

ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA DAS ONDAS BAROCLÍNICAS NO
HEMISFÉRIO SUL

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ROSA DE FÁTIMA CRUZ MARQUES
VADLAMUDI BRAHAMANANDA RAO

ABSTRACT

In the present work observed characteristics of medium-scale (wave numbers 4-7) baroclinic waves which dominate summer atmosphere are studied. The efficiencies of baroclinic eddies in transporting heat and momentum are also studied. The correlation coefficients between meridional wind and temperature and meridional wind and zonal wind measure the efficiencies of heat and momentum transport respectively. The wave becomes efficient in transporting heat approximately one day before attaining maximum kinetic energy. Barotropic decay of the wave is associated with higher efficiency of momentum. The energetics of medium-scale waves are calculated using the Saltzman (1957) equations. Energy calculations show well defined life cycles with baroclinic growth, maturity and barotropic decay.

1 - INTRODUÇÃO

A atmosfera das latitudes médias é caracterizada por distúrbios que surgem devido a grande diferença de temperatura entre o pólo e o equador. A instabilidade baroclínica é o processo responsável pelo crescimento desses distúrbios. O crescimento desses distúrbios acontece pela conversão de energia potencial disponível do estado básico em energia cinética turbulenta, através da energia potencial disponível turbulenta. Neste trabalho fez-se um estudo observacional das características das ondas baroclínicas de escala média (número de onda de 4 a 7) que freqüentemente dominam a atmosfera de verão do Hemisfério Sul.

2 - DADOS E METODOLOGIA

O método utilizado no estudo das perturbações baroclínicas em desenvolvimento nas latitudes médias é a Análise Harmônica. Com a aplicação da Análise Harmônica na altura geopotencial diária de cada nível de pressão padrão, obteve os coeficientes de fourier das componentes do vento, u e v e da temperatura, através da aproximação

geostrófica e hidrostática, respectivamente. Estes coeficientes foram utilizados no cálculo do transporte de momentum e calor para análise do ciclo de vida da onda baroclínica.

Utilizando-se a definição de eficiência como a quantidade que foi transportada dividida pela quantidade disponível (Srivatsangam, 1975), analisa-se o ciclo de vida da onda baroclínica através da eficiência do transporte de calor e momentum durante os estágios de crescimento baroclínico, maturidade e decaimento barotrópico.

Um outro aspecto relevante é o estudo da energética dessas ondas na troposfera. O ciclo clássico de energia de uma onda baroclínica em desenvolvimento é P_z (energia potencial disponível do estado básico) \rightarrow P_E (energia potencial disponível turbulenta) \rightarrow K_E (energia cinética turbulenta).

O termo de conversão entre energia potencial disponível turbulenta e energia cinética turbulenta ($\overline{\omega'\alpha'}$) foi calculado através da equação da vorticidade quase-geostrófica para ω (componente vertical da velocidade) e aproximação hidrostática para α (volume específico).

Os dados usados neste trabalho foram: altura geopotencial dos níveis padrões de 1000 a 50hPa, que se originam do National Meteorological Center (NMC). O espaço coberto é de 20°S a 80°S, numa grade de 2,5 - 2,5° de latitude-longitude. As análises correspondem às 12:00GMT, de três estações de verão: 1977/1978, 1978/1979 e dezembro de 1979.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução de um distúrbio baroclínico, que freqüentemente domina a atmosfera de verão do Hemisfério Sul, é observada no período de 9 a 17 de dezembro de 1979. Este distúrbio foi chamado de caso "limpo" por Randel e Stanford (1985), pois mostra estruturas distintas nos estágios de crescimento baroclínico, maturidade e decaimento barotrópico. Este caso possui uma configuração da onda seis aproximadamente simétrica em relação ao Pólo Sul e tem um ciclo de vida da ordem de 8 dias, com início em 09/12/1979, crescimento máximo em 13/12/1979 e término em 17/12/1979. Este caso específico foi escolhido porque é um exemplo "limpo" de um ciclo de vida da onda de escala média.

Os coeficientes de correlação entre o vento meridional e a temperatura, e entre o vento meridional e o zonal mede a eficiência do transporte de calor e de momentum, respectivamente. As eficiências são calculadas em termos destes coeficientes com a finalidade de verificar em que fase do ciclo de vida deste distúrbio os transportes de momentum e calor são mais eficientes.

A soma de $\overline{V'^2}$ (variância da velocidade

meridional) e $\overline{U'^2}$ (variância da velocidade zonal) é uma medida de energia cinética, enquanto $\overline{T'^2}$ (variância da temperatura) pode ser tomada como medida de energia potencial disponível. O aumento na eficiência se deve ao grande aumento no transporte de calor, mesmo que as variâncias também cresçam. Este aumento no transporte de calor é devido à inclinação da onda para oeste com a altura e ao transporte de calor em direção ao sul (Hemisfério Sul). Em geral, este transporte de calor para o sul implica em transporte vertical de energia da onda (Eliassen e Palm, 1961).

Observa-se na figura 1 que os máximos de $\overline{V'^2}$, $\overline{T'^2}$ e $\overline{V'T'}$ (transporte de calor) ocorrem no dia 13, enquanto a eficiência (0,98) acontece no dia 12, um dia antes de a onda atingir o máximo em energia cinética. O aumento no dia 12 indica que a razão de crescimento do transporte é maior do que as razões de crescimento dos desvios padrões de V' (desvio da componente meridional com respeito a média zonal) e T' (desvio da temperatura com respeito a média zonal).

A energética das ondas de média escala foi estudada através das equações de Saltzman (1957). Os resultados de energia potencial disponível zonal, energia potencial disponível turbulenta e energia cinética zonal e turbulenta foram integrados verticalmente e latitudinalmente.

A figura 2 mostra a energia cinética e o termo de conversão de PE em KE, da onda seis, em dezembro de 1979. Observa-se uma correlação negativa, ou seja, com o aumento negativo do termo de conversão tem-se crescimento positivo de energia cinética turbulenta da onda. Esta correlação é devido à transformação de PE em KE ocorrer através de uma circulação térmica direta na vertical, ou seja, o ar quente ascende e o ar frio subside, então $\overline{\omega'\alpha'}$ é negativo.

Através da figura 2 pode-se acompanhar o caso "limpo" estudado por Randel e Stanford (1985), com início dia 09/12, passando pelo máximo no dia 13/12 e dissipando-se em torno do dia 17/12. No dia 09/12 tem-se $\overline{\omega'\alpha'} > 0$, conseqüentemente pequena energia cinética turbulenta, pois a energia potencial disponível turbulenta está aumentando devido à transformação de energia cinética que diminui. Apartir do dia 10/12, $\overline{\omega'\alpha'} < 0$, inicia-se a conversão de PE em KE; conseqüentemente há o crescimento da energia cinética turbulenta da onda baroclínica, que atinge o máximo no dia 13/12. Observa-se que as duas séries de tempo da figura 2 são inversamente proporcionais, com seus picos no dia 13/12, dia de maior crescimento da onda baroclínica. Isso mostra uma significativa correlação negativa nas duas curvas para dias simultâneos. O termo de conversão começa a aumentar apartir do dia 14/12; e conseqüentemente há diminuição de energia cinética turbulenta até o término deste ciclo no dia 17/12.

4 - CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o transporte de calor na alta troposfera tem um atraso de um a dois dias em relação ao máximo de transporte de calor nos baixos níveis. Este tempo de atraso é devido ao resultado do transporte de radiação da onda para os altos níveis enquanto ela amadurece. Os resultados mostram, ainda, que o transporte de calor é mais eficiente que o transporte de momentum, sendo o dia de máxima eficiência, um dia antes de a onda de média escala atingir o máximo em energia cinética.

A correlação observada entre o dia de maior crescimento da onda de média escala e sua energia cinética sugere que o pico no crescimento baroclínico ocorre aproximadamente um dia antes ou no mesmo dia do máximo de energia cinética da onda, e que esta mantém um estado de maturidade por vários dias, seguido por um máximo em decaimento barotrópico um a três dias depois do máximo de energia cinética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eliassen, A. ; Palm, E. On the transfer of energy in stationary mountain waves. *Geophysical*, 22(3):1-23, 1961.
- Randel, W.; Stanford, J. L. Structure of medium-scale atmospheric waves in southern hemispheric summer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40(9):2312-2318, Sep. 1983.
- An observational study of medium-scale waves dynamics in the southern hemisphere summer. Part I: waves structure and energetics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42(11):1172-1188, Jun. 1985a.
- The observed life cycle of a baroclinic instability. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42(13):1364-1373, Jul. 1985c.
- Rao, V. B.; Bonatti, J. P. On the efficiency of meridional eddy transport processes during the major stratospheric warming of january 1977. *Tellus*, 33(1):61-67, Feb. 1981.
- Saltzman, B. Equations governing the energetics of the large scales of atmospheric turbulence in the domain of wave-number. *Journal of Meteorology*, 14(12):513-532, Dec. 1957.
- Srivatsangam, S. On the efficiencies of atmospheric process. *Tellus*, 27(4):365-370, Aug. 1975.

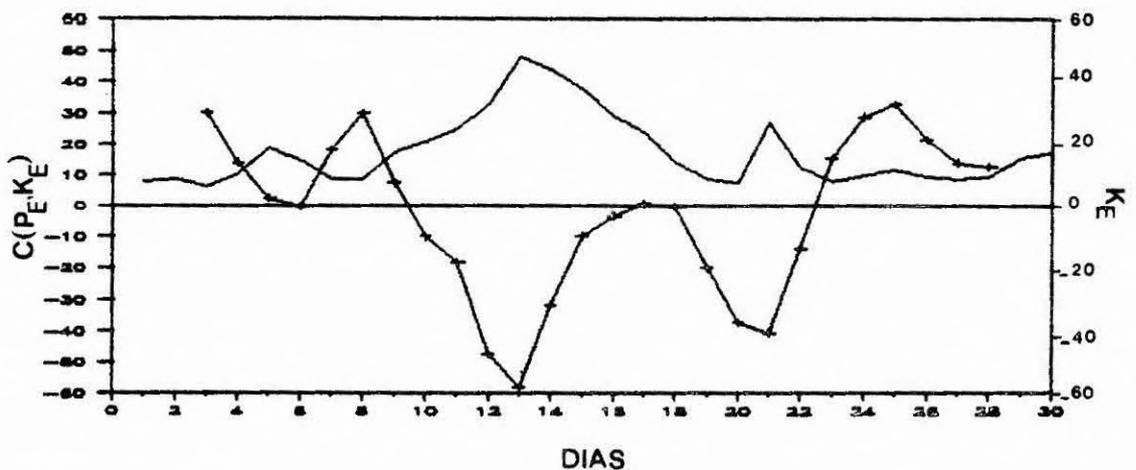
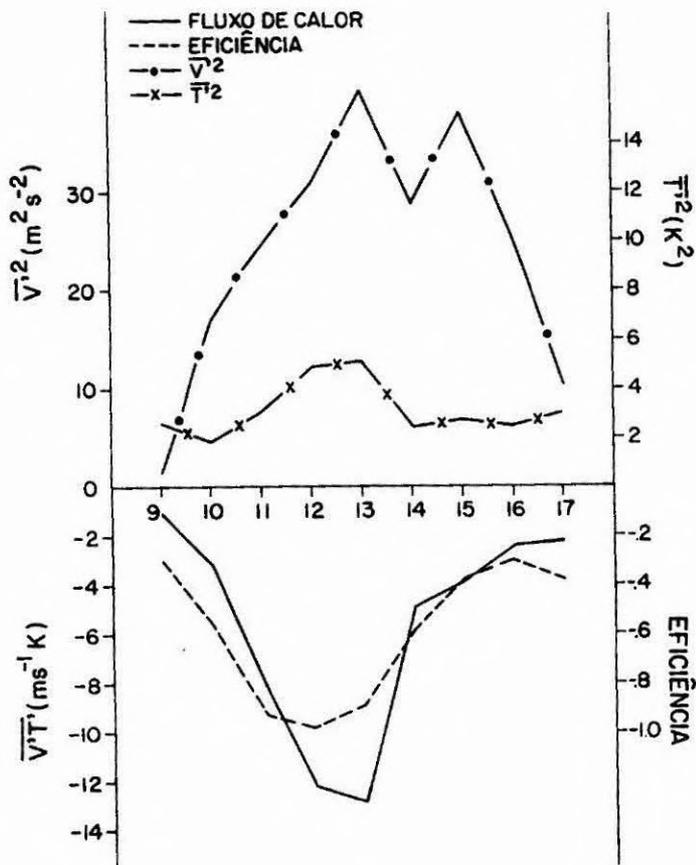


Fig.2 - C(PE, KE) (curva suavizada, usando média de três dias) (linha cheia com cruz) e energia cinética turbulenta (KE) (linha cheia). Integrado verticalmente de 850 a 100hPa e latitudinalmente de 25° a 75°S. Para dezembro de 1979 às 12:00GMT da onda 6. Unidade: C(PE, KE) 10² J Kg⁻¹ d⁻¹ e KE 10² J Kg⁻¹.