

RECICLAGEM DE VAPOR D'ÁGUA SOBRE A AMÉRICA DO SUL UTILIZANDO REANÁLISES DO NCEP-NCAR

RANYÉRE S. NÓBREGA, ENILSON P. CAVALCANTI e ENIO P. SOUZA

DCA/CCT/UFCG

Av. Aprígio Veloso 882, Bodoncongó, CEP 58109-970, Campina Grande - PB. Fone: (83) 310-1323

E-mail: ranysn@bol.com.br, enilson@dca.ufcg.edu.br, esouza@dca.ufcg.edu.br

Recebido Fevereiro 2004 - Aceito Março 2005

RESUMO

Reciclagem de vapor d'água refere-se ao mecanismo de realimentação do sistema Terra-Atmosfera em que certa fração da água evaporada sobre uma região cai novamente como precipitação na mesma região. Nesse trabalho foram analisados os campos do fluxo de vapor d'água, evapotranspiração e precipitação durante o verão (dezembro-fevereiro), outono (março-maio), inverno (junho-agosto) e outono (setembro-novembro) utilizando 20 anos de "reanálises" do NCEP-NCAR ("National Centers for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research"). Os resultados revelaram reciclagens de vapor d'água relativamente pequenas sobre a Amazônia e Nordeste do Brasil e maiores valores na parte central da América do Sul, com núcleos de até 50% durante o verão. Os aspectos climatológicos da reciclagem de vapor d'água sobre a América do Sul indicam que a contribuição advectiva é mais importante para a precipitação sobre a Amazônia e Nordeste do Brasil, enquanto na região central e sudeste a contribuição local tem importante papel na precipitação. Esses resultados evidenciam que a quantificação da reciclagem de vapor d'água é um indicador da importância dos processos da superfície da terra para o balanço hídrico e, também, um indicador da sensibilidade climática em relação a esses processos.

Palavras-chave: fluxo de vapor d'água, evapotranspiração, precipitação.

ABSTRACT: ANALYSIS OF THE WATER VAPOR RECYCLING OVER BRAZIL USING NCEP-NCAR REANALYSIS

Water vapor recycling refers to the feedback mechanism of the Earth-atmosphere system in which a fraction of evaporated water in a certain area falls again as precipitation into the same area. In this work were analyzed the field of the water vapor flow, evapotranspiration and precipitation during the summer (December-February), autumn (March-May), winter (June-August) and spring (September-November) using 20 years of "reanalyses" of NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research). The results water vapor recycling revealed relatively small water about Amazônia and Northeast of the Brazil and larger values in the central part of South America, with cores up to 50% during the summer. The climatological aspects of the water vapor recycling on south America indicate that the contribution advective is more important for the precipitation on Amazônia and Brazil's Northeast, while in the central region and southeast the local contribution has important paper in the precipitation. The results suggest that the water vapor recycling quantification is an indicator of the importance of the land-surface process to the hydrological cycle and it is, as well, an indicator of the climatic sensitivity.

Key words: flux water vapor, evapotranspiration, precipitation.

1. INTRODUÇÃO

Antes de 1930, o papel do transporte de vapor d'água no ramo atmosférico era praticamente desconhecido. Nessa época acreditava-se que a origem da precipitação estava relacionada apenas com a evapotranspiração local (BENTON *et al.*, 1954). Após 1930, com o início da aquisição de dados meteorológicos através de sistemas de medições de radiossondagens os cientistas verificaram que o tempo de residência das moléculas de água na atmosfera era de aproximadamente uma semana, sugerindo que as moléculas de água poderiam ser transportadas por grandes distâncias antes de retornar à superfície na forma de

precipitação (MCDONALD, 1962).

No final da década de 70 começaram a surgir pesquisas sobre contribuições locais na precipitação total sobre uma dada região. SALATI *et al.* (1979) foi um dos pioneiros e os autores estudaram dados da concentração O^{18} (Oxigênio-18) em diferentes pontos da Bacia Amazônica e encontraram um gradiente da ordem de $0,75 \times 10^{-3} \text{ } \text{‰} \text{ km}^{-1}$. Segundo os autores, para valores médios anuais, o gradiente é muito menor que em outras áreas continentais (como Europa, por exemplo) e isso é consequência da grande contribuição de umidade "reevaporada" no balanço de água da bacia, indicando a importância dessa umidade para a precipitação

sobre a região. Já LETTAU *et al.* (1979) usaram um método climatológico para quantificar a reciclagem de precipitação na Bacia Amazônica. Os autores verificaram que 47% da precipitação total sobre uma sub-região centrada na longitude de 75°W havia sido originada pela evapotranspiração sobre o continente, tanto advectada das regiões continentais adjacentes quanto evaporada da própria região.

Estudos posteriores verificaram que a precipitação originada dentro de uma região pode ser dividida em três fontes: umidade existente na atmosfera, convergência de umidade advectada pelo vento e umidade originada pela evaporação (evapotranspiração) na superfície (BRUBAKER *et al.* 1993). De acordo com esses estudos, um aumento da evapotranspiração sobre uma região não implica em aumento da precipitação, já que a advecção de umidade é responsável por parte da umidade existente sobre a região, mas se o produto da evaporação (evapotranspiração) permanecesse na região e não fosse advectado para fora, poderia implicar em aumento da precipitação. SOUZA *et al.* (2001) encontraram que a relação entre evapotranspiração e advecção de umidade é altamente não linear e implica em redução local da precipitação.

A definição de reciclagem de precipitação refere-se à contribuição local da evaporação (evapotranspiração) na precipitação total sobre uma região, e pode ser definida como a água que evaporada da superfície terrestre, dentro de uma dada região, irá cair novamente como precipitação dentro dessa mesma região. Em outras palavras, a reciclagem de vapor d'água refere-se ao mecanismo de realimentação entre o sistema Terra-Atmosfera em que uma certa fração da água evaporada sobre uma região cai novamente como precipitação na mesma região.

O conceito de reciclagem de vapor d'água vem sendo discutido por várias décadas e tem demonstrado ser um elo importante entre os processos hidrológicos e meteorológicos (BRUBAKER *et al.*, 1993).

O método mais comum utilizado para estimar a reciclagem de vapor d'água foi desenvolvido por BUDIKO e DROZDOV (1953) e descrito em BUDIKO (1974), sendo mais conhecido como modelo Budiko. Baseia-se em uma fórmula unidimensional que expressa a razão da reciclagem como uma função da evaporação local, fluxo de umidade atmosférica que entra sobre uma região e escala de comprimento medida ao longo de uma linha de corrente. Estudos mais recentes questionam o modelo Budiko, que por ter como base uma fórmula unidimensional deve subestimar a real contribuição local da evapotranspiração na precipitação.

BRUBAKER *et al.* (1993) desenvolveram um método linear (baseado no modelo BUDIKO, 1974) com base na evaporação média, precipitação média e transporte médio de umidade sobre uma dada área. Dados em pontos de grade foram utilizados para diagnosticar o ciclo médio anual da reciclagem de vapor d'água para várias regiões do globo. TRENBERTH (1999) usou esse modelo para avaliar sazonalmente as variações da reciclagem de vapor d'água ao longo do globo. Similarmente, ELTAHIR e BRAS (1994) desenvolveram um método para diagnosticar a reciclagem de vapor d'água que usa

a variabilidade espacial de dados hidrológicos em pontos de grades. Esse método foi testado para ciclos médios anuais na Bacia Amazônica e na Bacia do Rio Mississipi. Os resultados obtidos pelos autores diferem em termos quantitativos, que podem ser explicados pelos métodos matemáticos distintos utilizados pelos autores e também pela origem dos dados. No entanto, os resultados mostram a importância da reciclagem de vapor d'água no ramo atmosférico do ciclo hidrológico, como por exemplo: BRUBAKER *et al.* (1993) encontraram reciclagem média anual de 23% com valor máximo de 32% e mínimo de 14%. ELTAHIR e BRAS (1994), para a mesma área utilizada por BRUBAKER *et al.* (1993), encontraram reciclagem média anual de 35% e valores máximos de 50% na parte sudoeste da bacia. Já TRENBERTH (1999) encontrou reciclagem média global com valores entre 2% a 20% utilizando escala de comprimento de 500 km e observou que esses valores podiam dobrar ao utilizar-se uma escala de comprimento de 1000 km.

Tais resultados, apesar das diferenças quantitativas, evidenciam que a quantificação desse mecanismo é um indicador da importância dos processos na superfície da terra para o balanço d'água e também um indicador da sensibilidade climática relacionada às alterações nesses processos. Diversos estudos comprovaram que a reciclagem de vapor d'água é um mecanismo de realimentação potencialmente significativo (BRUBAKER *et al.*, 1993; ELTAHIR e BRAS, 1994; SAVENIJE, 1995; SCHÄR *et al.*, 1999; TRENBERTH, 1999; BOSILOVICH e SHUBERT, 2001; BOSILOVICH, 2002), sendo possível determinar o papel hidrológico da contribuição local no clima sobre uma região e adjacências. Além disso, alterações indevidas na superfície podem afetar a contribuição local da evaporação e, conseqüentemente, o mecanismo de reciclagem de vapor d'água. Essas alterações poderão refletir em variabilidades climáticas que podem comprometer o bem-estar econômico e social do homem e também provocar mudanças no meio ambiente.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento climático da reciclagem de vapor d'água sobre a América do Sul e, desse modo, compreender as influências de mecanismos meteorológicos no processo de reciclagem determinando o papel desse mecanismo no clima sobre a América do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Período de estudo, dados utilizados e área de estudo

São analisadas as variações sazonais e espaciais da reciclagem de vapor d'água, evapotranspiração, fluxo de vapor d'água e precipitação durante as quatro estações do ano de acordo com o critério adotado por TRENBERTH (1999), assim distribuídas: dezembro a fevereiro (verão); março a maio (outono); junho a agosto (inverno) e setembro a novembro (primavera).

Os dados são as "reanálises" do modelo global do "National Center of Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research" – NCEP-NCAR (KALNAY *et al.* 1996) referentes a 20 anos de dados (1978 a 1998). As

variáveis utilizadas são: umidade específica do ar; e componentes zonal e meridional do vento em 8 níveis de pressão (superfície, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300 hPa) e também precipitação e fluxo de calor latente (na obtenção da evapotranspiração) na superfície. Para a precipitação são utilizadas as estimativas médias mensais de precipitação segundo o método Xie-Arkin (XIE e ARKIN, 1996) também conhecidos como “CPC Merged Analysis of Precipitation” (CMAP). Apesar das “reanálises” do NCPE-NCAR possuírem dados de precipitação, elas não se correlacionam tão bem com os dados de precipitação observada quanto os dados do CMAP (KHAN *et al.*, 2002).

Os campos analisados estão entre as latitudes de 15° N a 60° S e as longitudes de 35° W a 85° W compreendendo a América do Sul.

2.2. Formulação Teórica

Para o cálculo do fluxo de vapor d’água integrado verticalmente utilizaram-se as expressões:

$$Q_{\lambda} = \frac{1}{g} \int_{300}^{P_s} u \cdot q \cdot dP \quad (1)$$

e,

$$Q_{\phi} = \frac{1}{g} \int_{300}^{P_s} v \cdot q \cdot dP \quad (2)$$

para o fluxo zonal e meridional, em que u e v é a velocidade zonal e meridional do vento, q a umidade específica, g a aceleração da gravidade e P_s a pressão à superfície.

Para a reciclagem foi utilizado o modelo descrito por TRENBERTH (1999) que tem como base a evaporação média, precipitação média, escala de comprimento e transporte médio de umidade. Com isso a precipitação total sobre uma região pode ser dividida em precipitação de origem local (P_m) e precipitação de origem advectiva (P_a), ou seja:

$$P = P_a + P_m \quad (3)$$

A reciclagem de vapor d’água pode, então, ser dada como:

$$\rho = \frac{ET \cdot L}{PL + 2F} \quad (4)$$

em que ET é a evapotranspiração, L é a escala de comprimento e F é o fluxo médio de vapor d’água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fluxo de Vapor d’água

As Figuras 1 apresentam fluxo de vapor d’água na América do Sul (AS) para os períodos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. De forma geral, o fluxo é dominado pelos anticiclones do Pacífico Sul e Atlântico Sul (RAO *et al.*, 1996).

Os ventos alísios na costa leste que vem do Atlântico trazem grande quantidade de vapor d’água para a parte norte da AS, incluindo a Amazônia, o Nordeste do Brasil (NEB) (SATYAMURTY *et al.*, 1998). Esse fluxo está associado ao deslocamento norte-sul ao longo do ano da zona de confluência dos alísios que se posiciona mais ao sul durante o verão e mais ao norte durante o inverno. As variações sazonais dos centros de alta pressão subtropical de ambos os hemisférios são responsáveis pelo deslocamento dessa zona de confluência, também conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO E NOBRE, 1989) e é o sistema que modula a estação chuvosa do setor norte-nordeste da AS.

A topografia da Cordilheira dos Andes provoca um bloqueio no fluxo sobre a Amazônia e na parte oeste (a leste dos Andes) observa-se uma mudança no fluxo em direção ao Sul durante o verão e a primavera. Essa mudança está associada à presença de um jato em baixos níveis localizada a leste dos Andes. Tal jato tem como característica transportar umidade da Amazônia para a região central e Sul do Brasil (MARENGO *et al.*, 2002) o que intensifica a convergência superficial sobre o eixo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Durante o verão o fluxo foi menos intenso do que durante as outras estações, realçando uma importante característica no Atlântico Sul observada por SATYAMURTY *et al.* (1998) que a alta subtropical é mais fraca durante o verão que o durante o inverno. A intensidade da alta subtropical também é um dos fatores que influenciam a atividade convectiva na Zona de Convergência do Atlântico SUL (ZCAS), que é uma característica dominante durante o verão e outono e usualmente ausente durante o inverno.

A região entre os dois anticiclones subtropicais que fica sobre o continente na parte central da AS a qual possui uma forte deformação no campo do fluxo de vapor d’água é uma região frontogenética. Diversos estudos indicam a presença de um jato em baixos níveis responsável por transportar vapor d’água para a região do Paraguai e Norte da Argentina. Estudos também observaram a presença de um jato em altos níveis, que climatologicamente, tende a intensificar e posicionar-se em 25-35° S durante o inverno (SOUZA E AMBRIZZI, 2002), inibindo a propagação meridional do fluxo de vapor d’água (Figura 1c).

Ao sul de 40° S o fluxo de vapor d’água é praticamente de oeste ao longo de todo o ano, transportando umidade do Pacífico Sul para o sul da Argentina e Chile.

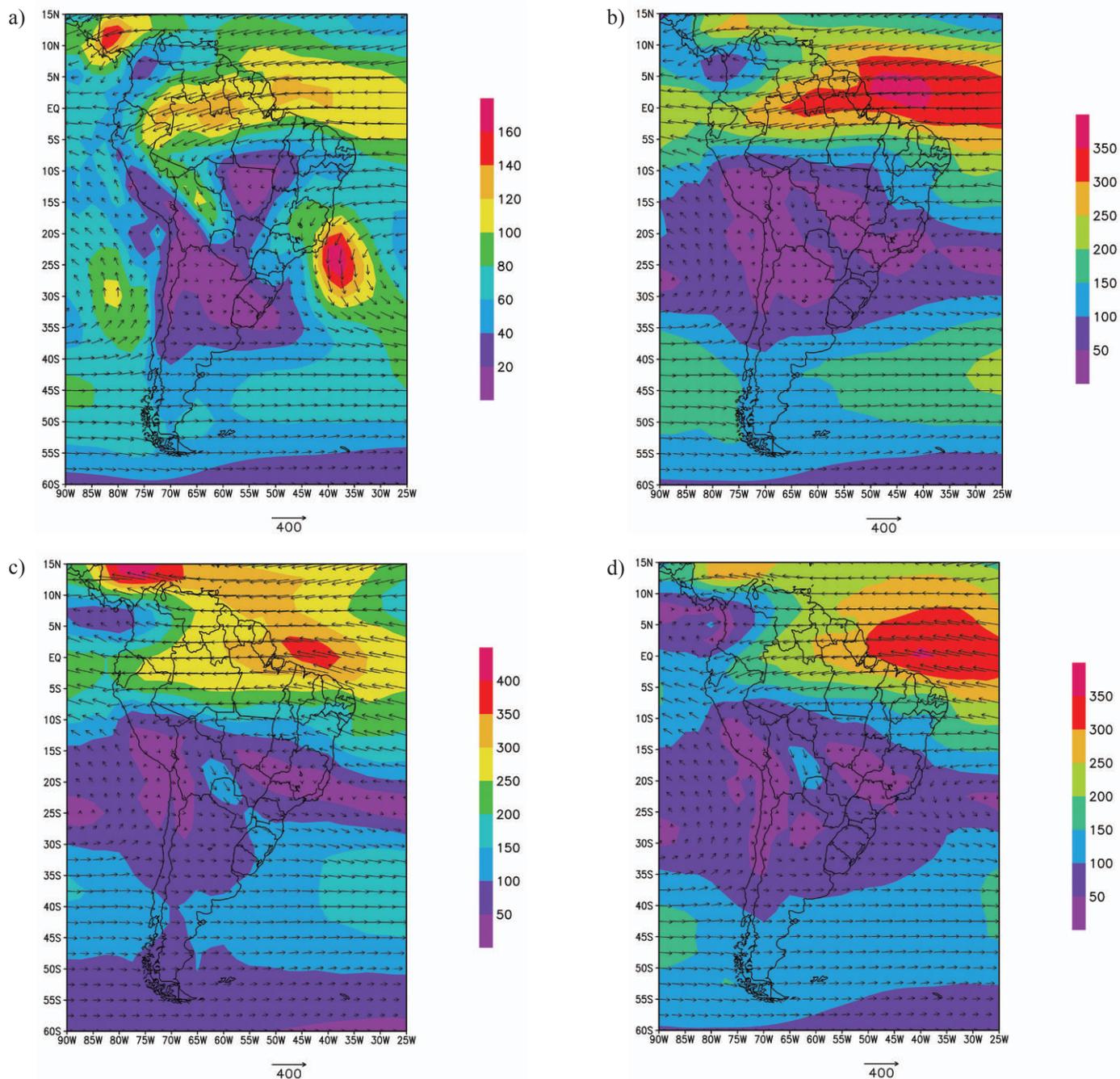


Figura 1: Transporte médio de Vapor d'água integrado verticalmente - \bar{Q} (kg/m.s), para: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera (Fonte de dados: Reanálises NCEP/NCAR)

3.2 Precipitação e Evapotranspiração

As Figuras 2 apresentam a precipitação média diária na América do Sul para os períodos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

A região de atividade convectiva sobre o continente na parte central da AS diminui gradualmente e recua para nordeste do verão para o inverno, relacionado ao deslocamento da ZCAS (SATYAMURTY *et al.*, 1998). A presença de um jato em baixos níveis a leste dos Andes intensifica a convergência

sobre o eixo da ZCAS o que favorece a atividade convectiva durante o verão e a formação de uma banda de nebulosidade com orientação NW-SE (SATYAMURTY *et al.*, 1998). A intensificação da alta subtropical durante o inverno inibe a atuação da ZCAS na parte central da AS e observam-se os menores índices de precipitação sobre a região, com exceção de uma parte sudoeste relacionada ao bloqueio do deslocamento meridional dos sistemas frontais devido a intensificação do jato subtropical em altos níveis.

O sistema que domina a atividade convectiva no

norte da AS é a ZCIT que quando posicionada mais ao sul produz grande atividade convectiva responsável pelos maiores índices de precipitação sobre essas regiões, observados durante o outono. Durante o inverno a precipitação sobre essa região acompanha o deslocamento para norte, com maiores índices ao norte.

Já a precipitação em parte do NEB está associado, além da presença da ZCIT, à presença de vórtices ciclone de ar superior durante o verão, que por sua vez está associado à intensificação da alta da Bolívia em altos níveis e da intensificação da baixa do Chaco em baixos níveis (KOUSKY e GAN, 1981). Durante o inverno na costa leste do NEB os ventos de leste são os mecanismos dinâmicos responsáveis pelo núcleo de precipitação (RAO *et al.*, 1993), com precipitação

em torno de 2 mm/dia. Durante a primavera a penetração dos sistemas frontais são os mecanismos responsáveis pela precipitação na parte sul-sudoeste do NEB.

No sudeste da América do Sul a precipitação durante a primavera está associada aos sistemas frontais. Quando essas frentes frias atingem posições latitudinais acima de 20° S, frequentemente ocorre uma interação entre elas e a convecção tropical intensificando a precipitação sobre a Amazônia (SOUZA e AMBRIZZI, 2002; SATYAMURTY *et al.*, 1998). Também é comum a atuação de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) sobre o Paraguai, sendo que na fase madura tendem a deslocar-se em direção ao interior do Brasil, produzindo atividade convectivas para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (FIGUEIREDO e SCOLAR, 1996).

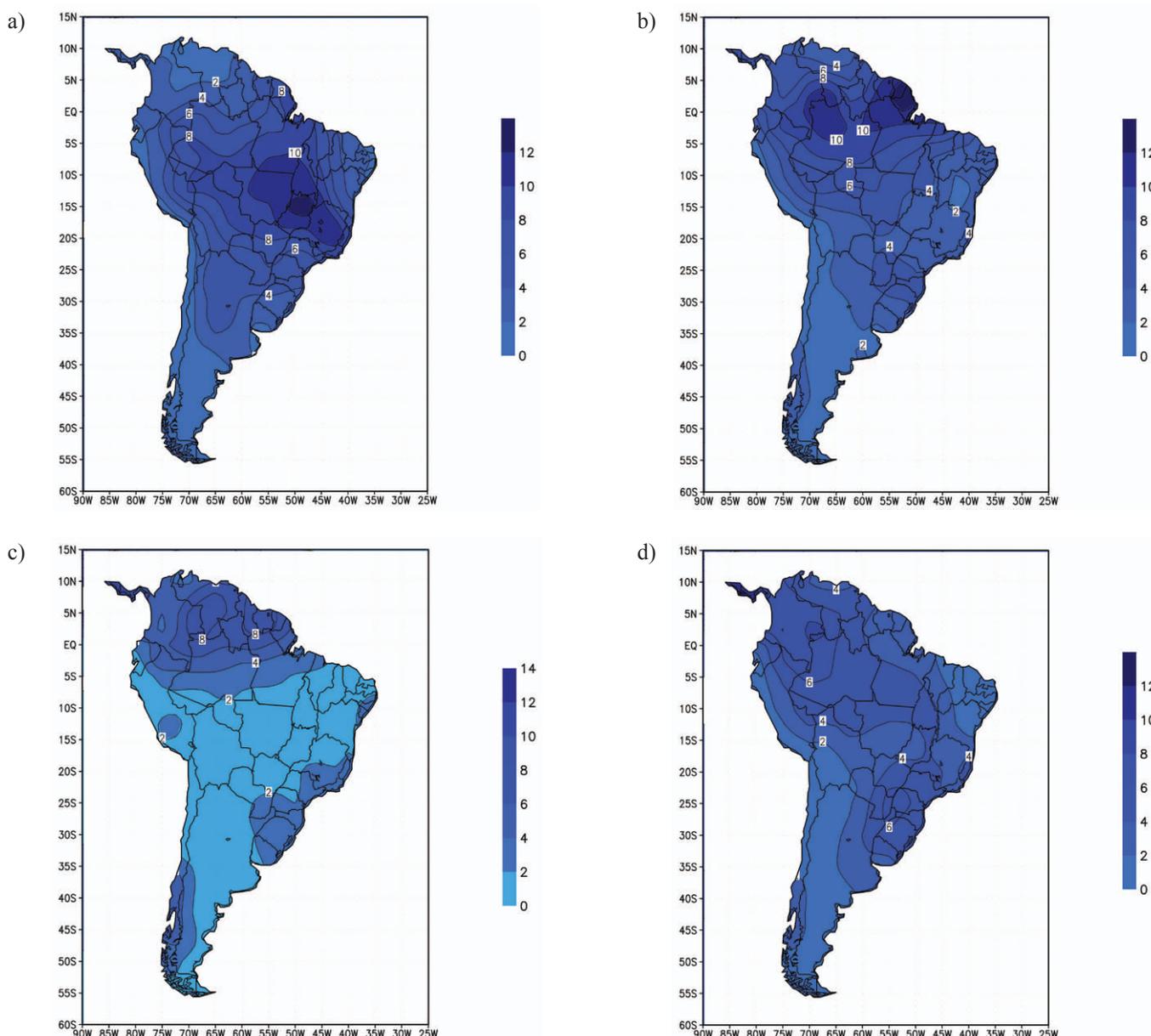


Figura 2: Distribuição espacial da precipitação média (mm/dia) para: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera (Fonte de dados: CMAP-Chuva)

As Figuras 3 apresentam a evapotranspiração na América do Sul para os períodos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

As duas principais condições necessárias para a ocorrência de evapotranspiração é a presença de água na superfície e de radiação solar, com isso a evapotranspiração

diminui do verão para o inverno.

Em praticamente toda a América do Sul a presença de água na superfície parece ser o principal aspecto para influenciar a evapotranspiração. Durante os meses com maiores índices de precipitação a evapotranspiração também foi maior.

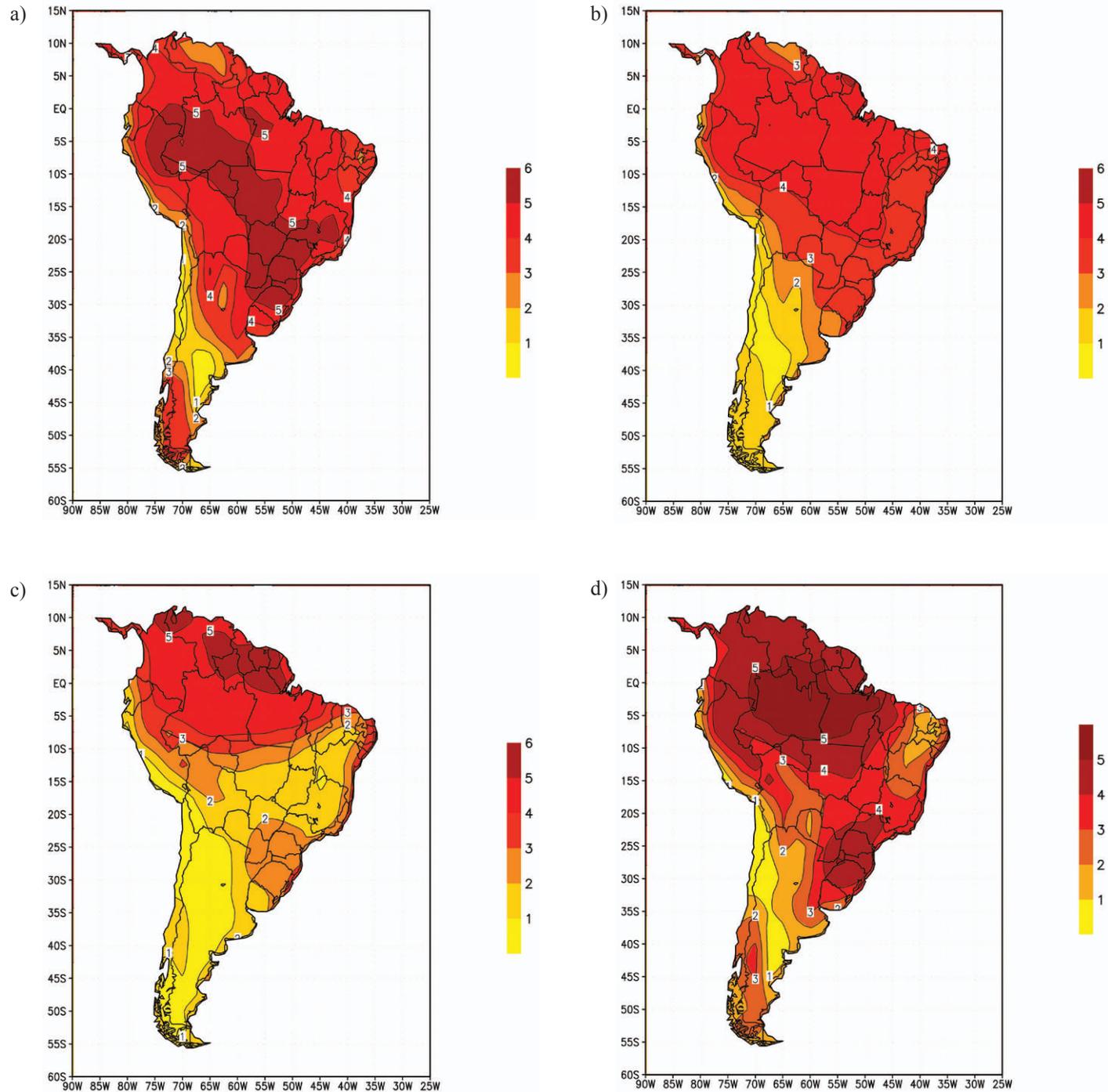


Figura 3: Distribuição espacial da evapotranspiração média (mm/dia) para: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera (Fonte de dados: Reanálises NCEP/NCAR).

3.4. Reciclagem de vapor d'água

As Figuras 4 apresentam a reciclagem de vapor d'água na América do Sul para os períodos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Regiões nas quais o fluxo de vapor d'água foi menos intenso, tendem a apresentar maiores valores de reciclagem.

Os maiores valores encontrados foram na parte central e sudoeste da AS e sazonalmente os valores diminuem do verão para o inverno, com maiores valores durante o verão. Sobre a Amazônia os valores tendem a aumentar para oeste e estão diretamente relacionados a intensidade do fluxo de vapor

d'água que também tendem a desintensificar para oeste.

Os maiores valores de reciclagem durante o verão ocorreram em uma faixa que se estende desde o Sul do Brasil até o Peru com núcleos maiores até que 50%. Nessa região foram observados fluxos menos intenso de vapor d'água (Figura 1a) associados à intensificação da baixa do Chaco, que tem como característica convergência em baixos níveis e por sua vez está associada as altas subtropicais do Atlântico Sul e do Pacífico Sul. Sobre o pantanal Mato-grossense destaca-se um núcleo com valores maiores que 20%. Em grande parte do Norte da América do Sul a reciclagem foi mínima com valores abaixo de 10%, com exceção da parte noroeste da Colômbia,

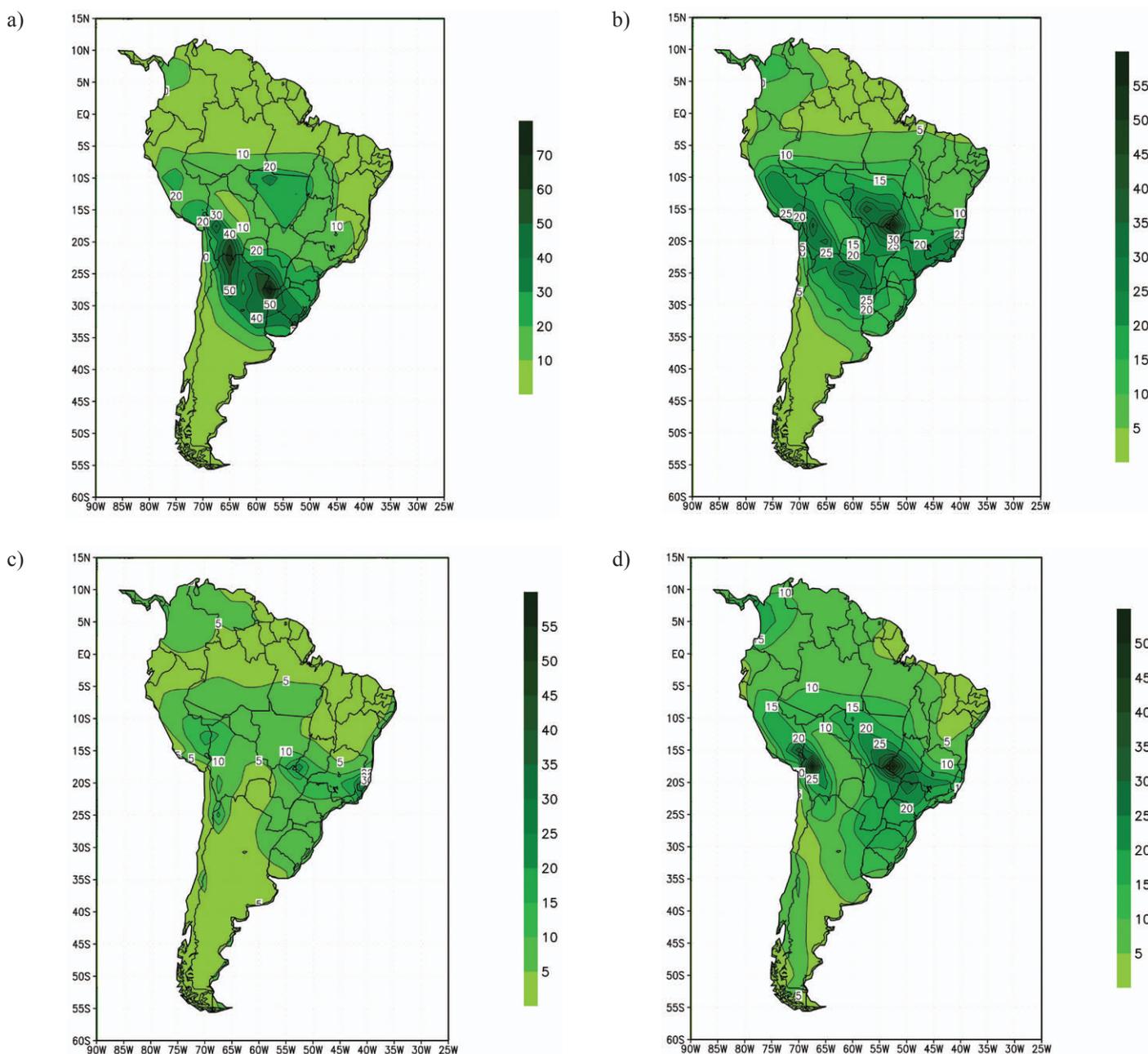


Figura 4: Distribuição espacial da reciclagem de vapor d'água (%) média para: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera (Fonte de dados: Reanálises NCEP/NCAR).

na qual foi observada (Figura 1a) fluxo de vapor d'água menos intenso associado ao cavado Equatorial. Apesar de a evapotranspiração ter tido valores relativamente altos sobre a região Amazônica e NEB, os processos advectivos foram mais importantes para a reciclagem durante essa estação.

Durante o outono o fluxo de vapor d'água mais intenso sobre a Amazônia e NEB fez com que ocorressem valores de reciclagem inferiores a 5%. Observam-se centros de reciclagem de vapor d'água próximo ao pantanal associados ao transporte de vapor d'água e a evapotranspiração observados na Figura 1 (b) e 3 (b). O que está de acordo com a afirmação de TRENBERTH (1999) que em zonas de convergências próximas as altas subtropicais, cujo fluxo de umidade advectiva é pequeno, a reciclagem de vapor d'água pode ser maior que 20% para um L de 500 km e também com os resultados de SAVENIJE (1995) que observou um aumento da reciclagem de vapor d'água em regiões pantanosas graças ao conteúdo de umidade existente na superfície dessas regiões que pode vir a aumentar a evapotranspiração.

Apesar dos valores de evapotranspiração sobre a Amazônia durante o inverno ter sido maiores que no outono, a reciclagem foi menor nessa região, o que indica que os processos advectivos foram mais importantes para a precipitação. Sobre o NEB os valores da evapotranspiração foram ainda menores e observam-se, então, valores menores de reciclagem. Durante esse período foram observados os menores valores de reciclagem e distribuição espacial mais uniforme sobre a América do Sul. Não foram observados núcleos com valores máximos como nos períodos anteriores. Apesar dos processos advectivos terem sido favoráveis em parte na região Central do Brasil e também sobre parte da Argentina, Bolívia, Peru e Chile, durante esse período a evapotranspiração observada na Figura 3(c) foi menor nessas regiões, acarretando em valores relativamente baixos de reciclagem de vapor d'água.

Durante a primavera foram observados os maiores valores de reciclagem sobre a Amazônia e estão relacionados a maior evapotranspiração sobre a região nesse mesmo período. Na região do cavado equatorial observa-se um núcleo com valores entre 10 e 15%. Sobre o pantanal mato-grossense e regiões vizinhas voltam a serem observados núcleos com valores máximos, como também sobre a Bolívia. Tanto o fluxo de vapor d'água quanto a evaporação fizeram com que a reciclagem aumentasse durante esse período.

4. CONCLUSÕES

Os índices de reciclagem sobre Amazônia e NEB, apesar de serem relativamente baixos, indicam a importância da contribuição da evapotranspiração local no conteúdo de vapor d'água sobre o Brasil. Parte de vapor d'água, originado localmente sobre a região Nordeste se adiciona ao vapor d'água advectado do oceano e é transportado para região Norte, que por sua vez, é somado ao vapor d'água originado da evapotranspiração sobre a região e parte deste vapor d'água é transportado para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Regiões com altos valores de evapotranspiração não implicam, necessariamente, em altos valores de reciclagem de vapor d'água. Essa característica é observada sobre a Amazônia e NEB. Sobre essas regiões os processos advectivos são mais importantes para a precipitação do que os processos locais.

Na Amazônia a reciclagem aumenta para oeste relacionada à diminuição da intensidade do fluxo de vapor d'água provocada pela corrente de jato em baixos níveis a leste dos Andes. Os maiores índices de reciclagem ocorreram durante o verão. Enquanto no NEB, a reciclagem é maior próximo à costa oceânica relacionada com a disponibilidade de água no solo necessária para a evapotranspiração.

A contribuição da reciclagem de vapor d'água na precipitação é maior sobre a parte central da América do Sul onde o fluxo de vapor d'água é menos intenso. São observados centros com valores relativamente altos (maiores que 30%) de reciclagem sobre o pantanal mato-grossense e a leste dos Andes.

A disponibilidade de água no solo, necessária para aumentar ou diminuir a evapotranspiração, pode alterar a precipitação sobre uma região.

De um modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios e indicam a importância da quantificação da reciclagem de vapor d'água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENTON, G.S; ESTOQUE, M. A. Water vapor transfer over the North American Continent. **Journal of Meteorology**. 11, 462-477. 1954.

BRUBAKER, L.K., ENTEKHABI, D., EAGLESON, P.S. Estimation of Continental Precipitation Recycling. **Journal of Climate**, 6, 1077-1089. 1993.

BOSILOVICH, G.M. On the Vertical Distribution of Local and Remote Sources of Water for Precipitation. **NASA/Data Assimilation Office**, Goddard Space Flight Center, 7 p. 2002.

BOSILOVICH, G.M. e SHUBERT, D.S. Precipitation Recycling over the Central United States Diagnosed from the GEOS-1 Data Assimilation System. **Journal of Hydrometeorology**, 2, 26-35. 2001.

BUDIKO, M.I. Climate and Life. **Academic Press**, 508 p. 1974.

BUDIKO, M.I.; DROZDOV, O.A. Regularities of the hydrologic cycle in the atmosphere (Zakonomernosti vlogooborota v atmosfere). *Izvestiya AN SSSR, Seriya Geograficheskaya*, 4, 5-14. 1953.

ELTAHIR, E.A.B; BRAS, R.L. Precipitation recycling in the Amazon basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120, 861-880. 1994.

FIGUEIREDO, J.C.; SCOLAR, J. Estudo da trajetória dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. I: Congresso Argentino de Meteorologia e VIII Congresso Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia, Buenos Aires. *Anais*. p 807-811. 1996.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., R., *et al* The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77, 437-471. 1996.

KHAN, V.M; RUBINSHTEIN, K.G.; STERIN, A.M.; ABDUIAEV, S. Comparasion between monthly data of NCEP/NCAR Reanalysis and Aerological observations in southern hemisphere. *In.: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. FOZ DO IGUAÇU, 2002, Paraná. *Anais* 1053-1062. Foz do Iguacu, 2002.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. V. 108, 488-498.1980.

KOUSKY, V.E.;GAN, M.A. Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*. Vol. 33, p.538-551. 1981.

LETTAU, H.; LETTAU, K.;MOLION, L.C.B. Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. *Monthly Weather Review*. 170, 227-238. 1979.

MARENGO, J.A; DOUGLAS, M.W; SILVA DIAS, P.L. The South American low-level jet east of the Andes during the 1999 LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign. *Journal of Geophysical Research*. 107(D20), 47-1-47-11. 2002

MCDONALD, J.E. The evapotranspiration-precipitation fallacy. *Weather*, 17, 168-177. 1962.

NOBRE, C.A.; MATTOS, L.F.; DEREZYNSKI, C.P.; TARASOVA, T.A; TROSNIKOV, I. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. *J. Geophys. Res.* 103(D24), 31809-31820. 1998.

RAO, V.B; CAVALCANTI, I.F.A; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. *Journal of Geophysical Research*.101(D21), 26539-26551.1996.

RAO, V.B; LIMA, M.C. FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. *J. Climate*. 6, 1754-1763. 1993.

SALATI,E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J.. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. *Water Resource Review*. 15, 1250-1558. 1979.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; DIAS, P.L.S. Meteorology of the south hemisphere. *Am. Meteoro. Soc.*. December. 27(49), 119-139. 1998.

SAVENIJE, H.G. HUBERT. The New definitions for moisture recycling and the relationship with land-use changes in the Sahel. *Journal of Hydrology*, 167, 57-78. 1995.

SCHÄR, C., LÜTH, D., BEYERLE, U. The Soil-Precipitation Feedback: A process study with a Regional Climate Model. *Journal of Climate*, 12, 722-741. 1999.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Precipitação Climatológica pentadal sobre o Brasil e os mecanismos atmosféricos associados: resultados preliminares. **In.: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. FOZ DO IGUAÇU, 2002, Paraná. Anais 561-572. Foz do Iguaçu, 2002

SOUZA, E.P; RAO, T.V.R.; PRESTE, A.C.A. Contribuições dos efeitos locais e advectivos para a precipitação no nordeste do Brasil em dois períodos chuvosos contrastantes. **Revista Brasileira de Meteorologia** v. 16, 135-244. 2001.

TRENBERTH, K.E. Atmospheric Moisture Recycling: Role of Advection and Local Evaporation. **Journal of Climate**, 12, 1368-1381. 1999.

UVO, C.R.B; NOBRE, C.A. A Zona de convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte I A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial **Climanálise**, 4, 7, 34-34. 1989.

XIE, P.; ARKIN, P.A. Analysis of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates and numerical model predictions. **Journal of Climate**. 9. 840-858. 1996