

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE O TEMPO DE “SPIN-UP” DA UMIDADE DO SOLO NO MODELO CLIMÁTICO DO CPTEC

Marcos Daisuke Oyama
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - INPE
Av. dos Astronautas, 1.758, São José dos Campos - SP, 12.227-010
email: oyama@met.inpe.br

Edson José Paulino da Rocha
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - INPE
Av. dos Astronautas, 1.758, São José dos Campos - SP, 12.227-010
email: edson@cptec.inpe.br

Carlos Afonso Nobre
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - INPE
Rodovia Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista - SP, 12.630-000
email: nobre@cptec.inpe.br

ABSTRACT

The soil moisture spin-up time of the CPTEC AGCM is evaluated. The root zone spin-up time ranges from a few months to one year. The drainage layer spin-up time ranges from one to ten years. The influence of the root zone soil moisture on evapotranspiration depends on two factors: precipitation variability, which acts to weaken the influence; and soil moisture deficit, which acts to strengthen it. Therefore, in dry regions where the precipitation variability is small, evapotranspiration and root zone spin-up time are almost the same. In order to reduce the spin-up time, a new initialization is proposed. Instead of using climatological values, the equilibrium soil moisture derived from a long run of the CPTEC AGCM is used as initial condition. In general, the new initialization leads to a large reduction of the spin-up time. Therefore, for climate studies using the CPTEC AGCM, the new initialization would be recommended. However, since all the results were obtained for November and using 6-month runs, further tests are necessary.

INTRODUÇÃO

Em integrações climáticas de Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA), uma etapa importante consiste na escolha de valores iniciais de umidade do solo que minimizem o tempo de “spin-up” do modelo. Uma representação simples do processo de “spin-up” consiste em supor que o desvio da umidade do solo em relação ao equilíbrio ($\Delta\theta$) decai exponencialmente com o tempo. Nesse caso, o tempo de “spin-up” (T), ou seja, o necessário para que $\Delta\theta$ se torne igual a um valor suficientemente pequeno (ϵ), é dado por $T = \tau \ln(d_0/\epsilon)$, onde d_0 é o valor de $\Delta\theta$ no instante inicial, e τ , o “e-folding time”. Portanto, o tempo de “spin-up” depende de dois parâmetros: d_0 , que representa a diferença entre a condição inicial e o equilíbrio do modelo; e τ , que mede a memória da umidade do solo à condição inicial.

O método mais simples de definir a condição inicial de umidade do solo consiste em adotar valores climatológicos. A climatologia de Willmott et al. (1985) é utilizada para inicializar o MCGA do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). As principais características do MCGA do CPTEC estão apresentadas em Bonatti (1996). Como, para um dado modelo, o tempo de “spin-up” depende da diferença entre a climatologia e o equilíbrio, cabe perguntar: há diferenças entre a condição inicial climatológica e a situação de equilíbrio do MCGA do CPTEC? Recentemente, foi realizada uma rodada longa (10 anos, 9 membros) com o MCGA do CPTEC (Cf. Cavalcanti et al., 2000). Considerando que o comportamento sazonal médio da umidade do solo representa a situação de equilíbrio do modelo, pode-se comparar a climatologia e o equilíbrio. As Figuras 1a e 1b apresentam, respectivamente, o grau de saturação (razão entre a umidade e a porosidade) climatológico e de equilíbrio, para o mês de novembro. A Figura 1c mostra a diferença entre climatologia e equilíbrio. Em geral, nas regiões secas, o equilíbrio é mais úmido que a climatologia; e, nas regiões úmidas, ocorre o contrário, ou seja, o equilíbrio é mais seco que a climatologia. Em muitas regiões, a magnitude das diferenças é alta, superior a 0,4.

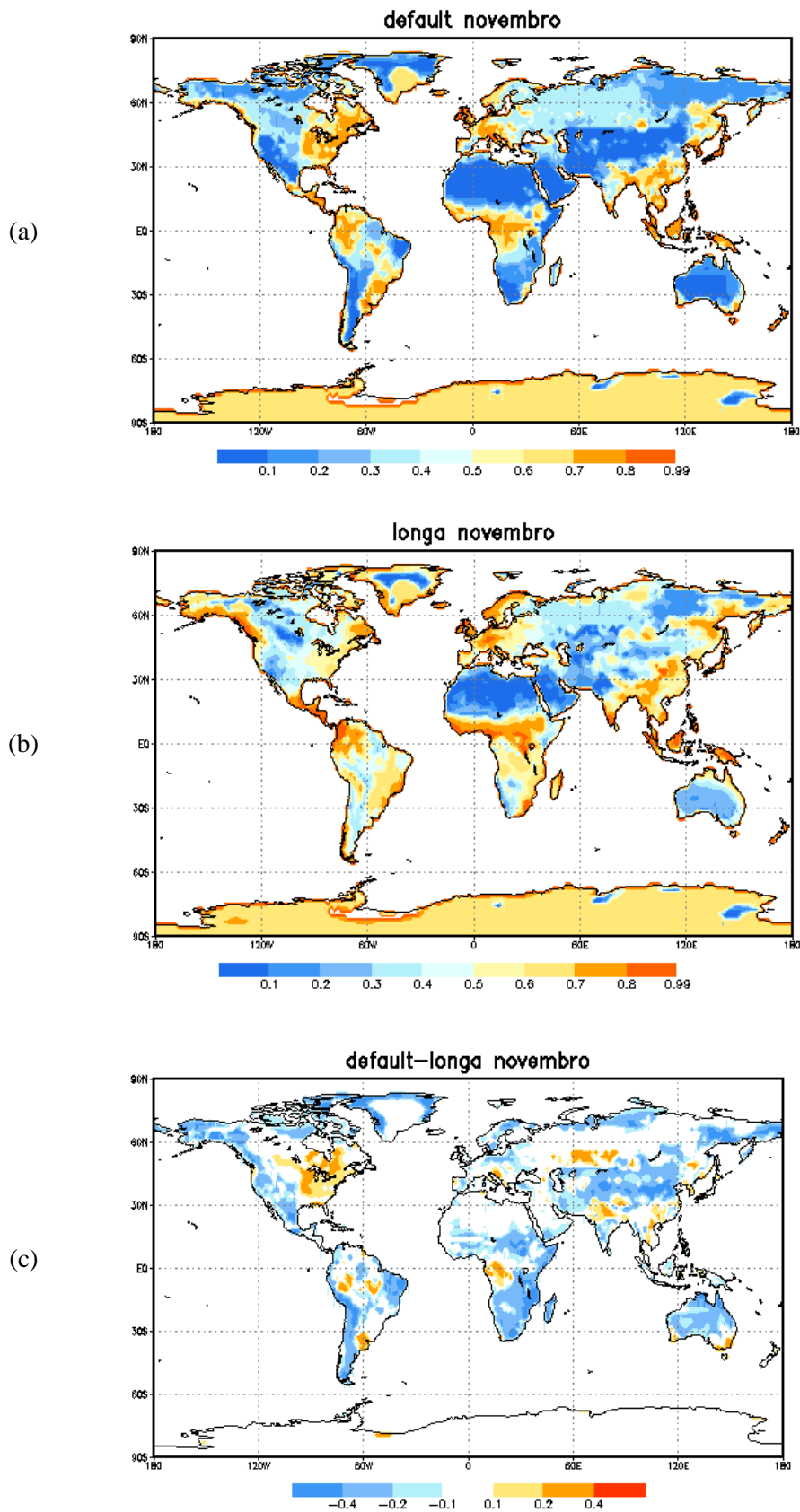


Figura 1 - Grau de saturação (razão entre umidade volumétrica do solo e porosidade) para o mês de novembro: climatologia (a); equilíbrio (b); e diferença entre climatologia e equilíbrio (c). A situação de equilíbrio é obtida da rodada longa do MCGA do CPTEC.

A memória da umidade à condição inicial depende do tipo de representação do solo nos MCGA. Em “bucket models”, o solo é representado por uma única camada, usualmente de 1 m de profundidade. Em modelos biofísicos, o solo é dividido em várias camadas, e a profundidade total do solo, usualmente, é bem maior que 1 m. Segundo Robock et al. (1998), a memória da umidade à condição inicial é menor nos “bucket models” ($\tau \sim 1/2$ ano) e maior nos modelos biofísicos ($\tau \sim 5$ anos). Isso ocorre porque, em modelos biofísicos, o solo é mais profundo e, nas suas camadas mais profundas, o ajustamento envolve fluxos de menor magnitude. Portanto, em modelos biofísicos, a memória da umidade do solo deve variar conforme a camada; a estimativa de 5 anos, obtida por Robock et al., baseia-se no ajustamento da umidade em toda a coluna de solo.

O MCGA do CPTEC utiliza o Simplified Simple Biosphere (SSiB; Xue et al., 1991) para representar a interação superfície-atmosfera sobre continentes. O SSiB leva em conta 3 camadas de solo: camada superficial, zona de raízes e camada de drenagem. A espessura da camada superficial é constante, de 2 cm; das demais camadas, varia conforme o bioma. Em geral, a espessura da zona de raízes varia de 0,5 a 1,5 m; da camada de drenagem, de 1,5 a 3,5 m. Isso significa que a profundidade total do solo é bem superior a 1 m, valor adotado por “bucket models”. Portanto, nas regiões onde a diferença entre climatologia e equilíbrio é alta, *i.e.* $d_0 \sim 0,4$, considerando $\tau \sim 5$ anos e $\varepsilon = 0,1$, pode-se estimar que $T \sim 7$ anos. Ou seja, o tempo de “spin-up”, considerando o ajustamento da umidade em toda a coluna de solo, é de cerca de 7 anos. Essa estimativa deve ser válida para a camada de ajustamento mais lento, *i.e.* a camada de drenagem. E o tempo de “spin-up” da zona de raízes? A umidade da zona de raízes é importante porque ela é um fator que controla a partição do saldo de radiação à superfície.

Em resumo, a atual inicialização da umidade do solo do MCGA do CPTEC possui grandes diferenças em relação à situação de equilíbrio. Em regiões onde a diferença é alta, pode-se estimar que o tempo de “spin-up” é de 7 anos para a camada de drenagem, mas não há estimativa do tempo de “spin-up” para a zona de raízes. Motivado por essas constatações, este trabalho tem, como objetivos:

- verificar qual é o tempo de “spin-up” da zona de raízes;
- propor uma nova inicialização de água do solo para reduzir o tempo de “spin-up” do modelo.

Três áreas são selecionadas para estudo: Nordeste brasileiro (NE), centro-leste da América do Norte (AN) e oeste da África Equatorial (AF). Na Figura 2, essas regiões estão apresentadas. Procurou-se selecionar regiões homogêneas quanto à climatologia e à diferença entre climatologia e equilíbrio. No NE, o equilíbrio está mais úmido que a climatologia. A climatologia indica baixos valores de umidade, pois o mês de novembro está no final da estação seca do NE. Tanto no AN quanto no AF, o equilíbrio está mais seco que a climatologia.

EXPERIMENTOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

São realizados dois experimentos: controle e simulação. Em ambos, a integração é feita por 6 meses a partir da condição inicial atmosférica de 20/11/1998. Durante toda a integração, a temperatura da superfície do mar (TSM) é a média climatológica de novembro, e os parâmetros das rotinas de radiação são os mesmos do dia da condição inicial. Portanto, as condições de contorno, tais como TSM e radiação solar incidente no topo da atmosfera, são mantidas fixas, ou seja, a integração é feita no modo “novembro perpétuo”. A diferença entre os experimentos é a condição inicial de água do solo. No controle, a inicialização é feita no modo “default”, ou seja, utilizando a climatologia de Willmott et al. (1985). Na simulação, a umidade de equilíbrio, obtida pela rodada longa do MCGA do CPTEC, é utilizada na inicialização. Essa inicialização segue a recomendação de Sato et al. (1989).

Dois métodos de análise são utilizados. No primeiro, uma análise visual é feita para verificar se as diferenças entre experimento e equilíbrio estão diminuindo com o passar do tempo. A partir de um certo valor de diferença (cerca de 0,1), pode-se dizer que o experimento entrou em equilíbrio. O tempo para se chegar a essa situação é o tempo de “spin-up”. O segundo método é estatístico. Dada uma região, por exemplo, NE, existem diversos pontos de grade. Para cada ponto de grade, existe uma série temporal (*e.g.* de umidade da zona de raízes). Portanto, para cada região, existe um conjunto de séries temporais. A diferença entre as séries temporais representa a variabilidade espacial. Ao invés de considerar dessa maneira, iremos supor que as séries temporais representam diferentes realizações de um mesmo processo estocástico. Por um lado, a escolha de regiões homogêneas condiz com essa hipótese. Por outro lado, diversas realizações poderiam ser obtidas, por exemplo, variando a condição inicial atmosférica e mantendo a de umidade. No entanto, esse procedimento seria muito caro computacionalmente. Portanto, no método estatístico, dada uma região, e dado um mês, cada experimento possui uma média e uma variância. A comparação entre controle e simulação é feita com o teste t de Student. Iremos considerar que, quando a diferença entre controle e simulação não é significativa a um nível de teste de 5%, então controle e simulação atingiram o equilíbrio.

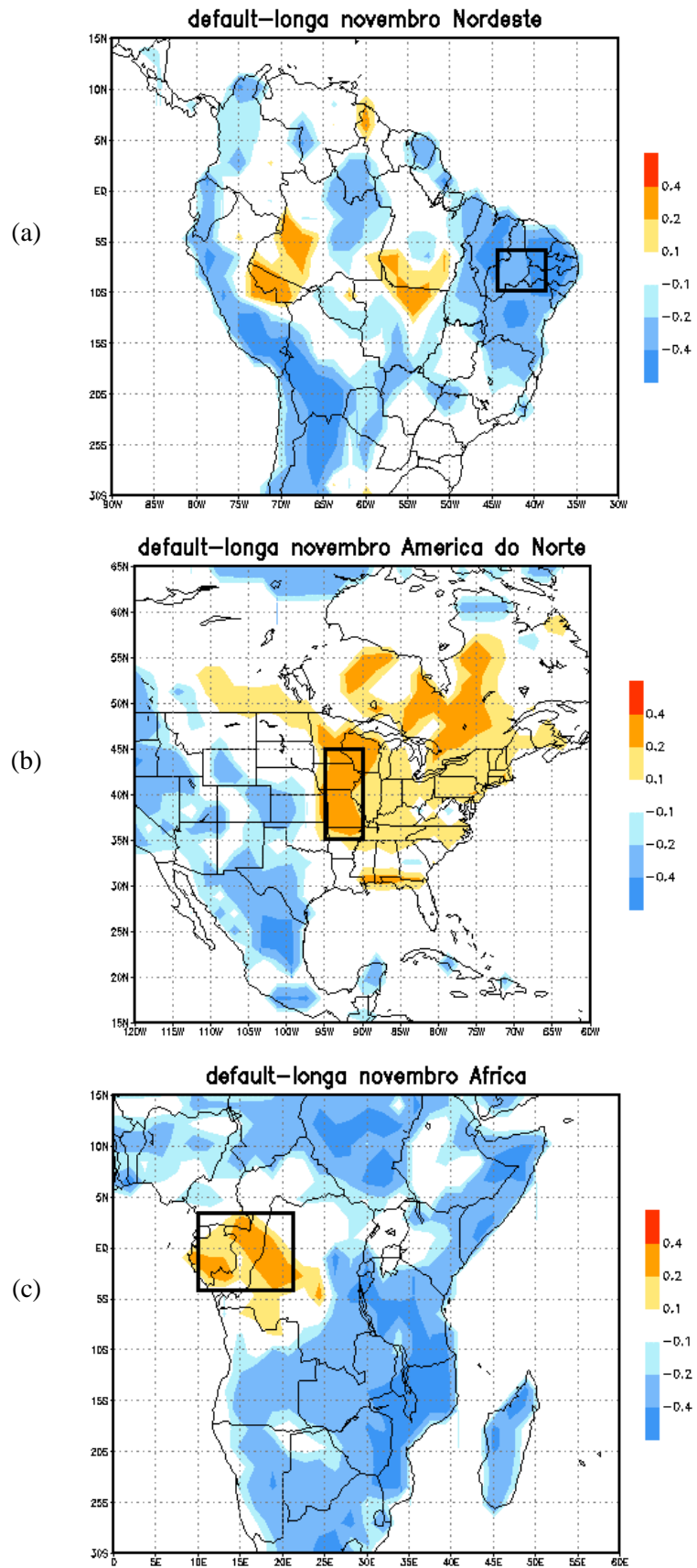


Figura 2 - Diferença entre grau de saturação climatológico e de equilíbrio. Os retângulos com borda espessa representam as áreas de estudo: Nordeste brasileiro (a); centro-leste da América do Norte (b) e oeste da África Equatorial (c).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do NE estão apresentados na Figura 3. A seguir, analisam-se as Figuras 3a e 3b.

- No controle, existe uma grande diferença entre a umidade inicial, oriunda da climatologia, e o equilíbrio (cerca de 0,4). Com o passar do tempo, tanto na camada de drenagem quanto na zona de raízes, essa diferença diminui.
- Na zona de raízes, a diferença parece decair exponencialmente; após 2 meses de integração, o controle parece atingir o equilíbrio (diferença entre umidade e equilíbrio menor que 0,1).
- Na camada de drenagem, as diferenças decaem devagar; não ocorre um decaimento exponencial nos 6 primeiros meses. Provavelmente, se o período de integração fosse maior, o decaimento exponencial apareceria após os 6 primeiros meses. De qualquer forma, após 6 meses, a diferença entre controle e equilíbrio é pequena (em torno de 0,1). Logo, pode-se conjecturar que, na camada de drenagem, o controle deve atingir o equilíbrio alguns meses após o sexto mês.
- Na simulação, tanto na camada de drenagem quanto na zona de raízes, a umidade variou pouco em relação ao valor de equilíbrio (em torno de 0,1).
- Do ponto de vista estatístico, na camada de drenagem, as diferenças entre controle e simulação são significativas em todo o período de integração; na zona de raízes, as diferenças deixam de ser significativas a partir do quinto mês.
- Em resumo, no controle, tanto a análise visual quanto a estatística mostram que o tempo de “spin-up” é superior a 6 meses na camada de drenagem. Na zona de raízes, a análise visual indica que o tempo de “spin-up” é de 2 meses; a estatística, de 4 meses. Logo, parece adequado considerar que o tempo de “spin-up” da zona de raízes é de uma estação, ou um trimestre. Na simulação, parece não haver “spin-up” da umidade do solo.

O impacto do “spin-up” na evapotranspiração pode ser visto na Figura 3c. Devido a valores mais baixos de umidade, a evapotranspiração do controle é inferior à da simulação. A diferença entre controle e simulação tende a diminuir com o tempo; após 4 meses, a diferença cai para menos de $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$. Essa diminuição ocorre mesmo existindo, nos primeiros meses, uma maior precipitação na simulação - o que contribuiria, a princípio, para aumentar a diferença entre controle e simulação. Isso mostra que o ajustamento da umidade na zona de raízes tem papel fundamental no ajustamento da evapotranspiração. Do ponto de vista estatístico, a diferença entre controle e simulação deixa de ser significativa a partir do quarto mês. Logo, no caso do NE, existe um tempo de “spin-up” da evapotranspiração, e esse tempo é de cerca de um trimestre.

Os resultados do AN estão apresentados na Figura 4. A seguir, analisam-se as Figuras 4a e 4b.

- No controle, com o passar do tempo, tanto na camada de drenagem quanto na zona de raízes, a diferença inicial entre controle e equilíbrio (cerca de 0,2) diminui.
- Na zona de raízes, a diferença decai de forma irregular; mesmo após 6 meses, o controle não atinge o equilíbrio (diferença superior a 0,1).
- Na camada de drenagem, as diferenças decaem de forma linear. O decaimento é lento e, mesmo após 6 meses, o controle não atinge o equilíbrio.
- Na simulação, na camada de drenagem, a umidade quase não variou em relação ao equilíbrio.
- Na zona de raízes, as variações foram pequenas, exceto no terceiro e sexto mês, quando a precipitação da simulação foi anormalmente superior à do controle (Cf. Figura 4c). Nessas ocasiões, a umidade aumentou de forma brusca.
- Do ponto de vista estatístico, na camada de drenagem, as diferenças entre controle e simulação são significativas em todo o período de integração; na zona de raízes, as diferenças deixam de ser significativas a partir do sexto mês. Isso não significa, no entanto, que, a partir do sexto mês, controle e simulação atingem o equilíbrio; na verdade, no sexto mês, tanto o controle como a simulação estão muito mais úmidos que o equilíbrio. No caso do controle, isso ocorre devido à condição inicial; no caso da simulação, devido à anômala precipitação no terceiro e sexto mês.
- Em resumo, no controle, tanto a análise visual quanto a estatística mostram que o tempo de “spin-up” é superior a 6 meses. Devido ao decaimento mais rápido da zona de raízes, o tempo de “spin-up” da zona de raízes deve ser menor que o da camada de drenagem. Na simulação, parece não haver “spin-up” da umidade do solo.

O impacto do “spin-up” na evapotranspiração pode ser visto na Figura 4c. Em geral, devido a valores mais altos de umidade, a evapotranspiração do controle é superior à da simulação. No entanto, nos primeiros meses, a diferença entre controle e simulação não diminui, apesar do lento ajustamento da umidade da zona de raízes. A partir do terceiro mês, a alta variabilidade de precipitação induz uma alta variabilidade de evapotranspiração. Ou seja, o

efeito do ajustamento da zona de raízes é mascarado pela variabilidade induzida pela precipitação. Do ponto de vista estatístico, diferenças significativas alternam-se com não-significativas. Logo, no caso do AN, não há sentido em precisar um tempo de “spin-up” da evapotranspiração.

Os resultados do AF estão apresentados na Figura 5. A seguir, analisam-se as Figuras 5a e 5b.

- Tanto o controle como a simulação parecem se desviar do equilíbrio. Portanto, no caso do AF, o equilíbrio oriunda da rodada longa do MCGA do CPTEC não é válido.
- Considerando que o equilíbrio é atingido quando a diferença entre controle e simulação não é significativa, pode-se dizer que o tempo de “spin-up”, na camada de drenagem, é de 5 meses; na zona de raízes, 3 meses.

Apesar do ajustamento na zona de raízes, a evapotranspiração não apresenta diferenças significativas entre controle e simulação, conforme mostrado na Figura 5c. Mesmo não havendo grande variabilidade de precipitação, a evapotranspiração independe da umidade da zona de raízes. Isso decorre dos altos valores de umidade (superiores a 0,6); quando a umidade da zona de raízes é alta, não há estresse hídrico, e a evapotranspiração passa a depender somente das condições atmosféricas.

Embora os resultados do NE, AN e AF sejam bastante diferentes entre si, as seguintes regras gerais podem ser formuladas, quanto ao experimento de controle:

- a inicialização climatológica leva a um “spin-up” da umidade do solo;
- tempo de “spin-up” da zona de raízes é inferior ao da camada de drenagem;
- tempo de “spin-up” da zona de raízes vai de 3 (NE, AF) a mais de 6 meses (AN);
- tempo de “spin-up” da camada de drenagem é sempre superior a 5 meses;
- a influência do “spin-up” da umidade da zona de raízes na evapotranspiração depende de dois fatores: a variabilidade da precipitação, que procura mascarar a influência (AN); e o estresse hídrico, que procura evidenciá-la (NE, AF).

No trabalho de Robock et al. (1998), para uma região da Rússia, o tempo de “spin-up” para toda a coluna de solo é de 8 anos, conforme MCGA inicializados com a climatologia e que utilizam o SSiB ou modelos assemelhados. Considerando o valor de 8 anos como válido para a camada de drenagem, e levando em conta os resultados deste trabalho, pode-se dizer que, em termos de ordem de grandeza, o tempo de “spin-up” da zona de raízes vai de 1 a 10 meses e o da camada de drenagem, de 10 a 100 meses. Cabe lembrar que esses valores devem ser válidos para a inicialização climatológica do MCGA do CPTEC.

Quanto ao experimento de simulação, como regra geral, pode-se afirmar a nova inicialização diminui o tempo de “spin-up”. Em duas regiões estudadas, NE e AN, praticamente não há tempo de “spin-up”; no entanto, no AF, o desempenho da nova inicialização não difere da climatológica. Portanto, o uso da nova inicialização pode ser útil para estudos climáticos envolvendo o uso do MCGA do CPTEC. Por exemplo, no caso da previsão sazonal, anomalias de umidade do solo (vindas de um modelo de balanço hídrico) poderiam ser adicionadas à nova condição inicial. Um procedimento desse tipo poderia melhorar a previsão sazonal (Fennessy e Shukla, 1999). Em integrações longas, para determinar a climatologia do modelo, a nova inicialização permitiria um estudo da variabilidade interanual já nos primeiros anos de integração, ou seja, haveria uma economia computacional (o que é importante na atual metodologia de utilizar vários membros).

Neste trabalho, as análises foram realizadas somente para o mês de novembro e para 6 meses de integração. Isso justifica o caráter preliminar do trabalho. Um estudo mais abrangente deve envolver integrações mais longas e outras estações do ano.

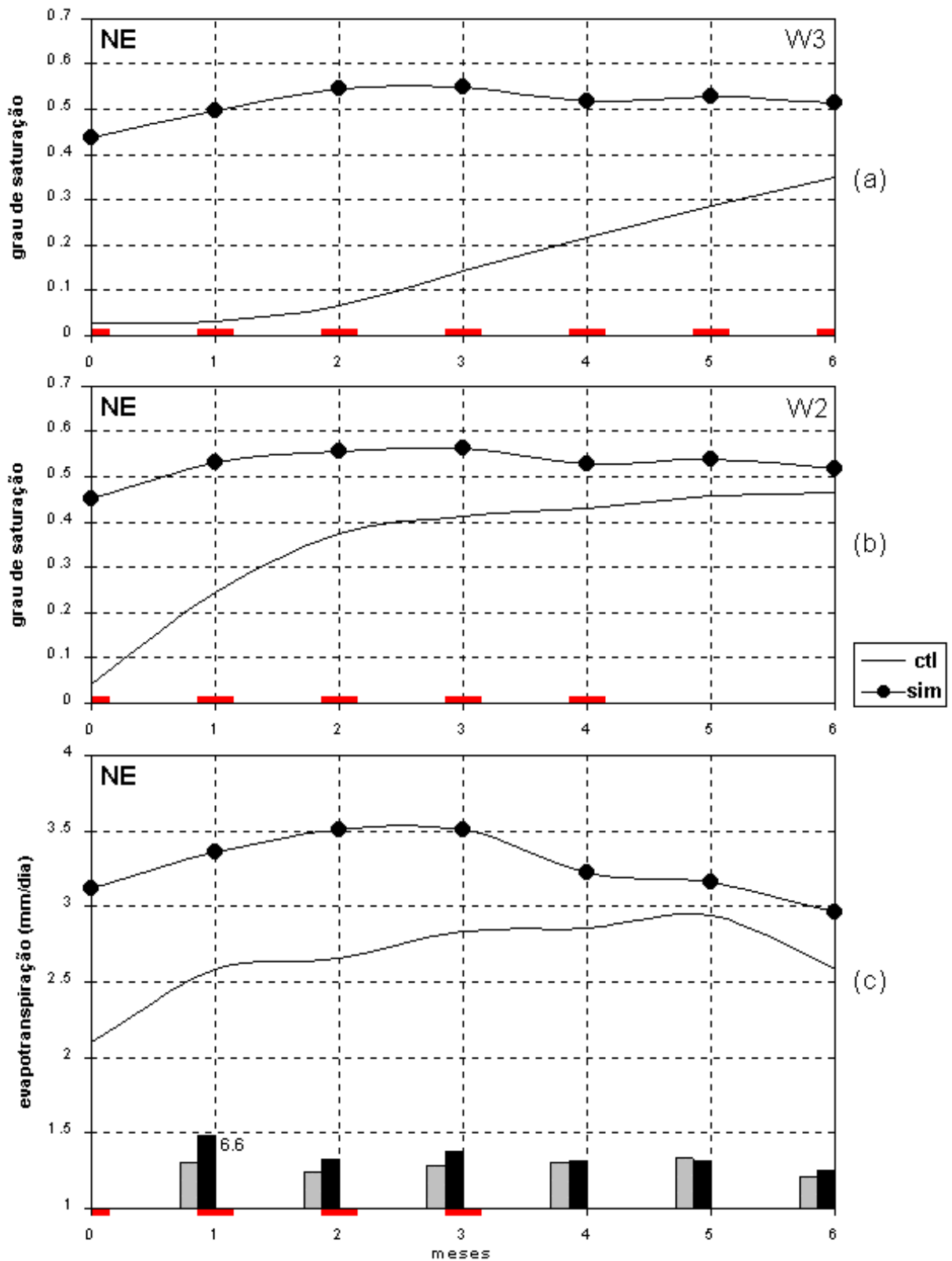


Figura 3 - Grau de saturação na camada de drenagem (a) e zona de raízes (b), e evapotranspiração (c), nos experimentos de controle (ctl) e simulação (sim), para o Nordeste brasileiro (NE). Na Figura 3c, as barras representam a precipitação do controle (cor cinza) e simulação (cor preta). O valor ao lado da barra representa a precipitação em mm dia^{-1} . Os traços vermelhos representam diferenças significativas, a um nível de teste de 5%, entre controle e simulação.

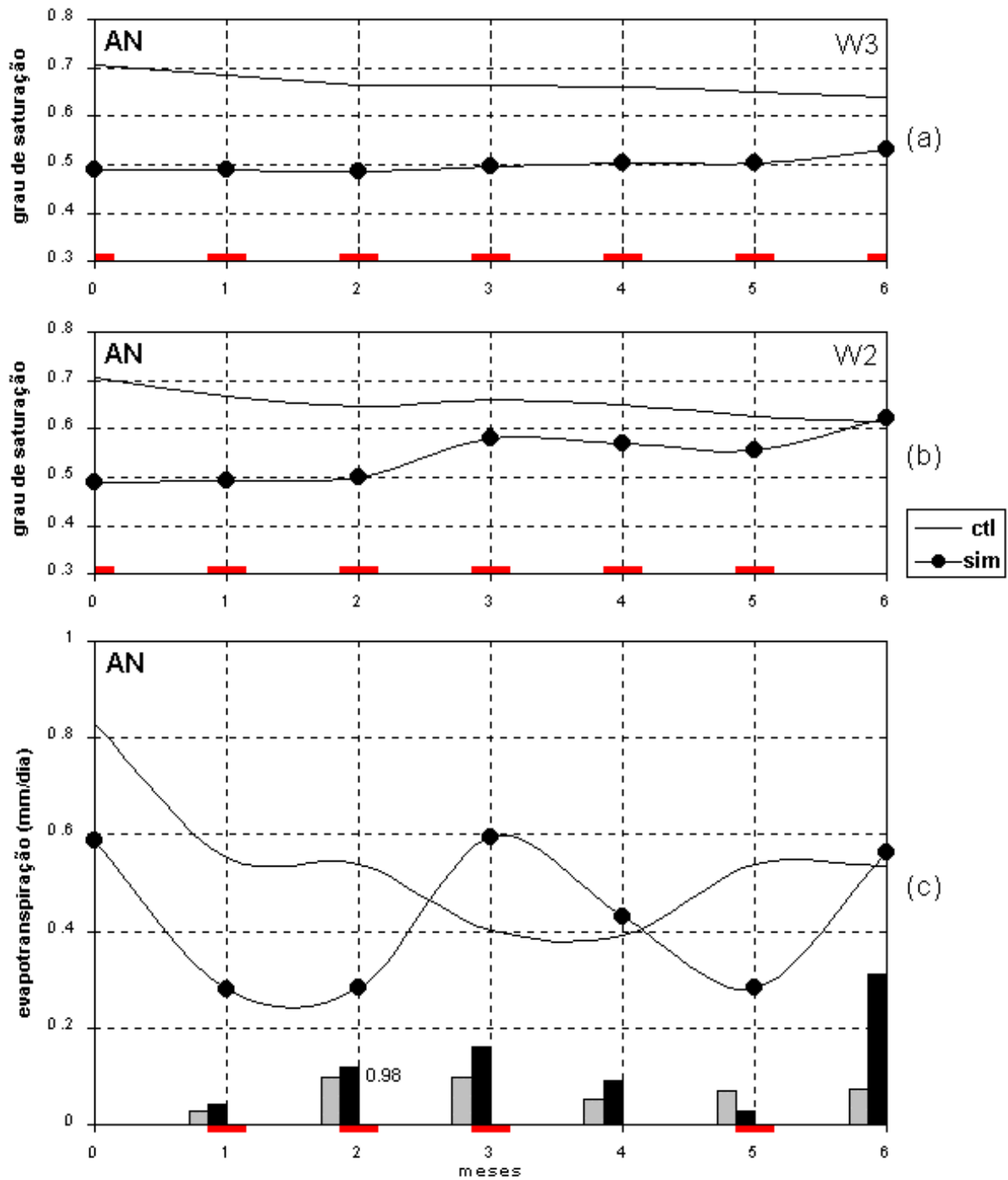


Figura 4 - Grau de saturação na camada de drenagem (a) e zona de raízes (b), e evapotranspiração (c), nos experimentos de controle (ctl) e simulação (sim), para o centro-leste da América do Norte (AN). Na Figura 4c, as barras representam a precipitação do controle (cor cinza) e simulação (cor preta). O valor ao lado da barra representa a precipitação em mm dia^{-1} . Os traços vermelhos representam diferenças significativas, a um nível de teste de 5%, entre controle e simulação.

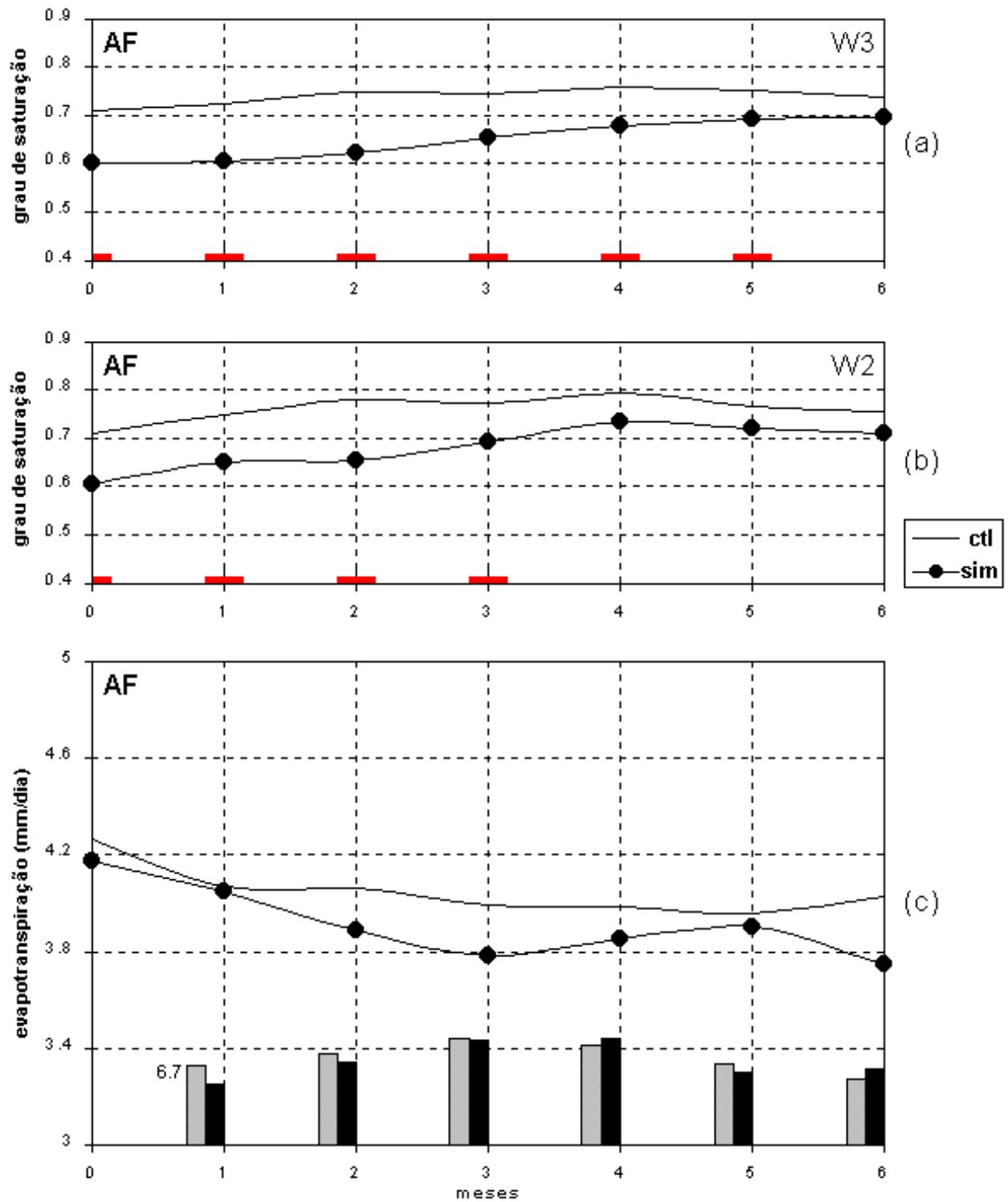


Figura 5 - Grau de saturação na camada de drenagem (a) e zona de raízes (b), e evapotranspiração (c), nos experimentos de controle (ctl) e simulação (sim), para o oeste da África Equatorial (AF). Na Figura 5c, as barras representam a precipitação do controle (cor cinza) e simulação (cor preta). O valor ao lado da barra representa a precipitação em mm dia^{-1} . Os traços vermelhos representam diferenças significativas, a um nível de teste de 5%, entre controle e simulação.

CONCLUSÕES

A atual inicialização de umidade do solo do MCGA do CPTEC leva a grandes diferenças entre condição inicial e situação de equilíbrio. Devido a essas diferenças, existe um tempo de “spin-up” para que a umidade do solo possa se ajustar. Em termos de ordens de grandeza, o tempo de “spin-up” da zona de raízes vai de 1 a 10 meses e o da camada de drenagem, de 10 a 100 meses. A influência do “spin-up” da umidade da zona de raízes na evapotranspiração depende de dois fatores: a variabilidade da precipitação, que procura mascarar a influência; e o estresse hídrico, que procura evidenciá-la. Portanto, em regiões secas e de pouca variabilidade da precipitação, o tempo de “spin-up” da evapotranspiração é da mesma ordem de grandeza do da umidade da zona de raízes.

Ao modificar a condição inicial, adotando os valores de equilíbrio da rodada longa do MCGA do CPTEC como condição inicial, ocorre, em geral, uma redução drástica do tempo de “spin-up”. Portanto, o uso da nova inicialização pode ser útil para estudos climáticos envolvendo o uso do MCGA do CPTEC. No entanto, como o trabalho utiliza somente integrações de 6 meses para o mês de novembro, outros testes devem ser realizados antes de um julgamento definitivo da nova inicialização.

AGRADECIMENTOS

A Hélio Camargo Jr., por disponibilizar as saídas da rodada longa, e a Luiz Antônio Cândido, pelas discussões e sugestões na parte bibliográfica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONATTI, J.P. Modelo de Circulação Geral Atmosférico do CPTEC. **Climanálise Especial**, edição comemorativa de 10 anos, 1996.
- CAVALCANTI, I.F.A.; SATYAMURTI, P.; MARENGO, J.A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J.P.; NOBRE, C.A.; D’ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C.; SANCHES, M. Climatological features represented by the CPTEC/COLA global circulation model. **Proceedings of the Sixth Southern Hemisphere Conference**, Santiago, Chile, 2000.
- FENNESSY, M.J.; SHUKLA, J. Impact of initial soil wetness on seasonal atmospheric prediction. **Journal of Climate**, v.12, p.3167-3180, 1999.
- ROBOCK, A.; SCHLOSSER, C.A.; VINNIKOV, K.Y.; SPERANSKAYA, N.A.; ENTIN, J.K. Evaluation of AMIP soil moisture simulations. **Global and Planetary Change**, v.19, p.181-208, 1998.
- SATO, N.; SELLERS, P.J.; RANDALL, D.A.; SCHNEIDER, E.K.; SHUKLA, J.; KINTER III, J.L.; HOU, Y.Y.; ALBERTAZZI, E. Implementing the Simple Biosphere model (SiB) in a General Circulation Model: methodology and results. **NASA contractor report**, n.185509, Washington, D.C., 1989. 76pp.
- XUE, Y. SELLERS, P.J.; KINTER, J.L.; SHUKLA, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, v.4, p.345-364, 1991.
- WILLMOTT, C.J.; ROWE, C.M.; MINTZ, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, v.5, p.589-606, 1985.