

APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO OMEGA EM UM CASO DE CICLOGÊNESE EXPLOSIVA

OTAVIO MEDEIROS FEITOSA¹; GUSTAVO SCHIAVON NEVES²;
EMILY CLAUDIA PEREIRA RAMOS³; FRANCIELI JORGE⁴; LEONARDO JOSÉ
GONÇALVES AGUIAR⁵; FABRÍCIO PEREIRA HARTER⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – otaviomf123@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – gustavospk@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas - emillocpramos@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas - francielijorge@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - veraneiro@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal de Pelotas - fpharter@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O grupo de equações quasi-geostróficas tem sido fundamental para análise e prognósticos dentro dos limites das latitudes médias, desde o princípio das teorias de instabilidade baroclínica desenvolvidas por Charney (1947) e Eady (1949), com destaque para as equações que tratam de movimentos verticais. Estes movimentos são geralmente caracterizados pela sua difícil identificação, dada sua pequena magnitude quando comparados aos movimentos horizontais e a impossibilidade de serem diretamente observados (Schultz, 2010), onde a expressão mais utilizada é a equação omega.

A equação omega é derivada a partir da equação da vorticidade potencial e termodinâmica (Holton, 1992). Ela permite uma estimativa quantitativa de primeira ordem do campo de velocidade vertical, bem como indicação qualitativa das principais regiões de ascensão em escala sinótica (DAVIS, 2015), utilizando para tanto campos de vento geostrófico, altura geopotencial e temperatura do ar (BLUESTEIN, 1992).

Mesmo nos dias atuais, a equação Ômega ainda tem grande valor no diagnóstico. Isso decorre de dois motivos principais: o primeiro é que os campos de ventos verticais frequentemente têm ruídos e nem sempre são prontamente interpretáveis. O segundo motivo é que fortes movimentos de ascensão em baixos níveis podem promover a ciclogênese e favorecer a ocorrência de precipitação (DAVIS, 2015).

Devido ao exposto, o presente trabalho teve como objetivos a implementação numérica da equação Ômega na linguagem de programação Python, bem como a análise do seu desempenho em diagnosticar as regiões de movimentos verticais em dois eventos de forte ciclogênese ocorridos na região Sul do Brasil.

2. METODOLOGIA

Uma equação de diagnóstico para movimento vertical é derivada da manipulação da vorticidade e das equações termodinâmicas *Quasi-Geostrófica* (QG). A equação resultante para fluxo adiabático sem atrito é conhecida como a equação ômega QG (eq. 5.6.11; *Bluestein (1992), p. 329*)

$$\left(\nabla_p^2 + \frac{f_0}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2} \right) \omega = - \frac{f_0}{\sigma} \frac{\partial}{\partial p} [-\mathbf{V}_g \cdot \nabla_p (\zeta_g + f)] - \frac{R_d}{\sigma p} \nabla_p^2 (-\mathbf{V}_g \cdot \nabla_p T) \quad \text{eq.(01)}$$

Onde ω representa a velocidade vertical, ∇_p o operador nabla no nível de pressão, V_g o vento geostrófico, ζ_g vorticidade relativa do vento geostrófico.

O lado direito da eq. 1 é calculado para determinar a força para o movimento vertical no nível de 700 hPa. Os valores positivos indicam forças para a ascensão, já valores negativos indicam forças para movimento descendente. Observe que este cálculo de diagnóstico resulta no forçamento para movimento vertical não o movimento vertical real porque não resolvemos o Laplaciano no lado esquerdo da equação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a madrugada do dia 30 de junho nos altos níveis da atmosfera em 250 hPa (não mostrado), foi observado um cavado associado a corrente de jato, o mesmo também foi observado em 700 hPa (Figura 2, 3, 4), à leste do eixo do cavado em altos níveis se tem a advecção de vorticidade ciclônica, esta forçante dinâmica possibilitou a ciclogênese em superfície. Esses fatores entre outros levaram ao desenvolvimento de um sistema frontal sobre o continente durante a manhã do dia 30 de junho, e posterior a formação de um ciclone extratropical. Ao longo do dia, o mesmo se deslocou para sudeste e se intensificou perto da costa do sul do Brasil e Uruguai. Esse sistema apresentou característica de ciclogênese explosiva também denominada de bomba. Tal nomenclatura é utilizada quando ocorre uma queda de 24 hPa da pressão atmosférica na região central do sistema, em um período de 24 horas, considerando a latitude de referência de 60 graus (SANDERS, GYAKUM, 1980).

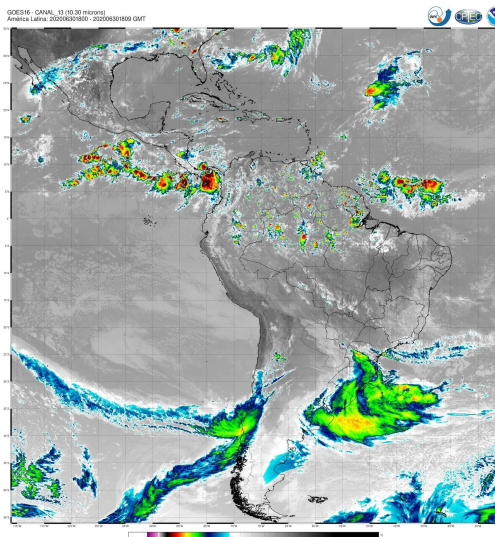


Figura 1: Imagem de satélite do canal infravermelho termal para o dia 30/06/2020 18 UTC.

Os movimentos verticais, diagnosticados por meio da equação Ômega na teoria quase-geostrófica, são forçados por dois processos físicos principais, desprezando o processo de aquecimento diabático. O primeiro processo (Termo A, primeiro termo do lado direito da equação Ômega) está relacionado com a advecção diferencial da vorticidade absoluta, ao passo que o segundo (Termo B, segundo termo do lado direito da equação Ômega) representa a advecção de temperatura do ar.

A Figura 2 apresenta o processo referente ao Termo A para o ciclone explosivo ocorrido em 30 de junho de 2020. Nota-se valores positivos do Termo A atrás do eixo do cavado no nível de 700 hPa localizado no norte da Argentina e Paraguai.

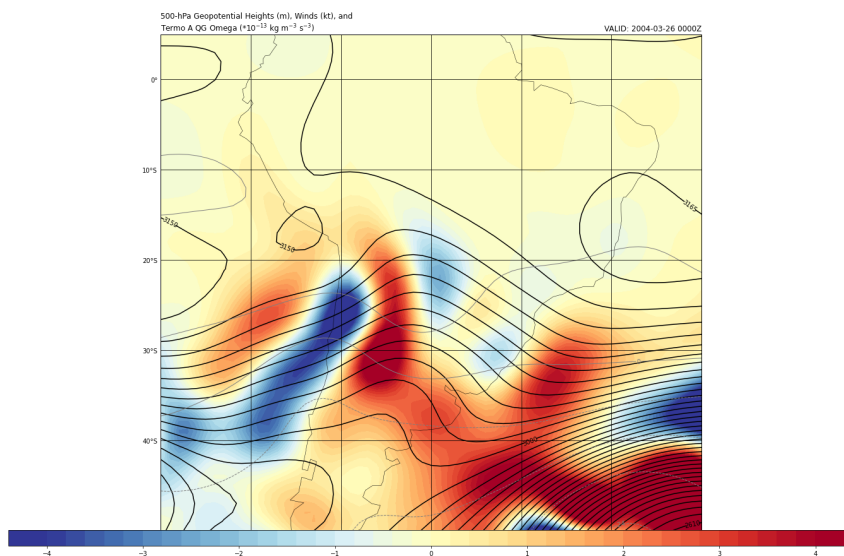


Figura 2: Termo A da equação omega, diferenciação da vorticidade absoluta entre os níveis de 500 hpa e 900 hpa (sombreado), com altura geopotencial em 700 hpa (contorno).

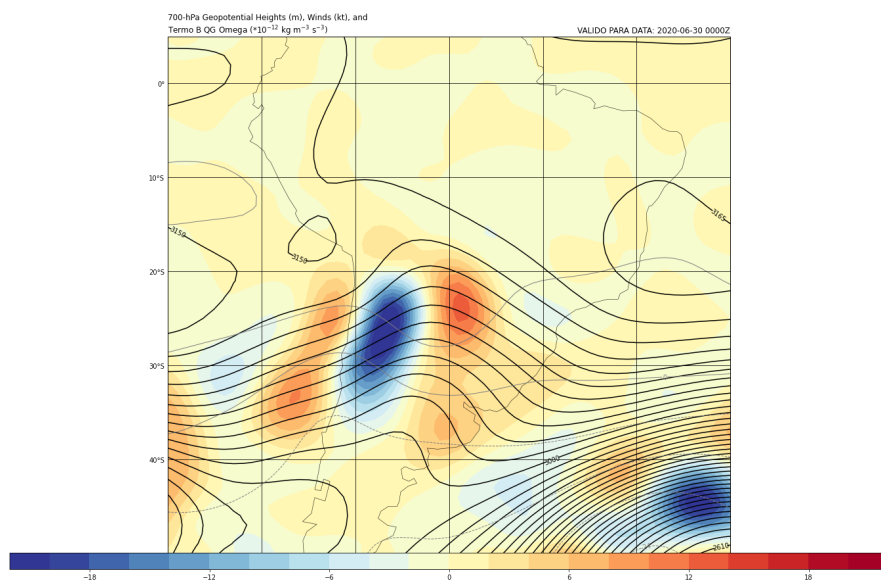


Figura 3: Termo a B da eq. omega com advecção de temperatura 700 hpa (sombreado), com altura geopotencial em 700 hpa (contorno).

A soma dos Termos A e B (Figura 4), resultado final da equação Ômega, indica uma tendência de movimentos verticais ascendentes no Sul do Brasil, região para qual o ciclone explosivo se desloca.

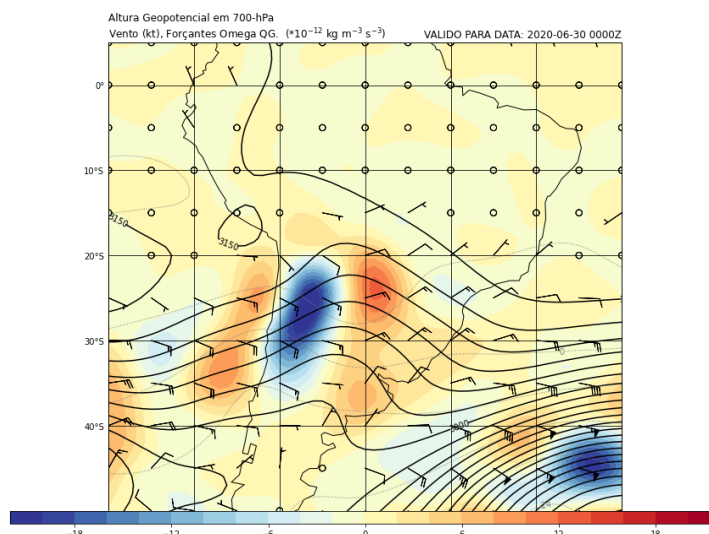


Figura 4: Soma do termo A e B da eq. omega em 700 hpa (sombreado), com altura geopotencial em 700 hpa (contorno) e vento geostrófico em 700 hpa (vetores).

4. CONCLUSÕES

A equação Ômega mostrou-se uma ferramenta eficaz para diagnosticar os movimentos verticais da atmosfera para o caso do ciclone explosivo analisado. Podemos identificar áreas de subsidência e ascendência do ar, sua aplicação necessita de baixo recurso computacional comparado com modelos atmosféricos mais sofisticados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUESTEIN, H. B. **Principles of Kinematics and Dynamics. Vol. I. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes.** Oxford University Press, p. 431, 1992.

CHARNEY, J.G. The dynamic of long waves in a baroclinic westerly current. **Journal of Meteorology**, 4(2), p. 135-163, 1947.

DAVIS, H.C. The Quasigeostrophic Omega Equation: Reappraisal, Refinements, and Relevance. **Monthly Weather Review**, v. 143, p. 3-25, 2015. DOI: 10.1175/MWR-D-14-00098.1

EADY, E.T. Long waves and cyclones waves. **Tellus**, 1(1), p. 33-52, 1949.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology.** New York: Academic Press, 3ª Ed, p. 511, 1992.

SANDERS, F.; GYAKUM J. R. Synoptic-dynamic climatology of the "Bomb". **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 10, p. 1589-1606, 1980.

SCHULTZ, C; DOS SANTOS, T S; OLIVEIRA, R A; SILVEIRA, B. **Análise do Movimento vertical na América do Sul utilizando divergência do Vetor Q.** Instituto Nacional de Pesquisas Ambientais (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). São José dos Campos, 2010.