

ANÁLISE DA BAROCLÍNIA DA ATMOSFERA DO HEMISFÉRIO SUL

PRAKKI SATYAMURTY
VADLAMUDI B. RAO

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

RESUMO

Estudos observacionais recentes tem mostrado contrastes fortes entre os estados médios físicos dos Hemisférios Sul e Norte. A instabilidade baroclínica depende criticamente desse estado básico. Assim, espera-se algumas diferenças importantes no desenvolvimento das perturbações transientes e os demais processos a estas associadas. No presente estudo dois aspectos são examinados: 1) a instabilidade baroclínica do vento zonal observado no H.S. durante as quatro estações do ano; 2) o ajustamento baroclínico no H.S.

Os gradientes meridionais observados de temperatura nas latitudes médias e altas no H.S. são muito maiores que os gradientes críticos necessários para a manifestação da instabilidade baroclínica num modelo quase-geostrófico de duas camadas. Este resultado contraria o "ajustamento baroclínico" obtido no H.N. por Stone (1978). Todavia, a análise da instabilidade baroclínica dos ventos zonais no H.S. reproduziu vários aspectos da cicloênese observada neste Hemisfério.

1. INTRODUÇÃO

Estudos observacionais recentes (Trenberth, 1981) confirmam que o estado médio da atmosfera no Hemisfério Sul (H. S.) difere consideravelmente daquele do Hemisfério Norte (H.N.). Um dos aspectos que tem interessantes implicações é a temperatura média zonal. Flohn (1980) notou que a diferença meridional da temperatura pólo-equador, no inverno do H.S., é acentuadamente assimétrica. Comparando as estações de inverno dos dois hemisférios, observou maior contraste térmico naquela do H.S. Flohn discutiu extensivamente as possíveis consequências climáticas devidas ao aquecimento global pelos feitos do homem e sugeriu a possibilidade da coexistência do Ártico sem gelo e da Antártica com gelo.

Desde que o estado médio da atmosfera constitui o que é designado por estado básico nos estudos da instabilidade, algumas diferenças interessantes, quer sejam no desenvolvimento de distúrbios transientes ou nos demais processos associados, podem ser esperadas.

Stone (1978) notou que os gradientes térmicos médios zonais da troposfera média, bem como aqueles mediados na vertical, nas latitudes médias do H.N., estão próximos ao valor crítico do gradiente meridional obtido pelo modelo de duas camadas de Phillips (1954). Stone interpretou essa observação como uma indicação da realimentação negativa entre o fluxo de calor meridional devido aos distúrbios e o gradiente da temperatura meridional. Ele denominou este processo "ajustamento baroclínico".

Em vista da observação de Flohn (1980), tornou-se interessante comparar os valores críticos e observados, no H.S., dos gradientes da temperatura. As observações do vento zonal do H.S. mostram um jato duplo. Esse fato sugere a necessidade da inclusão do cisalhamento horizontal nos estudos da instabilidade baroclínica. Assim, o presente estudo visa examinar o processo de ajustamento baroclínico e a instabilidade baroclínica do vento zonal observado.

2. GRADIENTES DE TEMPERATURA: CRÍTICOS E OBSERVADOS

O cisalhamento crítico para um modelo de duas camadas (Holton, 1979) é dado por:

$$U_c = (\beta \sigma_2 \Delta p^2) / (2f^2) \quad (1)$$

onde $U_c = (U_1 - U_3) / 2$ é o cisalhamento vertical e,

$$\sigma_2 = - \frac{RT_2}{p_2} \left[\frac{1}{T_2} \frac{T_3 - T_1}{\Delta p} - \frac{R}{p_2 C_p} \right] \text{ é a estabilidade estática no nível } 2.$$

Os índices 1, 2 e 3 referem-se respectivamente aos níveis superior, médio e inferior do modelo de duas camadas na qual $\Delta p = p_3 - p_1$. Os demais símbolos têm a conotação usual. Usando-se a relação do vento térmico o cisalhamento crítico pode ser escrito em termos da temperatura. A expressão da diferença de temperatura crítica para um intervalo de 50 de latitude é dada por:

$$\Delta T_c = \frac{\pi}{36} \cot \phi \left[\frac{\Delta p}{p_2} \frac{R}{C_p} T_2 - T_3 + T_1 \right], \quad (2)$$

onde ϕ é a latitude. Esta expressão pode ser escrita em termos da temperatura potencial, θ , e da altura física, z , na seguinte forma:

$$\Delta T_c = \frac{\pi}{36} \cot \phi \frac{RT_2}{g} \frac{\theta_1 - \theta_3}{z_1 - z_3} \quad (3)$$

onde g é a gravidade da Terra.

Para o cálculo de ΔT_c , usaram-se os dados de temperatura dos níveis padrões de pressão apresentados por Taljaard et alii (1969). Para representar os níveis 1, 2 e 3 do modelo foram escolhidos os níveis de 400, 600 e 800 mb respectivamente, procedendo-se da maneira idêntica a Stone (1978). As comparações entre os gradientes da temperatura observada, ΔT_o , e os gradientes críticos, ΔT_c , calculados pela Equação 3, são apresentadas nas Figuras 1-5, onde os valores críticos são dados pelas cruces.

O mês de julho (inverno) apresenta uma faixa estreita de latitudes na vizinhança de 37°S na qual os gradientes meridionais observados de temperatura ficam próximos aos valores críticos. Mas, em geral, em todas as estações do ano observa-se que os valores observados são bem maiores que os respectivos valores críticos em todas as latitudes do lado polar de 45°S. Essa observação é completamente diferente da observação feita no H.N. por Stone (1978). Os cálculos apresentados levam a crer que, por razões físicas não incluídas no modelo simples, a instabilidade baroclínica não tenha se manifestado vigorosamente no H.S. Os gradientes observados mostram outros fatos interessantes. Em todas as quatro estações do ano o gradiente apresenta dois máximos. Esse comportamento é a reflexão do jato duplo no vento zonal observado por vários autores no passado e reiterado recentemente por Trenberth (1981). O máximo nos subtropicais mostra claramente uma variação sazonal em sua posição, ocupando uma latitude mais a norte em julho (inverno) que em janeiro (verão). Ao contrário do que é observado no H.N., as variações sazonais da magnitude deste máximo no H.S. são pequenas. Na média anual (Fig. 5) o gradiente observado tem aproximadamente o mesmo valor sobre uma larga faixa de latitudes.

As observações acima mencionadas levantam várias questões: 1- Quais são os fatores que explicam o comportamento supercrítico do gradiente de temperatura? 2- Até que ponto um modelo simples de duas camadas é apropriado para a compreensão do "ajustamento baroclínico" no H.S.? 3- Até que ponto a insuficiência de dados afeta os resultados apresentados nas Figuras 1-5?

Aparentemente, não existem respostas simples e convincentes para essas questões. Os gradientes críticos dependem diretamente dos valores da estabilidade estática que por sua vez, dependem das estimativas das temperaturas médias zonais no ar superior. Estas estimativas no H.S. podem ser tendenciosas no sentido de atender características continentais e diurnas, porque a grande maioria do Hemisfério é coberta por oceanos. Todavia, nem toda diferença entre ΔT_o e ΔT_c , mostrada nas Figuras 1-5, nas latitudes médias e altas, pode ser explicada em termos de falta de observações adequadas. Uma análise de Held (1978) mostra que as ondas longas e profundas são mais eficientes em transportar calor sensível para as latitudes polares. Talvez, devido à quase uniformidade do H.S., a atuação das ondas estacionárias seja fraca. Isto pode explicar, pelo menos parcialmente, os gradientes fortes da temperatura observados nas latitudes altas. Além disso, a inclusão da variação do vento zonal no modelo é importante para levar em conta as peculiaridades, tais como o jato duplo, deste hemisfério. Provavelmente, a Antártica com a sua elevada topografia influencia a distribuição térmica observada no H.S.

3 - INSTABILIDADE BAROCLÍNICA DE UM MODELO QUASE-GEOSTRÓFICO COM CISALHAMENTO HORIZONTAL.

Tang (1973) empregou um modelo simples, quase-geostrófico, de duas camadas em que incluiu o cisalhamento meridional para estudar as características da instabilidade do fluxo zonal no H.N. Ele obteve as taxas de crescimento (k_c) e a velocidade de fase (c_r) das ondas incipientes. No presente trabalho, utilizou-se o mesmo modelo e o mesmo procedimento para obter as características da instabilidade baroclínica do vento zonal médio do H.S. Usou-se o mesmo valor do parâmetro de estabilidade estática empregado por Tang. Os resultados obtidos são comparados com a distribuição climatológica da ciclogênese dada por Taljaard (1972).

A Figura 6 apresenta a distribuição meridional do vento zonal médio, nos níveis de 250 e 750 mb, obtida por interpolação de van Loon et alii (1971) (chamado perfis-v). A Figura mostra também os ventos zonais do experimento EOLE (linhas tracejadas relatadas por Webster e Curtin (1974). Os perfis do EOLE (250

mb) mostram apenas um máximo. Como foi dito anteriormente, as observações recentes confirmam dois máximos nos níveis superiores no H.S. Portanto, utilizaram-se os perfis-v no presente estudo.

As taxas de crescimento e as velocidades de fase das ondas instáveis são mostradas nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Nota-se que alguns números de onda são instáveis nas latitudes baixas e altas, e estáveis nas latitudes médias. Este comportamento, quase certamente, deve-se ao fato dos dois máximos do vento zonal no nível de 250 mb. Isso demonstra a importância do cisalhamento horizontal no H.S. No inverno os números de onda 6,7 e 8 têm maiores taxas de crescimento na região de 30-35°S. O número de onda 8 é instável até a latitude de 25°S. No verão não há instabilidade baroclínica nas latitudes tropicais e subtropicais do H.S. A instabilidade nas latitudes baixas é obtida somente no inverno. Este resultado concorda com as observações feitas no Ano Geofísico Internacional e mencionadas em Taljaard (Loc. cit.). Alguns estudos recentes sobre a ciclogênese no H.S., feitos através das imagens de satélite (Carleton, 1979) também comprovam este fato. Nota-se, também, que, em geral, em baixas latitudes as ondas curtas são instáveis, e em altas latitudes as ondas largas são instáveis.

As maiores velocidades de fase de ondas instáveis encontram-se na faixa de 50-55°S. A experiência diária, utilizando-se imagens das nuvens obtidas por satélites, na região sul-americana, comprova estas passagens relativamente rápidas dos ciclones nessas latitudes. A velocidade de fase numa dada latitude é grande para as ondas curtas. Estas características tem boa concordância com os resultados obtidos por Tang (Loc. cit.) no H.N.

4. SUMÁRIO

Os gradientes de temperatura observados no nível de 600 mb no Hemisfério Sul foram comparados com os gradientes críticos de um modelo de duas camadas. Os gradientes observados nas latitudes médias e altas são muito maiores que os respectivos valores críticos em todas as estações do ano, contrariando assim os resultados obtidos por Stone (1978), para o Hemisfério Norte. Esses resultados sugerem uma revisão do conceito do processo de ajustamento baroclínico.

As taxas de crescimento e as velocidades de fase das ondas baroclínicas instáveis, usando-se o modelo de duas camadas no H.S., foram também obtidas. Este trabalho inclui o efeito da variação meridional do vento zonal. Algumas características observadas da ciclogênese, tais como a existência da ciclogênese nas latitudes baixas no inverno, foram obtidas pelo modelo.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Antonio Divino Moura e Sr. Yoshihiro Yamazaki pelas críticas construtivas. À Miriam Vicente pela excelente datilografia.

Este estudo foi realizado dentro do convênio CNPq/INPE/FINEP B/54-81/042/00/00.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARLETON, A.M. A synoptic meteorology of satellite observed extratropical cyclone activity for the Southern Hemisphere winter. *Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie* Ser. B, 27: 265-279, Apr., 1979.
- FLOHN, H. Possible climatic consequences of a man-made global warming. International Institute of Applied Systems Analysis, Luxemburg, RR-80-30, XII+: 80pp, 1980.
- HELD, I. M. The vertical scale of an unstable baroclinic wave and its importance for eddy heat flux parameterizations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(4):572-576, Apr., 1978.
- HOLTON, J.R. *Introduction to dynamic meteorology*. Academic Press, New York, 391 pp, 1979.
- PHILLIPS, N.A. Energy transformation and meridional circulation associated with simple baroclinic waves in a two-level quasi-geostrophic. *Tellus*, 6(2): 273-286, 1954.
- STONE, P.H. Baroclinic adjustment. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(4):561-571, Apr., 1978.
- TALJAARD, J.J.; van LOON, H.; CRUTCHER, H.L. and JENNE, R. L.: *Climate of the upper air, Part I - Southern Hemisphere*. NAVAIR 50-1C-55, Naval Weather Service Command, Washington D.C., 1969.
- TALJAARD, J.J. Synoptic Meteorology of the Southern Hemisphere. *Meteorological Monographs*, 13(35): 139-211, 1972.
- TANG, C.M. Seasonal variation and latitudinal distribution of the instability of the two-level quasi-geostrophic waves in horizontal shear. *Tellus*, 25(3):247-255, 1973.
- TRENBERTH, K.E. Observed Southern Hemisphere eddy statistics at 500 mb: Frequency and spatial dependence. *Journal of Atmospheric Sciences*, 38(12): 2585-2605, Dec., 1981.
- van LOON, H.; TALJAARD, J.J.; JENNE, R.L. and CRUTCHER, H.L. *Climate of the upper air: Southern Hemisphere*. National Center of Atmospheric Research, Boulder, NCAR TN/STR-57:43 pp, 1971.

WEBSTER, P.J. and CURTIN, D.G. Interpretations of the EOLE experiment. I temporal variations of Eulerian Quantities. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31(10): 1860-1875, Oct., 1974.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE BAROCLINICITY IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

Recent observational studies have demonstrated strong contrasts between the mean physical states of the Southern Hemisphere (S.H.) and the Northern Hemisphere (N.H.). Baroclinic instability depends critically on this state and, therefore, some important differences in the development of transient disturbances and the processes associated with it, are expected. The following two aspects are examined in the four seasons of S.H.: 1) Baroclinic instability of the observed zonal wind and 2) Baroclinic adjustment.

The observed meridional temperature gradients in the middle and high latitudes of S.H. far exceed the critical gradients necessary for the manifestation of baroclinic instability in a two-layer quasi-geostrophic model. This results in contrast to the "baroclinic adjustment" obtained in the N.H. by Stone (1978). However, the analysis of baroclinic instability of the mean zonal winds in S.H. reproduced various aspects of observed cyclogenesis.

C.D.U. 551.511.61(215)

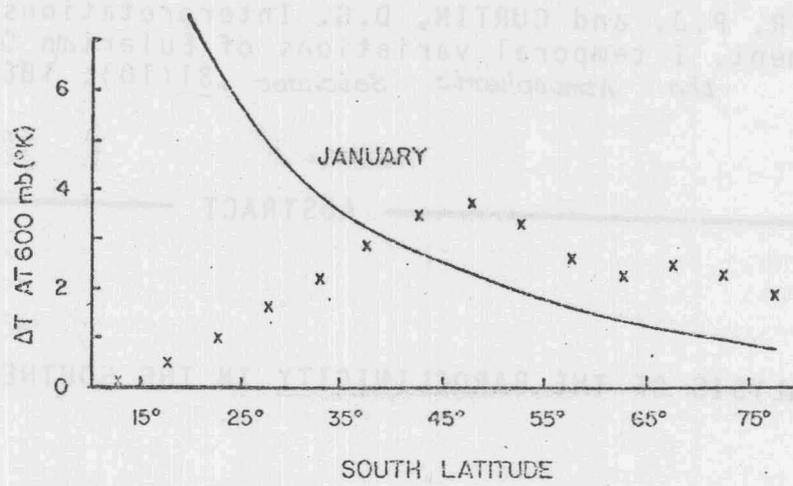


Fig. 1

Gradientes de temperatura observados (cruzes) e críticos (linha contínua) para janeiro.

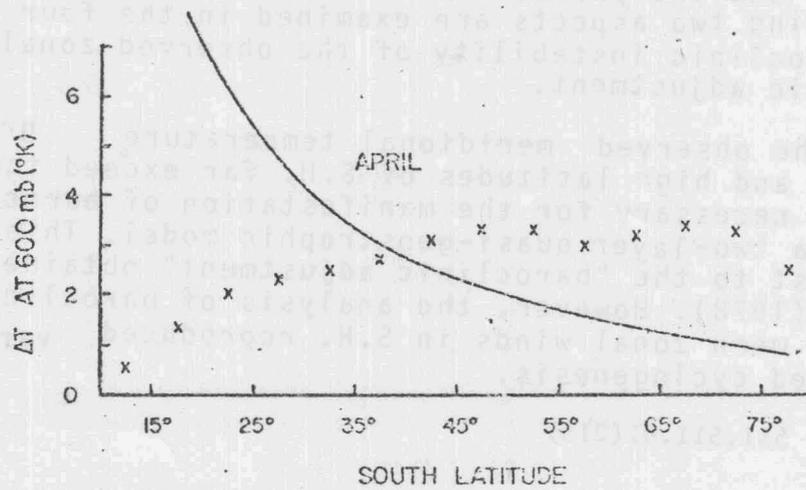


Fig. 2

Gradientes de temperatura observados (cruzes) e críticos (linha contínua) para abril.

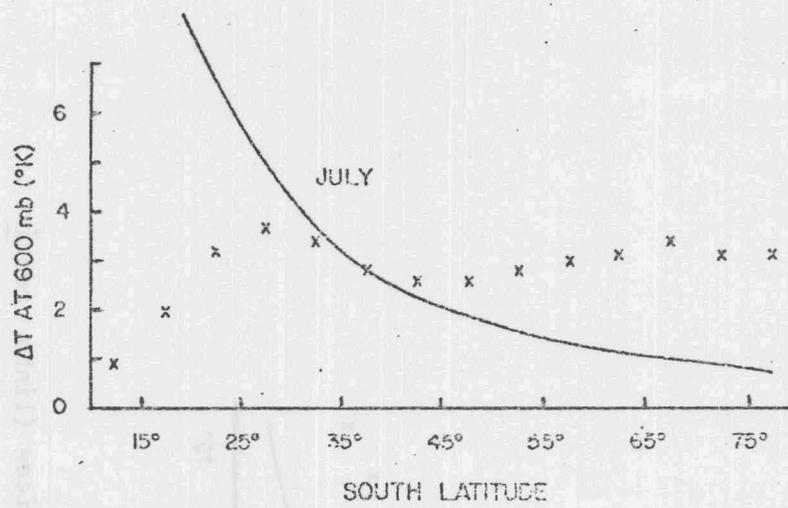


Fig. 3

Gradientes de temperatura observados (cruzes) e críticos (linha contínua) para julho.

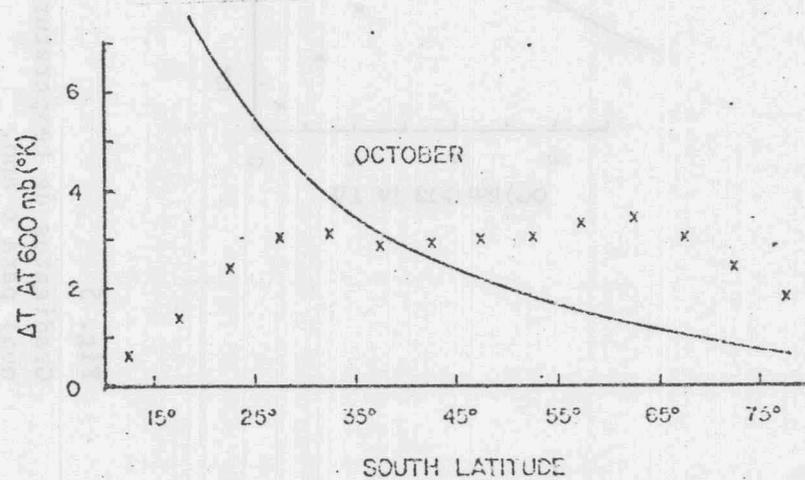


Fig. 4

Gradientes de temperatura observados (cruzes) e críticos (linha contínua) para outubro.

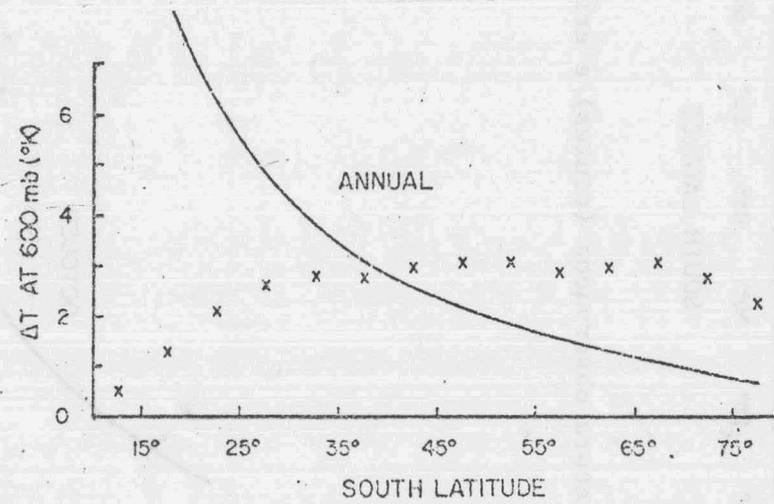


Fig. 5

Gradientes de temperatura observados (cruzes) e críticos (linha contínua) para o ano.

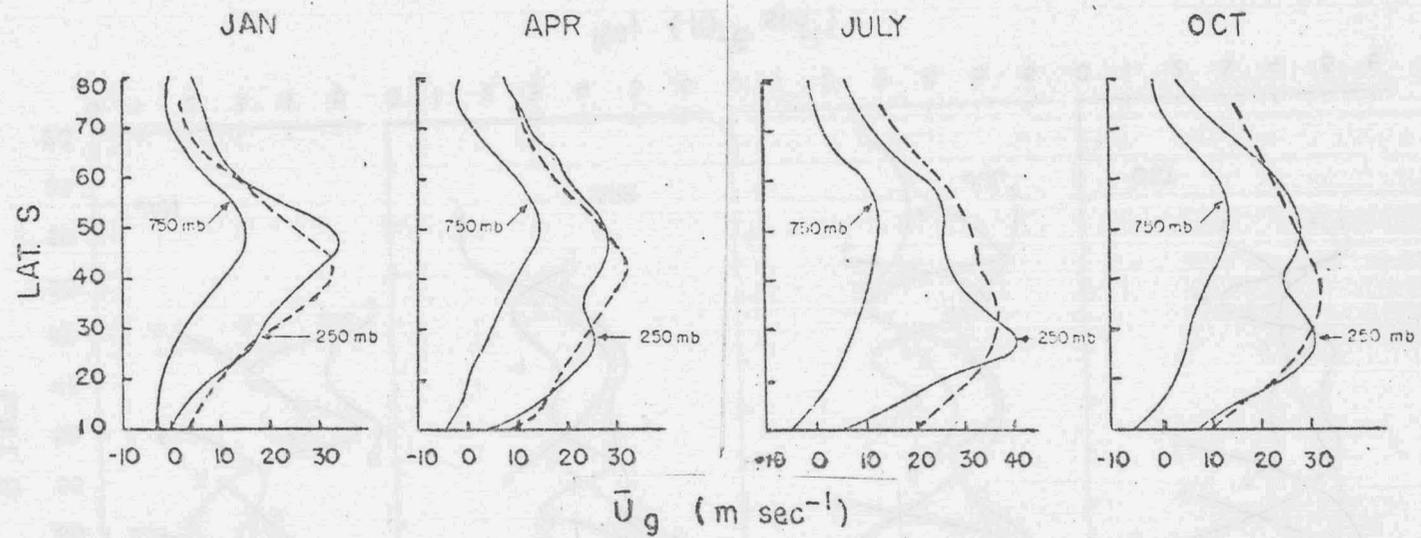


Fig. 6 - Perfis meridionais do vento zonal médio. Linhas cheias-dados de van Loon et alii (1971); linhas tracejadas-dados de EOLE.

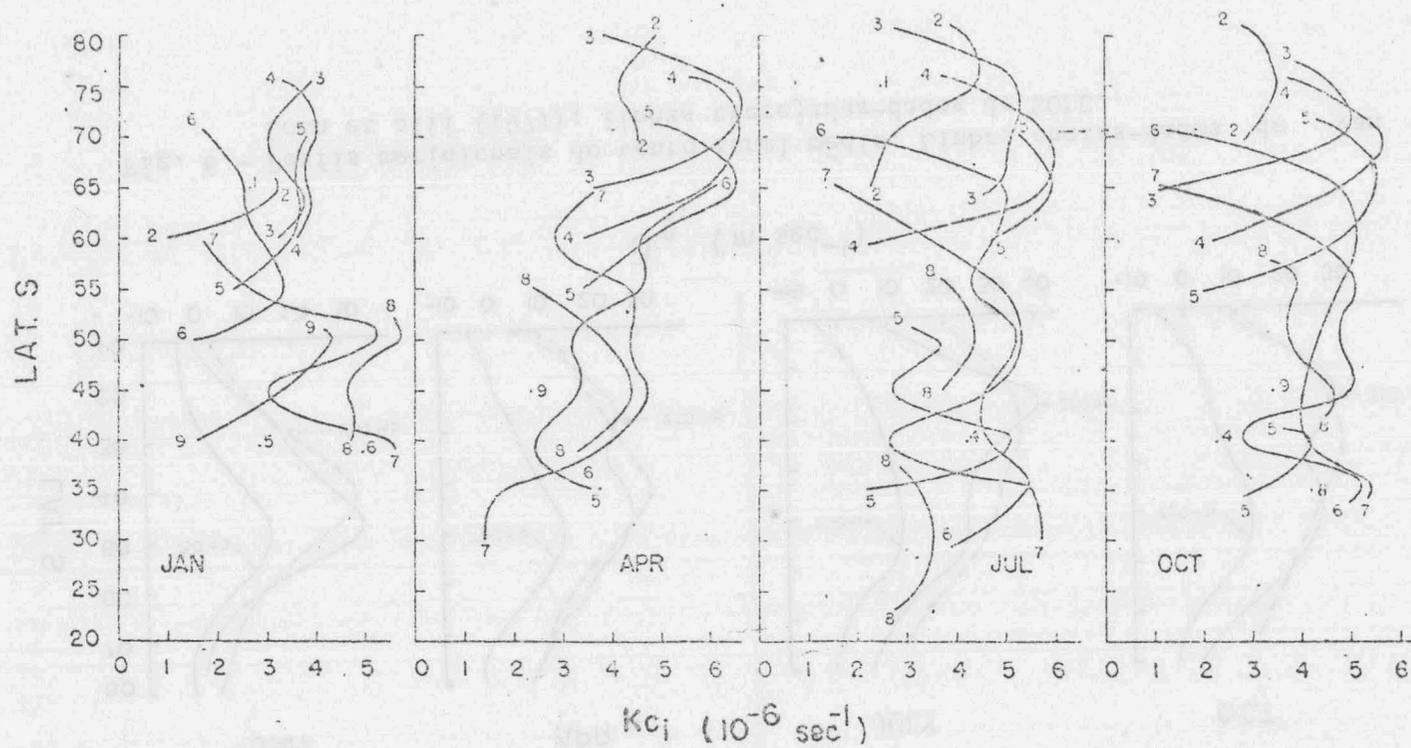


Fig. 7 - Distribuição meridional das taxas de crescimento das ondas instáveis.
Os números nos gráficos são números de onda.

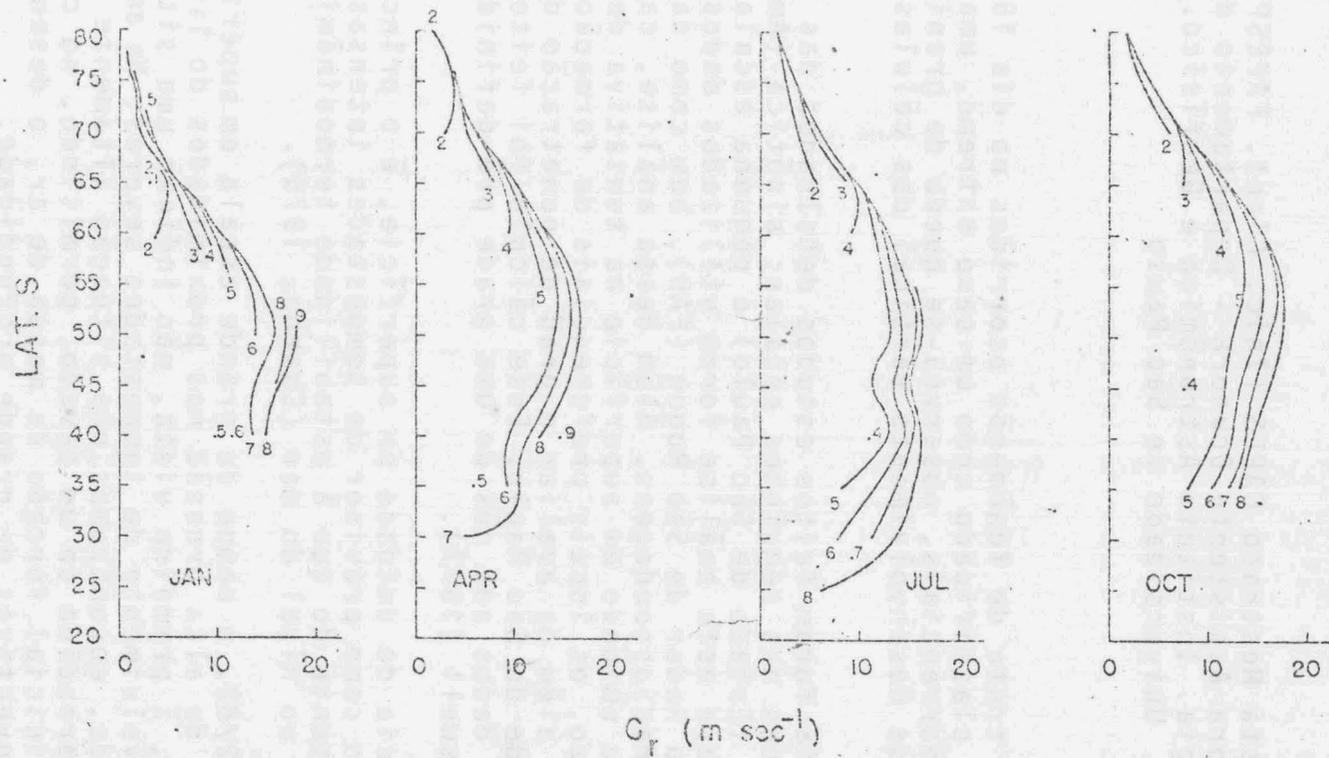


Fig. 8 - Distribuição meridional das velocidades de fase das ondas instáveis.
Os números nos gráficos são os números de onda.