

ENERGÉTICA DE UM CASO DE BLOQUEIO NO SUDESTE DO PACÍFICO

Rosa de Fátima Cruz Marques; Vadlamudi Brahamananda Rao
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo

ABSTRACT

In the present study we use Mak's (1991) equations to calculate the energetics of the long lasting blocking event over the eastern Pacific (29/07 a 14/08/1986). The contribution of different (time) scales are calculated in maintenance of the energetics of the blocking situation. The interaction of intra-seasonal component with the seasonal component is noted to be very relevant. The role of baroclinic instability is also important.

1 – INTRODUÇÃO

Estudos observacionais visando um melhor entendimento dos mecanismos de formação e manutenção do fenômeno bloqueio são de grande interesse, tanto devido a influência que este fenômeno exerce nas condições de tempo sobre grandes áreas, como também para a utilização destes conhecimentos nos modelos de previsão.

Marques (1996) em seu trabalho de tese de doutorado encontrou uma segunda região de predominância de bloqueios no Oceano Pacífico no Hemisfério Sul (HS). Nessa região ocorreu uma situação de bloqueio de 17 dias (29/07 a 14/08/1986) de duração, no inverno de 1986. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica deste caso de bloqueio que ocorreu no leste do Pacífico através de sua energética local.

2 – DADOS E METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho fazem parte das análises objetivas operacionais do European Center Medium Weather Forecasts (ECMWF). O período utilizado foi de 17/04 a 15/10/1986 das seguintes variáveis: geopotencial (Z), vento zonal (u), vento meridional (v), temperatura (T) e velocidade vertical (W) do nível de 500 hPa.

A metodologia utilizada para o cálculo da energética do caso de bloqueio de 17 dias (29/07 a 14/08/1986), é a mesma utilizada em Mak (1991). Com a ajuda de dois filtros, definiu-se um operador linear (L) para ser aplicado em cada variável. Para o primeiro filtro utilizou-se a média corrida de 91 dias (-) para eliminar ou filtrar flutuações intrasazonais (7-91 dias) e de alta frequência (1-7 dias). O segundo filtro (^) é para eliminar somente as flutuações de alta frequência, através da média móvel de 7 dias. Assim:

$$\begin{aligned}L_0\{\xi\} &= \bar{\xi} = \xi_0 \quad (\text{sazonal}) \\L_1\{\xi\} &= \xi^\wedge - \bar{\xi} = \xi_1 \quad (\text{intrasazonal}) \\L_2\{\xi\} &= \xi - \xi^\wedge = \xi_2 \quad (\text{alta frequência})\end{aligned}$$

Calculou-se a energia potencial e energia cinética local do bloqueio com a finalidade de verificar a interação da componente intrasazonal com a componente sazonal e de alta frequência na manutenção do bloqueio. As equações usadas foram:

$$\frac{\partial}{\partial t} \overline{P_1^b} = \overline{\theta_1 B_{0,1}^b} + \overline{\theta_1 B_{1,1}^b} + \overline{\theta_1 B_{2,2}^b} + \overline{\theta_1 B_{1,2}^b} + R\omega_1 \overline{\theta_1^b} + \frac{R}{-\partial\theta/\partial p} \overline{\theta_1 Q_1^b} \quad 2.1$$

onde:

$$\theta_1 B_{0,1} = \left(\frac{R\theta_1}{\partial\theta/\partial p}\right) \mathcal{L}_1\{(\bar{V}_0 \cdot \nabla)\theta_1 + (\bar{V}_1 \cdot \nabla)\theta_0\}, \quad \theta_1 B_{1,1} = \left(\frac{R\theta_1}{\partial\theta/\partial p}\right) \mathcal{L}_1\{(\bar{V}_1 \cdot \nabla)\theta_1$$

$$\theta_{1B_{2,2}} = \left(\frac{R\theta_1}{\partial\Theta/\partial p} \right) \mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_2 \cdot \nabla) \theta_2 \} \quad \text{e} \quad \theta_{1B_{1,2}} = \left(\frac{R\theta_1}{\partial\Theta/\partial p} \right) \mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \theta_2 + (\vec{V}_2 \cdot \nabla) \theta_1 \}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \overline{K_1}^b = \overline{\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{0,1}}^b + \overline{\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{1,1}}^b + \overline{\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{2,2}}^b + \overline{\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{1,2}}^b - \overline{\vec{V}_1 \cdot \nabla \Phi_1}^b + \overline{\vec{V}_1 \cdot \mathbf{F}_1}^b \quad 2.2$$

onde:

$$\mathbf{A}_{0,1} = -\mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_0 \cdot \nabla) \vec{V}_1 + (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \vec{V}_0 \}, \quad \mathbf{A}_{1,1} = -\mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \vec{V}_1 \}$$

$$\mathbf{A}_{2,2} = -\mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_2 \cdot \nabla) \vec{V}_2 \} \quad \text{e} \quad \mathbf{A}_{1,2} = -\mathbb{L}_1 \{ (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \vec{V}_2 + (\vec{V}_2 \cdot \nabla) \vec{V}_1 \}$$

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como uma característica da configuração deste caso de bloqueio ressalta-se que este é um fenômeno local (Trenberth, 1986; Mak, 1991), assim consiste de um grande número de ondas zonais de comparáveis magnitudes. Como a energética de cada onda é importante, as ondas devem ser estudadas em conjunto e não, individualmente.

Analisa-se a energia cinética na região do bloqueio através dos termos da equação 2.2. Considerando-se que o lado esquerdo da equação 2.2 é virtualmente nulo, interpretou-se o termo $(-\vec{V}_1 \cdot \mathbf{F}_1)$ como a soma dos cinco primeiros termos dessa equação $(\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{0,1}, \vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{1,1}, \vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{2,2}, \vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{1,2}$ e $-\vec{V}_1 \cdot \nabla \phi_1)$. O valor positivo desse termo significa que há uma taxa líquida de geração de energia cinética da componente intrasazonal do fluxo sobre a região do bloqueio. A Figura 1.2 apresenta a variação do termo $\vec{V}_1 \cdot \mathbf{F}_1$ na região do bloqueio. Observa-se nesta figura que há uma área com valor positivo em torno de $0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$. Isto significa que há uma taxa líquida de geração de energia cinética da componente intrasazonal, de aproximadamente $43,2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} / \text{dia}$. Considerando-se que o valor máximo de K_1 (figura 1.1) na região do bloqueio foi em torno de $240 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, obtém-se a escala de amortecimento do bloqueio de 5 a 10 dias.

A taxa líquida de geração $(\vec{V}_1 \cdot \mathbf{F}_1)$ consiste de duas partes a saber: a geração líquida de energia cinética associada à interação das três componentes temporais do fluxo (soma dos termos advectivos) e o termo $(-\vec{V}_1 \cdot \nabla \phi_1)$. A figura 1.3 apresenta a distribuição espacial da soma dos quatro termos advectivos. Observa-se nesta figura uma região de valores positivos na região do bloqueio atingindo $0,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ e regiões com valores negativos em direção à leste.

A figura 1.4 apresenta o termo $-\vec{V}_1 \cdot \nabla \phi_1$ na região do bloqueio. Observa-se nesta figura valores significativos e que estão fora de fase com os valores da figura anterior.

A figura 1.5 apresenta a análise dos termos advectivos separadamente na região do bloqueio. Comparando as magnitudes desses termos, observa-se que o termo dominante foi $\vec{V}_1 \cdot \mathbf{A}_{0,1}$. Observa-se também a alternância de regiões positivas e negativas nos quatro termos advectivos. Outro aspecto importante nesta figura é que os termos advectivos apresentam um trem de ondas propagando na direção oeste-leste.

Para análise da energia potencial examina-se a soma dos quatro primeiros termos do lado direito da equação 2.1 (figura 1.6). Observa-se que há uma área positiva (taxa líquida de geração de energia potencial) na região do bloqueio. A distribuição da taxa de conversão entre a energia potencial e energia cinética da componente intrasazonal $(RW_1 \theta_1)$ é mostrada na figura 1.7. Valores negativos significa a conversão de P_1 para K_1 e vice versa. Há regiões negativas com valores significativos na região de bifurcação do jato de oeste e regiões positivas ao sul da alta de bloqueio. Assim conclui-se que embora a média da área de conversão líquida de processo baroclínico é pequena, a conversão local entre energia cinética e energia potencial é importante e efetivamente desempenha o papel de redistribuir energia no domínio horizontal. Assim pode-se dizer que processo baroclínico também está presente na região do bloqueio.

Os quatro termos advectivos da equação 2.1 são mostrados na fig 1.7. Observa-se que o bloqueio perde energia potencial para o campo baroclínico médio sazonal (valor negativo do termo $\theta_1 B_{0,1}$). Os valores negativos do termo $\theta_1 B_{0,1}$ confirmam que a componente sazonal contribui para o desenvolvimento do bloqueio através do processo barotrópico. A pequena área positiva de $\theta_1 B_{2,2}$ sustenta a hipótese que a dinâmica do bloqueio é em parte de natureza baroclínica (Colucci, 1987). O termo $\theta_1 B_{1,1}$ é mais fraco e o termo $\theta_1 B_{1,2}$ é quase sem importância no desenvolvimento do bloqueio.

Devido a grande importância do termo $\vec{v}_1 \cdot A_{0,1}$ na região do bloqueio, faz-se uma análise de sua contribuição através da soma de dois termos: o primeiro termo é $(-\vec{v}_0 \cdot \nabla) \mathcal{K}_1$ (não mostrado), o qual redistribui energia cinética da componente intrasazonal, devido a advecção pela componente sazonal, e o segundo é o termo $\vec{E}_1 \cdot \vec{D}_0$ é a geração desta energia cinética por processos barotrópicos. O vetor \vec{E}_1 é a medida da forma e orientação da componente do bloqueio no fluxo, e o vetor \vec{D}_0 é a medida do campo de deformação do fluxo sazonal, através do “stretch” e do cisalhamento do campo do vento. A discussão física deste termo pode ser encontrada em Mak e Cai, 1989.

A figura 1.8 apresenta o termo $\vec{E}_1 \cdot \vec{D}_0$. Observa-se que o bloqueio extrai energia cinética diretamente do jato difluente. Estes resultados mostram que bloqueio é um fenômeno primeiramente barotrópico, entretanto, processos baroclínicos são localmente importantes, pois redistribuem a energia sobre a região do bloqueio.

4 - CONCLUSÕES

Na região do bloqueio o termo dominante foi $\vec{v}_1 \cdot A_{0,1}$, o qual expressa a interação entre a componente sazonal e a componente intrasazonal. Este termo gera energia cinética barotrópica através do termo $\vec{E}_1 \cdot \vec{D}_0$, e redistribui esta energia devido a advecção do fluxo zonal $(-\vec{v}_0 \cdot \nabla) \mathcal{K}_1$. O termo $\vec{E}_1 \cdot \vec{D}_0$ é a geração de energia cinética por processos barotrópicos. Conclui-se que o bloqueio extrai energia cinética barotrópica do fluxo difluente sob a influência do campo de deformação deste fenômeno.

Agradecimentos: Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC, e a Divisão de Ciências Meteorológicas, DCM, pela infra estrutura utilizada na confecção deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Colucci, S. J. Comparative diagnosis of blocking versus nonblocking planetary-scale circulation change during synoptic-scale cyclogenesis. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 44(01);124-139, Jan. 1987.
- Mak, M. Dynamic of na atmospheric blocking as deduced from its local energetics. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, 117(499):477-493, 1991.
- Mak, M.; Cai, M. Local barotropic instability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 46(21):3289-3311, Nov. 1989.
- Marques, R. F. C. **Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul**. Tese de Doutorado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- Trenberth, K. E. The signature of a blocking episode on the general circulation in the southern hemisphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 43(19):2061-2069, Oct. 1986.

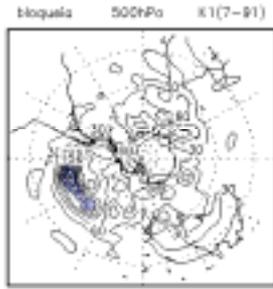


Fig. 1.1 - Distribuição de energia cinética da componente intrasazonal, dada em m^2s^{-2} .

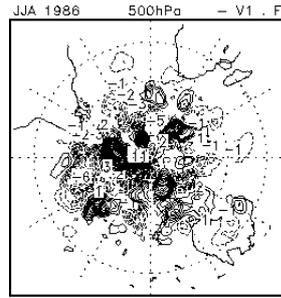


Fig. 1.2 - (soma dos 5 primeiros termo da eq. 2.2), dado em $m^2s^{-3}x10^{-3}$.

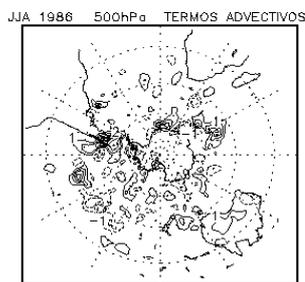


Fig. 1.3 - Soma dos 4 termos advectivos, dado em $m^2s^{-3}x10^{-3}$.

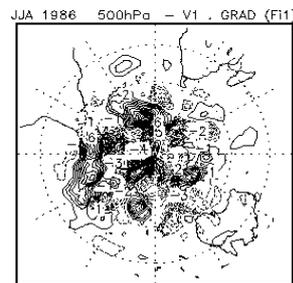
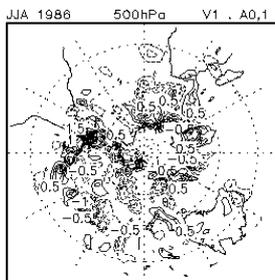
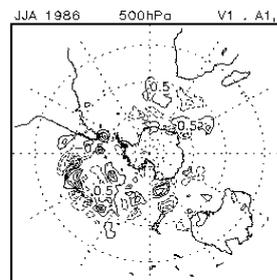


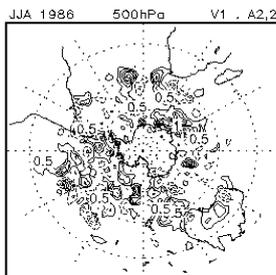
Fig. 1.4 - O termo $-\vec{V}_1 \cdot \nabla \phi_1$ dado em $m^2s^{-3}x10^{-3}$.



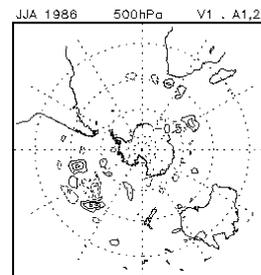
a)



b)



c)



d)

Fig. 1.5 - Termos advectivos separadamente: a) $\vec{V}_1 \cdot A_{0,1}$; b) $\vec{V}_1 \cdot A_{1,1}$; c) $\vec{V}_1 \cdot A_{2,2}$; d) $\vec{V}_1 \cdot A_{1,2}$, dados em $m^2s^{-3}x10^{-3}$.

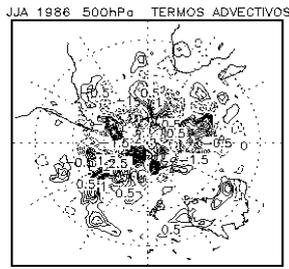


Fig. 1.6 - Soma dos 4 termos advectivos, dada em $m^2 s^{-3} \times 10^{-3}$.

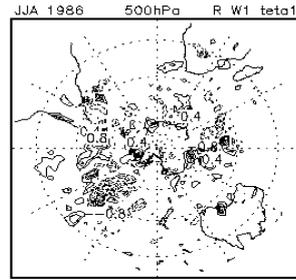
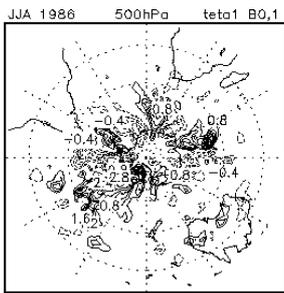
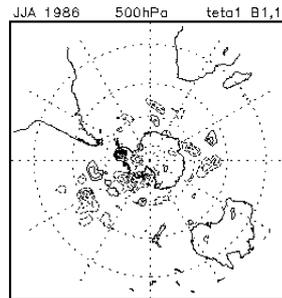


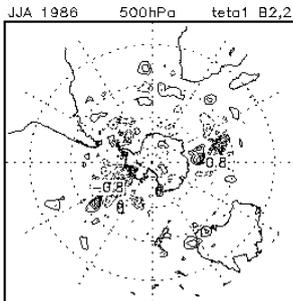
Fig. 1.7 - Termo de conversão entre energia cinética e energia potencial, dado em $m^2 s^{-3} \times 10^{-3}$.



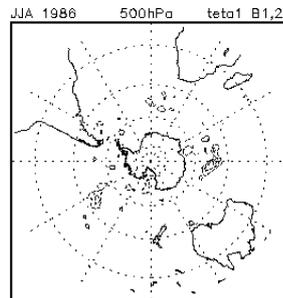
a)



b)



c)



d)

Fig. 1.8 - Termos advectivos separadamente: a) $\theta_1 \cdot B_{0,1}$; b) $\theta_1 \cdot B_{1,1}$; c) $\theta_1 \cdot B_{2,2}$; d) $\theta_1 \cdot B_{1,2}$, dados em $m^2 s^{-3} \times 10^{-3}$.

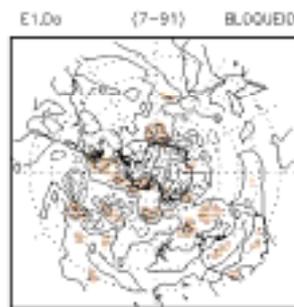


Fig. 1.9 - Distribuição espacial de geração de energia barotrópica ($\vec{E}_1 \cdot \vec{D}_0$), dada em $m^2 s^{-3} \times 10^{-3}$.