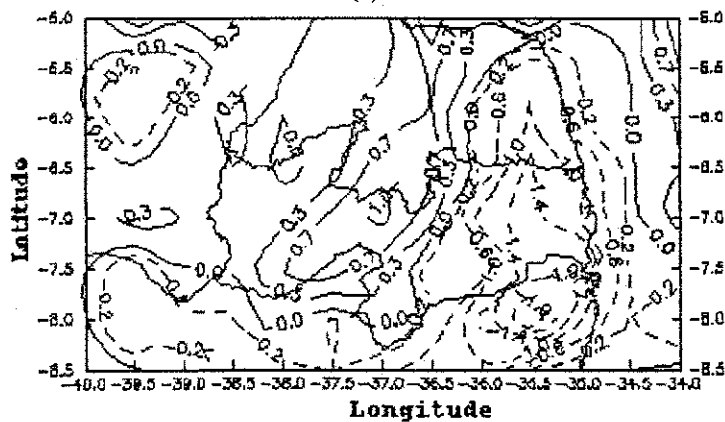




(a)

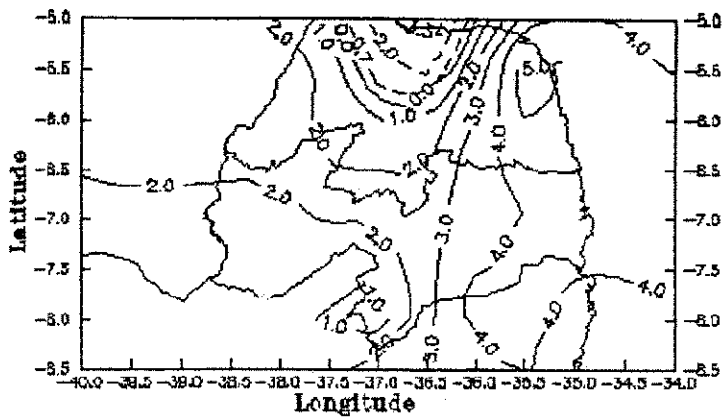


(b)

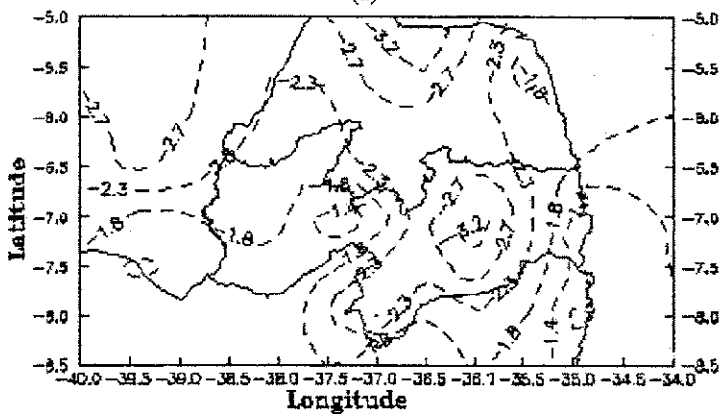


(c)

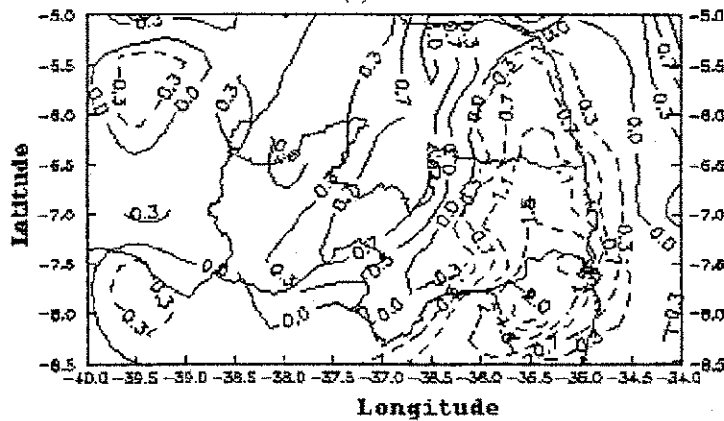
Figura 64 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 12:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)

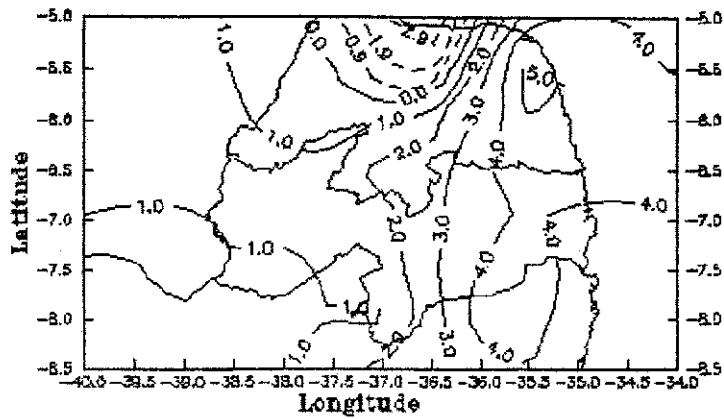


(b)

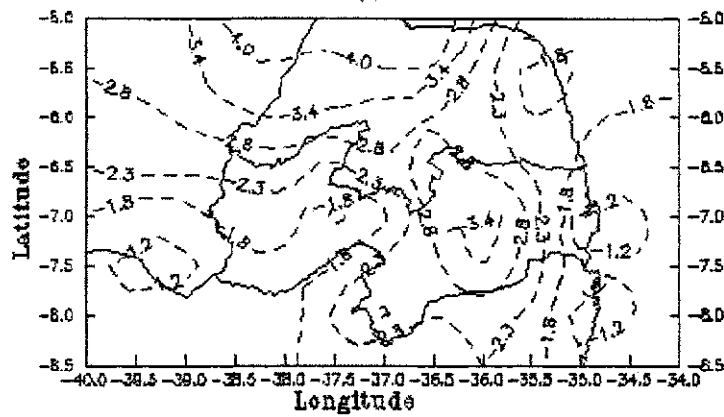


(c)

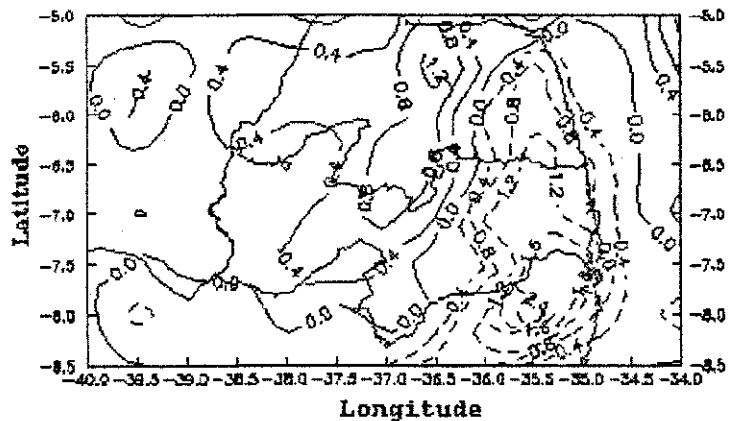
Figura 65 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 14:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical  $\omega$  ( $10^{-3}$  mb/s).



(a)



(b)



(c)

Figura 66 - Média mensal horária dos campos das componentes do vento observado à superfície as 16:00 horas para Novembro de 1978. As linhas contínuas indicam os valores positivos. (a) Meridional (m/s); (b) Zonal (m/s) e (c) Vertical @ ( $10^{-3}$  mb/s).

## CAPÍTULO 5

### 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A partir da análise dos resultados obtidos neste trabalho, podemos inferir as seguintes conclusões:

i - O modelo de circulação integrado na camada limite devido a *Gomes Filho* (1979) que foi utilizado aqui, não simula o ciclo diário da circulação de brisa, entretanto, o aspecto climatológico dessa circulação está presente.

ii - Um aspecto positivo na experiência com esse modelo para a camada limite é que ele simula com uma boa fidelidade a intensificação observada nos ventos à superfície quando estes atingem o compartimento da Borborema e além do mais, ele dá um indicativo da zona de convergência forte sobre a região de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco

iii - O modelo que simula o ciclo diário da brisa com muita propriedade é o RAMS, como pode-se observar através dos resultados obtidos. Esse modelo ainda apresenta uma estrutura de movimentos ascendentes/descendentes que têm a forma de ondas estacionárias que parecem ser formadas pela interação do campo dos ventos com a topografia do terreno.

iv - Os resultados desse modelo, especialmente as linhas de corrente, mostram a formação de uma área de convergência na região de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco. Essa área circunda um eixo, que é orientado na direção Noroeste/Sudeste apresentando uma oscilação diária de modo que, durante o dia, esse eixo está mais ao Sul dessa região e à noite ele se desloca para Norte da região de confluência.

v - A simulação mostrou uma oscilação do tipo de um trem de onda formado tanto pela ação da brisa marítima quanto pelos ventos alíseos. Durante o dia a forçante representada pela brisa do mar parece fazer com que esse trem esteja orientado zonalmente, enquanto à noite quando a forçante dos alíseos parece ser mais atuante, a inclinação faz um ângulo com a latitude se orientando na direção Noroeste/Sudeste.

vi - Os resultados da parte observacional, embora sejam apresentados apenas para um ano, são analisados para cinco anos, nos meses de primavera e verão e, de certo modo, esses resultados confirmam as conclusões tiradas da parte de modelagem. Existe uma região de intensificação dos ventos (especialmente a componente zonal) sobre a serra da Borborema e a jusante os ventos se desintensificam, especialmente à noite. Outro aspecto importante que aparece nessa análise dos dados observacionais do vento é a área de forte convergência na região de confluência dos Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco e que também está delineada nas simulações com os modelos numéricos.

vii - A influência da topografia do terreno sobre a circulação atmosférica de mesoescala na Paraíba é um aspecto que deve ser levado em conta em trabalhos futuros, especialmente para se delinear de uma forma mais completa a estrutura do sistema de ondas estacionárias que parece ser o resultado mais aparente dessa interação.

viii - Uma outra sugestão seria realizar integrações com o modelo proposto por *Gomes Filho (1979)* com outras condições de contorno e ao mesmo tempo integrar o RAMS com os campos observados.

## CAPÍTULO 6

### 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAER, F. & BOUDRA, D.B. **Albedo dependent fine-mesh model experiments.** p.1-26, Jun. 1978.
- BERKOFISKY, L. **The effect of variable surface albedo on the atmospheric circulation in desert regions.** Journal of Applied Meteorology, v.15, p.1139-1144, Nov. 1976.
- BERNARDET, L. R. & SILVA DIAS, M.A.F. **Modelagem de brisa marítima utilizando processos úmidos.** Anais VII Congresso Brasileiro de Meteorologia - São Paulo - São Paulo.
- CHEN, C. & COTTON, W.R. **A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer.** Boundary Layer Meteorology 25,289-321, (1983).
- FRANCHITO,S.H. & KOUSKY,V.E. **Um modelo numérico para simulação das circulações locais, aplicado a região costeira do Nordeste do Brasil.** Ciência e Cultura, São José dos Campos. SP., v.34, n.11, p.1484-1497, Nov. 1982.
- FRANCHITO,S.H. & YAMAZAKI,Y. (1984-a): **Efeitos da topografia e escoamento médio sobre as circulações locais nas regiões Norte-Nordeste do Brasil.** Anais III Congresso Brasileiro de Meteorologia - Salvador - Bahia.
- FRANCHITO,S.H. & YAMAZAKI, Y. (1984-b): **Simulação das circulações locais com um modelo numérico em três dimensões.** Anais III Congresso Brasileiro de Meteorologia - Belo Horizonte - Minas Gerais.
- GOMES FILHO,M.F., **Um estudo sobre a influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica: uma aplicação para o Nordeste brasileiro.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE, 1979. 94p.

- GOMES FILHO et al.: **Um estudo da intensificação do vento próximo à superfície no verão do Estado da Paraíba.** Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1990, p.603-607.
- KOUSKY, V.E. **Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil** Monthly Weather Review, v.108, p.102-112, Abr. 1980.
- LIU, W.T.H., MASSAMBANI, O. & NOBRE, C.A. **Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil.** International Journal of Climatlogy, v.14, p.343-354, Jun. 1994.
- MADDOX, R.A., PERKEY, D.J. & FRITSCH, J.M. **Evolution of upper tropospheric features during the development of a mesoscale convective complex.** Journal of the Atmospheric Sciences, v.38, p.1664-1674, Ago. 1981.
- MAHRER, Y. & PIELKE, R.A. **The effects of topography on sea and land breezes in a two-dimensional numerical model.** Monthly Weather Review, v.105, p.1151-1161, Set. 1977.
- MECHOSO, C.R. **Topographic influences on the general circulation in the southern hemisphere: a numerical experiment.** American Meteorological Society, v.109, p.2131-2139, oct.1981.
- MAGALHÃES, A.R., **The effects of climatic variations on agriculture in Northeast Brazil.** International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg/Austria, 1987, p.29-109.
- MCKENDRY, I.G. **Numerical simulation of sea breezes over the auckland region, New Zealand - air quality implications.** Kluwer Academic Publishers, Wellington-New Zealand, v.49, p.7-22, Abr.1989.
- ORLANSKY, I. **A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows.** J. Comput. Phys., 21, 251-269 (1976).
- QUENEY, P. **The problem of air flow over mountains: a summary of theoretical studies.** Bulletin American Meteorological Society, v.29, p.16-23, Jan.1948.

- SILVA DIAS, M.A.F. **Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.2, p.133-150, 1987.
- TRIPOLI, G.J & COTTON, W.R. **A numerical investigation of several factors contributing to the observed variable intensity of deep convection over South Florida.** J. Appl. Meteo., 19, 1027-1063, (1980).
- VIANEIRO, R.L. & ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** UFV, Impr.Univ., Viçosa, Minas Gerais, 449p., 1991.
- VIDALE, P.L. & SILVA DIAS, M.A.F. **Modelagem da evolução e controle da camada de mistura sobre terreno complexo: validação pelo RADASP II.** Anais VII Congresso Brasileiro de Meteorologia - São Paulo - São Paulo.
- YOSHIKADO, H. & KONDO, H. **Inland penetration of the sea breeze over the suburban area of Tokyo.** Boundary-Layer Meteorology, v.48, p.389-407, Abr.1989.