

# VALIDAÇÃO DE MODELO DE UMIDADE DO SOLO PARA ÁREAS DE PASTAGEM E DE FLORESTA DA REGIÃO AMAZÔNICA

Luciana Rossato<sup>1</sup>, Regina Célia dos Santos Alvalá<sup>2</sup>, Javier Tomasella<sup>3</sup>

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo validar o modelo de umidade do solo elaborado por Rossato (2002), o qual foi desenvolvido para todo o território brasileiro. A validação foi feita utilizando-se dados diários de umidade do solo medidos em áreas de pastagem (Fazenda Nossa Senhora) e de floresta (Reserva Jaru), ambas situadas próximas ao município de Ji-Paraná, RO, durante o período de 2000-2002, no escopo do experimento de grande escala da biosfera-atmosfera na Amazônia (LBA). Com os dados medidos calculou-se a média mensal do armazenamento de água no solo, que por sua vez foram comparadas com a média climatológica do armazenamento de água no solo obtida pelo modelo para o período de 1971-1990. A partir dos resultados, observou-se que as curvas de variação da umidade do solo estimada pelo modelo e aquela observada no campo são similares. Os coeficientes de correlação entre os resultados do modelo e os valores observados para a área de pastagem foram iguais a 0,91, 0,88 e 0,94 para os anos de 2000, 2001 e 2002, respectivamente. Para a área de floresta obtiveram-se coeficientes de correlação iguais a 0,89, em 2000 e 2001, e 0,97 em 2002. Logo, ressalta-se que o modelo de umidade do solo elaborado por Rossato (2002) para todo o Brasil apresenta uma boa representabilidade da variação da quantidade de água no solo no território nacional.

**Palavras-chave:** armazenamento de água no solo, pastagem, floresta.

## ABSTRACT

The objective of this study is to validate the soil moisture model developed by Rossato (2002) using the field data obtained during the LBA experiment. The daily data of the soil water storage were collected at Fazenda Nossa Senhora (10°45'S e 62°22'W), Ji-Paraná, Rondônia, Brazil, during the

<sup>(1,2)</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Av. dos Astronautas, 1758 – Jd. da Granja, São José dos Campos (SP), CEP 12227-010. E-mail: [rossato@cptec.inpe.br](mailto:rossato@cptec.inpe.br), [regina@cptec.inpe.br](mailto:regina@cptec.inpe.br)

<sup>(3)</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Rodovia Presidente Dutra km 39, Cachoeira Paulista (SP), CEP 12630-000. E-mail: [javier@cptec.inpe.br](mailto:javier@cptec.inpe.br)

period 2000 - 2002. Based on this data, the mean monthly soil water storage for the experimental location was estimated and compared with the model results. The percentage variation curve of the soil water storage estimated by the model and the field observation are quite similar. In the pasture, the correlation coefficients between the model results and the observation for the year 2000, 2001, and 2002 were 0.91, 0.88 and 0.94, respectively. In the forest, it was 0,89 for the year 2000 and 2001 and for 2002 were 0,97. However, one can conclude that the model estimates were representative of the observed soil moisture storage for the region and the period of this study.

**Key-words:** soil water storage, pasture, forest

## 1. INTRODUÇÃO

A umidade do solo é uma variável importante nos processos hidrológicos incluindo interações atmosfera-solo, na resposta precipitação/escoamento e nos processos erosivos.

Considerando a importância da umidade do solo, várias técnicas ou métodos têm sido propostos para a sua determinação, a qual pode ser feita direta ou indiretamente, utilizando-se diferentes instrumentos como, por exemplo, a sonda de neutrons e o reflectômetro com domínio temporal (TDR) ou de frequência (FDR). A utilidade e limitações desses instrumentos estão bem documentadas (Gardner, 1986; Baker e Allmaras, 1990; Bárdossy e Lehmann, 1998).

Por outro lado, estes métodos demandam tempo e trabalho, tornando-se, assim, inviável a determinação da umidade do solo sobre extensas áreas, como é o caso do Brasil. Por essa razão, modelos foram desenvolvidos, os quais consistem em avaliar a contabilidade hídrica do solo, até a profundidade explorada pelas raízes, calculando-se, sistematicamente, todos os fluxos decorrentes de trocas com a atmosfera (precipitação, condensação e evapotranspiração) e do próprio movimento subterrâneo da água. Tais modelos são conhecidos como Balanços Hídricos (Hillel, 1980).

Os balanços hídricos têm sido utilizados para estimar parâmetros de natureza climática e, a partir deles, estabelecer comparações entre as condições predominantes em localidades distintas. A idéia fundamental que suporta esse procedimento é a de que, se a mesma metodologia de cálculo do balanço hídrico for adotada para todas as localidades de uma região (nas quais existam os dados requeridos), os resultados encontrados podem ser comparados. Através desse procedimento é muitas vezes possível identificar áreas climaticamente favoráveis à exploração de uma determinada

cultura, bastando para isso que se conheçam suas exigências climáticas, expressas também em termos de parâmetros do balanço hídrico (Silva e Reis, 1990).

Para o cálculo do balanço hídrico, um dos modelos mais conhecidos foi aquele proposto por Thornthwaite em 1948, e posteriormente modificado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). A principal função deste balanço é servir como base para uma classificação climática (Costa, 1994). Este possibilita a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo, com estimativas da evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico, considerando que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo, sendo máxima quando o solo está com a umidade correspondente à capacidade de campo e nula quando esse se encontra no ponto de murchamento permanente. Seguindo estes princípios, Neto e van Lier (1993) apresentaram equações, cuja principal característica é a representabilidade do processo de perda de água no solo em função da sua capacidade de armazenamento de água. Baseado nesse método, Rossato (2002) elaborou um modelo de balanço hídrico para estimar a umidade do solo no Brasil, utilizando uma nova abordagem que incorpora características espaciais da distribuição das propriedades físicas dos solos e da sua conseqüente capacidade de armazenamento de água, por meio da utilização de funções de pedo-transferência (FPT), levando-se em consideração, ainda, os diferentes tipos de cobertura vegetal.

Assim sendo, considerando a importância desta nova metodologia incorporada ao cálculo do balanço hídrico, este trabalho teve por objetivo validar o modelo de umidade do solo elaborado por Rossato (2002), utilizando dados empíricos de umidade do solo obtidos em áreas de pastagem e de floresta no estado de Rondônia. Os dados estimados e os observados foram comparados e analisados estatisticamente, visando avaliar o desempenho do modelo para a região mencionada.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A seguir, apresenta-se uma breve descrição da metodologia utilizada no modelo elaborado por Rossato (2002).

### Modelo de umidade do solo

O modelo de balanço hídrico utilizado para a determinação da umidade do solo para todo o Brasil foi desenvolvido por Rossato (2002), o qual calcula o armazenamento de água no solo a partir de uma expressão simplificada dada por:

$$A_{t+1} = A_t + PRE_t - ETR_t \quad (2.1.1)$$

sendo A o armazenamento de água no solo disponível para as plantas (mm), PRE a precipitação (mm), t o tempo, e ETR a evapotranspiração real da vegetação (mm).

O armazenamento de água no solo foi obtido a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha utilizando-se funções de pedo-transferência (FPT). Estas funções permitem estimar as propriedades hidráulicas a partir de dados básicos dos solos, como, por exemplo, o percentual de areia, de silte, de cascalho e de matéria orgânica, conteúdo de carbono e massa específica global. Para o cálculo da evapotranspiração utilizou-se o modelo de Penman-Monteih. Alguns parâmetros desse modelo foram corrigidos em função das diferentes classes de coberturas vegetais, as quais foram identificadas considerando-se o mapa de vegetação utilizado com o esquema de superfície SSiB ("Simplified Simple Biosphere"), esquema este acoplado aos modelos atmosféricos utilizados no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Finalmente, a estimativa média mensal do armazenamento de água no solo, para o período de 1971-1990, foi obtida a partir da interpolação Krigging (0,25°) dos dados de precipitação pluviométrica e de evapotranspiração. A partir da climatologia do armazenamento de água no solo, identificou-se a sua variação mensal nas diferentes regiões do país.

#### Validação do modelo de umidade do solo

A validação do modelo de umidade do solo mencionado consistiu em comparar os resultados obtidos no modelo com os dados medidos em campo numa região específica. Para isto, consideraram-se dados medidos de umidade do solo, os quais foram obtidos no escopo do experimento de grande escala da biosfera-atmosfera na Amazônia (Projeto LBA).

Para a comparação consideraram-se os valores de umidade do solo medidos a uma profundidade de 1,2 m, pois a capacidade de água disponível para as plantas foi limitada em função do tipo de solo e calculada até esta profundidade radicular.

Assim, considerando os dados estimados pelo modelo e os dados observados em campo, obtiveram-se as curvas da distribuição média mensal da variação da umidade do solo para as áreas de pastagem e de floresta da região de Rondônia e do armazenamento médio mensal de água no solo para o período de 1971-1990 para todo o Brasil.

### Descrição dos dados utilizados

Como mencionado anteriormente, os dados utilizados para a validação foram obtidos no escopo do Projeto LBA, o qual é uma iniciativa de pesquisa internacional liderada pelo Brasil, cuja meta principal é gerar novos conhecimentos para entendimento dos funcionamentos climatológicos, ecológicos, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, o impacto das mudanças no uso da terra nesses funcionamentos e a interação entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra.

As coordenadas geográficas das localidades de coleta de dados de umidade do solo estão descritas na Tabela 2.1.

TABELA 2.1: Descrição das áreas estudadas.

Nome	Localização	Vegetação	Período de dados	Coordenadas
Fazenda Nossa Senhora	Ji-Paraná, Rondônia	Pastagem	Jan/2000-Dez/2002	10°45'S, 62°22'W
Reserva Jaru	Ji-Paraná, Rondônia	Floresta	Jan/2000-Set/2002	10°05'S, 61°55'W

A Figura 1 ilustra a localização dos sítios de pastagem e de floresta em Rondônia.

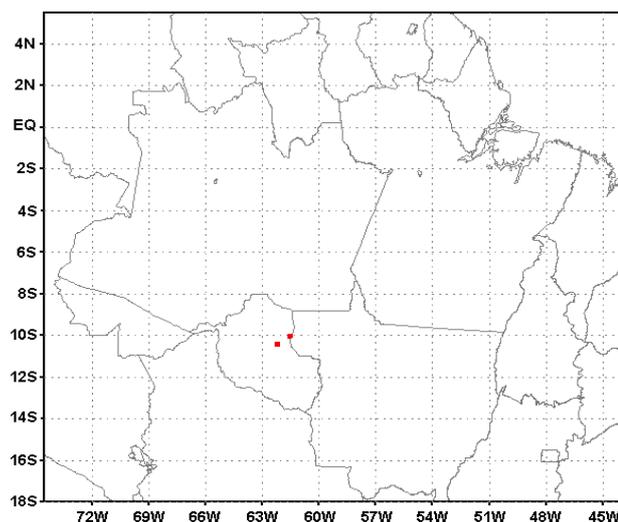
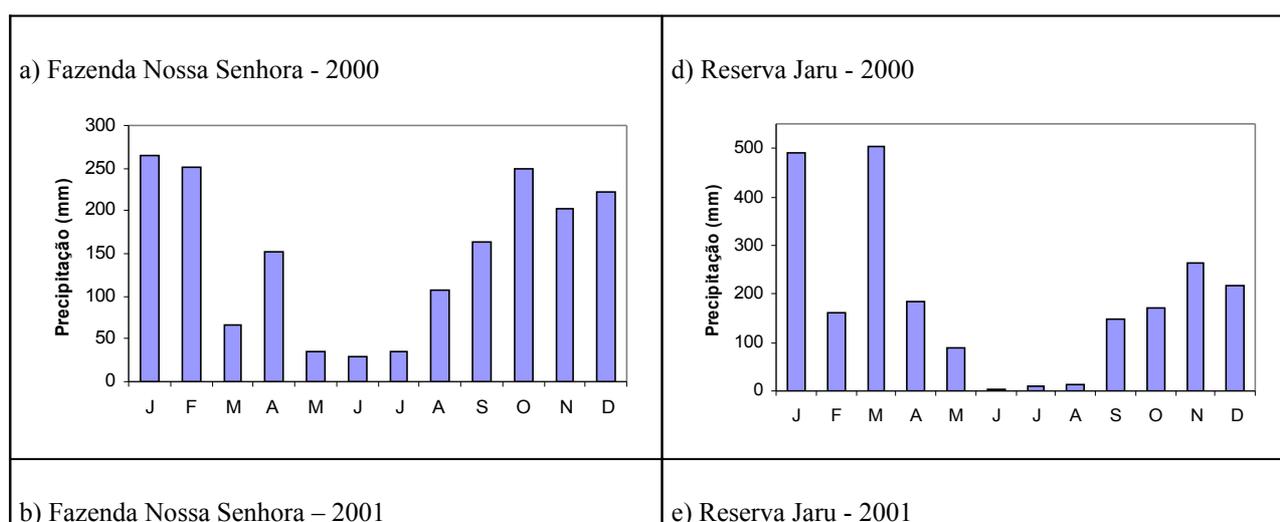


Figura 1: Localizações dos sítios de pastagem (Fazenda Nossa Senhora) e de floresta (Reserva Biológica do Jaru), situados próximos do município de Ji-Paraná, RO.

O conteúdo de água no solo em cada sítio foi medido semanalmente utilizando-se sondas de nêutrons, cujas leituras foram feitas para as profundidades de 0,1 m e de 0,2 m até 2,60 m, com intervalos de 0,2 m. Para a avaliação dos dados observados, calculou-se a média mensal dos dados semanais de umidade do solo coletados durante o período de 2000 a 2002.

Considerando que a variação da umidade do solo é o resultado da atuação conjunta dos regimes de precipitação e de evapotranspiração ocorrentes em um determinado local e/ou região, a Figura 2 apresenta a distribuição da precipitação total mensal (mm) nos sítios mencionados.



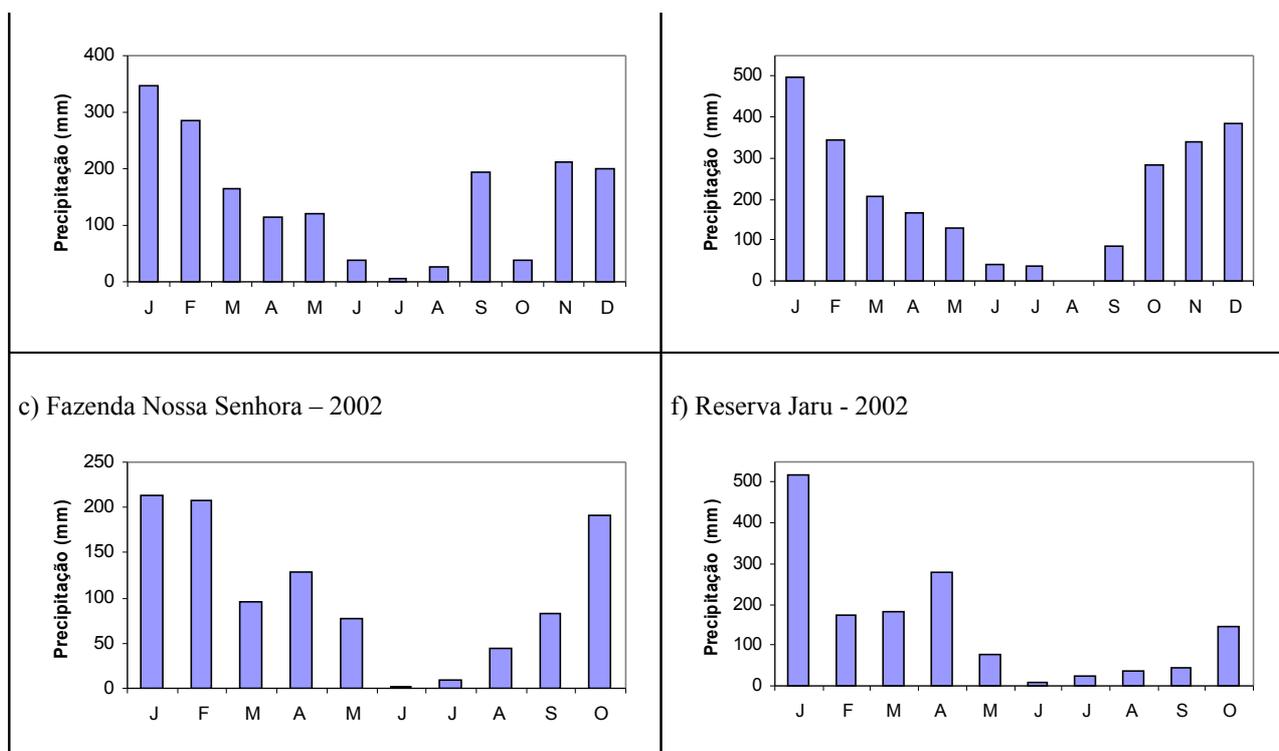


Figura 2: Distribuição da precipitação (total mensal) nos sítios de pastagem (Fazenda Nossa Senhora: a-c) e de floresta (Reserva Jaru: d-f) durante os períodos de janeiro a dezembro de 2000, janeiro a dezembro de 2001 e janeiro a setembro de 2002, respectivamente.

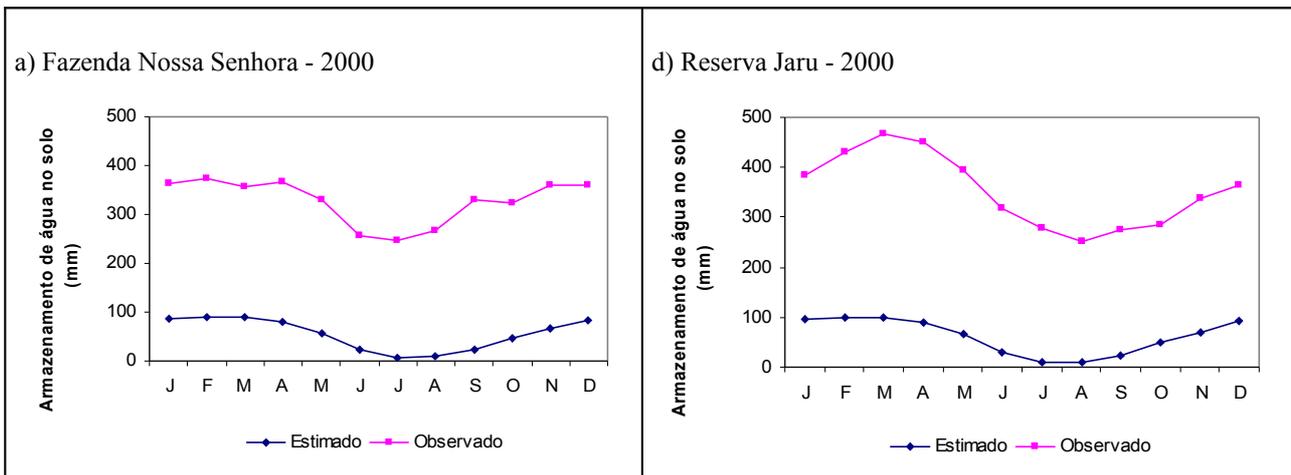
A precipitação total mensal é maior no sítio Reserva Jaru que atinge índices superiores a 500 mm em janeiro, com o período mais seco ocorrendo entre os meses de junho e agosto. Os meses mais úmidos são janeiro e fevereiro, com exceção do mês de fevereiro de 2000 que ocorreu uma diminuição da precipitação. Na área de pastagem (Fazenda Nossa Senhora), a variação da distribuição da precipitação é similar à área de floresta.

Assim sendo, em razão da distribuição da precipitação, espera-se que a quantidade de água no solo seja menor nos meses de junho a agosto.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o modelo para o armazenamento médio climatológico de água no solo (1971-1990) para todo o território brasileiro foram comparados com os dados de armazenamento de água estimados a partir de medidas de umidade do solo até a profundidade de 1,20 m obtidas durante os anos de 2000, 2001 e 2002. A Figura 3 ilustra a variação do

armazenamento de água no solo estimado pelo modelo e aquele observado nos sítios de pastagem e de floresta nos três anos mencionados.



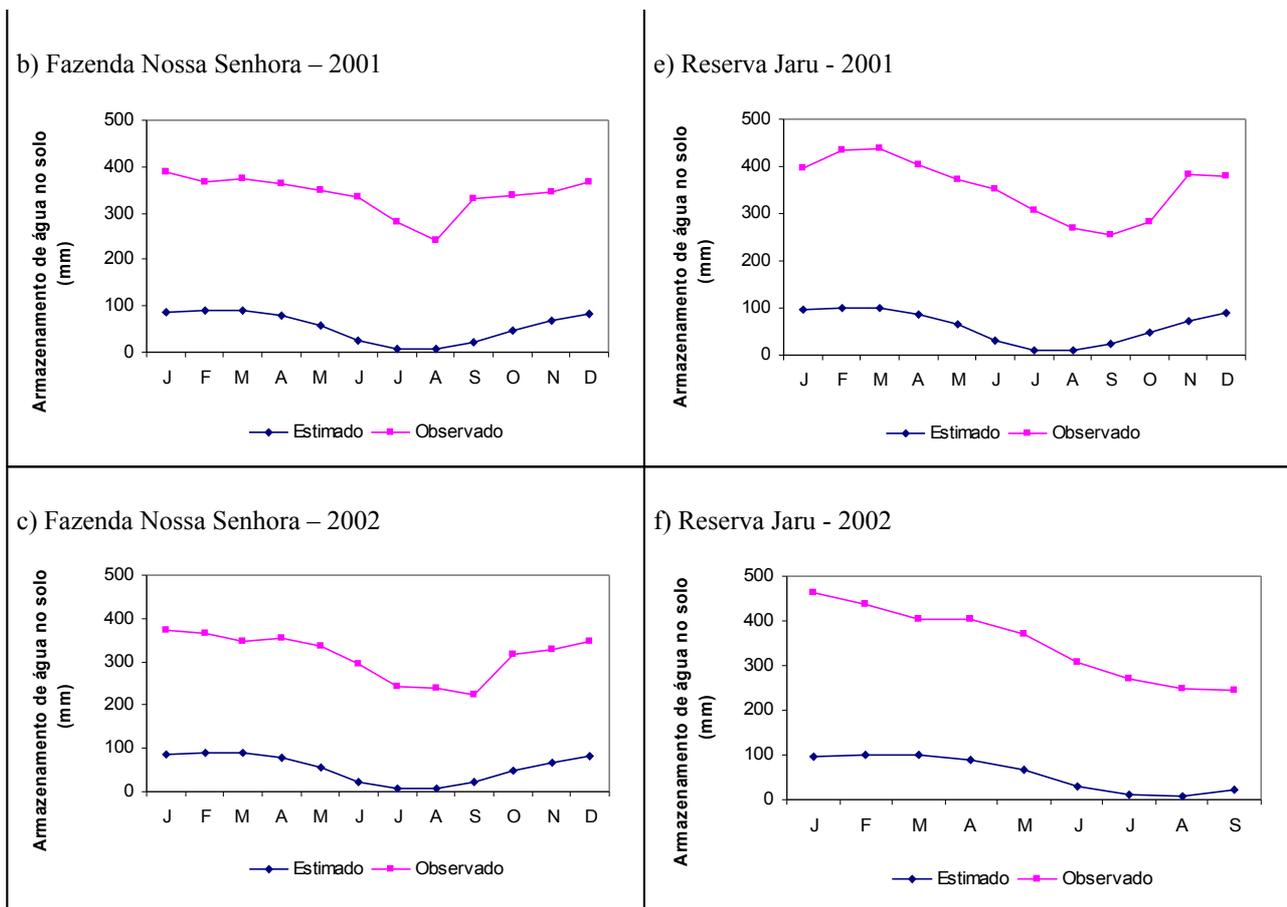


Figura 3: Variação do armazenamento médio mensal de água no solo (mm) estimado e observado para as áreas de pastagem (Fazenda Nossa Senhora) e de floresta (Reserva Jaru).

A partir das figuras acima, verifica-se que a curva de variação do armazenamento de água no solo estimado apresenta a mesma tendência que a curva do armazenamento observado, diferindo significativamente nos valores, tanto para a área de pastagem quanto para a área de floresta. Além disso, nota-se também que, apesar da diferença entre os valores estimados e os observados, o armazenamento de água no solo diminui durante o período de estiagem (cuja diminuição da precipitação pode ser observada na Figura 2), entre junho e setembro. A partir do mês de outubro, com o aumento da precipitação, os valores do armazenamento de água no solo aumentam e se estendem até o mês de maio.

Durante a estação úmida, os comportamentos dos reservatórios de água no solo na floresta e na pastagem são praticamente idênticos. Segundo Hodnett et al. (1995), que avaliaram o armazenamento de água no solo no período de 1991 a 1993 nos mesmos sítios avaliados, as maiores

diferenças do armazenamento de água no solo foram observadas somente na estação seca e foram evidentes somente no segundo metro do perfil de solo.

Os coeficientes de correlação entre os valores estimados (media climatológica) e aqueles medidos na área de pastagem (Fazenda Nossa Senhora) foram iguais a 0,91, 0,88 e 0,94 para os anos de 2000, de 2001 e de 2002, respectivamente. Para a área de floresta, os respectivos coeficientes de correlação foram iguais a 0,89 em 2000 e 2001, e 0,96 em 2002. Embora tenha sido encontrada uma correlação baixa (0,88), pode-se considerar, de modo geral, que todos estes valores são satisfatórios. Outrossim, ressalta-se que as grandes diferenças observadas entre os valores de armazenamento estimados versus os medidos podem ser atribuídas a comparação dos dados medidos pontualmente com dados estimados para uma área relativamente grande (0,25°).

#### **4. CONCLUSÕES**

A fim de validar um modelo de estimativa de umidade do solo para todo o território brasileiro, foram considerados dados de umidade do solo medidos em áreas de pastagem e de floresta na região amazônica.

Para comparação com os valores estimados para o armazenamento de água no solo climatológico (1971-1990), os dados semanais de umidade do solo coletados na Fazenda Nossa Senhora (pastagem) e na Reserva Jaru (floresta), entre o período de 2000 e 2002, foram convertidos em valores médios mensais.

A partir dos resultados observou-se que, apesar da diferença entre os valores estimados e os observados, o armazenamento de água no solo diminui durante o período de estiagem, entre junho e setembro. Além disso, apesar dos valores medidos de umidade do solo não terem sido calibrados, eles estão compatíveis com a distribuição da precipitação média mensal observada nas áreas selecionadas durante o período de análise.

Assim, pode-se concluir que o modelo de umidade do solo elaborado para todo o Brasil apresenta uma boa representabilidade da variação da quantidade de água no solo nas áreas consideradas, apesar de ter sido avaliado utilizando dados estimados representativos de uma área significativa (devido à utilização das técnicas de kriggagem usadas na interpolação).

Finalmente, ressalta-se que as estimativas da disponibilidade hídrica do solo obtidas com o modelo de Rossato (2002) podem ser utilizadas, com cautela, como condições iniciais de modelos de previsão climática. Estes, por sua vez, poderão fornecer simulações de umidade do solo que

servirão de subsídios às atividades agrícolas (como por exemplo, melhor definição das datas de plantio e estimativa dos efeitos das secas/enchentes sobre a queda do rendimento agrícola).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baker, J. M.; Allmaras, R. R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by time domain reflectometry. **Soil Science Society American Journal**, v. 54, n. 1, p. 1-6, 1990.

Bardóssy, A.; Lehmann, W. Spatial distribution of soil moisture in a small catchment. Part 1: geostatistical analysis. **Journal of Hydrology**, v. 206, n. 1-2, p. 1-15, Apr. 1998.

Costa, M. H. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955)**. Viçosa: UFV, 1994. 20p.

Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

Gardner, W. H. Water content. In: Klute, A. ed. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Am. Soc. Agron. Madison: WI, 1986. p. 493-544. (Monog. 9)

Feddes, R. A.; Kabat, P.; Bakel, P. J. T.; van Bronswijk, J. J. B.; Halbertsma, J. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone: state of art. **Journal of Hydrology**, v.100, n.1-3, p.69-111, Jul. 1988.

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

Hodnett, M. G.; Silva, L. P.; Rocha, H. R.; Senna, R. C. Seasonal soil water storage changes beneath central Amzonian rainforest and pasture. **Journal of Hydrology**, v. 170, p. 233-254, 1995.

Neto, D. D.; van Lier, Q. J. Estimativa do armazenamento de água no solo para a realização de balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan. 1993.

Rossato, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2001. 145p. – (INPE-8915-TDI/809).

Silva, M. A. V.; Reis, A. C. S. **Meteorologia**. Recife: s. ed., 1990. 454p.