

TRANSPORTE E BALANÇO D'ÁGUA NA ATMOSFERA DO NORDESTE BRASILEIRO

Enilson Palmeira CAVALCANTI¹, Pedro Vieira de AZEVEDO¹, Adilson Wagner GANDU²

RESUMO

Neste trabalho procurou-se analisar o transporte de vapor d'água e a diferença entre a precipitação e evapotranspiração (P-E) obtida pelo cálculo da convergência do fluxo de vapor d'água. Trabalhou-se com a média do trimestre Março-Abril-Maio que corresponde ao trimestre mais chuvoso dos quadrantes Leste e Norte do Nordeste do Brasil. Foram feitas comparações da climatologia de um período de 13 anos com situações específicas de 1983 e 1986. A área de abrangência das análises é a compreendida entre os paralelos de 30° N e 60° S e os meridianos de 0° a 120° W. Os resultados evidenciam que as principais fontes de vapor d'água são os oceanos. Verificou-se também que esse vapor d'água é transportado sobre a América do Sul e em particular sobre o Nordeste do Brasil. Os valores de P-E estimados mostram-se compatíveis com valores medidos.

Palavras-chave: Fluxo de Vapor d'água, Evaporação, Precipitação

INTRODUÇÃO

O transporte d'água na atmosfera constitui-se em componente muito importante do ciclo hidrológico, pois são através deste que grandes quantidades de água na forma de vapor são levadas de uma região para outra. Os oceanos e grandes reservatórios d'água, principais fontes de vapor na superfície da terra, suprem a atmosfera mediante o processo de evaporação. Regiões outras também são afetadas por esse processo, provocando a baixa umidade do solo até que a precipitação venha repor.

O vapor d'água atmosférico com concentração que varia de 0 a 4% do volume total dos componentes do ar, também constitui-se num importante gás natural para o efeito estufa, responsável pela manutenção do equilíbrio térmico do planeta.

Howarth (1983), considerando que a água precipitável média é de 25 mm e que a precipitação média global é de 1.000 mm/ano, verificou que o tempo de permanência da água na

¹ Professor - Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA/CCT/UFPB. .Campina Grande - PB. enilson@dca.ufpb.br.

² Professor - Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA/IAG/USP. São Paulo - SP. adwgandu@model.iag.usp.br.

atmosfera é de aproximadamente 9 a 10 dias. Se o calor latente de condensação for tomado como $2,5 \times 10^6 \text{ J Kg}^{-1}$, a quantidade de energia liberada na atmosfera é de aproximadamente $1,28 \times 10^{24} \text{ J ano}^{-1}$, o que é equivalente a 35% da energia solar absorvida pelo sistema Terra-atmosfera.

Vários estudos relacionados com o conteúdo e transportes de vapor d'água na atmosfera foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas, (Starr & Peixoto, 1958; Hastenrath, 1966; Rasmusson, 1967 e 1971; Peixoto, 1973; Rosen et al., 1979; Howarth, 1983; Salstein et al., 1983). Mais recentemente, Sherwood (1996a,b); Zhai & Eskridge (1997). Para o Brasil, destacam-se os trabalhos de: Marques et al. (1979); Lettau & Molion (1979); Viswanadham (1981); Rathor et al. (1985) e Cavalcanti et al. (1996).

A tentativa de se estudar o conteúdo e transportes de vapor água na atmosfera sobre a América do Sul, em particular sobre a região Nordeste do Brasil, utilizando-se somente informações convencionais de ar superior obtidas através de radiossondagem, se depara com os seguintes problemas: único horário de observações (12:00 UTC); série temporal com muitas falhas (dias sem sondagens); distribuição espacial irregular e por fim, o fato de que nas décadas de 80 e 90 a rede aerológica operou precariamente.

Uma saída para essas questões é a utilização de dados oriundos de modelos numéricos, os denominados "reanálises". Esses dados, além de apresentarem consistências física e dinâmica impostas pelo próprio modelo, contêm informações obtidas por outros meios não convencionais disponíveis que tentam suprir a deficiência de áreas sem ou com pouca observações. Como exemplo, tem-se as sondagens remotas por satélite "TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS)".

Desta forma buscou-se, neste trabalho, analisar os fluxos de vapor d'água e o balanço hídrico (Precipitação - P - Evapotranspiração - E) da atmosfera sobre a América do Sul com ênfase para o Nordeste do Brasil, com base na comparação da climatologia de 13 anos (1982-1994) com as observações de um ano considerado seco (1983) e de um ano considerado úmido (1986).

MATERIAL E MÉTODOS

Período e área de estudo

Decidiu-se trabalhar com períodos em que o Nordeste do Brasil (NEB) apresentou as seguintes condições: a) alto teor de umidade atmosférica, característica de anos chuvosos, com precipitação pluviométrica na maior parte da região, acima da média; b) baixo teor de umidade atmosférica, referente a anos secos, quando a maior parte da região apresenta pluviometria abaixo da média climatológica e; c) período normal, correspondente a média do período compreendido entre 1982 e 1994.

Com base nestes critérios e segundo Roucou (1996) foram selecionados para estudo os anos de 1983 (seco) e 1986 (úmido) e como normal a média do período (1982-1994).

A média de três meses referentes a cada ano foram analisados e correspondem aos meses de março, abril e maio, período de maior concentração de chuvas nas regiões Norte e Leste do NEB.

A área de abrangência espacial das análises é a compreendida entre os paralelos de 30° N e 60° S e os meridianos de 0° a 120° W.

Dados utilizados

Os dados utilizados referem-se às "Reanalises" do modelo global do "National Center for Atmospheric Research/National Center for Environmental Prediction - NCAR/NCEP". Essas informações incluem diferentes tipos de variáveis e sistemas de coordenadas, (Kalnay et al., 1996). Utilizou-se valores mensais das "reanalises" das variáveis temperatura, umidade específica do ar e componentes zonal e meridional do vento numa grade de 2,5 por 2,5 graus de latitude e longitude em níveis de pressão da superfície a 300 hPa para os meses de Março, Abril e Maio de 1983, 1986 e a climatologia de 13 anos (1982 a 1994).

Balanco hídrico na atmosfera

Segundo Peixoto & Oort (1992), a equação do balanço de vapor d'água na atmosfera é expressa pela equação:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{Q} = E - P \quad (1)$$

onde W é conteúdo d'água na forma de vapor contido em uma coluna atmosférica de área unitária, integrado da superfície até o topo da atmosfera. Essa quantidade é denominada de Água Precipitável e é expressa por:

$$W = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q dp \quad (2)$$

onde q é a umidade específica e g é a aceleração da gravidade. \vec{Q} é o fluxo horizontal de vapor d'água integrado verticalmente, dado por:

$$\vec{Q} = Q_I \vec{i} + Q_F \vec{j} \quad (3)$$

onde: $Q_I = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q u dp$ é o fluxo zonal integrado verticalmente, $Q_F = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q v dp$ é o fluxo meridional integrado verticalmente e u e v são as componentes zonal e meridional do vento respectivamente. P é a precipitação pluviométrica e E é a evapotranspiração.

Para estudos de escala de tempo de mês ou superior $\nabla W / \nabla t$ pode ser desprezado. Logo a equação (1) fica

$$P - E = -(\nabla \cdot \vec{Q}). \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1, 3 e 5 correspondem aos fluxos de vapor d'água atmosférico integrados verticalmente e expressos em unidades de Kg/m.s. Os campos vetoriais desse fluxos são representados nas figuras através de setas indicando a direção e a intensidade (tamanho da seta). Com a finalidade de melhorar a visualização das intensidades dos fluxos, foi plotado também sobre as mesmas figuras as isolinhas de intensidades dos fluxos de vapor d'água. Para as figuras 2, 4, e 6 tem-se as distribuições da diferença entre a precipitação e evapotranspiração (P-E), em unidades de mm/dia. Os valores negativos indicam que a evapotranspiração é superior a precipitação no trimestre estudado (Março-Abril-Maio). Pode-se observar também que as principais fontes de vapor d'água são os oceanos Atlântico e Pacífico, com altas taxas de evaporação para o suprimento d'água na atmosfera da região estudada.

Na Figura 1, relativa a média de 1982 a 1994 do trimestre Março-Abril-Maio, observa-se que os fluxos de vapor d'água apresentam intensidades superiores a 200 Kg/m.s na faixa tropical entre 10° N e 10° S, com sentido predominante de Leste para Oeste. Na faixa entre 35° e 50° S o fluxo é predominantemente de Oeste para Leste, com intensidades menores que as mencionadas anteriormente. A faixa de latitudes intermediárias apresentam variabilidade espacial nas direções dos fluxos de vapor d'água e suas intensidades ficam em torno de 50-150 Kg/m.s.

A convergência do fluxo de vapor d'água, expressa pela diferença P-E, é visualizada através da Figura 1, para a média do trimestre Março-Abril-Maio do período de 1982 a 1994. Sobre os oceanos Atlântico e Pacífico, observa-se núcleos negativos indicando fontes de vapor d'água para a atmosfera através do processo de evaporação. Sobre o continente sul-americano, mais precisamente na região Nordeste do Brasil, tem-se a presença de pequeno núcleo de valores negativos localizado em aproximadamente 15° S e 40° W. Esse resultado indica que na média, considerando o período estudado, essa área apresenta um déficit hídrico para o trimestre mencionado e, dessa forma, utiliza-se da água armazenada no solo em cerca de 0,5 mm/dia. No restante da região Nordeste do Brasil verifica-se que a precipitação supera a evapotranspiração com valores que aumentam em direção ao litoral. A variação verificada é de 1-4 mm/dia com valores mais acentuados (4-6 mm/dia) na parte Norte da região.

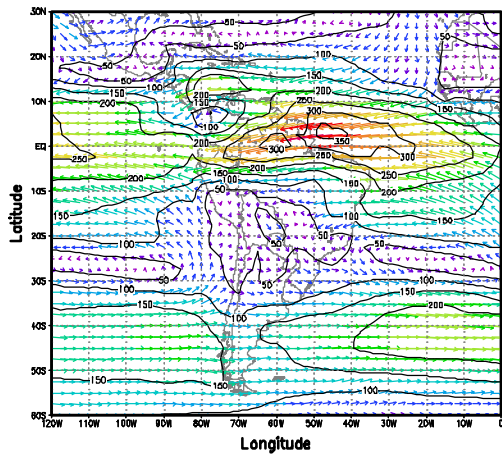


Figura 1 - Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (Kg/m.s) para o trimestre Março-Abril-Maio. Média de 1982-1994.

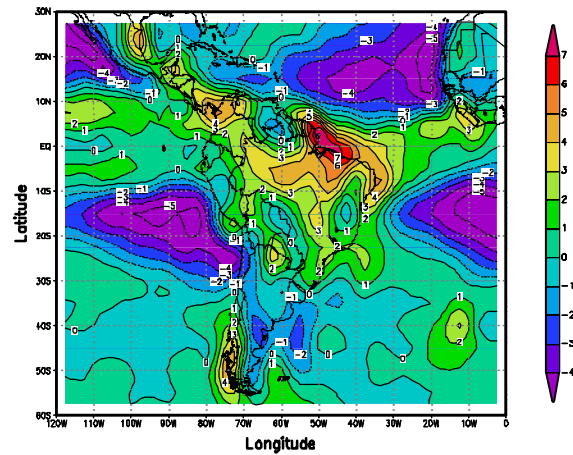


Figura 2 - Precipitação menos evapotranspiração (P-E em mm/dia) para o trimestre Março-Abril-Maio. Média de 1982-1994.

As Figuras 3 e 4 referem-se ao trimestre Março-Abril-Maio de 1983 para o fluxo de vapor d'água e P-E, respectivamente. Pode-se observar os mesmos padrões descritos para a situação média, sendo que, na faixa 10° N e 10° S, os fluxos encontram-se bem mais intensos na parte Leste e muito fracos na parte Oeste sobre o Pacífico. Destacam-se também o transporte de vapor d'água a leste da Cordilheira dos Andes (20° S, 60° W) em direção a região Sudeste do Brasil. Esse fluxo apresenta intensidade duas vezes maior que o observado na média. Isso parece justificar o aumento da taxa P-E em mm/dia nessa região.

Com relação a região Nordeste do Brasil, a taxa de P-E apresenta valores inferiores a 1 mm/dia quando comparado com a situação média analisada e que a área com P-E<0 é maior que a mencionada para o período 82-94. Essa situação é coerente com a condição de período seco para 1983.

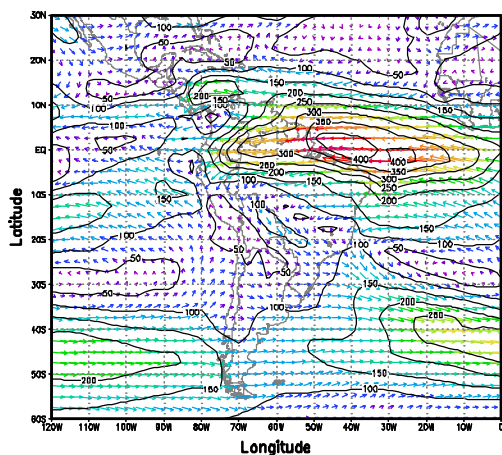


Figura 3 - Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (Kg/m.s) para o trimestre Março-Abril-Maio. Ano de 1983.

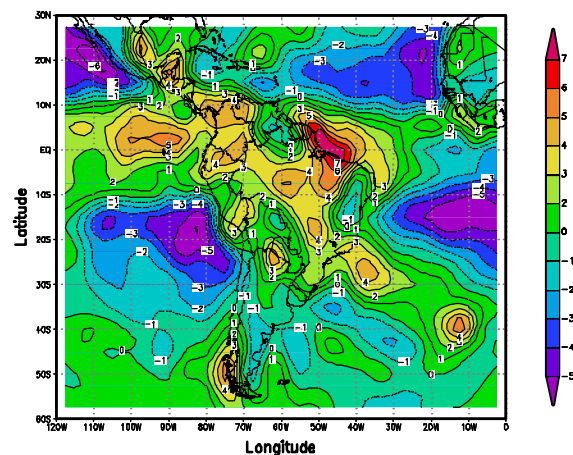
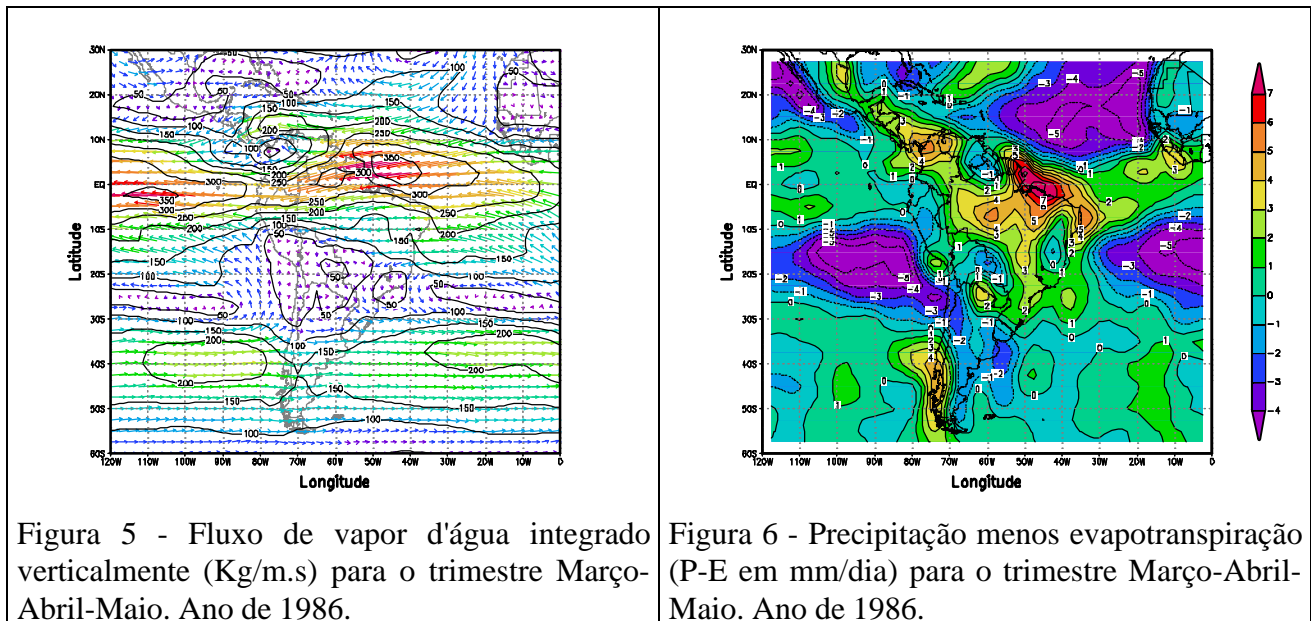


Figura 4 - Precipitação menos evapotranspiração (P-E em mm/dia) para o trimestre Março-Abril-Maio. Ano de 1983.

Para o trimestre Março-Abril-Maio de 1986 a distribuição espacial do fluxo de vapor d'água (Figura 5) apresenta padrões que se assemelham aos observados para a média de 1982-1994. No caso da diferença P-E (Figura 6), verifica-se configurações parecidas sendo que os valores absolutos das isolinhas são relativamente um pouco mais altos.



CONCLUSÕES

Os cálculos do fluxo de vapor d'água e a estimativa de P-E através do cálculo da convergência do referido fluxo usando dados do NCEP/NCAR mostraram-se consistentes e possibilitaram resultados interessantes. Neste sentido é de grande valor a análise do transporte e balanço d'água na atmosfera em grande escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAVALCANTI, ENILSON P.; CEBALLOS, J. CARLOS; VALADÃO, C. E. de ÁVILA. Vapor d'água sobre Campina Grande, Barbalha e Fortaleza durante o experimento "EMAS". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos do Jordão. *Anais, Vol. I*. Campos de Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 850-854. 1996.
- HASTENRATH, STEFAN L. The flux atmospheric water vapor over Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *J. Appl. Meteor.* 5, 778-788. 1966.
- HOWARTH, D. A. Seasonal variations in the vertically integrated water vapor transport fields over the Southern Hemisphere. *American Meteorological Society*. 111, 1259-1272. 1983.

- KALNAY, M. K.; KISTLER, R.; et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 77, 437-471. 1996.
- LETTAU, H; LETTAU, K. AND MOLION, L. C. B. Amazonia's hidrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. *Mon. Wea. Rev.* 107, 227-238. 1979.
- MARQUES, JOSÉ; SANTOS, J. MARDEN dos; SALATI, ENEAS. O campo do fluxo de vapor d'água atmosférico sobre a região Amazônica. *ACTA AMAZONICA.* 9, 701-713. 1979.
- PEIXOTO, J. P. *Atmospheric vapor flux computations for hydrological purposes.* World Meteorological Organization. Geneve: WMO/IHD Report n. 20 WMO. 1973. 83p.
- PEIXOTO, J. P.; OORT A. H. *Physics of climate.* American Institute of Physics. 1992. 520p.
- RASMUSSEN, EUGENE M. Atmospheric water vapor transport and the water balance of North America: Part I. Characteristics of the water vapor flux field. *Mon. Wea. Rev.* 95, 7. 403-426. 1967.
- RASMUSSEN, EUGENE M. A study of hydrology of eastern North America using atmospheric vapor flux data. *Mon. Wea. Rev.* 99, 2. 1971.
- RATHOR, S. HUKUM; ARAÚJO, M. A. ANDRADE de; MELLO, C. C. de. Atmospheric water vapor flux and its divergence over the drought prone region of tropical northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica.* 3, 107-113. 1985.
- ROSEN, D. RICHARD; SALSTEIN, DAVID A.; PEIXOTO, J. P. Variability in the annual fields of large-scale atmospheric water vapor transport. *Mon. Wea. Rev.* 107. 26-37. 1979.
- ROUCOU, PASCAL; ARAGÃO, J. ORIBE R. de; et al. Vertical motion changes related to north-east Brazil rainfall variability: A GCM simulation. *International Journal of Climatology.* 16, 879-891. 1996.
- SALSTEIN, D. A.; ROSEN, R. D; PEIXOTO, J. P. Modes of variability in annual hemispheric water vapor and transport fields. *J. Atmos. Sci.* 40, 788-803. 1983.
- STARR, V. P.; PEIXOTO, J. P. On global balance of water vapor and the hydrology of deserts. *TELLUS.* X, 188-194. 1958.
- SHERWOOD, STEVEN C. Maintenance of the free-tropospheric water vapor distribution. Part I: Clear regime budget. *Journal of Climate.* 9, 2903-2918. 1996a.
- SHERWOOD, STEVEN C. Maintenance of the free-tropospheric water vapor distribution. Part II: Simulation by large-scale advection. 9, 2919-2934. 1996b.
- VISWANADHAM, Y. The relationship between total precipitable water and surface dew point. *J. Appl. Meteor.* 20, 3-8. 1981.
- ZHAI, PANMAO; ESKRIDGE, ROBERT E. Atmospheric water vapor over China. *Journal of Climate.* 10, 2643-2652. 1997.