

DESEMPENHO DO MODELO COMPUTACIONAL SISDA 2.0 NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO EM CONDIÇÕES DE PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL DO SOLO

LUÍS F. STONE¹, JOSÉ A. A. MOREIRA², JOSÉ G. da SILVA²

RESUMO: O desenvolvimento tecnológico da informática tem permitido o surgimento de modelos computacionais para o manejo da irrigação, como o SISDA - Sistema de Suporte à Decisão Agrícola: Manejo dos Cultivos e dos Recursos Hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do SISDA 2.0 no manejo da irrigação do feijoeiro, utilizando o tanque Classe A para estimar a evapotranspiração de referência e coeficientes de cultura determinados para as condições de plantio direto e de preparo convencional do solo. Os valores de umidade do solo estimados pelo SISDA 2.0 apresentaram correlação altamente significativa e alta concordância com os valores medidos, propiciando índices de desempenho que variaram de bom a muito bom. Isso indica que esse modelo e os coeficientes de cultura utilizados mostraram-se adequados para o manejo da irrigação do feijoeiro. Entretanto, são necessários ajustes nos valores dos coeficientes de cultura para a frequência de irrigação e a porcentagem de cobertura do solo pela palhada para melhorar o desempenho do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris*, coeficiente de cultura, umidade do solo.

PERFORMANCE OF SISDA 2.0 COMPUTATIONAL MODEL IN COMMON BEAN IRRIGATION MANAGEMENT UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL SOIL TILLAGE SYSTEMS

SUMMARY: The development of computation technology permitted the appearance of computational models for irrigation management, as SISDA - Support System to Agricultural Decision: Crop and Water Resource Management. The objective of this work was to evaluate the performance of SISDA 2.0 in the management of common bean irrigation, using Class A pan to estimate reference evapotranspiration and crop coefficients, determined to conventional soil tillage and no-tillage conditions. The soil moisture values estimated by SISDA 2.0 showed highly significant correlation and high agreement with the measured values, providing performance indexes varying between good and very good. This indicates that this model and the crop coefficients used were adequate to common bean irrigation management. However, adjustments in the values of crop coefficients for irrigation frequency and percentage of soil covered by mulch are necessary to improve model performance.

KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris*, crop coefficient, soil moisture.

INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelos recursos hídricos para atender ao consumo humano, à indústria e à agricultura irrigada tem estimulado a pesquisa e a adoção de práticas que visam a otimizar o seu uso. Dentre essas destacam-se as relacionadas com o estudo das necessidades hídricas das culturas, em que se procura identificar as exigências das plantas em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Esse

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), Caixa Postal 179, CEP: 75375.000, Santo Antônio de Goiás, GO, e-mail: stone@cnpaf.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF).

Recebido pelo Conselho Editorial em: 31/5/2001

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 11/6/2002

conhecimento é fundamental para o planejamento e otimização do manejo da irrigação. Entretanto, o consumo de água determinado em condições específicas de um local, ano e época de semeadura não pode ser extrapolado em valores absolutos para outras condições. Para que se tenha condições de estimar a necessidade hídrica de uma cultura em uma condição específica, é preciso determinar coeficientes, denominados geralmente “coeficientes de cultura” (K_c), por meio da relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) medida a campo e alguns elementos meteorológicos ou fórmulas de estimativa de evaporação ou evapotranspiração (STONE & SILVEIRA, 1995).

STEINMETZ (1984), em condições de preparo convencional do solo, e STONE & SILVA (1999), em condições de plantio direto, determinaram os valores do coeficiente de cultura para diferentes estádios do feijoeiro, utilizando lisímetro para medir a ET_m e tanque USWB Classe A para estimar a evapotranspiração de referência.

O desenvolvimento tecnológico da informática tem permitido o surgimento de modelos computacionais para o manejo da irrigação. Dentre os modelos existentes destaca-se o SISDA - Sistema de Suporte à Decisão Agrícola: Manejo dos Cultivos e dos Recursos Hídricos, que é um programa interativo desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (atual Ministério do Meio Ambiente), por meio da Secretaria dos Recursos Hídricos com cooperação técnica da Universidade Federal de Viçosa (MANTOVANI et al., 1997). No módulo Manejo, o usuário fornece as informações climáticas ao programa e o sistema calcula a disponibilidade atual de água para a cultura e orienta quando irrigar e qual a lâmina de água a ser aplicada. O uso desse modelo no manejo da irrigação é de grande interesse para a cultura do feijoeiro, que se destaca na agricultura irrigada da região do Cerrado, ocupando área de 172.800 ha em 1999 (IBGE, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do SISDA 2.0 no manejo da irrigação do feijoeiro utilizando o tanque Classe A para estimar a evapotranspiração de referência e os coeficientes de cultura determinados por STEINMETZ (1984) e STONE & SILVA (1999), para as condições de preparo convencional do solo e plantio direto, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em dois experimentos em que o manejo da irrigação foi feito com base na tensão da água do solo, um sob pivô central e outro sob aspersão convencional, ambos em Latossolo Vermelho perférrico. O primeiro experimento foi conduzido na Fazenda Capivara, da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO. Os dados foram obtidos na cultura do feijoeiro, cultivar Aporé, nos tratamentos de preparo convencional do solo com grade aradora pesada e plantio direto, durante o quarto cultivo da área, implantado em 02/6/1994. O segundo experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA-UFG), localizada no município de Goiânia e distante cerca de 12 km do CNPAF. Os dados foram obtidos nos tratamentos com a cultivar Aporé, nos sistemas de preparo convencional do solo com arado de disco e plantio direto, durante o primeiro cultivo, implantado em 09/6/1995.

O pivô central possuía aspersores do tipo difusor, raio de 281,9 m, tempo de giro a 100% de 12,76 h e lâmina média de água de 5,3 mm na área do ensaio. O sistema convencional de aspersão era composto por aspersores operando na pressão de serviço de 400 kPa e dispostos no espaçamento de 24 m x 30 m, com intensidade de precipitação de 30,7 mm h⁻¹.

Em ambos os experimentos, a cultivar Aporé foi semeada com 0,45 m entre linhas e 15 sementes por metro. No primeiro experimento foram aplicados 400 kg ha⁻¹ de adubo da fórmula 4-30-16 na semeadura e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, aos 30 dias após a emergência das

plantas (DAE). No segundo, 400 kg ha⁻¹ da fórmulação 4-30-10 + 25 kg ha⁻¹ de óxido de zinco na semeadura e 30 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, aos 25 DAE.

As irrigações foram realizadas quando a média das leituras de tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade, nos tratamentos com preparo convencional do solo, encontrava-se entre 30 e 40 kPa, como recomendado por SILVEIRA & STONE (1994). A lâmina de água aplicada em cada irrigação foi medida com pluviômetros, sendo a lâmina total de irrigação igual a 307,9 mm, no primeiro experimento, e 365 mm no segundo.

No primeiro experimento a umidade do solo foi determinada diariamente nos dois tratamentos de preparo do solo, nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, pelo método gravimétrico, dos 5 aos 84 DAE, com nove repetições. No segundo, as médias das leituras diárias de quatro tensiômetros por tratamento, obtidas dos 11 aos 83 DAE, nas profundidades de 0,15 e 0,30 m, foram transformadas em umidade com base na curva de retenção da água do solo. Os valores médios observados da umidade do solo, considerando a camada de 0 a 0,40 m no primeiro experimento, e a de 0 a 0,30 m, no segundo, foram comparados com os dados estimados pelo SISDA 2.0.

O cálculo da umidade do solo pelo modelo é feito a partir de valores iniciais de água no solo estabelecidos para cada uma das camadas consideradas. É feito o balanço hídrico diário por camada de solo, considerando a evapotranspiração da cultura e a irrigação ou precipitação efetiva, utilizando informações fornecidas sobre clima, solo, água de irrigação, cultura plantada e equipamento de irrigação utilizado. A água armazenada na camada *j* no dia *i* (Armi) é dada pela diferença entre a água disponível nessa camada no dia *i-1* e a evapotranspiração da cultura acrescida da irrigação ou precipitação efetiva do dia *i*. Se Armi supera a capacidade de armazenamento da camada *j*, o excesso é adicionado ao armazenamento da camada *j+1*. Se houver excesso na última camada, é considerado excesso hídrico correspondente ao dia *i*. A evapotranspiração da cultura na camada *j* no dia *i* é calculada considerando a evapotranspiração de referência do dia *i*, a água disponível no solo na camada *j* no dia *i-1*, a capacidade de água total no solo na camada *j* e o coeficiente de cultura. A precipitação efetiva do dia *i* leva em consideração a precipitação do dia *i*, a água disponível no solo na primeira camada no dia *i-1* e a capacidade de água total no solo na primeira camada.

Neste trabalho, a evapotranspiração de referência foi estimada pela multiplicação da evaporação do tanque Classe A pelo coeficiente do tanque. Os dados diários de umidade relativa e velocidade do vento usados na determinação do coeficiente do tanque e a evaporação do tanque Classe A foram obtidos na estação meteorológica do CNPAF, cujas coordenadas geográficas são: 16°38'S, de latitude; 49°17'W, de longitude; e 823 m de altitude. O tanque Classe A está instalado sobre grama, com bordadura de 100 m. No cálculo da evapotranspiração da cultura foram utilizados os coeficientes de cultura determinados no CNPAF por STEINMETZ (1984) e STONE & SILVA (1999), respectivamente para as condições de preparo convencional do solo (PC) e plantio direto (PD), adaptados para quatro estádios do ciclo, como exige o modelo, como dados de entrada referentes à cultura utilizada (Tabela 1).

TABELA 1. Dados de entrada do modelo SISDA 2.0 referentes à cultura do feijoeiro.

Fase	Duração	Kc		Profundidade Radicular Efetiva (m)	Área Sombreada (%)
		PC	PD		
Inicial	14	0,53	0,49	0,15	15
Desenvolvimento	20	0,93	0,73	0,30	60
Floração/Enchimento das vagens	38	1,28	0,91	0,40	100
Final	13	1,04	0,50	0,40	80

A avaliação das estimativas da umidade do solo foi realizada utilizando-se a análise de regressão, que expressa, por meio do coeficiente de determinação (r^2), quanto os dados medidos e os estimados estão correlacionados, o índice de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985), que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de zero, que indica nulidade, a 1, que indica perfeita exatidão, e o índice de desempenho (c) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), que é o produto do coeficiente de correlação (r) pelo índice de concordância. O índice d é determinado da seguinte forma:

$$d = 1 - [(\sum(P_i - O_i)^2 / \sum(|P_i - O| + |O_i - O|)^2)] \quad (1)$$

em que,

O_i - valor medido da umidade do solo;

P_i - valor estimado da umidade do solo;

O - média dos valores medidos da umidade do solo, e

i - número de eventos, dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação entre os valores medidos e os estimados de umidade do solo foi altamente significativa ($P < 0,01$) no sistema convencional de preparo do solo (Figura 1), tanto para o experimento conduzido no CNPAF ($r^2 = 0,77^{**}$) como para o conduzido na EA-UFG ($r^2 = 0,67^{**}$). No caso do CNPAF, o modelo propiciou ligeira superestimativa, especialmente para os valores mais altos de umidade do solo. Esses valores ocorreram no final da fase inicial e no início da fase de desenvolvimento da cultura, quando a cobertura do solo pela cultura ainda era pouca. Como a frequência de irrigação era alta, o valor de Kc poderia estar subestimado para essa condição. Valor maior de Kc implica em maior depleção da água do solo e valores mais baixos de umidade. Pela metodologia proposta por ALLEN et al. (1998), para as condições vigentes no início da cultura, evapotranspiração de referência de 4 mm e frequência de irrigação de três dias, o valor do Kc inicial seria 0,7 contra o valor de 0,53 usado no trabalho. Isto também afetaria os valores iniciais de Kc da próxima fase, devido que a interpolação usada no modelo considera o valor de Kc da fase anterior.

No caso da EA-UFG, em que a irrigação era feita com menor frequência, isso não ocorreu, havendo inclusive, na média, uma ligeira subestimativa dos valores de umidade do solo. Na fase final, os valores da umidade do solo também foram superestimados no CNPAF, o mesmo não ocorrendo na EA-UFG. A fase final neste trabalho compreendeu o período entre o enchimento de vagens e a maturação fisiológica, que coincidiu com o final da irrigação, que ocorreu cerca de dez dias antes da colheita. Neste período, o valor de Kc é afetado consideravelmente pela frequência de irrigação, quando se consideram valores diários (ALLEN et al., 1998). Assim, embora o valor do Kc final tenha sido adequado às condições da EA-UFG, ele poderia estar subestimado para as do CNPAF, devido a alta frequência de irrigação neste experimento. BERGAMASCHI et al. (1989) encontraram valor de Kc igual a 1,22 para essa fase. Deve-se ressaltar que os valores de Kc utilizados foram determinados com base na evapotranspiração de referência estimada pelo mesmo tanque Classe A utilizado no manejo da irrigação. Esses valores foram obtidos em local próximo ao dos experimentos, na mesma época do ano, nas mesmas condições de desenvolvimento da cultura e, no caso dos Kc determinados para o plantio direto, com a mesma cultivar usada nos experimentos, estando, portanto, bem ajustados às condições experimentais. O que pode ter variado foi a frequência de irrigação do lisímetro por ocasião da determinação da evapotranspiração do feijoeiro.

A divisão do ciclo da cultura em apenas quatro fases é uma das limitações do modelo, quando se deseja obter informações mais acuradas sobre o balanço de água no solo. Entretanto, em termos práticos, o modelo é adequado para manejo da irrigação pois a exatidão das estimativas foi alta, com d igual a 0,90 e 0,86, para os experimentos conduzidos no CNPAF e na EA-UFG, respectivamente,

(Figura 2), sendo os índices de desempenho iguais a 0,79 e 0,70, classificados pelos critérios propostos por CAMARGO & SENTELHAS (1997) como muito bom e bom, respectivamente. Os menores valores de r^2 , d e c verificados nesse último experimento podem ser devidos a menor uniformidade de aplicação de água do sistema convencional de aspersão em comparação ao pivô central. Isso pode ter afetado a distribuição da água no solo e, como foram feitas apenas quatro amostragens, os valores de tensão da água do solo medidos podem não refletir exatamente o valor médio da área experimental. Assim, talvez parte da imprecisão esteja nos valores medidos da umidade do solo.

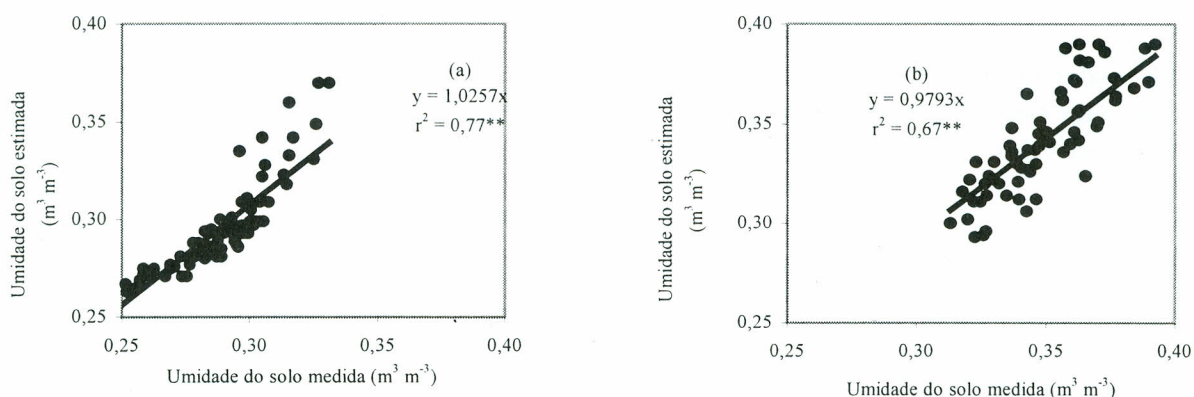


FIGURA 1. Relação entre a umidade média do solo estimada pelo SISDA e a medida nas parcelas com preparo convencional do solo. (a) CNPAF, 1994 e (b) EA-UFG, 1995.

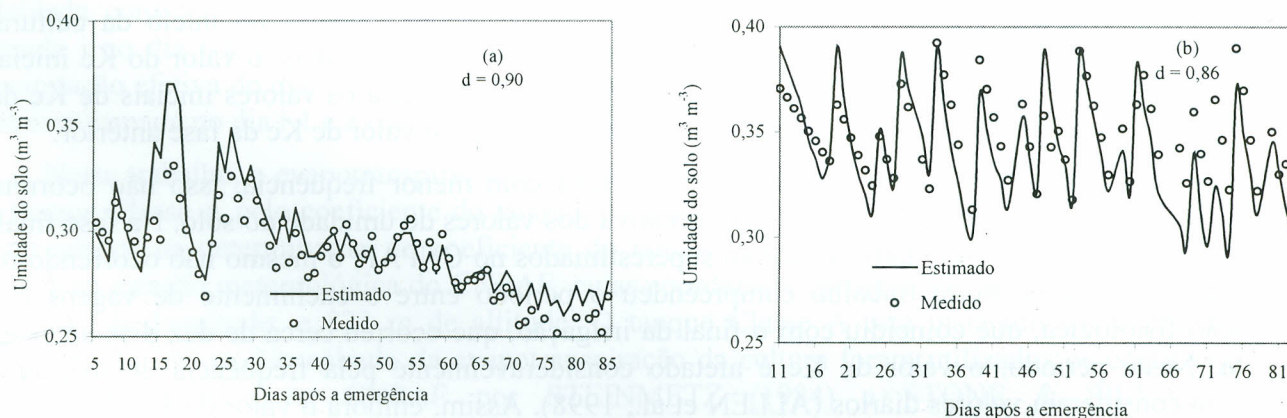


FIGURA 2. Valores medidos e estimados da umidade do solo, ao longo do ciclo do feijoeiro, nas parcelas com preparo convencional do solo. (a) CNPAF, 1994 e (b) EA-UFG, 1995.

A correlação entre os valores medidos e os estimados de umidade do solo também foi altamente significativa ($P < 0,01$) em condições de plantio direto (Figura 3), tanto para o experimento conduzido no CNPAF ($r^2 = 0,59^{**}$) como para o conduzido na EA-UFG ($r^2 = 0,74^{**}$). No experimento conduzido no CNPAF, tanto o valor de r^2 como a exatidão das estimativas foram menores, com d igual a 0,88, resultando em um índice de desempenho igual a 0,68, classificado como bom (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), em comparação ao conduzido na EA-UFG, com d igual a 0,93 e c igual 0,80, classificado como muito bom. Isso provavelmente foi devido ao maior desvio observado entre os valores estimados e os medidos na fase final (Figura 4a). A razão disso é que STONE & SILVA

(1999) determinaram o coeficiente de cultura para condições de boa cobertura do solo pela palhada, o que não era a realidade da área experimental do CNPAF no final do ciclo do feijoeiro. Assim, com o aumento do valor do coeficiente de cultura para 0,8, valor médio obtido por ANDRADE (2001) para essa fase, com 50% de cobertura do solo pela palhada, tanto o valor de r^2 como a exatidão das estimativas aumentaram (Figuras 5 e 6) e o índice c aumentou para 0,77, classificado como muito bom.

Como no plantio direto a palhada sobre a superfície reduz a evaporação do solo, os valores observados de umidade do solo foram maiores e a amplitude de sua variação ao longo do ciclo foi menor que no solo com preparo convencional. Isso pode ter facilitado a redistribuição da água, homogeneizando a umidade do solo na área experimental e minimizando as possíveis imprecisões de amostragem, o que explicaria os valores semelhantes de r^2 e d obtidos com os dois sistemas de aspersão.

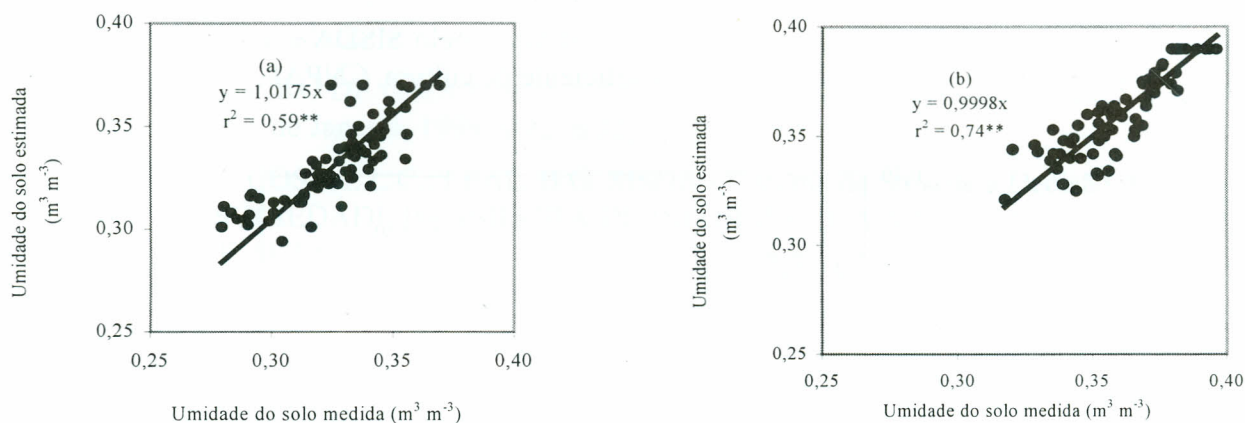


FIGURA 3. Relação entre a umidade média do solo estimada pelo SISDA e a medida nas parcelas sob plantio direto. (a) CNPAF, 1994 e (b) EA-UFG, 1995.

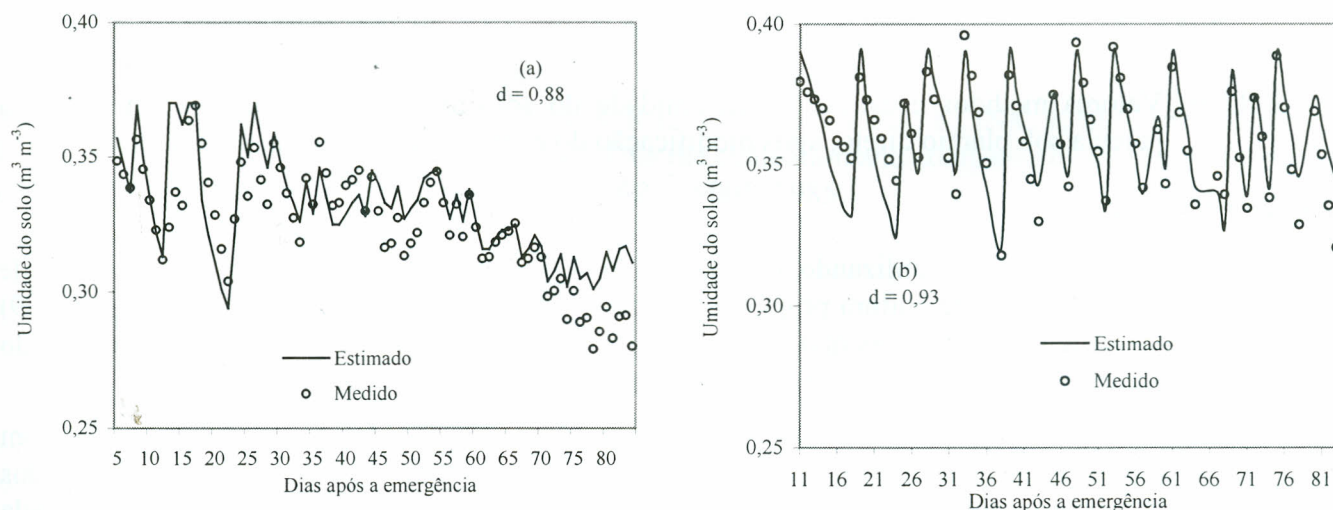


FIGURA 4. Valores medidos e estimados da umidade do solo, ao longo do ciclo do feijoeiro, nas parcelas sob plantio direto. (a) CNPAF, 1994 e (b) EA-UFG, 1995.

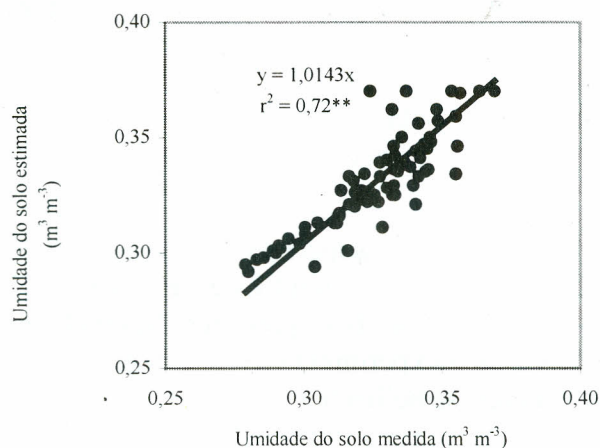


FIGURA 5. Relação entre a umidade média do solo estimada pelo SISDA e a medida na parcela sob plantio direto, após modificação do coeficiente de cultura. CNPAF, 1994.

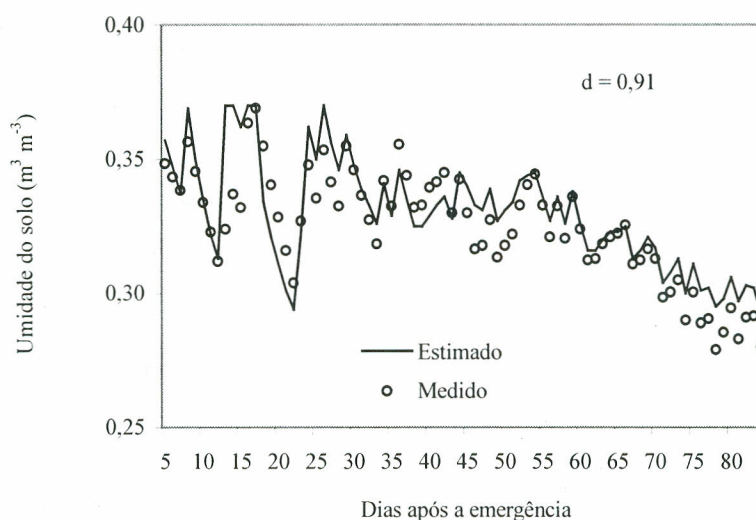


FIGURA 6. Valores medidos e estimados da umidade do solo ao longo do ciclo do feijoeiro, na parcela sob plantio direto, após modificação do coeficiente de cultura. CNPAF, 1994.

CONCLUSÕES

O modelo SISDA 2.0, utilizando o tanque Classe A para cálculo da evapotranspiração de referência e os coeficientes de cultura propostos por STEINMETZ (1984) e STONE & SILVA (1999) para o feijoeiro, apresentou desempenho variando de bom a muito bom na estimativa da umidade do solo, tanto em condições de preparo convencional do solo como em plantio direto.

Em termos práticos, o modelo mostrou-se adequado para manejo da irrigação do feijoeiro com base na evaporação do tanque Classe A. Entretanto, são necessários ajustes nos valores dos coeficientes de cultura para a frequência de irrigação e a porcentagem de cobertura do solo pela palhada para melhorar o desempenho do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE, R. da S. *Consumo relativo de água pelo feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) no sistema plantio direto em função da percentagem de cobertura morta do solo*. 2001. 52 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.4, p.387-92, 1989.
- CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção agrícola*. Rio de Janeiro, 1999. v.12, n.12, 77 p.
- MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C.; LEAL, B.G. SISDA - Sistema de Suporte à Decisão Agrícola. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA - AGROSOFT 97, 1., 1997, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Agrosoft/CTSOFT/SBI-AGRO, 1997. p.377-82.
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46 p. (Circular Técnica, 27).
- STEINMETZ, S. *Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno*. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 4 p. (Pesquisa em Andamento, 47).
- STONE, L.F.; SILVA, S.C. da. *Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p. (Pesquisa em Foco, 25).
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. *Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação*. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1995. 49p. (Documentos, 55).
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.