



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE – 5456 – TDI / 498

**ESTUDO SINÓTICO DE PERÍODOS DEFICIENTES DE CHUVAS NO
RIO GRANDE DO SUL**

Humberto Conrado

Disertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelo Dra Magda Luzimar de Abreu,
aprovada em fevereiro de 1992.

INPE
São José dos Campos
1992

551.578.1

CONRADO, H.

Estudo sinótico de períodos deficientes de chuvas no Rio Grande do Sul. / H. Conrado. -- São José dos Campos: INPE, 1992. 186p. -- (INPE-5456-TDI/498)

1. Chuvas. 2. Estudo sinótico. 3. Rio Grande do Sul. I. Título

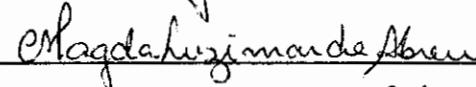
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Meteorologia

Dr. Nelson Jesus Ferreira



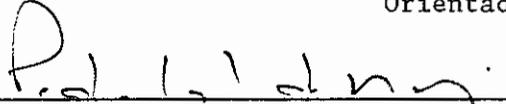
Presidente

Dra. Magda Luzimar de Abreu



Orientadora

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



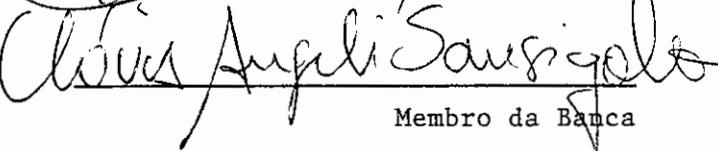
Membro da Banca
- Convidado -

Dr. Jesus Marden dos Santos



Membro da Banca

Dr. Clóvis Angeli Sansígolo



Membro da Banca

Candidato: Humberto Conrado

São José dos Campos, 27 de fevereiro de 1992

RESUMO

O regime de chuvas no Rio Grande do Sul se caracteriza por uma distribuição mensal uniforme e baixa variabilidade interanual. Uma série média para o Rio Grande do Sul com 39 anos de dados de precipitação (1952-1990) foi utilizada para diagnosticar anos que apresentaram períodos com deficiência de chuvas. Identifica-se que os anos de 1988 e 1989 apresentam desvios negativos significativos na precipitação anual. Dois períodos de verão (janeiro e fevereiro) com anomalia negativa foram selecionados dentro destes dois anos. Estes períodos selecionados foram submetidos a um estudo sinótico usando campos de geopotencial, movimento vertical, vortacidade relativa, advecção de vortacidade e divergência. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) apresentou-se persistente nos meses de fevereiro que registraram deficiência de chuva mais pronunciada no Rio Grande do Sul. Associada à ZCAS observou-se a presença de cavado sobre a América do Sul posicionado geralmente à leste do Rio Grande do Sul, e de um cavado no Pacífico em torno de 120°W . Este padrão atmosférico mostrou-se estacionário nos meses de fevereiro, com efeitos semelhantes a uma situação de bloqueio, de forma que os sistemas frontais foram desviados de sua trajetória normal sobre o Rio Grande do Sul. Com o posicionamento do cavado à leste do Rio Grande do Sul, a região esteve sujeita a subsidência, que contribuiu para inibir a atividade convectiva. Este período com anomalias negativas de precipitação coincidiu com a presença da fase positiva da Oscilação Sul (La Nina) no Pacífico.

A SYNOPTIC STUDY ON PERIODS OF DEFICIENCY
OVER RIO GRANDE DO SUL/BRAZIL

ABSTRACT

The rainfall regime in the State of Rio Grande do Sul (Brazil) is characterized by a homogeneous monthly distribution and a low interannual variability. A spacial series considering 39 years of precipitation data (1952-1990) was used to analyse the years which had periods of rain deficiency. In the years 1988 and 1989 the annual precipitation presented meaningful negative deviation. Two summer seasons (January and February) which presented negative anomalous behavior during these years were selected. A synoptical study, using geopotential fields, vertical velocity, relative vorticity, vorticity advection, and divergence fields was performed to analyse this period of rain deficiency. The South Atlantic Convergence Zone (SACZ) was observed to persist during the February months which registered a significant negative deviation precipitation. Related to the SACZ, the presence of a trough was noticed over to the east of Rio Grande do Sul state. At the same time, a trough in the Pacific Ocean was found about 120° W. This atmospheric pattern showed to be stationary in February, suggesting effects similar to a blocking situation. As a result, the frontal systems were deviated from their usual path over the State of Rio Grande do Sul. The position of the trough axis, to the east of Rio Grande do Sul induced a persistent subsidence which contributed to inhibiting the convective activity over the region. This period with anomalous negative precipitation coincided with the presence of a positive Southern Oscillation Index in the Pacific Ocean.

AGRADECIMENTOS

Aos meus Orientadores, Dr. Prakki Satyamurty pelo incentivo e apoio inicial, e Dra. Magda Luzimar de Abreu pelo interesse e paciente dedicação dispensados à finalização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora pelas críticas e sugestões dadas, que resultaram no aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Sr. Mário Sérgio Teixeira pela ajuda computacional dada, que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela infra-estrutura, recursos, apoio e facilidades colocados à disposição.

Ao Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET) e ao Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Rio Grande do Sul (IPAGRO) pelos dados cedidos.

Aos colegas de pós-graduação pelo apoio e solidariedade em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) pelos recursos financeiros.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xix
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>CAPÍTULO 2 - ASPECTOS CLIMÁTICOS E METEOROLÓGICOS NA</u> <u>REGIÃO DO RIO GRANDE DO SUL.....</u>	<u>5</u>
2.1 - Climatologia da precipitação no Rio Grande do Sul.....	5
2.2 - Sistemas sinóticos e subsinóticos relacionados com precipitação no Rio Grande do Sul.....	10
2.3 - Fenômenos de grande escala relacionados a ano- malias de precipitação no sul do Brasil.....	16
<u>CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA.....</u>	<u>23</u>
<u>CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PERÍODOS DE-</u> <u>FICIÊNTES DE CHUVAS.....</u>	<u>29</u>
<u>CAPÍTULO 5 - ESTUDO SINÓTICO DE DOIS PERÍODOS COM</u> <u>ANOMALIA NEGATIVA DE PRECIPITAÇÃO.....</u>	<u>41</u>
5.1 - Análise de imagens de satélite.....	41
5.1.1 - Análise dos períodos de verão.....	41
5.1.2 - Análise dos períodos de inverno.....	48
5.2 - Análise diagnóstica dos verões de 1988 e 1989..	49
5.2.1 - Análise sinótica do verão de 1988.....	49
5.2.2 - Análise sinótica do verão de 1989.....	85

<u>CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES...</u>	119
6.1 - Discussão geral.....	119
6.2 - Conclusões e sugestões.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Precipitação anual normal no Rio Grande do Sul.	6
2.2 - Curva média da precipitação média mensal de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990.....	8
2.3 - Variabilidade relativa interanual da precipitação anual no Brasil.....	9
2.4 - Distribuição mensal do número de sistemas frontais que penetram em cada banda latitudinal....	12
2.5 - Campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa no verão sobre a América do Sul.....	19
2.6 - Regiões da América do Sul cuja precipitação apresenta relação com a Oscilação Sul.....	21
3.1 - Distribuição geográfica de oito localidades selecionadas na construção da série média de precipitações do Rio Grande do Sul.....	24
4.1 - Série de desvios anuais normalizados da precipitação anual média de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990....	29
4.2 - Série de desvios mensais normalizados da precipitação mensal média de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de janeiro de 1952 a dezembro de 1990.....	34
4.3 - Cartas mensais de precipitação relativa à normal para a região sul da América do Sul no período de janeiro a agosto de 1988.....	35
4.4 - Cartas mensais de precipitação relativa à normal para a região sul da América do Sul no período de janeiro a agosto de 1989.....	37
5.1 - Posições inicial e final aproximadas do eixo da nebulosidade associada à ZCAS, estimadas através de imagens de satélite para os períodos em que estiveram caracterizadas nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.....	44

5.2 - Posições aproximadas do centro da alta da Bolívia, estimadas através da nebulosidade nas imagens de satélite, para os meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.....	46
5.3 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para janeiro de 1988.....	53
5.4 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para janeiro de 1988.....	55
5.5 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para janeiro de 1988.....	57
5.6 - Pêntadas do campo de movimento vertical em 500hPa para janeiro de 1988.....	59
5.7 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para janeiro de 1988.....	62
5.8 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para fevereiro de 1988.....	68
5.9 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para fevereiro de 1988.....	70
5.10 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para fevereiro de 1988.....	72
5.11 - Pêntadas do campo de movimento vertical em 500hPa para fevereiro de 1988.....	74
5.12 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para fevereiro de 1988.....	77
5.13 - Imagens do satélite GOES no infravermelho para o período de 29 de janeiro a 10 de fevereiro de 1988.....	79
5.14 - Precipitações diárias nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 para as localidades de Bagé e Santa Maria.....	84
5.15 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para janeiro de 1989.....	89
5.16 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para janeiro de 1989.....	91
5.17 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para janeiro de 1989.....	93

5.18 - Pêntadas do campo de movimento vertical em 500hPa para janeiro de 1989.....	95
5.19 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para janeiro de 1989.....	98
5.20 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para fevereiro de 1989.....	103
5.21 - Imagens do satélite GOES no infravermelho para o período de 2 a 4 de fevereiro de 1989.....	105
5.22 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para fevereiro de 1989.....	107
5.23 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para fevereiro de 1989.....	109
5.24 - Pêntadas do campo de movimento vertical em 500hPa para fevereiro de 1989.....	111
5.25 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para fevereiro de 1989.....	114
5.26 - Precipitações diárias nos meses de janeiro e fevereiro de 1989 para as localidades de Bagé e Santa Maria.....	117
6.1 - Cartas mensais de anomalia de radiação de onda longa emergente; desvios com base no período 1974-83 para janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.....	124
6.2 - Cartas mensais de desvios da precipitação em relação à normal para janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.....	126
6.3 - Campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.....	131
6.4 - Séries anuais do índice de Oscilação Sul e precipitação média de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990....	136

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
6.1 - Índice de Oscilação Sul e precipitação em localidades do Rio Grande do Sul para os anos de 1986 e 1987.....	134

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	- Alta da Bolívia
ADV	- Advecção de vorticidade
AS	- América do Sul
DIV	- Divergência
DP	- Desvio Padrão
IOS	- Índice de oscilação sul
JAN	- Jato nos altos níveis
JBN	- Jato nos baixos níveis
MV	- Movimento vertical
ROL	- Radiação de onda longa
ROLE	- Radiação de onda longa emergente
R\$	- Rio Grande do Sul
SCM	- Sistemas convectivos de mesoescala
VR	- Vorticidade relativa
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCPS	- Zona de Convergência do Pacífico Sul

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul, situado na costa leste da América do Sul entre as latitudes de 27° e 34°S, é uma região caracterizada por um clima subtropical, com regimes de temperatura e precipitação regulares. A amplitude térmica anual confere à região duas estações do ano bem definidas, o inverno e o verão, enquanto a precipitação ocorre o ano todo de maneira uniforme e com valores elevados. Este regime de precipitação permite à região atividades agrícolas o ano todo, enquanto o regime de temperatura exige cultivos agrícolas adaptados para o inverno ou para o verão.

As culturas agrícolas são dependentes do comportamento do tempo durante o seu ciclo de cultivo. Esta dependência é relevante para esta região do Brasil, onde as atividades agropecuárias possuem uma participação importante na economia. A ocorrência de períodos prolongados de deficiência pluviométrica é bem lembrada pelos seus efeitos danosos, que acarretam sérios prejuízos econômicos e sociais, sendo as atividades agropecuárias as mais afetadas. Ausência prolongada ou ocorrência irregular de chuvas nas épocas de plantio ou no período de crescimento das culturas agrícolas pode acarretar perda de rendimento.

No Rio Grande do Sul os plantios agrícolas comumente ocorrem no outono e na primavera, com fases de crescimento no inverno ou verão. Entretanto, é no verão que a ocorrência de chuvas irregulares ou deficientes pode ser mais prejudicial devido às condições climáticas desta época do ano, como temperaturas elevadas e forte insolação. Há também os efeitos negativos de deficiência

prolongada de chuvas sobre os recursos hídricos, que arretam escassez de água tratada nas cidades e queda na geração de energia pelos sistemas hidroelétricos.

A definição de seca depende do problema enfocado. Dracup et al. (1980), Palmer (1965) e Hounam et al. (1975) definem três tipos de seca: seca meteorológica, seca agrícola e seca hidrológica. Em meteorologia, situações de seca estão associadas à ocorrência de um período de precipitação abaixo do valor normal ou médio do clima em questão. Em hidrologia, situações de seca estão associadas a um período com escoamento superficial e subsuperficial abaixo da média e com esgotamento da água armazenada em lagos, lençóis de água subterrâneos etc. Na agricultura, o problema de seca está ligado com um período cuja umidade do solo na zona das raízes das plantas é insuficiente para sustentar cultivos agrícolas.

O presente trabalho trata da deficiência de chuvas no sul do Brasil, definida de acordo com o conceito de seca meteorológica. Do ponto de vista meteorológico, a ocorrência de um período de deficiência de chuvas está associada a anomalias na circulação atmosférica em escalas regional e global. Na Região Sul do Brasil, por exemplo, o regime de precipitação está relacionado com a frequência e intensidade dos sistemas frontais que se deslocam sobre a área, obedecendo aos padrões de circulação da atmosfera. Alguns trabalhos têm relacionado estes padrões atmosféricos a períodos de anomalias negativa ou positiva de precipitação. Aspectos climáticos globais, como o fenômeno El Niño\La Niña-Oscilação Sul, têm sido associados com anomalias de precipitação no sul do Brasil. Recentemente, por exemplo, Satyamurty e Etchichury (1989) analisaram os anos de 1988 e 1989, que apresentaram precipitações abaixo do valor normal e ocorreram durante

um evento de La Nina. Estes trabalhos serão abordados em revisão bibliográfica no Capítulo 2.

A análise climatológica de períodos deficientes de chuvas nos anos de 1988 e 1989, bem como a identificação de outros casos anteriormente ocorridos no Rio Grande do Sul, resultam na documentação desses períodos com deficiência de chuvas e fornecem uma noção da frequência de ocorrência. Este conhecimento pode contribuir para o planejamento de soluções técnicas para o problema de ocorrência de períodos deficientes de chuvas. O estudo sinótico desse período deficiente de chuvas contribui com conhecimentos sobre o comportamento atmosférico durante estas anomalias. Este conhecimento tanto pode ajudar nas previsões do tempo, como ser útil para futuros estudos de modelagem, com o objetivo de explicar os processos físicos envolvidos neste período deficiente de chuvas.

Conhece-se pouco do comportamento dos sistemas atmosféricos de precipitação durante períodos deficientes de chuvas na Região Sul do Brasil e das relações com anomalias globais na circulação atmosférica. A proposta deste trabalho é identificar as condições atmosféricas de grande escala relacionadas com um período selecionado de deficiência de precipitação ocorrido no Rio Grande do Sul durante os anos de 1988 e 1989.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da climatologia da região em estudo e uma bibliografia dos trabalhos que relacionam anomalias na circulação atmosférica com alterações no regime de chuvas no sul do Brasil. O Capítulo 3 descreve os dados usados e a metodologia definida para desenvolver o trabalho. No Capítulo 4 é apresentada uma análise climatológica da precipitação no Rio Grande do Sul, com o objetivo de identificar e caracterizar períodos deficientes de chuva

nos anos de 1988 e 1989 e avaliar a frequência de ocorrência. No Capítulo 5 é feito um estudo sinótico de dois períodos selecionados com anomalia negativa de precipitação no Rio Grande do Sul.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS CLIMÁTICOS E METEOROLÓGICOS NA REGIÃO DO RIO GRANDE DO SUL

Uma breve caracterização da climatologia da precipitação no Rio Grande do Sul é feita na primeira seção deste capítulo; a segunda seção trata dos sistemas atmosféricos relacionados com precipitação no Rio Grande do Sul; a última seção apresenta uma revisão bibliográfica dos trabalhos que relacionam as anomalias na circulação atmosférica de grande escala com eventos de anomalias de precipitação no Rio Grande do Sul.

2.1 - CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL

O clima subtropical do Rio Grande do Sul apresenta como característica, quanto à quantidade de precipitação, totais anuais médios elevados, que variam de 1250 a 1800mm, exceto o litoral sul do Rio Grande do Sul, que registra precipitação anual normal abaixo de 1250mm, e de alguns núcleos no norte e nordeste do estado, que apresentam valores acima de 1800mm (Figura 2.1). No aspecto geral, a parte norte do Rio Grande do Sul apresenta precipitações anuais maiores que o restante do território, variação esta associada a efeitos orográficos.

Apesar desta variabilidade espacial nos valores da precipitação média anual no Rio Grande do Sul, o regime de chuvas mostra uniformidade temporal em todo o estado, como descrito a seguir.

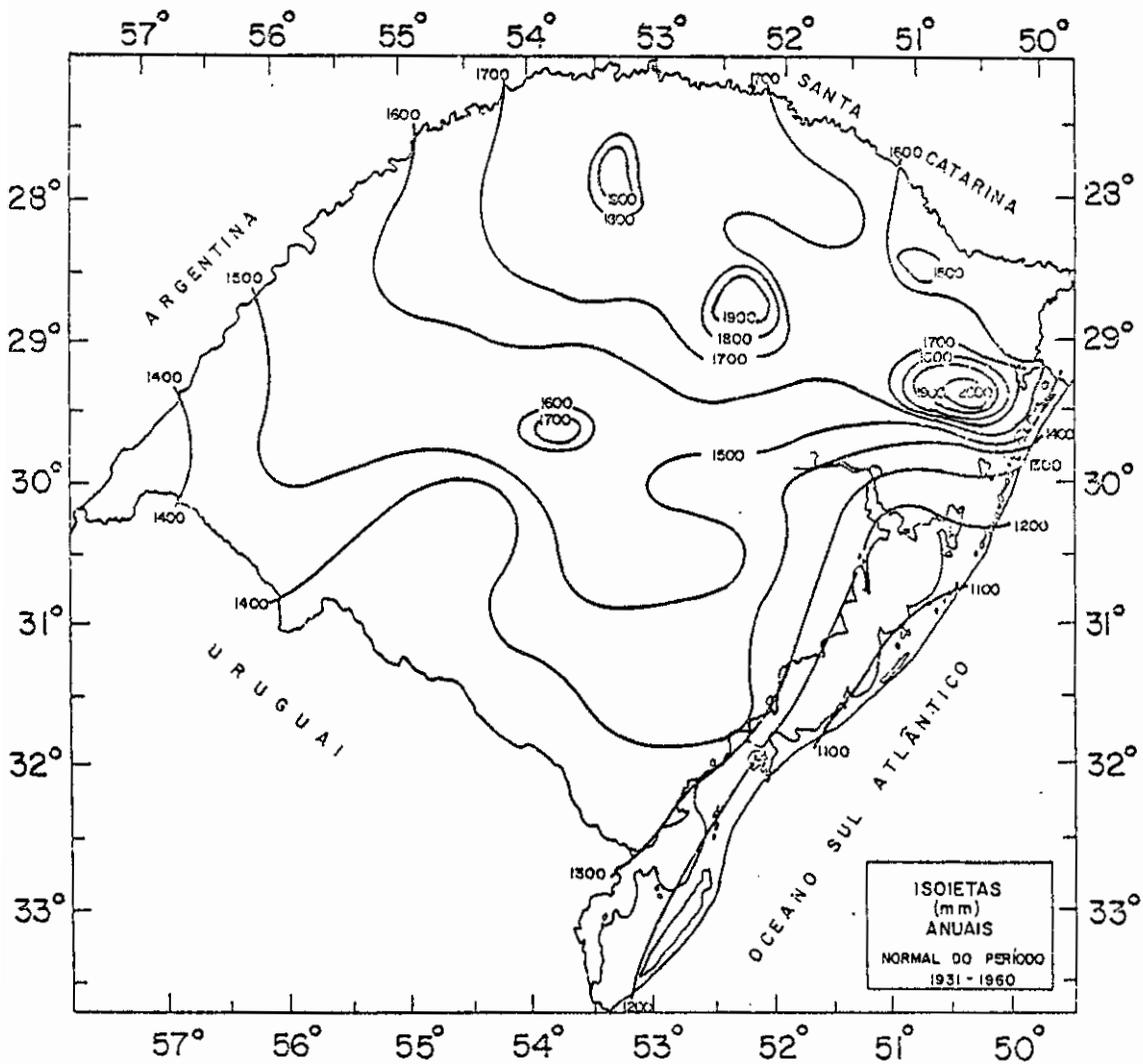


Fig. 2.1 - Precipitação anual normal no Rio Grande do Sul.

Fonte: IPAGRO (1989), p. 262.

- normal para o período 1931-60.

Um regime de chuvas é melhor definido quando se usam critérios quantitativos. Azevedo (1974) estudou os regimes de chuvas no Brasil adotando como critério a porcentagem de contribuição das precipitações médias mensais com relação a precipitação média anual. Este critério também foi aplicado por Berlato (1970) para caracterizar o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. Assim, a porcentagem de contribuição de agrupamentos de dois até seis meses consecutivos permite definir se o regime anual de chuvas de determinada localidade é uniforme, ou se apresenta época do ano com maior ou menor precipitação.

No Rio Grande do Sul, as localidades em geral apresentam regimes de chuva onde a porcentagem de contribuição por três e seis meses consecutivos varia de 20 a 30% e de 45 a 55%, respectivamente, conforme o período do ano e a localidade. Assim, o regime de chuvas no Rio Grande do Sul é caracterizado por uma distribuição uniforme da precipitação mensal ao longo do ano, de forma que não se podem caracterizar para a região estações relativamente secas ou chuvosas. Esta característica do regime de chuvas apresenta-se uniforme em todo o Estado.

A Figura 2.2 mostra um gráfico da precipitação média mensal para o período de 1952-1990, construído como uma média para oito localidades do Rio Grande do Sul, onde se pode observar a pequena variação na distribuição da precipitação média mensal. Esta característica do regime de chuvas no Rio Grande do Sul difere, por exemplo, das regiões tropicais do Brasil central, onde o regime de chuvas apresenta maior porcentagem de contribuição para os meses de verão com relação aos totais anuais de precipitação, com o período de seis meses de outubro a março apresentando geralmente uma contribuição acima de 70%.

Outra característica climática da precipitação no Rio Grande do Sul é a baixa variabilidade interanual da precipitação anual. A Figura 2.3 apresenta análise da variabilidade relativa interanual (VRI) da precipitação anual para o Brasil, segundo Ratisbona (1976). No Rio Grande do Sul, a VRI da precipitação anual situa-se abaixo de 20% para a maior parte do território. São valores baixos de variabilidade, em comparação com a Região Nordeste do Brasil, onde os índices variam entre 30 e 50%. Esta pequena variabilidade no Rio Grande do Sul indica que a precipitação anual normalmente não apresenta desvios pronunciados em relação ao valor médio anual, sendo estes desvios raros. Entretanto, a variabilidade da precipitação anual existe, apesar de pequena, existe, de forma que, a região por vezes está sujeita à ocorrência de anos com desvios pronunciados na precipitação anual.

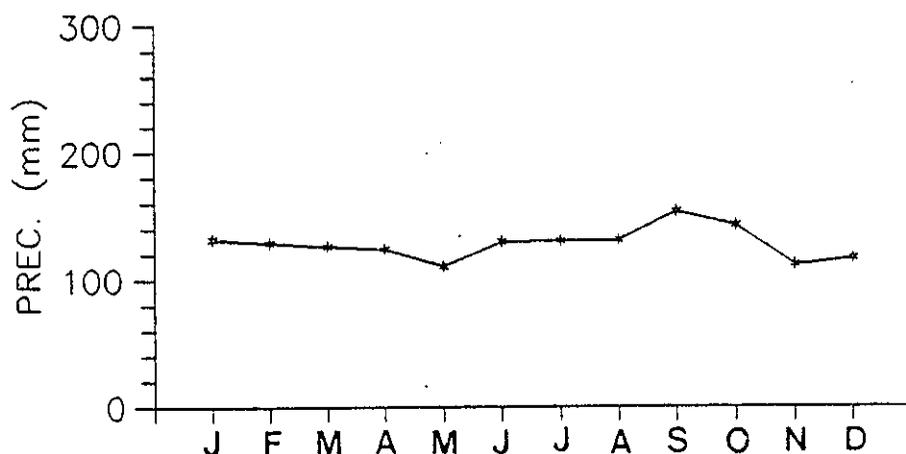


Fig. 2.2 - Curva média da precipitação média mensal de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990.

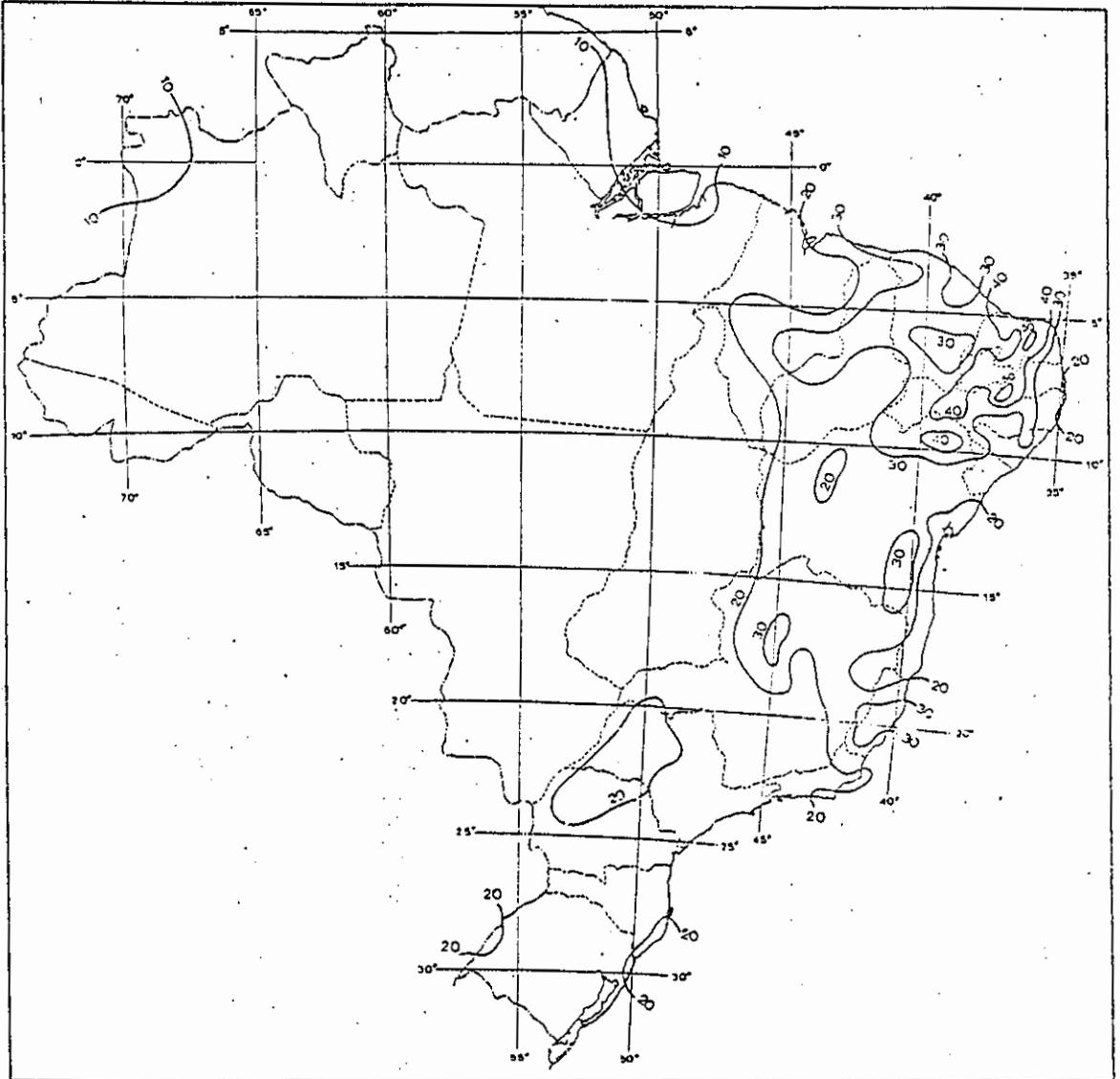


Fig. 2.3 - Variabilidade relativa interanual da precipitação anual no Brasil.
Fonte: Ratisbona (1976), p. 252.
- isolinhas com valores em %.

2.2 - SISTEMAS SINÓTICOS E SUBSINÓTICOS RELACIONADOS COM A PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL

O comportamento do tempo e do clima na Região Sul do Brasil, como mencionado no Capítulo 1, é determinado pelas circulações atmosféricas em escalas regional e global. Associado a estas circulações estão os sistemas sinóticos e subsinóticos que agem diretamente no regime de precipitação desta região, como, por exemplo, os sistemas frontais e os aglomerados convectivos de mesoscala.

Sistemas frontais vindos do Oceano Pacífico e deslocando-se sobre a Argentina e Brasil são importantes sistemas de precipitação para a caracterização do regime de chuvas da Região Sul do Brasil. Associados a ondas baroclínicas de latitudes médias, eles se deslocam conforme a circulação atmosférica nestas latitudes.

Oliveira (1986) estudou estes sistemas frontais e concluiu que alguns deles cruzam a América do Sul zonalmente ao sul de 35°S , enquanto outros se deslocam ao norte desta latitude, seguindo uma trajetória com orientação de sudoeste para nordeste. Normalmente a passagem de sistemas frontais ao sul de 25°S é rápida, atuando por um dia no Rio Grande do Sul.

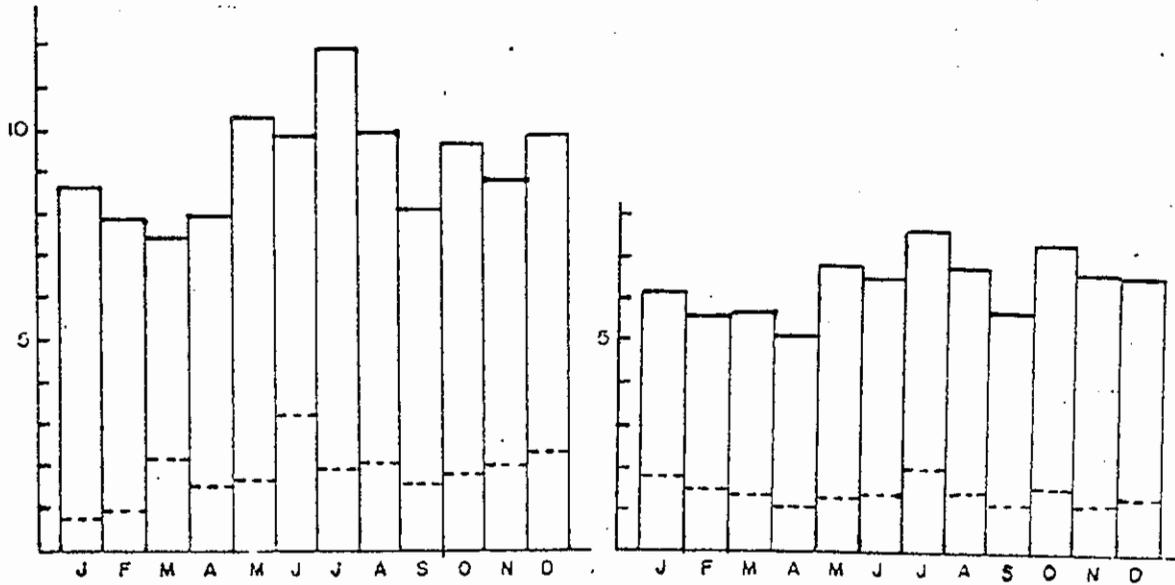
A Figura 2.4 mostra a distribuição anual média do número de sistemas frontais por bandas de latitude sobre a América do Sul, obtida por Oliveira (1986). Observa-se na banda 2, compreendida pelas latitudes de 35° a 25°S , onde se situa o Rio Grande do Sul, que climatologicamente, o deslocamento de sistemas frontais ocorre o ano todo, com pequena variação da frequência mensal média, tendo o mínimo sido registrado em abril, com 5,1 frentes, e o máximo em julho, com 7,7. Nesta banda, a

magnitude do desvio padrão mensal (linhas tracejadas na Figura 2.4) em relação à frequência mensal média é pequena, de forma que a variabilidade interanual na frequência de sistemas frontais é pequena na região do Rio Grande do Sul, ao contrário do que ocorre nas latitudes tropicais, ao norte de 25°S (bandas 3 e 4), onde o desvio padrão apresenta uma proporção maior com relação à frequência mensal média de sistemas frontais. O período de recorrência de sistemas frontais encontrado para a banda 2 é de aproximadamente cinco dias.

Segundo o modelo de Browning (1986), os sistemas frontais são descritos usando o conceito de "esteira transportadora quente" (warm conveyor), a qual consiste no escoamento em baixos níveis de ar quente e úmido ao longo da faixa de nuvens convectivas associada à zona frontal. Este escoamento de ar quente paralelo à frente sofre levantamento na média troposfera devido ao ar frio e seco que avança detrás do sistema. Este fluxo de ar quente é proveniente das baixas latitudes, na forma de um jato em baixos níveis, é um importante mecanismo transportador de calor e umidade dos trópicos, necessário à atividade frontal. Nas imagens de satélite a existência da esteira transportadora quente é identificada pela presença de extensa faixa de nebulosidade convectiva, que acompanha a frente.

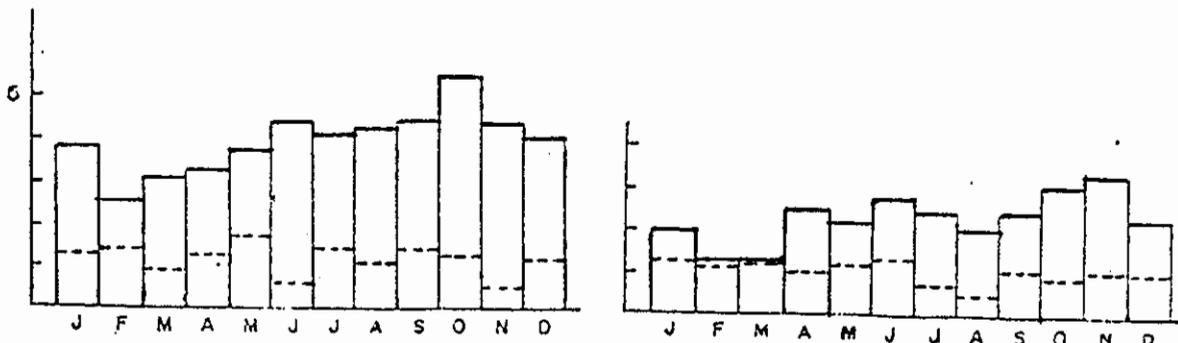
Os sistemas frontais sobre a América do Sul apresentam considerável faixa de nebulosidade convectiva associada à zona frontal, sendo que alguns destes sistemas apresentam esta nebulosidade estendendo-se até a Região Amazônica (Oliveira, 1986). O uso do conceito de esteira transportadora quente de Browning na identificação destes sistemas frontais admite a existência de um escoamento de ar quente e úmido pelo centro do continente, que se inicia na Região Amazônica e escoaria em direção às latitudes mais

altas, alcançando desta forma a zona frontal no seu setor oeste.



a) Banda 1

b) Banda 2



c) Banda 3

d) Banda 4

Fig. 2.4 - Distribuição mensal do número de sistemas frontais que penetram em cada banda latitudinal; banda 1: 40° - 35° S; banda 2: 35° - 25° S; banda 3: 25° - 20° S; banda 4: norte de 20° S
Fonte: Oliveira (1986), p. 34.

- As linhas tracejadas representam desvios padrão.

Outro sistema de escala sinótica que atua no sul do Brasil são os vórtices ciclônicos em altos níveis. Estes vórtices de ar superior provêm do Oceano Pacífico; ao penetrar no continente, cruzam os Andes e intensificam-se. Estes sistemas, ao passar sobre a Região Sul do Brasil e adjacências, podem provocar a ocorrência de frontogênese com possível atividade convectiva, que geralmente é intensa nos setores leste e nordeste dos vórtices.

Cavalcanti (1985) estudou casos de ocorrência de intensa precipitação no sul e sudeste do Brasil, e mostrou como eles se relacionam com ocorrências dos vórtices de altos níveis. Ela também verificou a importância das correntes de jato em altos níveis que estavam associados a sistemas frontais. Tais jatos contribuem para o desenvolvimento ou intensificação da atividade convectiva, como foi demonstrado por Whitney (1977).

Os jatos de altos níveis (JAN) também podem ser encontrados em situações de acoplamento com jatos nos baixos níveis (JBN), gerando circulações transversas nas regiões de entrada e saída do núcleo de velocidade máxima da corrente de jato em altos níveis (Uccellini e Johnson, 1979). Em tal situação, a circulação na região de entrada do JAN é direta, ocorrendo divergência associada a movimento ascendente, à esquerda do eixo do jato, e convergência associada a movimento subsidente, à direita do eixo do jato (Hemisfério Sul). Na região de saída do JAN, a circulação transversa é indireta, com sentido invertido com relação à circulação na entrada do jato. Assim, a área de movimento ascendente na circulação direta pode favorecer a convecção nos baixos níveis.

A presença de situação semelhante de acoplamento entre um JAN e um JBN, proveniente de norte em

latitudes subtropicais da América do Sul, pode favorecer a convecção nos baixos níveis sobre a região de movimento ascendente à direita (ao norte) do JAN associada à circulação direta (Silva Dias, 1987).

Maddox e Doswell (1982) estudando casos de intensa convecção associada à corrente de jato, concluíram que a advecção térmica na baixa troposfera é a forçante dominante para dar início à instabilidade convectiva. Tal situação pode ocorrer na região compreendida pelo sudeste do Brasil, Paraguai e norte-nordeste da Argentina, onde é verificada também a ocorrência dos sistemas convectivos de mesoscala (SCM), que contribuem em escala subsinótica para o regime de precipitação desta região, principalmente na primavera e verão (Cavalcanti, 1982; Velasco and Fritsch, 1987).

Guedes (1985) demonstrou como o jato em altos níveis (JAN) acoplado com o jato em baixos níveis (JBN), pode contribuir para o desenvolvimento de tais SCMs nesta região da América do Sul. A presença de um JBN de norte no verão sobre a América do Sul, conforme identificado por Virji (1981), é resultante da topografia do continente e da convecção na Região Amazônica (Figuerola, 1990), e transporta ar quente e úmido da Amazônia, necessário para o desenvolvimento da convecção na região de ocorrência dos SCMs. Em seu estudo sobre os SCMs na América do Sul, Velasco e Fritsch (1987) sugerem que a condição atmosférica associada à ocorrência de SCM é barotrópica por se tratar de época quente do ano. Nestas condições, a dinâmica em escala sinótica está enfraquecida. A ocorrência de alta temperatura e elevada umidade absoluta do ar (alta temperatura potencial equivalente), devida à advecção de ar quente e úmido pelo JBN, também favorece o desenvolvimento dos SCMs.

Peagle et al. (1982) e Cavalcanti (1982) sugerem que tanto a orientação (norte-sul) da Cordilheira dos Andes como o sistema de brisa vale-montanha associado a ela podem contribuir para modular o início da convecção em uma atmosfera condicionalmente instável. Isto explicaria o fato de os SCMs ocorrerem com mais freqüência a sotavento dos Andes no final da tarde e início da noite.

Outro distúrbio de escala subsinótica (ou escala intermediária) que atua na Região Sul do Brasil, nordeste da Argentina, Uruguai e Paraguai são os sistemas do tipo nuvem em forma de vírgula invertida (Satyamurty et al., 1982). Estes sistemas tendem a ocorrer nos meses de transição, entre verão e inverno, apresentando forte chuva de curta duração e ciclo de vida de aproximadamente dois dias. Estes distúrbios se propagam na região para leste e apresentam-se numa escala espacial horizontal da ordem de 1500km. Bonatti e Rao (1987) estudaram, através de modelagem, um caso de ocorrência de um distúrbio do tipo vírgula invertida sobre o sul do Brasil e adjacências, e concluíram que a instabilidade baroclínica modificada pela liberação de calor latente é o mecanismo de geração destes sistemas de escala intermediária sobre o sudeste da América do Sul.

Em resumo, para o Rio Grande do Sul, o regime de chuvas, caracterizado por certa uniformidade na distribuição da precipitação média mensal, é influenciado pelos sistemas frontais, que, devido à freqüência mensal e regularidade, contribuem em todos os meses do ano para a ocorrência de precipitação média mensal elevada no Estado. Por outro lado, os sistemas em escala subsinótica apresentam uma atuação complementar, como os convectivos de mesoscala, que, devido à maior freqüência no verão e final da primavera, contribuem para as chuvas na região nestas épocas do ano. Vórtices ciclônicos de altos níveis e

distúrbios do tipo nuvens vírgula invertida também ocorrem na região de forma esporádica, embora associados à intensa precipitação. Além disso, esta atuação dos sistemas que determinam a intensidade de precipitação na região estão associados a mudanças nos padrões da circulação atmosférica global e de sua resposta sobre a América do Sul.

2.3 - FENÔMENOS DE GRANDE ESCALA RELACIONADOS A ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL.

Entre os fatores de grande escala na circulação atmosférica que podem influir na variabilidade das precipitações estão os sistemas de bloqueio. A ocorrência de bloqueios no escoamento atmosférico é um fenômeno que pode afetar o regime de precipitações de uma determinada região. Uma situação de bloqueio é caracterizada por uma bifurcação no escoamento zonal e por um escoamento no sentido meridional. Esta bifurcação pode afetar os sistemas frontais, de tal forma que a região sobre ação do bloqueio pode experimentar um período prolongado, com ausência de precipitações.

Casarin (1983) fez um estudo observacional de ocorrência de sistemas de bloqueios no Hemisfério Sul, encontrando sobre a América do Sul e sua costa leste uma ocorrência significativa de bloqueios, sendo a frequência máxima no outono por um fator de dois com relação aos outros períodos do ano. Outra informação importante obtida por Casarin é que os bloqueios no Hemisfério Sul duram em média 9,1 dias, tendo portanto duração menor que no Hemisfério Norte, que é em média de 12 a 16 dias. Sobre a América do Sul foi encontrada uma média de 7,9 dias e na sua costa leste de 8,1 dias, sendo esta duração menor que a média hemisférica. Situações de bloqueio são uma anomalia da circulação atmosférica que pode afetar o tempo na

América do Sul por alguns dias; portanto, é inferior a uma mudança estacional do clima.

Casarin e Kousky (1986) estudaram os padrões presentes nos campos de anomalias de radiação de onda longa emergente (ROLE) e no campo de vento em 200mb durante períodos de anomalias negativas de precipitação no sul do Brasil. Nos padrões de ROLE, eles identificaram um deslocamento para leste das anomalias negativas, apresentando significativas semelhanças com os padrões de anomalias do escoamento atmosférico em 200mb, com velocidades compatíveis com as variações intrasazonais de 30 a 60 dias da circulação atmosférica estudada por Weickmann et al. (1985).

As principais anomalias negativas de ROL encontradas no Hemisfério Sul estão situadas nas regiões da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Quando o deslocamento das anomalias negativas de ROLE sobre a América do Sul está associado com a ZCAS, os climas das regiões tropical e subtropical do Brasil podem também ser afetados. A ZCAS muitas vezes relaciona-se com uma situação de bloqueio; dependendo da sua localização e intensidade, ela pode ser associada a anomalias de precipitação, que provocam enchentes em regiões sob sua influência direta e ausência de chuvas no sul do Brasil (Calheiros e Silva Dias, 1988; Satyamurty e Rao, 1988). Tal fenômeno é geralmente observado no verão do Hemisfério Sul. Siva Dias et al. (1988) identificaram a presença da ZCAS nos campos de ROLE em fevereiro de 1988, a qual esteve associada a intensas precipitações na Região Sudeste do Brasil. Casarin e Kousky (1986) encontraram correlações negativas nas anomalias de ROLE entre o sul do Brasil e o sudeste e nordeste, onde ocorre a ZCAS, e sugerem que situações com pouca precipitação no Rio Grande do Sul e regiões adjacentes

estão associadas com precipitações acima da média na Região Sudeste do Brasil.

A ZCAS caracteriza-se como uma faixa de nebulosidade convectiva, que se estende desde o sul da Amazônia, em direção sudeste pelo Oceano Atlântico subtropical, apresentando nos baixos níveis convergência de ventos e estando associada à penetração de sistemas frontais (Nobre, 1988). Oliveira (1986) também cita a formação de bandas de nebulosidade convectiva orientadas de noroeste a sudeste como resultado da interação entre a convecção tropical sobre a Amazônia e os sistemas frontais que se deslocam sobre a América do Sul. Em tais casos, foi constatado que os sistemas frontais estão associados a cavados que se estendem dos baixos aos altos níveis, geralmente com inclinação de noroeste a sudeste. Nestas situações, os sistemas frontais ficam estacionários sobre o Atlântico e costa leste da América do Sul, geralmente entre as latitudes de 20° e 25° S, sendo a interação proporcional a intensidade da convecção sobre a Amazônia.

Carvalho (1989) observou que a presença da ZCAS nas análises do campo médio mensal de ROLE estava associada à convecção tropical da Amazônia. A presença da convecção tropical sobre a América do Sul, principalmente sobre a Amazônia, no verão está relacionada com a formação da alta da Bolívia nos níveis superiores da troposfera nesta época do ano. Carvalho (1989) obteve uma climatologia da posição e intensidade da alta da Bolívia durante o ano através do campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa sobre a América do Sul. A Figura 2.5 apresenta esta climatologia para o período de verão, onde a alta da Bolívia é identificada pela região de vorticidade relativa positiva, que se estendendo sobre a América do Sul entre 50° W e 75° W e entre 5° S e 30° S.

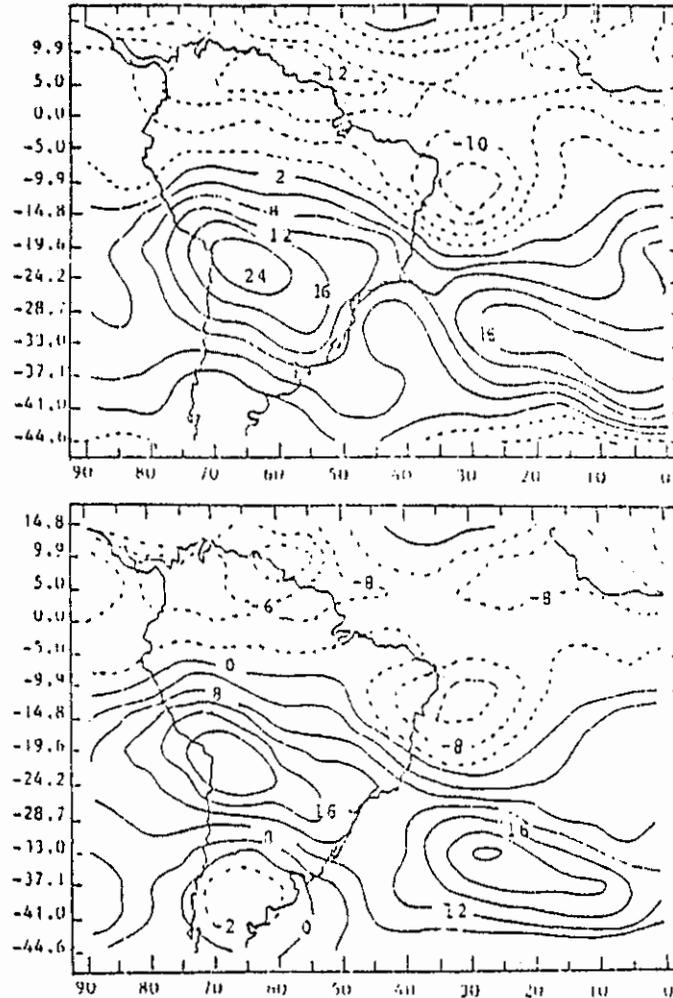


Fig. 2.5 - Campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa no verão sobre a América do Sul, em a) Janeiro; b) fevereiro.
 Fonte: Carvalho (1989), p. 49.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.

Outro aspecto do escoamento de grande escala relacionado com anomalias de precipitação é a Oscilação Sul (OS). Ropelewski e Halpert (1987) desenvolveram um trabalho de análise da relação entre a precipitação em cada região do globo com a magnitude, fase e duração da Oscilação Sul. Eles identificaram a região compreendida pelo sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina como tendo uma significativa relação com Oscilação Sul. Na análise feita nas séries de precipitação para a fase negativa da Oscilação Sul (El Niño) foi encontrada uma tendência para a precipitação ser intensificada no período NOV-FEV. Em 16 eventos de El Niño foram encontrados 14 casos de anomalia positiva de precipitação. Ropelewski e Halpert (1989), em análise idêntica para a mesma região para a fase positiva da Oscilação Sul (La Niña), encontraram uma tendência para precipitações abaixo do normal no período JUN-DEZ. Em 19 episódios de La Niña, ocorreram 16 casos de anomalia negativa de precipitação. A Figura 2.6 identifica a região da América do Sul que apresenta significativa relação com a Oscilação Sul. Eles também sugerem um 'dipolo de precipitação' associado à oscilação sul entre a região nordeste da América do Sul com a região sudeste da América do Sul, pois foram encontradas condições úmidas e secas opostas entre estas duas regiões em cada fase.

Pittock (1980) e Aceituno (1988) também encontraram correlações negativas significativas entre índice de Oscilação Sul (IOS) e precipitação nas regiões compreendidas pelo centro-norte da Argentina, Paraguai, Uruguai e sul do Brasil. Rao e Hada (1990) encontraram correlações negativas significativas entre índice de Oscilação Sul e precipitação no Rio Grande do Sul. Eles correlacionaram também a precipitação de cada estação do ano com o IOS da mesma estação e da estação imediatamente anterior (correlação defasada de três meses), encontrando

correlações negativas mais significativas para a precipitação da primavera.

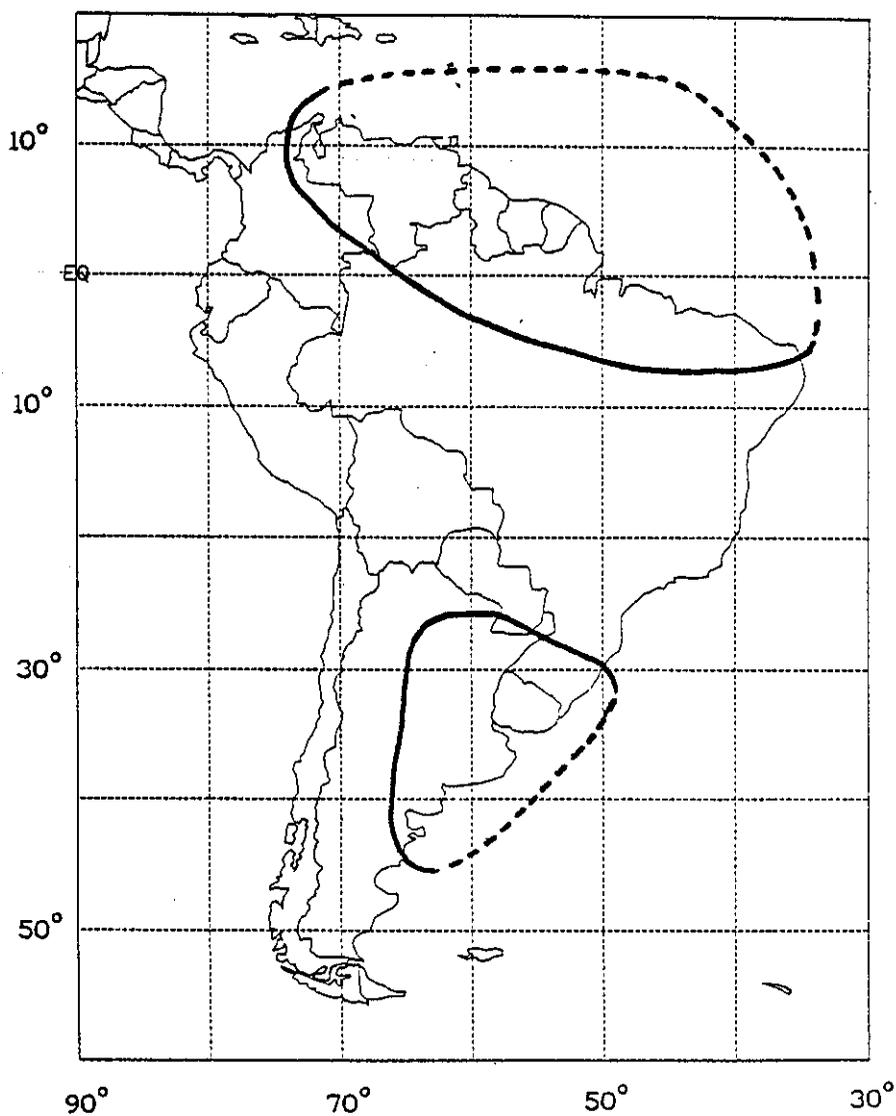


Fig. 2.6 - Regiões da América do Sul cuja precipitação apresenta relação com a Oscilação Sul.
Fonte: adaptada de Ropelewsky e Halpert (1987,1989), p. 1621 e 274.

No Rio Grande do Sul, apesar da regularidade estacional do regime de chuvas e da baixa variabilidade interanual da precipitação, a região está por vezes sujeita à ocorrência de anos com desvios pronunciados na precipitação anual. Estes anos com anomalias de precipitação estão relacionados com mudanças no padrão dos sistemas frontais, que estão relacionados a mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul. Como foi visto, as mudanças na circulação atmosférica que podem resultar em anomalias de precipitação no Rio Grande do Sul apresentam-se em variadas escalas de tempo e espaço, de forma que podem estar relacionadas a alterações climáticas globais, como por exemplo eventos de El Niño/La Niña-Oscilação Sul. Neste trabalho dá-se ênfase ao estudo de casos de deficiência de chuvas no Rio Grande do Sul. Para entender a natureza e ocorrência destes fenômenos, é importante um estudo sinótico que identifique os padrões da circulação atmosférica sobre a América do Sul durante estes períodos com deficiência de chuvas.

Este estudo contribui para o entendimento de como as variações climáticas globais se relacionam com anomalias de precipitação na Região Sul.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Para realizar o presente estudo, foi escolhido um período de deficiência de chuvas no Rio Grande do Sul (RS). Para tanto, foram usados dados de precipitação anual e mensal de algumas estações no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990, obtidos no Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET). A extensão escolhida para a série é devida ao fato de que estatísticas de precipitação apresentam resultados mais estáveis para um período de 40 anos em regiões continentais extratropicais de relevo plano (Jagannathan et al., 1967; Landsberg e Jacobs, 1951). Dados adicionais para algumas estações no Rio Grande do Sul (RS) foram obtidos no Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul (IPAGRO).

Oito estações foram selecionadas com distribuição no RS, conforme mostra a Figura 3.1. A seleção e distribuição das estações foi feita considerando a disponibilidade dos dados e o fato de o regime de precipitação ser homogêneo no RS; além disso, as localidades selecionadas não estão situadas no litoral, em serras ou vales. Séries médias de valores mensais e anuais são construídas com estas oito estações para o período de 1952 a 1990. Estas séries são normalizadas com base em sua média e desvio padrão, e os desvios são usados como um índice para identificar anos e períodos menores (de um ou mais meses) com desvios negativos de precipitação. Testes de significância são aplicados para estes desvios.

Dados de precipitação mensal nos anos de 1988 e 1989 para a Argentina, Uruguai e Paraguai foram obtidos da publicação "Monthly Climatic Data for the World"(1988-1989). Estes dados, junto com os dados de

precipitação no Rio Grande do Sul, são usados para a confecção de cartas mensais de desvio da precipitação com relação à média mensal para os meses de janeiro a agosto de 1988 e 1989.

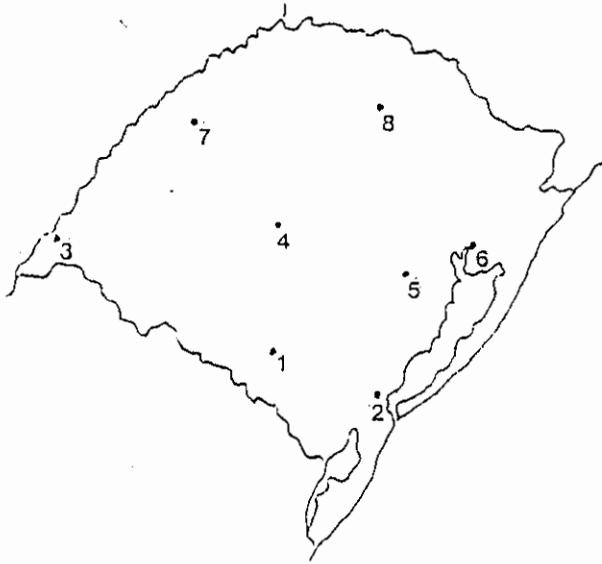


Fig. 3.1 - Distribuição geográfica de oito localidades selecionadas na construção da série média de precipitações do Rio Grande do Sul, sendo:

- 1 - Bagé,
- 2 - Pelotas,
- 3 - Uruguiana,
- 4 - Santa Maria,
- 5 - Encruzilhada do Sul,
- 6 - Porto Alegre,
- 7 - São Luís Gonzaga,
- 8 - Passo Fundo.

Em trabalhos com séries de dados meteorológicos, um procedimento aconselhável é verificar a homogeneidade dos dados. Como os testes estatísticos em geral adotam limites de confiança rigorosos, neste trabalho foi aplicado nas séries de dados o método da curva de dupla massa (Gilman, 1964) devido a sua praticidade e simplicidade. Os resultados deste teste mostraram que a precipitação acumulada de cada estação, quando comparada em um gráfico com a precipitação média acumulada das estações restantes, apresentou uma reta com ângulo de inclinação constante, o que significa que as séries são relativamente homogêneas entre si.

O conceito de normal, no caso deste trabalho, usado para a precipitação é definido pela Organização Meteorológica Mundial como o valor médio calculado para um período relativamente longo e uniforme que compreende no mínimo três períodos consecutivos de dez anos. As curvas normais fornecem uma medida da tendência central para um período determinado de uma série, porém nem sempre representam o valor mais freqüente; segundo Guttman (1989), a necessidade de uma descrição estatística completa de um elemento climático requer medidas da tendência central, extremos, variabilidade e durações. Neste trabalho o valor normal usado para as séries de precipitação é a média aritmética calculada para o período de 1952 a 1990.

Dados de índice de oscilação-sul, na forma de valores mensais, publicados no "Climate Diagnostics Bulletin" (1986-1991) pelo "Climate Analysis Center - National Oceanic and Atmospheric Administration" (CAC-NOAA), foram utilizados para comparações com desvios de precipitação. Os índices de oscilação-sul foram extraídos para o período de 1952 a 1990. Este índice é calculado através da diferença de anomalia de pressão entre Tahiti

(17°S e 150°W) e Darwin (12°S e 131°W) e a seguir normalizado com base na média e desvio padrão da série.

Para o estudo sinótico do caso de deficiência de chuvas escolhido, foram utilizadas cartas sinóticas de superfície e altitude, bem como imagens de satélite. Cartas sinóticas de superfície diárias para as 12 TMG e cartas de altitude, diárias para as 12 TMG para os níveis de 850, 500 e 300mb estão disponíveis no INPE. Imagens do satélite GOES estão disponíveis no INPE, diariamente, a cada três horas, no canal do infravermelho, e para as 12 TMG no canal do visível.

Também foram utilizados dados de altitude para os períodos de verão (janeiro e fevereiro) de 1988 e 1989 do "European Centre for Medium Range Weather Forecasts" (ECMWF). Estes dados são análises inicializadas para as 12:00 TMG, apresentados em pontos de grade de 2,5 em 2,5 graus de latitude e longitude para todo o globo para os sete níveis padrão. A área de estudo compreendeu as longitudes de 150°W a 0°E e as latitudes de 10°N a 50°S. Os parâmetros utilizados foram altitude geopotencial e as componentes meridional e zonal do vento para os níveis de 850, 500 e 200mb; movimento vertical em coordenadas de pressão e temperatura do ar para os níveis de 850 e 500mb. Os dados foram analisados através de pântadas, utilizando rotinas gráficas do "National Center for Atmospheric Research" (NCAR). Também foram calculados e analisados os campos de vorticidade relativa e de advecção de vorticidade para os níveis de 500 e 200mb, e divergência em 850mb.

Os campos de divergência, vorticidade relativa e advecção de vorticidade foram calculados através das componentes zonal e meridional do vento em pontos de grade. As equações para os cálculos desses parâmetros atmosféricos são:

Equação de Divergência:

$$\nabla \cdot V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} ;$$

equação de Vorticidade Relativa:

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{\Delta v}{\Delta x} - \frac{\Delta u}{\Delta y} ;$$

e equação de Advecção de Vorticidade Absoluta (AVA):

$$A \cdot \zeta = - V \cdot \nabla (\zeta + f) = - \left(u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + v \frac{\partial f}{\partial y} \right).$$

As derivadas são escritas como diferenças finitas centradas entre os valores das variáveis em ponto de grade, ou seja, dada uma função $f=f(x)$,

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}} .$$

Para o cálculo desses três campos, foram adaptadas as rotinas de um modelo diagnóstico descrito por Scola e Sugahara (1986).

CAPÍTULO 4CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PERÍODOS
DEFICIENTES DE CHUVAS

No presente Capítulo, uma análise climatológica da precipitação no Rio Grande do Sul (RS) é feita com o objetivo de identificar períodos com deficiência de chuvas nos anos de 1988 e 1989. Estes dois anos apresentaram precipitações anuais abaixo da média para a região.

A série média da precipitação anual de oito localidades no RS é construída, como descrito no Capítulo 3, e está apresentada na Figura 4.1. A série está normalizada com base em sua média e desvio padrão (DP). Os desvios anuais correspondentes aos anos de 1988 e 1989 podem então ser avaliados quanto a sua magnitude e comparados aos desvios anuais em anos anteriores.

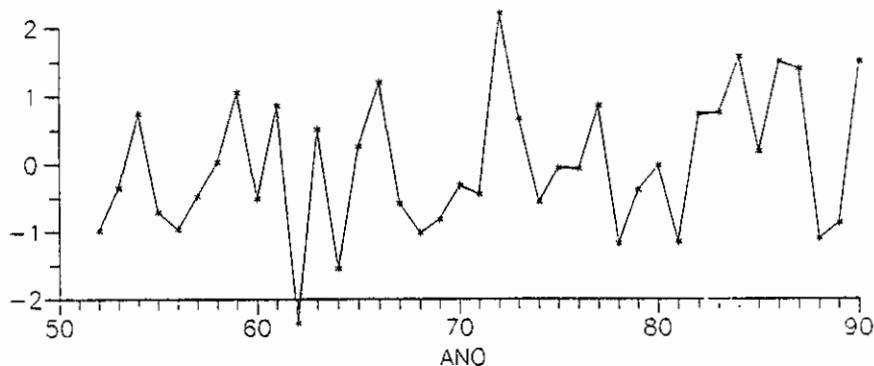


Fig. 4.1 - Série de desvios anuais normalizados da precipitação anual média de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de 1952 a 1990.

Na série da Figura 4.1, os anos de 1988 e 1989 apresentam desvios da ordem de $-1,1$ e $-0,9$ DP. Aproximadamente dez dos 39 anos da série apresentam desvios negativos anuais superiores a $-0,8$ DP, sendo os anos de 1962 e 1964 os que apresentam os maiores desvios negativos, da ordem de $-2,4$ e $-1,6$ DP, respectivamente.

A ocorrência de desvios negativos maiores que $-0,8$ DP em magnitude, como em 1988 e 1989, não é o aspecto mais característico da precipitação no Rio Grande do Sul; porém, a frequência de ocorrência é significativa, compreendendo 25% dos anos do período de análise. Esta frequência corresponde à ocorrência, a cada quatro anos, de um ano com desvio dentro deste intervalo de magnitude. Aproximadamente a mesma porcentagem é encontrada para os anos com desvios positivos mais pronunciados que $0,8$ DP. Desvios negativos ou positivos com magnitude inferior a este intervalo, ou seja, entre $-0,8$ e $0,8$ DP, são os mais frequentes, como pode ser observado na Figura 4.1. Este comportamento da precipitação anual no RS está em concordância com a variabilidade relativa interanual da precipitação anual, que fica em torno de 10 a 20%. Este aspecto é diferente de regiões como o nordeste do Brasil, com variabilidade relativa interanual da precipitação anual entre 30 e 50%, onde desvios pronunciados devem ser mais frequentes. Por outro lado, desvios negativos extremos como os de 1962 são raros no Rio Grande do Sul.

Sendo a série média da Figura 4.1 construída com uma seleção de oito estações no Rio Grande do Sul, um teste de significância para os desvios nos anos de 1988 e 1989 foi feito para avaliar a representatividade destes desvios. Para uma média de $1544,8\text{mm}$ e desvio padrão de $275,3\text{mm}$, foi encontrado um limite de confiança de 86% de significância para que o desvio da precipitação anual em 1988 tenha sido igual ou maior que $-1,1$ DP e de 80% para

que o desvio da precipitação em 1989 tenha sido igual ou maior que $-0,9DP$, sobre a região do Rio Grande do Sul. Ressalta-se também que, na série da Figura 4.1, os anos de 1988 e 1989 são os únicos dois anos consecutivos com desvios negativos neste intervalo de magnitude desde os anos de 1968 e 1969. A ocorrência de dois anos consecutivos com desvio negativo na precipitação anual pode aumentar os efeitos decorrentes da deficiência de chuvas.

Apesar de os anos de 1988 e 1989 apresentarem desvios nos totais anuais de precipitação não muito pronunciados, podem resultar em deficiência de chuva significativa se for considerado o fato de que os desvios da precipitação mensal podem ocorrer distribuídos de maneira desigual ao longo do ano, podendo parte do ano apresentar desvios negativos mais pronunciados. Assim, é necessária uma análise da distribuição da precipitação mensal nestes anos com desvios significativos.

A série média normalizada com valores mensais para oito estações no RS está plotada na Figura 4.2. Conforme pode ser observado nos gráficos desta figura, os anos com desvio negativo na precipitação anual apresentam-se compreendidos de alguns períodos de um ou mais meses consecutivos, com desvio negativo na precipitação mensal. Assim, do ponto de vista meteorológico, o que caracteriza um período deficiente de chuvas no Rio Grande do Sul é a ocorrência de meses consecutivos com desvio negativo de precipitação. Por outro lado, casos como o ano de 1962, onde praticamente todos os meses apresentam-se com desvio negativo de precipitação, são raros. Este aspecto irregular do curso da precipitação mensal resulta numa variabilidade intermensal alta. Desta forma, anos cuja precipitação anual não apresentam desvio negativo significativo também podem apresentar um período deficiente de chuva, como pode ser visto nos gráficos da

Figura 4.2 para o ano de 1985, ou até mesmo para os anos cuja precipitação anual apresenta desvio positivo como em 1990. Nestes casos, os períodos com desvio negativo são compensados pelos períodos com desvios positivos.

A ocorrência de um período deficiente de chuvas durante alguns meses consecutivos com desvio negativo de precipitação torna-se mais significativa se ocorrer precedida por outros períodos com deficiência de precipitação. Este é o caso dos anos de 1988 e 1989, em que houve vários destes períodos, em comparação com 1990, que apresenta apenas um período deficiente de precipitação. Ao mesmo tempo, na região do RS, a ocorrência de um período deficiente de precipitação pode resultar em conseqüências maiores se for no final da primavera ou verão, devido às condições meteorológicas desta época do ano, como temperaturas elevadas, forte insolação e maior evapotranspiração, pois contribuem para maior perda da água armazenada na superfície e no solo. Isto ocorreu em 1985 e 1990.

A análise anteriormente feita permitiu verificar a ocorrência de períodos deficientes de chuvas nos anos de 1988 e 1989 no Rio Grande do Sul. Entretanto, as anomalias negativas de precipitação em 1988 e 1989 não estiveram restritas ao Rio Grande do Sul, mas ocorreram sobre uma área maior, que compreendia também o Uruguai, Argentina e Paraguai. Em 1988 e 1989 os desvios negativos de precipitação ocorreram principalmente sobre a Argentina. O Rio Grande do Sul está situado no limite da área abrangida pelas anomalias negativas de precipitação. Estas observações podem ser vistas nas Figuras 4.3 e 4.4, que apresentam cartas mensais de desvio da precipitação na região do Rio Grande do Sul e regiões adjacentes para alguns meses nos anos de 1988 e 1989. Em 1988 os desvios foram mais pronunciados sobre a Argentina, principalmente

nos períodos de abril a junho e de agosto a setembro, segundo foi constatado nestas análises de desvios da precipitação. Em 1989 aparecem núcleos mais pronunciados sobre o Rio Grande do Sul em fevereiro, maio e junho. Outro aspecto interessante são os meses de julho e agosto de 1988, em que a área de anomalia negativa de precipitação se estende ao norte do Rio Grande do Sul e pelas regiões tropicais do Brasil.

Outra característica observada nas cartas de precipitação é sempre a existência, adjacente à região de anomalia negativa de precipitação, de um ou mais núcleos de anomalia positiva de precipitação. Esta distribuição irregular de chuvas está relacionada com a atuação dos sistemas de precipitação.

Como mencionado anteriormente, apesar da baixa variabilidade interanual da precipitação no Rio Grande do Sul, verifica-se a ocorrência de anos com desvios positivos ou negativos pronunciados. Nos anos de desvios negativos de precipitação, a ocorrência destes por alguns meses consecutivos afeta a agricultura do Estado. Isto ocorre quando a deficiência de chuvas predomina durante épocas de plantio e de desenvolvimento dos cultivos agrícolas, o que pode ocasionar quebra de safras.

Por outro lado, a ocorrência persistente de períodos deficientes de chuvas por um ano ou mais, de forma que os totais anuais de precipitação também apresentem desvios negativos, pode resultar em deficiência hídrica prolongada, o que ocasiona diminuição da água superficial presente no ciclo hidrológico (redução no nível dos rios, lagos e reservatórios). Neste caso haveria, além da seca agrícola, a seca hidrológica, como ocorreu nos anos de 1988 e 1989.

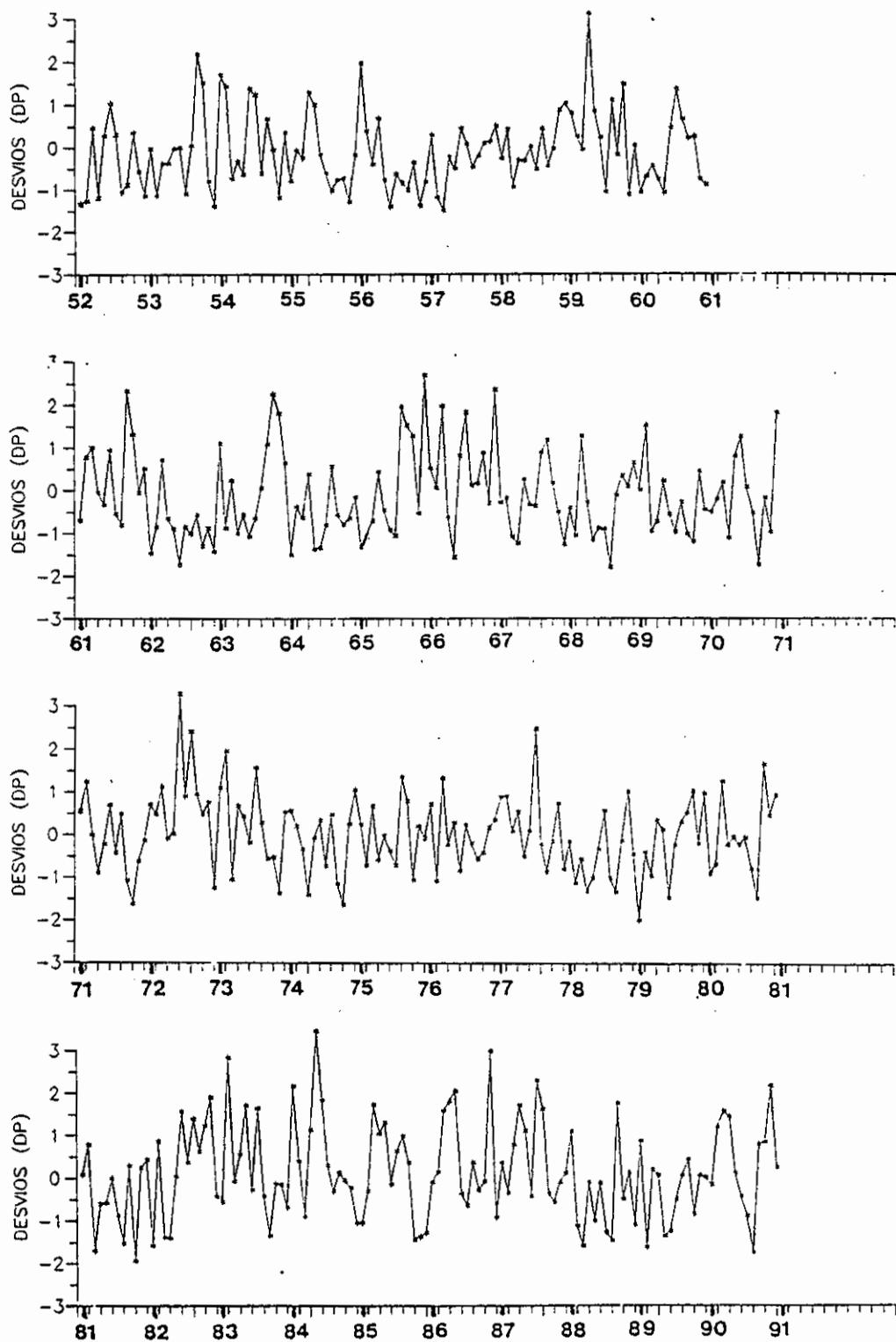


Fig. 4.2 - Série de desvios mensais normalizados da precipitação mensal média de oito localidades no Rio Grande do Sul para o período de janeiro de 1952 a dezembro de 1990.

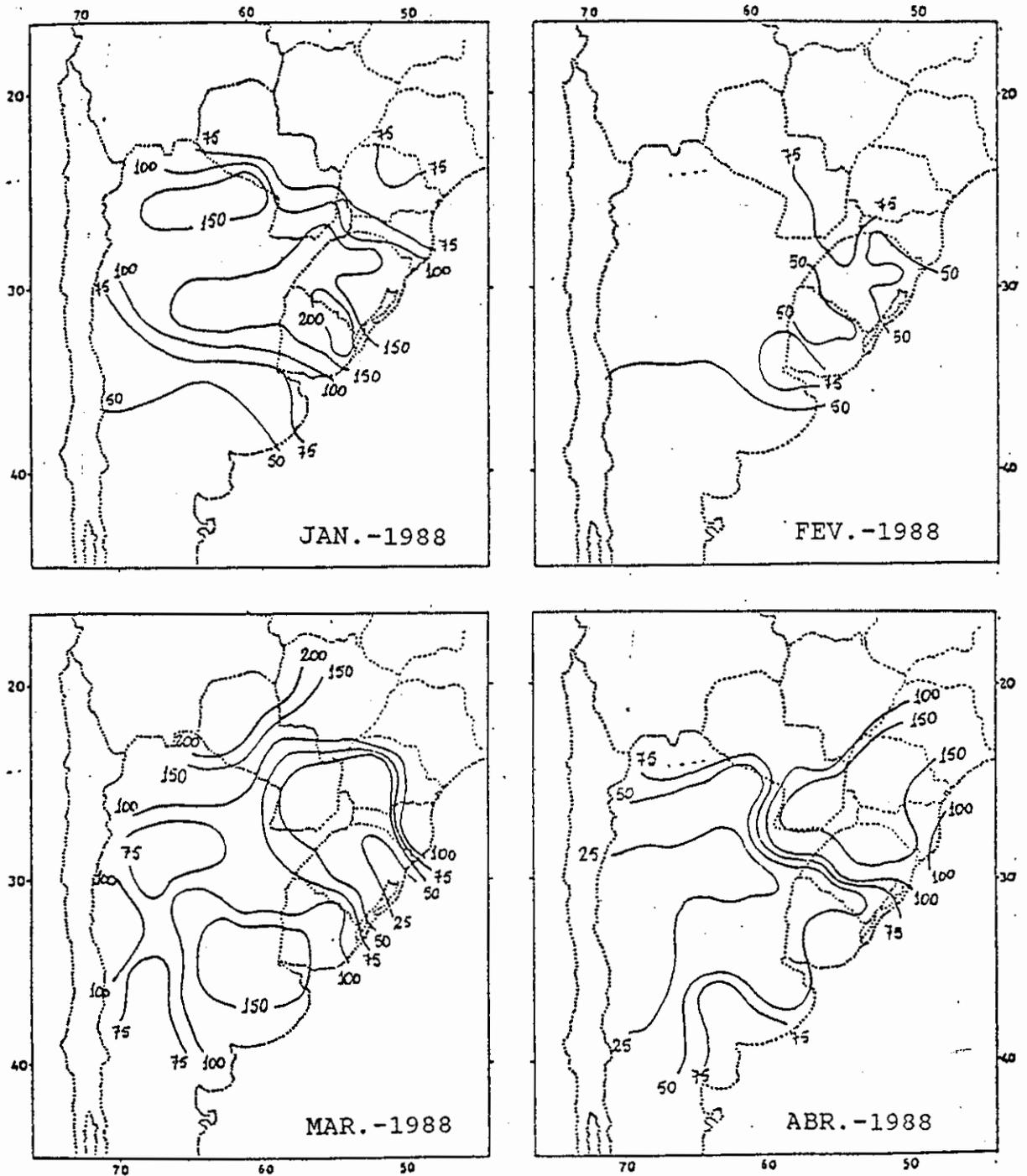


Fig. 4.3 - Cartas mensais de precipitação relativa à normal (em %) para a região sul da América do Sul no período de janeiro a agosto de 1988.

(continua)

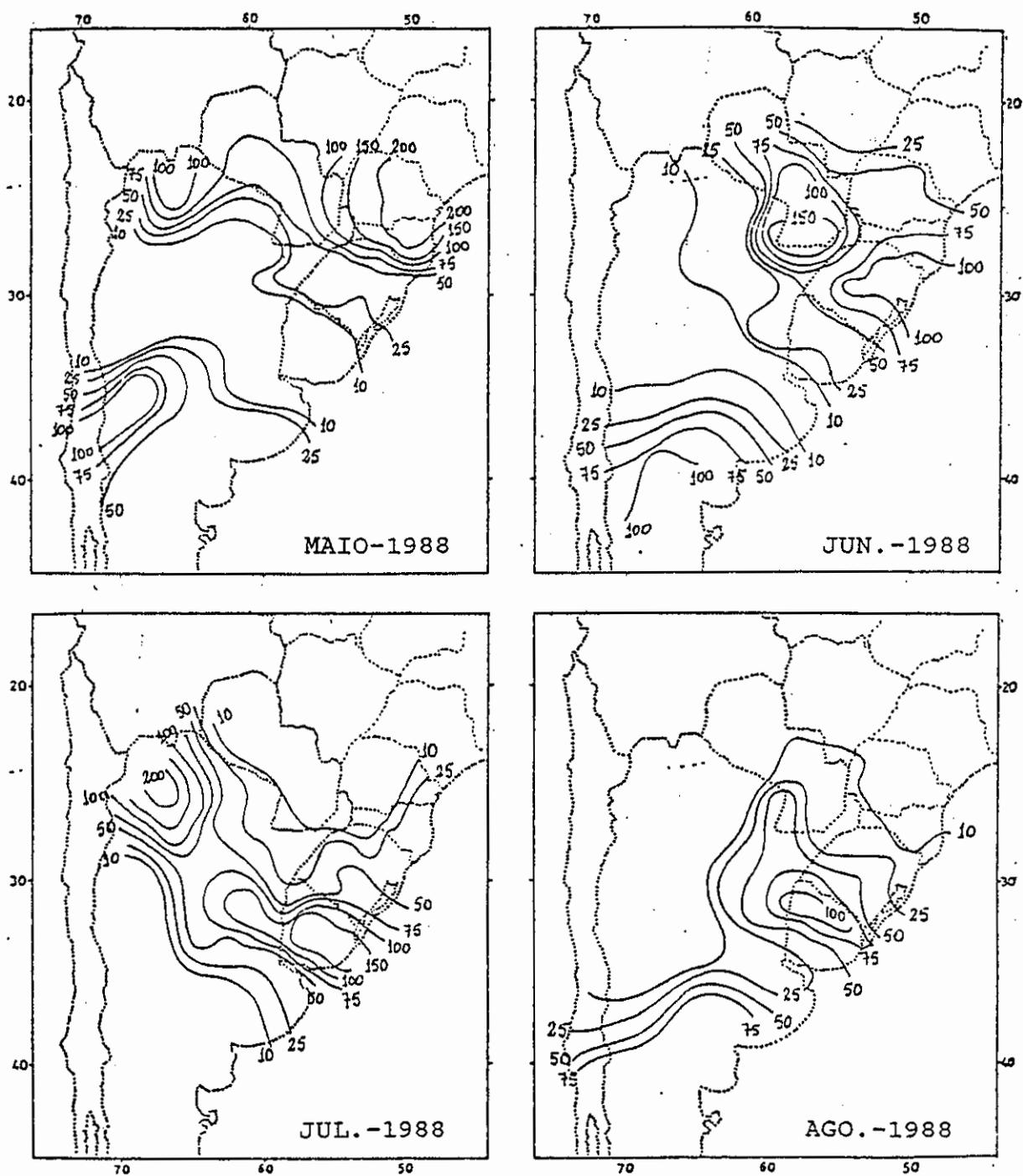


Fig. 4.3 - Conclusão.

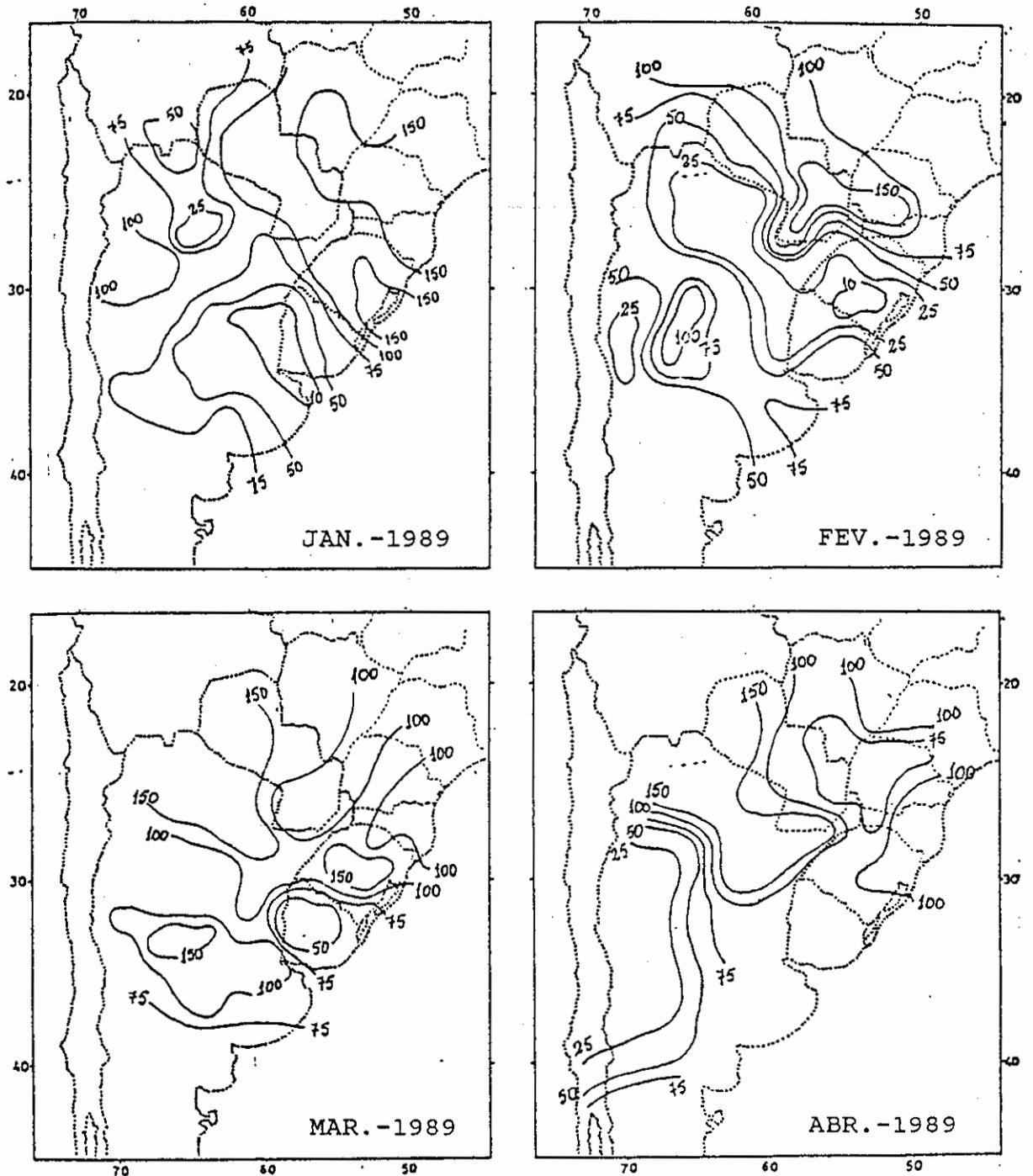


Fig. 4.4 - Cartas mensais de precipitação relativa à normal (em %) para a região sul da América do Sul no período de janeiro a agosto de 1989.

(continua)

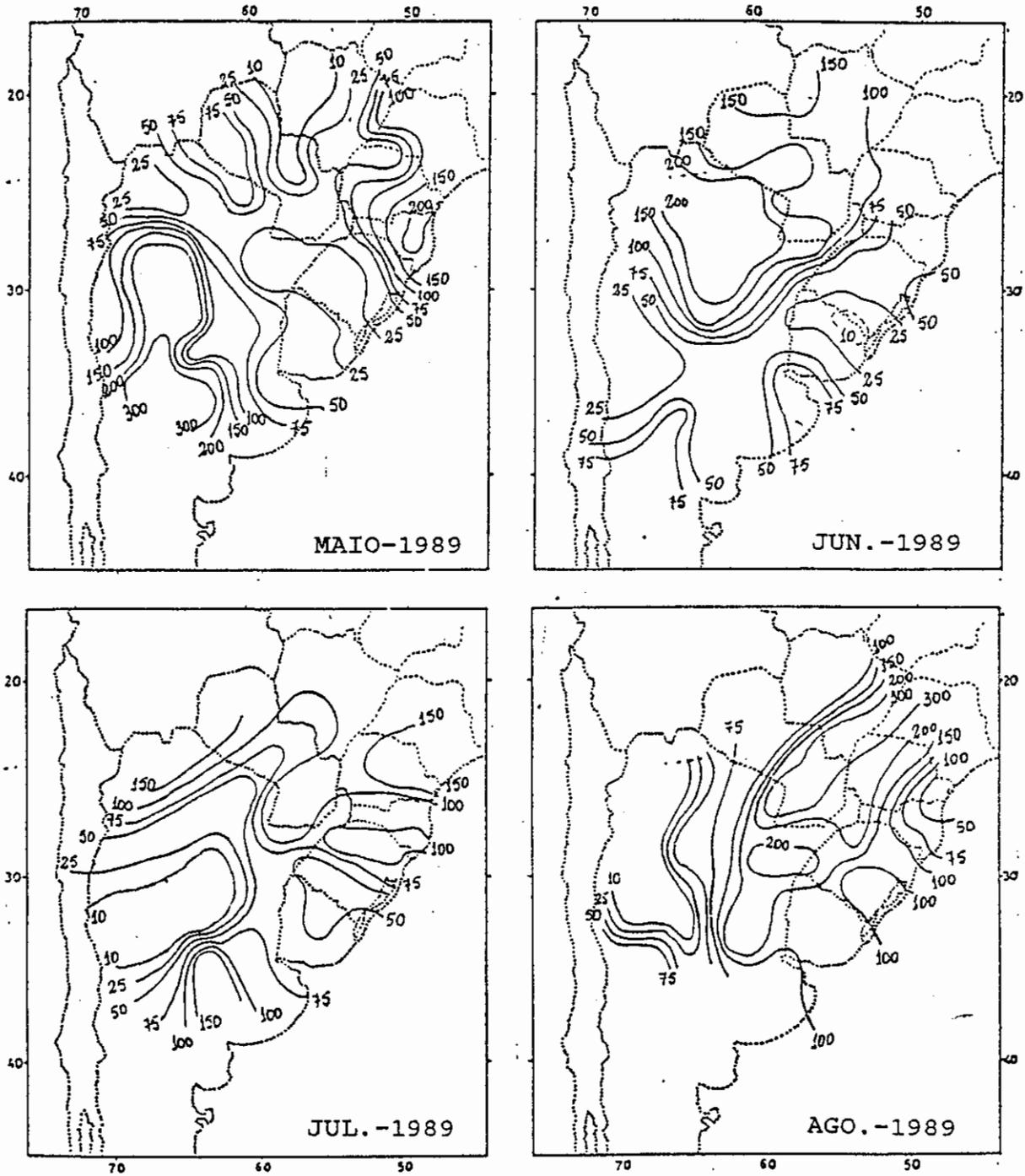


Fig. 4.4 - Conclusão.

Os anos de 1988 e 1989 apresentam quatro períodos pronunciados de anomalia negativa de precipitação sobre o Rio Grande do Sul, os quais servem de base para o estudo sinótico apresentado neste trabalho. Estes períodos são: fevereiro de 1988, julho-agosto de 1988, fevereiro de 1989 e maio-junho de 1989. Entretanto, como pode ser observado na Figura 4.2, todo o período compreendido por 1988-1989 apresenta-se com tendência para precipitação com desvio negativo, com poucos picos positivos, de modo que o total anual seja deficiente.

No próximo capítulo serão apresentados resultados de análise de dados sinóticos para dois períodos selecionados entre os quatro mencionados anteriormente.

CAPÍTULO 5

ESTUDO SINÓTICO DE DOIS PERÍODOS COM ANOMALIA NEGATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Neste capítulo faz-se um estudo sinótico para os quatro períodos com pronunciada anomalia negativa de precipitação mensal, conforme foram identificados e selecionados nos anos de 1988 e 1989 no capítulo anterior. Em cada um desses períodos foi incluído um mês adjacente sem desvio negativo de precipitação, para análise comparativa. Inicialmente fez-se análise do comportamento dos sistemas atmosféricos de precipitação usando imagens de satélite e cartas de superfície. Por último, o estudo sinótico foi complementado por uma análise diagnóstica para os dois períodos de verão de 1988 e 1989, dentre os anteriormente selecionados, utilizando campos de geopotencial, vorticidade relativa, advecção de vorticidade (absoluta), movimento vertical e divergência.

5.1 - ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

Dentre os quatro períodos analisados neste estudo, dois são de verão (janeiro-fevereiro de 1988 e 1989) e, dois são de inverno (junho-agosto de 1988 e maio-julho de 1989). A análise aqui será apresentada separadamente para estas duas épocas do ano.

5.1.1 - ANÁLISE DOS PERÍODOS DE VERÃO

Observou-se que nos meses de janeiro de 1988 e 1989 houve precipitação associada à passagem de sistemas frontais ativos sobre o Rio Grande do Sul (RS). A convecção esteve presente na região do Rio Grande do Sul e regiões vizinhas, associada aos sistemas frontais ou à

ocorrência de sistemas convectivos de mesoscala (SCM). Já no mês de fevereiro dos anos de 1988 e 1989 a região esteve com pouca atividade convectiva significativa associada aos sistemas frontais ou aos SCM, tendo o número de sistemas frontais sido inferior à média para a região.

A falta de nebulosidade sobre o Rio Grande do Sul no mês de fevereiro de 1988 e 1989 foi acompanhada por outras duas situações características de verão sobre a América do Sul: a presença de persistente atividade convectiva ao norte do Rio Grande do Sul, associada com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e a presença da alta da Bolívia (AB).

A ZCAS foi caracterizada nas imagens de satélite como uma faixa de nebulosidade convectiva que se estendia geralmente desde o sul da Amazônia, em direção sudeste, até o Oceano Atlântico, próximo do sul da África. A identificação da ZCAS nas imagens de satélite foi complementada por análise de cartas sinóticas de superfície. Observou-se que a formação da ZCAS esteve associada ao estacionamento de sistemas frontais, com a ocorrência de precipitações elevadas. Também foi observada, em análises diárias de vento em 850hPa, convergência de ventos ao longo da ZCAS nas situações em que se apresentava bem definida.

A Figura 5.1 apresenta uma estimativa feita através de imagens de satélite da posição inicial e final da banda de nebulosidade convectiva associada a ZCAS durante os períodos em que esteve caracterizada. Nesta estimativa, foram consideradas as situações em que a ZCAS permaneceu caracterizada nas imagens de satélite por três ou mais dias. A ZCAS esteve posicionada sobre a Região Sudeste do Brasil, entre o litoral sul de São Paulo e o Espírito Santo. A formação e persistência da ZCAS foi

maior no mês de fevereiro. Em janeiro de 1988 foi observado um posicionamento médio mais ao norte da ZCAS, em relação aos outros meses. Uma situação característica observada durante os períodos de presença da ZCAS foi que, quando os sistemas frontais, se deslocaram pela América do Sul, cruzaram o Rio Grande do Sul com pouca atividade convectiva, e quando prosseguiram o seu deslocamento para norte, associaram-se à ZCAS, geralmente pelo oceano.:

A alta da Bolívia (AB) esteve presente nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989. A Figura 5.2 mostra uma estimativa da posição do núcleo da AB determinado através da nebulosidade nas imagens de satélite para os quatro meses selecionados. Em fevereiro de 1988 a AB esteve posicionada para leste, sobre a região central do Brasil, em comparação com os outros meses, enquanto em janeiro de 1988 a alta da Bolívia esteve posicionada mais para sul. Também foi observado que, em média, as posições da AB nos meses de fevereiro de 1988 e janeiro de 1989 estavam alinhadas com a orientação do eixo de nebulosidade da ZCAS, tendo sido observado o contrário em janeiro de 1988. Em fevereiro de 1989, devido ao deslocamento do satélite GOES, a distorção pela curvatura da terra não permitiu verificar precisamente este alinhamento.

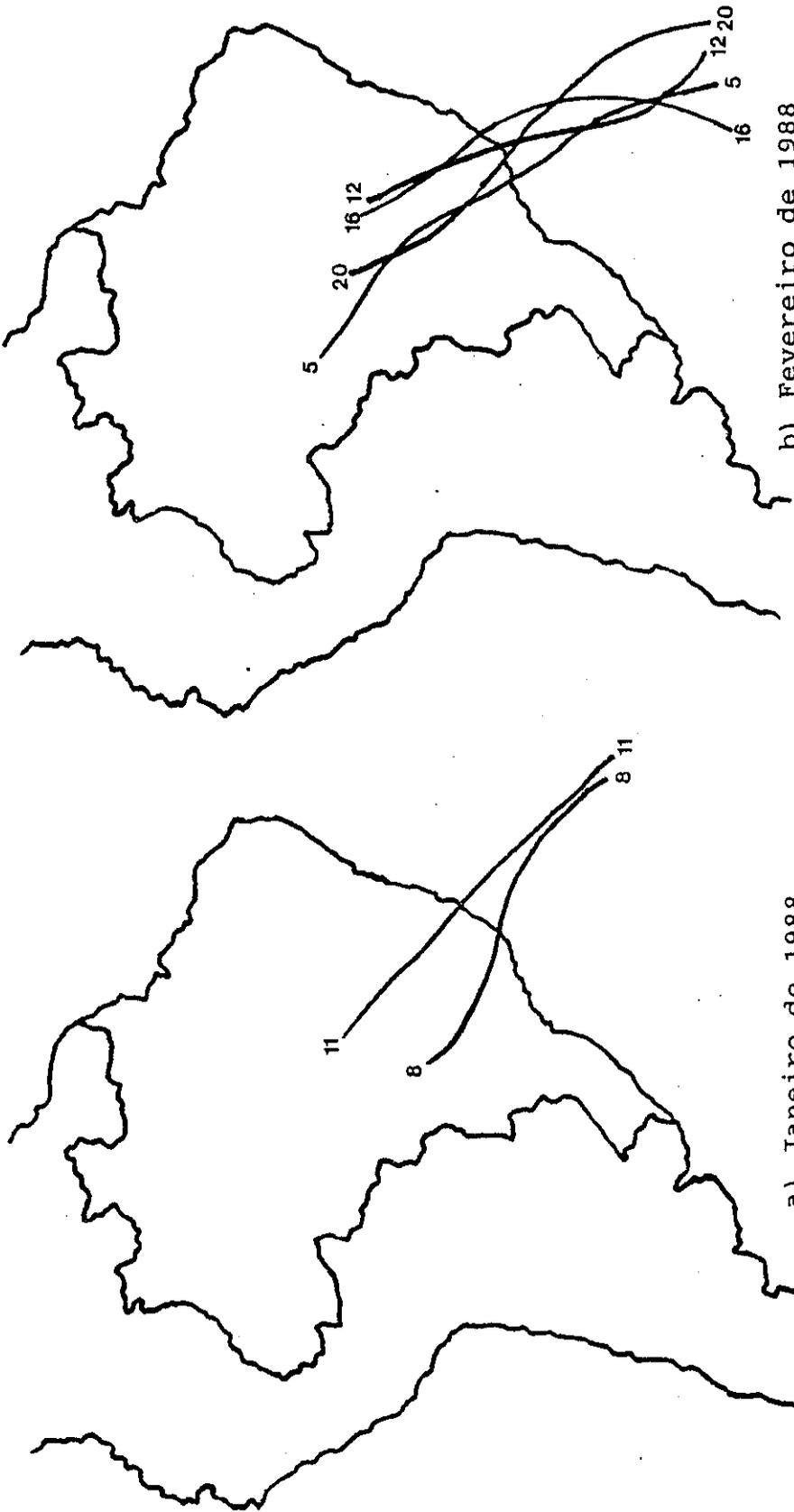
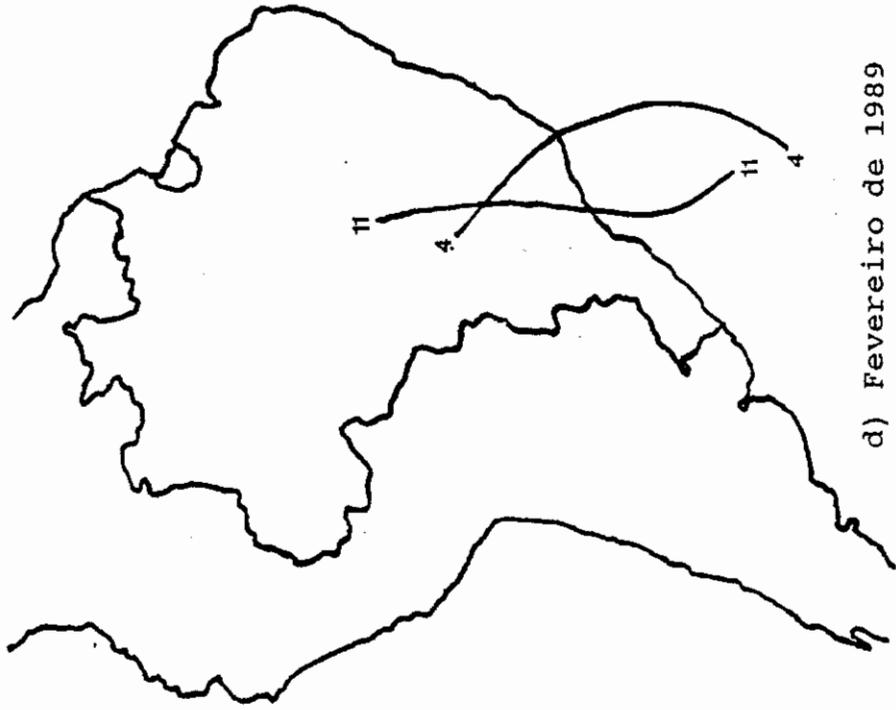
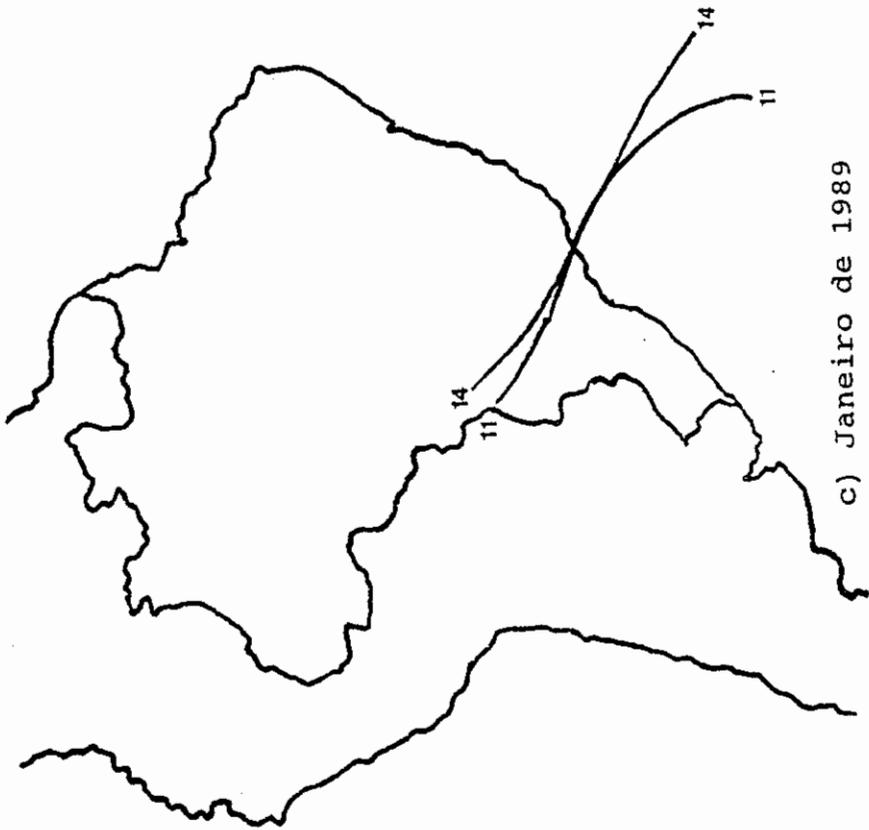


Fig. 5.1 - Posições inicial e final aproximadas do eixo da nebulosidade associada à ZCAS, estimadas através de imagens de satélite para os períodos em que estiveram caracterizada nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.

(Continua)



d) Fevereiro de 1989



c) Janeiro de 1989

Fig. 5.1 - Conclusão.

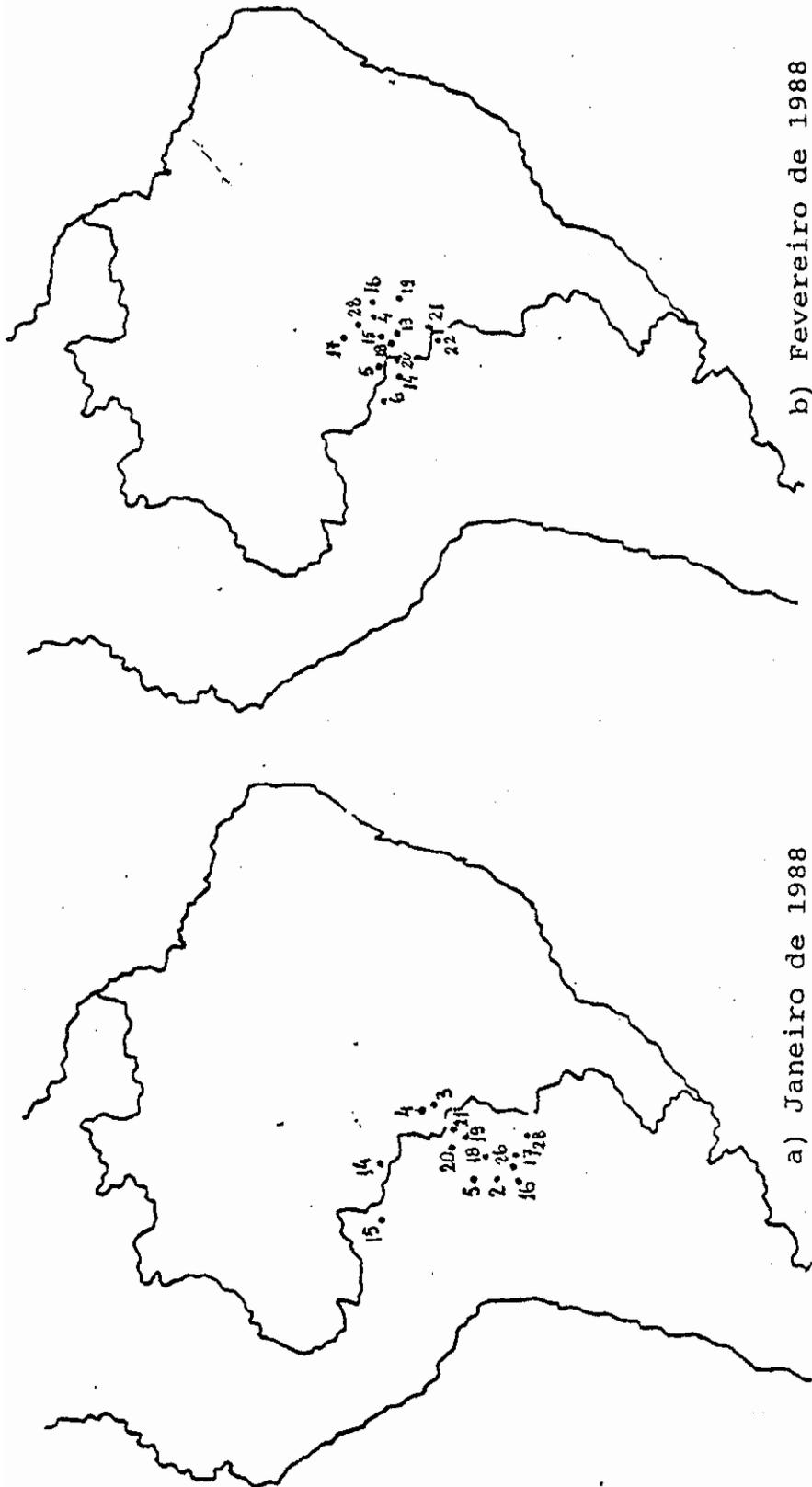
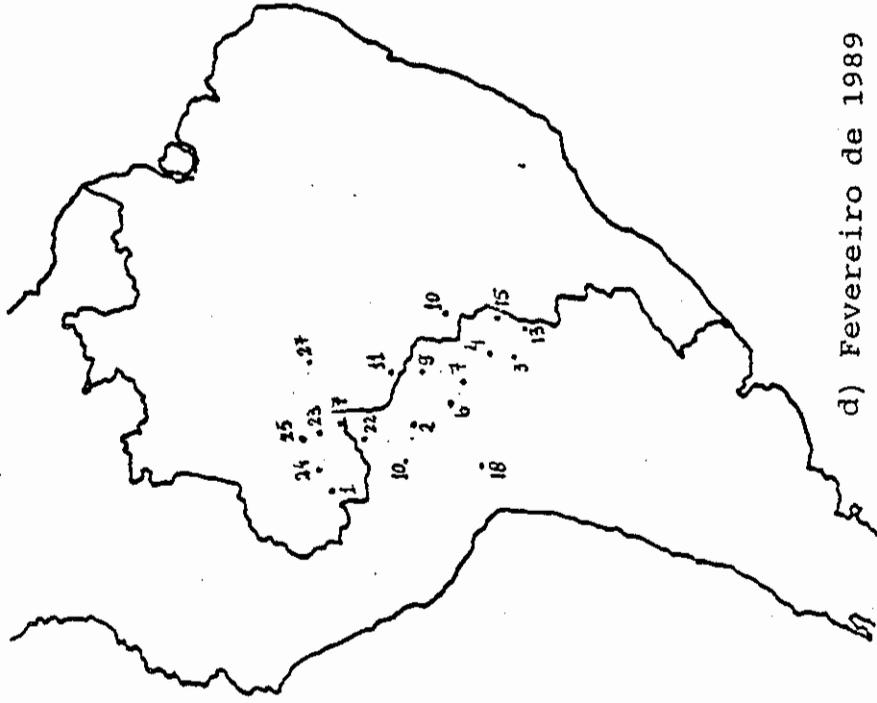
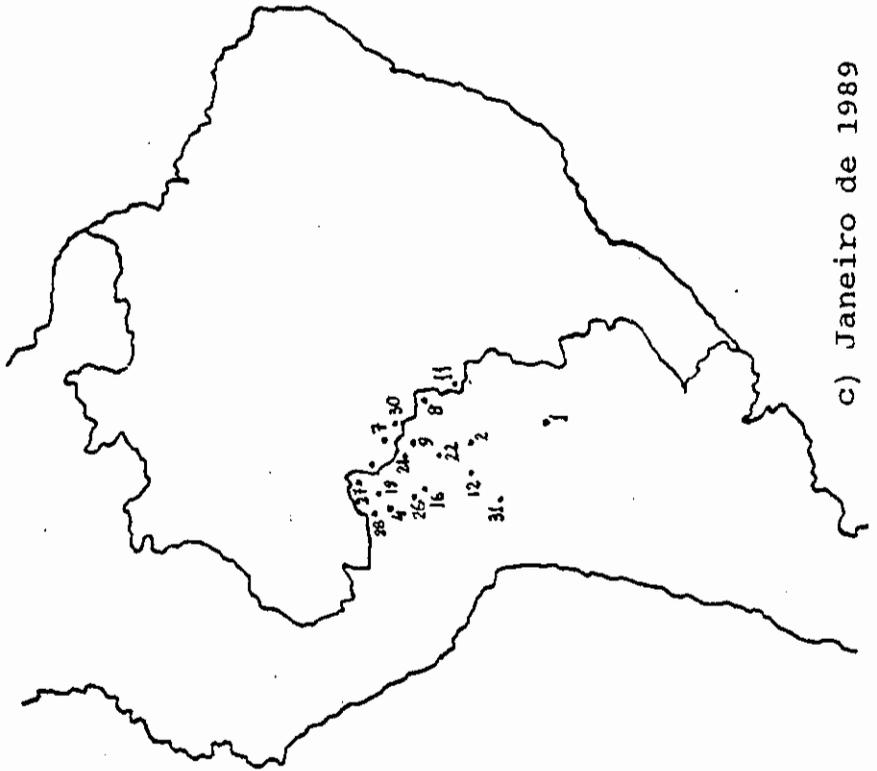


Fig. 5.2 - Posições aproximadas do centro da alta da Bolívia, estimadas através da nebulosidade nas imagens de satélite, para os meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.

(Continua)



d) Fevereiro de 1989



c) Janeiro de 1989

Fig. 5.2 - Conclusão.

5.1.2 - ANÁLISE DOS PERÍODOS DE INVERNO

No período de inverno de 1988, observou-se que nos meses de julho e agosto os sistemas frontais deslocaram-se sobre a região do Rio Grande do Sul com fraca atividade convectiva associada a eles. Os sistemas frontais ao se aproximarem do RS e Uruguai enfraqueciam ou se desviavam para o oceano. No mês de junho de 1988 a situação é típica de inverno, com sistemas frontais ativos cruzando a região, acompanhados de convecção.

Através de imagens de satélite e de cartas de vento em altitude, observou-se sobre o RS o predomínio de cristas nos meses de julho e agosto. As correntes de jato estiveram posicionadas entre 30° e 45°S de latitude, mais ao sul do que em junho, quando se posicionaram entre 35° e 25°S.

No período de outono-inverno de 1989, ocorreu situação semelhante à do inverno de 1988. Observou-se que nos meses de maio e junho os sistemas apresentaram-se com fraca atividade, associados a pouca convecção. Estes enfraqueciam ao se aproximarem da região compreendida pelo RS. Apesar de o mês de julho de 1989 apresentar características semelhantes aos dois meses anteriores, ocorreram eventos nos quais os sistemas frontais eram ativos.

O escoamento em altos níveis não apresentou características anômalas marcantes entre os três meses, tendo as correntes de jato se posicionado em latitudes subtropicais nos três meses de 1989.

Para desenvolver o estudo sinótico neste trabalho, optou-se pela análise dos verões de 1988 e 1989 devido ao fato de que, nas análises iniciais anteriormente descritas, foram observadas características mais evidentes de um padrão atmosférico para a situação de verão. Também foi considerado o fato de anomalias negativas de precipitação estarem mais propensas a ocasionar deficiência de chuva pronunciada devido às condições de verão. Estes dois períodos apresentaram características semelhantes, com desvios positivos no mês de janeiro e desvios negativos intensos no mês de fevereiro.

5.2 - ANÁLISE DIAGNÓSTICA DOS VERÕES DE 1988 E 1989

5.2.1 - ANÁLISE SINÓTICA DO VERÃO DE 1988

Em janeiro de 1988 é observado nas pântadas dos dias 1 a 5 e 6 a 10 do campo de geopotencial em 500hPa (Figura 5.3 a e b) a presença de um cavado sobre o Atlântico, com o seu eixo alinhado sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Há também a presença de uma crista sobre o sudoeste da América do Sul, que permaneceu semi-estacionária neste período em torno de 100°W . No Pacífico observa-se a presença de um cavado. Nas respectivas pântadas do campo de vorticidade relativa (VR) em 200hPa (Figura 5.4 a e b) há a presença de uma área de VR negativa associada ao cavado do Atlântico que se estende pelo Brasil ao sul de 20°S (Figura 5.4b), bem como a presença de áreas de VR positiva estendendo-se sobre o Pacífico e oeste da América do Sul ao sul de 10°S , e sobre o Atlântico, as quais estão associadas às cristas no campo de geopotencial. No campo de advecção de vorticidade (AV) em 200hPa (Figura 5.5a e b) para as duas primeiras pântadas deste mês, aparece AV negativa sobre os cavados do Atlântico e do Pacífico. Na pântada de 11-15 observa-se advecção de vorticidade negativa no interior da Argentina.

No início do mês foi identificada nas imagens de satélite a presença de um sistema frontal sobre a Região Sudeste do Brasil. Também foi identificada, posteriormente, a formação da banda de nebulosidade convectiva associada à ZCAS entre os dias 7 e 10, como consequência do estacionamento de um sistema frontal sobre a Região Sudeste do Brasil no dia 6. O cavado sobre o Atlântico e a crista sobre a América do Sul, observados em altos níveis no campo de geopotencial, apresentam-se como um padrão associado à ZCAS.

No campo de movimento vertical (MV) em 500hPa, observa-se na pântada de 1-5 (Figura 5.6 a) um núcleo de máximo MV subsidente sobre a Argentina e Uruguai. MV ascendente é observado sobre a região sudeste do Brasil. Na pântada de 6-10 (Figura 5.6b) persiste o MV ascendente sobre o sudeste do Brasil e movimento subsidente na Argentina e Uruguai.

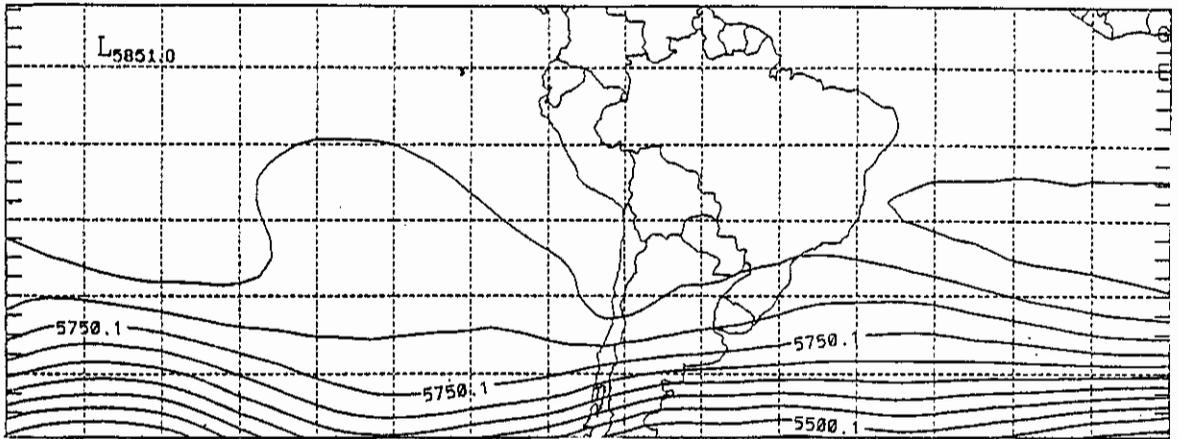
Na pântada de 11-15 no campo de geopotencial em 500hPa (Figura 5.3c) o cavado sobre o leste da América do Sul não está mais presente porém, ainda persistem a alta no Atlântico e o cavado sobre o Pacífico. Na Figura 5.4c a área de VR positiva estende-se sobre a América do Sul e sobre o Atlântico. Na pântada de 11-15 (Figura 5.6c) movimento ascendente intensifica-se sobre a Argentina enquanto que movimento subsidente aparece sobre o sudeste do Brasil e Atlântico. Neste período sobre a Argentina há uma área de convergência em 850hPa (Figura 5.7c), que coincide com a área de movimento ascendente. Durante esta pântada foi observado nas imagens de satélite o deslocamento sobre a Argentina e Sul do Brasil de um sistema frontal, com significativa nebulosidade convectiva.

As configurações no campo de geopotencial mudam na pântada de 16-20 (Figura 5.3 d), pois o padrão que estava associado à ZCAS, presente nas pântadas anteriores, se desfez com a presença de um cavado sobre o oeste da América do Sul e o posicionamento da crista sobre o Brasil e Atlântico. Sobre o Pacífico começa o desenvolvimento de um cavado em 90°W . Na Figura 5.4d a área de VR positiva associada à crista estende-se do Pacífico ao Atlântico entre 15° e 35°S . área de VR negativa aparece ao sul de 35°S sobre o Pacífico e América do Sul.

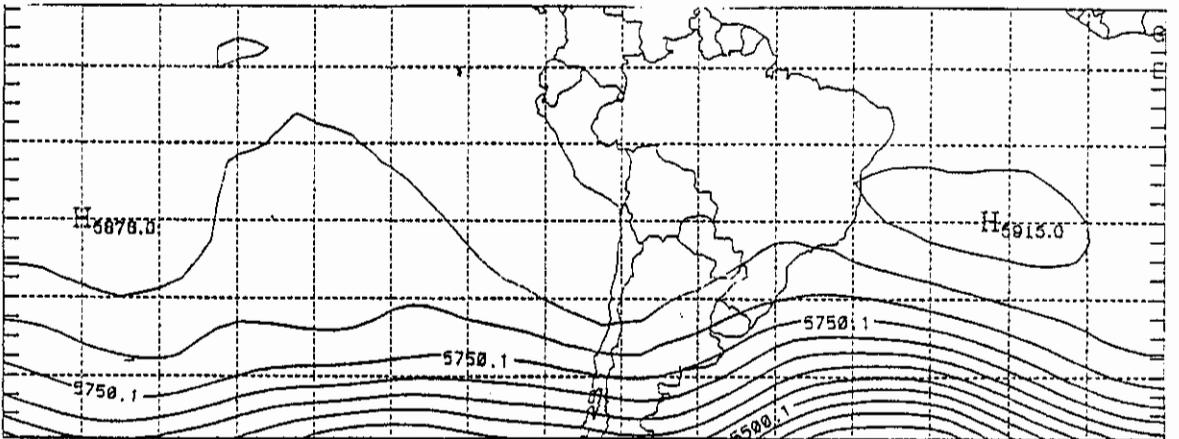
Novamente neste período é observado nas imagens de satélite o deslocamento de um sistema frontal sobre o sul do Brasil, com significativa atividade convectiva. Durante este período, o campo de MV em 500hPa (Figura 5.6d) apresenta área de MV ascendente sobre o sudeste do Brasil a qual se estende pelo Atlântico. Movimento ascendente também aparece sobre o oeste da Argentina. No campo de divergência em 850hPa (Figura 5.7d), um núcleo de máxima convergência é observado na Argentina na região de MV ascendente.

Na pântada de 21-25 (Figura 5.3e) o cavado do Pacífico deslocou-se para oeste da América do Sul, enquanto que, a alta anteriormente sobre o Brasil deslocou-se para o Atlântico. Na pântada seguinte (Figura 5.3f), surge outro cavado no Pacífico em torno de 90°W . Por outro lado, a configuração sobre a América do Sul permaneceu estacionária. No campo de VR em 200hPa, nestas duas últimas pântadas (Figura 5.4e e f), a área de VR positiva permanece caracterizada semelhante a da pântada de 16 a 20, estendendo-se desde o Pacífico até o Atlântico e área de VR negativa ao sul de 35°S . As pântadas (16-20, 21-25 e 26-30) do campo de AV em 200hPa na Figura 5.5d, e e f, apresentam um aspecto transiente ao sul de 30°S , com alternância de áreas de AV positiva e negativa.

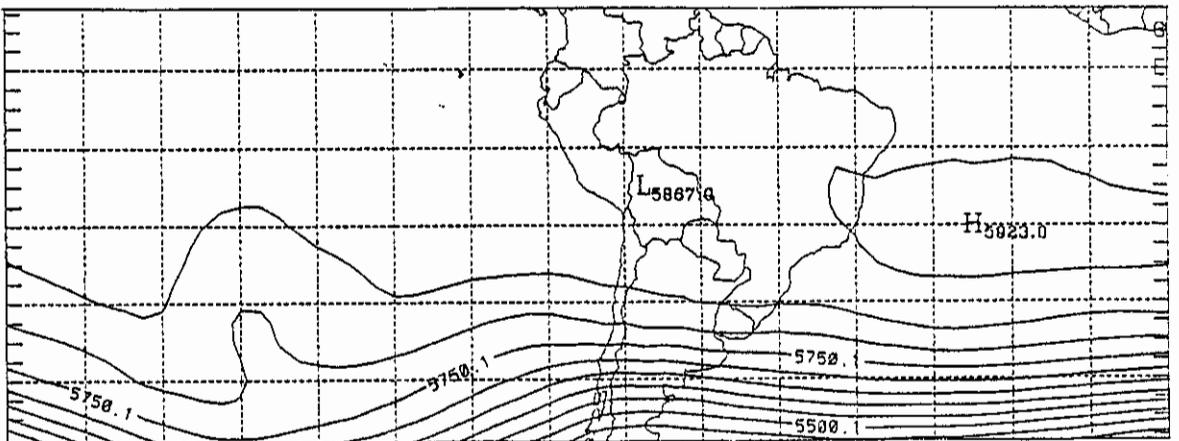
O campo de MV em 500hPa apresenta na pântada de 21-25 (Figura 5.6e) subsidência que se estende pelo centro da Argentina e Uruguai e, MV ascendente aparece sobre o Atlântico à leste do Rio Grande do Sul. Ao mesmo tempo, sobre esta região há DIV negativa (convergência) fraca em 850hPa (Figura 5.7e). Foi observado neste período, nas imagens de satélite, o deslocamento de um sistema frontal, acompanhado de atividade convectiva sobre o sul do Brasil e regiões vizinhas.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

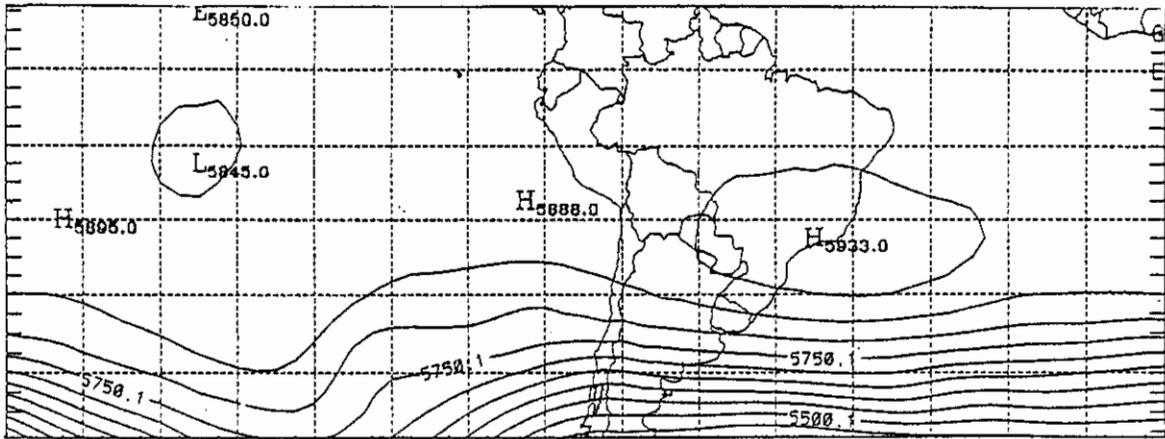


c) Pêntada de 11-15

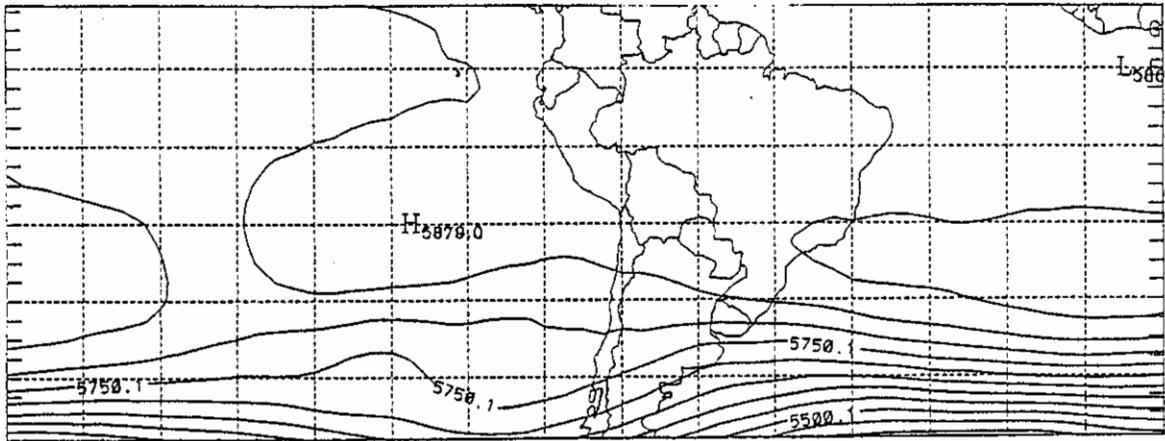
Fig. 5.3 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para janeiro de 1988.

- Intervalos de 50mgp.

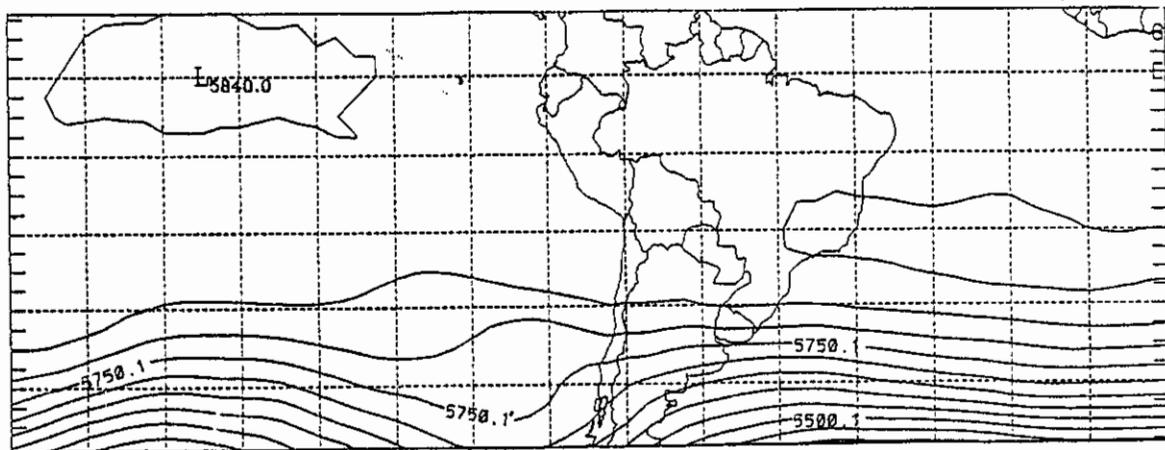
(continua)



d) Pêntada de 16-20

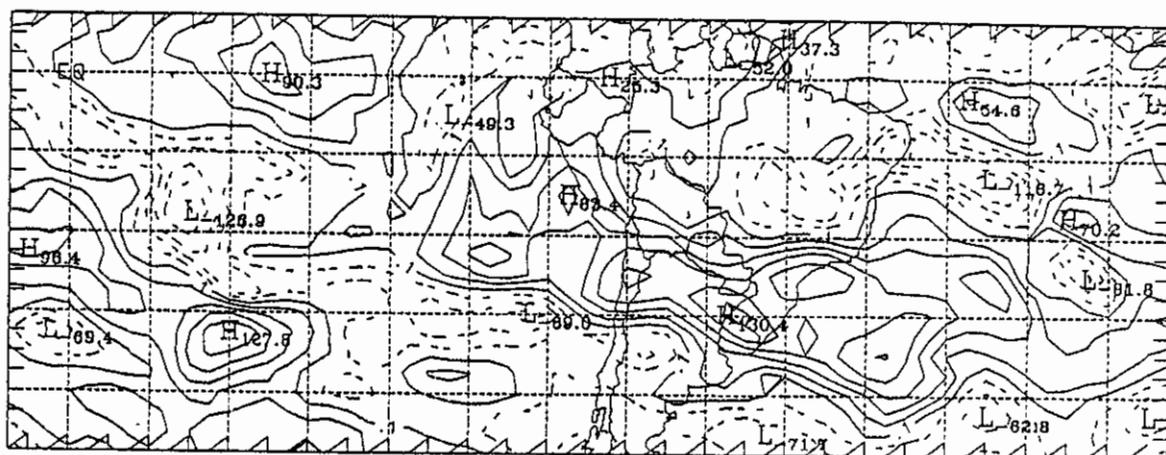


e) Pêntada de 21-25

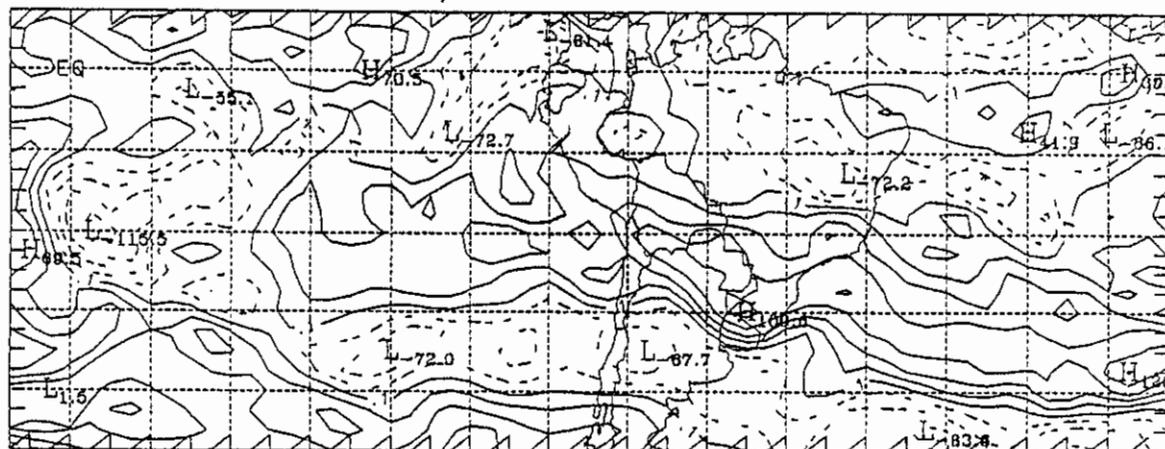


f) Pêntada de 26-30

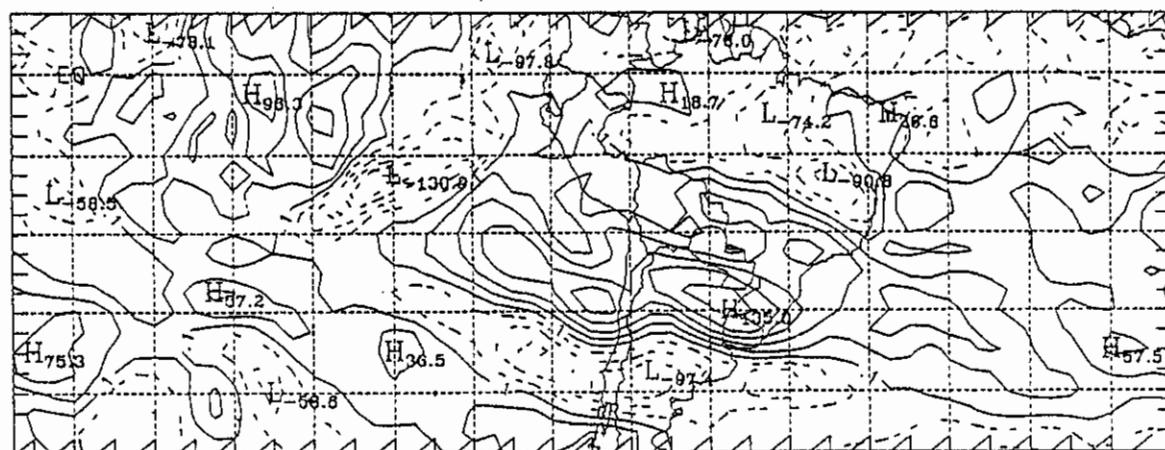
Fig. 5.3 - Conclusão.



d) Pêntada de 16-20

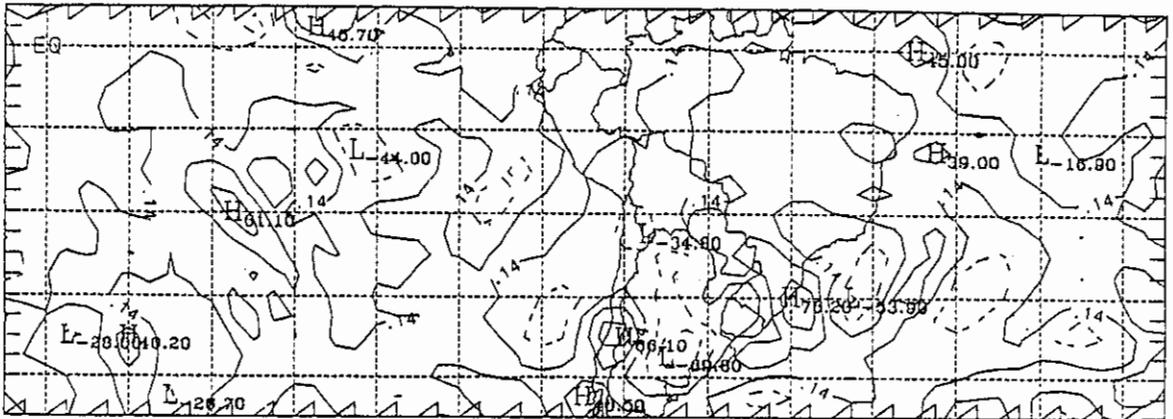


e) Pêntada de 21-25

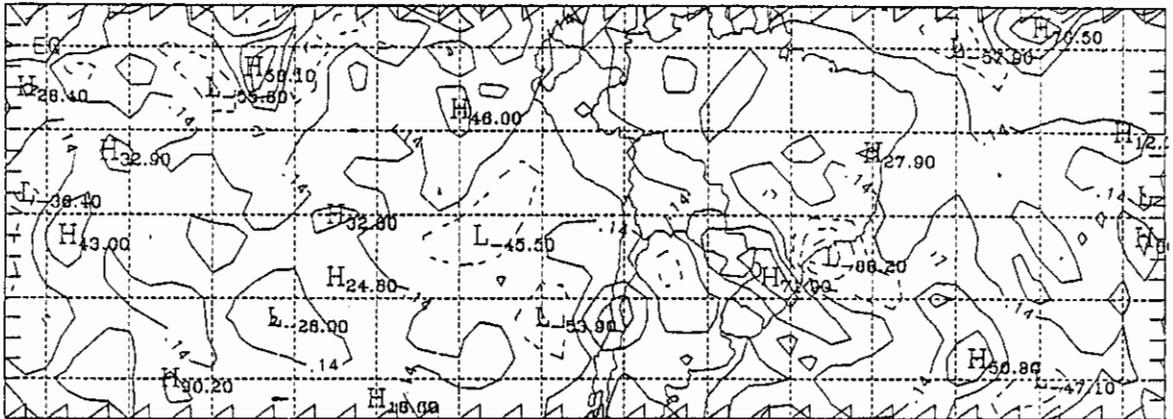


f) Pêntada de 26-30

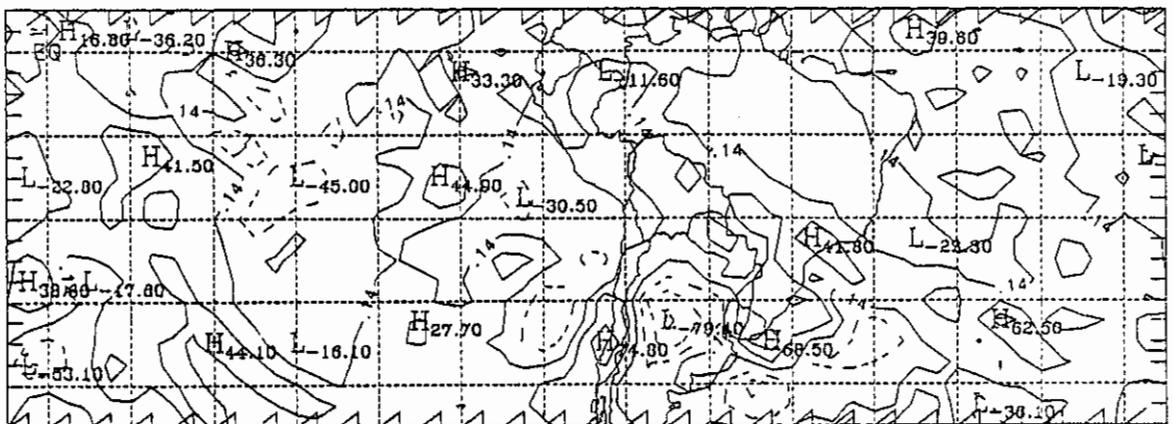
Fig. 5.4 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

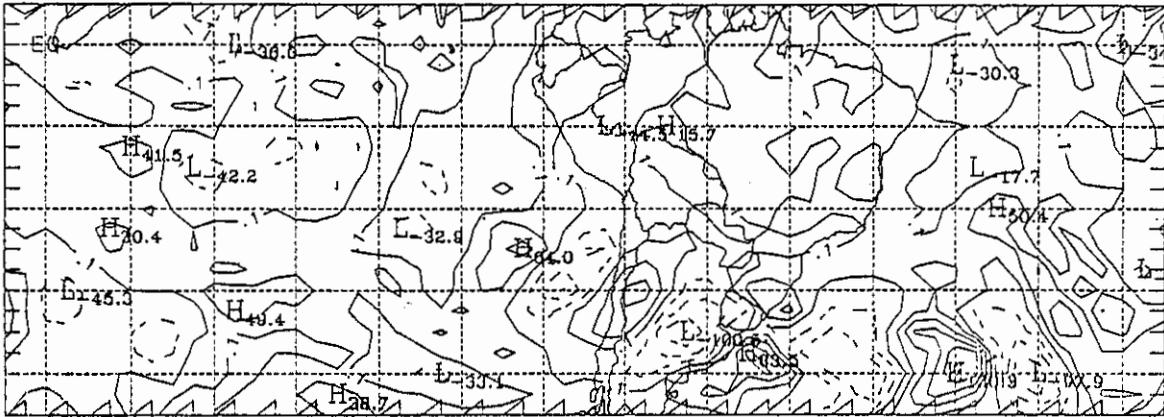


c) Pêntada de 11-15

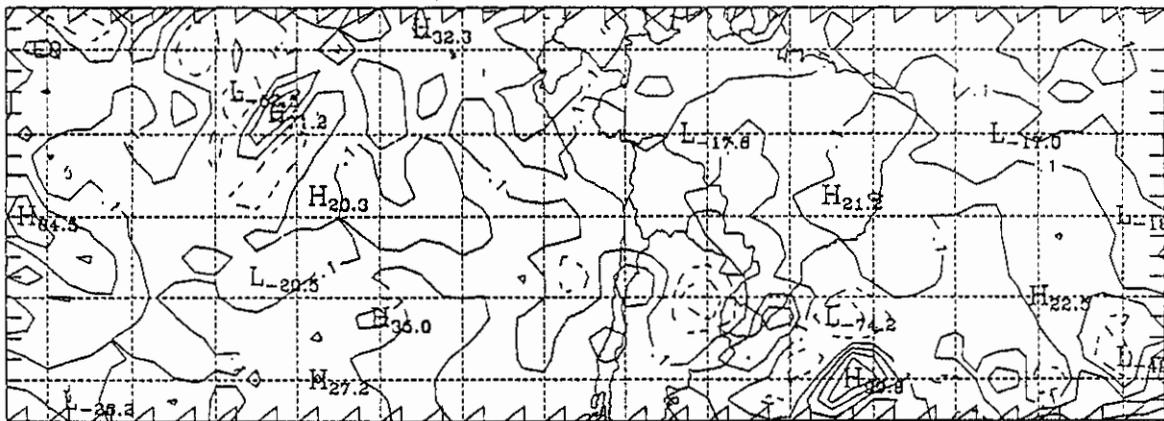
Fig. 5.5 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para janeiro de 1988.

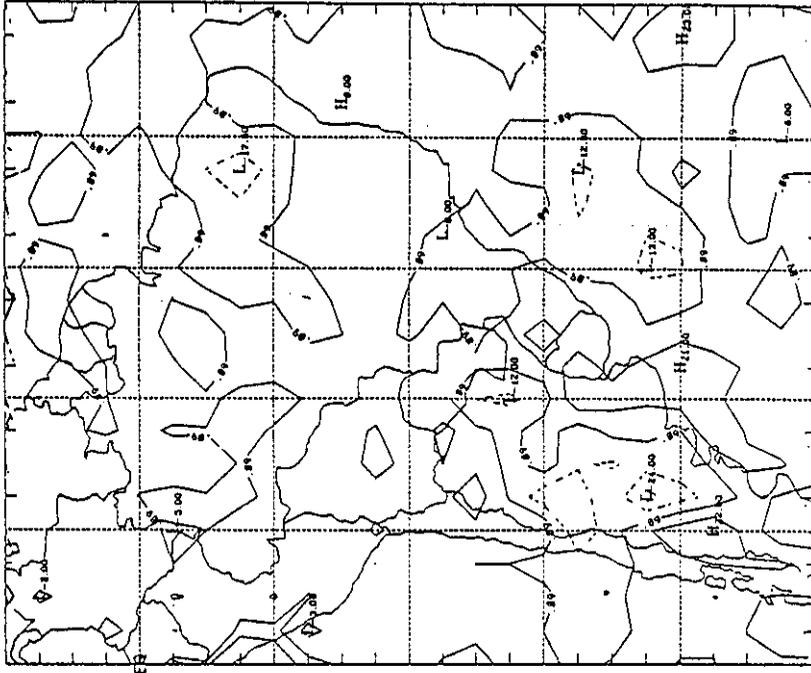
- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

(continua)

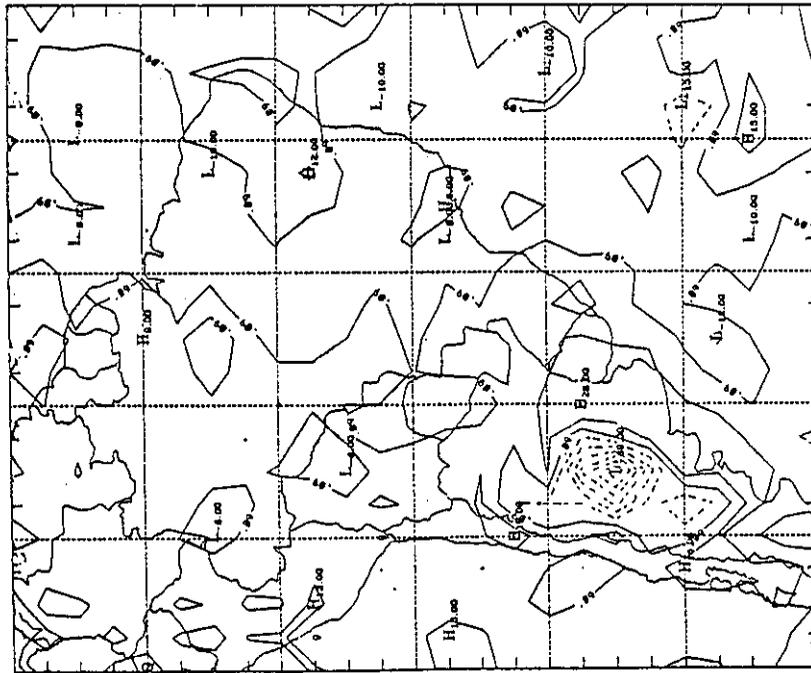


d) Pêntada de 16-20



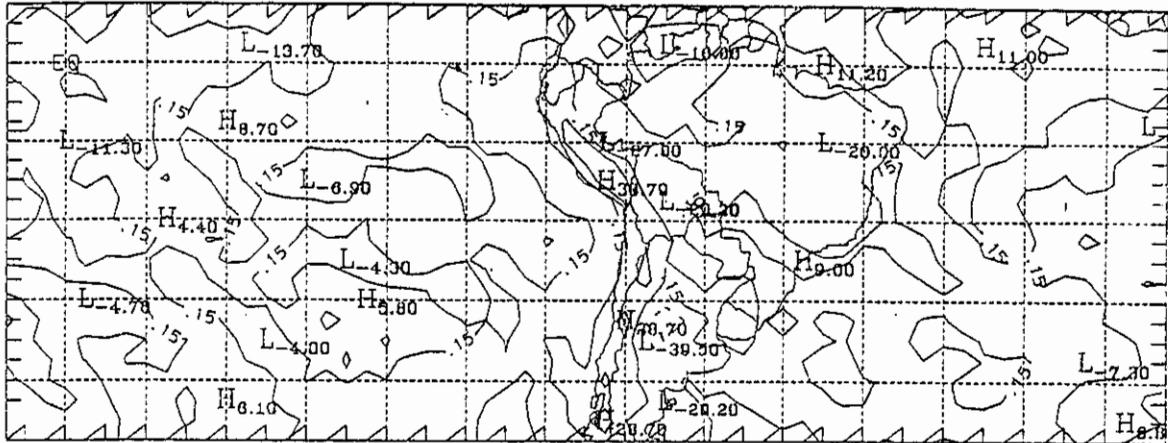


d) Pêntada de 16-20

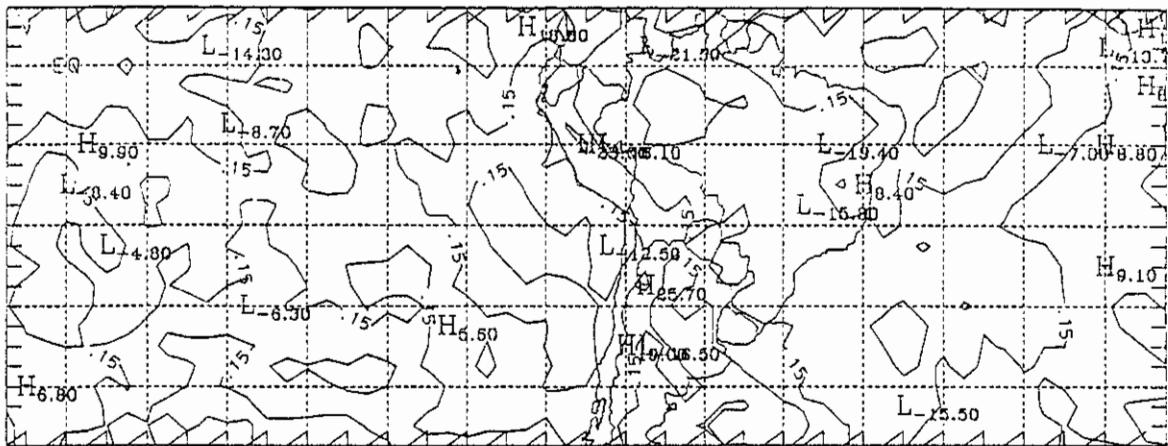


c) Pêntada de 11-15

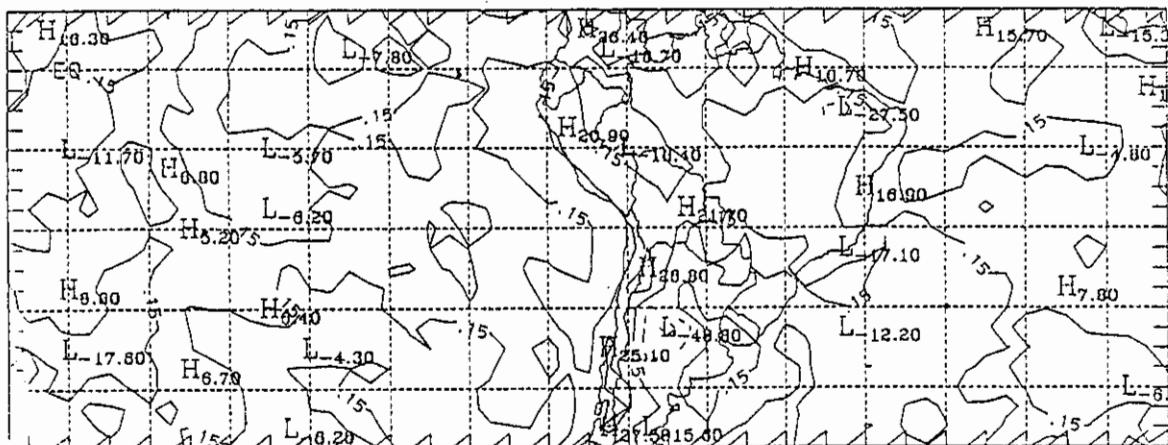
Fig. 5.6 - Continuação.
(continua)



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10



c) Pêntada de 11-15

Fig. 5.7 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para janeiro de 1988.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

(continua)

Em fevereiro de 1988, a configuração descrita anteriormente, observada no campo de geopotencial a qual esteve associada à ZCAS, apresentou-se melhor definida e persistente. Na pântada de 1-5 no campo de geopotencial em 500 hPa (Figura 5.8a), observa-se um cavado na Região Sul do Brasil, associado ao deslocamento de um sistema frontal, observado nas imagens de satélite. No Pacífico é observado um cavado em torno das longitudes de 130° - 110° W. No campo de VR em 200hPa observa-se extensa área de VR negativa ao sul de 30° S associada ao cavado e VR positiva ao norte que estende-se até o Atlântico, associada à crista no campo de geopotencial em 500hPa. A pântada do campo de ADV (Figura 5.10a) destaca um núcleo de ADV positiva sobre o Chile em 30° - 35° S e dois núcleos negativos sobre o sudeste do Brasil e Atlântico Sul.

O campo de MV em 500hPa (Figura 5.11) apresenta MV subsidente sobre o Região Sul do Brasil com núcleo máximo sobre o nordeste da Argentina e Uruguai. Este núcleo se posiciona à oeste do cavado em altitude, enquanto a leste deste, sobre o Atlântico, aparece MV ascendente. Um pequeno máximo de MV ascendente aparece também na Argentina. Em 850hPa, no campo de divergência (Figura 5.12a), áreas de DIV negativa e positivas são observadas coincidindo com as respectivas áreas de MV ascendente e descendente descritas anteriormente.

No início do mês, é observado nas imagens de satélite que um sistema frontal que passou pelo Rio Grande do Sul no dia 29 de janeiro (Figura 5.13a) encontra-se estacionado na Região Sudeste do Brasil, o que resultou na formação da faixa de nebulosidade convectiva associada à ZCAS que permanece caracterizada entre os dias 3 a 12. Estando à ZCAS formada, pode ser observado na seqüência de imagens de satélite, na Figura 5.13b,c e d, que um sistema frontal cruza o Rio Grande do Sul por volta

do dia 4, apresentando pouca atividade convectiva, e que se associou à ZCAS no dia 5. O cavado associado à ZCAS neste episódio pode ser observado na pântada de 6-10 (Figura 5.8b); observa-se que ele tem seu eixo orientado no sentido de noroeste-sudeste, centrado na Região Sul do Brasil, estendendo-se pelo interior do continente. Observa-se também uma crista centrada sobre o Atlântico. O Rio Grande do Sul fica sobre a influência da região oeste do cavado. No Pacífico, o cavado descrito na pântada anterior se intensifica adquirindo orientação noroeste-sudeste, centrado em 140° - 110° W.

Na pântada de 11-15 (Figura 5.8c), o cavado no Pacífico deslocou-se ligeiramente para leste. Houve uma bifurcação com configuração semelhante a um bloqueio próximo da costa oeste da América do Sul. O cavado sobre a América do Sul persiste, porém desintensificando-se, indicando mudanças na ZCAS, A crista ainda permanece posicionada sobre o Atlântico. O campo de VR em 200hPa (Figura 5.9b) persiste com relação à pântada anterior, exceto que o núcleo de VR negativa associada ao cavado deslocou-se para o norte da Argentina e Paraguai. No Pacífico também aparece uma área de VR negativa na região do cavado e a área de VR positiva sobre o Atlântico continua presente. Na pântada seguinte (Figura 5.9c) este padrão se descaracteriza, permanecendo ainda o núcleo de VR máxima no norte da Argentina. A área de VR positiva associada à crista sobre o Atlântico apresenta-se enfraquecida. AV em 200hPa (Figura 5.10c) mostra intenso núcleo negativo no norte da Argentina e outro, menos intenso, sobre o Atlântico, associado ao enfraquecimento da alta no campo de VR.

No período entre os dias 6 e 10, quando a ZCAS apresenta-se bem definida, novamente um sistema frontal cruza o Rio Grande do Sul sem atividade convectiva

entre os dias 9 e 10, conforme pode ser visto nas imagens de satélite das Figuras 5.13e e 5.13f, associando-se então com a ZCAS que permanece caracterizada até o dia 12.

A pântada de 6-10 do MV em 500hPa (Figura 5.11b) apresenta máximo de movimento ascendente sobre o sul da Região Sudeste do Brasil e sobre o Atlântico, a leste do cavado em altitude. Sobre a Argentina, Uruguai e Rio Grande do Sul, há uma área de MV subsidente fraco. MV ascendente persiste sobre a Região Sudeste do Brasil na pântada de 11-15 (Figura 5.11c).

Na pântada de 16-20 do campo de geopotencial (Figura 5.8d), o padrão de onda caracteriza-se novamente com os cavados da América do Sul e do Pacífico com aspecto de uma onda longa. Destaca-se que o cavado do Pacífico intensificou-se, continuando posicionado à oeste de 110°W , inclinando-se mais para oeste. A crista sobre o Atlântico continua presente. O campo de VR em 200hPa (Figura 5.9d) reflete o alongamento da onda observado no campo de geopotencial. A região de VR negativa sobre o Atlântico se estende até o Pacífico. Também está presente a área de VR negativa associada ao cavado do Pacífico e a área de VR positiva associada à crista encontra-se alongada entre os dois cavados mencionados. Sobre o centro da América do Sul observa-se área de vorticidade positiva.

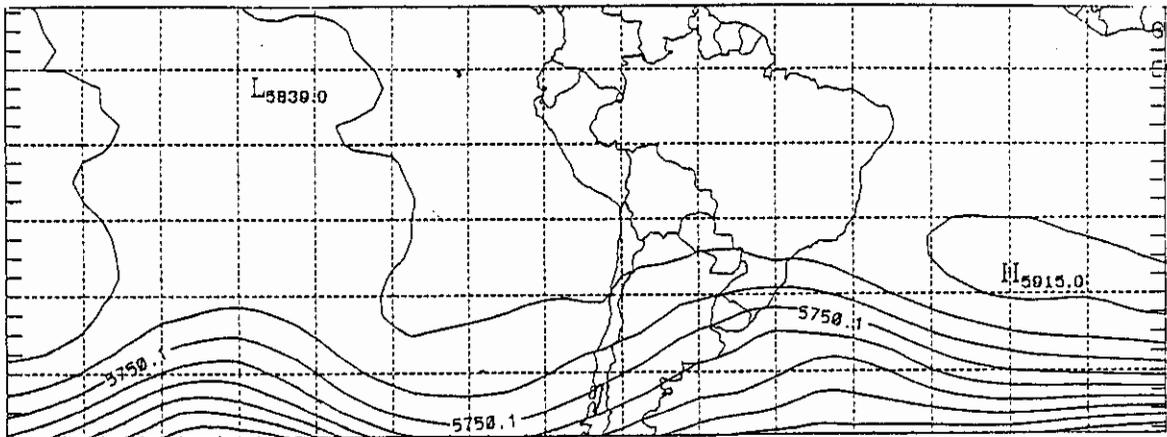
Nesta quarta pântada, na Figura 5.11d, MV subsidente máximo se apresenta sobre o centro da Argentina, estendendo-se sobre o Rio Grande do Sul, porém fraco. Movimento ascendente é observado sobre o Sudeste do Brasil e sobre o Atlântico. Novamente é observada nas imagens de satélite a presença da ZCAS, com a formação de nebulosidade convectiva entre os dias 16 e 20 a partir de

uma frontogênese associada a um vórtice ciclônico em altos níveis sobre o sudeste do Brasil.

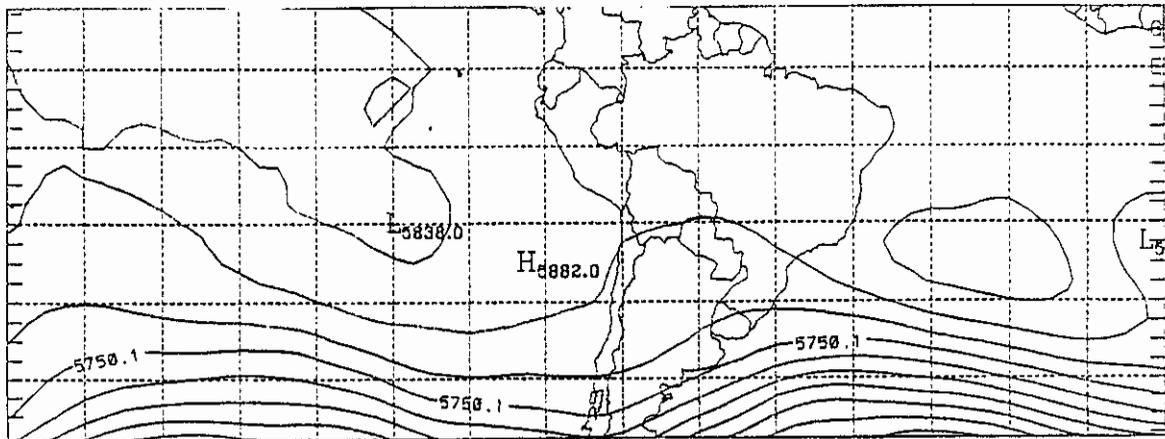
A pântada de 21-25 do campo de geopotencial (Figura 5.8e) apresenta o cavado, anteriormente sobre a América do Sul, deslocado para o Atlântico Sul, ainda orientado de noroeste à sudeste. Uma crista agora encontra-se posicionada sobre a Região Sul do Brasil. No Pacífico o cavado em 110°W permanece, enquanto outro é observado em 1110°W . O campo de VR em 200hPa (Figura 5.9e) apresenta agora áreas de máximos e mínimos intercalados, em conformidade com a configuração transiente do campo de geopotencial.

Na Figura 5.11e, MV ascendente é observado sobre a Região Sul do Brasil e sobre o Atlântico. Em baixos níveis (Figura 5.12e), DIV negativa (convergência) aparece sobre Região Sul do Brasil, estendendo-se para o Atlântico, junto à área de MV ascendente. Uma faixa de DIV positiva aparece sobre São Paulo e sobre o litoral do Brasil e Atlântico entre 10° e 20°S . Entre os dias 22 e 23 é observado nas imagens de satélite nebulosidade convectiva associada a um vórtice ciclônico sobre o Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina; e no dia 24 é observada uma frontogênese sobre a região.

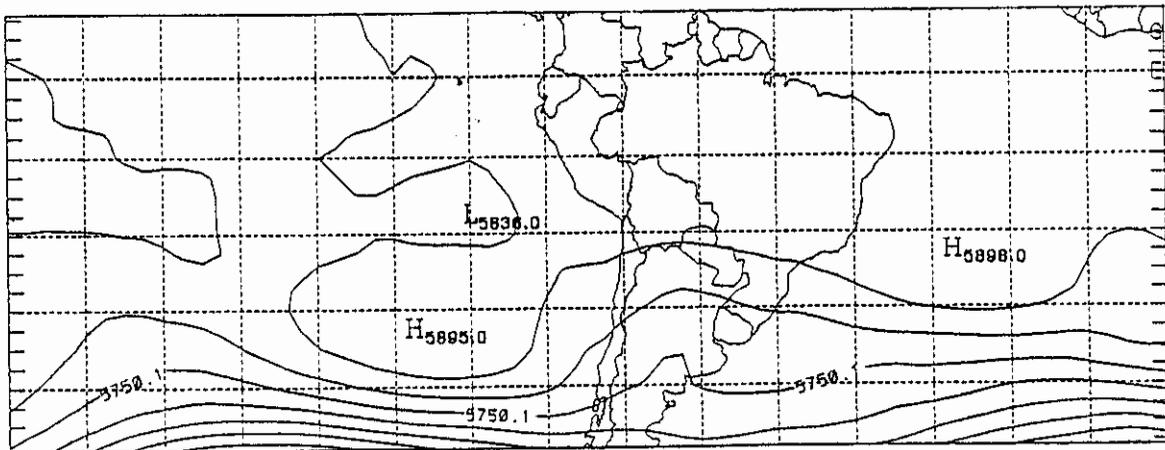
No final do mês a configuração muda, tendo o cavado do Pacífico se deslocado para oeste da América do Sul (Figura 5.8f). O campo de VR (Figura 5.9f) se mostra transiente e semelhante à pântada anterior. MV ascendente localiza-se ao norte do Rio Grande do Sul e à leste sobre o Atlântico (Figura 5.11f). Nas imagens de satélite é observada a presença de um sistema frontal semi-estacionário na Argentina.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

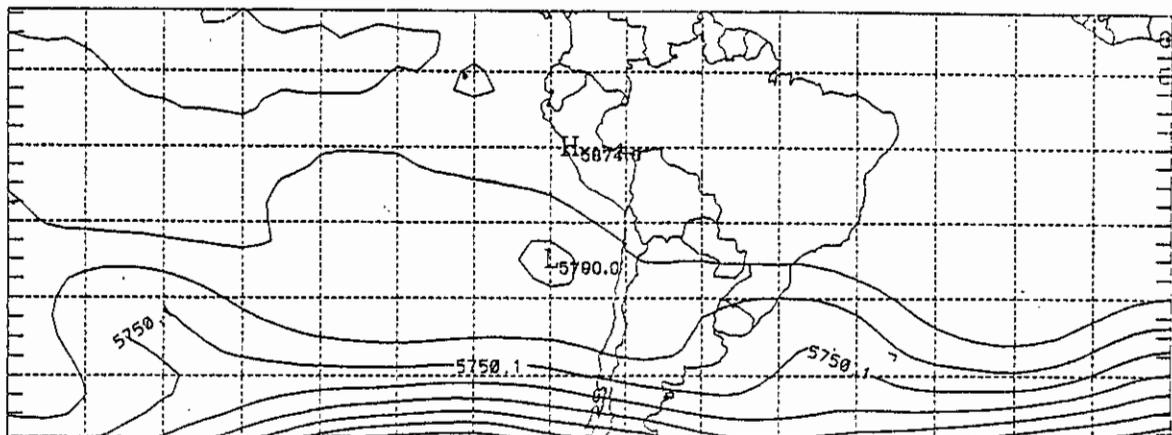


c) Pêntada de 11-15

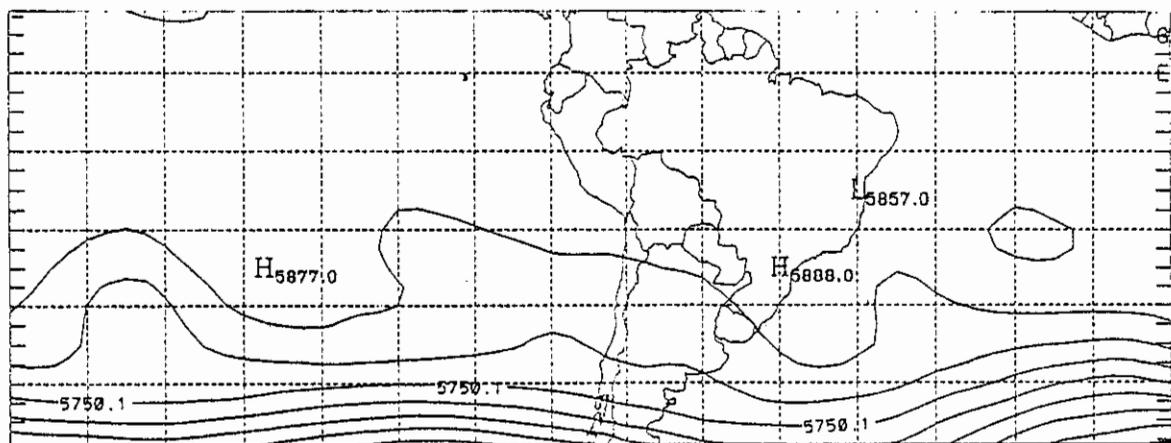
Fig. 5.8 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para fevereiro de 1988.

- Intervalos de 50mcp.

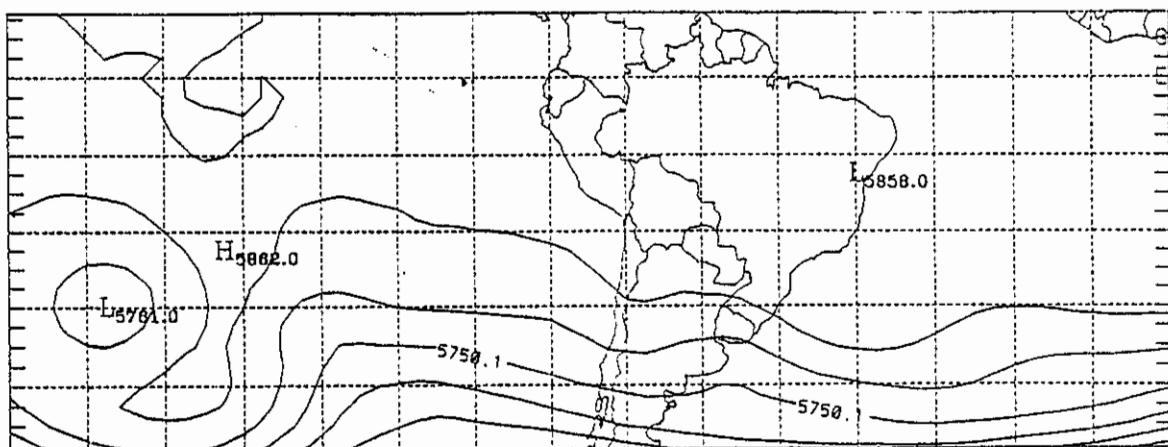
(Continua)



d) Pêntada de 16-20

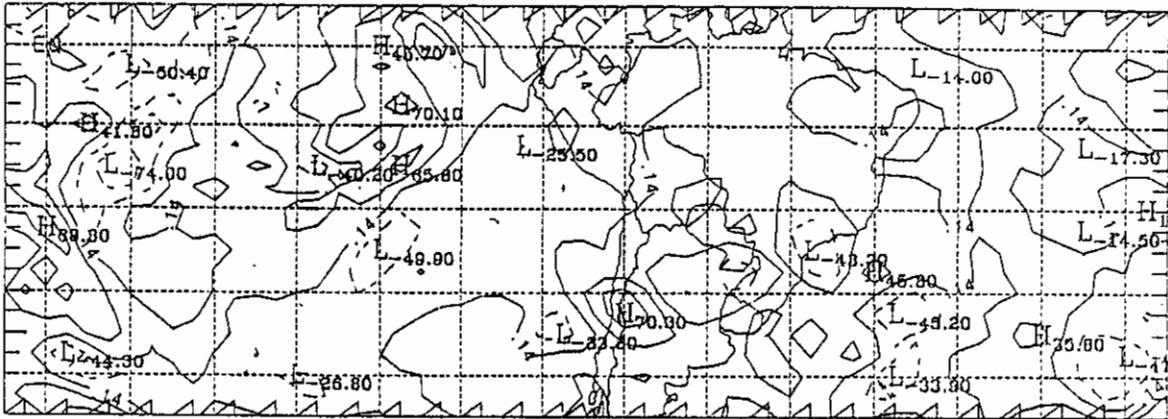


e) Pêntada de 21-25

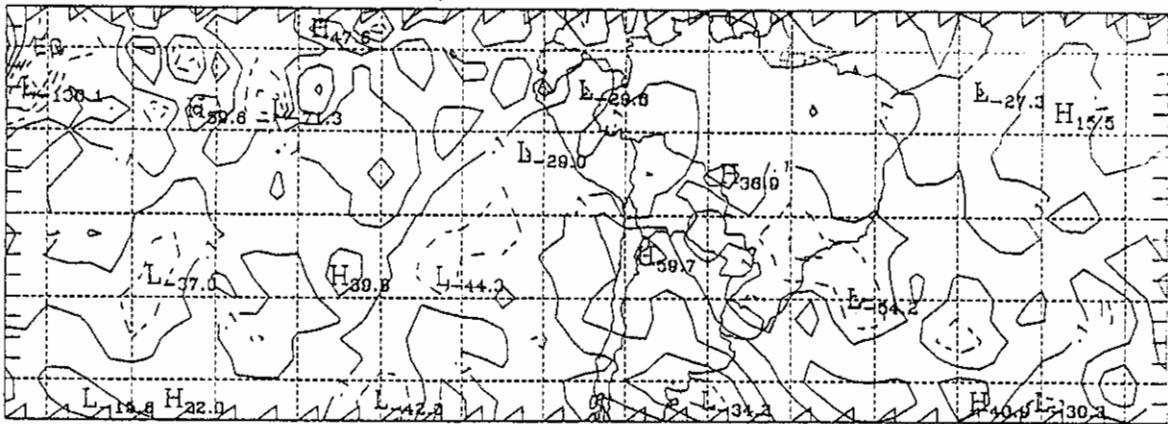


f) Pêntada de 26-29

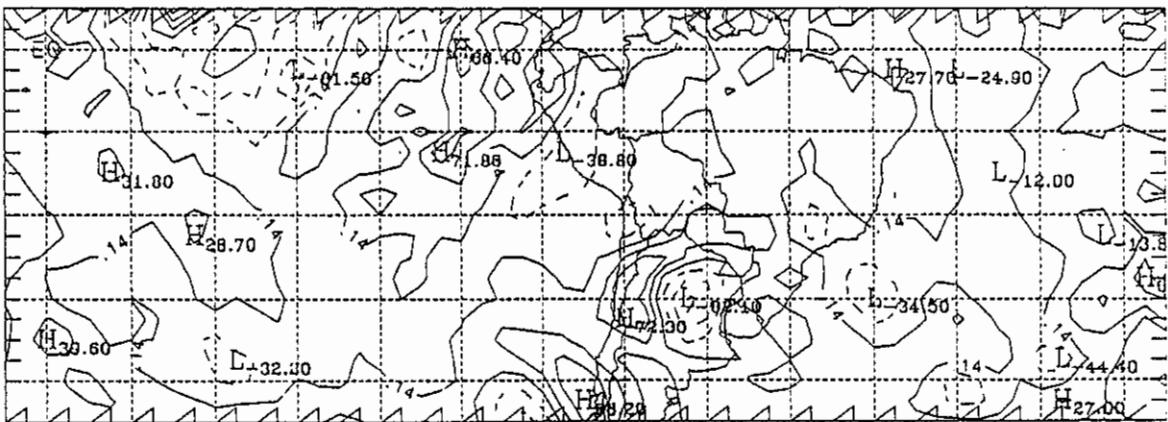
Fig. 5.8 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

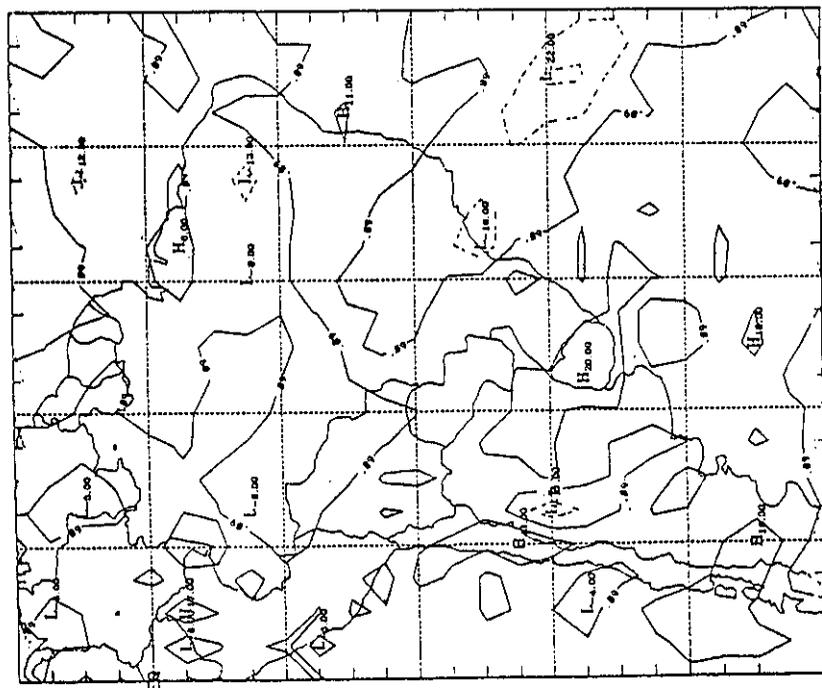


c) Pêntada de 11-15

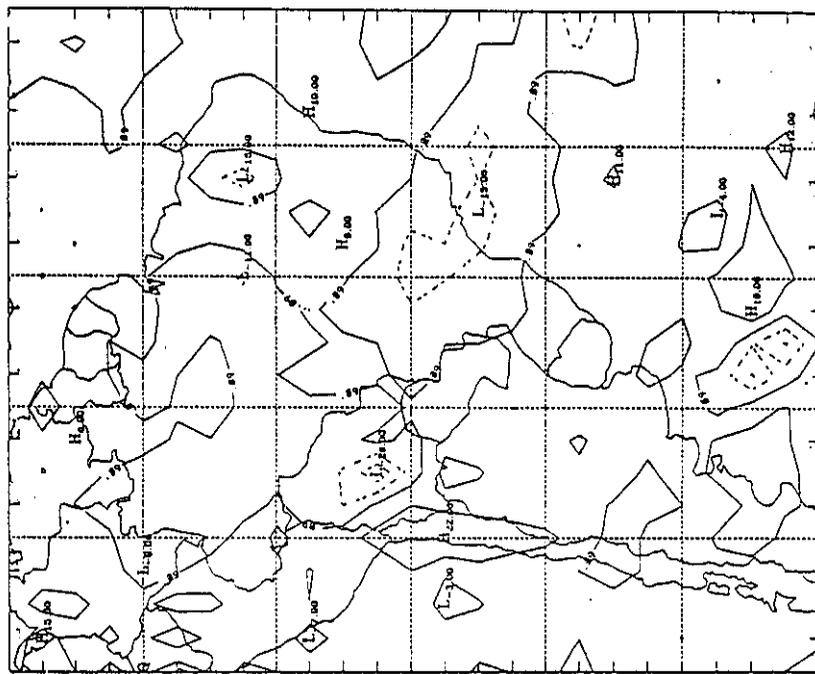
Fig. 5.10 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para fevereiro de 1988.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

(continua)



a) Pêntada de 1-5

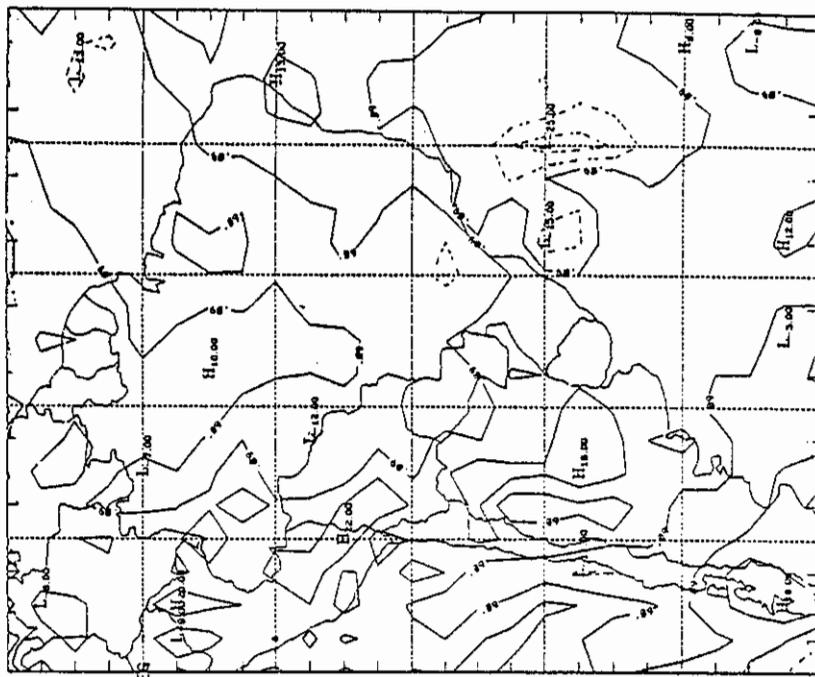


b) Pêntada de 6-10

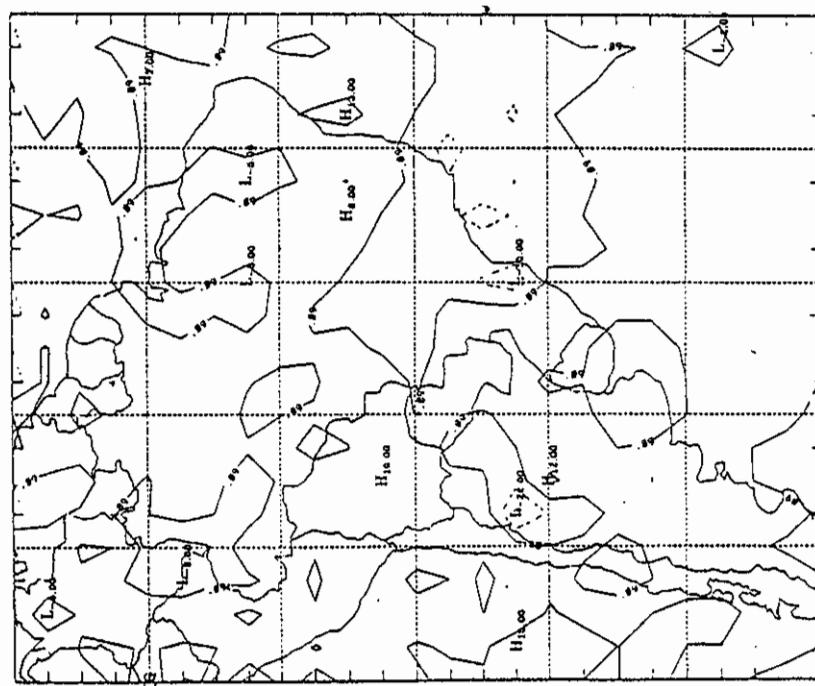
Fig. 5.11 - Pêntadas do campo de movimento vertical em 500hPa para fevereiro de 1988.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $10 \times 10^{-2} \text{ Pa.s}^{-1}$.

(continua)



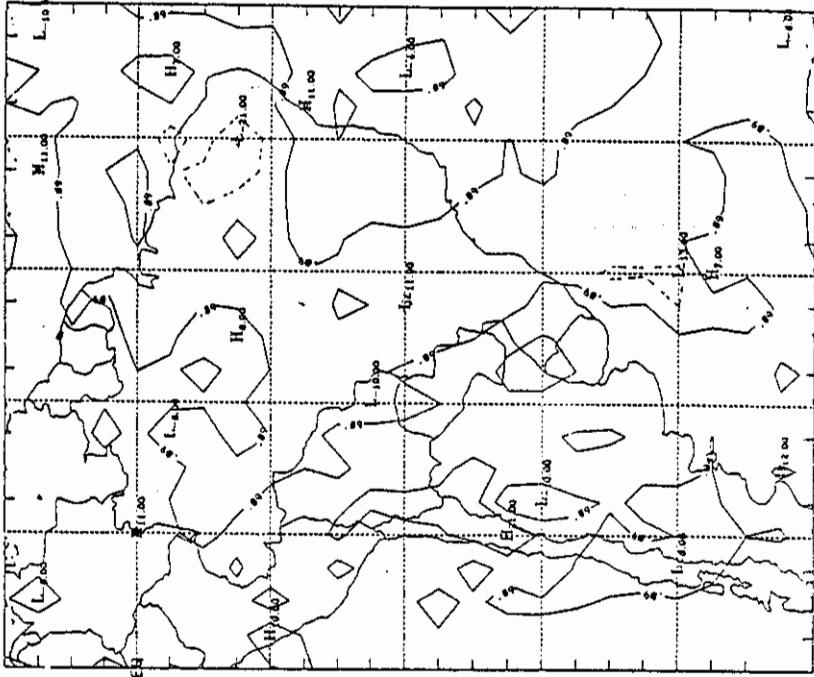
d) Pântada de 16-20



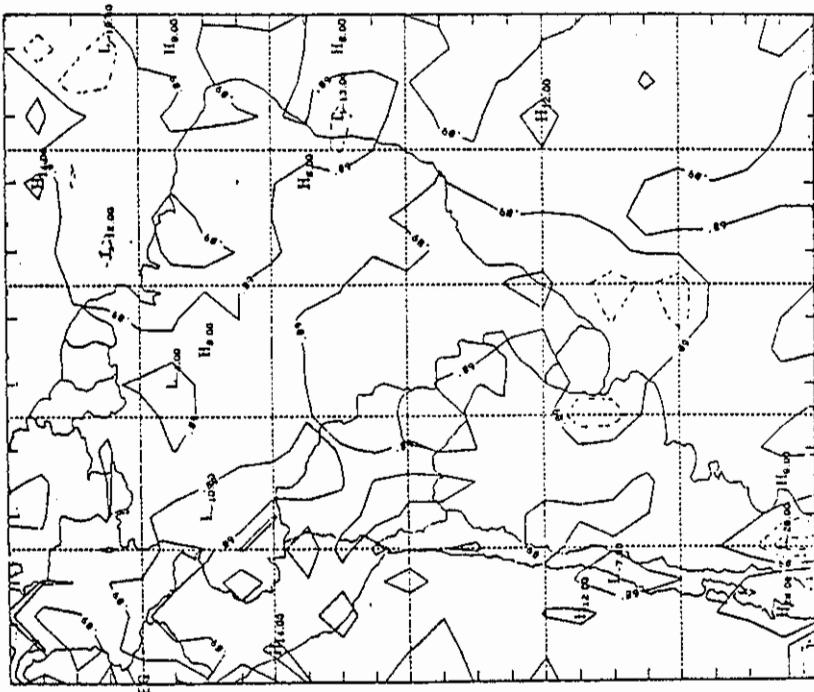
c) Pântada de 11-15

Fig. 5.11 - Continuação.

(continua)

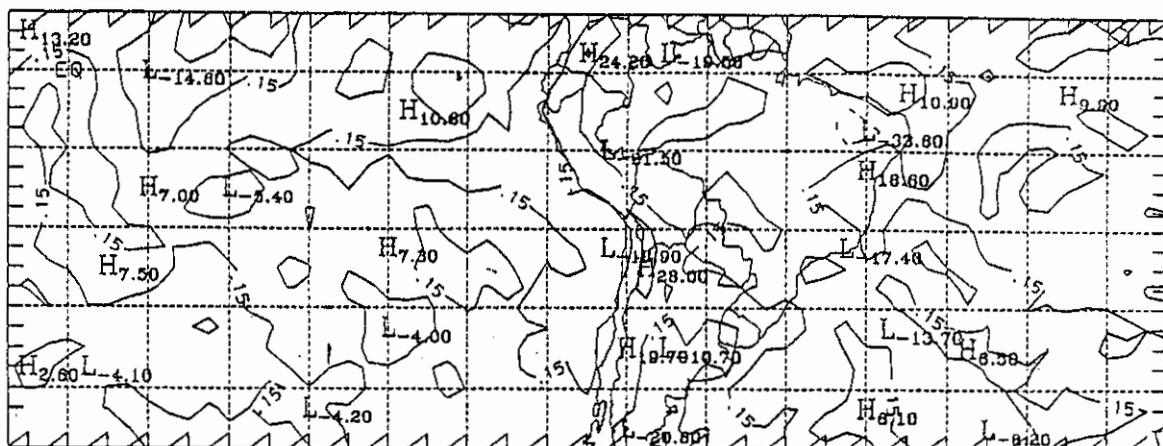


f) Pêntada de 26-29

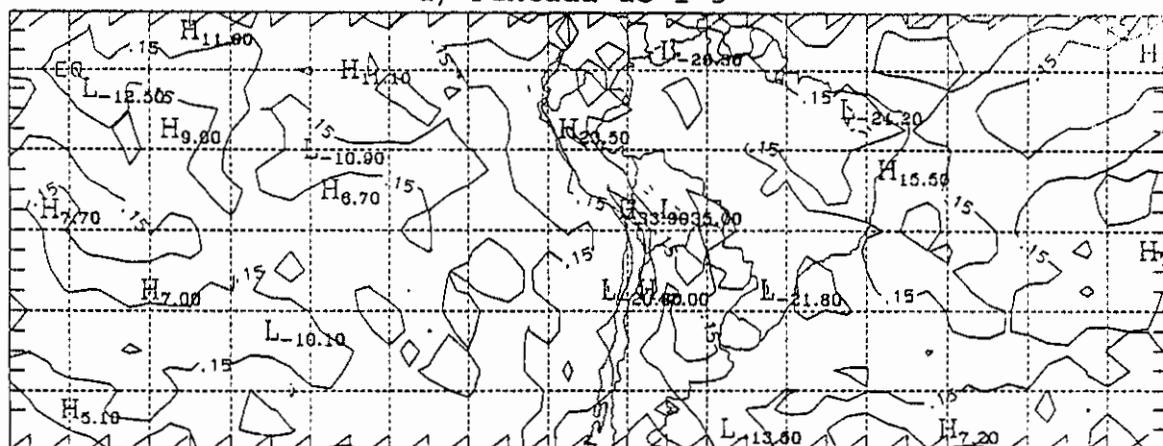


e) Pêntada de 21-25

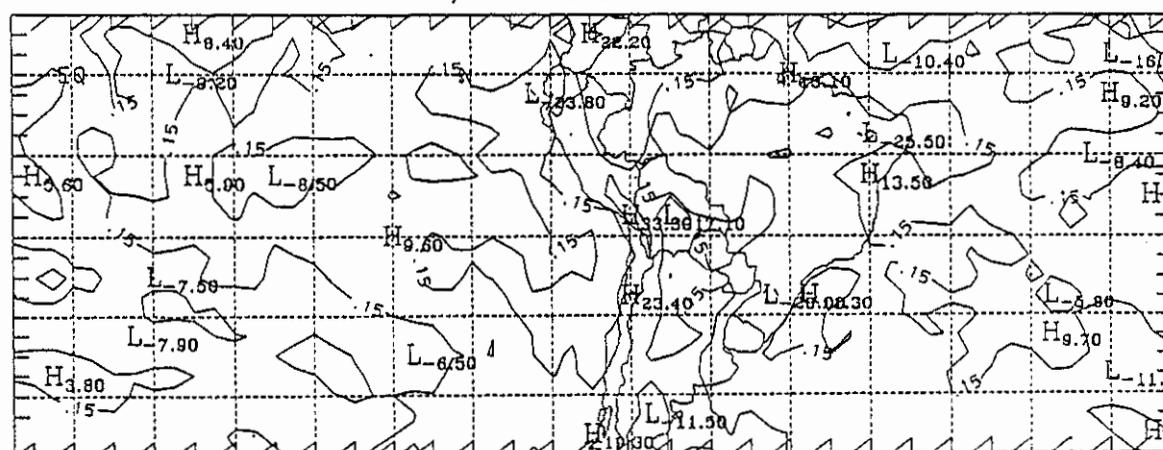
Fig. 5.11 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10



c) Pêntada de 11-15

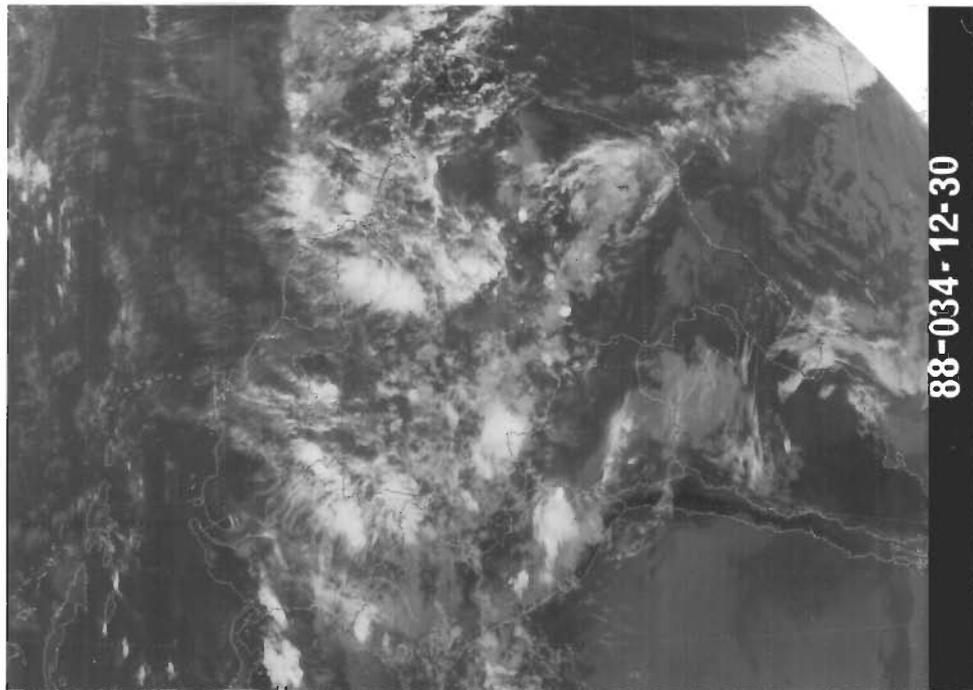
Fig. 5.12 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para fevereiro de 1988.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

(continua)



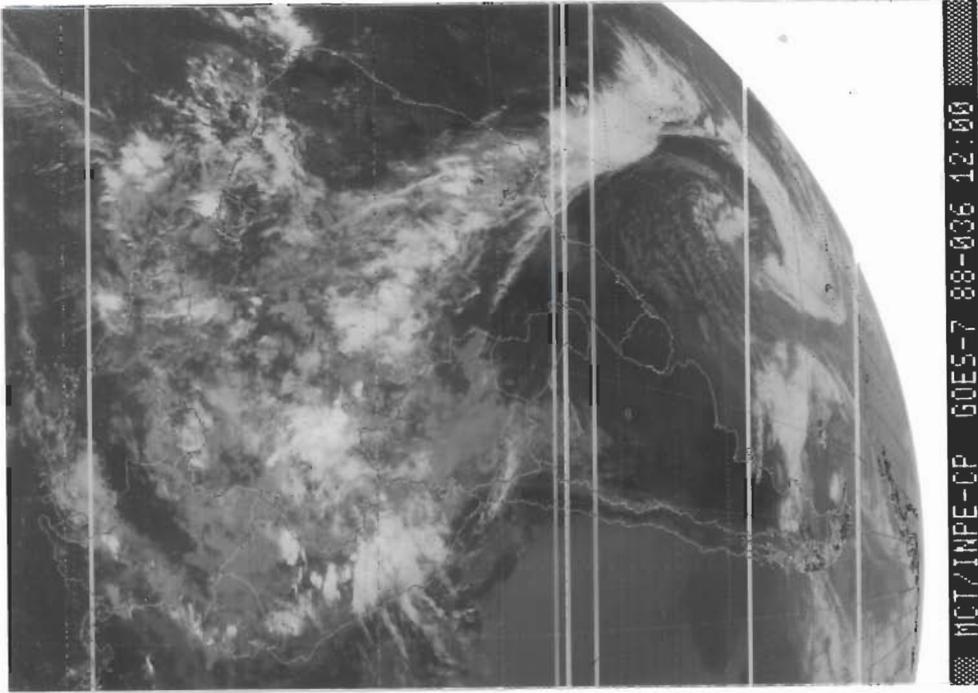
a) 29/01/88 - 12:00 TMG.



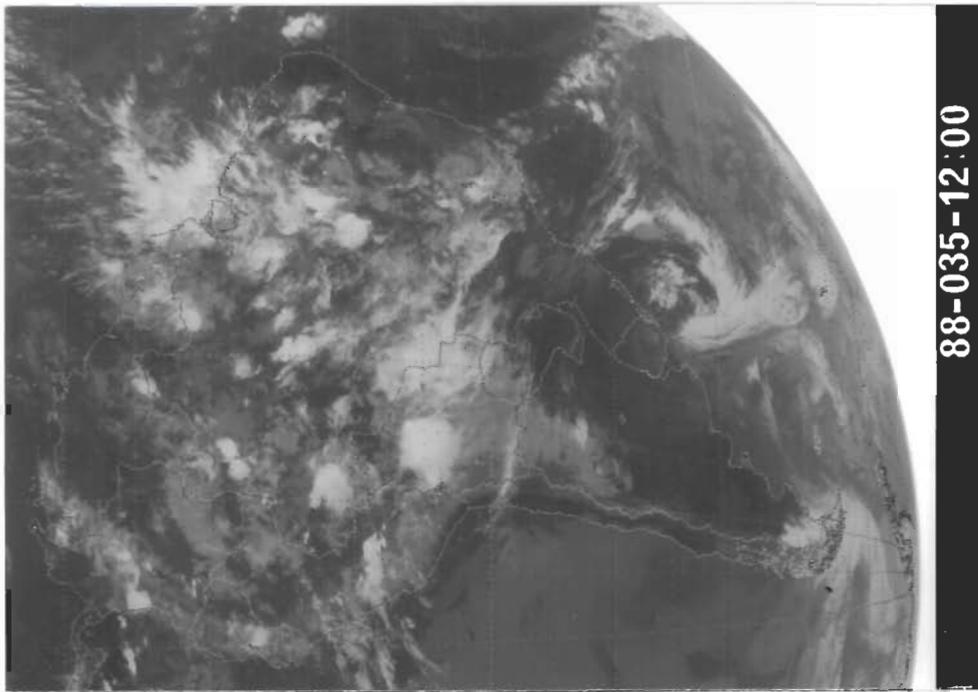
b) 03/02/88 - 12:30 TMG.

Fig. 5.13 - Imagens do satélite GOES no infravermelho para o período de 29 de janeiro a 10 de fevereiro de 1988.

(continua)



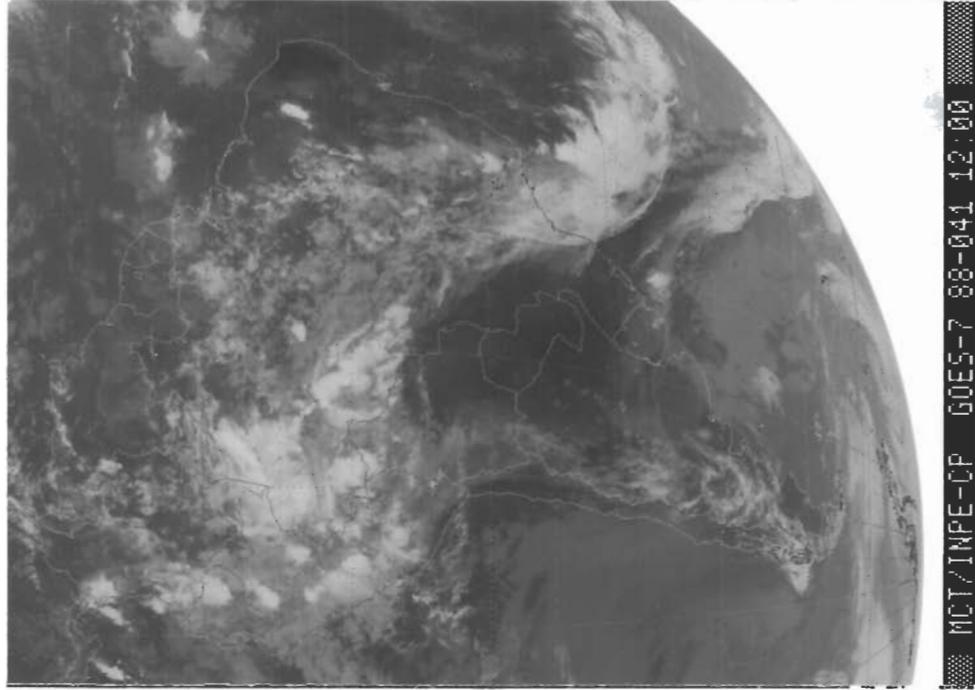
d) 05/02/88 - 12:00 TMG



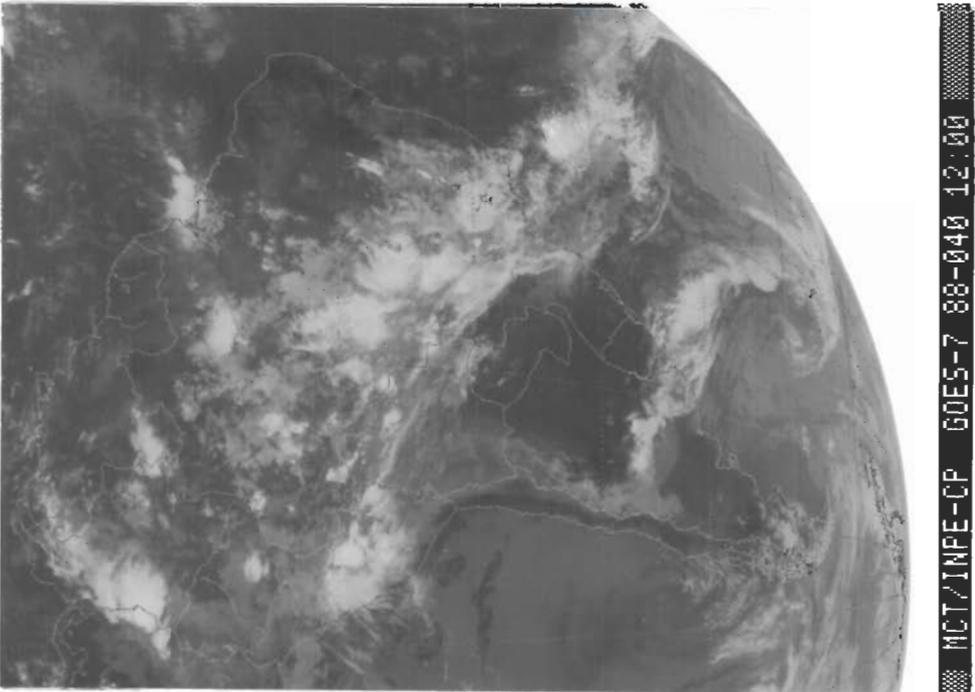
c) 04/02/88 - 12:00 TMG

Fig. 5.13 - Continuação.

(continua)



f) 10/02/88 - 12:00 TMG



e) 09/02/88 - 12:00 TMG

Fig. 5.13 - Conclusão.

A Figura 5.14 apresenta valores de precipitação diária para duas localidades no Rio Grande do Sul para ilustrar os dois meses de 1988 analisados anteriormente. Observa-se que janeiro de 1988 apresenta por todo o mês precipitações que, como discutido acima, estiveram associadas principalmente a sistemas frontais. O comportamento da atmosfera em janeiro esteve favorável ao deslocamento de alguns sistemas frontais ativos que atingiram a região do Rio Grande do Sul, associados a padrões que, neste trabalho, são chamados de onda curta, em relação aos observados em fevereiro. Este padrão, em janeiro, foi caracterizado pela presença de um escoamento zonal sobre o Rio Grande do Sul, exceto quando da presença da ZCAS (1 à 10), e de um cavado sobre o Pacífico à leste de 120°W no período de manifestação da ZCAS.

Já em fevereiro de 1988, há pouca precipitação durante o período em que o padrão atmosférico associado à ZCAS esteve presente, que se estende do dia 1^o até em torno do dia 20. Durante a presença da ZCAS caracterizada com nebulosidade convectiva nas imagens neste período, os sistemas frontais deslocaram-se sobre o Rio Grande do Sul sem atividade convectiva e praticamente sem precipitação, entre o início do mês e o dia 12. Nesta situação o Rio Grande do Sul ficou à oeste do eixo do cavado. Após o dia 20, o padrão atmosférico mudou, de forma que os sistemas frontais, transientes, com atividade convectiva deslocaram-se sobre a região do Rio Grande do Sul com precipitação.

Em fevereiro, a presença da ZCAS definiu um padrão atmosférico que, neste trabalho, é denominado como padrão de onda longa, sendo caracterizado por uma configuração semi-estacionária, com a crista sobre o Atlântico Sul e o cavado no continente sobre a região Sul do Brasil, permanecendo o Rio Grande do Sul à oeste de seu

eixo. Além disso um cavado no Pacífico posicionou-se à oeste de 120°W , constatando com a situação de janeiro. Esta diferenciação é também verificada nas análises de 1989, como será mostrado nas sessões seguintes.

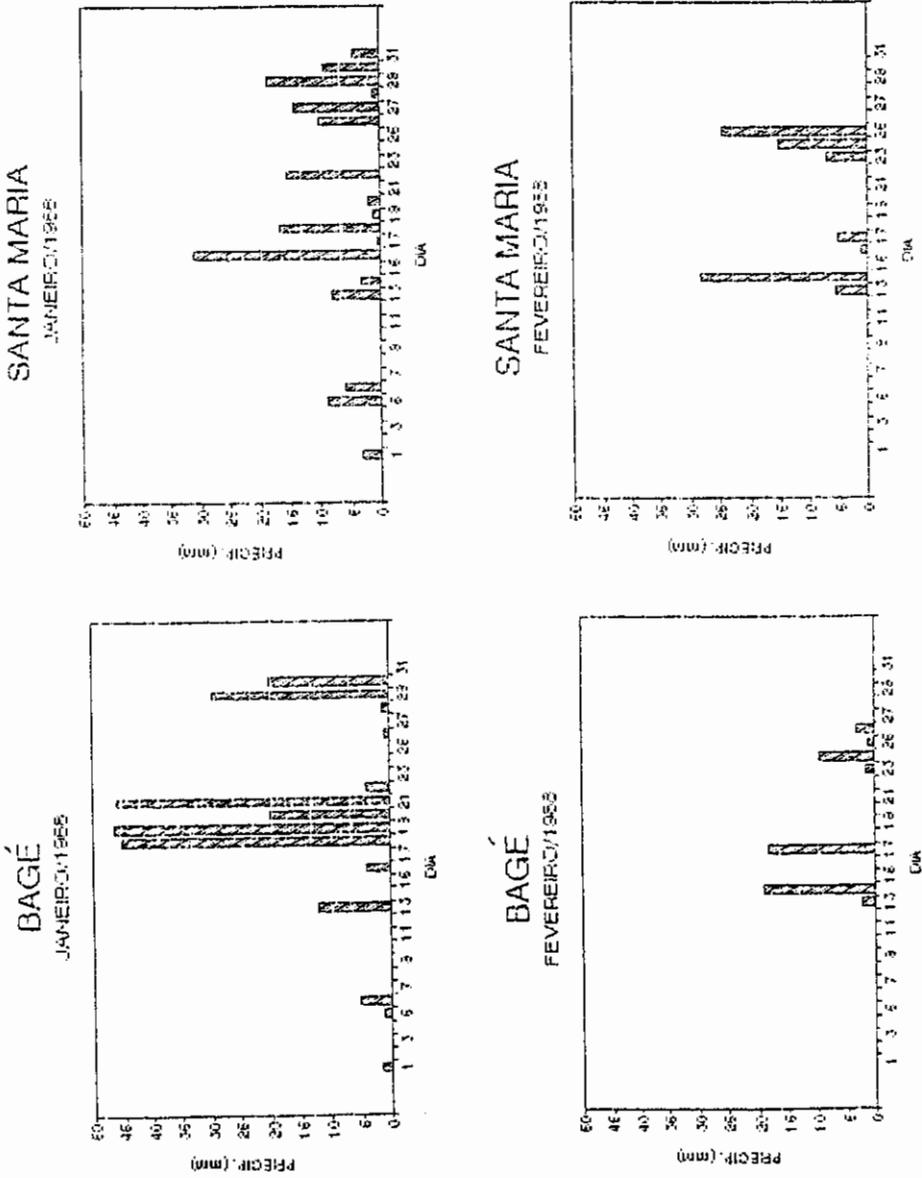


Fig. 5.14 - Precipitações diárias nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 para as localidades de Bagé e Santa Maria.

5.2.2 - ANÁLISE SINÓTICA DO VERÃO DE 1989

Em janeiro de 1989 a configuração no campo de geopotencial associada à ZCAS é observada; porém, o padrão no campo de geopotencial não se mostra tão bem definido como em fevereiro de 1988, uma vez que não se observa o cavado do Pacífico.

Na pântada de 1-5 do campo de geopotencial em 500hPa, na Figura 5.15a, observa-se um cavado pronunciado no Pacífico próximo da América do Sul em torno de 90°W . Sobre a América do Sul um cavado também se apresenta, sobre o Paraná e São Paulo. O Rio Grande do Sul está sobre a influência de uma crista. No campo de VR em 200hPa (Figura 5.16a) a área de VR negativa associada ao cavado do Atlântico está presente, e a área de VR positiva associada à crista se apresenta bem caracterizada, sobre a Argentina. Sobre a América do Sul, acima de 30°S também está presente uma área de VR positiva. O campo de MV em 500hPa (Figura 5.18a) apresenta ascendência pronunciada sobre o centro e sudeste do Brasil, e uma área de movimento subsidente sobre a Argentina, RS, Uruguai. Área de convergência aparece sobre o centro do Brasil, e norte da Argentina, sobre as regiões de movimento ascendente (Figura 5.19a).

O padrão associado à ZCAS apresenta-se pouco caracterizado nas pântadas de 6-10 e 11-15 no campo de geopotencial (Figura 5.15b e c). Observa-se a presença de um bloqueio no Pacífico em torno de 90° - 100°W (Figura 5.15c) e de um cavado sobre o Rio Grande do Sul. A crista sobre o Atlântico apresenta-se pouco pronunciada. Na pântada de 16-20 (Figura 5.15d) uma crista é observada no Pacífico, enquanto sobre a América do Sul o campo de geopotencial apresenta um cavado. No campo de VR a área de VR negativa associada ao cavado sobre a América do Sul

apresenta-se mais pronunciada na pântada de 11-15 (Figura 5.16c), alcançando a costa do Brasil ao sul de 30°S e estendendo-se sobre a América do Sul até a costa oeste; a área de VR positiva sobre a América do Sul mostra-se caracterizada de maneira semelhante, acima de 30°S . O campo de AV em 200hPa mostra durante as pântadas de 6-20 (Figura 5.17b-d), áreas de AV negativa e positivas intercaladas sobre América do Sul, relacionadas com configurações mais transientes no campo de geopotencial.

Nas pântadas de 6-10 e 11-15 (Figura 5.18b e c) movimento ascendente persiste sobre o Sul e Sudeste do Brasil e no Atlântico. Núcleo de MV subsidente aparece sobre a Argentina e RS na pântada 6-10 (Figura 5.18b), enquanto na pântada de 16-20 (Figura 5.18d) núcleos de MV ascendente aparecem na Argentina e à leste sobre o Atlântico, consistente com a posição do cavado sobre a América do Sul. Neste período (16-20) DIV negativa é observada sobre a Argentina e Rio Grande do Sul (Figura 5.19d).

No início de janeiro a atividade frontal está ausente no Rio Grande do Sul. No dia 8 é observado nas imagens de satélite que um sistema frontal cruza a Região Sul do Brasil e ao alcançar a Região Sudeste, associa-se à ZCAS, que permanece caracterizada com significativa nebulosidade convectiva entre os dias 10 e 13. Entre os dias 14 e 15 é observada nas imagens de satélite nebulosidade convectiva associada a um cavado nos níveis superiores, na região do Rio Grande do Sul e adjacências.

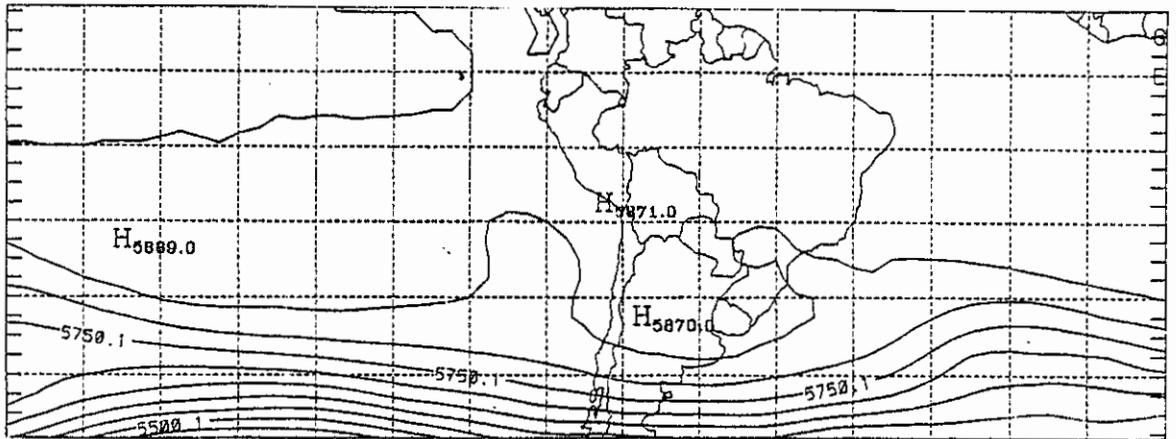
A pântada de 21-25 do campo de geopotencial (Figura 5.15e) apresenta novamente um cavado desenvolvendo-se sobre a América do Sul. Na Figura 5.16e, o núcleo de VR negativa associado ao cavado sobre a

América do Sul encontra-se sobre o norte da Argentina, enquanto uma área de VR positiva aparece sobre o sudeste do Brasil e Atlântico, associada à presença de um crista no campo de geopotencial. No campo de MV (Figura 5.18e) aparece uma área de MV ascendente sobre o nordeste da Argentina, Paraguai e no Rio Grande do Sul que parece estar associada a um sistema frontal observado nas imagens de satélite. Divergência aparece sobre a Região Sul do Brasil e nordeste da Argentina (Figura 5.19e). No dia 20 um sistema frontal cruza o Rio Grande do Sul, apresentando atividade convectiva. Nos dias 24 e 25 é observada nas imagens de satélite a presença de um vórtice ciclônico associado à frontogênese sobre o sul do Brasil.

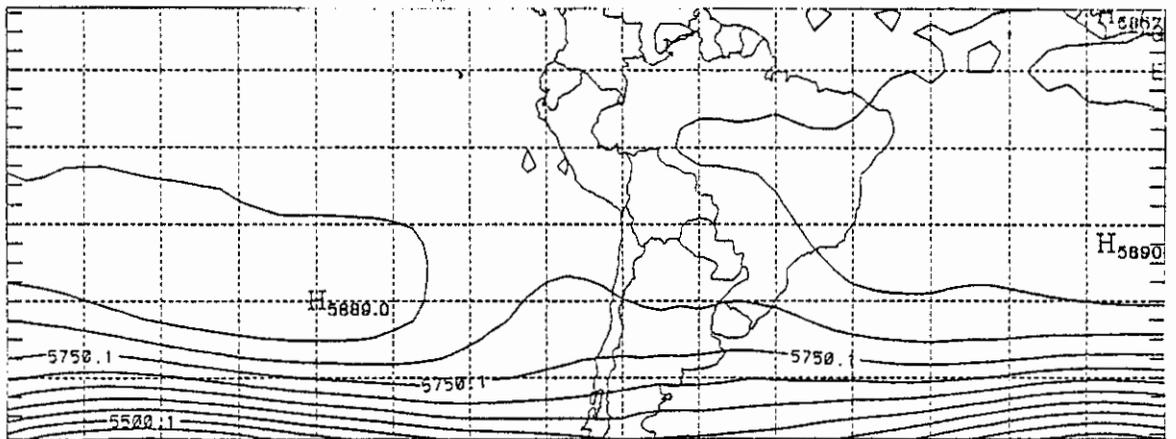
Na pênstada de 26-30 do campo de geopotencial (Figura 5.15f), o cavado sobre a América do Sul deslocou-se um pouco para leste, com o seu eixo orientado de norte a sul. Este deslocamento do cavado é acompanhado pelo aprofundamento da crista sobre o Atlântico. A configuração no campo de VR mudou (Figura 5.16f), com a presença de um núcleo de VR negativa maior associado ao cavado sobre a América do Sul. A área de VR positiva continua presente, estendendo-se do centro do Brasil até o Atlântico Sul. No campo de MV (Figura 5.18f) a área de movimento ascendente persiste sobre o Sul do Brasil e Atlântico, estando posicionada a leste do eixo do cavado em altitude sobre a América do Sul. Neste período foi observado nas imagens de satélite o deslocamento de um sistema frontal sobre esta região, com atividade convectiva considerável. Há também a presença de um núcleo de MV subsidente sobre o centro da Argentina (Figura 5.18f). Divergência negativa, fraca, ocorre sobre a região sul do Brasil (Figura 5.19f).

Na segunda metade de janeiro o cavado sobre a América do Sul associado à ZCAS não se apresentou tão

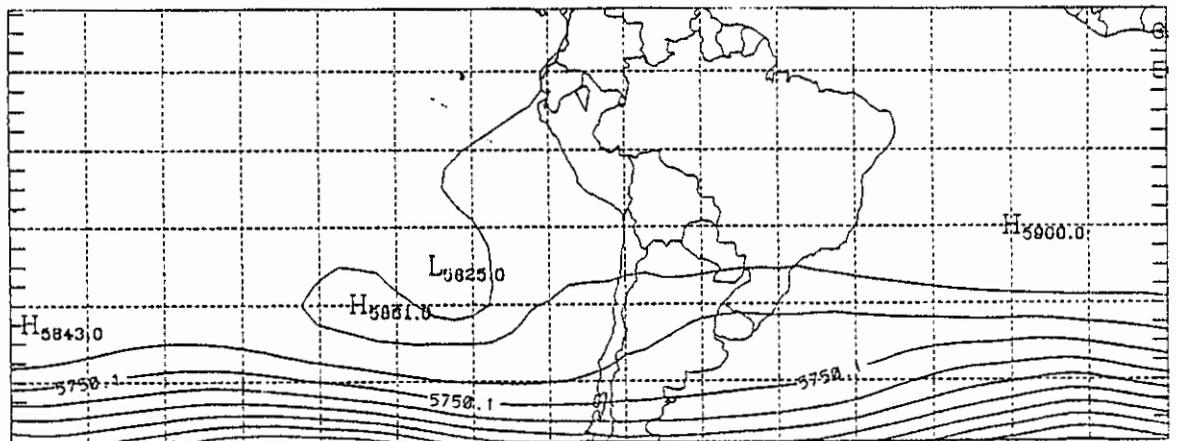
bem definido quanto em fevereiro de 1988. Também não foi observada nas imagens de satélite a formação de nebulosidade convectiva associada à ZCAS, nem a associação desta com sistemas frontais. Observou-se que os sistemas frontais deslocaram-se, acompanhados de nebulosidade convectiva sobre o sul do Brasil.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

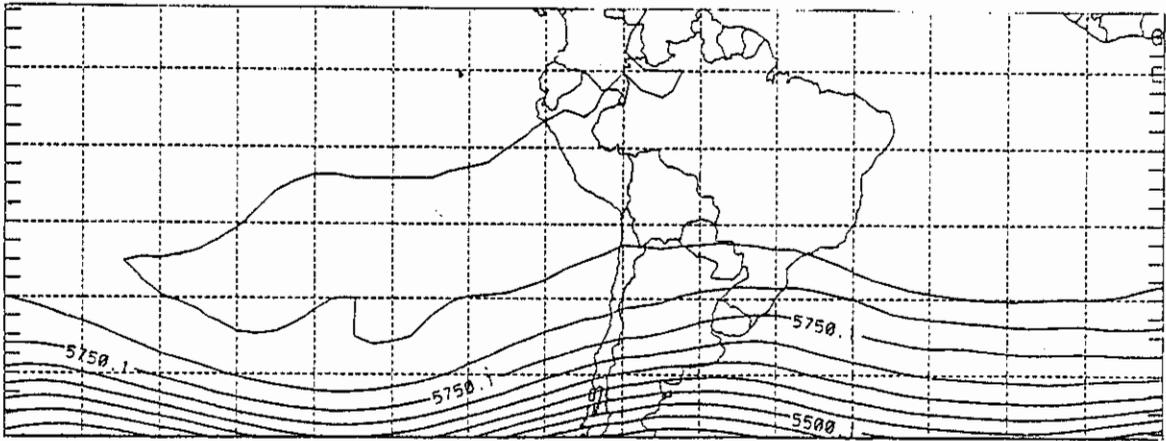


c) Pêntada de 11-15

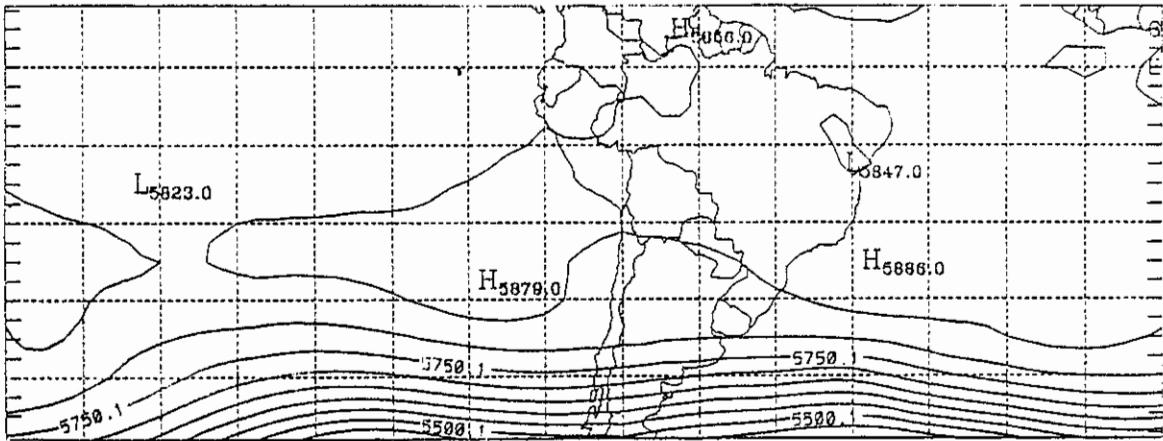
Fig. 5.15 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para janeiro de 1989.

- Intervalos de 50mgp.

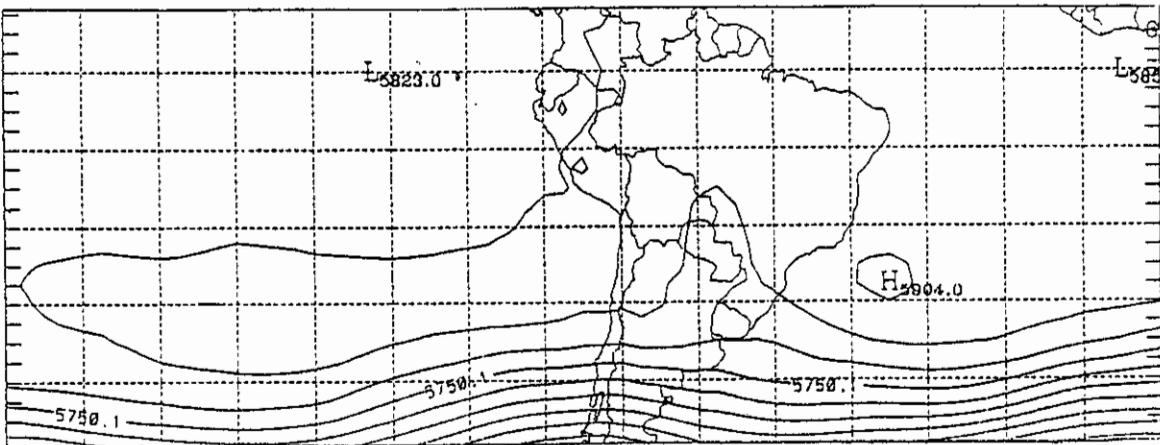
(continua)



d) Pêntada de 16-20

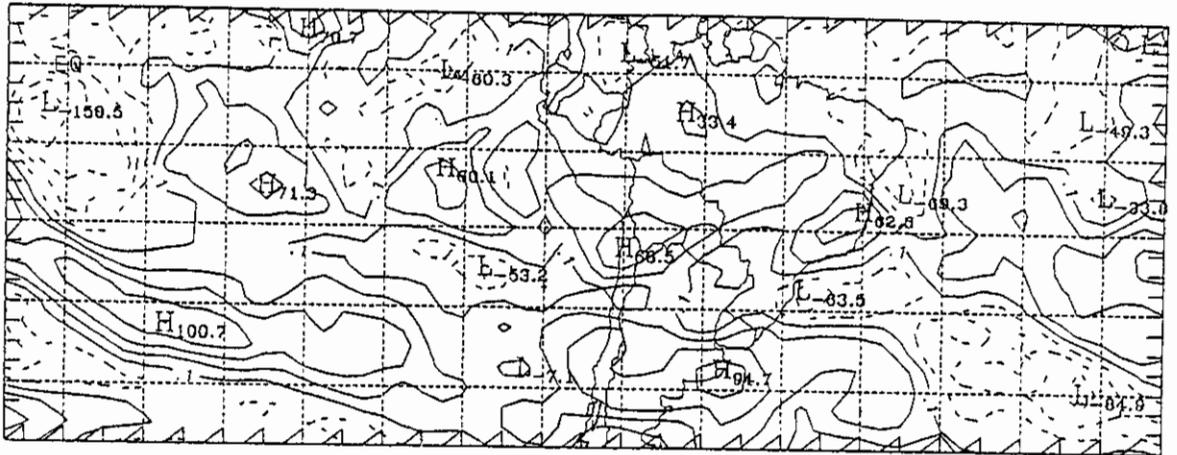


e) Pêntada de 21-25

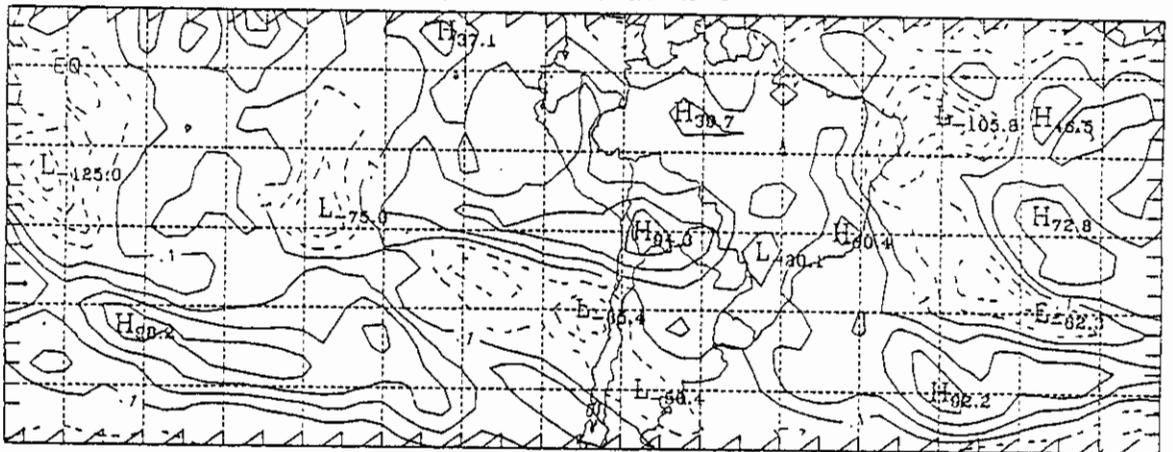


f) Pêntada de 26-30

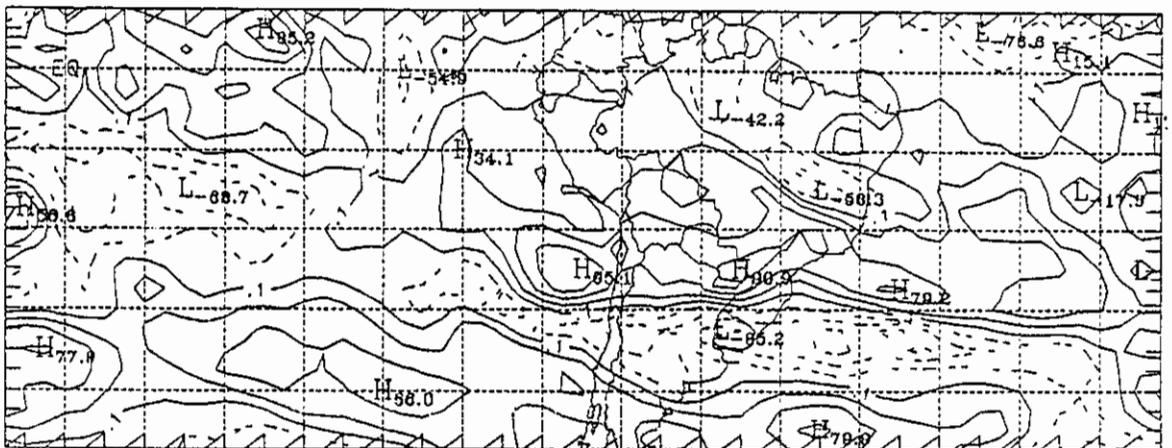
Fig. 5.15 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

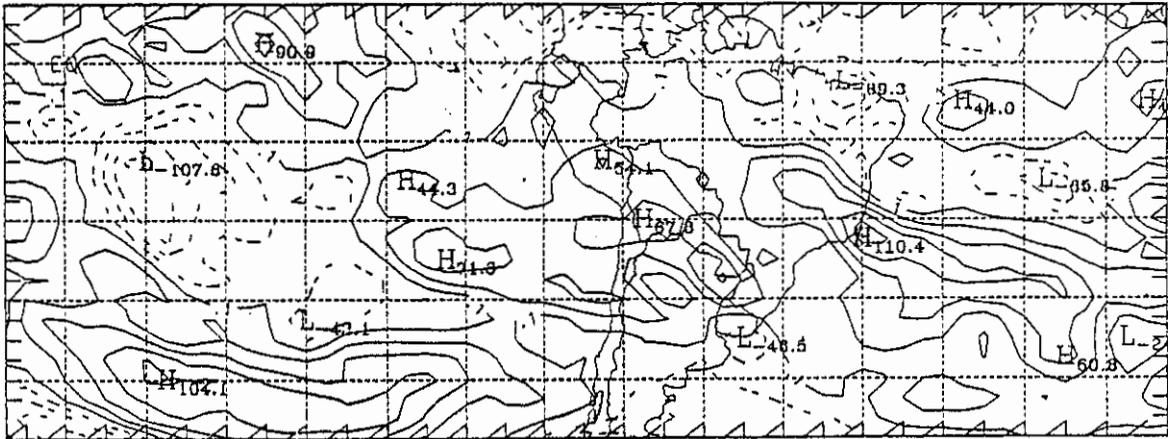


c) Pêntada de 11-15

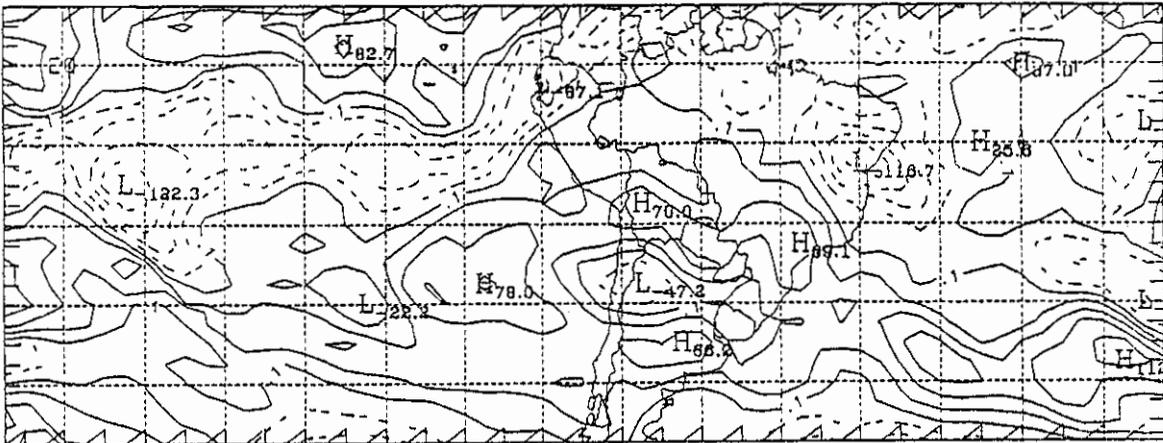
Fig. 5.16 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para janeiro de 1989.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

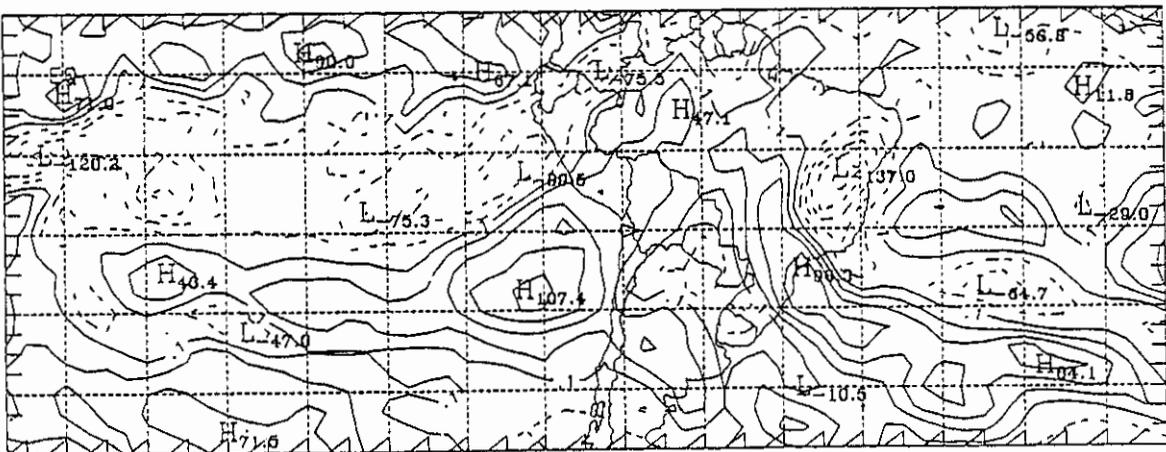
(continua)



d) Pêntada de 16-20

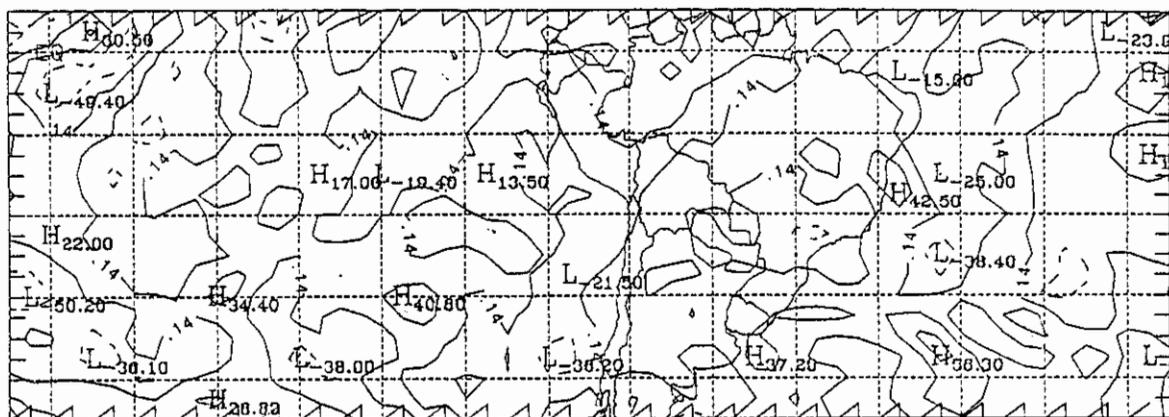


e) Pêntada de 21-25

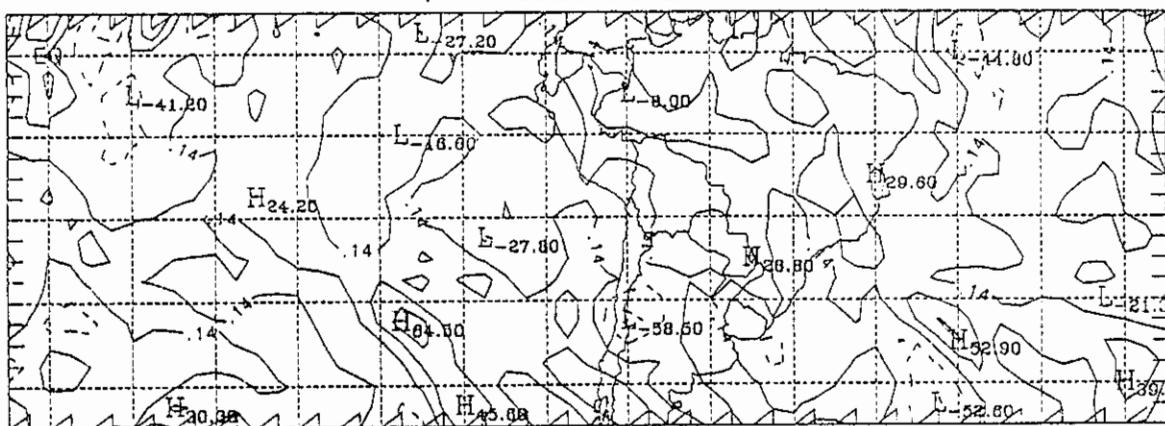


f) Pêntada de 26-30

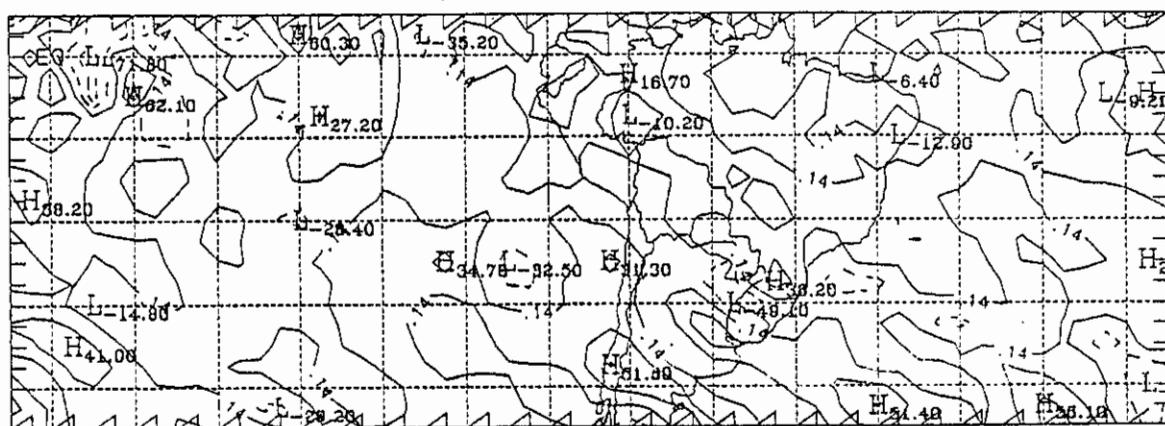
Fig. 5.16 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

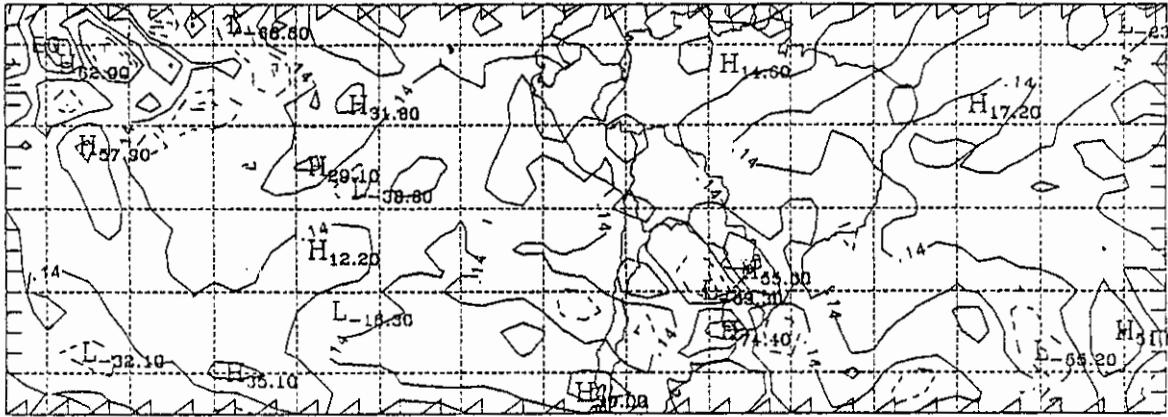


c) Pêntada de 11-15

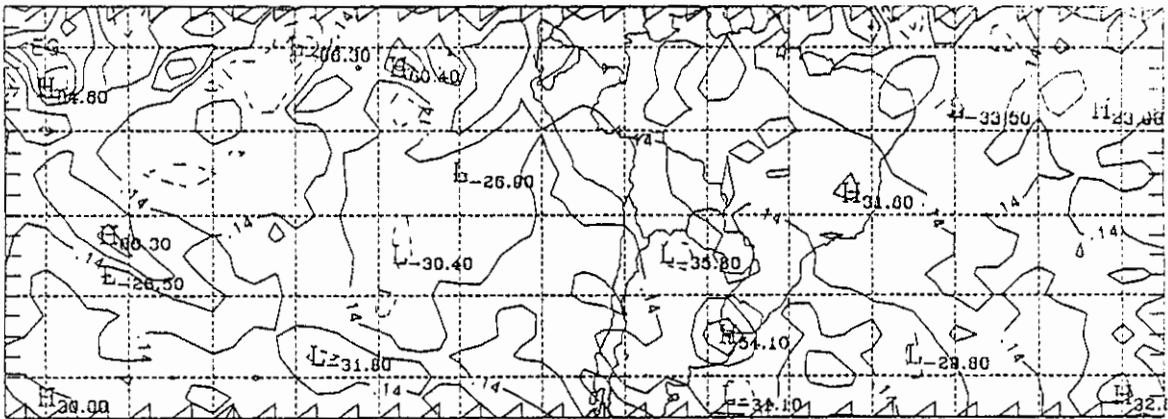
Fig. 5.17 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para janeiro de 1989.

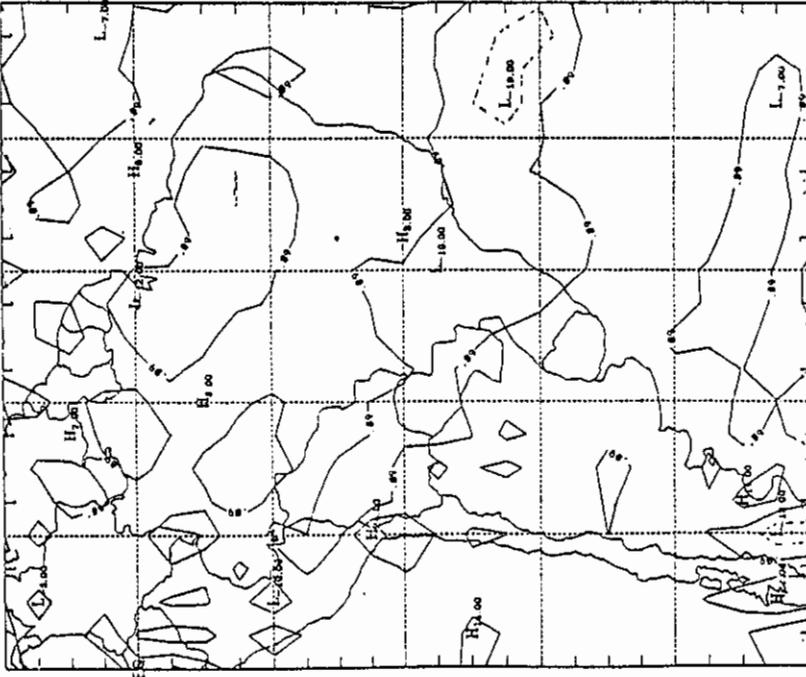
- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

(continua)

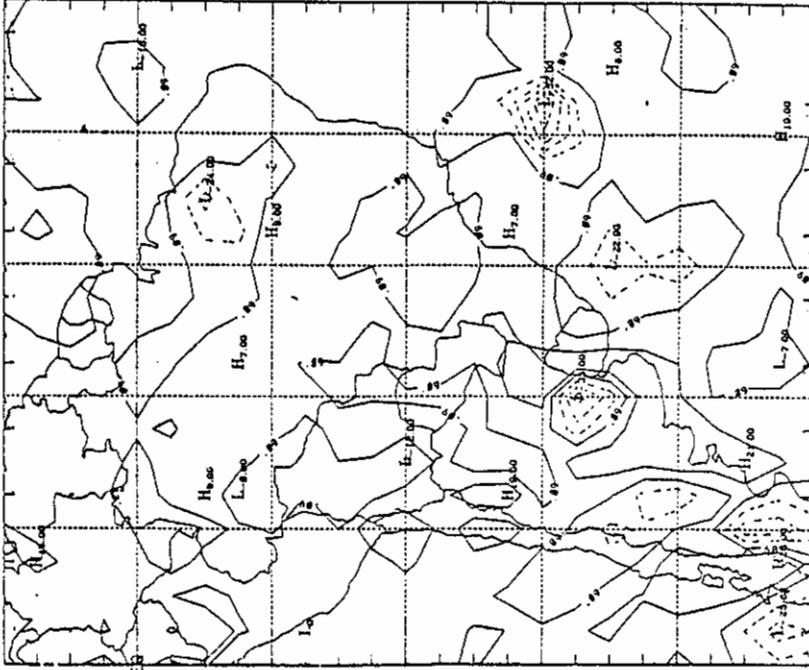


d) Pêntada de 16-20





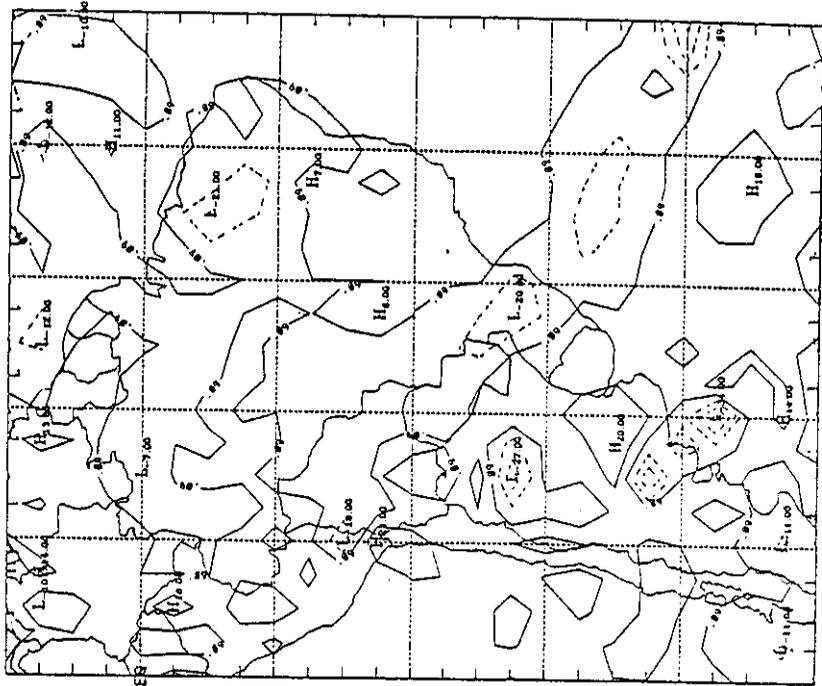
c) Pêntada de 11-15



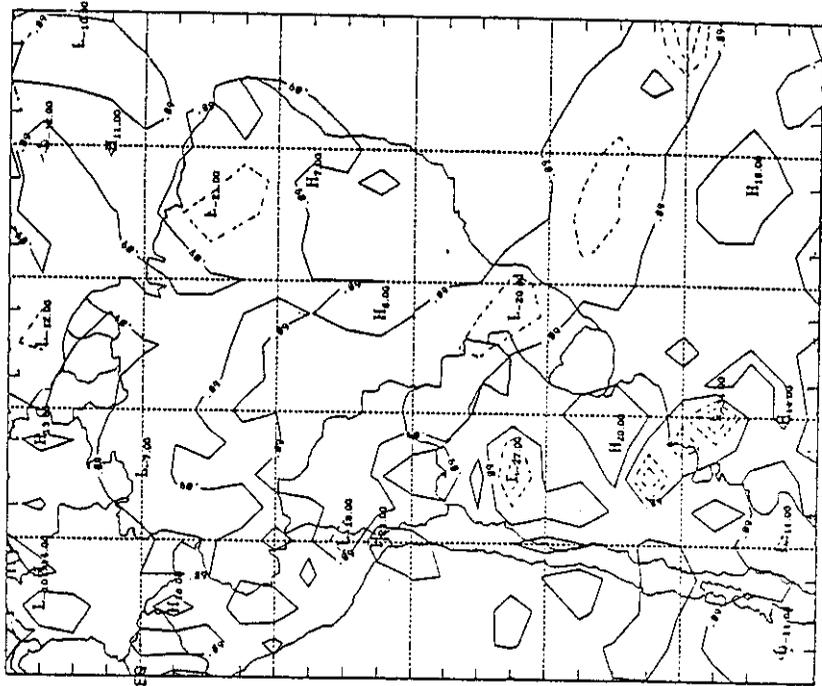
d) Pêntada de 16-20

Fig. 5.18 - Continuação.

(continua)

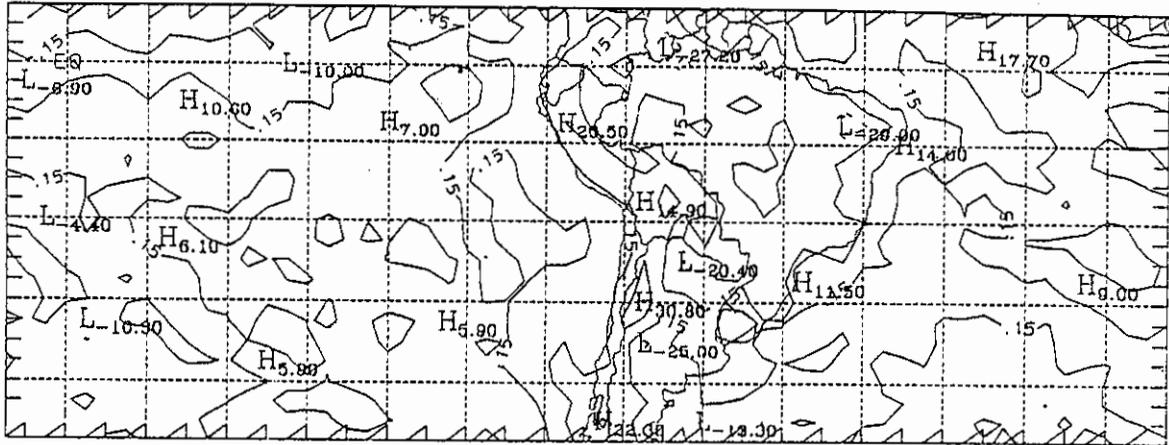


e) Pêntada de 21-25

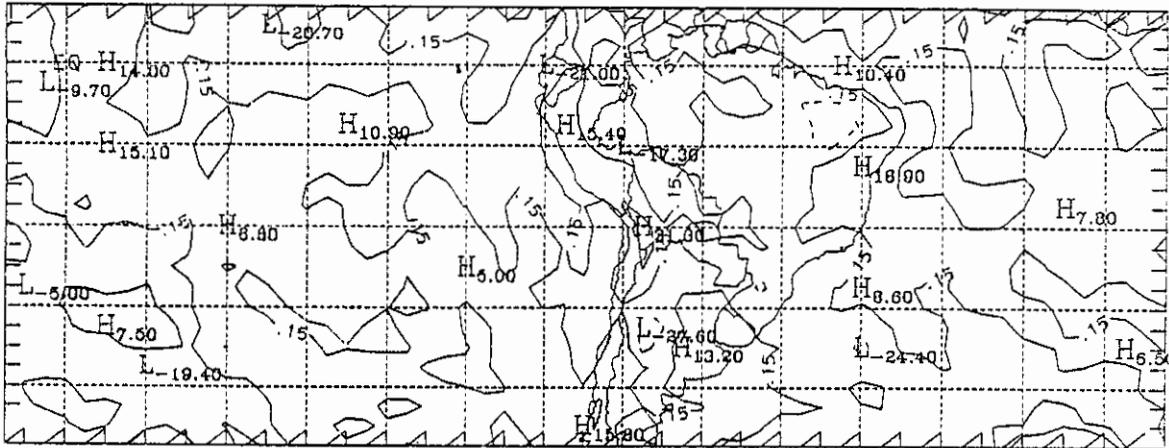


f) Pêntada de 26-30

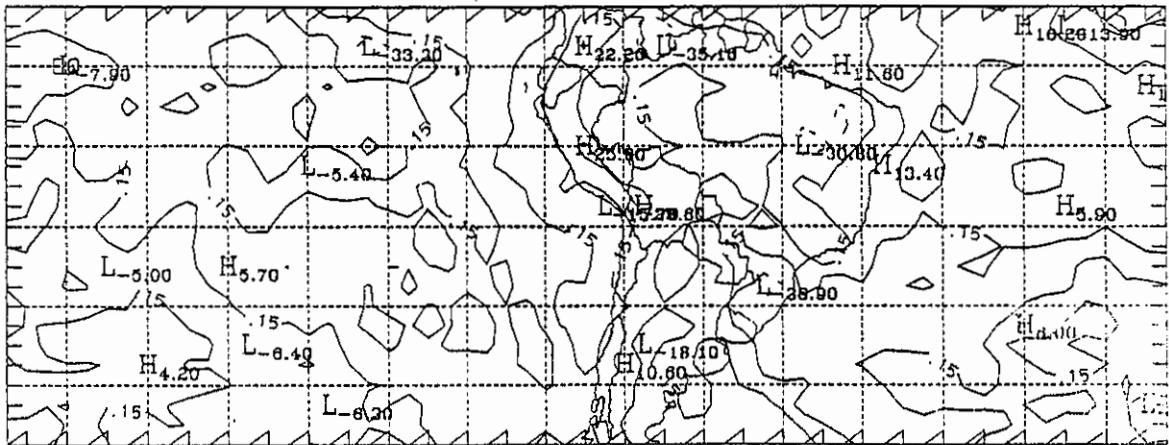
Fig. 5.18 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10



c) Pêntada de 11-15

Fig. 5.19 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para janeiro de 1989.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

(continua)

A configuração no campo de geopotencial associada à ZCAS ocorre em fevereiro de 1989 de maneira bem caracterizada. Observa-se que na pântada de 1-5 do campo de geopotencial (Figura 5.20a) o padrão de onda associado à formação da ZCAS apresenta-se caracterizada, persistindo na pântada de 6-10 (Figura 5.20b). O cavado do Pacífico apresenta-se pronunciado, porém mais a leste que em fevereiro de 1988, e o cavado sobre a América do Sul definido e inclinado para noroeste sobre a Região Sudeste do Brasil, de modo que uma crista com centro na costa oeste da América do Sul estende-se do Pacífico até o sul do Brasil.

Como pode ser visto nas imagens de satélite da Figura 5.21a,b e c, um sistema frontal cruza o RS no dia 3 e associa-se com a ZCAS no dia 4, resultando em uma banda de nebulosidade convectiva que permanece até o dia 12. No dia 8, é observado nas imagens de satélite que outro sistema frontal atravessa o Rio Grande do Sul com pouca atividade e se associa à ZCAS.

No campo de VR em 200hPa (Figura 5.22a) na pântada de 1-5, o núcleo de VR negativa associado ao cavado da América do Sul é observado à leste da costa do sul do Brasil em torno de 25°S , persistindo na pântada de 6-10 (Figura 5.22b). A área de VR positiva associada à crista está bem caracterizada, estendendo-se desde a América do Sul até o Pacífico. Sobre o Atlântico está presente uma área de VR positiva associada a crista aí presente. Nestas primeiras pântadas, os campos de geopotencial e de VR apresentam um padrão semelhante ao observado nos casos anteriores em períodos com presença da ZCAS. No campo de AV em 200hPa observa-se nas pântadas de 1-5 e 6-10 (Figura 5.23a e b) AV negativa sobre a região à direita do cavado da América do Sul. Durante este período, nas pântadas de 1-5 e 6-10 do movimento vertical (MV) (Figuras 5.24a e b),

observa-se que o centro-sul do Brasil encontra-se sob uma área de MV subsidente, enquanto MV ascendente persiste sobre a Região Sudeste do Brasil. Em 850hPa, na pântada de 6-10 (Figura 5.25), aparece convergência relacionada com a região de MV ascendente no Sudeste do Brasil.

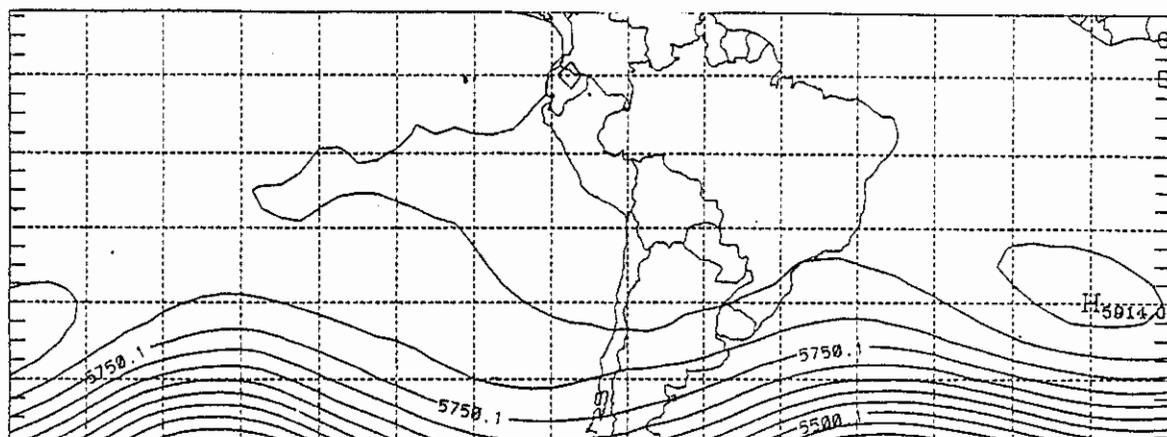
Na pântada de 11-15 do campo de geopotencial (Figura 5.20c) o cavado e a crista sobre o Pacífico ainda estão presentes, enquanto o cavado sobre a América do Sul posiciona-se agora, enfraquecido, sobre a Argentina. Na pântada de 11-15 (Figura 5.24c) do MV, movimento ascendente persiste sobre a Região Sudeste do Brasil e movimento ascendente aparece também sobre a Argentina, se estendendo pelo Atlântico. Faixa de máxima convergência em baixos níveis aparece estendendo-se ao sul do Brasil, Argentina e Atlântico (Figura 5.25c).

No dia 12 foi observado nas imagens de satélite que um sistema frontal, ao se aproximar do Rio Grande do Sul, foi desviado para o Atlântico. Nos dias 14 e 15 também se observou a presença de nebulosidade convectiva ao norte do Rio Grande do Sul, associada a um cavado nos altos níveis da troposfera.

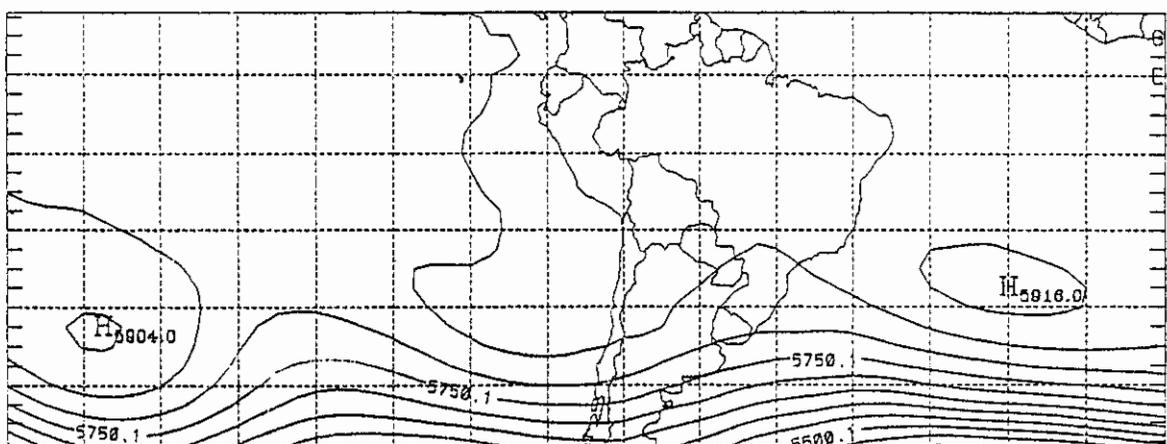
A pântada de 16-20 do campo de geopotencial (Figura 5.20d) ainda apresenta um cavado sobre a América do Sul, enquanto o cavado do Pacífico não é mais observado. Sobre o Pacífico a crista continua presente, estendendo-se até a parte oeste da América do Sul. No Atlântico, novamente uma crista se apresenta caracterizada. No campo de VR (Figura 5.22d), área de VR positiva associada à crista sobre o Atlântico está presente, com núcleo sobre o litoral da Região Sudeste do Brasil. Pela Figura 5.24d, observa-se que a parte norte da Região Sul do Brasil encontra-se com MV subsidente.

Na pênitida de 21-25 (Figura 5.20e) a configuração do campo de geopotencial ainda apresenta um cavado sobre a América do Sul, porém mais pronunciado e deslocado um pouco para leste, com seu eixo posicionado sobre o Rio Grande do Sul. Cristas permanecem presentes sobre o Pacífico e o Atlântico, esta última deslocada para leste. O campo de VR (Figura 5.22e) apresenta bem caracterizados o núcleo de VR negativa associado ao cavado da América do Sul e o padrão anterior da área de VR positiva associada à crista do Atlântico. Nesse período, a região ao norte do Rio Grande do Sul permanece ainda sobre MV ascendente (Figura 5.24e), enquanto MV subsidente sobre a Argentina está posicionado à oeste do eixo do cavado. Convergência em baixos níveis é observada (Figura 5.25e) sobre as Regiões Sul e Sudeste e divergência no sudeste da Argentina. Entre os dias 24 e 25 é observado nas imagens de satélite que um sistema frontal que anteriormente apresentava-se ativo sobre a Argentina cruzou o Rio Grande do Sul sem atividade convectiva.

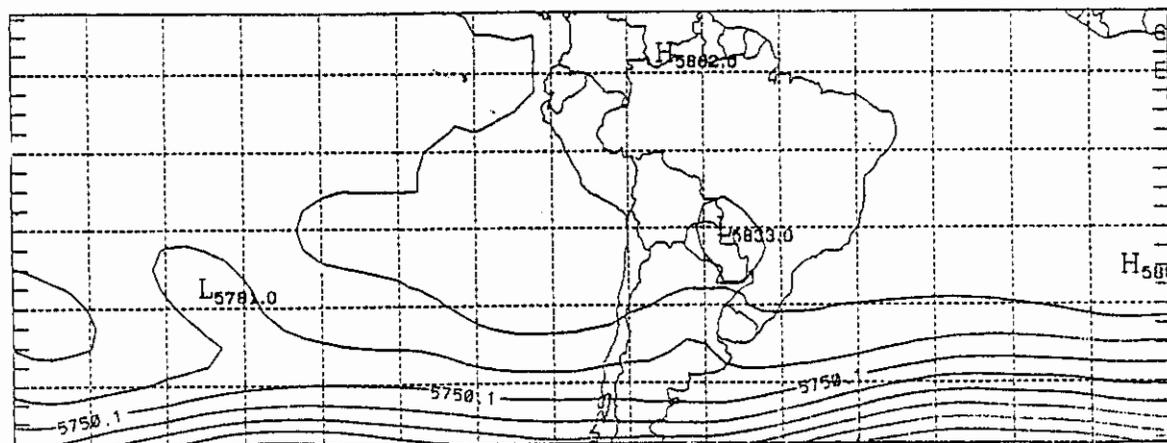
Ao final do mês o cavado sobre a América do Sul persiste, à leste do Rio Grande do Sul, assim como a crista no Atlântico (Figura 5.20f). Um cavado no Pacífico apresenta-se bem caracterizado. No campo de VR (Figura 5.22f) persiste ainda VR negativa sobre o Atlântico ao sul de 30° S associada ao cavado e uma área de VR positiva associada à crista sobre o Atlântico. Movimento ascendente ainda é observado ao norte do Rio Grande do Sul (Figura 5.24f). No fim do mês foi observado ainda nas imagens de satélite ausência de sistemas frontais ativos sobre o RS.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

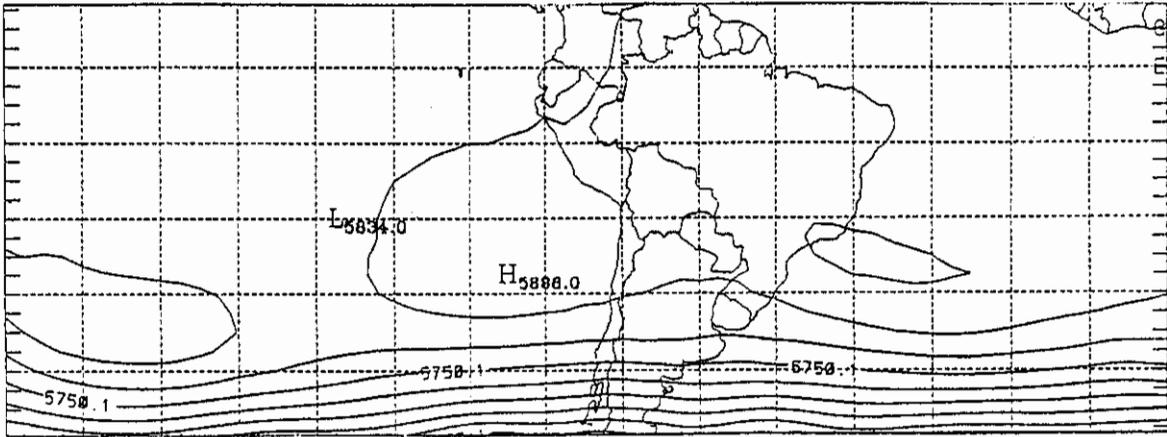


c) Pêntada de 11-15

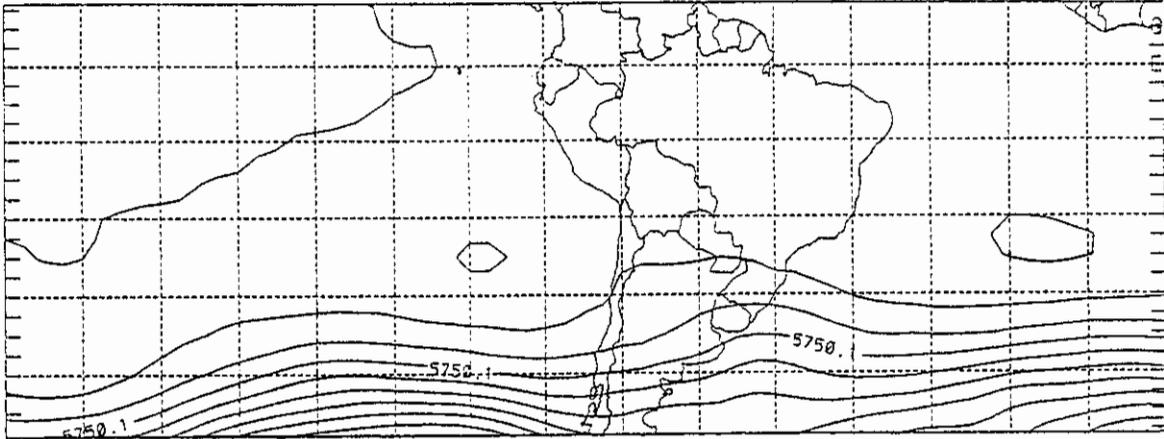
Fig. 5.20 - Pêntadas do campo de geopotencial em 500hPa para fevereiro de 1989.

- Intervalos de 50mgp.

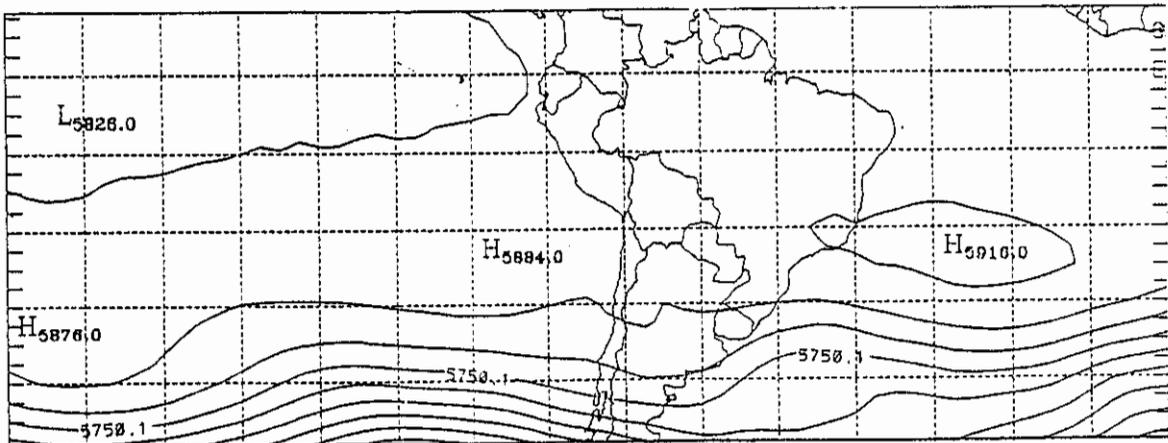
(continua)



d) Pêntada de 16-20



e) Pêntada de 21-25



f) Pêntada de 26-28

Fig. 5.20 - Conclusão.

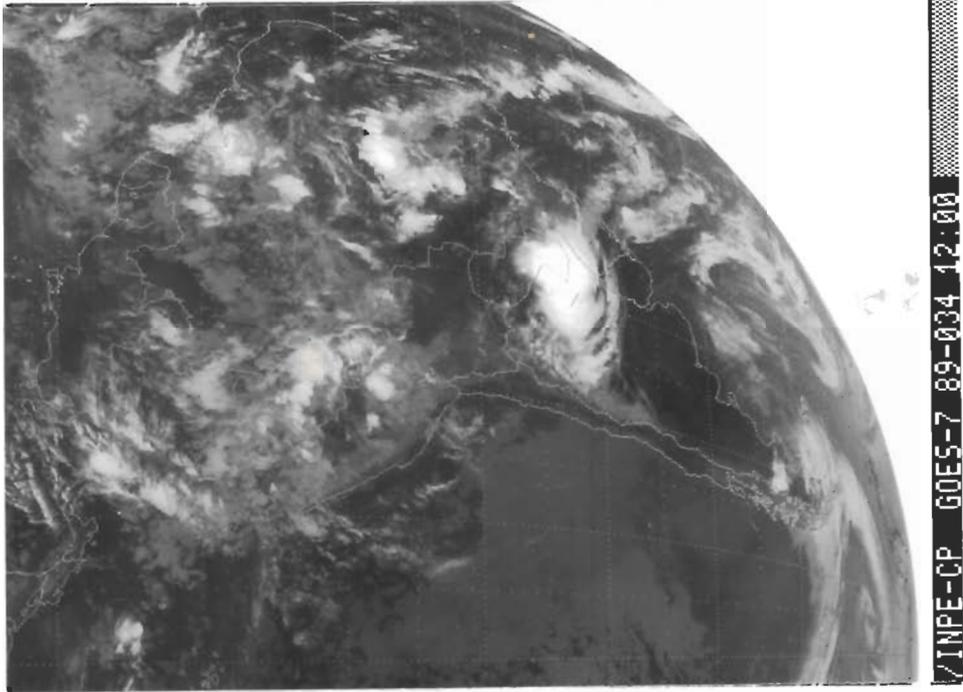


Fig. 5.21 - Imagens do satélite GOES no infravermelho para o período de 2 a 4 de fevereiro de 1989. (continua)

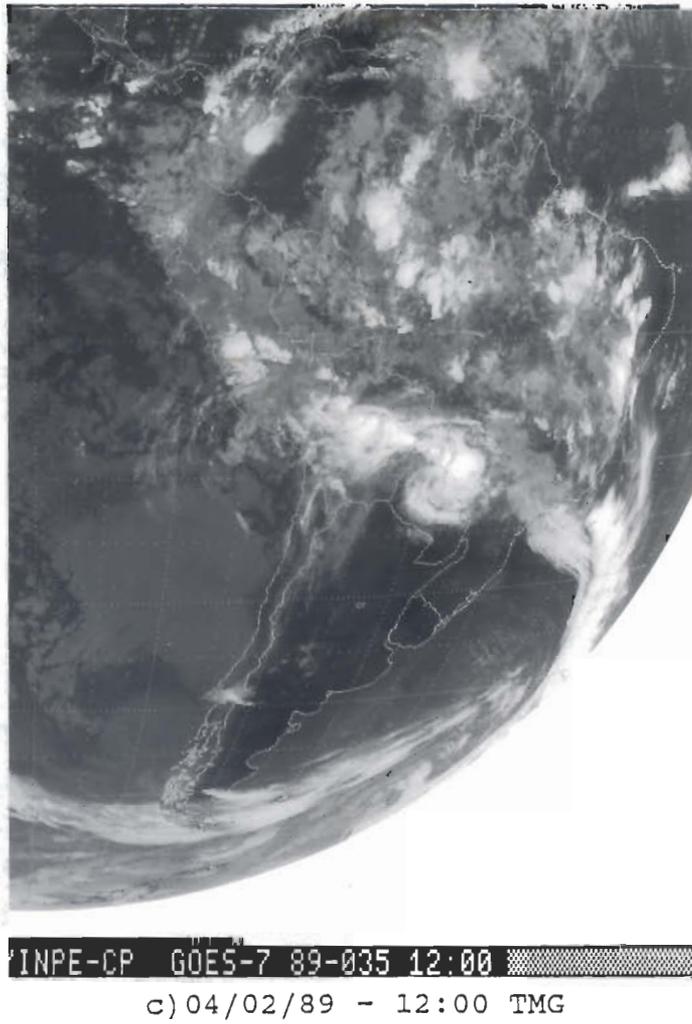
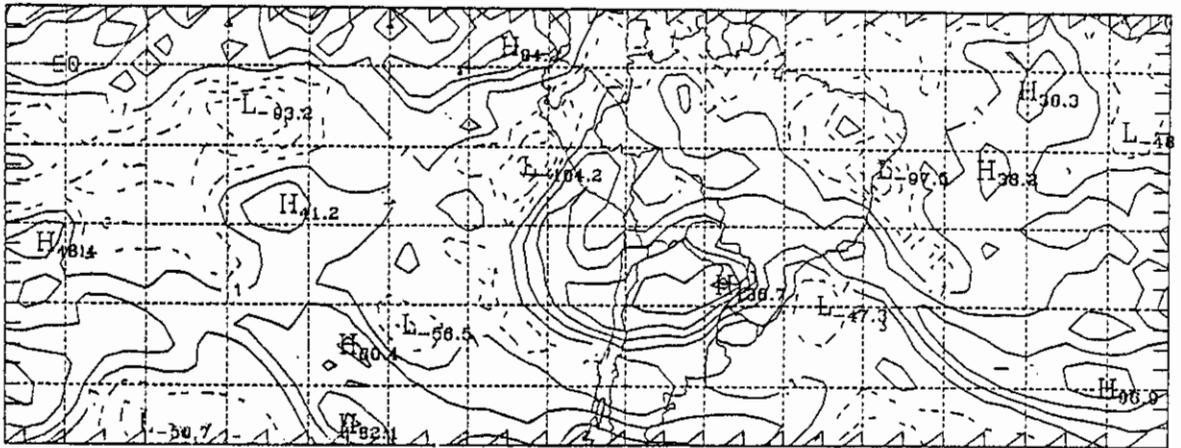
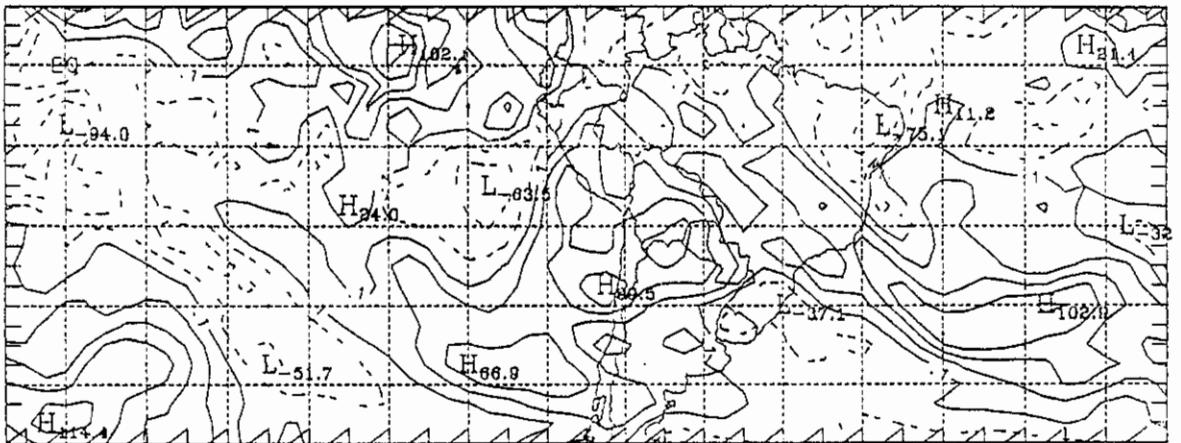


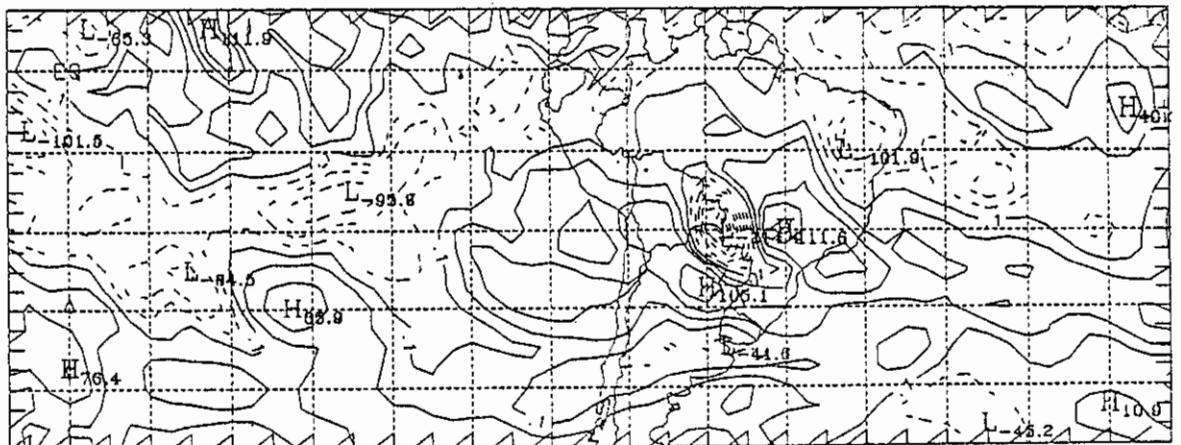
Fig. 5.21 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

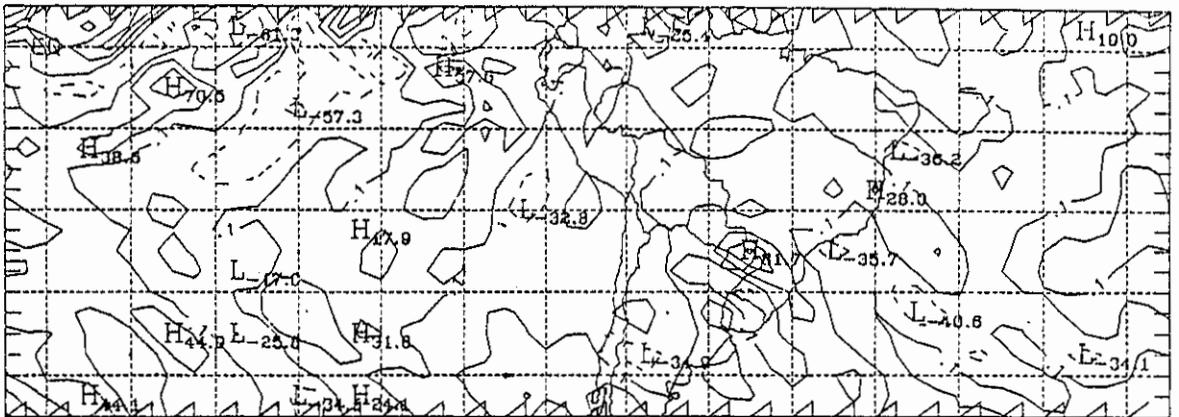


c) Pêntada de 11-15

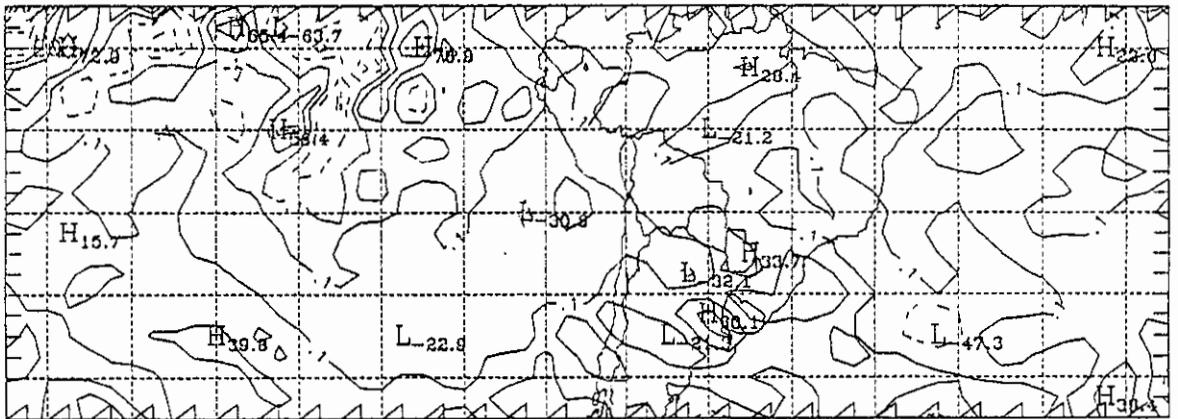
Fig. 5.22 - Pêntadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa para fevereiro de 1989.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

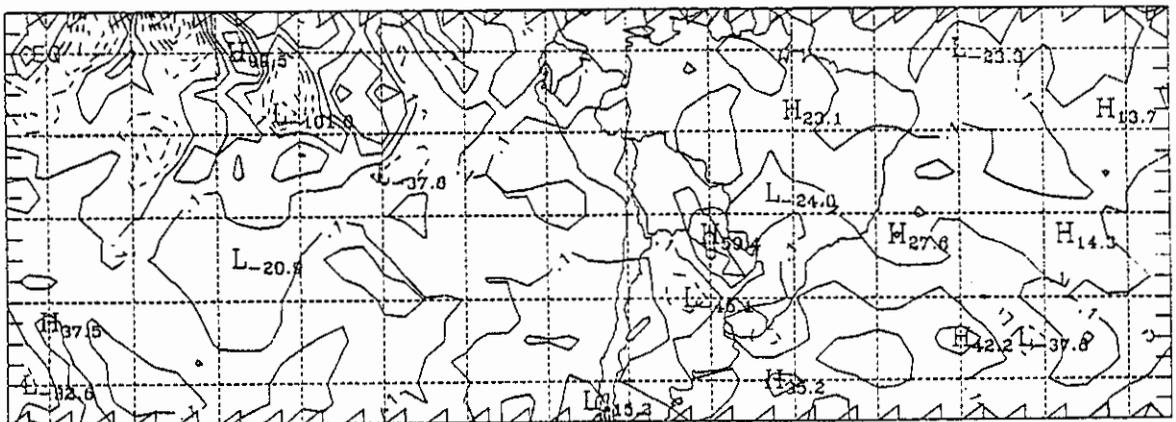
(continua)



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10

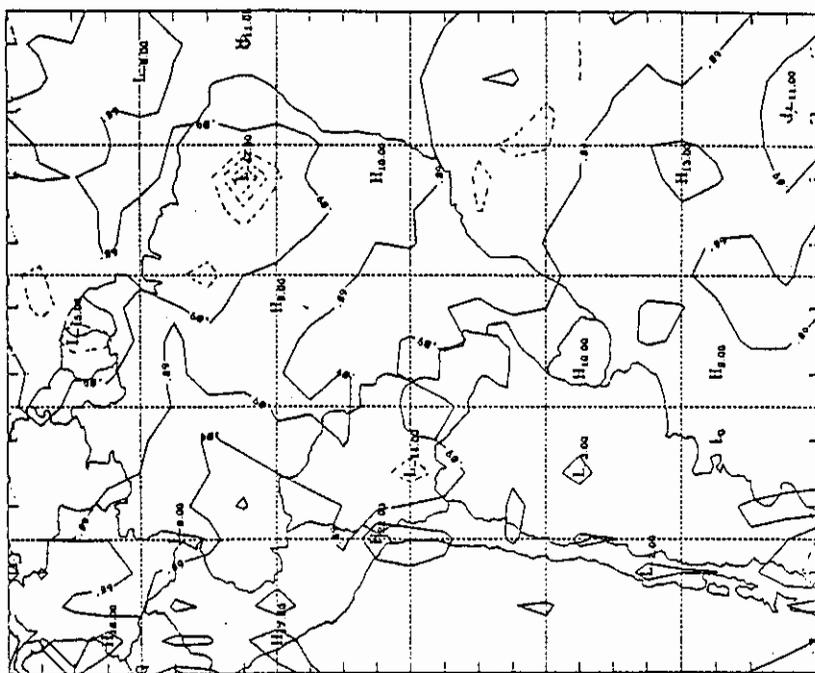


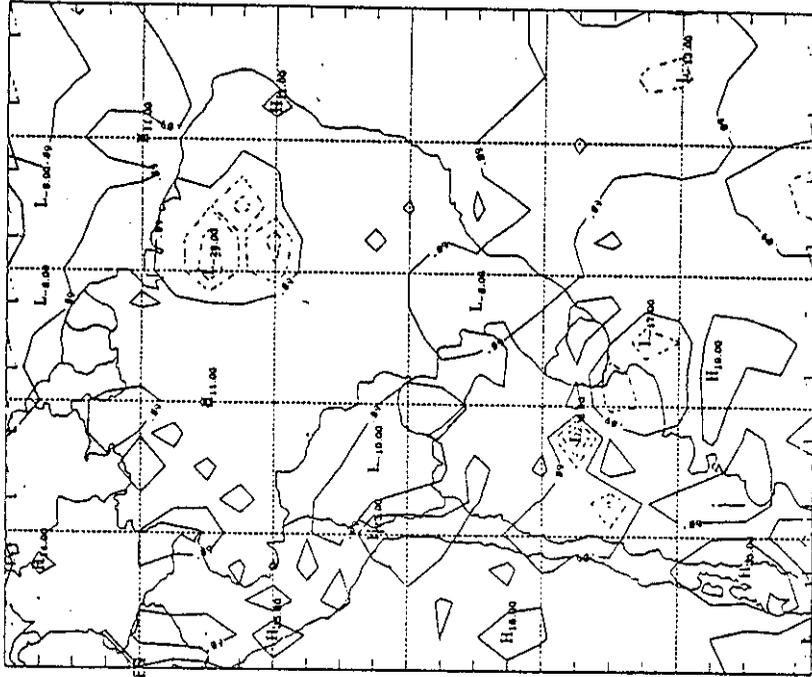
c) Pêntada de 11-15

Fig. 5.23 - Pêntadas do campo de advecção de vorticidade em 200hPa para fevereiro de 1989.

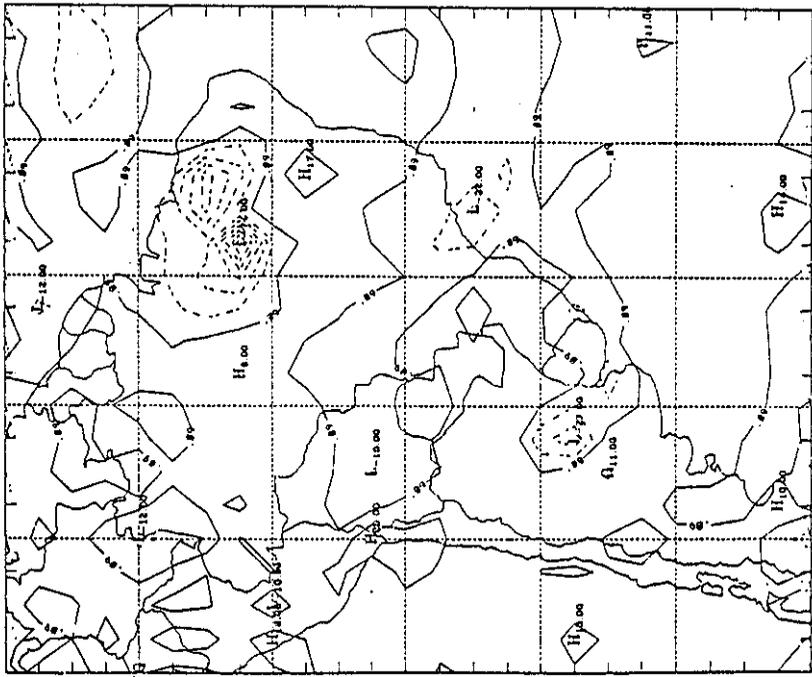
- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $25 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

(continua)





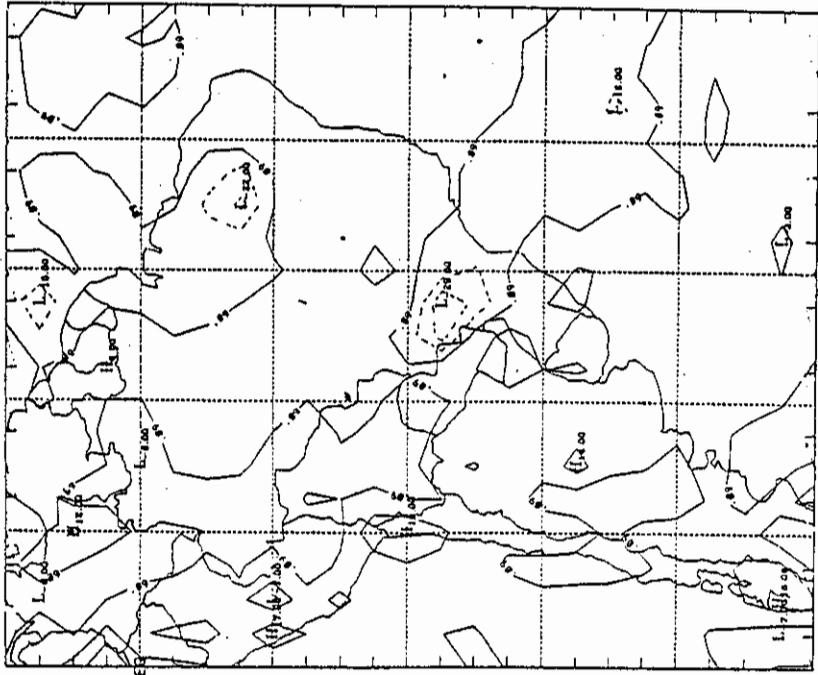
d) Pêntada de 16-20



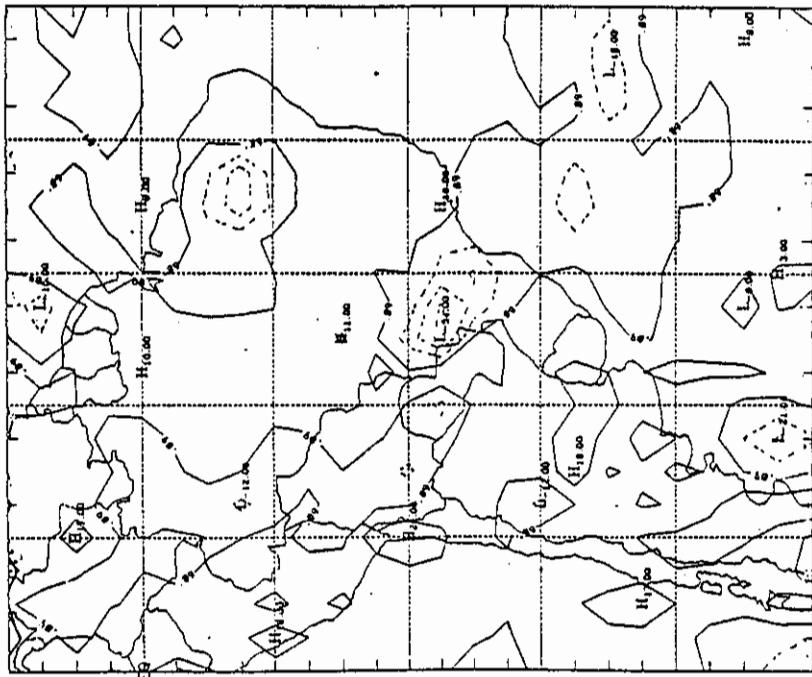
c) Pêntada de 11-15

(continua)

Fig. 5.24 - Continuação.

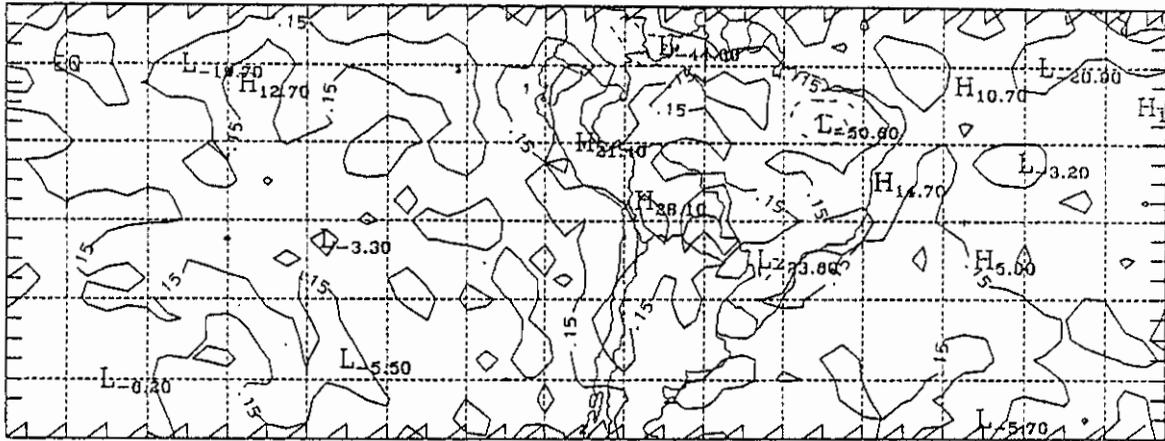


f) Pêntada de 26-28

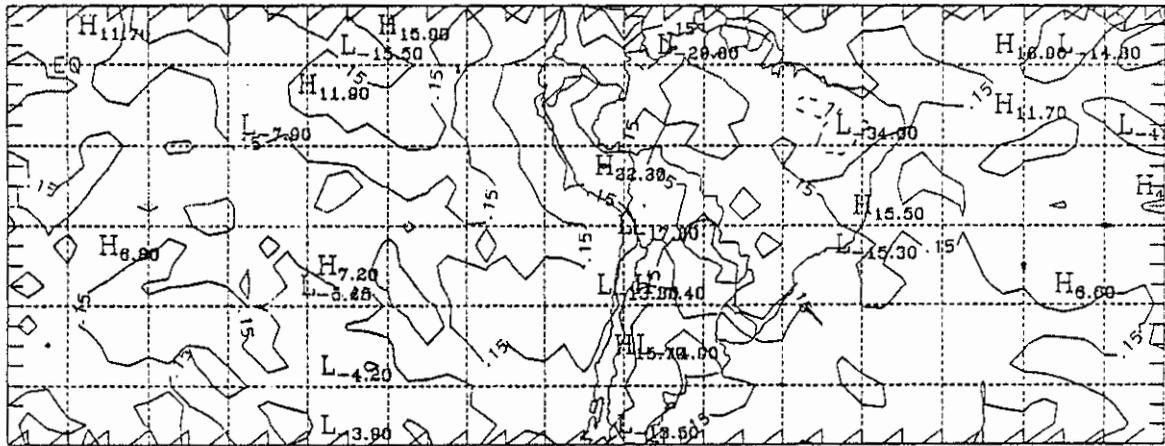


e) Pêntada de 21-25

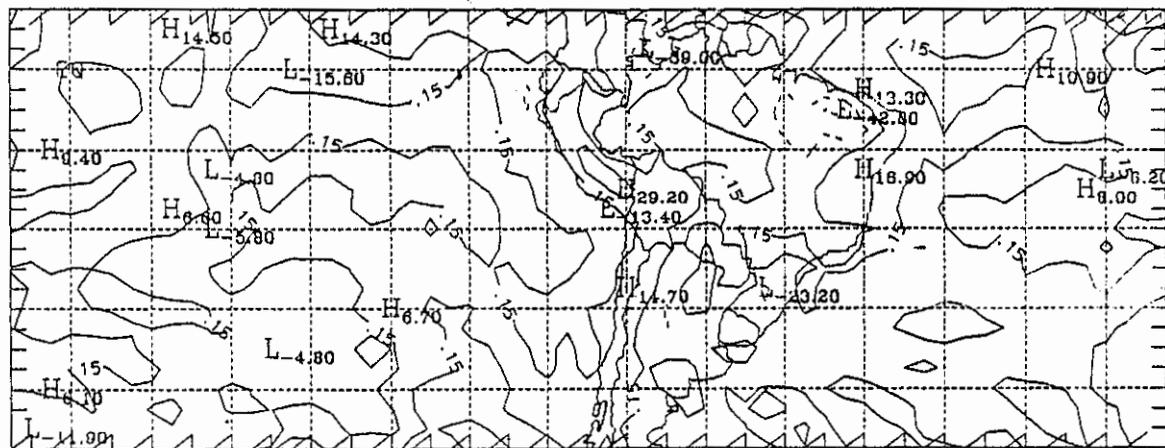
Fig. 5.24 - Conclusão.



a) Pêntada de 1-5



b) Pêntada de 6-10



c) Pêntada de 11-15

Fig. 5.25 - Pêntadas do campo de divergência em 850hPa para fevereiro de 1989.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

(continua)

Em janeiro de 1989, a presença da ZCAS caracterizada nas imagens de satélite foi curta, cobrindo praticamente o período do dia 11 a 14. O padrão atmosférico associado à ZCAS esteve presente, porém não se apresentou persistente. Sistemas frontais ativos cruzaram a região do Rio Grande do Sul associados a cavados definidos como padrão de ondas curtas, acompanhados de precipitação.

Em fevereiro de 1989, entretanto, observou-se pouca ou nenhuma precipitação durante o período em que o padrão definido neste trabalho como onda longa associado à ZCAS esteve presente (do dia 1^o ao dia 15). Este padrão foi semelhante ao observado em fevereiro de 1988, com o cavado do Pacífico permanecendo em média à oeste de 120^oW.

Durante o período em que a ZCAS esteve definida nas imagens de satélite, os sistemas frontais cruzaram a região do Rio Grande do Sul praticamente sem atividade convectiva. Após o dia 20, o padrão atmosférico mudou, apresentando um cavado com eixo posicionado à leste do Rio Grande do Sul, contribuindo para que os sistemas frontais continuassem cruzando a região com pouca atividade e mantendo o Rio Grande do Sul até o final do mês num regime de persistente subsidência. Desta forma, todo o mês de fevereiro de 1989 apresentou grande deficiência de chuvas, como está ilustrado na Figura 5.26 para duas localidades no Rio Grande do Sul.

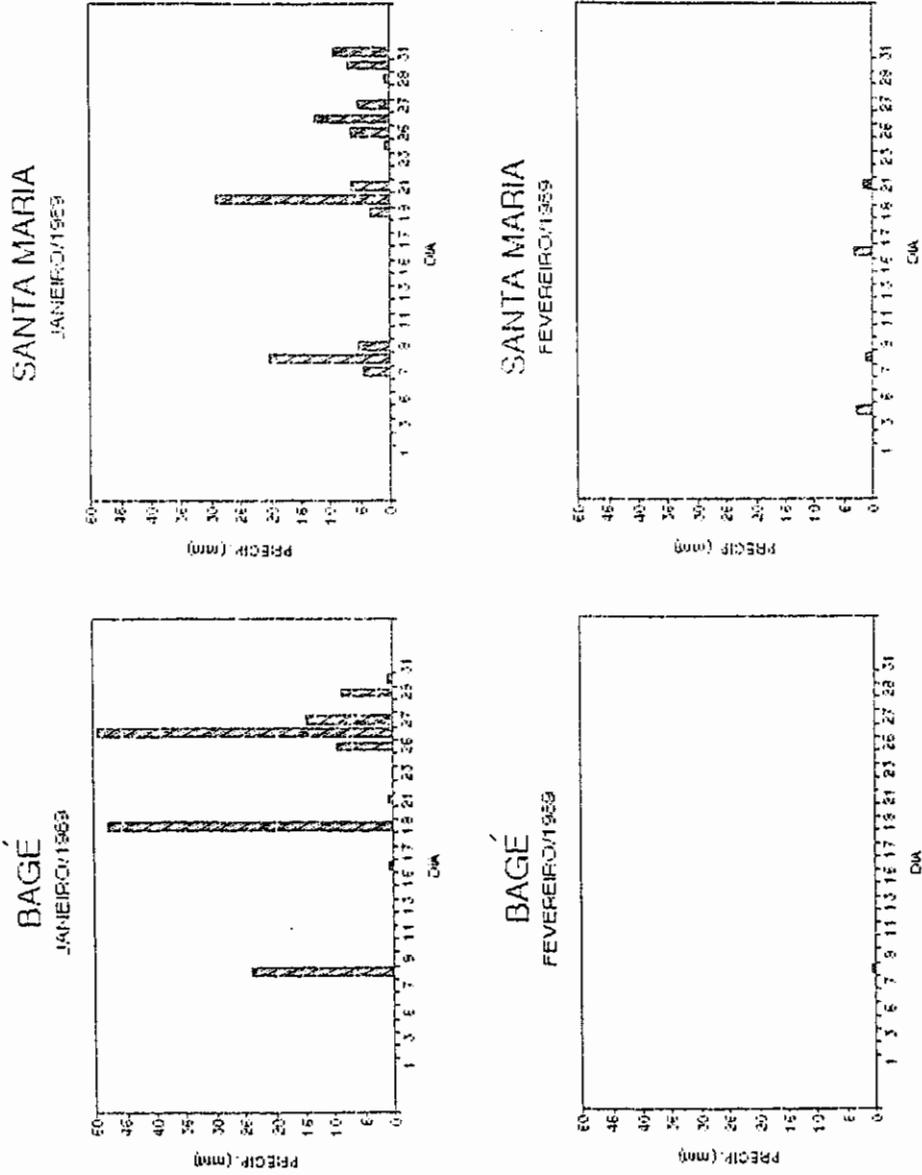


Fig. 5.26 - Precipitações diárias nos meses de janeiro e fevereiro de 1989 para as localidades de Bagé e Santa Maria.

CAPÍTULO 6DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES6.1 - DISCUSSÃO GERAL

Na análise da precipitação no Rio Grande do Sul, verificou-se que nesta região ocorrem com certa frequência anos com anomalias negativas de precipitação. Verificou-se que estes anos são caracterizados por períodos compreendidos de um ou mais meses com deficiência de precipitação, sendo raro os anos que se apresentam por inteiro com esta anomalia. Identificou-se também que estes períodos mensais com deficiência de precipitação podem ocorrer em qualquer época do ano; entretanto, devido às características de clima subtropical da região, são importantes os períodos deficientes de chuvas que ocorrem no verão. Também é importante a frequência com que estes períodos deficientes de chuva ocorrem no espaço de um ano. Observou-se que os anos de 1988 e 1989 apresentaram significativos desvios negativos na precipitação anual, tendo sido identificados quatro períodos deficientes de chuvas que se apresentaram apropriados para um estudo sinótico.

Nas análises feitas para os quatro meses selecionados, foi identificada a presença da ZCAS sobre a Região Sudeste do Brasil e sobre o Atlântico Sul, estando caracterizada nas imagens de satélite como uma banda de nebulosidade convectiva, que se estende desde o centro-norte do Brasil até o Atlântico Sul. A formação da ZCAS esteve associada à presença nos níveis médios e superiores da troposfera de um cavado sobre a América do Sul, aproximadamente sobre o sul do Brasil e de uma crista sobre o Atlântico Sul, apresentando-se estendida na maioria das vezes sobre o continente. A presença deste

cavado sobre a América do Sul caracterizou-se como um padrão atmosférico associado à ZCAS. A ZCAS associada a este padrão em altitude apresentou-se persistente nos meses de fevereiro de 1988 e 1989, enquanto nos meses de janeiro de 1988 e 1989 a presença foi menor.

Observou-se que, durante a permanência da ZCAS sobre o sudeste do Brasil e Atlântico, a região do Rio Grande do Sul esteve desprovida de nebulosidade convectiva, conforme foi observado nas imagens de satélite, bem como apresentou ausência de precipitação. Nestas situações, com a presença da ZCAS, os sistemas frontais deslocaram-se sobre a região do Rio Grande do Sul com fraca atividade convectiva e pouca precipitação. As análises do campo de movimento vertical mostraram ausência de movimento ascendente associado a sistemas frontais sobre a região do Rio Grande do Sul nos meses de fevereiro. A subsidência em grande escala esteve associada ao fato da região do Rio Grande do Sul ter estado preferencialmente à oeste do eixo do cavado.

O posicionamento do cavado associado à ZCAS sobre a América do Sul ocorreu em alguns casos com a presença praticamente simultânea de um cavado sobre o Pacífico, de maneira que estas configurações apresentaram-se como um padrão de onda. Nos meses de fevereiro este padrão de onda apresentou-se persistente e semi-estacionário, com o cavado do Pacífico posicionado à oeste de $120^{\circ}W$, caracterizando-se como um padrão de onda longa. Por outro lado, nos meses de janeiro o cavado do Pacífico não esteve bem caracterizado, exceto por ocasião da presença da ZCAS, e a configuração em altitude se apresentou como um padrão de onda curta, ou de escoamento zonal no Sul do Brasil.

A ZCAS esteve presente por determinados dias, apresentando-se caracterizada nas primeiras quinzenas do mês de fevereiro de 1988 e 1989. No caso de fevereiro de 1988, após o padrão associado a ZCAS ser desfeito, ocorreram precipitações no Rio Grande do Sul, o que contribuiu para uma menor anomalia negativa de precipitação.

No mês de fevereiro de 1989, com pronunciada deficiência de chuvas, observou-se que após o padrão atmosférico associado à ZCAS ser desfeito, um cavado permaneceu preferencialmente à sudeste do Rio Grande do Sul, de modo que os sistemas frontais foram desviados para o Atlântico antes de atingir a região, ou deslocaram-se com pouca atividade convectiva. Assim, durante todo o mês de fevereiro de 1989 a região em torno do Rio Grande do Sul sofreu a ausência de sistemas frontais ativos e, portanto, de precipitação. Por outro lado, a Região Sudeste do Brasil, sobre efeito da ZCAS, experimentou precipitações elevadas.

Nos meses de janeiro o padrão atmosférico associado à ZCAS, embora presente, não se apresentou persistente, sendo observado no campo de geopotencial, em médios e altos níveis, a propagação de ondas curtas associadas a sistemas frontais sobre o sul do Brasil, em ocasiões em que a ZCAS estava ausente. Em janeiro de 1988 e 1989, as análises do movimento vertical mostram movimentos ascendentes associados aos sistemas frontais sobre o Rio Grande do Sul.

Os efeitos do padrão descrito acima podem ser entendidos analisando o campo de advecção de vorticidade. Para distúrbios no escoamento de oeste em latitudes médias, as componentes da vorticidade absoluta apresentam efeitos opostos, ou seja, a advecção de

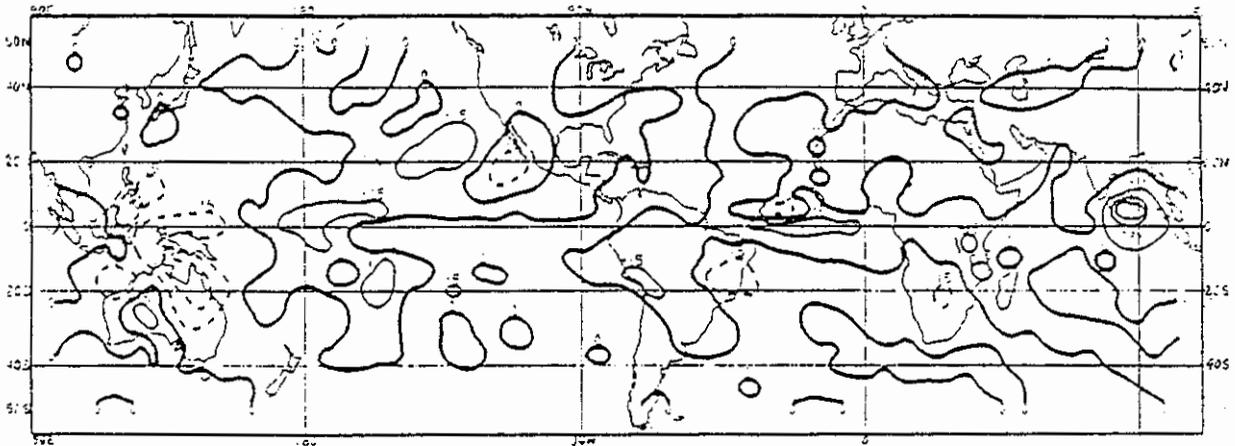
vorticidade relativa tende a mover as configurações de vorticidade (cristas e cavados) na direção leste (no sentido do escoamento), enquanto a advecção de vorticidade planetária tende a mover as configurações na direção oeste (contrária ao escoamento), de modo que o deslocamento da configuração depende de qual advecção de vorticidade domina. A advecção de vorticidade relativa tende a dominar para as ondas curtas, enquanto a advecção de vorticidade planetária tende a dominar para as ondas longas, de modo que, na situação real, distúrbios de escala sinótica de onda curta deslocam-se rapidamente para leste, enquanto ondas longas tendem a ser estacionárias (Holton, 1979).

Tal situação foi observada nos meses de fevereiro quando a configuração de onda longa se apresentou persistente e semi-estacionária. Este padrão resultou em efeitos semelhantes a uma situação de bloqueio, uma vez que os sistemas frontais deslocavam-se zonalmente ao sul da América do Sul, dirigindo-se para o Atlântico. No mês de fevereiro de 1988 e 1989 o número de sistemas frontais que penetraram na faixa latitudinal do Rio Grande do Sul esteve abaixo da frequência média para fevereiro, segundo a climatologia de Oliveira (1986). Situação oposta ocorreu no mês de janeiro de 1988 e 1989, quando predominaram configurações de onda curta, que apresentaram rápido deslocamento dos sistemas para leste.

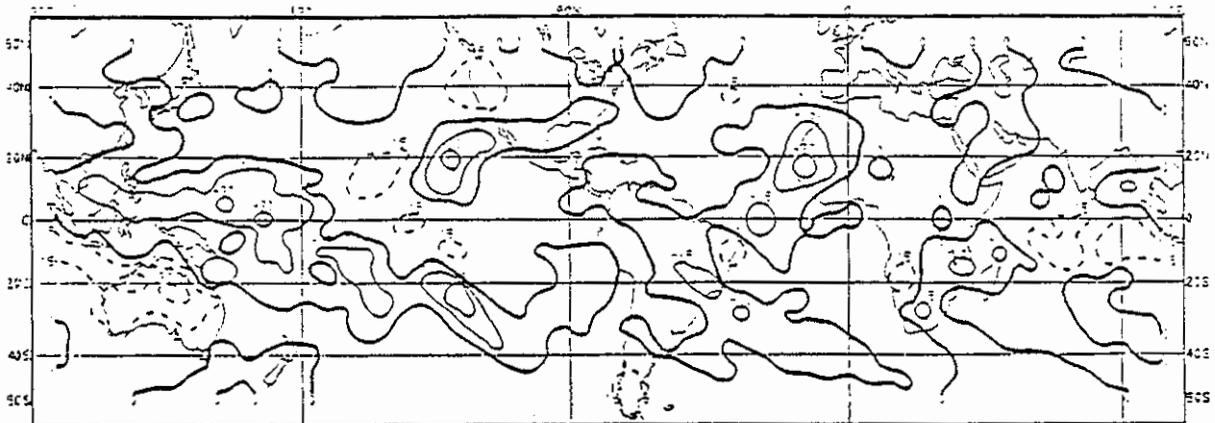
Conforme já citado, sob situações de presença da ZCAS sobre a Região Sudeste, os sistemas frontais deslocaram-se sobre o Rio Grande do Sul e regiões adjacentes com fraca atividade e pouca nebulosidade convectiva, como observado nas imagens de satélite. Considerando o modelo conceitual de Browning (1986), pode-se sugerir que nestas situações os sistemas frontais, ao se deslocarem sobre o Rio Grande do Sul, não apresentavam a existência da esteira transportadora quente. Por outro

lado, a alongada faixa de nebulosidade convectiva que se estende desde a Amazônia até o Atlântico sobre a ZCAS na Região Sudeste do Brasil sugere a presença da esteira transportadora quente associada ao sistema frontal estacionado sobre esta região. Assim, nestas situações, o fluxo de ar quente e úmido nos baixos níveis que alimentaria os sistemas frontais que se deslocaram sobre o Rio Grande do Sul estaria confinado apenas à região da ZCAS, a leste do cavado que a caracteriza.

A Figura 6.1a mostra anomalias de radiação de onda longa emergente (ROLE) para a América do Sul em janeiro de 1988, que apresentou anomalia negativa no sul do Brasil e pequena anomalia positiva no sudeste e nordeste. Na Figura 6.2a observa-se que os desvios de precipitação são negativos no sudeste e positivos no sul do Brasil. A situação é oposta em fevereiro de 1989, onde o sul do Brasil e regiões adjacentes apresentam anomalia positiva de ROLE, enquanto anomalias negativas de ROLE aparecem sobre a Região Sudeste do Brasil (Figura 6.1d), com uma orientação de noroeste a sudeste, na região onde em média foi observada a ZCAS. Os desvios de precipitação para este período são negativos no sul do Brasil e positivos na região sudeste (Figura 6.2d).



a) Janeiro de 1988.



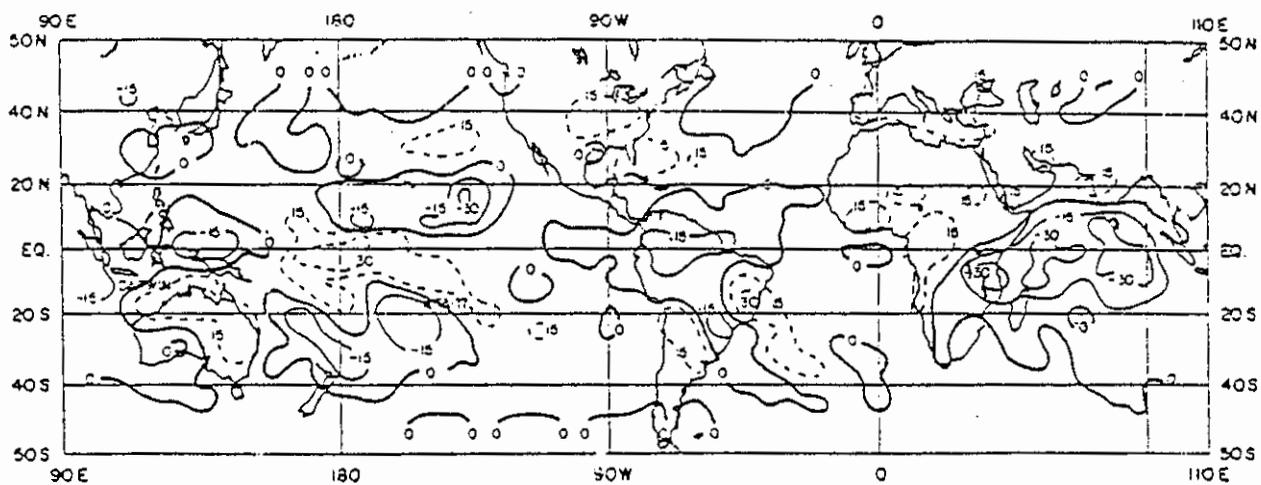
b) Fevereiro de 1988.

Fig. 6.1 - Cartas mensais de anomalia de radiação de onda longa emergente; desvios com base no período 1974-83 para janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.

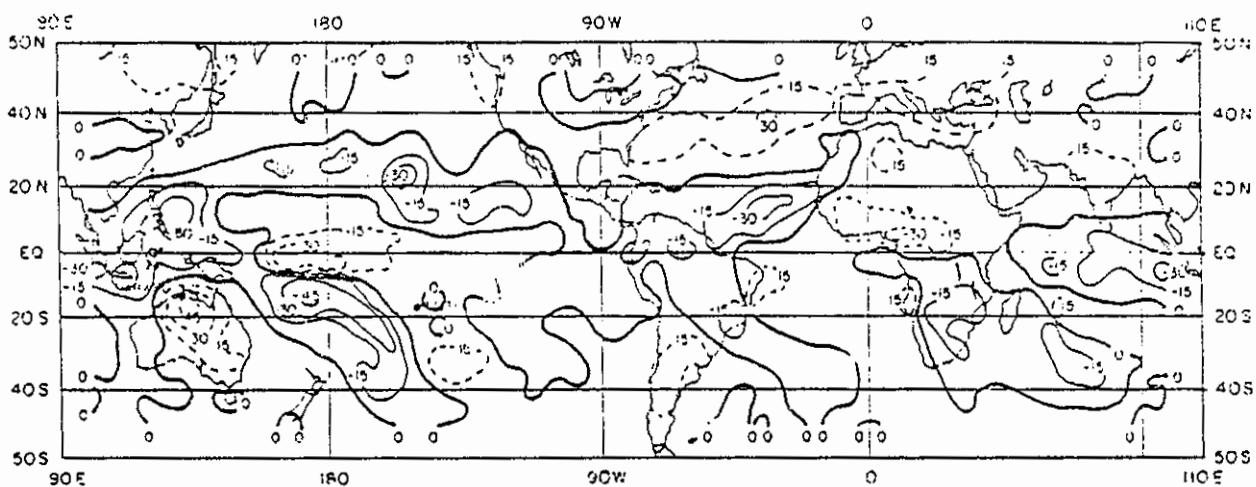
Fonte: Climanálise (1988a,1988b,1989c,1989d).

-Anomalias positivas em linhas tracejadas.
 -Unidades em W/m^2 .

(continua)

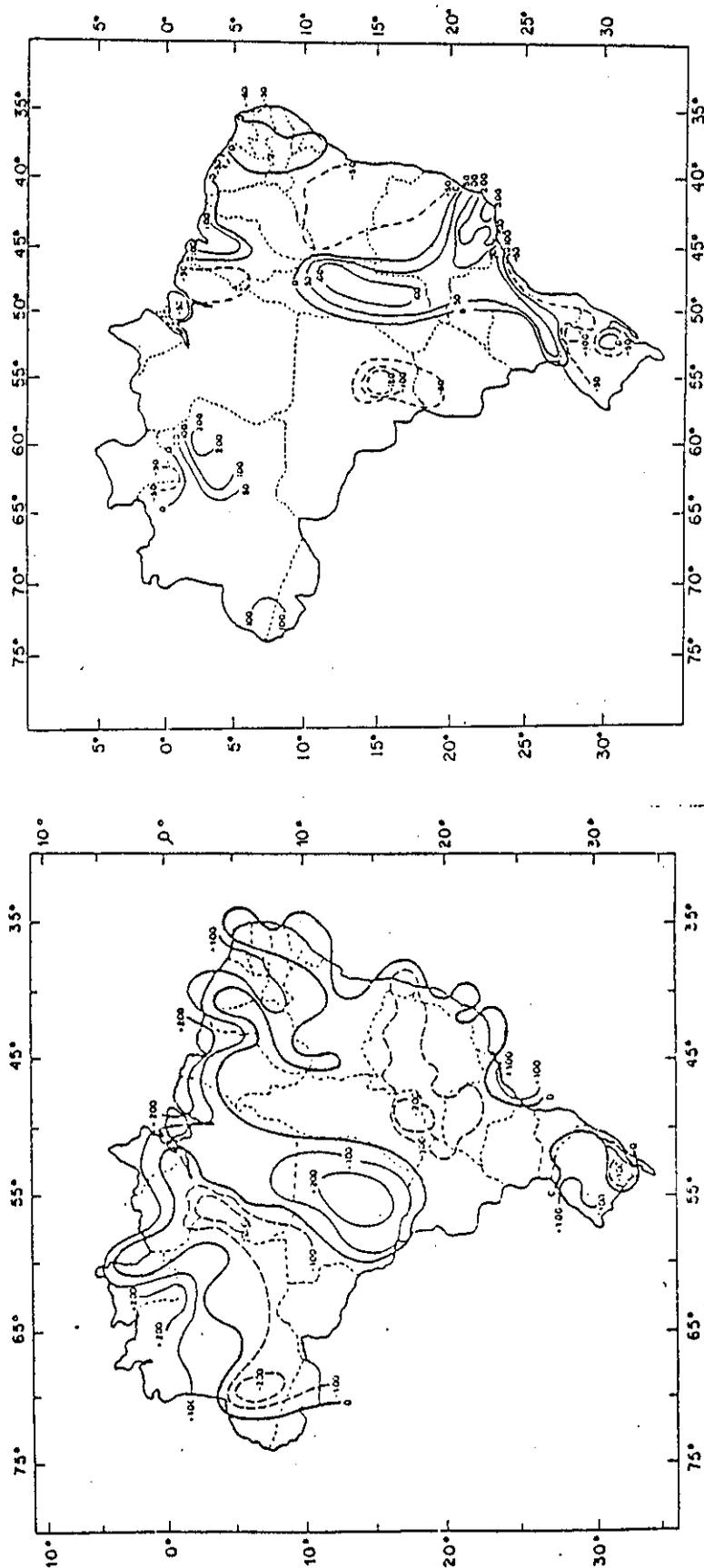


c) Janeiro de 1989.



d) Fevereiro de 1989.

Fig 6.1 - Conclusão.

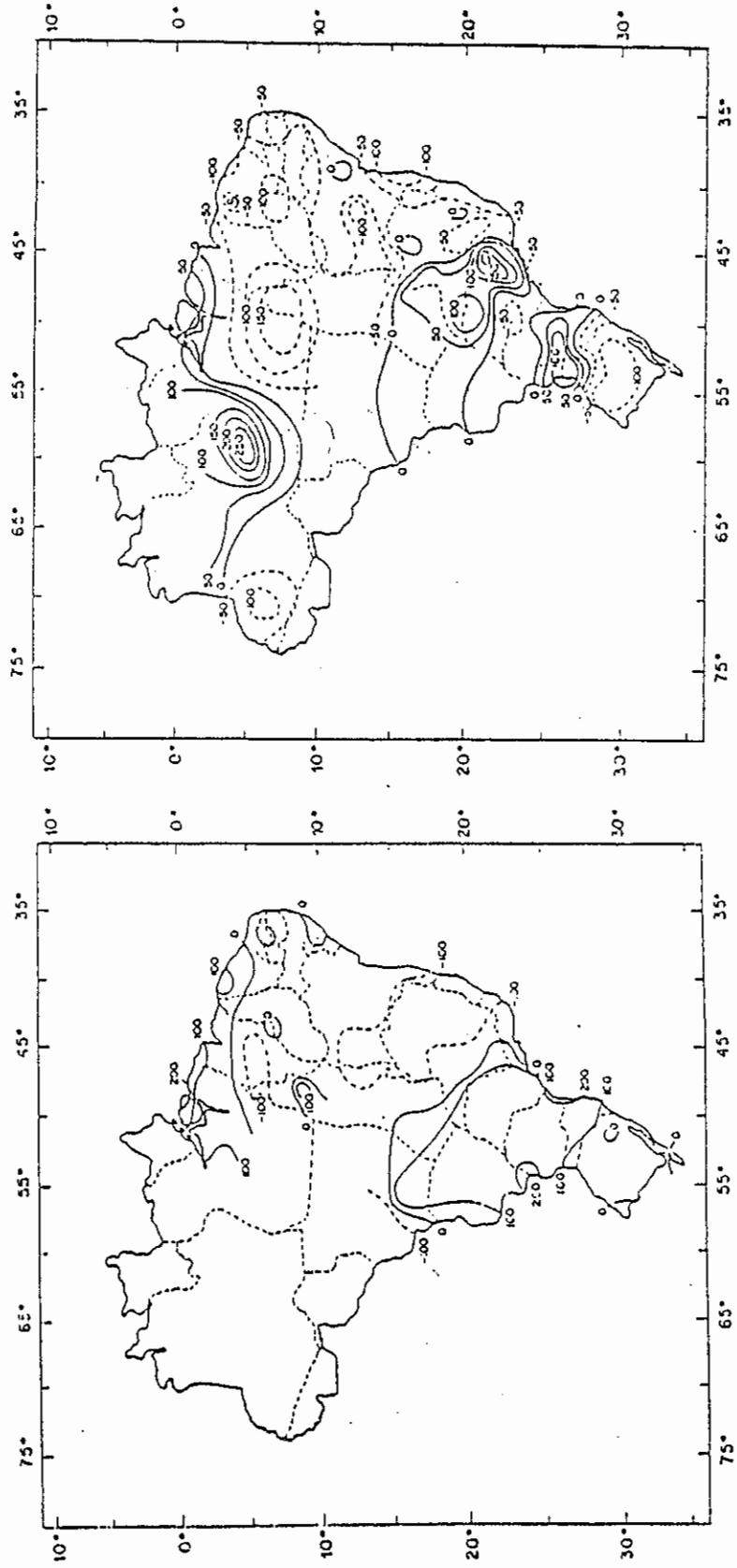


a) Janeiro de 1988.

b) Fevereiro de 1988.

Fig. 6.2 - Cartas mensais de desvios de precipitação (%) em relação à normal (1931-60) para a) janeiro de 1988, b) fevereiro de 1988, c) janeiro de 1989, d) fevereiro de 1989.
 Fonte: Climanalise (1988a, 1988b, 1989c, 1989d).

- Desvios negativos em linhas tracejadas. (continua)



c) Janeiro de 1989.

d) Fevereiro de 1989.

Fig. 6.2 - Conclusão.

Em situação intermediária estão os meses de fevereiro de 1988 e janeiro de 1989. Em fevereiro de 1988, os desvios negativos de precipitação no sul do Brasil não foram acentuados como em fevereiro 1989. Porém, no sudeste do Brasil houve desvios positivos pronunciados (Figura 6.2b). O campo de ROLE apresentou em fevereiro de 1988 anomalia negativa no sudeste do Brasil, enquanto no sul não houve anomalia significativa (Figura 6.1b). Em janeiro de 1989, não houve desvios (positivos) de precipitação no Rio Grande do Sul, enquanto no Paraná e São Paulo ocorreram desvios positivos de precipitação (Figura 6.2c), e sobre Minas Gerais ocorreram desvios negativos. No campo de anomalia de ROLE (Figura 6.1c) ocorreram anomalias negativas no sul e sudeste, e anomalias positivas no nordeste do Brasil e na Argentina e Uruguai. Entretanto, observa-se na Figura 4.4 que em janeiro de 1989 ocorreram precipitações abaixo da média sobre a Argentina. Estas associações entre anomalias de ROLE e de precipitações no sul e sudeste do Brasil estão de acordo com os resultados de Casarin e Kousky (1986).

A identificação da nebulosidade associada à ZCAS em fevereiro de 1988 nas imagens de satélite, bem como das configurações associadas à ZCAS nos campos de geopotencial e de vorticidade nos níveis médios e superiores da atmosfera, conferem com os resultados obtidos por Silva Dias et al. (1988), ao analisarem dados de radiação de onda longa emergente (ROLE) na forma de pântadas para fevereiro de 1988. No citado estudo, foi identificado um período idêntico de presença da ZCAS, do dia 1^o a 20, havendo também concordância no posicionamento da ZCAS. Eles também sugerem que o rompimento da ZCAS pode ser precedido cerca de quinze dias por mudanças na ZCPS. Este fato pode estar relacionado com as oscilações de 30 a 60 dias, conforme sugerem Casarin e Kousky (1986), que encontraram propagação para leste das anomalias de ROLE

associadas com as zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), do Pacífico Sul (ZCPS) e do Oceano Índico.

Nas análises apresentadas no Capítulo 5, a configuração associada à ZCAS observada nas pântadas do campo de geopotencial em 500hPa, esteve caracterizada por um cavado no Atlântico e outro sobre o Pacífico em torno de 120°W , confirmado também no campo de vorticidade relativa (VR) em 200hPa. Observou-se que esta configuração ocorreu com a presença praticamente simultânea dos cavados do Atlântico e do Pacífico.

A advecção de vorticidade caracterizada por mudanças rápidas em sua configuração devido ao desenvolvimento e deslocamento dos sistemas atmosféricos, não apresentou-se como um bom parâmetro para, através de pântadas, analisar o desenvolvimento das configurações relacionadas com a ZCAS. Portanto uma possível relação com as oscilações de 30 a 60 dias, mencionada anteriormente não pode ser confirmada. Neste caso, sugere-se que a advecção de temperatura pode ser um parâmetro melhor apropriado, permitindo uma melhor interpretação física com relação ao desenvolvimento destes sistemas.

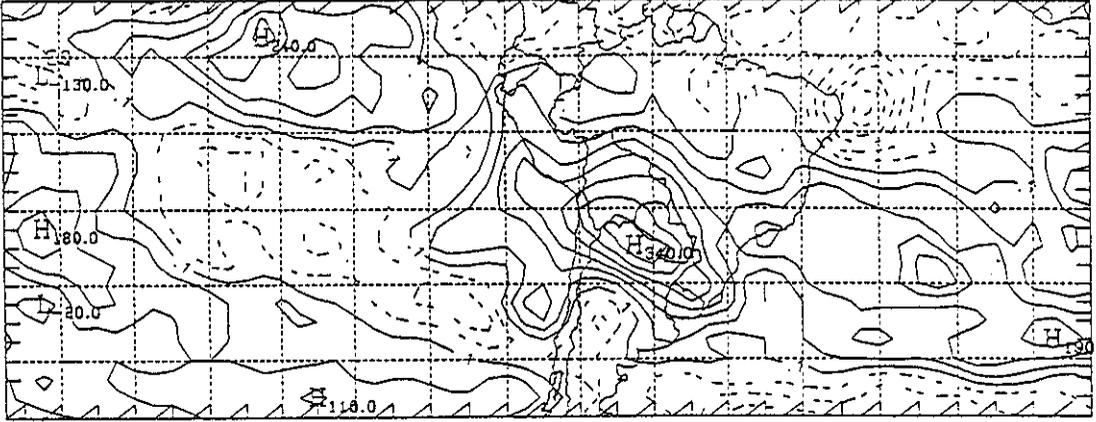
Nas análises das pântadas do campo de geopotencial e do campo de vorticidade relativa, o cavado da América do Sul associado à ZCAS é observado nos níveis médios e superiores da troposfera, geralmente com inclinação que tende a ser de noroeste a sudeste. Oliveira (1986) também observou que os sistemas frontais que organizam bandas de convecção sobre a América do Sul, as quais geralmente estacionam na região das ZCAS, apresentam-se associados a cavados que se estendem por toda troposfera, com inclinação de noroeste a sudeste.

Outro aspecto sugerido pelas imagens de satélite foi que, nos meses de fevereiro de 1988 e janeiro

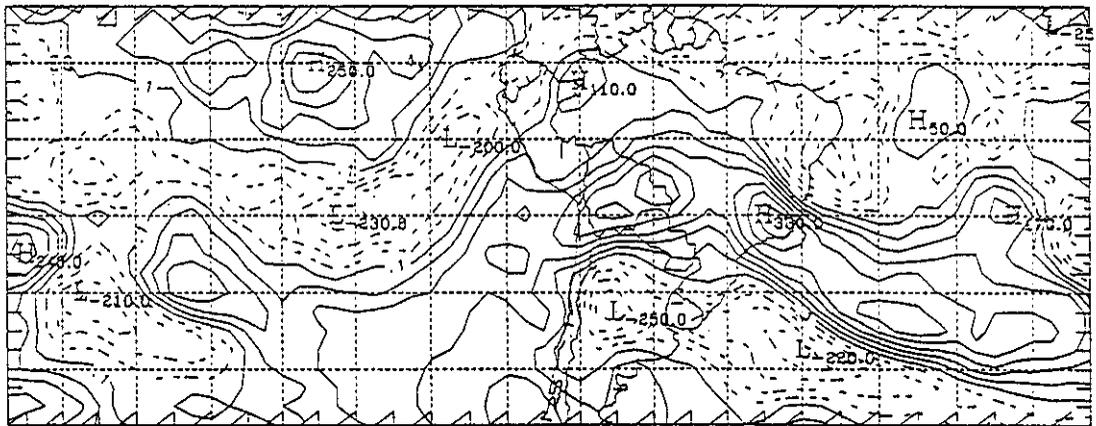
de 1989, a faixa de nebulosidade convectiva associada à ZCAS parece ter se alinhado com a posição média da nebulosidade convectiva associada à alta da Bolívia, o que resultou na descaracterização da configuração da alta da Bolívia nas imagens de satélite. O contrário parece ser observado em janeiro de 1988, quando a ZCAS posicionou-se ao norte da posição média da alta da Bolívia.

Estes fatos podem também ser observados nas pântadas do campo de vorticidade relativa em 200hPa, onde verifica-se que por ocasião da presença da ZCAS em fevereiro de 1988 a alta da Bolívia esteve descaracterizada. Em fevereiro de 1989 as análises de VR mostram um deslocamento da alta da Bolívia para sul e para oeste sobre o Pacífico, de modo que ela não se apresentava associada com a ZCAS. Em janeiro de 1988 a alta da Bolívia e a ZCAS não estavam alinhadas, o que resultou numa boa caracterização da alta da Bolívia.

Estes padrões podem ser melhor observados na Figura 6.3, que apresenta o campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa para os quatro meses em análise, e que podem ser comparados com a climatologia do campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa sobre a América do Sul (Carvalho, 1989), representada na Figura 2.5. Observa-se que a configuração da área de VR positiva associada com a alta da Bolívia está melhor caracterizada em janeiro de 1988 (Figura 6.3a), com um padrão semelhante ao da Climatologia da Figura 2.5. Em fevereiro de 1988, observa-se na Figura 6.3b, uma associação mais evidente entre a ZCAS e a alta da Bolívia em comparação com a climatologia da Figura 2.5, enquanto em fevereiro de 1989 observa-se o deslocamento para sudoeste, sobre o Pacífico, da alta da Bolívia.



a) Janeiro de 1988.

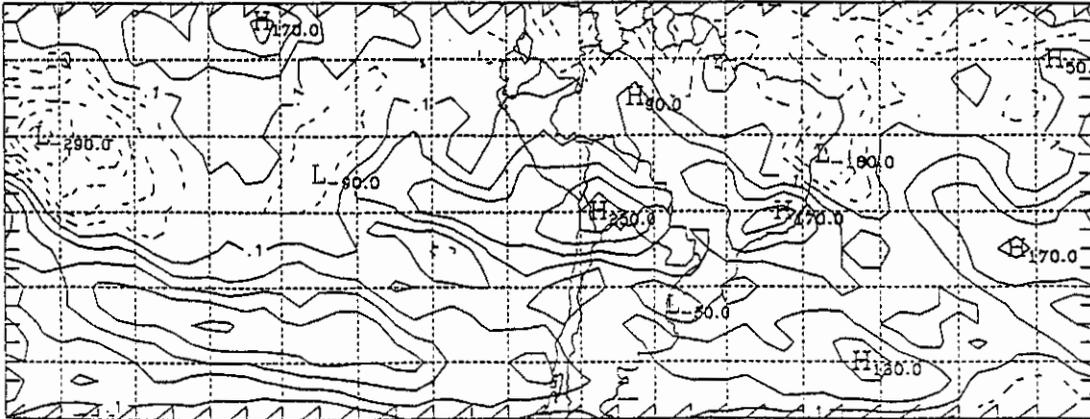


b) Fevereiro de 1988.

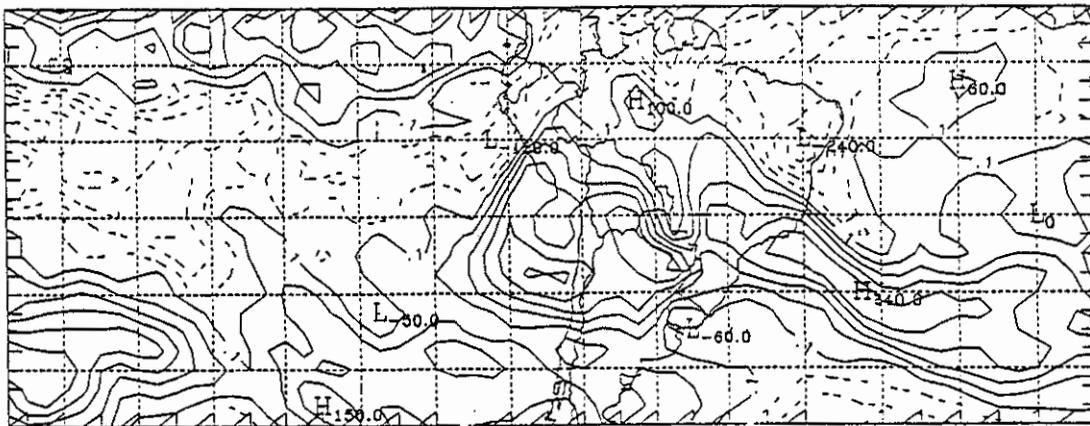
Fig. 6.3 - Campo médio mensal de vorticidade relativa em 200hPa nos meses de janeiro e fevereiro de 1988 e 1989.

- Isolinhas negativas em linhas tracejadas.
- Intervalos de $50 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

(continua)



c) Janeiro de 1989.



d) Fevereiro de 1989.

Fig. 6.3 - Conclusão.

Como citado na introdução deste estudo, alguns trabalhos encontraram significativa relação entre El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e precipitação no Sul do Brasil, Uruguai e centro-nordeste da Argentina (Ropelewsky and Halpert, 1987; Rao e Hada, 1990). A Tabela 6.1 apresenta os valores mensais do índice de Oscilação Sul (IOS) e de precipitação mensal para três localidades no Rio Grande do Sul, onde se observa que nos anos de 1986 e 1987 predominam IOS negativos e desvios positivos de precipitação, e nos anos de 1988 e 1989, em estudo neste trabalho, predominam IOS positivos e desvios negativos de precipitação.

A Figura 6.4 apresenta a série anual do índice de Oscilação Sul (IOS) referente ao período de 1952-90 e a série de desvios normalizados da precipitação anual média para oito localidades no Rio Grande do Sul, referente ao mesmo período. Observa-se que as duas séries apresentam um comportamento semelhante, onde a maioria dos anos com picos negativos (positivos) de IOS coincidem com desvios positivos (negativos) de precipitação no Rio Grande do Sul. Entretanto, alguns anos com desvio negativo (positivo) pronunciado na precipitação no Rio Grande do Sul não apresentam valores positivos (negativos) pronunciados de IOS.

No período de 1988 a 1989 a Figura 6.4 parece sugerir que a ocorrência da fase fria (La Niña) do fenômeno Oscilação Sul pode ter estado associada à deficiência de chuvas no Rio Grande do Sul.

TABELA 6.1a

ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL E PRECIPITAÇÃO
EM LOCALIDADES DO RIO GRANDE DO SUL
PARA OS ANOS DE 1986 E 1987.

ANO :	IOS :	PRECIP. % NORMAL		
		(CAC) :	BG :	PL : SL
1986				
J	0.8	146.9	126.3	153.4
F	-1.2	90.1	131.0	65.2
M	-0.1	220.7	159.8	137.4
A	0.1	128.9	133.2	179.9
M	-0.6	237.7	208.3	162.3
J	1.0	32.7	85.1	39.2
J	0.1	60.4	35.2	33.0
A	-0.9	150.7	100.0	55.1
S	-0.5	80.8	59.1	112.7
O	0.7	116.3	108.9	137.3
N	-1.6	487.2	252.7	373.3
D	-1.6	8.5	98.3	10.6
1987				
J	-0.8	229.0	63.0	135.0
F	-1.4	60.2	55.9	58.4
M	-2.0	223.4	130.2	146.4
A	-2.7	205.8	188.8	240.0
M	-2.0	117.4	146.4	85.8
J	-2.7	42.2	39.2	47.1
J	-1.8	219.8	192.4	183.9
A	-1.7	215.3	267.8	145.2
S	-1.1	152.0	111.2	133.4
O	-0.7	43.1	62.7	49.3
N	-0.1	152.1	112.2	103.8
D	-0.6	237.4	239.8	113.4

BG - Bagé,
 PL - Pelotas,
 SL - Santana do Livramento.

- A precipitação está em porcentagem do valor normal
 (1931-60).

(continua)

TABELA 6.1b

ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL E PRECIPITAÇÃO
EM LOCALIDADES DO RIO GRANDE DO SUL
PARA OS ANOS DE 1988 E 1989.

ANO :	IOS :	PRECIP. % NORMAL		
		(CAC) :	BG :	PL : SL
1988				
J	-0.3	220.2	114.0	271.2
F	-0.6	59.0	76.4	59.5
M	0.1	98.4	38.0	82.3
A	0.0	41.4	61.2	26.9
M	1.1	22.8	25.4	32.0
J	-0.3	69.9	61.3	72.1
J	1.1	52.9	62.5	39.3
A	1.4	62.3	25.5	56.5
S	1.9	162.1	103.3	194.3
O	1.3	42.5	53.0	42.3
N	1.9	123.4	108.0	135.1
D	1.1	34.2	33.9	38.3
1989				
J	1.3	145.1	159.7	96.7
F	0.8	1.2	21.1	15.5
M	0.6	83.2	40.5	60.0
A	2.3	86.9	56.8	82.8
M	1.4	13.9	30.4	17.8
J	0.8	11.4	19.5	23.9
J	0.8	43.6	33.0	34.4
A	-0.8	100.5	63.6	108.0
S	0.6	69.8	41.9	46.6
O	0.6	35.8	56.2	85.9
N	-0.4	106.0	209.2	151.6
D	-0.7	70.9	76.9	83.1

BG - Bagé,
 PL - Pelotas,
 SL - Santana do Livramento.

- A precipitação está em porcentagem do valor normal (1931-60).

De acordo com os trabalhos de Ropelewsky e Halpert (1987, 1989), o Rio Grande do Sul situa-se na fronteira da área que apresenta relação com a Oscilação Sul, que compreende ainda o Uruguai e o centro e nordeste da Argentina. Foi comentado no Capítulo 4 que as anomalias negativas de precipitação nos anos de 1988 e 1989 ocorreram também sobre o Uruguai e no centro e norte da Argentina.

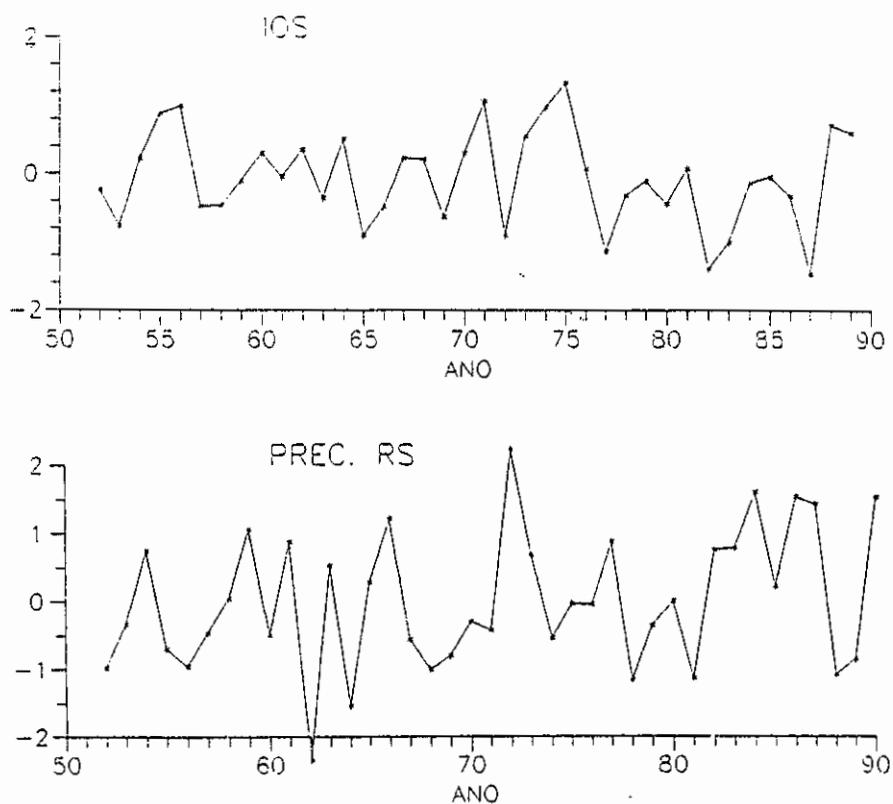


Fig. 6.4 - Séries anuais do índice de Oscilação Sul e precipitação média de oito localidades no Rio do Grande do Sul para o período de 1952 a 1990.

Isto implica que os padrões atmosféricos observados e relacionados com a posição e intensidade da ZCAS neste período podem ter relação com a resposta da atmosfera a este evento. A intensidade e posicionamento da ZCAS originaria um ramo subsidente sobre as regiões do Rio Grande do Sul, Argentina e Uruguai, provocando ausência de precipitação nestas áreas. Para ser melhor entendida esta situação exigiria uma investigação através de modelagem numérica.

As informações aqui apresentadas sugerem que o período deficiente de chuvas em 1988 e 1989 possa estar relacionado com o evento de La Niña.

6.2 - CONCLUSÕES e SUGESTÕES

No Rio Grande do Sul, onde o regime de chuvas apresenta uma distribuição mensal uniforme, a ocorrência de anos com anomalia negativa de precipitação é considerável, sendo estes anos caracterizados por um ou mais períodos mensais com deficiência de precipitação, como no caso dos anos de 1988 e 1989, sendo importante a frequência com que estes períodos ocorrem dentro de um ano.

As análises sinóticas feitas para os períodos de janeiro-fevereiro de 1988 e 1989 confirmam que os períodos deficientes de chuva sobre o Rio Grande do Sul, no verão, ocorrem por ocasião da formação e persistência da ZCAS sobre a Região Sudeste do Brasil. Esta esteve associada a um padrão atmosférico nos níveis médios e superiores da troposfera, caracterizado por um cavado sobre a América do Sul, além de um cavado sobre o Pacífico entre 150° e 120° W.

Duas configurações nos campos de geopotencial mostraram-se evidentes. Uma nos meses de

fevereiro, com o cavado do Pacífico posicionado mais a oeste, resultando, junto com o cavado sobre a América do Sul, em um padrão de onda mais longa. Conseqüentemente, esta configuração, semi-estacionária, persistindo por vários dias, resultou em efeitos semelhantes a um bloqueio, contribuindo para desviar os sistemas frontais para o Atlântico. O Rio Grande do Sul permanecendo situado à oeste do eixo do cavado, esteve sujeito à subsidência, o que contribuiu para inibir a atividade convectiva sobre esta região. A outra no mês de janeiro de 1988 e 1989, apresentando-se como um padrão de onda curta, presente por um tempo menor e com o cavado do Pacífico posicionado mais próximo da América, permitindo que os sistemas frontais ativos se deslocassem pela região do Rio Grande do Sul e adjacências.

Estes dois períodos de anomalias negativa de precipitação nos verões de 1988 e 1989 coincidiram com a fase positiva do fenômeno de Oscilação Sul, assim como em outros casos que ocorreram no passado, o que indica que eles podem estar relacionados com este evento, como foi sugerido por Satyamurty e Etchichury (1989).

O presente trabalho limitou-se a identificar e caracterizar as configurações atmosféricas presentes nos campos de alguns parâmetros durante períodos deficientes de chuvas no verão no Rio Grande do Sul. Entretanto, para maior aprofundamento físico, seria necessário também analisar os campos de advecção de temperatura e de umidade.

O estudo apresentou resultados que incentivam o prosseguimento desta pesquisa. Assim, propõe-se que trabalhos futuros abordem os seguintes pontos:

- estender este estudo sinótico para outros verões com deficiência de chuvas que ocorreram durante eventos de

La Nina, com o objetivo de verificar a ocorrência do padrão de onda longa identificado nesta tese;

- estudar outros verões com deficiência de chuvas que não ocorreram em períodos de La Nina, com o objetivo de verificar se o padrão de onda longa também ocorreu;

- aplicar o mesmo estudo para verões sem deficiência de chuvas, os quais não se encontram em episódio de La Niña, com o objetivo de identificar um padrão característico e contrastá-lo com os que apresentam deficiência de precipitação;

- estudar os períodos deficientes de chuvas de inverno, como os identificados nos anos de 1988 e 1989, com o objetivo de caracterizar um padrão atmosférico para esta estação do ano;

-estudar modelos numéricos para os dois casos de verão analisados neste trabalho, com o objetivo de conhecer melhor uma possível teleconexão com o episódio de La Nina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. On the functioning of the southern oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, 116(3):505-524, Mar. 1988.
- Azevedo, D.C. **Chuvas no Brasil: regime, variabilidade e probabilidades de alturas mensais e anuais.** (Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.
- Berlato, M. **Análise de alguns elementos componentes do agroclima do Estado do Rio Grande do Sul.** (Dissertação de Mestrado) - Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, Turrialba, 1970.
- Bonatti, J.P.; RAO, V.B. Moist baroclinic Instability in the developmente of North Pacific and South American intermediate-scale disturbances. **Journal Atmospheric sciences**, 44(18):2657-2667, Sept. 1987.
- Browning, K.A. Conceptual models of precipitation systems. **Journal Weather and Forecasting**, 1, 23-41, 1986.
- Calheiros, R.V.; SILVA DIAS, P.L. Como prever melhor. **Climanálise**, 3(2):31-32, fev. 1988.
- Carvalho, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, fev. 1989. (INPE-4923-TDL/283).

Casarin, D.P. **Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueio no hemisfério sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, fev. 1983, 82 p. (INPE-2638-TDL/114).

Casarin, D.P.; KOUSKY, V.E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1(2):83-90, 1986.

Cavalcanti, I.F.A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, jul. 1982. (INPE-2494-TDL/097).

_____ **Casos de intensa precipitação nas regiões sul e sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983.** São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, dez. 1985. 47p. (INPE-3743-RPE/498).

Climanálise. São José dos Campos, v. 3, n. 1, jan. 1988a.

_____ São José dos Campos, v. 3, n. 2, fev. 1988b.

_____ São José dos Campos, v. 4, n. 1, jan. 1989a.

_____ São José dos Campos, v. 4, n. 2, fev. 1989b.

Climate Diagnostics Bulletin. Climate Analysis Center, Washington, n. 86/4, Mar. 1986.

_____ Climate Analysis Center, Washington, n. 87-91, 1987-1991.

Dracup, J.A.; Lee, K.S.; Paulson, E.G. On the definition of droughts. **Water Resources Research**, 16(2):297-302, Abr. 1980.

- Figueroa, S.N. **Simulações da circulação atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da cordilheira dos Andes usando coordenadas eta.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, dez. 1990, 110 p. (INPE-5269-TDI/445).
- Gilman, C.S. Rainfall. In: Chow, V.T. ed. **Handbook of applied hydrology.** New York, McGraw-Hill, 1964. p. 9.1-9.65.
- Guedes, R.L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoscala sobre a região central da América do Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, Jun. 1985. 79p.
- Guttman, N.B. Statistical descriptors of climate. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 70(6):602-607, Jun. 1989.
- Holton, J.R. **An introduction to Dynamic Meteorology.** 2.ed. Seattle, Academic Press, 1979. 391 p.
- Hounam, C.E. et al **Drought and agriculture.** Geneva, WMO, 1975. 127 p. (WMO - Technical Note Nº. 138).
- Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO) **Atlas agroclimatológico do Estado do Rio Grande do Sul,** Porto Alegre, 1989. v.3, p. 262.
- Jagannathan, P. et al **A note on climatological normals.** Geneva, WMO, 1967. 19 p. (WMO - Technical Note Nº 84)
- Landsberg, H.E.; Jacobs, W.C. Applied climatology. In: Malone, T., ed. **Compendium of meteorology.** Boston, American Meteorological Society, 1951. p. 976-992.

Maddox, R.A.; Doswell III, C.A. An examination of jet stream configurations, 500mb vorticity advection and low-level thermal advection patterns during extended periods of intense convection. **Monthly Weather Review**, 110(3):184-197, Mar. 1982.

Monthly Climatic Data for the World. National Climatic Data Center, Asheville, v. 41-42, 1988-1989.

Nobre, C.A. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do oceano Atlântico. **Climanálise**, 3(4):30-33, abr. 1988.

Oliveira, A.S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, out. 1986. 134 p. (INPE-4008-TDL/239).

Palmer, W.C. **Meteorological drought.** U.S. Weather Bureau, Washington, DC, Fev. 1965. 64p. (Res. Pap. N° 45).

Peagle, J. et al. Diurnal Oscillation of convective weather and boundary layer flows in South America. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2., Pelotas, out. 1982. **Anais.** Pelotas, SBMET, v.3, p.132-146.

Pittock, A.B. Patterns of climatic variation in Argentina and Chile-I: Precipitation, 1931-60. **Monthly Weather Review**, 108(9): 1347-1361, Sept. 1980.

Rao, V.B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, 42(2):81-91, 1990.

- Ratisbona, C.R. The climate of Brazil. In: Schwerdtfeger, W. eds. **Climates of central and South America**. Amsterdam, Elsevier, 1976. p.219-293.
- Ropelewsky, C.F.; Halpert, M.S. Global and Regional Scale Precipitation patterns associated with the El Nino/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, 115(8):1606-1626, Aug. 1987.
- _____ Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 2(3):268-284, Mar. 1989.
- Satyamurty, P.; Etchichury, P.C. Seca de 1988/89 no sul do Brasil. **Climanálise**, 4(10):31-38, out. 1989.
- Satyamurty, P. et al. Subsynoptic scale baroclinic instability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 39(5):1052-1061, May. 1982.
- Satyamurty, P.; Rao, V.B. Zona de convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, 3(3):31-35, mar. 1988.
- Scolar, J.; Sugahara, S. Análise objetiva e cálculo de parâmetros. In: **Introdução ao uso de modelos diagnósticos para previsão de tempo: curso de extensão universitária**, Universidade de São Paulo, São Paulo, jan. 1986.
- Silva Dias, M.A.F. Sistemas de mesoscala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2(1):133-150, jun. 1987.
- Silva Dias, P.L. et al. As chuvas intensas de fevereiro de 1988: Circulação global e previsibilidade. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5.**, Rio de Janeiro, nov. 1988. **Anais**. Rio de Janeiro, SBMET, 1988, v. 2, p. 9.6-9.10.

Uccellini, L.W.; Johnson, D.R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective storms. **Monthly Weather Review**, 107(6):682-703, June.1979.

Velasco, I.; Fritsch, J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, 92(D8):9591-9613, Aug. 1987.

Virji, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, 109(3):599-610, Mar. 1981.

Weickmann, K.M. et al. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250mb streamfunction during northern winter. **Monthly Weather Review**, 113(6):941-961, June. 1985.

Whitney, L.F. Relationship of the subtropical jet stream to severe local storms. **Monthly Weather Review**, 105(4):398-412, Abr. 1977.