

COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS MÉTODOS PARA ESTIMAR LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Edemo João Fernandes

Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, ejfernand@fcav.unesp.br.

1 RESUMO

Para comparação entre três métodos de estimativas de lâminas de água para irrigação, um experimento foi instalado na área demonstrativa e experimental de irrigação (ADEI), contendo quatro tratamentos: ET_c (T₁) - irrigação baseada em estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c); Tensiometria (T₂ e T₃) - a irrigação foi efetuada em função das leituras dos dados de tensiômetros instalados a 40 cm de profundidade e Testemunha (T₄) - irrigado somente para promover a emergência das plântulas. Os métodos do tanque classe A e esgotamento de água no solo (EAS) mostraram bons resultados quando se pretende irrigar a cultura sem restrição hídrica. O método de Katerji é interessante quando se deseja economia de água. A frequência de irrigação foi mais importante para a maior produtividade do que a quantidade de água aplicada na cultura.

UNITERMOS: tanque classe A, método Katerji, esgotamento de água no solo, tensiômetro.

FERNANDES, E.J. COMPARISON AMONG THREE METHODS TO ESTIMATE IRRIGATION WATER REQUIREMENT

2 ABSTRACT

An experiment with four treatments was carried out on the experimental area of ADEI to compare three methods of water use requirement: ET_c (T₁) - irrigation based on crop evapotranspiration (ET_c); Tensiometers (T₂ and T₃) - irrigations were made through reading of tensiometers installed at 40 cm deep and, Control (T₄) - only one irrigation to promote the seedlings emergence. Both Class A pan and soil water depletion methods presented good results when the crop was developed without restraint of water. The Katerji method can be utilized in conditions of water restriction. Irrigation frequency was more important than amount of applied water for higher yield.

KEY WORDS: class A pan, Katerji method, water depletion, tensiometer.

3 INTRODUÇÃO

Em culturas irrigadas, um dos fatores mais importantes é a determinação das lâminas de água para reposição das perdas ocorridas em função da evapotranspiração, com o intuito de potencializar a eficiência produtiva. O objetivo da irrigação é dotar o solo com umidade suficiente, na zona de ação radicular, para manter a cultura em conforto hídrico, de tal forma a

minimizar o gasto de energia na absorção de água para as suas atividades internas.

Existem vários métodos para estimar a quantidade de água perdida por uma cultura, como o do tanque classe A e o da tensiometria, que se caracterizam pela sua simplicidade de utilização, custo relativamente baixo e, principalmente, de fácil compreensão e aplicação pelos irrigantes.

Para um eficiente manejo da água, é necessário conhecer as necessidades hídricas das culturas irrigadas durante seu ciclo. A estimativa dessa necessidade é baseada em dados da evapotranspiração de referência (ET_o) do local, multiplicados pelo coeficiente da cultura para cada estágio de seu desenvolvimento (Doorenbos & Pruitt, 1997).

O método de Penman-Monteith é o mais utilizado para a estimativa de ET_o, sendo recomendado pela FAO como método padrão para determinar a ET_o, porém, necessita de dados coletados em estações meteorológicas que nem sempre são medidas ou estão disponíveis. Por esse motivo, o método do tanque classe A vem sendo um dos mais empregados em projetos de irrigação (Pereira et al., 1997).

O tanque Classe A é um método que não necessita de maiores conhecimentos para executá-lo, de custo relativamente baixo, podendo ser instalado no campo próximo à cultura, e, apesar de fornecer valores superestimados da evapotranspiração, apresenta resultados satisfatórios, que são resultados da integração das variáveis climáticas e da cultura.

Medidas de tensão da água no solo têm sido consideradas como alternativas adequadas para a avaliação indireta da deficiência hídrica de uma cultura (Hermann et al., 1990) sendo, portanto, passíveis de utilização em esquemas de manejo e irrigação. Nesse caso, o tensiômetro tem sido apontado como instrumento preciso e simples para estabelecer o momento da irrigação e, indiretamente, para determinar a quantidade de água necessária para a reposição no solo, na hora da irrigação.

Para Reichardt & Timm (2004), mesmo com algumas limitações, o tensiômetro é um ótimo instrumento de campo para indicar quando irrigar, porque para a maioria dos solos, a maior quantidade de água é retida entre os potenciais de 0 e -100 kPa que entre -100 e -1500 kPa.

As cápsulas porosas de cerâmica são construídas com porosidade tal que apresente pressão de borbulhamento superior a 100 kPa (Libardi, 1999) e deve ter condutância alta e uniforme, pois a resposta dos tensiômetros está condicionada a essa característica.

Segundo Assis Júnior & Reichardt (1997), sistemas tensiômetro/transdutor de pressão têm sido utilizados para medir a pressão de água nos poros do solo e a distribuição do gradiente hidráulico, tanto em campo como em laboratórios.

O conhecimento da profundidade efetiva das raízes é fundamental para a realização de projetos e manejo da irrigação, possibilitando a determinação do armazenamento de água no solo e profundidade para instalação de sensores de umidade e conseqüente controle das irrigações (Pires et al., 1991).

Sobre esse assunto, Leshem et al. (1984), em um experimento com milho irrigado em Israel, relataram que, a uma profundidade de 60 cm, o solo continha acima de 30% de água disponível em todos os tratamentos e em todos os períodos. Para profundidades maiores do que 120 cm, a umidade do solo permaneceu na capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura. Na profundidade de 30 a 60 cm, a umidade do solo diminuiu cerca de 30 % da água disponível, em todos os tratamentos, no período de enchimento de grãos (87 dias). Na profundidade de 0 a 30 cm, a umidade do solo reduziu-se à cerca de 30% da água disponível durante 20, 70, 84 e 97 dias, para turnos de 6, 3, 2 e 1 dia de irrigação ou sem irrigação, respectivamente.

Arya et al. (1975) mostraram que a contribuição do total da água perdida na camada

de solo de 10 a 20 cm diminuiu continuamente com o desenvolvimento vegetativo da cultura da soja, enquanto que nas camadas de 30 a 40 cm e 50 a 60 cm os aumentos foram contínuos. Observaram, ainda, que as perdas de água de todas as camadas foram influenciadas pela idade da planta e, quando o solo secou continuamente, o efeito da idade da planta sobre a perda de água foi menos significante.

A relação da produção relativa com o nível mínimo de água disponível na zona da raiz, segundo Stegman (1989), indicou que o solo deve ser mantido com 45-50% da água do solo para atingir a máxima produção na cultura da soja. Porém, Jones et al. (1983) informaram que para a cultura da soja a depleção admitida da água no solo na zona da raiz está na faixa de 30 a 65%. Sobre esse mesmo assunto, Allen et al. (1998) informaram que a depleção máxima de água no solo, para que a cultura da soja não sofra estresse hídrico, é de 50% da água disponível na camada do solo explorada pelas raízes.

O objetivo desse experimento foi comparar três métodos de determinação das lâminas de água a serem aplicadas por intermédio de irrigações e suas relações com várias profundidades do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Área Demonstrativa e Experimental de Irrigação - ADEI, da FCAV/UNESP - campus de Jaboticabal -SP. As coordenadas geográficas são 21°15'22" de Latitude Sul e 48°18'58" de Longitude Oeste, sendo a altitude média de 570 m, apresentando clima Cwa (subtropical) de acordo com a classificação de Köppem.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico argiloso, horizonte A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado.

A cultura da soja, cultivar IAS-5, foi instalada com espaçamento de 63 cm entre linhas. A semeadura foi realizada em 06/05/93 e a emergência de 70% das plântulas ocorreu em 10/05/93, considerando a média final de 25 plantas por metro linear.

As irrigações foram efetuadas por um sistema de aspersão convencional com aspersores espaçados de 18 X 18 m. O experimento foi instalado com quatro tratamentos, perfazendo área total de 1,0 ha, sendo a área útil de cada parcela de 0,1 ha. Os tratamentos foram designados como: ETc (T₁) - irrigação baseada em estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc); Tensiometria (T₂ e T₃) - a irrigação foi efetuada em função das leituras dos dados de tensiômetros instalados a 40 cm de profundidade e Testemunha (T₄) - irrigado somente para promover a emergência das plântulas;

Em todas as parcelas, foram instaladas três baterias de tensiômetros nas profundidades de 20, 40, 60, 80 e 100 cm, com a finalidade de acompanhar a variação do potencial de água no solo. A metodologia adotada para o início da irrigação constou em anotar os valores médios da tensão de água no solo, obtidos pelas leituras dos tensiômetros instalados a 40 cm de profundidade, nas parcelas de T₁, T₂ e T₃, quando a média das leituras dos tensiômetros à 20 cm atingisse 40, 60 e 80 kPa, respectivamente, de acordo com a sugestão de Katerji & Hallaire (1984), doravante denominado método Katerji. As irrigações dessas parcelas foram efetuadas sempre que o valor médio de tensão de água no solo a 40 cm de profundidade atingisse os valores observados.

Para o cálculo do potencial da água no solo, foi utilizada a seguinte expressão matemática:

$$\Psi_m = (-12,6 h_1 + h_2) 9,81 \times 10^{-2} \quad (1)$$

Ψ_m - potencial de água no solo, (kPa);

h_1 - altura da coluna de mercúrio, (cm);

h_2 - distância da superfície do reservatório de mercúrio ao centro da cápsula de cerâmica, (cm).

Em cada profundidade, foi determinado o potencial de água no solo, por intermédio do método da câmara de pressão de Richards (Richards, 1941), até -100 kPa, sendo a capacidade de campo determinada em função da curva de retenção de água no solo, ajustada pela expressão matemática desenvolvida por Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi)^m]^n} \quad (2)$$

θ - umidade a base de volume (cm^3/cm^3);

Ψ - potencial de água no solo (cm);

θ_r - umidade residual (cm^3/cm^3);

θ_s - umidade de saturação (cm^3/cm^3);

α , m e n - parâmetros empíricos do modelo matemático.

Para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, as capacidades de campo foram calculadas em 0,39, 0,32 e 0,34 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente, por intermédio da equação 2.

O Esgotamento de Água do solo (EAS) e Água Disponível (AD) foram calculados pelas seguintes expressões:

$$\text{EAS} = (\theta_a - \theta_{\text{pmp}})p \quad (3)$$

$$\text{AD} = (\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}})p \quad (4)$$

em que,

θ_{cc} = umidade do solo à base de volume na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_a – umidade atual do solo à base de volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{pmp} - umidade do solo à base de volume no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

p - camada do solo em estudo, cm

Nas camadas do solo de 0-40, 0-60 e 0-100 cm, as quantidades estimadas de água disponível foram 33,2, 46,2 mm e 86,0 mm

A quantidade de água aplicada foi calculada segundo metodologia proposta por Allen et al. (1998), em função dos dados de evaporação fornecidos por um tanque classe A e do coeficiente cultural, utilizando-se as seguintes equações:

$$\text{ET}_o = \text{Eca K}_p \quad (5)$$

$$\text{ET}_c = \text{ET}_o \text{K}_c \quad (6)$$

ET_o - evapotranspiração de referência (grama-batatais), (mm);

Eca - evaporação medida no tanque classe A (mm);

K_p - coeficiente do tanque classe A;

ET_c - evapotranspiração da cultura (mm).

K_c - coeficiente cultural;

A produção de grãos foi avaliada, colhendo-se as vagens da soja de uma área de 0,03 ha dentro de cada parcela, reservada especialmente para esta operação e determinando-se o peso

dos grãos com 13 % de umidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os tratamentos receberam uma lâmina média de água de 26 mm, aos 29 dias após a emergência (d.a.e.), a fim de se iniciar o experimento com todas as parcelas contendo o mesmo teor de água no solo. Aos 39 d.a.e. ocorreu uma chuva de 9,2 mm. A soma dos valores da evapotranspiração da cultura iniciou-se aos 40 d.a.e.

O tratamento T₁ recebeu, durante todo o seu ciclo, 437,6 mm de água, sendo que 157,9 mm foram devidos às irrigações. As parcelas do tratamento T₂ tiveram um aporte de 410,9 mm, dos quais 131,2 mm foram por intermédio de irrigações, enquanto que as do T₃ receberam 437,1 mm, com 157,4 mm pelas irrigações. T₄ recebeu uma lâmina de água total de 172,9 mm, sendo 26 mm da irrigação inicial. Esse último recebeu menor quantidade de água das precipitações (132,8 mm) devido à diminuição de seu ciclo. Observa-se que não existe uma grande diferença entre as quantidades de água recebidas pelos diversos tratamentos, mas o número de irrigações foi diferentes entre eles (6,4 e 3, respectivamente para T₁, T₂ e T₃).

Para o tratamento T₁ a primeira irrigação foi efetuada quando os valores médios de potencial de água no solo foram -38,3 e -24,3 kPa para as profundidades de 20 e 40 cm, respectivamente. Para o tratamento T₂ efetuou-se a primeira irrigação quando o valor médio de tensão de água no solo à 40 cm de profundidade atingiu 40,1 kPa (68,7 kPa na profundidade de 20 cm) e para o T₃, 80,7 kPa (86,1 kPa para 20 cm), valores esses tomados como referência para as outras irrigações efetuadas nesses tratamentos (Katerji & Hallaire, 1984).

Em todas as camadas de solo estudadas (0-40; 0-60 e 0-100 cm), não ocorreram drenagens de água, tendo em vista que os maiores valores de água disponível encontrados em cada uma dessas camadas estavam sempre abaixo da capacidade de campo.

Tabela 1. Valores do esgotamento de água no solo (EAS) na camada de 0-40 cm, somatório da evapotranspiração da cultura (ΣET_c) e irrigações efetuadas pela metodologia sugerida por Katerji

D.A.E.	TRATAMENTOS										
	T ₁			T ₂			T ₃			T ₄	
	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
46	6,3	12,1	11,4							4,3	12,1
53				10,0	29,2	20,5				12,4	17,1
56	12,5	28,5	16,8							13,7	14,9
64	16,0	30,8	21,6	14,3	42,2	18,7	16,8	71,4	40,7	16,7	27,3
71	14,4	19,0	34,1							17,2	19,0
73				15,9	26,7	29,6	6,4	26,7	42,5	23,0	7,8
85	15,8	48,6	31,7								40,8
88	7,3	10,7	16,3	6,7	51,6	36,4					10,7
93							14,8	67,9	48,2		16,3
Total	72,3	149,7	131,9	46,9	149,7	105,2	38,0	166,0	131,4		166,0

D.a.e. – dias após a emergência.

EAS – esgotamento da água do solo.

ΣET_c – somatório dos valores da evapotranspiração da cultura.

Ir – irrigação efetuada na parcela.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios do esgotamento de água no solo (EAS) até a profundidade de 40 cm, somatório da evapotranspiração da cultura (ΣETc) e irrigações efetuadas nas parcelas de todos os tratamentos. Verifica-se que as aplicações de lâminas de água nas parcelas de T_1 , efetuadas com base na metodologia Katerji, apresentaram valores próximos ao ΣETc somente na primeira e última irrigação. Os valores das lâminas de água foram inferiores ao ΣETc na primeira (5,8 %), segunda (41,0 %), terceira (29,9 %) e quinta irrigação (34,8 %) e superiores à quarta (44,3 %) e sexta irrigação (12,3 %).

Para o tratamento T_2 , os valores das lâminas de água aplicadas foram inferiores ao ΣETc na primeira (29,8 %), segunda (55,7 %) e quarta irrigação (29,4 %), sendo superior apenas na terceira irrigação (41,0 %). As quantidades de água aplicadas no T_3 foram inferiores à ΣETc na primeira e terceira irrigação (43,0 e 28,9%, respectivamente) e superior na segunda (37,2%). Portanto, existiram variações entre os dois métodos, verificando que os valores totais da ΣETc foram sempre maiores do que os das quantidades de água aplicadas por meio das irrigações, segundo a metodologia Katerji. Considerando o esgotamento de água no solo até 40 cm, observa-se que, empregando a metodologia Katerji, utilizou-se, no T_1 , 59,6 mm a mais de água (45,3%), enquanto que, se fosse usado o método do tanque classe A, esse valor seria 81 mm (52,8%). Para T_2 , seriam gastos 58,3 (55,4%) e 102,8 mm (68,7%) a mais de água, respectivamente. No tratamento T_3 , esses valores corresponderiam a 93,4 (71,1%) e 127,5 mm (76,8%), respectivamente.

Evidencia-se, portanto, que os dois métodos superestimaram a quantidade de água evapotranspirada, sendo que o método do tanque classe A apresentou, no total aplicado, os maiores valores de lâminas de água em todos os tratamentos. O menor valor de esgotamento de água no solo no T_1 (6,3 mm) correspondeu a 19% da reserva utilizável, enquanto que o maior (16,0 mm) a (48%), sendo inferior ao preconizado por Allen et al (1998), indicando que nessa camada do solo a umidade foi suficiente para atender as exigências hídricas da cultura. No T_2 , o maior valor (15,9 mm) correspondeu a 47,9% da AD, denotando que também nesse tratamento a cultura foi conduzida sob conforto hídrico. Para T_3 , entretanto, a primeira irrigação foi efetuada quando a depleção de água no solo atingiu 50,6% da AD. No T_4 , como não houve aporte de água, o esgotamento foi crescente até atingir 23,0 mm (73 d.a.e.), o que correspondeu a 69,4% da AD. Esse foi o máximo valor registrado de esgotamento de água no solo em função do limite de ação dos tensiômetros. A soma dos valores de evapotranspiração da cultura entre 40 e 93 d.a.e. foi de 166,0 mm.

A quantidade total de água aplicada em T_1 foi quase a mesma de T_3 , porém, nesse último, o esgotamento de água no solo foi bem menor do que o primeiro, indicando que a frequência de irrigação foi mais importante do que a quantidade de água aplicada para a evapotranspiração da cultura. Observa-se que, quanto maior o número de irrigações efetuadas maior a quantidade de água esgotada do solo, mostrando que a maior frequência de irrigação favoreceu a evapotranspiração. Conseqüentemente, T_4 apresentou o menor valor de esgotamento de água no solo, devido, principalmente, ao fechamento estomático em função da diminuição de umidade do solo.

Na Tabela 2, estão os valores do esgotamento de água na camada do solo 0-60 cm, somatório da evapotranspiração da cultura e irrigações efetuadas nas parcelas dos tratamentos. As irrigações efetuadas pelo método Katerji, na parcela do T_1 , apresentaram maiores diferenças apenas na quarta e quinta irrigação, em relação aos valores de EAS, enquanto que o ΣETc mostrou maiores diferenças na segunda, terceira e quinta irrigação. Na quantidade total de água aplicada, o método Katerji utilizou 22 mm (16,7%) a mais do que o EAS, enquanto que se fosse utilizado o ΣETc essa diferença seria de 39,8 (26,6%). Se fosse utilizado o ΣETc , haveria uma diferença em quantidade de água aplicada de 17,8 mm em relação ao método

Katerji. O maior valor de EAS nesse tratamento foi 24,0 mm (quinta irrigação), correspondendo a 52,0% da AD, indicando que entre a quarta e quinta irrigação a cultura sofreu estresse hídrico.

Tabela 2. Valores do esgotamento de água no solo (EAS) na camada de 0-60 cm, somatório da evapotranspiração da cultura (ΣET_c) e irrigações efetuadas pela metodologia sugerida por Katerji

D.A.E.	TRATAMENTOS										
	T ₁			T ₂			T ₃			T ₄	
	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c	Ir	EAS	ΣET_c
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
46	9,3	12,1	11,4							7,8	12,1
53				13,6	29,2	20,5				17,3	17,1
56	16,9	28,5	16,8							19,0	14,9
64	22,4	30,8	21,6	20,5	42,2	18,7	23,5	71,4	40,7	24,8	27,3
71	21,9	19,0	34,1							30,3	19,0
73				23,9	26,7	29,6	12,9	26,7	42,5	36,1	7,8
85	24,0	48,6	31,7								40,8
88	15,4	10,7	16,3	19,8	51,6	36,4					10,7
93							21,7	67,9	48,2		16,3
Total	109,9	149,7	131,9	77,8	149,7	105,2	58,1	166,0	131,4		166,0

D.a.e. – dias após a emergência.

EAS – esgotamento da água do solo.

ΣET_c – somatório dos valores da evapotranspiração da cultura.

Ir – irrigação efetuada na parcela.

Em T₂, as irrigações efetuadas pelo método Katerji apresentaram maiores diferenças nas quantidades de água aplicada, em relação ao EAS, na primeira e quarta irrigações, ao passo que o ΣET_c , excetuando a terceira irrigação, exibiu grandes diferenças nas demais. A diferença na quantidade total de água entre o método Katerji e o EAS foi 27,4 mm (26%), entre o ΣET_c e o EAS 71,9 mm (48%) e entre o método Katerji e ΣET_c 44,5 mm (29,7%), indicando que o método do tanque classe A superestimou a quantidade de água aplicada. O maior EAS (23,9 mm) nesse tratamento correspondeu a 51,7% da AD, gerando, portanto, segundo Allen et al (1998), estresse hídrico entre a segunda e terceira irrigação.

Em T₃, tanto utilizando o método Katerji como o ΣET_c , as diferenças entre lâminas de água em relação ao EAS foram muito grandes. No método Katerji a maior diferença foi 29,6 mm, ocorrida na segunda irrigação, valor muito superior ao próprio esgotamento de água no solo. A maior diferença entre o ΣET_c e EAS foi 47,9 mm. O método Katerji, utilizou 73,3 mm de água a mais do que o EAS, enquanto que se utilizasse o ΣET_c , essa diferença seria de 107,9 mm. O EAS no T₄ foi de 36,1 mm, valor superior ao encontrado na camada do solo de 0-40 cm, indicando que as raízes da planta utilizaram água armazenada até 60 cm de profundidade. Os EAS para os outros tratamentos também aumentaram em relação à profundidade de 0-40 cm, indicando que houve aproveitamento de água pelas raízes das plantas nessa camada do solo.

Na Tabela 3, estão os valores médios de esgotamento de água na camada de solo de 0 - 100 cm, ΣET_c e irrigações efetuadas em todos os tratamentos. Percebe-se aumento no esgotamento de água no solo em todos os tratamentos, em relação à camada de 0-60 cm,

indicando que as plantas utilizaram a água contida nessa camada. As irrigações efetuadas em T₁, pela metodologia Katerji, apresentaram maiores diferenças em relação ao EAS na sexta irrigação (43,4%), terceira (28,5%) e segunda (25%). Utilizando-se o ΣETc, as maiores diferenças em relação ao EAS foram 62,8% (sexta irrigação), 40,1% (quarta irrigação), 24,9% (quinta irrigação) e 21,4% (segunda irrigação). Comparando-se os totais, nota-se que o ΣETc apresentou a menor diferença em relação ao EAS (7,9%), ao passo que para o método Katerji essa diferença foi (18,9%).

Tabela 3. Valores do esgotamento de água no solo (EAS) na camada de 0-100 cm, somatório da evapotranspiração da cultura (ΣETc) e irrigações efetuadas pela metodologia sugerida por Katerji

D.A.E.	TRATAMENTOS										
	T ₁			T ₂			T ₃			T ₄	
	EAS	ΣETc	Ir	EAS	ΣETc	Ir	EAS	ΣETc	Ir	EAS	ΣETc
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
46	13,0	12,1	11,4							10,8	12,1
53				18,4	29,2	20,5				22,4	17,1
56	22,4	28,5	16,8							28,8	14,9
64	30,2	30,8	21,6	28,5	42,2	18,7	30,8	71,4	40,7	34,5	27,3
71	31,7	19,0	34,1							42,5	19,0
73				35,2	26,7	29,6	21,9	26,7	42,5	49,2	7,8
85	36,5	48,6	31,7								40,8
88	28,8	10,7	16,3	34,4	51,6	36,4					10,7
93							30,8	67,9	48,2		16,3
Total	162,6	149,7	131,9	116,5	149,7	105,2	83,5	166,0	131,4		166,0

D.a.e. – dias após a emergência.

EAS – esgotamento da água do solo.

ΣETc – somatório dos valores da evapotranspiração da cultura.

Ir – irrigação efetuada na parcela.

Para o T₂, as maiores diferenças entre o EAS e a metodologia Katerji ocorreram na segunda (34,4%) e terceira irrigação (15,9%), enquanto que a ΣETc apresentou maiores diferenças, em relação ao EAS, em todas irrigações, com a maior ocorrendo na primeira irrigação (37%). Verificando os totais, observa-se que o ΣETc superestimou o EAS em 33,2 mm (22,02%), ao passo que o método Katerji subestimou o EAS em 11,3 mm (9,7%). Em T₃, a maior diferença ocorrida entre o método Katerji e o EAS foi 20,6 mm (48,5%) e entre a ΣETc e EAS, de 40,6 mm (56,9%). Com relação aos totais, percebe-se que os dois métodos superestimaram o EAS, sendo 82,5 mm (49,7%) no ΣETc e 47,9 mm (36,4%).

Os maiores valores encontrados em T₂ e T₃, pelo método da ΣETc em comparação ao EAS, foi devido à diminuição da evapotranspiração em função do decréscimo da água no solo.

Examinando as Tabelas 1, 2 e 3, verifica-se que o EAS decresce com a diminuição do número de irrigações, isso porque, quanto menor o número de irrigações, maior o intervalo entre elas, o que poderia promover maior evapotranspiração. Porém, a planta regula sua transpiração em condições de menor conteúdo de água no solo, evitando perdas excessivas. Além disso, a ocorrência da evaporação diminui a umidade na camada superficial do solo, gerando uma barreira que dificulta a saída do vapor d'água e reduzindo, desse modo, a

evaporação. De modo inverso, ou seja, quanto maior a frequência de irrigação, maior o esgotamento de água no solo, isso porque a planta, não tendo restrição hídrica, evapotranspirará em sua taxa potencial.

As diferenças de EAS entre os tratamentos, na camada 0-40 cm, foram 25,4 mm (35,1%) entre T₁ e T₂, 34,3 mm (47,4%) entre T₁ e T₃ e 8,9 mm (19%) entre T₂ e T₃. Para a camada até 60 cm esses valores foram 32 mm (29,1%), 51,8 mm (47,1 %) e 19,8 mm (25,4%), respectivamente. Para o perfil do solo até 100 cm consistiram em 46,1 mm (28,4%), 79,1 mm (48,6%) e 33 mm (28,3%), respectivamente. Observa-se que os valores, excetuando a primeira camada de solo para T₁-T₂ e T₁-T₃, mostraram diferenças bastante semelhantes entre os esgotamentos de água no solo, indicando que, de fato, o fechamento dos estômatos e a barreira criada na camada superficial do solo seco impediram maior perda de água nos tratamentos com menor número de irrigações. Percebe-se que, à medida que aumentamos o perfil do solo estudado, maior é o esgotamento de água, caracterizando a ascensão capilar ou a ação das raízes em camadas mais profundas.

A Tabela 4 apresenta os dados de produção de grãos para todos os tratamentos e sua porcentagem em relação ao tratamento T₁. Verifica-se uma pequena diferença entre os tratamentos T₁ e T₂ (8,2%), mas grandes diferenças entre esses tratamentos e os T₃ e T₄. O tratamento T₃ produziu 28,5 e 22,1 % a menos do que os tratamentos T₁ e T₂, respectivamente. O tratamento T₄ produziu 77,6; 75,6 e 68,7 % a menos do que os tratamentos T₁, T₂ e T₃, respectivamente. Verifica-se que, embora as diferenças no total de água recebida pelos tratamentos T₁, T₂ e T₃ sejam pequenas (438; 411 e 437 mm, respectivamente), as produções apresentaram variações consideráveis. Isto conduz à hipótese, nas condições desse experimento, de que um dos fatores mais importantes para uma maior produtividade, além da quantidade de água aplicada, foi o intervalo de aplicação. Esses resultados concordam com os apresentados por Sullivan & Brun (1975) e Finn & Brun (1980). Diminuindo-se os intervalos entre as irrigações, ocasionaria menores quantidades de água por irrigação, mas maior frequência, como o que ocorreu com o tratamento T₁.

Tabela 4. Data da colheita, produtividade (kg ha⁻¹), porcentagem em relação ao tratamento mais produtivo e lâminas totais de água recebidas por cada tratamento.

Data	Tratamento	Produção (kg ha ⁻¹)	%	Lâmina total (mm)
20/9/93	T1	2120	100,0	437,6
20/9/93	T2	1946	91,8	410,9
20/9/93	T3	1516	71,5	437,1
02/9/93	T4	474	22,4	172,9

A diminuição de duas irrigações em T₂ ocasionou um decréscimo de 35,1% no EAS da primeira camada estudada, em relação ao T₁, enquanto que em T₃ essa diferença foi 47,4%. Na camada de solo de 0-60 cm, essas desigualdades foram 29,1% e 47,1 %, enquanto que, na de 0-100 cm, chegou-se a 28,4% e 48,6%, respectivamente.

Os três métodos mostraram valores bastante distintos quando houve diminuição do número de irrigações nas três camadas de solo estudadas. Nessas condições, a ETc apresentou sempre maiores valores totais de lâminas de água em relação aos outros dois métodos. A lâmina total de água aplicada no T₃ (método Katerji) foi superior ao EAS das três camadas de solo estudadas e, mesmo assim, esse tratamento apresentou menor produtividade em relação aos outros dois irrigados.

Fica evidente, portanto, que o uso do EAS para determinar as lâminas de irrigação é interessante somente quando a cultura está em conforto hídrico, pois à medida que ocorre

estresse hídrico, o valor do EAS não condiz com as reais necessidades da cultura.

Em relação ao T₁, verifica-se que, tanto o método Katerji como a ETc, exibiram valores totais de lâminas de água superiores ao EAS nas duas primeiras camadas de solo estudadas, porém, na camada de 0-100 cm, o EAS foi superior aos valores desses dois métodos. Nessa camada, a lâmina total de água obtida com a ETc teve menor diferença (7,9%) em relação ao EAS do que o método Katerji (18,9%).

Portanto, o EAS não é um método indicado para a irrigação de culturas quando se visa a economia de água em detrimento à produtividade, condição importante quando existe escassez de água para a irrigação, sendo interessante a utilização do método Katerji. Isso pode ser bem compreendido quando se observa o T₂, em que o método Katerji utilizou menos água do que os outros dois métodos (camada de solo de 0-100 cm) e a produtividade foi apenas 8,2% menor do que a mais produtiva, com uma economia de 35,3% de lâmina total de água. Quando se pretende manejar a cultura em boas condições hídricas, o EAS deve ser empregado quando se utiliza uma camada de solo mais profunda pois, desse modo, esse método contemplará a ascensão capilar.

6 CONCLUSÕES

A frequência de irrigação foi fator mais importante para evapotranspiração da cultura do que a quantidade de água aplicada via irrigação. O esgotamento de água no solo diminuiu com a redução do número de irrigações, ou seja, com o aumento do intervalo entre as irrigações; portanto, esse método não deve ser empregado quando se deseja economia de água. A produtividade da cultura foi diretamente relacionada à frequência de irrigação. O método do tanque classe A superestimou os valores de lâminas de água em relação aos outros dois métodos, nas duas primeiras camadas de solo estudadas. Os métodos do EAS e do tanque classe A podem ser empregados quando se deseja uma cultura sem restrições hídricas e empregando-se um maior perfil do solo. O método Katerji apresentou bons resultados em condições de restrição hídrica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage, 1998 (Paper 56).

ARYA, L. M.; BLAKE, G. R.; FARREL, D. A. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybeans roots. II. Effect of plant growth on soil water pressure and water loss patterns. **Soil Science of Society American Proceedings**, Madison, v. 39, p. 430-436, 1975.

ASSIS JÚNIOR, R. N.; REICHARDT, K. Determinação do potencial mátrico da água no solo por tensiômetro de câmara de ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCE, 1997. CD-Rom.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidade hídrica das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

FINN, G. A.; BRUN, A. Water stress effects on CO₂ assimilation, photosynthate partitioning, stomatal resistance, and nodole activity in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 4, p. 431-434, 1980.

GENUCHTEN, M. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-898, 1980.

HEERMANN, D.F. et al. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R.; (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASAE, 1990. p. 509-535 (ASAE. Agronomy Series, 30).

JONES, J. W.; ZUR, B.; BOOTE, K. J. Field evaluation of water relations model for soybean. II. Diurnal fluctuations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 281-286, 1983.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. **Agronomie**, Paris, v. 4, n. 10, p. 999-1008, 1984.

LESHEM, Y.; WEISSMAN, J.; SHARABANI, N. Effects of irrigation regimes on maize yields. **Water & Irrigation Review**, v. 4, p. 9-11, 1984.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2 ed. Piracicaba: o autor, 1999. 501 p.
PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PIRES, R. C. M. et al. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e de trigo sob pivô-central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

RICHARDS, L. A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, p. 377, 1941.

STEGMAN, E. C. Soybean yields as influenced by timing of T deficits. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 2, p. 551-557, 1989.

SULLIVAN, T. P.; BRUN, W. A. Effect of root genotype on short water relations in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 319-322, 1975.