

ANÁLISE DE UM CASO DE ATIVIDADE CONVECTIVA ASSOCIADA A LINHAS
DE INSTABILIDADE NA REGIÃO SUL E SUDESTE DO BRASIL

IRACEMA F.A. CAVALCANTI
NELSON J. FERREIRA
VERNON E. KOUSKY

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
- CNPq -
12200 - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

RESUMO

O desenvolvimento de linhas de instabilidade, ao longo de zonas frontais, muitas vezes gera intensa atividade convectiva no Sul e Sudeste do Brasil. Com o intuito de caracterizar a situação sinótica em tais eventos e fazer uma estimativa da precipitação associada, analisou-se um caso ocorrido em 24-26 de junho de 1980. Nesse caso, a convecção organizada ocorreu em associação com uma frente fria que se deslocou do Sudoeste para o Nordeste. A evolução desta atividade foi estudada utilizando imagens de satélite, e estimativas de precipitação foram feitas através de imagens no infravermelho realçadas, aplicando a técnica desenvolvida por Scofield e Oliver. A advecção de vortacidade ciclônica parece ter sido um importante fator para o desenvolvimento e organização dos cumulonimbi. Variações de pressão de mesoescala, associadas com as bandas convectivas, indicam a possível existência de ondas de gravidade inerciais.

1. INTRODUÇÃO

Linhas de instabilidade associadas a frentes frias às vezes se formam no Sul e no Sudeste do Brasil, na época de inverno. Além de ventos fortes e granizos, estas linhas provocam precipitação muito grande para aquele período do ano.

O desenvolvimento de sistemas convectivos, no inverno, deve estar ligado essencialmente a processos dinâmicos da atmosfera, uma vez que o aquecimento à superfície é mínimo. Esse aspecto dinâmico deve ser melhor estudado para que se possa compreender a origem e a evolução de tais sistemas. Torna-se importante, portanto, estudar os fatores associados a esse desenvolvimento, bem como acompanhar a atividade convectiva. Neste caso, as manifestações dos fenômenos de mesoescala embebidos nos de escala sinó

tica podem ser visualizadas nas imagens de satélite. Portanto, essas imagens têm-se revelado como uma poderosa ferramenta, por fornecerem, com frequência adequada, informações sobre o deslocamento e a intensidade das bandas convectivas.

Uma importante característica de linhas de instabilidade é a precipitação associada. Para analisar este aspecto, optou-se por estimar a precipitação utilizando imagens de satélite. Isto porque a rede convencional de pluviômetros é, em geral, inadequada. Além disso, a técnica para se estimar precipitação através de imagens de satélites é atraente, pois resalta as áreas mais ativas e possibilita acompanhar a sua evolução. Uma técnica para se estimar precipitação em sistemas convectivos, utilizando imagens de satélite e analisando as características do escoamento em escala sinótica, foi desenvolvida por Scofield e Oliver (1977). De acordo com essa técnica, a intensidade da precipitação é função da altura do topo, da taxa de crescimento e da junção das células convectivas. Utilizando esse método, fizeram-se estimativas de precipitação para as células convectivas associadas às linhas de instabilidade em questão.

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares da análise de um caso de atividade convectiva que ocorreu em junho de 1980. Naquela ocasião, as células convectivas cresceram rapidamente, provocando intensa precipitação na Região Centro-Sul do Brasil. Apesar da sua importância, sistemas de mesoescala têm sido pouco estudados no Brasil, portanto o presente trabalho é um esforço no sentido de preencher uma lacuna no campo das pesquisas meteorológicas.

2. DADOS

As análises foram feitas utilizando imagens do satélite meteorológico SMS-2 recebidas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), dados meteorológicos convencionais da rede sinótica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e dados de vento e de temperatura provenientes do National Meteorological Center (NMC) dos E.U.A., disponíveis em fita magnética no INPE. Os dados do NMC, em pontos de grade distanciados aproximadamente de 500 km, para sete níveis da atmosfera, foram fornecidos pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR), também dos E.U.A.

As imagens no infravermelho foram realçadas para evidenciar os topos das nuvens e serem utilizadas nas estimativas de precipitação. As cartas de superfície foram feitas com os dados convencionais, e a análise de linhas de corrente, de isotacas e de isótermas, com os dados do NMC. Em cada ponto de grade foram calculados a vorticidade, a divergência e o movimento vertical, este último utilizando o método cinemático. Também foram analisados os barogramas e os diagramas termodinâmicos das estações meteorológicas situadas na área em estudo.

3. CARACTERÍSTICAS SINÓTICAS

Uma amplificação das ondas atmosféricas sobre o Oceano Pacífico antecedeu a intensificação de uma frente fria, entre 24 e 26 de junho de 1980, sobre a América do Sul. A amplificação de ondas através da propagação de energia pelas ondas de Rossby foi verificada por van Loon (1965) e Parry e Roe (1952). Recentemente, Fortune e Kousky (1982) mostraram que a amplificação de sucessivos cavados e cristas no Pacífico, e a consequente propagação de energia, é um fator importante para o desenvolvimento de sistemas frontais na América do Sul. Na situação aqui analisada, a frente fria se organizou e se intensificou durante a passagem de um cavado pela América do Sul que propiciou a entrada de ar muito frio no continente.

Na figura 1, que apresenta o escoamento e as isotermas em 850 mb para o período de 24 a 26 de junho, pode ser verificado que, associado ao sistema frontal, existia um grande contraste de temperatura na Região Centro-Sul do Brasil. Nesses três dias, o contraste térmico foi mantido pelo escoamento de noroeste, em avanço à frente fria, e pelo escoamento de sul, atrás da frente.

Durante o período de 24 a 26 de junho, linhas de instabilidade se desenvolveram associadas à frente, conforme mostram as imagens infravermelha de satélite (Figura 2). Por essas imagens e pelo escoamento em 250 mb apresentado na Figura 3, nota-se que o desenvolvimento das linhas convectivas ocorrem na parte leste do eixo do cavado situado sobre a América do Sul. Nessa região observa-se que o movimento vertical é ascendente, e além disso, máximo; notando-se um aumento na sua intensidade no decorrer do período. Entre o eixo do cavado na América do Sul e o eixo da crista no Pacífico, há movimentos subsidentes e, na região a oeste deste último, novamente movimento ascendente, caracterizando um outro sistema frontal.

A análise da vorticidade relativa em 250 mb (Figura 4) mostra um máximo de vorticidade negativa no eixo do cavado sobre a América do Sul. Portanto, uma advecção de vorticidade negativa deve ter ocorrido corrente abaixo deste eixo, o que implica na divergência em altos níveis nessa região. Nota-se também, na configuração geral, valores positivos de vorticidade associados aos eixos das cristas. A posição destas indica um comprimento de onda de 60° de longitude. Um estudo feito por Carvalho (1982) mostrou que ondas deste tipo são frequentes na região aqui analisada e que estas têm características de ondas de Rossby.

Em 250 mb também observam-se (Figura 5) ventos com velocidades superiores a 50 ms^{-1} que penetram na costa do Chile, enquanto ventos mais fracos situam-se sobre a Região Centro-sul do Brasil. Há, portanto, nessa região, uma desaceleração de escoamento, que pode ter causado um desequilíbrio entre os campos de pressão e de vento. Em virtude desse desequilíbrio deve ter ocorrido um ajustamento geostrófico na atmosfera, o que por sua vez provoca

ria o aparecimento de ondas de gravidade inerciais Cahm, 1945; Blumen, 1972; Gossard and Hooke, 1975).

4. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DE MESOESCALA

Dentro do período em que as bandas de convecção se desenvolvem, os microbarógrafos, situados em 4 locais (São Paulo, São José dos Campos, Cachoeira Paulista e Rio de Janeiro), registram claramente variações de pressão de curta duração conforme ilustra a Figura 6. Essas variações são apresentadas na Tabela 1, onde também são registrados os respectivos horários de ocorrência. Nota-se pela Tabela 1 que as variações de pressão se verificam consecutivamente, nas cidades de São Paulo, São José dos Campos, Cachoeira Paulista e Rio de Janeiro, o que mostra uma propagação média do distúrbio de aproximadamente 30 ms^{-1} . As variações de pressão podem estar, assim, relacionadas com ondas de gravidade, as quais ocorreriam devido ao ajustamento geostrofico mencionado na seção anterior.

Ondas de gravidade geralmente contribuem para a organização de linhas de instabilidade (Tepper, 1950) e neste caso podem ter desempenhado um papel importante no desenvolvimento das bandas de convecção observadas. Segundo Gedzelman e Rilling (1978) a passagem de uma frente fria estabelece condições essenciais para a propagação de ondas de gravidade.

Em geral as ondas de gravidade formadas no nível da corrente de jato (250 mb) propagam-se para a estratosfera e para os níveis mais baixos. Neste estudo, os diagramas termodinâmicos analisados mostraram indícios da existência de ondas de gravidade na estratosfera durante o período estudado. A ação destas ondas é mais nítida nesses níveis devido à maior estabilidade da estratosfera com relação à troposfera. O diagrama de uma radiossondagem relacionado à presença de ondas de gravidade, apresentado em Clark e Morone (1981) mostra as mesmas características em sua configuração.

Para uma comprovação da existência dessas ondas, seriam necessários dados mais completos de mesoescala, o que não foi possível na execução deste trabalho. Sugere-se, entretanto, que as ondas de gravidade possam ter contribuído para a organização das linhas de instabilidade na região de movimentos ascendentes a leste do eixo do cavado.

5. ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO

Para estimar a precipitação, utilizou-se o método desenvolvido por Scofield e Oliver (1977). De acordo com esse método, a quantidade de precipitação em sistemas convectivos, num ponto ou área, é obtida analisando as mudanças que ocorrem nos topos das nuvens, em duas imagens consecutivas (intervalos de meia ou de uma hora). Basicamente, as áreas de precipitação estão relacionadas com a temperatura (altura) e a taxa de crescimento dos

topos, junção de linhas ou de células convectivas, existência de topos protuberantes, saturação do meio e água precipitável. A Tabela 2 mostra a equação utilizada e a influência dos diversos termos nas estimativas.

As análises foram feitas usando imagens realçadas no infravermelho (uma hora) transmitidas pelo satélite meteorológico SMS-2. As áreas consideradas nas análises correspondem às sucessivas posições ocupadas pelas linhas de instabilidade (dia 26 de junho de 1980), à medida que avançaram de Sul para Nordeste, no Brasil. Em função da disponibilidade de imagens, foram considerados somente os períodos de 1500TMG a 2000TMG e de 0300TMG a 1000TMG do dia 26 de junho de 1980.

As imagens realçadas apresentadas na Figura 7(a e b) ilustram a maneira em que são feitas as estimativas. As áreas com convecção profunda (temperaturas baixas nos topos das nuvens) podem ser identificadas rapidamente localizando as tonalidades de cinza contornadas por preto. Quando o cisalhamento vertical do vento é significativo, a precipitação é mais forte onde o gradiente horizontal de níveis de cinza é maior. Quando o cisalhamento é fraco, o gradiente é uniforme e a precipitação é mais intensa no centro do sistema convectivo. Comparando as duas imagens, na Figura 7, observa-se um fator de crescimento ($< 1/30^{\circ}$ de latitude) da porção mais ativa do sistema convectivo (indicado por A), cuja tonalidade branca representa temperaturas abaixo de -80° C. De acordo com a Tabela 1, choveu 30mm naquele intervalo de tempo. Em B, o fator de crescimento ficou entre $1/30^{\circ}$ e $2/30^{\circ}$ de latitude. Portanto, a quantidade estimada, também foi 30 mm embora topo não estivesse tão frio (tonalidade escura).

Na Figura 8 são apresentados os resultados totais das estimativas feitas para os períodos entre 0300TMG e 1000TMG do dia 26 de junho. As comparações entre os resultados obtidos das estimativas e os valores disponíveis nas estações meteorológicas (Figura 9) não são numericamente compatíveis devido à defasagem entre os períodos considerados, à pequena quantidade de dados em superfície e à falta de calibração do modelo usado. Mas, através da sequência de imagens foi possível acompanhar com detalhe a evolução da atividade convectiva associada à linha de instabilidade e localizar claramente as áreas com forte precipitação.

6. CONCLUSÃO

Durante o período em que algumas linhas de instabilidade se desenvolveram na Região Centro-sul do Brasil, houve a passagem de um cavado pela América do Sul, com ocorrência de frontogênese após a amplificação de ondas atmosféricas no Pacífico.

O desenvolvimento das linhas convectivas ocorreu na parte leste do eixo do cavado onde o movimento ascendente deve ter contribuído, juntamente com outros fatores de escala menor, como a ocorrência de ondas de gravidade, para a organização da convecção.

Foi mostrado que as imagens de satélite, quando realçadas adequadamente, fornecem informações valiosas sobre a evolução e a intensidade de sistemas convectivos possibilitando estimar quantitativamente a precipitação associada. As estimativas deverão posteriormente ser ajustadas pois o modelo Scofield/Oliver, utilizado neste estudo, ainda não foi calibrado para o Brasil.

Casos semelhantes a esse devem ser estudados com a finalidade de adquirir uma compreensão mais profunda dos fatores envolvidos em tais situações. Com isso, espera-se que seja possível montar um esquema de alerta mais eficiente no caso de tempestades severas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Srta. Marlene Elias as sugestões apresentadas, ao Sr. Pedro Rubens as facilidades no processamento das imagens e a Srta. Sueli Ferreira a datilografia deste trabalho. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Convênio FINEP / CNPq/ INPE B/54/81/02/000/000.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLUMEN, W. Geostrophic adjustment. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 10(2): 485-528, May 1972.
- CAHN, A.J. An investigation of the free oscillations of a simple current system. *Journal of Meteorology*, 2(3): 113-122, Jun. 1945.
- CARVALHO, M.H. *Um estudo observacional sobre as ondas transientes no Hemisfério Sul*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP. 1982. a ser publicado
- CLARK, J.M.E.; MORONE, L.T. Mesospheric heating due to convectively excited gravity waves - a case study. *Monthly Weather Review*, 109(5): 990-1001, May 1981.
- FORTUNE, M.A.; KOUSKY, V.E. *Precursors of two severe freezes in Brazil*. São José dos Campos, May 1982. (INPE-2342-PRE). Submetido à *Monthly Weather Review*.
- GEDZELMAN, S.D.; RILLING, R.A. Short-period atmospheric gravity waves: a study of their dynamic and synoptic features. *Monthly Weather Review*, 106(2): 196-210, Feb. 1978.
- GOSSARD, E.E.; HOOKE, W.M. *Waves in the atmosphere*. Amsterdam. Elsevier Scientific, 1945. 456p.
- PARRY, H.D.; ROE, C. Record low temperatures in the mid-atlantic and east central states, October 20-22, 1952. *Monthly Weather Review*, 80 (10): 195-202, Oct. 1952.

SCOFIELD, R.A. OLIVER, V.J. A scheme for estimation of convective rain from satellite imagery. Washington, DC, NOAA, 1977. (47p. A TM NESS 86)

TEPPER, H. A proposed mechanism of squall lines: the pressure jump line. *Journal of Meteorology*, 7(2): 21-29, Feb. 1950.

VAN LOON, H. A Climatological study of the atmospheric circulation in the southern hemisphere during the IGY, Part I: 1 July 1957-31 March 1958. *Journal of Applied Meteorology*, 4(8):479-491, Aug. 1965.

ABSTRACT

CASE STUDY OF CONVECTIVE ACTIVITY ASSOCIATED WITH INSTABILITY LINES IN SOUTHERN AND SOUTHEASTERN BRAZIL

At times, intense convective activity generated by instability lines develops along frontal zones in Southern and Southeastern Brazil during winter. In an attempt to characterize the synoptic situation and estimate the precipitation associated with the convective activity, the case of 24-26 June 1980 has been analyzed. In this case, organized convective activity occurred in association with a cold front that moved Northeastward over Southern Brazil. The evolution of this activity has been studied using satellite imagery. Estimates of precipitation have been made by enhancing infrared imagery and applying the technique developed by Scofield and Oliver. The advection of cyclonic vorticity seems to have been an important factor in the development and organization of the cumulonimbi. Mesoscale pressure variations, associated with the convective bands, indicate the possible existence of inertial gravity waves.

C.D.U. - 551.515.4 (815/816.5)

TABELA 1

VARIAÇÕES DE PRESSÃO REGISTRADAS EM MICROBARÓGRAFOS

Local	Dia	Hora	Δp (acrêscimo)
São Paulo	25/6	18:30-19:25	7,32 mb
São José dos Campos	25/6	19:30-20:00	4,25 mb
Cachoeira Paulista	25/6	20:00-22:00	6,20 mb
Rio de Janeiro	25/6	22:30-24:00	5 mb

$$\text{Estimativa (mm) a cada 30min} = \left(\begin{array}{l} \text{Temperatura e fator de crescimento do topo} \\ \text{da nuvem ou divergência nos altos níveis} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{topos protuberantes} + \text{junção} + \text{saturação} \\ \text{do ambiente} \end{array} \right) \cdot \left(\frac{\text{água precipitável (1000 - 500 mb)}}{1,5^* (\text{água precipitável padrão (1000-500mb para o modelo)})} \right)$$

* usada somente quando a água precipitável observada (1000-500mb) for menor que 1,3 polegadas.

1. Temperatura e fator de crescimento do topo da nuvem.				OU Divergência nos altos níveis							
	>2/3° LAT	>1/3° <2/3° LAT	<1/3° LAT	decréscimo de área da tonalidade de cinza ou "aquecimento" de branco para cinza repetido ou dentro de cinza repetido.	topo mais frio "aqueceu" uma ou mais tonalidades.	cinza médio	cinza claro	cinza escuro	preto	cinza repetido	branco
Cinza médio (-32 a -41°C)	6,2	3,7	2,5	1,2		3,7	7,5	10,0	15,0	15,0 e 25,0	25,0
Cinza claro (-41 a -52°C)	12,5	7,5	3,7	2,5							
Cinza escuro (-52 a -58°C)	18,7	10,0	5,0	3,7							
Preto (-58 a -62°C)	25,0	15,0	7,5	5,0							
Cinza repetido* (-62 a -80°C)	25,0 a 50,0	15,0 a 25,0	7,5 a 15,0	7,5	2,5						
Branco (abaixo de -80°C)	50,0	25,0	15,0	10,0							

* ao cinza repetido "mais frio" deve ser atribuído um valor maior para a precipitação.

2. Topos protuberantes. Adicionar aos topos protuberantes:

cinza médio	cinza claro	cinza escuro	preto	cinza repetido	branco
12,5	11,1	10,0	7,5	7,5	7,5

3. Junção de células ou linhas convectivas. Adicionar 12,5 aos topos mais frios na área da junção

4. Fator devido à saturação do ambiente. Adicione aos topos (estacionários) mais frios.

	cinza médio	cinza claro	cinza escuro	preto	cinza repetido	branco
>1 hora, mas <2 horas	5,0	5,0	5,0	5,0	7,5	7,5
>2 horas	10,0	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5

5. Água precipitável

Usada somente na modificação das estimativas calculadas para sistemas convectivos em ambiente seco ou com base alta.

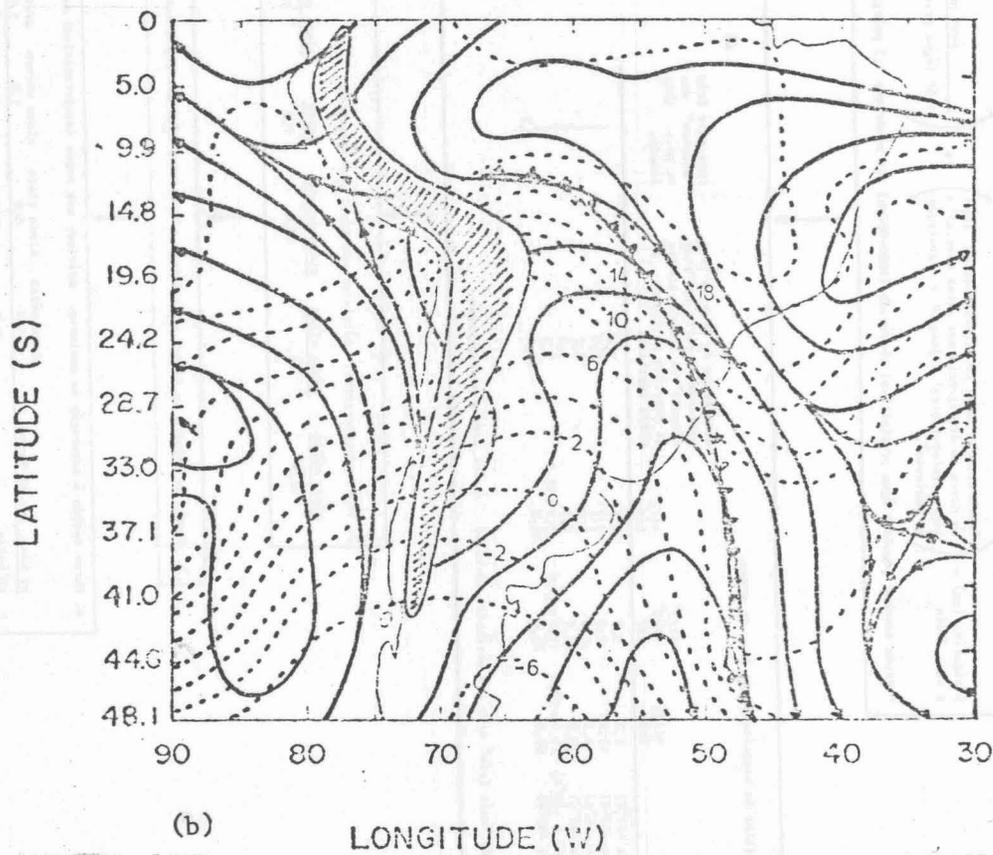
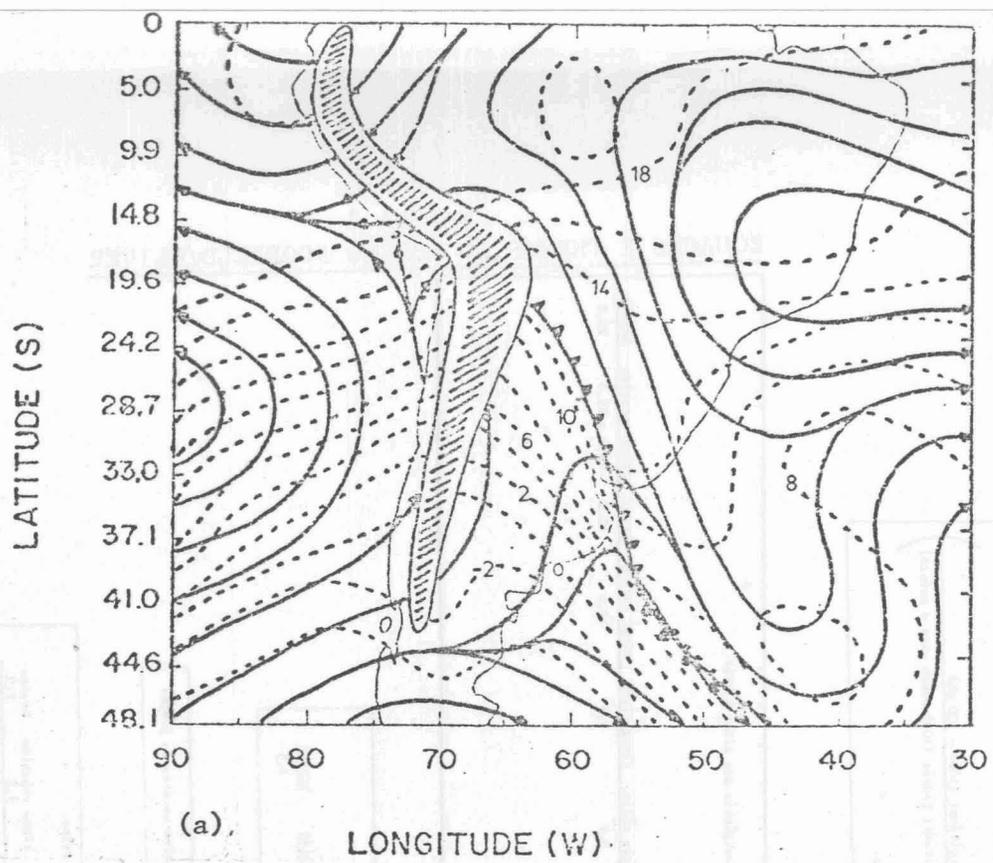


Fig. 1 - Escoamento e isotermas em 850mb.

(a) 24 de junho (12TMG)

(b) 25 de junho (12TMG)

(c) 26 de junho (00TMG)

(continua)

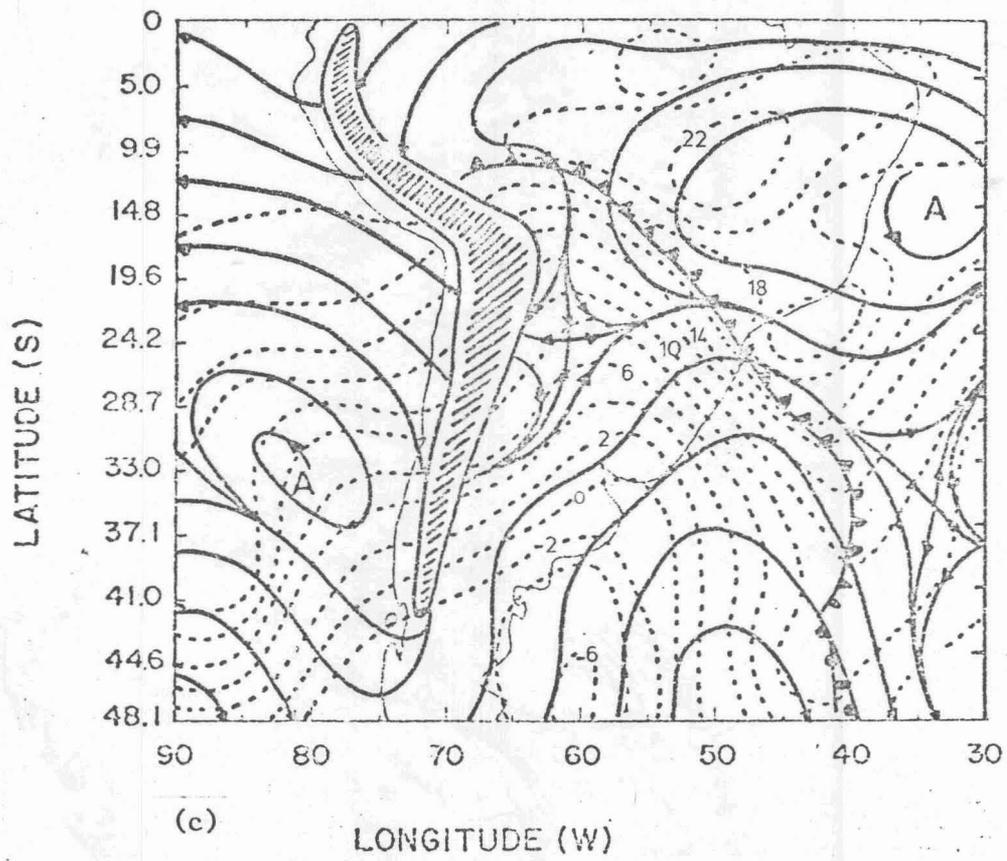


Fig. 1 - Conclusão

34705-051-08

Fig. 1 - Imagens transmitidas pelo GSES

(a) 28 de Junho
 (b) 22 de Junho
 (c) 26 de Junho

(continua)



(a)

Fig. 2 - Imagens transmitidas pelo GOES.

(a) 24 de junho

(b) 25 de junho

(c) 26 de junho

(continua)



80:177:21:18

(b)

Fig. 2 - Continuação



81:13

80:178:03:18

(c)

Fig. 2 - Conclusão

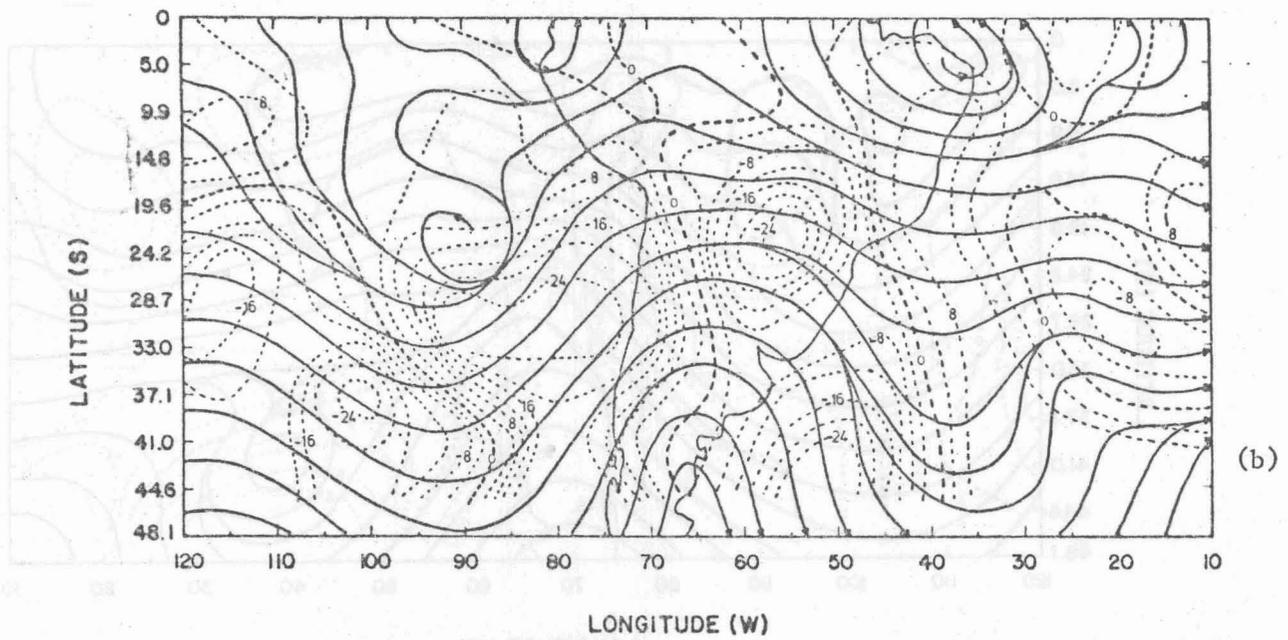
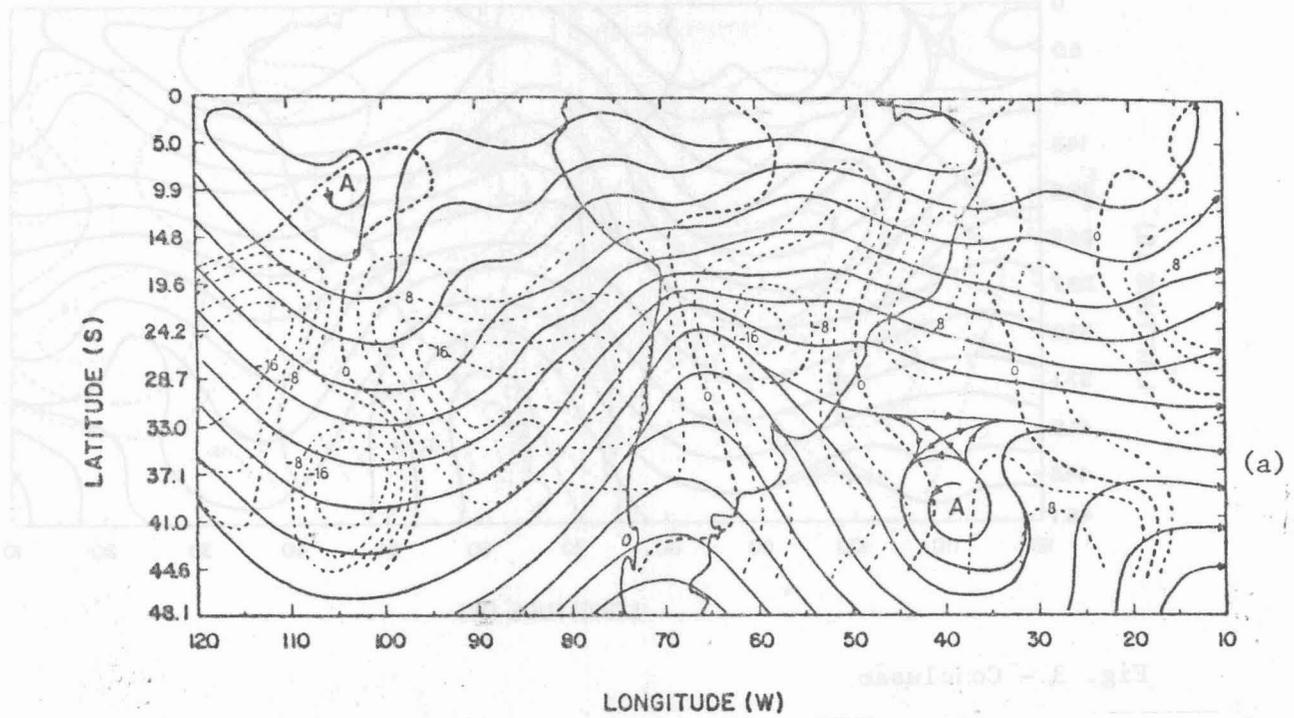


Fig. 3 - Escoamento em 250mb e movimento vertical integrado em 7 níveis.

(a) 24 de junho (12TMG)

(b) 25 de junho (12TMG)

(c) 26 de junho (00TMG)

(continua)

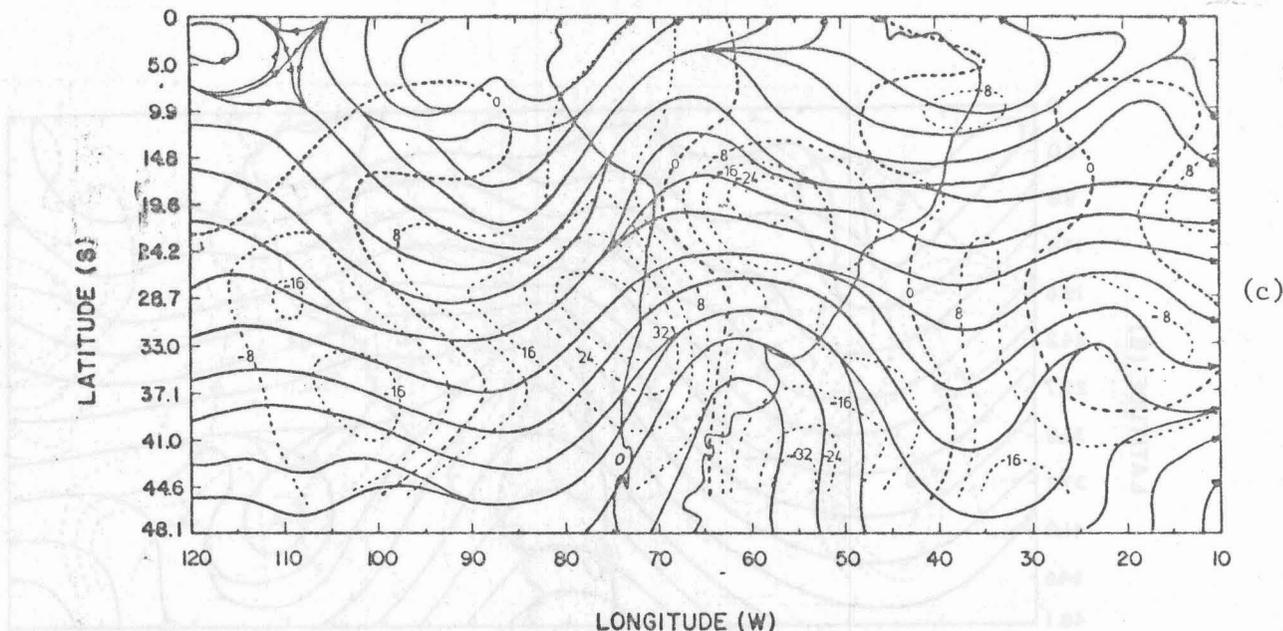


Fig. 3 - Conclusão

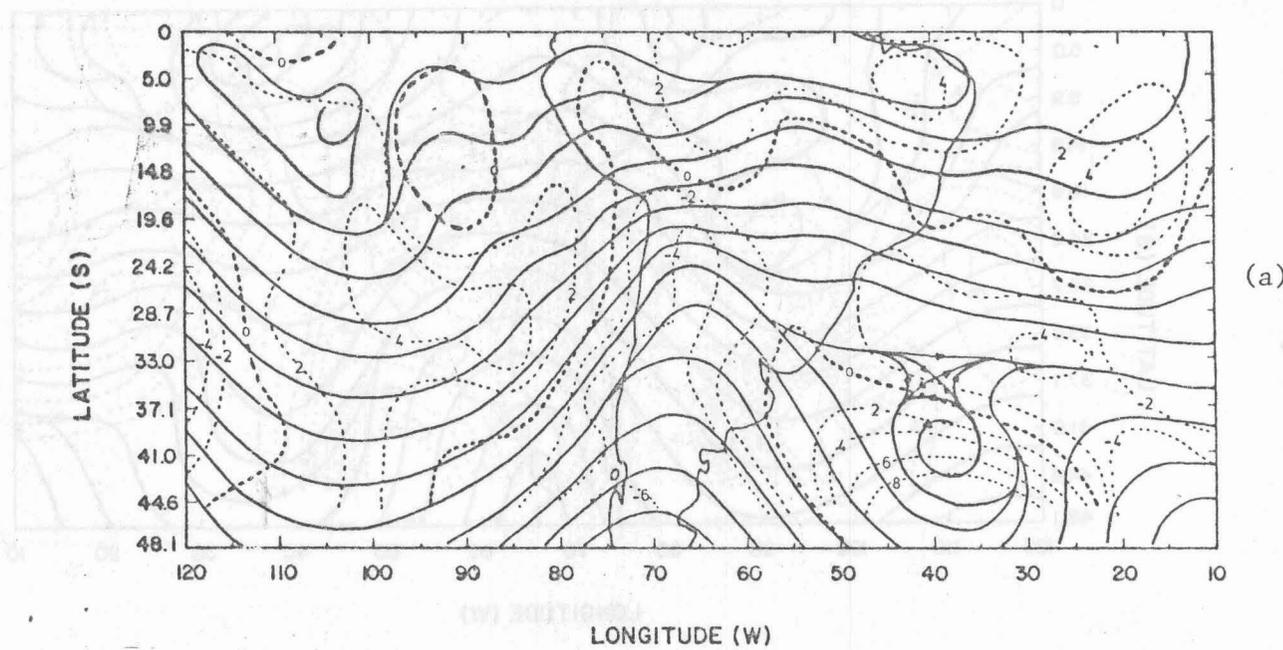


Fig. 4 - Escoamento e vorticidade em 250mb.

(a) 24 de junho (12TMG)

(b) 25 de junho (12TMG)

(c) 26 de junho (00TMG)

(continua)

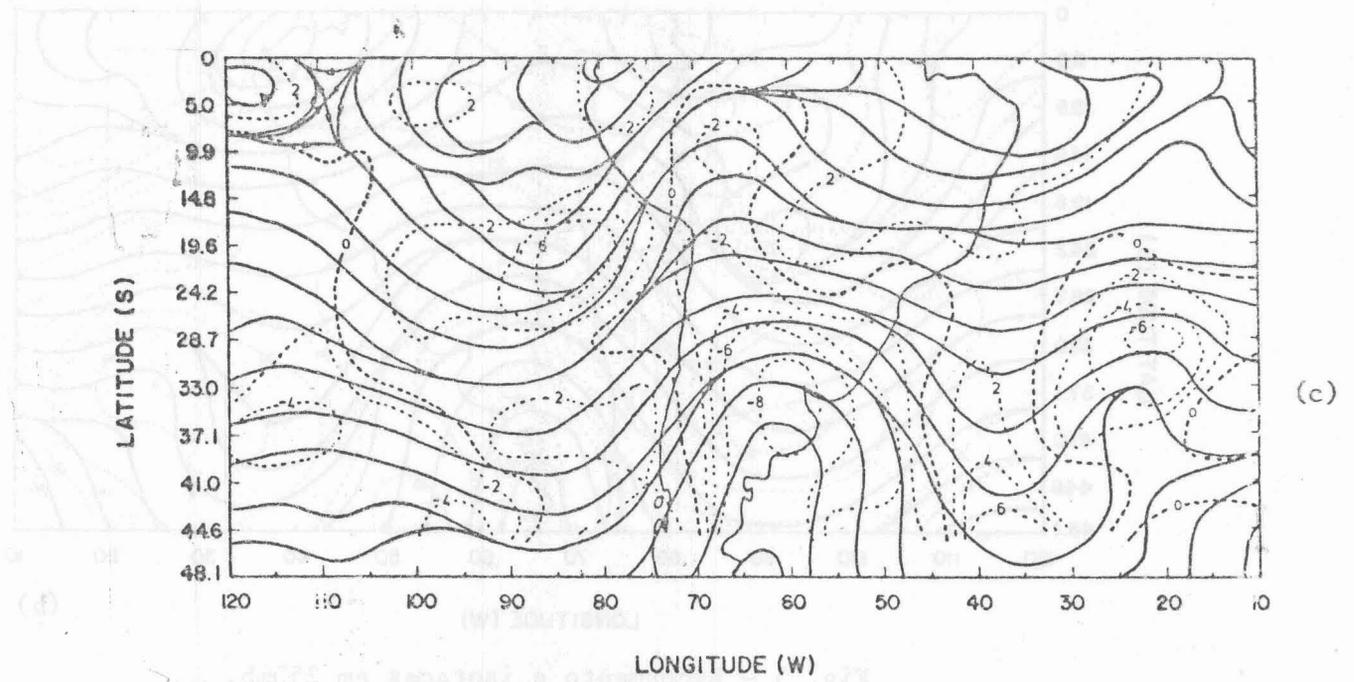
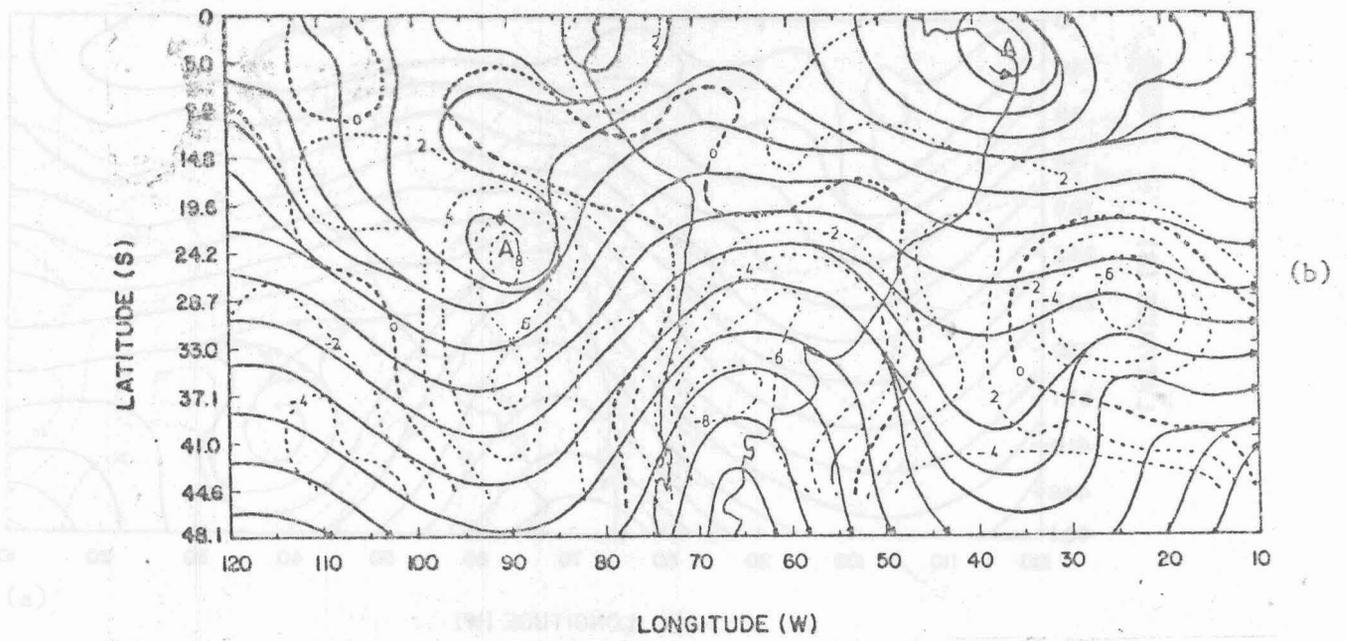


Fig. 4 - Conclusão

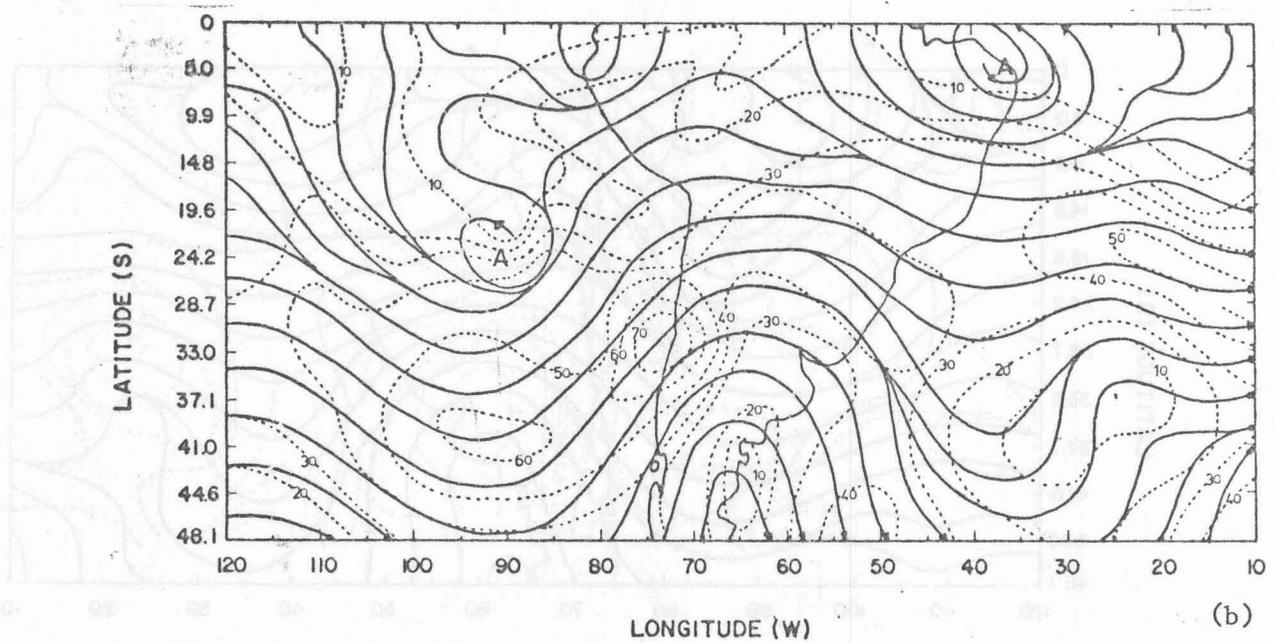
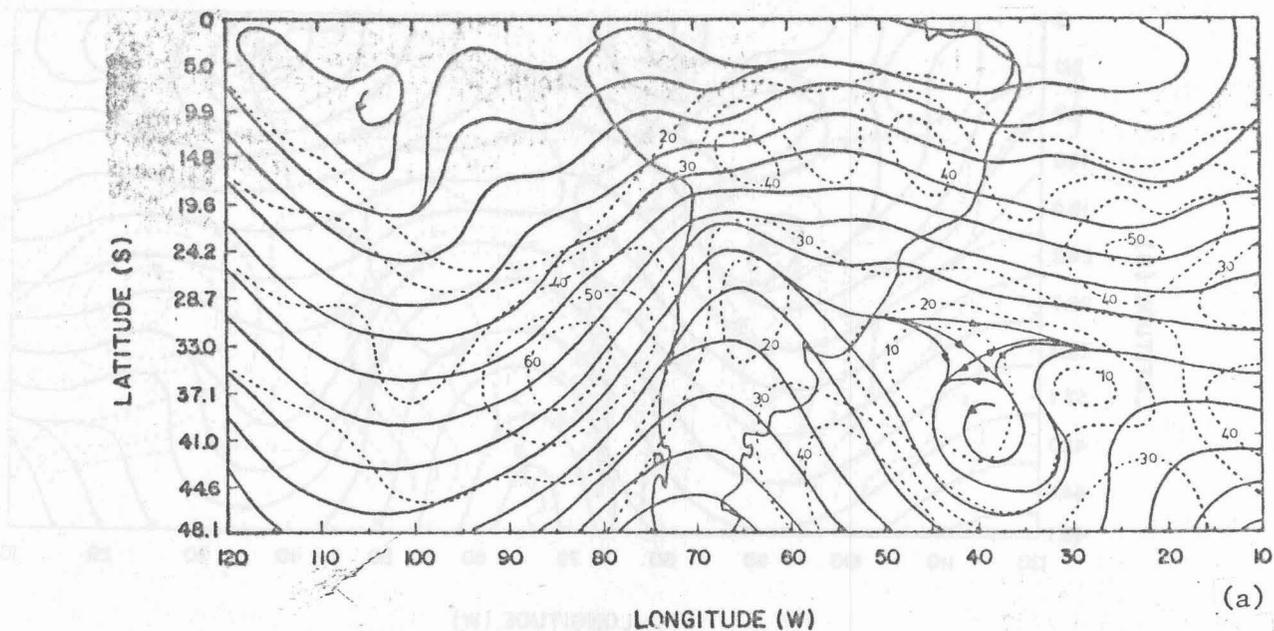


Fig. 5 - Escoamento e isotacas em 250mb.

(a) 24 de junho (12 TMG)

(b) 25 de junho (12 TMG)

(c) 26 de junho (00 TMG)

(continua)

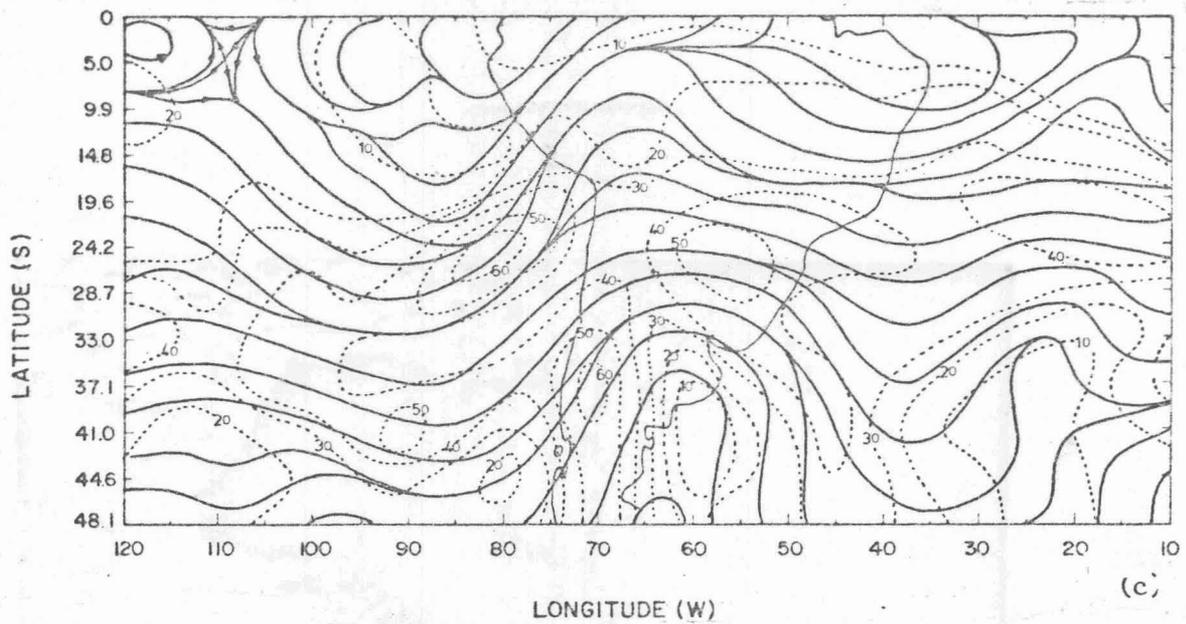


Fig. 5 - Conclusão

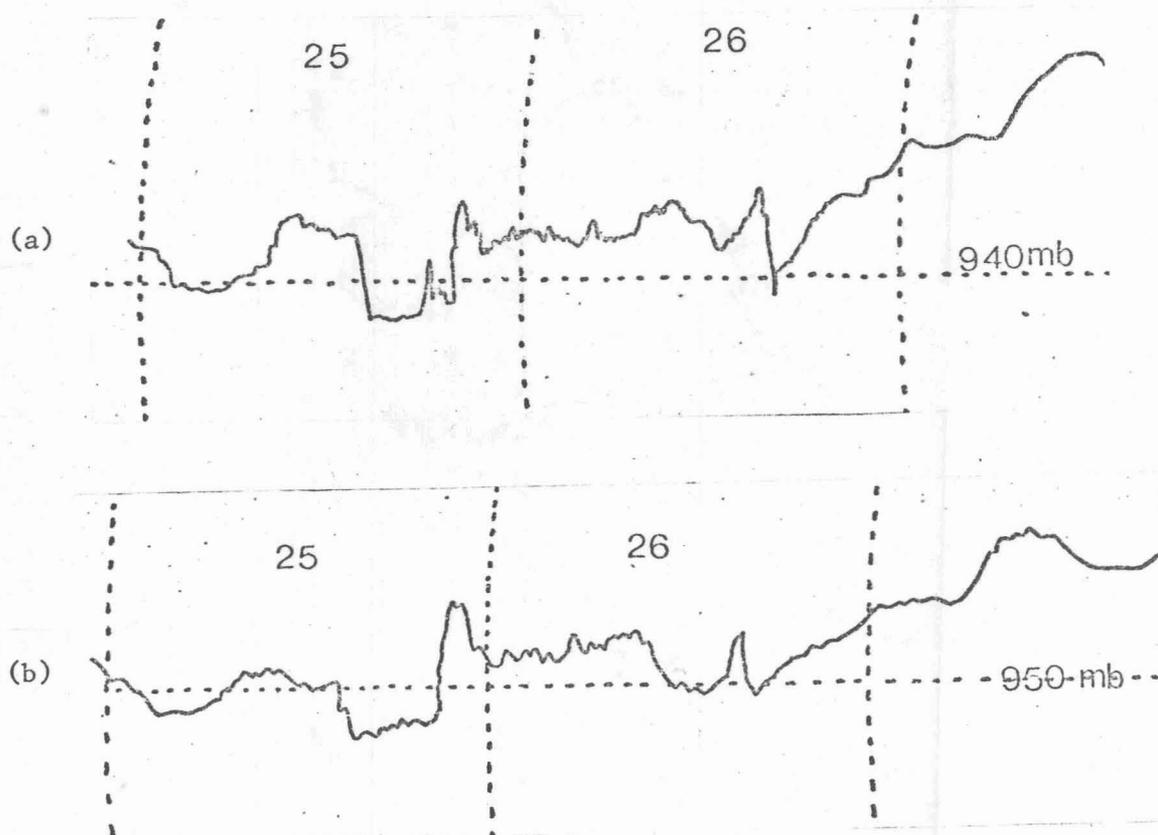


Fig. 6 - Barogramas em São José dos Campos (a) e Cachoeira Paulista (b).

Fig. 7 - Imagens (no infravermelho) realçadas.



(a)

Fig. 7 - Imagens (no infravermelho) realçadas.

(continua)

- (a) 26 de junho (0300TMG)
- (b) 26 de junho (0400TMG)

CONDICÕES SINDÓTICAS

(b)



Fig. 7 - Conclusão