



## **Modelagem climática sazonal acoplada oceano-atmosfera para simulações da precipitação e umidade do solo na bacia do Rio São Francisco**

<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.579>

**Regla Duthit Somoza**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto- OBT/DSR  
São José dos Campos, SP, Brasil  
regla@dsr.inpe.br

### **RESUMO**

Este trabalho avalia a destreza do Modelo Acoplado Oceano-Atmosfera (MCGOA) do CPTEC em prever a variabilidade interanual da pluviometria sobre a bacia do Rio São Francisco, durante os verões (dezembro - fevereiro) de 1997-2007 e o impacto dessas e da evapotranspiração potencial na estimativa da umidade do solo na área de estudo usando o Modelo de Balanço Hídrico (MBH) operacional do CPTEC. Também foram comparadas as simulações do MCGOA com as do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do CPTEC, o qual tinha sido utilizado com anterioridade para estes fins. Não obstante os erros sistemáticos de ambos os modelos globais superestimarem as precipitações na bacia, o MCGOA mostrou-se ligeiramente com melhor desempenho na previsão sazonal de precipitação, com coeficiente de correlação com as observações positivo, corroborando que o acoplamento do oceano-atmosfera é relevante para previsão da precipitação na região Sudeste do Brasil. Assim, foi necessário aplicar uma correção estatística dos erros sistemáticos da precipitação simulada pelos modelos globais para ser usada no MBH. As diferenças entre as estimativas dos experimentos com o modelo hidrológico (MBH-MCGA e MBH-MCGOA) não foram relevantes, pois o coeficiente de correlação foi de 0,6 para ambos. Isso sugere que a precipitação prevista corrigida e a evapotranspiração potencial (ETP) resultantes de modelagem climática dinâmica do MCGA e o MCGOA, como dados de entrada em modelos de balanço hidrológicos na escala sazonal, podem ser utilizadas como metodologia para fornecer subsídio para uma melhor gestão de uso de água superficial na bacia do Rio São Francisco.

**Palavras-chave:** Hidrometeorologia; erros sistemáticos; modelo acoplado oceano-atmosfera (MCGOA CPTEC/INPE).

### **A coupling ocean-atmosphere climatic modelling study for rainfall and soil moisture simulations on the São Francisco River basin**

#### **ABSTRACT**

The aim of this study was to obtain a better understanding of the Ocean-Atmosphere Global Circulation Coupling Model (CGCM) performance for forecasting the interannual rainfall variability on the São Francisco River Basin, during austral summer (DJF) 1997-2007. In addition, the rainfall predictions and calculated potential vapor transpiration were the input variables for the Hydrological Balance Model (HBM) experiments to obtain soil moisture estimations. Simulations using CGCM were compared with forecastings based on the

Atmosphere Global Circulation Model (AGCM), which has been used previously for this purpose. Even though there were systematic errors of rainfall over estimations for the Basin, the CGCM had better performance than the AGCM at the spatial representation and showed positive correlation coefficients with observation values. These facts corroborate that ocean-atmosphere coupling is an important mechanism to be taken into account for rainfall forecasting at the Brazilian southeast zone. On the other hand, the HBM-AGCM and the HBM-CGCM were quite similar in terms of correlation coefficients (0,6) for soil moisture estimation. This suggests that the corrected estimated precipitation and potential evapotranspiration (ETP) resulting from climate modeling and dynamics of the AGCM and CGCM, as input data for water balance models in the seasonal scale, can be used to provide support to the best practices for the management of surface water in the basin of the São Francisco River.

**Keywords:** hydrometeorology; systematic errors; MCGOA CPTEC/INPE.

## 1. INTRODUÇÃO

O acoplamento da atmosfera com os oceanos em modelos climáticos tornou-se usual somente em anos recentes. Uma das causas para a dificuldade em acoplar esses componentes está na diferença de escalas temporais e espaciais que envolvem os processos físicos de cada subsistema, tal como no fato de que o acoplamento atmosfera-oceano é extremamente dependente da latitude. Nos trópicos, esses sistemas são bastante acoplados, especialmente em termos de temperatura (Battisti, 1988; Zebiak, 1993; Neelin et al., 1991; Nobre e Shukla, 1996; entre outros).

A umidade no solo, ou seja, a quantidade de água armazenada no solo disponível para as raízes das plantas, constitui-se num dos fatores principais para o estudo da resposta da vegetação em condições de estresse-hídrico, bem como é importante para estudos de infiltração, de drenagem, de condutividade hidráulica e de irrigação, entre outros (Rossato, 2001). Além disso, a umidade no solo é determinante nos processos de troca entre o solo e a atmosfera, pois desempenha um papel fundamental na distribuição dos fluxos em superfície (Nobre et al., 1991). Existem modelos que relacionam as propriedades física- hídricas do solo com as componentes de entrada e saída de água no solo, os quais são conhecidos como Balanços de Água no Solo ou simplesmente Balanços Hídricos (Hillel, 1980). A precipitação é considerada como entrada no sistema dos modelos de balanço hidrológico, por isso a precisão na previsão dessa variável constitui um fator vital para as estimativas de umidade no solo.

Shukla (1998) afirma que apesar da atmosfera ser um sistema caótico sensivelmente dependente das condições iniciais, em certas regiões tropicais os padrões de vento e precipitação são tão fortemente determinados pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que não apresentam dependência das condições iniciais da atmosfera. Dessa forma é possível calcular estimativas de precipitação nessas regiões, pois, para uma dada distribuição de TSM na região tropical, a atmosfera irá convergir para um regime de equilíbrio hidrostático independente das condições de contorno iniciais (Shukla, 1998). No entanto, a precipitação simulada por modelos numéricos deve, para a maioria dos casos, ser utilizada em associação com outras ferramentas estatísticas, para corrigir alguns erros antes de dar entrada no modelo hidrológico, por exemplo, a distribuição espacial e temporal dos eventos e a intensidade da precipitação (Silva, 2005).

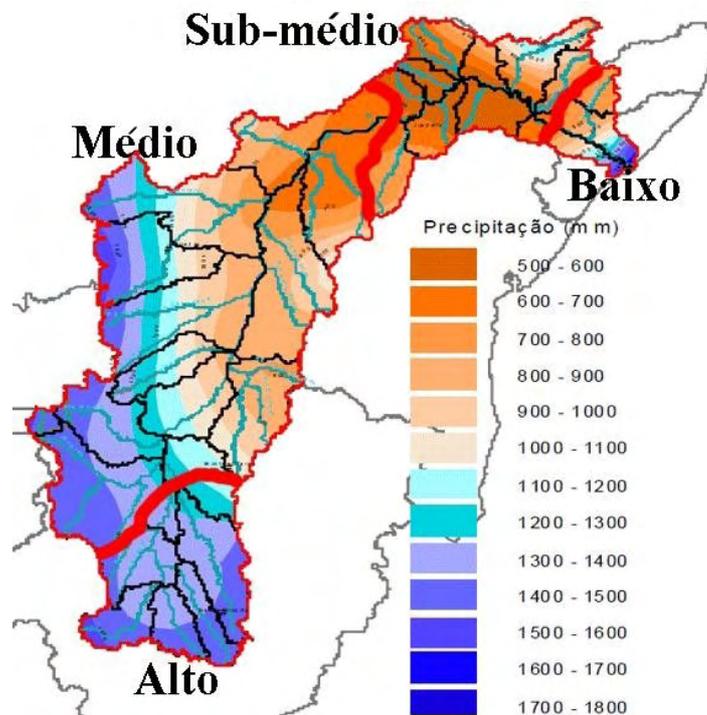
O objetivo do presente estudo visa avaliar os impactos das inaccurácias das previsões pluviométricas sazonais de verão (DJF) do modelo global acoplado oceano-atmosfera (MCGOA) para a previsibilidade das simulações de umidade do solo na bacia do Rio São

Francisco no período 1997-2007. As simulações do MCGOA são comparadas com as do Modelo Atmosférico Global (MCGA) do CPTEC, que já tinha sido usado para esse tipo de estudo, também são confrontadas com dados observacionais dessas variáveis.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1. Área de estudo

A nascente do rio São Francisco encontra-se ao norte do estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil, o restante da bacia estende-se pela Região Nordeste, parte no chamado polígono das secas (CODEVASF, 2009). Pode ser observado na Figura 1 que a precipitação anual varia de 600 mm, no Semiárido nordestino, com mínimos de 350 mm ao norte da Bahia, e máximo acima de 1.400 mm, nas nascentes localizadas no Alto São Francisco, em Minas Gerais, para uma média anual de 1036 mm referente a toda a região. A existência de diferentes regimes de precipitação na área da bacia indica que mais de um mecanismo dinâmico é responsável pela ocorrência de chuva.



**Figura 1.** Isoietas dos valores médios de precipitação anual na bacia entre 1961 e 1990. Delimitadas com linha grossa as regiões fisiográficas da bacia: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco.

**Fonte:** (CODEVASF, 2009).

A bacia alta traz a maior contribuição no verão, já que as chuvas de verão acontecem devido à incursão de frentes frias e da presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é mais intensa em DJF (Quadro, 1993; Barreiro et al., 2001; Chaves e Nobre, 2004). Na bacia submédica e baixa a ocorrência dos máximos de chuva se associam, principalmente, a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, em janeiro-fevereiro-março localiza-se mais ao sul, determinando a estação chuvosa nessa região do semiárido assim como no norte do Nordeste (Nobre e Shukla, 1996).

## 2.2. Simulações.

Nas simulações de precipitação, foi realizada uma integração curta de três meses (DJF) cada ano; utilizando-se o MCGA e o MCGOA do CPTEC e os campos mensais de TSM da NOAA “optimum interpolation”, interpolados linearmente a valores diários para o período de integração. Foi gerado um conjunto de seis membros para cada modelo global em todos os verões, totalizando 120 rodadas (DJF, 1997-2007). As saídas dos modelos para os pontos de grade globais e da bacia hidrográfica do Rio São Francisco foram obtidas e escritas em disco a cada 6 horas. Para avaliar a acurácia dos modelos globais nas previsões sazonais foram utilizados dados observacionais de precipitação com uma resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Esses arquivos foram produzidos a partir de interpolação dos dados de estação e gerenciados pelo Grupo de Previsão Climática do CPTEC/INPE. Esses dados de precipitação acumulada por dia podem ser visualizados online na página do grupo de previsão climática do CPTEC (<http://clima1.cptec.inpe.br/>).

Em Bonatti (1996) e Cavalcanti et al. (2002), são descritos os detalhes da dinâmica do MCGA. O MCGOA consta de um componente atmosférico (MCGA) e outro oceânico (Modular Ocean Model - MOM3, detalhes do modelo oceânico em Griffies et al. (2000)). A interação dos processos físicos entre os componentes atmosférico e oceânico do MCGOA ocorre uma vez por dia. As informações de TSM simuladas pelo modelo oceânico são fornecidas ao modelo atmosférico. Este último irá retornar ao modelo oceânico as informações de tensão do vento, fluxo total de calor e fluxo de salinidade (precipitação e evaporação). Não existindo correções de fluxos nem acoplamento de anomalias (Somoza, 2010).

Para estimar os campos de umidade do solo foi necessário o cálculo da precipitação diária das simulações com o MCGOA e o MCGA e a evapotranspiração potencial, assim como a interpolação dessas para uma resolução de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  na área da bacia hidrográfica. Também foi necessária a correção dos erros sistemáticos dos campos de precipitação previstos pelos MCGOA e MCGA. Utilizou-se o Modelo de Balanço Hídrico (MBH) (Somoza, 2010) operacional do INPE considerando-se os campos previstos pelos MCGOA e o MCGA da precipitação interpolada e os prognósticos de evapotranspiração potencial como variáveis de entrada ao sistema, constituindo os experimentos MBH-MCGOA e MBH-MCGA respectivamente, realizando-se uma rodada por verão (DJF) entre 1997-2007 para cada. Os dados de umidade do solo (armazenamento 100 cm) utilizados para validar a acurácia das simulações foram gerados a partir do modelo de balanço hídrico gerenciado pelo projeto PROCLIMA (Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste), (Souza et al., 2001). Essas rodadas de controle foram feitas pelo projeto PROCLIMA com dados observacionais com saídas diárias e uma resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ .

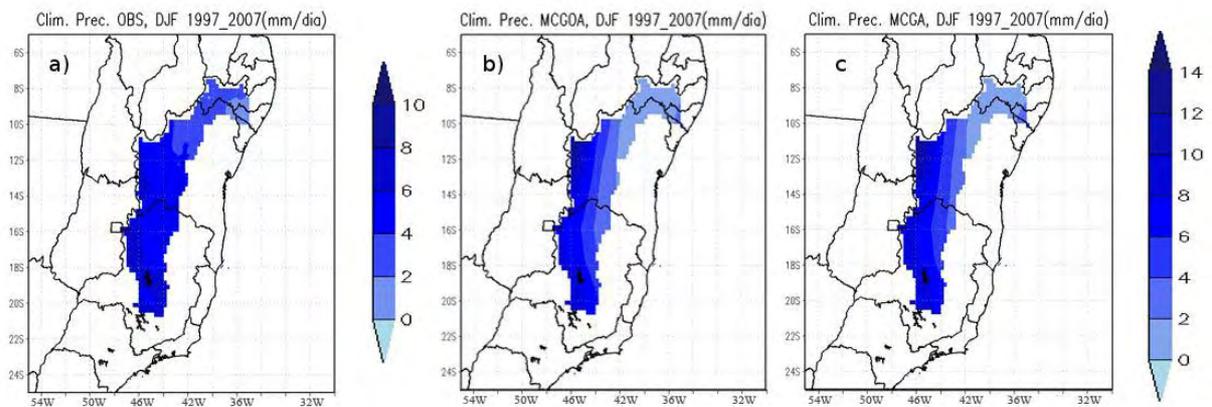
As interpolações dos campos de precipitação e umidade do solo foram realizadas para o domínio compreendido entre as latitudes  $-7^\circ$ ,  $-22^\circ$  sul e as longitudes  $-36^\circ$ ,  $-48^\circ$  oeste, onde se localiza a área da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Para corrigir as precipitações simuladas foram construídas curvas empíricas de distribuição de probabilidades com as séries diárias de precipitações geradas pelos modelos MCGOA, MCGA e os respectivos valores observados. As curvas foram construídas para cada mês da estação (DJF) e cada célula (851 células) dos modelos sobre a Bacia do Rio São Francisco, totalizando 2553 tabelas para cada modelo. Logo foram ajustados os valores em cada ponto de grade para corrigir os erros sistemáticos de precipitação. Também foram calculados os prognósticos de evapotranspiração potenciais diários a partir da metodologia de Penman-Monteith (Smith, 1991), utilizando-se os campos previstos pelo MCGA e o MCGOA de variáveis atmosféricas tais como temperatura superficial, umidade, vento, pressão atmosférica (Somoza, 2010).

Nas análises de validação dos modelos foram analisados para os campos de precipitação e umidade do solo, ambos os valores observados e simulados para: média sazonal anual, média climatológica, variância, desvio padrão e anomalias padronizadas pelo desvio ponto a ponto. Diversas medidas de erros podem ser usadas individualmente como índices de desempenho de modelos atmosféricos e outros, cada uma com suas vantagens e desvantagens. As métricas mais frequentemente avaliadas são o Viés estatístico (BIAS), o Erro Médio Absoluto (EMA), o Erro Quadrático Médio (EQM) e o Coeficiente de Correlação (CORR), as quais foram calculadas neste estudo.

### 3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Média sazonal (1997-2007)

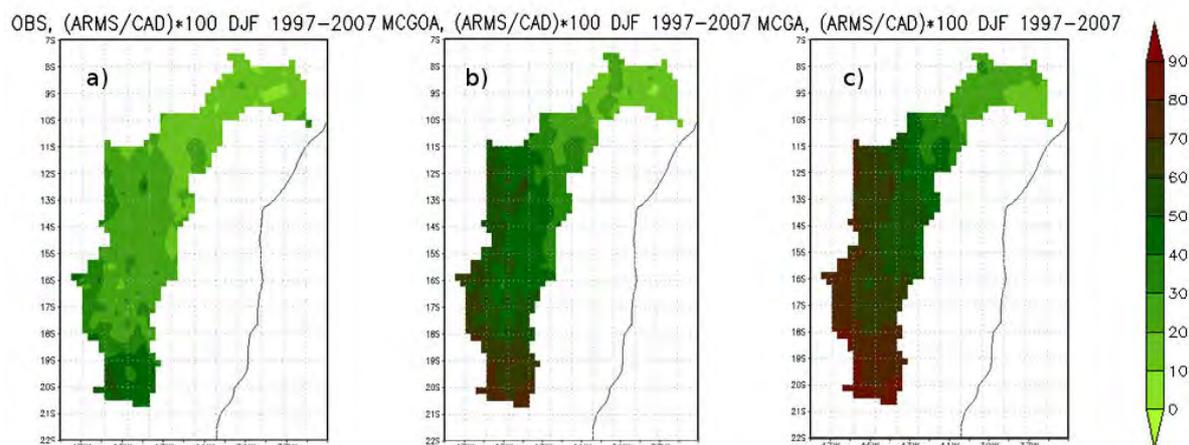
Na Figura 2, mostra-se a média sazonal das precipitações simuladas pelos MCGA e MCGA e observada para os verões entre 1997-2007, observando-se um desempenho espacial similar para ambos os modelos globais quando comparado com os dados observados.



**Figura 2.** Média da precipitação observada (a) e simulada pelos MCGOA (b) e MCGA (c) para DJF na Bacia do Rio São Francisco (1997-2007; mm/dia).

Os máximos previstos localizaram-se a oeste da Bahia (MCGA 26,0 mm/dia; MCGOA 23,0 mm/dia), enquanto as observações não superaram os 10 mm/dia na mesma área. No entanto, na região sub-média do São Francisco, noroeste de Pernambuco, onde as médias observadas tiveram mínimos de 2,0 a 0,0 mm/dia, os valores das previsões foram subestimados (MCGA 0,3 mm/dia; MCGOA 0,4 mm/dia). Em particular, para a bacia do rio São Francisco, por meio da climatologia simulada pelos modelos é mais difícil identificar a representação espacial dos mecanismos dinâmicos que regulam a precipitação da área, já descritos na literatura. Porém, os máximos observados e previstos são coerentes espacialmente, observando-se uma maior contribuição na parte alta da bacia.

O armazenamento médio sazonal de água no solo obtido foi corrigido em função da capacidade de água disponível (CAD), uma vez que o armazenamento de água é dependente do tipo de solo. Ou seja, se um solo raso tem, por exemplo, um armazenamento de 50 mm e uma capacidade máxima de 50 mm obtém-se uma razão de 100 % de água no solo e, se um solo profundo tem um armazenamento de 50 mm e uma capacidade máxima de 100 mm, obtém-se uma razão de 50%. Logo, o solo raso está mais saturado do que o solo profundo (Rossato, 2001). Na Figura 3, é mostrada a média sazonal de verão do percentual de água útil na Bacia do rio São Francisco, DJF 1997-2007.



**Figura 3.** Média sazonal de verão (DJF), percentual de umidade do solo na Bacia do rio São Francisco, DJF 1997-2007. Controle (a), MBH-MCGOA (b) e MBH-MCGA (c).

De forma geral, o armazenamento estimado por MBH-MCGA e MBH-MCGOA foi capaz de recriar os principais padrões espaciais de umidade do solo devido aos sistemas de precipitação observados na bacia durante o verão. A rodada controle estima umidade que varia entre 4% ao norte da Bahia e 60% na parte alta da bacia. Verificando-se uma diminuição da umidade do solo disposta de montante a jusante a longo do rio, com média de 31,4% para toda a bacia. Ambos os experimentos, tanto o MBH-MCGOA quanto o MBH-MCGA, em média, superestimaram as magnitudes. O MBH-MCGA superestimou consideravelmente os percentuais de umidade do solo propostos pela rodada controle, na parte alta da bacia, com média de 41% para toda a área. O MBH-MCGOA também superestimou os valores nas regiões de máximos com média de 38%.

### 3.2. Métricas de comparação com os dados observados.

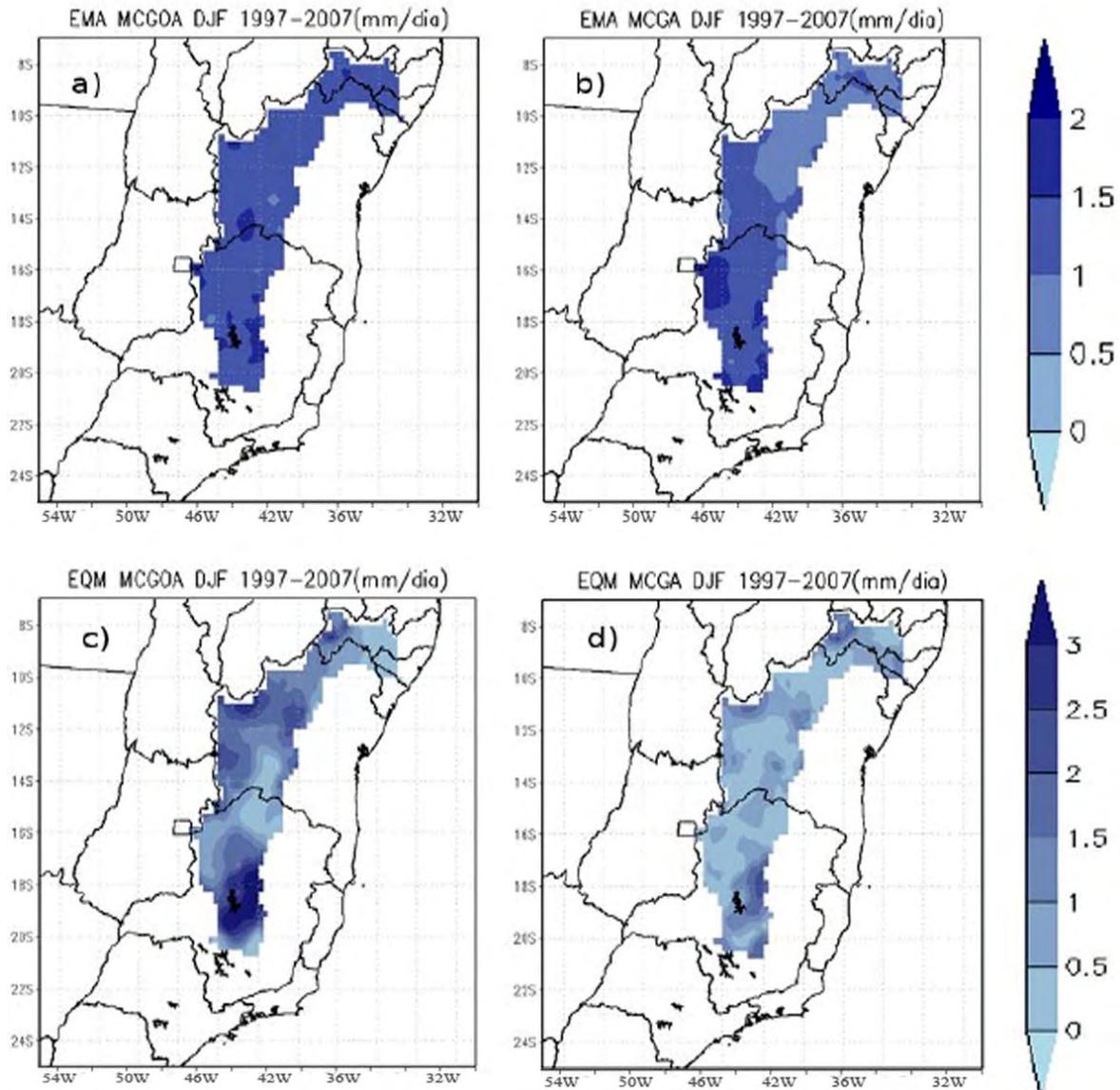
As métricas utilizadas para a avaliação da acurácia das previsões foram calculadas a partir das anomalias sazonais padronizadas pelo desvio padrão ponto a ponto em toda a série (1997-2007), tanto para as observações como para as previsões. Com isso, foram obtidos valores adimensionais dos campos de precipitação e umidade do solo, contendo somente a variabilidade interanual dos 10 verões. A tabela a seguir (Tabela 1) resume os valores médios espaciais dos erros calculados ponto a ponto para toda a Bacia do rio São Francisco.

**Tabela 1.** Médias espaciais das métricas calculadas para observações e simulações, DJF 1997-2007.

Modelo	MÉDIA	STD	EMA	EQM	CORR
<b>Precipitações observadas</b>	4,83	1,32	-	-	-
<b>MCGA</b>	5,43	1,58	1,34	0,65	-0,45
<b>MCGOA</b>	4,98	1,29	1,73	1,31	0,14
<b>Armazenamento observado</b>	4,55	0,83	-	-	-
<b>MBH-MCGA</b>	4,84	0,80	0,33	0,41	0,67
<b>MBH-MCGOA</b>	3,83	0,63	0,37	0,27	0,64

Média (mm/dia), desvio padrão (STD, mm/dia), Erro Médio Absoluto (EMA, mm/dia), Erro Quadrático Médio (EQM, mm/dia) e coeficiente de correlação (CORR).

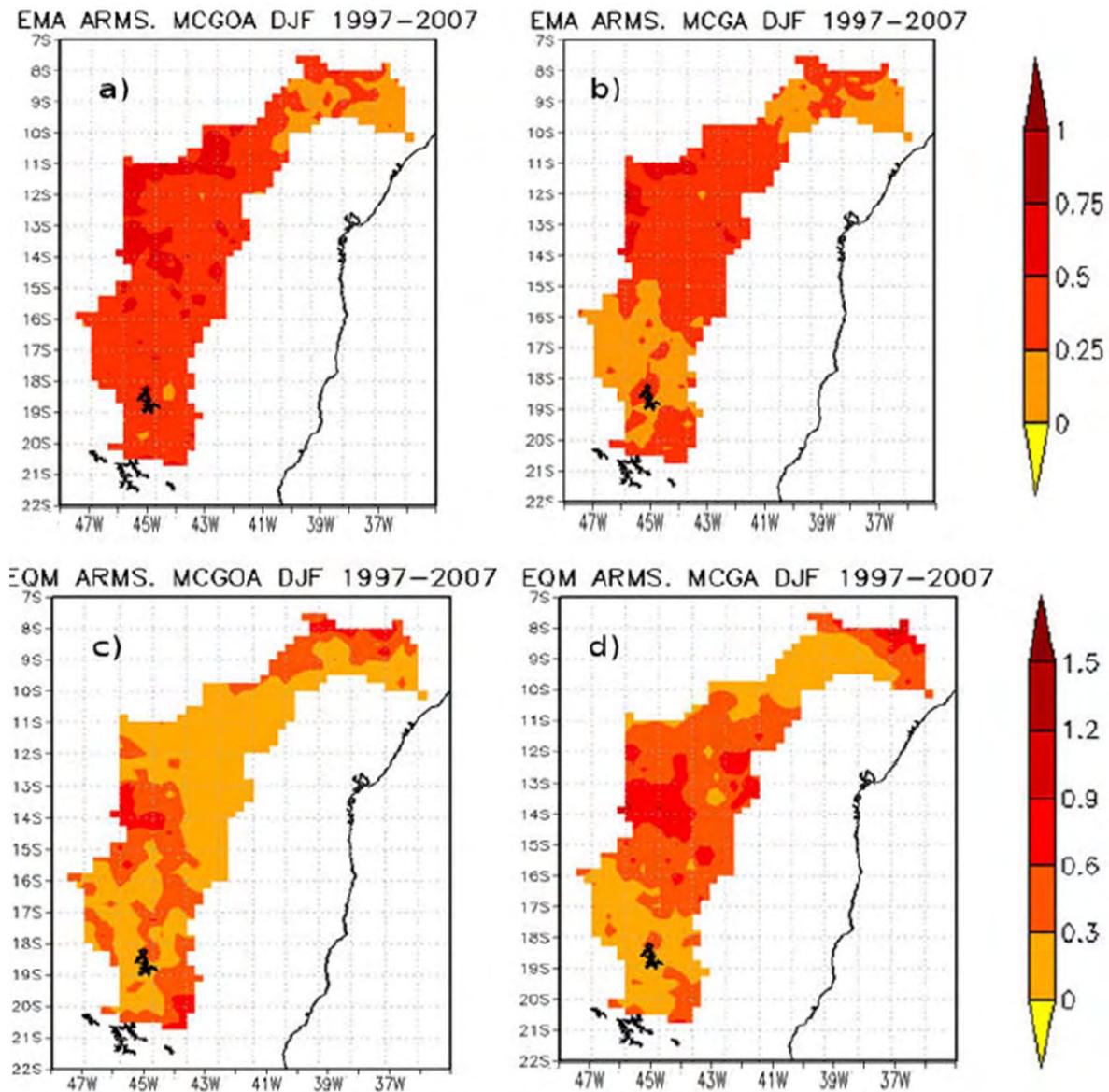
Para as precipitações simuladas: o EMA do MCGOA está distribuído uniformemente em toda a área da bacia com valores médios de 1,73 mm/dia (Tabela 1). Já o MCGA teve maiores valores do EMA na bacia média e alta, em Minas e no sul da Bahia, entre 1 e 1,5 mm/dia (Figura 4).



**Figura 4.** Erro Médio Absoluto (EMA) e Erro Quadrático Médio (EQM) da precipitação média de DJF simulada pelos MCGOA (a, c) e o MCGA (b, d) na Bacia do rio São Francisco, mm/dia.

Entretanto, o valor do EMA médio do MCGA para toda a bacia foi de 1,34 mm/dia. O MCGOA mostrou EQM máximos concentrados na região da nascente do rio de até 3,2 mm/dia, o que indica que existe um grande espalhamento nas previsões de precipitação deste modelo na região montanhosa da bacia. No entanto, o MCGA teve um EQM de 0,65 mm/dia em média espacial, indicando um melhor desempenho, sendo esse resultado coerente com o apresentado no erro médio absoluto.

Para as estimativas de umidade do solo: os maiores EMA do MBH-MCGOA concentram-se na região submédia e alta da bacia. Já o MBH-MCGA indicou menores desvios, com valores máximos ao norte de Minas Gerais na região do Médio e Submédio da bacia (Figura 5).

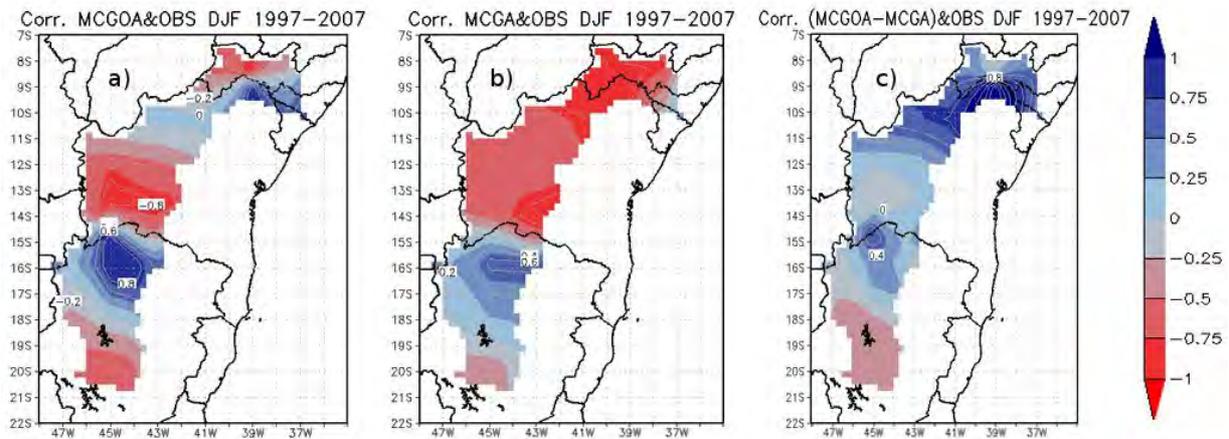


**Figura 5.** Erro Médio Absoluto (EMA) e Erro Quadrático Médio (EQM) da umidade do solo média de DJF simulada pelos MHB-MCGOA (a, c) e o MHB-MCGA (b, d) na Bacia do rio São Francisco, mm/dia.

O EQM permitiu observar que existem diferenças espaciais nas regiões com padrão de desvio máximo de ambos os modelos, para o MHB-MCGOA, encontram-se na área da Bacia alta e média, no entanto, para MHB-MCGA localizam-se na Bacia média, entre Minas e Bahia. Também se observou uma região mais suscetível na área mais ao norte da Bacia no estado de Pernambuco, onde ambos os modelos alcançaram valores máximos de EQM próximos a 1,5 mm/dia.

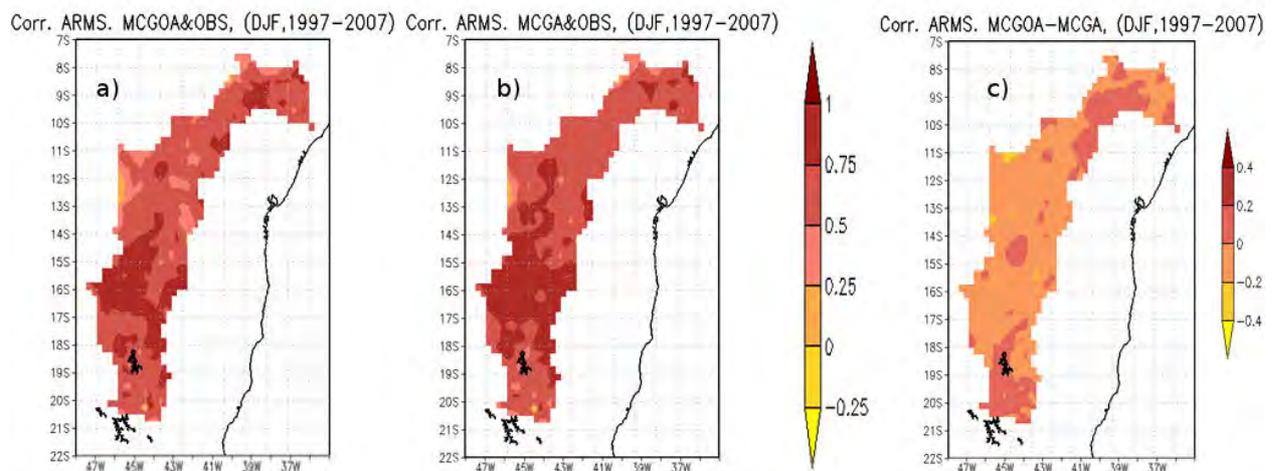
O coeficiente de correlação espaço-temporal é a mais relevante métrica de comparação de todas as apresentadas, pois ele mede em que grau e sentido (crescente/decrescente) verifica-se a relação linear entre duas grandezas, assumindo apenas valores entre -1 e 1. Para os campos de precipitação, espera-se que previsões e observações estejam em fase, ou seja, serão melhores as correlações positivas quanto mais próximas à unidade. A correlação entre a precipitação simulada pelos modelos globais e as observações é próxima a zero quando calculada a média espacial para toda a bacia (Tabela 1), no entanto, na análise ponto a ponto,

existem diferenças relevantes na distribuição espacial das correlações entre o MCGA e o MCGOA (Figura 6).



**Figura 6.** Correlações (CORR) entre anomalias padronizadas de precipitação observadas e simuladas para (DJF) na Bacia do Rio São Francisco.

As correlações espaço-temporais entre as séries simuladas e as observações de umidade do solo mostraram que estão em fase. O coeficiente de correlação entre simulações e observações foi alto para ambos os modelos com média espacial de 0.6 (Tabela 1, Figura 7).



**Figura 7.** Correlações (CORR) entre anomalias padronizadas de umidade do solo observadas e simuladas para (DJF) na Bacia do Rio São Francisco.

Ambos experimentos apresentaram valores maiores de correlação na região do estado de Minas Gerais (Figura 7, a e b). Já a diferença entre ambos os experimentos (Figura 7, c) indica que somente na parte alta da bacia, o MHB-MCGOA supera as correlações do MHB-MCGA com os valores observados.

#### 4. CONCLUSÃO

A precipitação ainda continua sendo uma das variáveis mais difíceis de prever, uma vez que seus processos possuem grande variabilidade temporal e espacial (Habest et al., 2004). Neste trabalho, verificou-se essa afirmação por meio dos erros apresentados por ambos os modelos globais na precisão da precipitação simulada.

Não obstante os erros sistemáticos de ambos os modelos globais, eles descrevem realisticamente a variabilidade interanual das anomalias de precipitação. O MCGA apresentou menores valores de EMA e EMQ em média para a bacia. O MCGOA teve grande espalhamento nas previsões na região montanhosa da bacia (nascente), no entanto, mostrou-se com melhor desempenho na simulação da precipitação sazonal de verão na bacia do Rio São Francisco ao norte da nascente (desde Minas Gerais até a Fox do rio), o que corrobora que o acoplamento do oceano-atmosfera é relevante para previsão da precipitação nessa região. Logo a hipótese de Nobre et al. (2006) de que o acoplamento das interações oceano-atmosfera tem um papel importante na dinâmica e termodinâmica da ZCAS poderia ser válida.

As diferenças entre as estimativas de umidade do solo dos experimentos MBH-MCGA e o MBH-MCGOA não foram relevantes, assim também poderiam ser utilizadas as saídas do MCGOA nesses experimentos com o modelo de balanço hídrico no solo. Isso sugere que o aproveitamento de previsão de precipitação corrigida e a ETP resultante de modelagem climática dinâmica do MCGA e o MCGOA como dado de entrada em modelos de balanço hidrológicos na escala sazonal pode ser utilizado como metodologia para fornecer subsídio para uma melhor gestão de uso de água superficial na bacia do Rio São Francisco.

Os modelos atmosféricos (acoplados ou não) têm grande potencial de contribuição para as várias aplicações em recursos hídricos. Entretanto, ainda apresentam incertezas que têm limitado tais aplicações como mostrado neste artigo. Recentemente, os grupos de modeladores climáticos têm se dedicado a realizar avaliações do desempenho dos modelos na escala das bacias hidrográficas e nas escalas relevantes aos recursos hídricos, fornecendo informações úteis para uso dos resultados dos modelos e também úteis aos próprios desenvolvedores, que podem melhorar suas formulações e desempenho considerando esses usos e aplicações. Este artigo se insere nesse grupo de trabalhos; comparando um modelo atmosférico em modos acoplado e desacoplado de um modelo oceânico, tendo como alvo a simulação da precipitação e da umidade do solo. Essas duas variáveis são chave para a área de recursos hídricos, na área do Rio São Francisco, uma bacia estratégica para o Brasil, localizada em uma região de baixa previsibilidade climática. Portanto, sua publicação é potencialmente útil aos leitores das áreas de hidrologia, recursos hídricos, agricultura e meteorologia.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por outorgar a possibilidade de realizar estudos de mestrado e desenvolver o trabalho no Brasil, apoiando com infraestrutura e suporte financeiro. Também aos Drs. Paulo Nobre e Javier Tomasella que, com dedicação e paciência, orientaram este trabalho. Aos revisores anônimos que contribuíram com suas observações para o aperfeiçoamento do trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

- BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the south Atlantic convergence zone simulated by an atmospheric general circulation model. *J. Climate*, v. 15, p. 745-763, 2001.  
[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0745:VOTSAC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0745:VOTSAC>2.0.CO;2)

SOMOZA, R. D. Modelagem climática sazonal acoplada oceano-atmosfera para simulações da precipitação e umidade do solo na bacia do Rio São Francisco. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 291-302, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.579>)

---

BATTISTI, D. S. The dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere/ocean model. *J. Atmos. Sci.*, v. 45, p. 2889-2919, 1988. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1988\)045<2889:DATOAW>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1988)045<2889:DATOAW>2.0.CO;2)

BONATTI, J. P. Modelo de circulação geral atmosférico do CPTEC. **Climanálise**, v. 11, n. especial, p. 5, 1996.

CAVALCANTI, I. F.; MARENGO, J. A.; PRAKKI, S.; NOBRE, C. A.; TROSNIKOV, I.; JUNIOR, H. C. et al. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **J. Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2)

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperatures over the south atlantic ocean and the south Atlantic convergence zone. **Geophys. Res. Lett.**, v. 31, 2004.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. **Cadastro do Vale do São Francisco**. 2009. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br>>. Acesso em: 27 fev. 2009.

GRIFFIES, S. M.; BONING, K.; BRYAN, F. O.; CHASSIGNET, E. P.; HASUMI, H.; HIRST, A. et al. Developments in ocean climate modelling. **Ocean Modelling**, v. 2, p. 123-192, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S1463-5003\(00\)00014-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1463-5003(00)00014-7)

HABEST, F.; LEMOINE, P.; NOILHAN, J. On the utility of operational precipitation forecasts to served as input for streamflow forecasting. **J. of Hydrology**, v. 293, p. 270–288, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.02.004>

HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385 p.

NEELIN, J. D.; LATIF, M.; JIN, F. Dynamics of coupled ocean- atmosphere models: the tropical problem. **Annu. Rev. Fluid Mech.**, v. 26, p. 617-659, 1991. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.fl.26.010194.003153>

NOBRE, C.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Regional climate change and Amazonian deforestation model. **J. Climate**, v. 4, n. 10, p. 957–988, 1991. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2)

NOBRE, P.; MARENGO, A.; CAVALCANTI, I. F. A.; OBREGON, G.; BARROS, V.; CAMILLONI, I. et al. Seasonal to decadal predictability and prediction of south American climate. **J. Climate** (Special Section), v. 19, n. 23, p. 5988-6004, Dec. 2006. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3946.1>

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and south America. **J. Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2)

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1993. 124f. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.14.10>>.

SOMOZA, R. D. Modelagem climática sazonal acoplada oceano-atmosfera para simulações da precipitação e umidade do solo na bacia do Rio São Francisco. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 291-302, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.579>)

---

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. 145f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

SHUKLA, J. Predictability in the midst of chaos: a scientific basis for climate forecasting. **Science**, v. 282, n. 5389, p. 728-731, 1998. <http://dx.doi.org/10.1126/science.282.5389.728>

SILVA, B. C. **Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco**. 2005. 220f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Instituto de Pesquisas Hídricas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: UN/FAO, 1991. 45 p.

SOMOZA, R. C. D. **Um estudo de modelagem climática acoplada oceano-atmosfera para simulações da precipitação e umidade do solo na bacia do rio São Francisco**. 2010. 102f.. (INPE-16726-TDI/1664). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/06.07.19.46>>. Acesso em: 01 ago. 2010.

SOUZA, S. S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M. G.; AMORIM, M. C.; MENEZES, P. C. P.; MOREIRA, C. A. O programa de monitoramento climático em tempo real na área de atuação da sudene - proclima. **Bol. Soc. Bras. Met.**, v. 25, n. 1, p. 15–24, 2001.

ZEBIAK, S. E. Air - sea interaction in the equatorial Atlantic region. **J. Climate**, v. 6, p. 1567-1586, Aug. 1993. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1567:AIITEA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1567:AIITEA>2.0.CO;2)