

Características do Transporte de Umidade de Grande Escala na América do Sul ao Longo do Ano

Josefina Moraes Arraut¹, Carlos Nobre¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Av. dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos – SP – Brasil, email: josefina.arraut@cptec.inpe.br

ABSTRACT: Grande parte das chuvas subtropicais na América do Sul são alimentadas por transporte de umidade de grande escala. No verão grande parte deste escoamento vem do Atlântico tropical e passa sobre a Amazônia antes de rumar para o sul. Neste trabalho buscam-se as principais vias de transporte de umidade para os subtrópicos ao longo do ano. Uma pergunta de interesse é se e quando a floresta Amazônica e/ou outras regiões continentais atuam como fonte de umidade para este escoamento. Analisam-se também as contribuições por parte dos fluxos médios mensais e dos transientes para este escoamento.

Palavras-chave: Chuva, Transporte de Umidade.

1 – INTRODUÇÃO

Uma importante via de transporte de umidade para os subtrópicos da América do Sul no verão tem início no Atlântico Tropical, passa sobre a Amazônia, onde gira rumando para o sul a leste dos Andes. Sobre a floresta esta umidade toma parte no ciclo hidrológico local. Há considerável literatura abordando a importância do transporte de umidade deixando a Amazônia no desenvolvimento de distúrbios sinóticos e de chuva nos subtrópicos durante o verão e meses próximos (veja por exemplo Salio et. al. 2007, Mendes et. al. 2007, Arraut 2007 e Arraut e Satyamurty 2009 e as referências ali contidas).

O papel da floresta Amazônica como uma possível fonte de umidade atmosférica é um tema freqüente de especulação. Considerando toda a bacia, é possível afirmar, pelo simples fato de ser uma área continental, que a Amazônia recebe água apenas pela atmosfera, como vapor que em parte se converte em chuvas. Sendo assim, é claro que a floresta não poderia ceder mais água para a atmosfera do que recebe, por longos períodos, ou secaria. Ela pode no entanto alternar entre fonte e sumidouro de umidade durante períodos mais curtos, a custo de variações no conteúdo de água no solo. Sendo o verão e os meses próximos a estação mais chuvosa da floresta é pouco provável que ela atue como fonte de umidade nesta época, já que então o conteúdo de água no solo teria que recuperar-se quando há menos chuvas. Porém, seria possível que a Amazônia atuasse como fonte de umidade durante suas estações mais secas, ou mesmo durante anos de seca, as custas de diminuir temporariamente o seu estoque de água no solo.

A divergência do transporte de umidade integrado na vertical (QV) pode ser igualada a

$$\nabla(QV) = E - P + \frac{\partial W}{\partial t},$$

onde E é a evaporação, P a precipitação e $\frac{\partial W}{\partial t}$ é a variação local na água precipitável. Este último termo pode ser desprezado, a não ser em períodos de tempo muito curtos (Peixoto e Oort 1992). Assim, quando a evaporação média supera a precipitação e portanto o solo da região funciona como fonte de umidade para a atmosfera, deve-se observar divergência do transporte de umidade integrado na vertical e vice e versa. Na prática porém a baixa confiabilidade deste campo é amplamente reconhecida.

Qualquer continente deve ceder mais água para a atmosfera do que dela recebe, a diferença sendo a vazão dos seus rios para o mar. As regiões de chuva intensa, particularmente os máximos locais, são as fontes de água para as bacias hidrográficas e assim devem ser caracterizadas por convergência média do transporte de umidade de grande escala. Uma comparação dos campos médios de precipitação e ∇QV permite uma validação do último, que foi então utilizado para inferir possíveis fontes de umidade sobre o continente para as chuvas subtropicais. Além disto, climatologias mensais de chuva e transporte de umidade integrado na vertical foram utilizadas para separar o ano de acordo com padrões espaciais qualitativos da precipitação nos subtrópicos do continente e determinar as principais vias pelas quais a circulação atmosférica as abastece com umidade. Uma via de escoamento de norte, desde os trópicos, a leste dos Andes foi encontrada como sendo o principal caminho para o abastecimento dos subtrópicos ao longo de todo o ano. A contribuição do escoamento vindo da Amazônia para este fluxo varia muito ao longo do ano.

Dada a importância do escoamento meridional neste contexto de transporte entre trópicos e subtrópicos, analisa-se também a sua decomposição nos termos devidos aos fluxos médios mensais e aos transientes.

2 - DADOS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de precipitação mensais obtidos do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) e de umidade específica e ventos da reanálise ERA40 do *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF). Foram calculados o transporte de umidade integrado na vertical entre a superfície e 100mb:

$$QV = \int_{p_s}^{100mb} qv \frac{dp}{g}$$

e a sua divergência. A pressão à superfície é calculada como em Arraut 2007. A decomposição do transporte de umidade é dada por

$$\{Q_h V_h\} = \{Q_m V_m\} + \{Q'_h V'_h\},$$

onde $\{ \}$ denota climatologias mensais, os índices h e m dados horários e médios mensais e $\{ \}'$ denotam as anomalias dos dados horários com relação às médias mensais.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As climatologias de chuva e de transporte de umidade são mostradas na Figura 1, enquanto que as de divergência do transporte de umidade o são para as estações mais frias nos painéis da Figura 2, pois estas resistem melhor à validação. No primeiro período vê-se convergência de umidade em uma faixa contendo o Equador, com dois máximos locais, um a oeste e o outro próximo a costa, além de convergência de umidade também na região sul do Brasil, os dois principais locais de chuva no continente. Na estação seca a convergência de umidade apresenta um máximo local forte no extremo norte do continente e outro, com quase a mesma intensidade, sobre a região sul do Brasil, também os dois locais de chuvas abundantes. Em ambas as estações a intensidade dos máximos tropicais excede 7mm, enquanto que as chuvas excedem 10mm. A diferença poderia, em princípio, ser devida à evaporação. Nos subtrópicos a convergência média de umidade fica entre 5 e 7mm, valores mais próximos aos das chuvas, aproximadamente entre 4 e 6mm.

Em abril a junho há divergência do transporte de umidade entre 10S e 25S, entre os Andes e 55W aproximadamente. Os valores vão de 0.5 a 5mm.day⁻¹, são mais altos sob a corrente de umidade a leste dos Andes e um máximo local intenso ocorre ao norte de 20S. Em julho e agosto ocorre divergência de umidade sobre a maior parte da faixa continental entre 5S e 25S. Os intervalos de valores são semelhantes aos encontrados na estação anterior e mais

uma vez os mais altos são encontrados no oeste, com um máximo ainda mais intenso aproximadamente entre 57W e 18S. Isto é bastante próximo à localização do Pantanal Matogrossense. Estes resultados sugerem que o sul da Amazônia atua como uma importante fonte de umidade para a atmosfera na sua estação seca e o Pantanal e regiões próximas como uma importante fonte de umidade para o escoamento que abastece os subtropicais nas duas estações frias do ano.

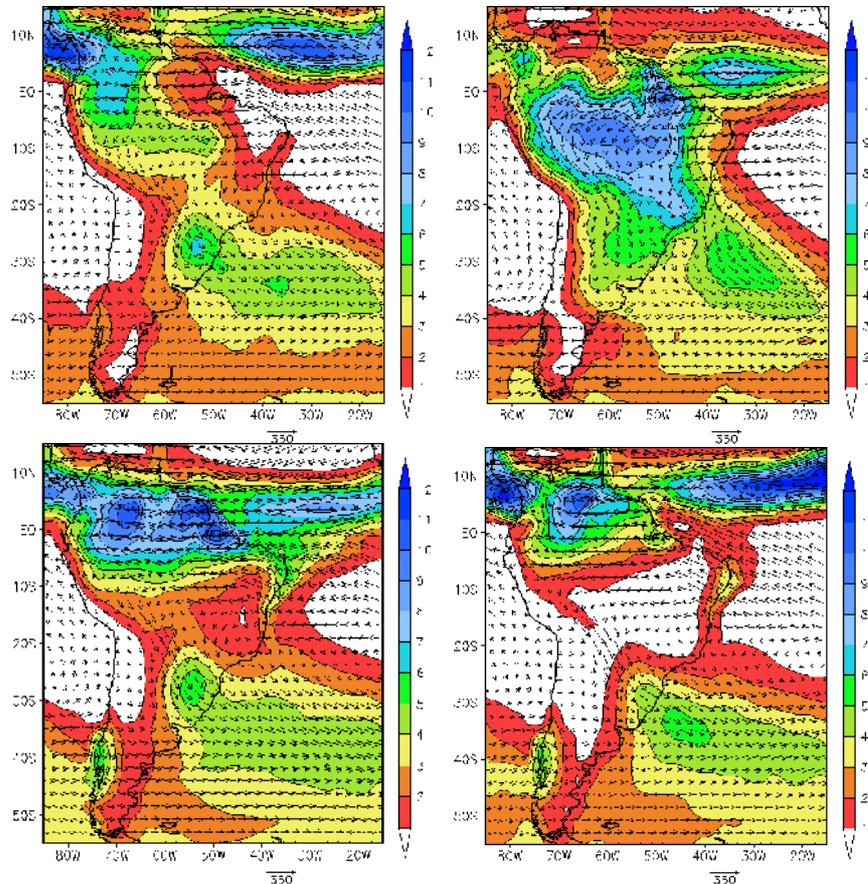


Figura 1 - Climatologias do transporte de umidade integrado na vertical (setas) e da precipitação (cores) em kg/m/s e kg/m^2 , respectivamente, para os meses de setembro a outubro (SO), novembro a março (NM), abril a junho (AJ) e julho a agosto (JA).

As contribuições dos escoamentos médio e transiente para a climatologia do transporte de umidade são mostradas para a componente meridional nos painéis da Figura 3. Assim como encontrado por Rao et. al. 1996, verificamos que a componente média atinge valores muito mais altos do que a transiente, e que esta última só tem importância na região subtropical. Observa-se aqui que a componente transiente é particularmente importante em dois locais durante a maior parte do ano: o Atlântico sudoeste e o leste dos Andes, onde ocorre o transporte de umidade dos trópicos para os subtropicais. Em ambas estas áreas a componente transiente não é pequena se comparada à média, mas é semelhante ou mesmo superior a ela. Em torno de 25S a leste dos Andes em dezembro e 35S sobre o oceano em setembro e julho, a componente média é próxima de zero e a transiente determina o sinal do transporte total. Isto mostra a importância dos transientes para o transporte entre trópicos e subtropicais durante a maior parte do ano. É também importante mencionar que o escoamento meridional até 15S aproximadamente, é quase exclusivamente dado pela componente média. Assim, o uso de médias mensais é adequado para estudar o transporte deixando a Amazônia.

Rao et. al. Atribuíram, sem comprovação, o transporte transiente às incursões de ciclones extra-tropicais. Aqui considera-se, também sem comprovação, a aceleração de ventos de norte pelas baixas do Chaco e do Noroeste da Argentina como um mecanismo mais provável para a aceleração do escoamento a leste dos Andes.

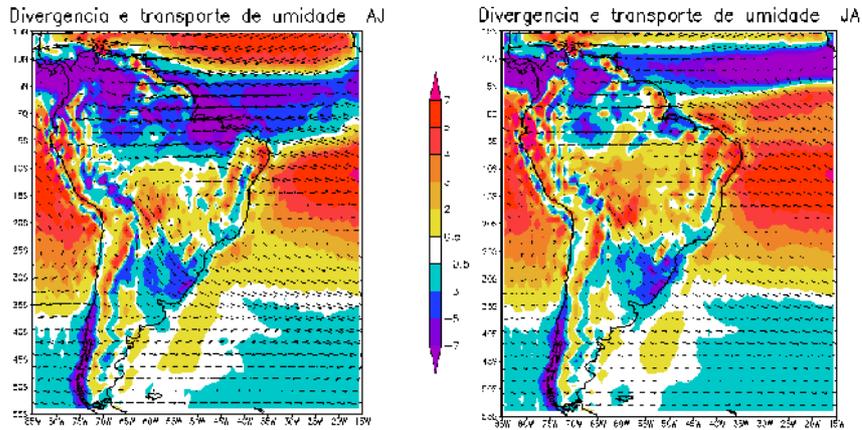


Figura 2 – Climat. do transporte de umidade integrado na vertical (setas) e da sua divergencia (cores) em kg/m^2 e kg/m^2 , respectivamente, para os mesmos periodos da Figura 1.

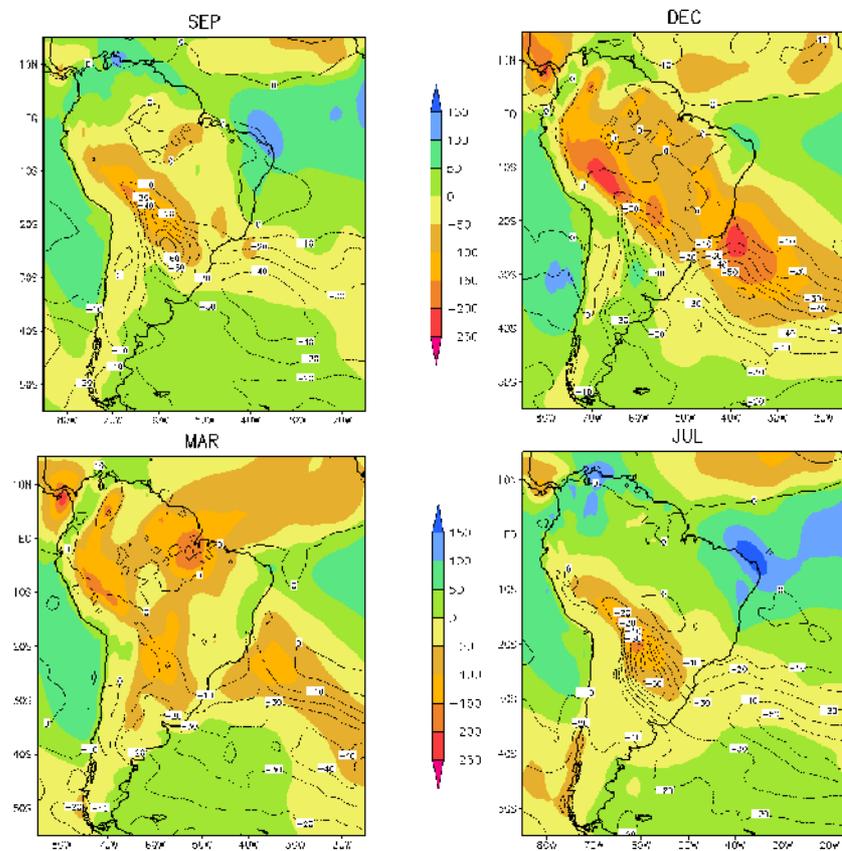


Figura 3 – Contribuições do escoamento médio (cores) e transiente (contornos) para as climatologias mensais do transporte de umidade integrado na vertical em kg/m^2 para os meses de setembro, dezembro, março e julho.

4 – CONCLUSÕES

Durante todo o ano a principal via de transporte de umidade para os subtrópicos tem origem tropical e escoam a leste dos Andes. A contribuição do ar Amazônico para este escoamento varia muito ao longo do ano, sendo muito maior nos meses mais quentes do que nos meses mais frios.

A convergência do transporte de umidade integrado na vertical reproduz importantes características qualitativas do campo de chuvas para os períodos de abril a junho e julho a agosto, por este motivo considerou-se a presença de divergência do transporte de umidade em como uma indicação de que a superfície atua como fonte de umidade para a atmosfera durante essas estações. Os resultados sugerem que, de julho a agosto, a maior parte da floresta ao sul de 5S atue como fonte de umidade para a atmosfera. Tanto nesta estação quanto de abril a junho, o Pantanal Matogrossense e uma grande região em torno aparecem como fontes de umidade para o fluxo de abastecer os subtrópicos.

A separação da componente meridional do transporte de umidade integrado na vertical em suas contribuições pelo escoamento médio e pela sinergia entre os transientes em escala diária e intra-diurna foi realizada. Assim como mostrado anteriormente por Rao et. al. 1996, observou-se que a componente média assume valores muito mais altos do que a transiente, durante todas as épocas do ano, e a transiente só assume valores apreciáveis nos subtrópicos, sendo sempre de norte. Há tipicamente duas regiões de máximos intensos, a leste dos Andes e sobre o sudoeste do Atlântico. Enquanto o máximo oceânico é provavelmente o efeito da passagem de ciclones extratropicais, cuja aproximação a Alta Subtropical do Atlântico Sul acelera escoamento de norte, a localização do máximo continental é sugestiva da atuação das altas do Chaco e do Noroeste da Argentina como aceleradoras deste escoamento. Durante alguns meses do ano, tipicamente em dezembro, a componente transiente tem magnitude superior a média em torno de 25S a leste dos Andes, chegando a definir o sinal do escoamento numa pequena região.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAUT, J. M. 2007. Frentes e frontogênese no verão: aspectos geométricos, dinâmicos e impactos sobre as chuvas nos subtrópicos da América do Sul. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/07.27.17.49>>.

ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. 2009. Precipitation and water vapor transport in the southern hemisphere with emphasis on the South American region. v.48, p. 1902-1912.

MENDES, D., SOUZA, E. P., TRIGO, I. F., MIRANDA, P.M.A. 2007. On Precursors of South American Cyclogenesis. *Tellus*, 59A, 114-121.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I.; HADA, K. 1996. Annual Variation of Rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. *J. Geophys. Res.*, v.101, D21 p.26539-26551.

SELUCHI, M. E.; C. SAULO; M. NICOLINI; P. SATYAMURTY, 2003: The Northwestern Argentinean Low: A study of two typical events. *Mon. Wea. Rev.*, 132, p. 2361–2378.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. 2007 Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. *Mon. Weath. Rev.*, v.139, p.1290-1309.