

TERMOS RESIDUAIS DOS BALANÇOS DE UMIDADE E CALOR EM REGIÕES DO SISTEMA DE MONÇÃO DA AMÉRICA DO SUL

Sâmia Regina Garcia¹, Mary Toshie Kayano²

¹Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS 1303 – Itajubá, MG – Brasil

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Avenida dos Astronautas 1758 – São José dos Campos, SP - Brasil

¹samia@unifei.edu.br, ²mary.kayano@cptec.inpe.br

RESUMO: Os campos residuais dos balanços de umidade e calor são analisados na região do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) para o período de 1979-2006. Os termos que indicam fontes ou sumidouros de calor e umidade são investigados na Bacia Amazônica Central, Centro-Oeste do Brasil e Zona de Convergência do Atlântico Sul na escala anual e semianual. Como essas regiões possuem regime convectivo, é notado que fontes (sumidouros) de calor coincidem com sumidouros (fontes) de umidade.

ABSTRACT: Residual terms of the moisture and heat budgets are analyzed in the region of the South America monsoon system (SAMS) for the period 1979-2006. The terms that indicate sources or sinks of heat and humidity are investigated in the Central Amazon Basin, western Central Brazil and South Atlantic convergence zone area for annual and semi-annual scales. As these regions are under convective regime, it is noted that heat sources (sinks) coincide with moisture sinks (sources).

1. INTRODUÇÃO

A região tropical da América do Sul concentra grande parte da energia do planeta, sendo conhecida como um dos três centros convectivos mais ativos e intensos do globo (RIEHL, 1954). Contribuindo para essa característica convectiva da América tropical, tem-se que o maior componente dos regimes de precipitação de verão da América do Sul é o sistema monçônico, que se desenvolve sobre regiões continentais de baixas latitudes em resposta a mudanças sazonais no contraste térmico entre o continente e regiões oceânicas adjacentes, chamado Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). O ciclo de vida do SMAS inclui uma fase úmida que se inicia na Amazônia equatorial durante a primavera austral, se propaga rapidamente para leste e sudeste. No verão, a principal atividade convectiva, sobre o Brasil central, está ligada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A fase de dissipação do SMAS inicia-se no outono, quando a precipitação intensa sobre a Amazônia diminui e migra gradualmente para noroeste (p.e., KOUSKY, 1988; HOREL et al., 1989; GAN et al., 2004; GARCIA E KAYANO, 2009). A análise do ciclo de vida relacionada ao SMAS em termos do balanço de umidade configura-se de grande importância, já que a água na atmosfera é relacionada não apenas com a precipitação, mas também com sua forte influência na reflexão e absorção de radiação solar e terrestre. Assim, a mesma possui um grande efeito nas condições da temperatura atmosférica, o que, conseqüentemente, influencia no balanço de calor da região.

Ainda, as mudanças de fase da água são importantes fontes ou sumidouros de energia na atmosfera tropical, onde a condensação de grande quantidade de vapor d'água leva à liberação de grande quantidade de energia, que é o calor latente de condensação. Portanto, como as variáveis de umidade e temperatura determinam as principais características relacionadas à ocorrência de precipitação, uma análise conjunta dos termos residuais dos balanços de umidade e calor para a região do SMAS em termos do seu ciclo de vida é importante.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar os campos residuais dos balanços de umidade e calor em algumas regiões do SMAS e a relação entre eles para que subsídios relevantes para propósitos de monitoramento climático possam ser fornecidos no que diz respeito a tal sistema responsável por grande parte da precipitação observada na América do Sul.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Dados diários obtidos do arquivo da Reanálise 2 do *National Centers for Environmental Prediction/Department of Energy* (KANAMITSU et al., 2002) e disponíveis no sítio <http://www.cdc.noaa.gov/> são utilizados: componentes zonal, meridional e vertical do vento (u , v e ω , respectivamente), umidade relativa (RH, em inglês), temperatura do ar (T) e altura geopotencial (Z). Todos os dados encontram-se disponíveis em uma grade com espaçamento de 2,5° de latitude por longitude e são utilizados para os níveis de pressão de 1000 a 200 hPa (os dados de RH encontram-se disponíveis até 300 hPa). Todos os dados são selecionados para o período de 28 anos de 1979 a 2006. OS dados de RH e T foram utilizados para o cálculo de umidade específica (q) através da fórmula de Goff e Gratch (1946). Depois de calculados os valores de q , os termos da equação do balanço de umidade são estimados. Logo, o balanço de água na fase de vapor (3.1) e o balanço de calor (3.2) para uma parcela de ar por unidade de massa em um dado ponto da atmosfera e em um instante t podem ser expressos como:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \Delta q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} = E - P \quad (3.1) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T + \omega \left(\frac{\partial T}{\partial p} + \frac{1}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p} \right) = \frac{J}{c_p} \quad (3.2)$$

O termo à direita de (3.1) representa as fontes ($E - P > 0$) ou sumidouros ($E - P < 0$) de umidade atmosférica, chamado, a partir de agora, como termo resíduo. O termo J/c_p em (3.2) representa as fontes e sumidouros de calor devido a processos diabáticos, chamado, a partir de agora, como termo diabático. Assim, as fontes e sumidouros de q e T são calculados como os resíduos das respectivas equações (3.1) e (3.2).

Os termos são calculados para três regiões constituintes do SMAS (Figura 1): Bacia Amazônica Central (BAC; 2,5°S-10°S e 62,5°W-55°W), Centro-Oeste do Brasil (COB; 10°S-20°S e 60°W-50°W) e ZCAS (15°S-25°S e 45°W-35°W). Os termos calculados são filtrados para

isolar as oscilações na escala anual e semi-anual (banda 0,4-1,2 anos). A componente principal do modo monçônico (PC1) identificada por Garcia e Kayano (2010) como o primeiro modo da técnica de Funções Ortogonais Empíricas aplicada nas séries filtradas (0,4-1,2 anos) de Radiação de Onda Longa na região limitada por 20°N, 20°S, 80°W e 10°W também é utilizada. A evolução do resíduo e do termo diabático é analisada através de mapas de correlação, os quais são obtidos correlacionando a série temporal correspondente do PC1 (com defasagem de 0 a 73 pântadas) com as séries temporais desses termos em cada ponto de grade e cada nível na vertical. Para avaliar a significância estatística dessas correlações, o número de GL é estimado como o número de anos (28). Assim, aplicando o teste t-Student para 28 GL tem-se que correlações absolutas maiores que 0,40 são significativas em um nível de confiança de 95%.

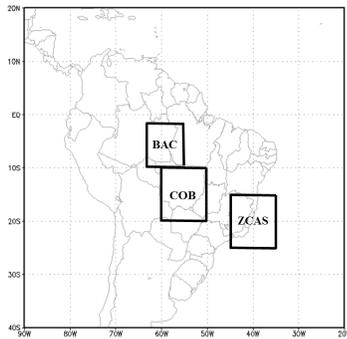


FIGURA 1 – Regiões utilizadas para o cálculo dos termos residuais dos balanços de umidade e calor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados, amplitudes positivas do PC1 são assumidas e, assim, as correlações são chamadas de anomalias na discussão. Como as correlações são obtidas entre os termos residuais de umidade e calor e o PC1, apenas as áreas e os termos são mencionados nas discussões. Assim, anomalias positivas (negativas) do termo de resíduo notadas da defasagem 0 à 14 e da defasagem 64 à 73 (defasagem 26 à 50) pântadas na camada de 850-300 hPa indicam períodos secos (úmidos) e uma fonte (sumidouro) de umidade para a atmosfera na região da BAC (Figura 2a). Para as regiões do COB e da ZCAS, anomalias positivas (negativas) do termo de resíduo, indicativas de períodos secos (úmidos) e sendo uma fonte (sumidouro) de umidade para a atmosfera na região, são observados da defasagem 0 à 8 e da defasagem 56 à 73 (defasagem 20 à 44) pântadas (Figuras 2b e 2c). Fisicamente tem-se que, durante a estação chuvosa, o continente é aquecido e, através dos fluxos de calor sensível, a atmosfera também se aquece. Assim, movimentos verticais ascendentes são forçados, causando posterior condensação do vapor d'água. Essa condensação libera calor latente, aquecendo ainda mais a atmosfera, o que intensifica os movimentos verticais ascendentes e, por consequência, ocorre precipitação. Logo, como a precipitação é superior à evaporação nessas condições de convecção, tem-se um sumidouro de umidade atmosférica. As condições são contrárias durante a estação seca e, assim, tem-se uma fonte de umidade atmosférica em tal período.

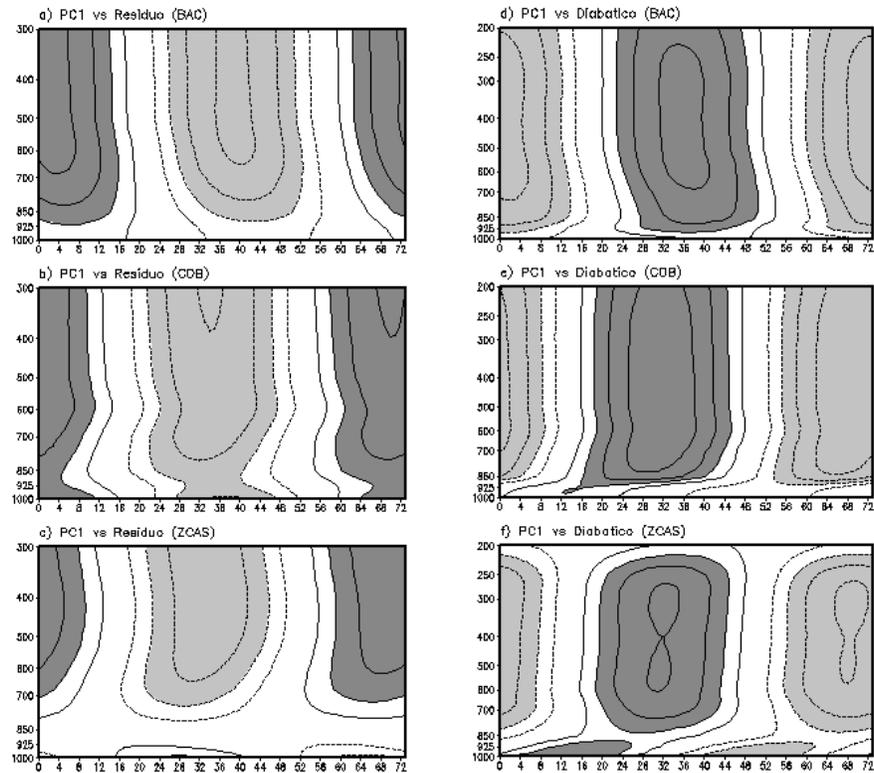


FIGURA 2 – Seção nível-tempo das correlações médias entre PC1 e o termo de resíduo para: a) BAC, b) COB e c) ZCAS e entre PC1 e o termo diabático para: d) BAC, e) COB e f) ZCAS. O intervalo de contorno é 0,20, com o contorno de zero omitido. Áreas hachuradas claras (escuras) indicam valores menores (maiores) que -0,4 (0,4).

Consistentemente, anomalias negativas (positivas) do termo diabático são observadas nos mesmos períodos referentes ao termo de resíduo para cada região, indicando um sumidouro (uma fonte) de calor para a atmosfera (Figuras 2d, 2e, 2f). É importante ressaltar que o aquecimento nas regiões analisadas é devido ao processo de condensação, visto que tais áreas estão sob regime convectivo. Assim, para essas regiões, fontes de calor coincidem com sumidouros de umidade, o que é coerente com os resultados de Yanai et al. (1973) e Yanai and Tomita (1998). Os termos mais importantes nos balanços de umidade e calor são os termos de advecção vertical de q e de T , respectivamente (figuras não mostradas), já que os correspondentes termos residuais (Figura 2) mostram um padrão quase anti-simétrico em relação aos mesmos. Esse aspecto é típico de regiões convectivas, como notado por Veiga et al. (2005) em seu estudo do balanço de umidade e calor para a circulação de Walker no cinturão zonal do equador a 10°S . Um aspecto importante para monitoramento é que as anomalias negativas (positivas) do termo de resíduo e as anomalias positivas (negativas) do termo diabático na região do COB ocorrem aproximadamente 4 pântadas antes daquelas notadas na região da BAC. Esse resultado é coerente com Janowiak e Xie (2003), já que eles encontraram que a atividade convectiva sobre grande parte do sudoeste do Brasil e norte da Bolívia aumenta e se expande em direção a regiões do SMAS durante o início da estação chuvosa.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, tem-se que, para as regiões da Bacia Amazônica Central, Centro-Oeste do Brasil e Zona de Convergência do Atlântico Sul, fontes (sumidouros) de calor coincidem com sumidouros (fonte) de umidade, o que é coerente com os resultados de Yanai et al. (1973) e Yanai and Tomita (1998). Ainda, as anomalias dos campos residuais, indicativas das estações seca e chuvosa, são notadas 4 pântadas antes na região do COB quando comparado à região da BAC, o que é consistente com os resultados encontrados por Janowiak e Xie (2003).

6. AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro referente ao projeto 472337/2010-6.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, p. 47-66, 2004.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 97, p. 361-372, 2009.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Some evidence on the relationship between the South American monsoon and the Atlantic ITCZ. **Theoretical and Applied Climatology**, v.99, p. 29-38, 2010.

GOFF, J. A.; GRATCH, S. Low pressure properties of water from -160 to 212F. **Trans. Amer. Soc. Heat. Vent. Eng.**, v. 52, p. 95-121, 1946.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 02, p. 1388-1403, 1989.

JANOWIAK, J.E.; XIE, P. A global-scale examination of monsoon-related precipitation. **Journal of Climate**, v. 16, p. 4121-4480, 2003.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S-K.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, p. 1631-1643, 2002.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 03, p. 217-231, 1988.

RIEHL, H. **Tropical Meteorology**. New York: McGraw-Hill, 1954. 392 p.

VEIGA, J. A. P.; RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H. Heat and moisture budgets of the walker circulation and associated rainfall anomalies during El Niño events. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 193-213, 2005.

YANAI, M.; ESBENSEN, S.; CHU, J. H. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 30, p. 611-627, 1973.

YANAI, M.; TOMITA, T. Seasonal and interannual variability of atmospheric heat source and moisture sinks as determined from NCEP-NCAR Reanalysis. **Journal of Climate**, v. 11, p. 463-482, 1998.