

Balanço hídrico e ciclo anual das variáveis médias espaciais relacionadas sobre a região Sul Sudeste da América do Sul simulado pelo MCGA CPTEC/COLA

Daniel A. Rodriguez e Iracema F.A. Cavalcanti

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Resumo: No presente trabalho foi estudado o balanço hídrico da região Sul Sudeste da América do Sul, nas suas componentes atmosférica e terrestre, de acordo com o estabelecido por Peixoto e Oort (1992), assim como o ciclo anual das variáveis médias espaciais relacionadas, para investigar o comportamento do MCGA CPTEC/COLA. O estudo das variáveis envolvidas mostrou a necessidade de dividir a área toda em dois setores, Norte e Sul, devido aos comportamentos diferenciados dos mesmos. O setor Norte apresenta um ciclo anual melhor definido que o setor Sul, com uma condição úmida bem marcada no verão, quando há o estabelecimento da ZCAS. No setor Sul o ciclo hidrológico possui menos energia envolvida, e as variáveis apresentam um ciclo anual menos distinto. Identifica-se, neste setor Sul, um período de máximas precipitações no final da primavera, associado com o ingresso de umidade. Nota-se o aporte de umidade desde as regiões tropicais, num fluxo para o sul, que alimenta ambos setores. Este fluxo converge sobre o Sudeste brasileiro durante o verão, e para o Norte da Argentina na primavera. Desta forma existe uma variação sazonal na importância relativa entre as fontes internas e externas de umidade em ambos setores

1. Introdução

A bacia do Rio de la Plata apresenta uma extensão aproximada aos 3200000 km² ocupando o segundo lugar na América do Sul depois da bacia do Amazonas e sendo a quinta a nível mundial. Isto, junto à sua posição geográfica, faz com que ela seja uma das mais importantes do planeta. Trata-se de uma área internacional que ocupa territórios da Argentina, Uruguai, Brasil, Paraguai e Bolívia, sendo que as principais contribuições de água provem de territórios Bolivianos e Brasileiros (Garcia e Vargas 1994, 1996).

Berbery (2000) destaca a importância do estudo do ciclo hidrológico na Bacia del Plata, sendo que poucos estudos tem sido realizados a este respeito. O papel do jato em baixos

níveis no transporte de umidade para esta região foi estudado por Virji, 1981; Berri e Inzunza 1993, Rasmusson e Mo 1996, Berbery e Collini 2000, Saulo et al 2000. Nestes estudos foram utilizados principalmente produtos de modelos e conjuntos de dados de reanálise. A dificuldade na determinação do balanço hídrico nesta região consiste na existência de poucos dados observados que permitam avaliar a qualidade dos conjuntos de dados utilizados, existindo incertezas no cálculo deste balanço (Wang e Paegle, 1996).

O presente trabalho analisa o balanço hídrico climatológico sobre a região Sul Sudeste de América do Sul, o ciclo anual das variáveis associadas ao mesmo e sua variação interanual.

2. Material e Metodologia

2.1 Resultados da simulação climática de 10 anos (1982 – 1991) com o Modelo de Circulação Geral CPTEC/COLA

Estes resultados foram obtidos a partir de uma integração de dez anos do MCGA CPTEC/COLA com resolução T62L28, utilizando nove diferentes condições iniciais fornecidas por nove dias consecutivos, de 11 a 19 de Novembro de 1981, obtidas das análises do ECMWF. As condições de contorno forçantes aplicadas correspondem à temperatura da superfície do mar observada mensal (TSM) dos produtos de “Optimum Interpolation SST” mensais do Climate Prediction Center/NCEP (Reynolds e Smith, 1994).

A verificação dos resultados dessa simulação foi realizada em Cavalcanti et al. (2001) que mostraram resultados climatológicos no período 1982 a 1991 considerando as médias sazonais de diversas variáveis. Dentre as variáveis relevantes para o trabalho proposto, foi concluído que o modelo superestima a precipitação em algumas regiões e que há um excesso de evaporação nos oceanos.

2.2 Dados utilizados para comparação com os resultados do modelo

2.2.1 Dados de Reanálises do NCEP/NCAR

Os dados de reanálises do NCEP/NCAR apresentam produtos derivados de dados observados globais aplicando o modelo operacional de análises e prognóstico Medium-Range Forecast (MRF) com truncamento triangular espectral T62 e com 28 níveis na

vertical, para o período 1957 – 1996 (Kalnay et al. 1996). Os dados se encontram em pontos de grade 2.5 lat. x long. Estes dados foram utilizados neste trabalho na comparação de algumas variáveis do balanço hídrico simuladas pelo modelo MCGA CPTEC/COLA.

2.2.2 Dados de precipitação da Climatic Research Unit (CRU) 1982 – 1991

Este conjunto de dados foi construído a partir de interpolações entre diferentes fontes de informação, a World Meteorological Organization (WMO), Agências Meteorológicas Nacionais (NMA), dados do mesmo CRU, do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e de fontes públicas como Muller (1982) e FAO (1984) e outras. O mesmo consiste em valores médios mensais com uma alta resolução de $0,5^{\circ} * 0,5^{\circ}$ na superfície (New, et al. 1999; 2000). Este conjunto contém outras variáveis, porém neste estudo só foram utilizados os dados correspondentes à precipitação.

2.3 Metodologia

A região de estudo foi definida pela área entre 15°S e 40°S , e entre 40°W e 62°W , como utilizado por Wang e Paegle (1996) e por Saulo et al. (2000), (Fig. 3.1). O balanço hídrico foi feito nesta área, embora as áreas vizinhas também tenham sido analisadas em termos de circulação atmosférica e fontes de umidade. Nas validações da precipitação foi utilizada uma área menor, entre 15°S e 39.75°S e entre 62°W e 42.75°W .

As análises dos campos das variáveis mostraram a necessidade de dividir esta área em dois setores, dadas as diferenças observadas nos comportamentos destas variáveis sobre cada um deles. Foram assim definidos um setor Norte, entre 15°S e 25°S , e um setor Sul, entre 25°S e 40°S (Fig. 3.1). Sobre cada um destes setores foram desenvolvidos os estudos do balanço hídrico nas componentes atmosférica e terrestre.

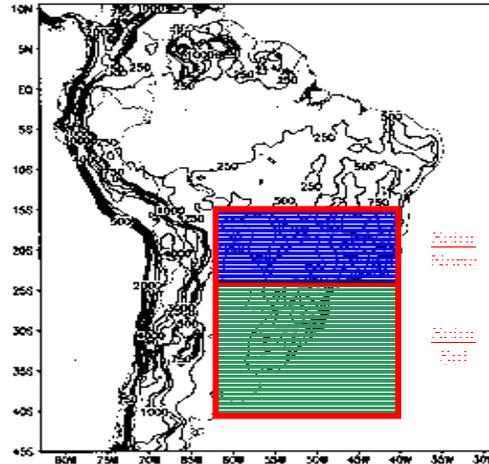


Figura 1 Região de estudo

O balanço hídrico sobre a região foi calculado a partir das equações de Peixoto e Oort (1992), que são simplificadas utilizando os critérios de Rasmusson (1967) e de Roads et al (1994). Desta forma para áreas maiores de $20 \times 10^5 \text{ km}^2$ e no caso de médias temporais de longo prazo, tem-se para a componente atmosférica e para a componente terrestre do balanço respectivamente:

$$[\nabla \cdot \bar{Q}] = [\bar{E} - \bar{P}] \quad (1)$$

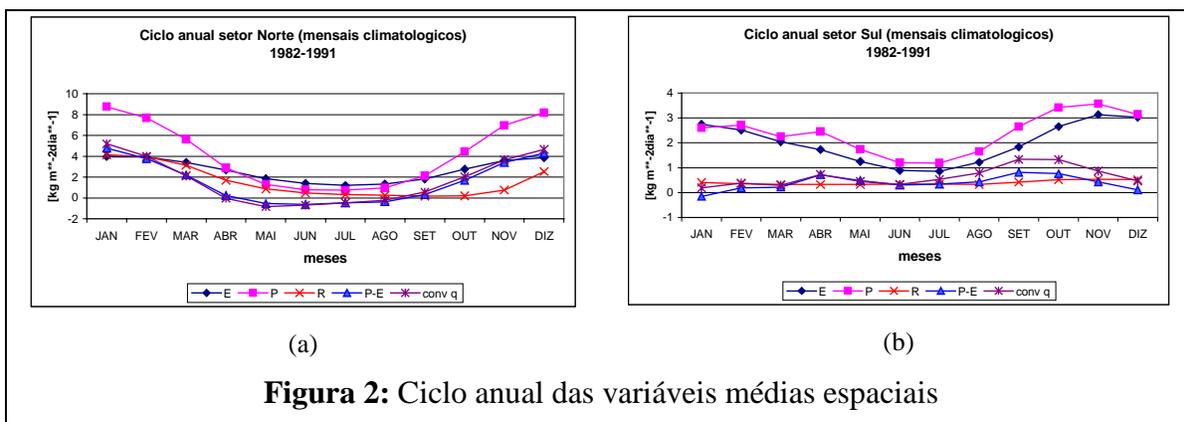
$$[\bar{P} - \bar{E}] = [\bar{R}_0] \quad (2)$$

3. Resultados Obtidos

Os valores médios espaciais da precipitação mostram um ciclo anual bem definido com máximos no verão e mínimos no inverno sobre o setor Norte (Figura 2.a). No setor Sul o ciclo anual apresentado pelo modelo é bem suavizado, embora apresente um mínimo no inverno e um máximo na primavera (Figura 2.b).

A diferença entre a precipitação e a evaporação simulada pelo modelo mostra um bom ajuste com os valores da convergência, sobre o setor Norte, significando que a variação no armazenamento de água na atmosfera é quase nula (Figura 2.a). No setor Sul os valores da convergência de umidade superam a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração na

primavera e verão, mostrando a existência de um aumento do armazenamento atmosférico (Figura 2.b).



O modelo mostra que no setor Norte durante o final da primavera e no verão as condições locais e as externas à região colaboram em igual grau para a precipitação, enquanto que desde o outono até o começo da primavera a evapotranspiração local sustenta a precipitação às expensas do armazenamento de água no solo (Figura 2.a). No setor Sul o modelo mostra que a precipitação é principalmente mantida pela evapotranspiração local, aumentada pela colaboração do transporte de umidade pelas fronteiras durante o final do inverno e princípio da primavera (Figura 2.b).

Na componente terrestre o runoff simulado mantém valores superiores à diferença entre precipitação e evapotranspiração durante a estação seca no setor Norte, produzindo uma diminuição no armazenamento de água no solo devido à parametrização incorporada, a qual garante a existência de fluxo de base ainda na época seca. A manutenção do runoff durante a estação seca faz com que os valores do coeficiente de escoamento adquira valores altos nesta, quando os valores da precipitação são pequenos. Os maiores valores do coeficiente encontrados no verão podem se associar à presença de maior chuva convectiva na região, gerando um maior runoff superficial (Figura 2.a).

No setor Sul o runoff simulado é superior à diferença P-E durante o verão. Isto estaria ligado à existência de altos valores de evaporação na região e baixos de precipitação, enquanto que a parametrização do runoff assegura a manutenção do mesmo através do aporte subterrâneo. Nota-se que o comportamento sazonal da evapotranspiração é similar em ambas regiões, apresentando uma diferença menor, entre as duas, do que a apresentada

na precipitação. Isto poderia estar associado com os tipos de vegetação estabelecidos para ambas regiões (Figura 2.b).

O modelo apresenta superestimativa nos valores da precipitação média espacial no setor Norte durante o verão, quando ocorre o estabelecimento da ZCAS (Figura 3.a) e subestimativa durante todo o período sobre o setor Sul (Figura 3.b). A simulação da precipitação é melhor no setor Norte que no setor Sul.

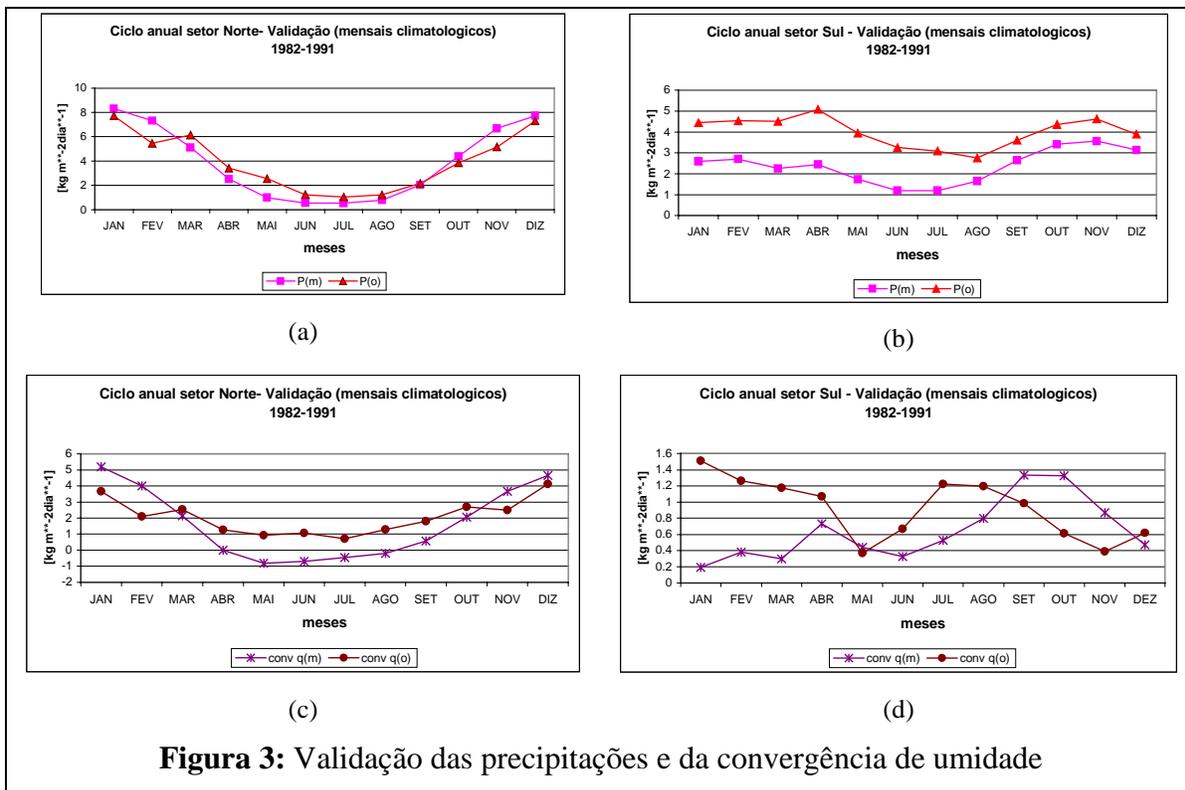
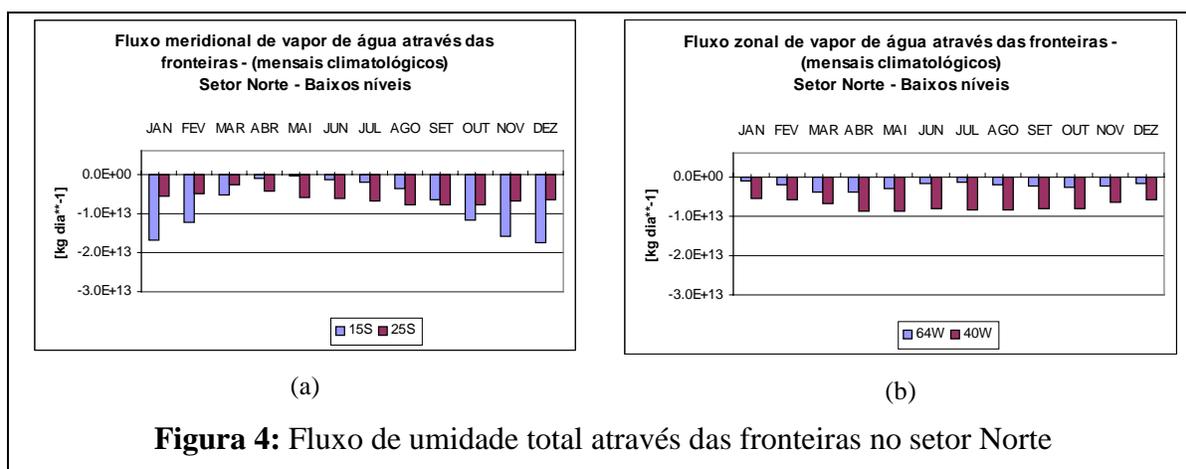


Figura 3: Validação das precipitações e da convergência de umidade

O ciclo anual da convergência média espacial em ambos setores mostra comportamento similar ao do ciclo de precipitação. No setor Norte o ciclo anual da convergência simulada possui o mesmo comportamento daquele obtido da reanálise. Os valores de convergência são superestimados no final da primavera e no verão, quando as precipitações são também superestimadas, e subestimados no outono e no inverno, quando as precipitações são subestimadas (Figura 3.c). Isto mostra que o comportamento da convergência calculada pelo modelo e o comportamento da precipitação possuem uma boa correlação, o que era de se esperar pois a precipitação convectiva é calculada segundo o esquema de convecção de Kuo, que utiliza a divergência de umidade. No setor Sul os ciclos anuais da convergência observada e da simulada apresentam diferenças grandes no comportamento (Figura 3.d).

Neste setor a evolução anual da convergência simulada pelo modelo é consistente àquela da precipitação observada, o que não acontece com a convergência calculada com os dados do NCEP.

No setor Norte o comportamento da convergência de umidade está basicamente ditado pelo acúmulo do fluxo meridional de umidade nos baixos níveis, no final da primavera e no verão (Figura 4.a e 4.b). Os máximos valores da convergência de umidade e da precipitação são associados com um intenso fluxo meridional desde a Região Central do Brasil e com o fluxo a leste dos Andes que transporta umidade desde a Região Amazônica, para o sul. No inverno o acúmulo no fluxo zonal proveniente do Atlântico possui a maior influência na convergência (Figura 4.b e 5).



No setor Sul a convergência de umidade também encontra-se basicamente definida pelo acúmulo do fluxo meridional nos baixos níveis, mas no inverno há um fluxo de umidade para fora da região. Os máximos valores de convergência simulados ocorrem em Setembro e Outubro, quando o acúmulo do fluxo meridional é grande e a perda pelo fluxo zonal diminui (Figura 6.a e 6.b). Os máximos acúmulos do fluxo meridional acontecem desde Agosto até Outubro, quando existe uma intensificação do fluxo proveniente da Região Central do Brasil.

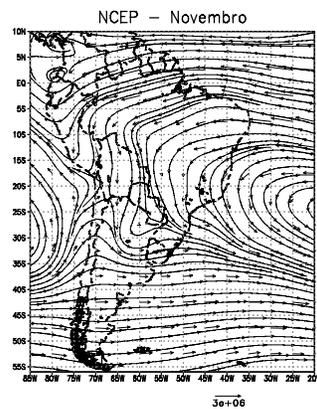
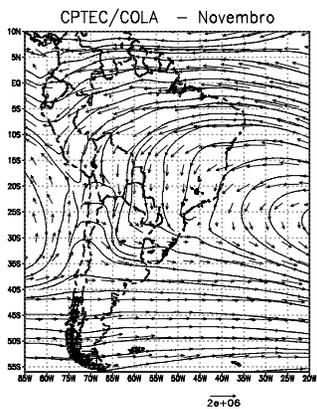
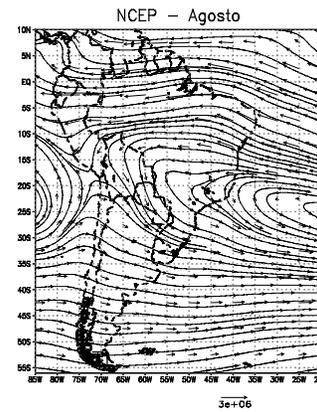
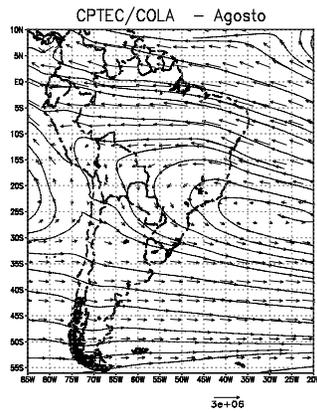
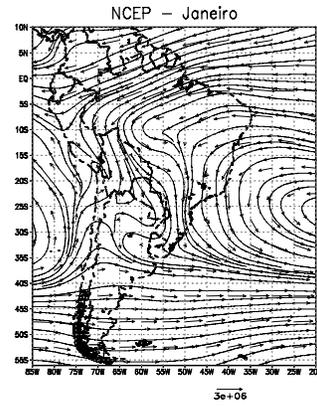
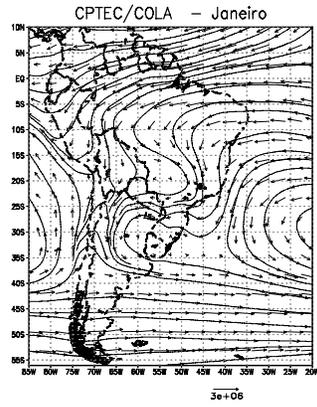
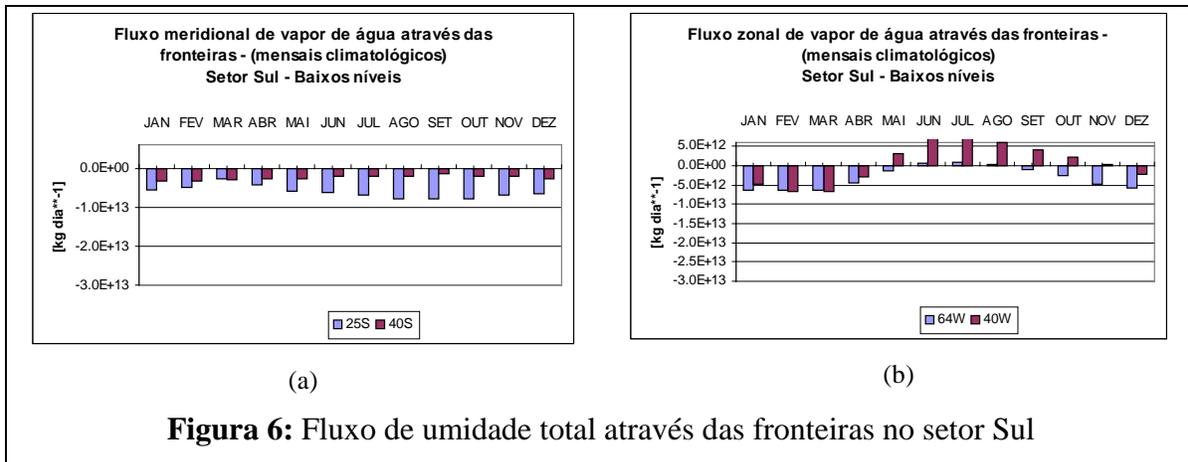


Figura 5: Fluxo de umidade verticalmente integrado sobre América do Sul



4. Conclusão

O comportamento das variáveis analisadas mostra a necessidade de dividir a região de interesse em dois setores. O setor Norte, afetado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul, no verão, mostra um ciclo anual mais definido e com maior energia que o setor Sul.

A componente atmosférica do balanço hídrico apresenta-se em equilíbrio no setor Norte enquanto que na componente terrestre existem diferenças entre o runoff e a diferença P-E durante o Outono, quando a umidade do solo mantém o runoff, e na primavera, quando a precipitação é utilizada para recuperar o armazenamento no solo. No setor Sul a componente atmosférica apresenta desequilíbrio desde o final do inverno até o verão, superando a diferença P-E. Neste setor a componente terrestre apresenta um melhor equilíbrio, sendo a variação no runoff escassa, associada mais com o conteúdo de água no solo do que diretamente com as precipitações.

No setor Norte a quantidade de umidade proveniente de fontes externas atinge valores similares e superiores àquela fornecida pelas fontes locais durante o verão, quando acontecem as máximas precipitações. No setor Sul a quantidade de umidade fornecida pelas fontes locais supera à aportada pelas fontes externas durante todo o tempo, mas as máximas precipitações podem se associar com os máximos valores da convergência do fluxo de umidade proveniente da região tropical.

Os principais aportes externos de umidade provém da região Amazônica e Central do Brasil, existindo um pequeno aporte de umidade desde o Oceano Atlântico para o setor Norte durante o inverno. O escoamento desde os trópicos para a região Sul Sudeste mostra uma variação na direção entre a primavera, quando atinge latitudes mais austrais, e o verão, quando converge sobre a região Sudeste do Brasil.

O modelo representa bem os valores médios espaciais da precipitação e da convergência de umidade sobre o setor Norte, de acordo com as comparações com as precipitações da CRU e a convergência da reanálise do NCEP. Sobre o setor Sul a precipitação é subestimada durante todo o período, mas conservando uma evolução temporal similar àquela das observadas. Sobre este setor o ciclo anual da convergência simulada apresenta grandes diferenças com aquela da reanálise, mostrando superestimativa da mesma por parte do modelo durante a primavera.

Bibliografia

- Berberly, E.H.; Mechoso, C. R. The Hydrological Cycle of the Rio de la Plata basin. **Exchanges – Clivar**, v. 5, N° 2, p. 9-11, 2000.
- Berberly, E.H.; Collini, E.A. Springtime precipitation and water vapor flux over Southeastern South America. **Mon. Wea. Rev.**, v. 128, p. 1328-1346, 2000.
- Berri, G.J.; e Inzunza, B.J, The effect of the low-level jet on the poleward water vapor transport in the central region of South America. **Atmos. Environ.**, v. 27A, p. 335-341, 1993.
- Cavalcanti, I.F.A. e co-autores. Climate characteristics in an ensemble simulation using the CPTEC/COLA Atmospheric Global Circulation Model. São José dos Campos **INPE**. 2001, 71p. (INPE-8150-RPQ/717)
- FAO Agroclimatical data for Africa. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**, 723 pp. 1984
- Garcia, N.O.; e Vargas, W.M. Análisis de la variabilidad climática en la cuenca del Plata a través de sus caudales. Em: Anales del II Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Belo Horizonte, Brasil, Octubre, 1994.

- Garcia, N.O.; e Vargas, W.M. The spatial variability of runoff and precipitation in the Rio de la Plata basin. **J. Sciences Hydrologiques**, v. 41, p. 279-299, 1996.
- Kalnay, E. e co-autores. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 77, p. 437-471, 1996.
- Müller, M. J. Selected Climatic Data for a Global Set of Standard Stations for Vegetation Science. **W. Junk**. 306 pp., 1982.
- New, M.; Hulme, M. e Phil J. Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part I: Development of 1961-96 Mean Monthly Climatology. **J. Clim.**, v. 13, p. 2217-2238, 1999.
- Peixoto, J.P. e Oort A. H. Water Cycle. Em : **Physics of Climate**, AIP, 1992, Cap. 12, p. 271-307.
- Rasmusson, E.M., Mo, K.C. Large-scale atmospheric moisture cycling as evaluated from NMC global analysis and forecast products. **J. Clim.**, v. 9, p. 3276-3297, 1996.
- Saulo, A.C.; Nicollini, M.; Chou, S.C. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-1998 spring summer season. **Clim. Dyn.**, v. 16, p. 867-881, 2000.
- Virji, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Mon. Wea. Rev.**, v. 109, p. 599-610, 1981.
- Wang, M. e Peagle, J. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. **J. Geophys. Res.**, v. 101, p. 7291-7303, 1996.