

SOFTWARES PARA ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DE CULTURA SINGLE E DUAL

Andre Herman Freire Bezerra¹; Sérgio Luiz Aguilar Levien²

1 Engenheiro Agrônomo, Bolsista CAPES, Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, e-mail: andre.herman@yahoo.com

2 Engenheiro Agrícola, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN, e-mail: sergiolevien@ufersa.edu.br

RESUMO

A variabilidade das necessidades hídricas das culturas depende, principalmente, das condições climáticas. A necessidade de água das culturas se expressa normalmente pela taxa de evapotranspiração e que depende das condições meteorológicas, da disponibilidade hídrica do solo, do estado sanitário e nutricional da cultura, dentre outros fatores inerentes ao local de cultivo. Para a melhoria no manejo da irrigação é necessário saber a quantidade ideal de água a ser utilizada pela planta, evitando desperdícios de água e energia. Neste trabalho, são apresentadas duas ferramentas computacionais, baseada na metodologia proposta no Manual FAO 56. Os softwares de simulação do Kc single (SingleKcSIM) e do Kc dual (DualKcSIM), servem para auxiliar o irrigante, ajustando os coeficientes de cultura para os diferentes tipos de solo e clima, permitindo ao usuário também alterar a duração das fases da cultura para uma maior precisão no resultado final.

PALAVRAS-CHAVE: FAO 56, manejo da irrigação, evapotranspiração da cultura

SINGLE AND DUAL CROP COEFFICIENT ESTIMATION SOFTWARE

ABSTRACT

The crop water needs are quite variable and depend, mainly, of weather conditions. The crop water need express itself, normally, by the evapotranspiration and it depends of meteorological conditions, soil water quantity, crop's health and nutrition, among others factors relating to cultivation area. To improve the irrigation management is necessary to know the amount of water to be used by the plant, avoiding wastage of water and energy. In this paper, computational tools are presented, based on the methodology proposed by the FAO 56 Manual. The Kc single and Kc dual simulation softwares (SingleKcSIM and DualKcSIM), adjusts the crop coefficients for different soil and climate types. The user can change the duration of the crop development stages to obtain a better precision on the final result.

KEYWORDS: FAO 56, irrigation management, crop evapotranspiration

INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semi-áridas, a limitação da água deve ser particularmente considerada no planejamento da irrigação, visando à necessidade de otimização dos recursos hídricos disponíveis para a maximização da receita líquida por unidade de

volume de água aplicado (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001). A utilização eficiente da água está se tornando cada vez mais importante devido à escassez de recursos hídricos na região e ao elevado custo da energia, o que torna cada vez mais necessário o uso de metodologias apropriadas ao manejo racional do uso da água e uma delas é a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).

Segundo ALLEN et al. (1998) e PEREIRA (2004) a ET_o depende somente dos elementos do clima. A ET_o expressa o poder de evaporação da atmosfera de um local e tempo específico e não leva em consideração as características da cultura e fatores do solo. O método de Penman-Montheith é recomendado pela FAO para o cálculo da ET_o , é o melhor método a se utilizar quando se tem dados climáticos completos (ALLEN et al., 2007), e assim estimar as necessidades de água para a irrigação.

Para manejar corretamente uma cultura deve-se determinar com precisão suas necessidades hídricas, e para tal, tem que se considerar que o clima, as características da cultura, o manejo e o meio de desenvolvimento são fatores que afetam a evaporação e a transpiração, que somadas são chamadas de evapotranspiração. Quando se pensa em irrigar, planeja-se repor as perdas ocorridas na cultura e, para isso, se calcula a evapotranspiração da cultura (ET_c).

O coeficiente de cultura (K_c) está diretamente relacionado ao índice de área foliar (ALLEN et al., 1998), que está relacionada à quantidade de nutrientes disponíveis para a planta, como de nitrogênio e a lâmina de irrigação ministrada (MEDEIROS et al., 2005). A simulação do K_c é de extrema importância para a precisão deste dado, já que, aliado com a evapotranspiração, sugere a lâmina de água a ser aplicada.

Dois tipos de K_c podem ser determinados. O K_c single (ou médio) é mais utilizado em projetos de sistemas de irrigação que não se necessita de dados tão precisos para a estimativa da ET_c do ciclo completo da cultura. O K_c dual, em que a transpiração basal e a evaporação do solo são calculadas separadamente, é utilizado em intervalos de obtenção de K_c diários e horários e, por isso, requerem uma boa precisão (ALLEN et al., 2007). Os K_c 's single e dual representam, em um determinado dia, os fluxos médios de evaporação da superfície do solo e da planta (transpiração) e varia em função da idade da planta (crescimento e desenvolvimento), tipo de solo, cultura e ambiente (ALLEN et al., 1998).

Algumas extensões do procedimento de cálculo original do K_c dual foram propostas para melhorar a precisão do resultado final. Foram detalhadas extensões de cálculo da evaporação do solo (ALLEN et al., 2005a) e do K_c inicial (ALLEN et al., 2005b).

A estimativa dos coeficientes de cultura (K_c) incorporam as características da cultura e os efeitos da evaporação na superfície do solo (ALLEN et al., 1998). Ela foi apresentada primeiramente no Manual FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (DOORENBOS; PRUIT, 1977) e depois revista, definidos novos padrões e publicada no Manual FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (ALLEN et al., 1998). Tabelas com valores de K_c obtidos experimentalmente ($K_c = ET_c / ET_o$), são apresentados nos dois documentos. Os valores dos coeficientes devem ser ajustados para cada condição edafoclimática a ser utilizada.

Este trabalho tem como objetivo apresentar duas ferramentas computacionais, e suas respectivas metodologias, na obtenção dos valores de K_c ajustados para as condições edafoclimáticas de cada região. Estas ferramentas (SingleKcSIM e

DualKcSIM) foram incorporadas, posteriormente, em um único software intitulado “Software de estimativa da evapotranspiração – SEEVA” (BEZERRA, 2009).

METODOLOGIA

Os softwares apresentados neste trabalho foram desenvolvidos utilizando a linguagem de programação C# no ambiente de desenvolvimento *Microsoft® Visual C# 2005*. O requisito mínimo para sua execução é um computador com processador de 32-bits, 128 MB RAM e *Windows® XP* ou superior e possuir a biblioteca *.NET Framework 2.0* instalada, a qual é disponível gratuitamente na Internet.

Através do SingleKcSIM e do DualKcSIM, o usuário pode fazer uma simulação do coeficiente de cultura single e dual em sua região, desde que se tenha os dados necessários para isto. Esses dados deverão estar armazenados num banco de dados previamente estabelecido para que o programa funcione. O banco de dados utilizado pelos programas é o Microsoft Access, escolhido devido a sua fácil utilização, podendo-se transformar facilmente em planilhas do Excel com dados climatológicos, por exemplo.

De acordo com o método da FAO, o crescimento da cultura é dividido em 4 estádios, representados por três diferentes coeficientes de cultura: Kc inicial, Kc médio e Kc final.

O primeiro estágio coincide com o Kc inicial, que compreende o dia do plantio até o dia em que a cultura cobre cerca de 10% do solo. O segundo estágio é chamado de estágio de desenvolvimento que vai desde 10% até os 75% de cobertura do solo. O terceiro estágio coincide com o Kc médio, começa no fim do segundo estágio e termina quando a planta começa a consumir menos água devido ao envelhecimento. O quarto estágio inicia-se no final do terceiro estágio, quando o uso de água pela planta é mínimo ou cessa, e termina na colheita (Kc final).

Pelo método da FAO, os coeficientes da cultura são representados por linhas retas que conectam os quatro estádios de desenvolvimento da planta.

Para o desenvolvimento do SingleKcSIM, utilizou-se a metodologia do Kc single proposta por ALLEN et al. (1998) e os cálculos dos três coeficientes de cultura foram obtidos através das equações apresentadas abaixo.

O Kc inicial é determinado por (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_{c_{ini}} = \frac{TEW - (TEW - REW) \cdot \exp\left(\frac{-(t_w - t_1) \cdot E_{so} \cdot \left(1 + \frac{REW}{TEW - REW}\right)}{TEW}\right)}{t_w \cdot ET_o} \quad (1)$$

em que, $K_{c_{ini}}$ é o coeficiente de cultura em sua fase inicial; TEW é a água totalmente evaporável, em mm; REW é a água prontamente evaporável, em mm; t_w é o tempo médio entre eventos de molhamento, em dia; t_1 é o tempo em que se completa a fase de secamento do estágio 1, em dia; E_{so} é a taxa potencial de evaporação, em mm dia⁻¹; e ET_o é a evapotranspiração de referência média durante o período inicial da cultura, em mm dia⁻¹.

O tempo médio entre eventos de molhamento é definido pela equação (PEREIRA, 2004):

$$t_w = \frac{L_{ini}}{n_w} \quad (2)$$

em que t_w , em dias; L_{ini} é a duração do período inicial, em dias; e n_w é o número de eventos de molhamento durante o período inicial.

O K_c médio é determinado pela equação (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_{c_{med}} = K_{c_{med(tab)}} + [0.04 \cdot (u_2 - 2) - 0.004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (3)$$

em que, $K_{c_{med}}$ é o coeficiente da cultura em seu estágio intermediário; $K_{c_{med(tab)}}$ é o valor de $K_{c_{med}}$ tabelado; u_2 é a média da velocidade do vento durante o estágio, em $m\ s^{-1}$; UR_{min} é a média da umidade relativa mínima do ar durante o estágio, em %; e h é a altura média da planta durante o estágio, em m.

O K_c final é determinado pela equação (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_{c_{end}} = K_{c_{end(tab)}} + [0.04 \cdot (u_2 - 2) - 0.004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (4)$$

em que, $K_{c_{end}}$ é o coeficiente da cultura em seu estágio final; $K_{c_{end(tab)}}$ é o valor de $K_{c_{end}}$ tabelado.

Para o desenvolvimento do DualKcSIM, utilizou-se a metodologia do K_c dual proposta por ALLEN et al. (1998).

O K_c dual é representado por (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_c = (K_{c_b} + K_e) \quad (5)$$

em que, K_{c_b} é o coeficiente de evaporação basal da cultura; e K_e é o coeficiente de evaporação do solo.

O K_{c_b} é dado pela equação (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_{c_b} = K_{c_{b(tab)}} + [0.04 \cdot (u_2 - 2) - 0.004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (6)$$

em que, $K_{c_{b(tab)}}$ é o valor do $K_{c_{bmed}}$ ou do $K_{c_{bend}}$ tabelados,

O K_e é dado por (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_e = K_r \cdot (K_{c_{max}} - K_{c_b}) \leq f_{ew} \cdot K_{c_{max}} \quad (7)$$

em que, K_r é o coeficiente de redução da evaporação; $K_{c_{max}}$ é o valor máximo do K_c seguido de chuva ou irrigação; f_{ew} fração do solo que é exposta e molhada, onde a maior parte da evaporação ocorre.

O K_r é definido por (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,i-1}}{TEW - REW} \quad (8)$$

em que, $D_{e,i-1}$ é a profundidade acumulada de evaporação da superfície do solo no dia $i-1$ (dia anterior), em mm.

Para estimar o valor diário de K_e , é necessário um balanço hídrico diário da camada superficial do solo. Esse cálculo, para frações úmidas e expostas do solo (f_{ew}) é dado por (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al. 2006):

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} + \frac{E_i}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad (9)$$

em que, P_i é a precipitação no dia i , em mm; escoamento superficial ocorrido no dia i , em mm; I_i é a lamina de irrigação aplicada no dia i , em mm; f_w é a fração do solo molhada pela irrigação; E_i é a evaporação no dia i , em mm; T_{ew} é a transpiração da camada úmida e exposta da superfície do solo no dia i , em mm; $DP_{e,i}$ é a perda por percolação profunda no dia i , em mm;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As telas iniciais dos programas (Figuras 1 e 2) apresentam vários campos, alguns a serem preenchidos pelo usuário e outros que são preenchidos automaticamente pelo banco de dados.

Figura 1. Tela inicial do SingleKcSIM.

Fonte: os autores

Depois de se escolher o banco de dados para obtenção dos valores requeridos (tais como umidade relativa, temperatura, velocidade do vento) e a escolha da cultura, o software mostrará automaticamente a duração de cada um de seus estádios, podendo ser alterados pelo usuário caso seja necessário. O usuário deve também inserir os dados relativos ao solo em que a cultura será plantada e dados sobre o sistema de irrigação e seu respectivo fator de molhamento (f_w). Caso não se tenha dados de solo detalhados, o usuário pode escolher entre textura fina (argilosa), média (argilo-arenosa) ou grossa (arenosa), arriscando se ter uma baixa precisão da simulação.

Figura 2. Tela inicial do DualKcSIM.

Fonte: os autores

Os dados referentes à irrigação são inseridos distintamente em cada um dos programas devido à diferenças do próprio método (Kc single e Kc dual). No SingleKcSIM, basta inserir a lâmina aplicada no dia do plantio, a lâmina a ser aplicada no decorrer do ciclo da cultura, o número de irrigações durante o 1º estágio e as alturas da cultura nos estádios 3 e 4. Já no DualKcSIM, pode-se criar um calendário de irrigação em que se encontra as lâminas aplicadas diariamente durante todo o ciclo da cultura (Figura 3). Pode-se ainda salvar esse calendário para ser utilizado numa nova simulação.

Dados de Irrigação

Duração do ciclo da cultura: 0

	Dia	Lâmina (mm)
☒	1	8.8
☐	2	6.6
☐	3	4.4
☐	4	2.2
☐	5	2.2
☐	6	1.83
☐	7	0
☐	8	1.83
☐	9	0
☐	10	1.83
☐	11	0
☐	12	3.67
☐	13	0
☐	14	0

Gravar & Carregar OK

Figura 3. Tela que apresenta o calendário de irrigação.

Fonte: os autores

As telas de resultados dos softwares apresentam os resultados de forma numérica e gráfica, para uma melhor visualização. No SingleKcSIM é apresentado o resultado das três fases do Kc (inicial, médio e final) e a curva do Kc single durante o ciclo da cultura (Figura 4). No DualKcSIM o resultado do Kc é apresentado ao lado do Kc ajustado, que é a média dos Kc's diários. No gráfico é mostrado as curvas de Kc diário, Kc basal, coeficiente de evaporação (K_e) e Kc ajustado (Figura 5).

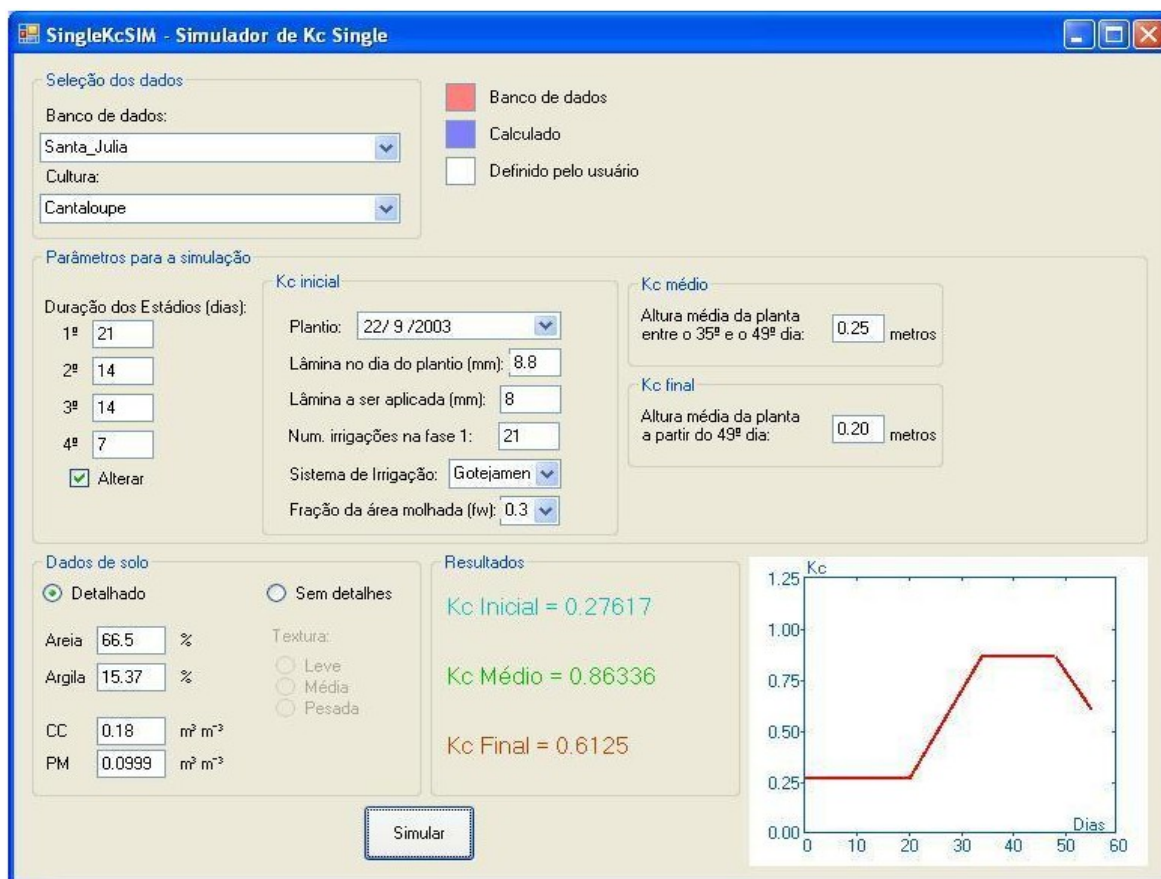


Figura 4. Tela de resultados do SingleKcSIM.
Fonte: os autores

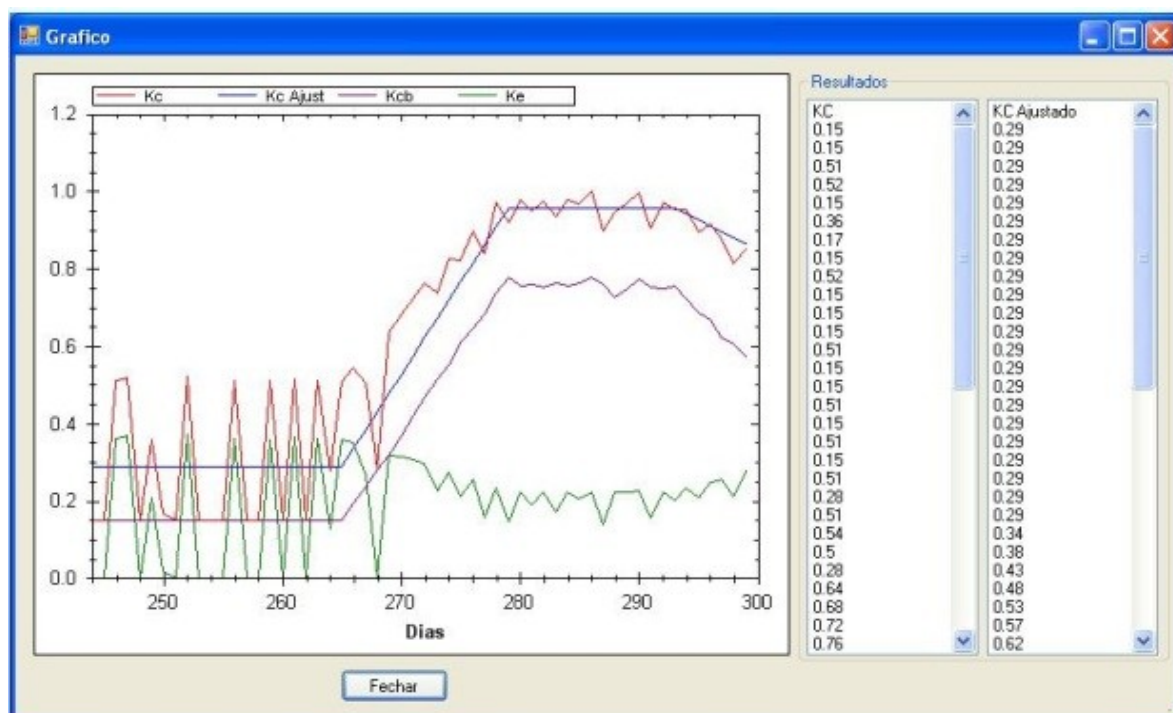


Figura 5. Tela de resultados do DualKcSIM.
Fonte: os autores

CONCLUSÃO

O SingleKcSIM e o DualKcSIM são dois softwares que simulam o coeficiente de cultura, single e dual, ajustados para as condições edafoclimáticas do local desejado, através do método proposto por ALLEN et al. (1998) e são ferramentas que auxiliam no planejamento e no manejo da irrigação.

AGRADECIMENTOS

À UFERSA e CNPq pela concessão da bolsa de PIBIC, durante a realização do trabalho, e à CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 300p., 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J.L. Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, v.131, n.1, p. 1-13, 2005a.

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; RAES, D.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S. Estimating Evaporation from Bare Soil and the Crop Coefficient for the Initial Period Using Common Soils Information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, v.131, n.1, p. 14-23, 2005b.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO. 298p., 2006. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56)

ALLEN, R.G.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O.; PEREIRA, L.S.; JENSEN, M.E. **Water requirements**. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOT, R.L. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASABE, p.207-288, 2007

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZZONE, J.A.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; RODRIGUES, B.H.N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p. 301-305, 2001.

BEZERRA, A.H.F. **Software de simulação do coeficiente de cultura**. Mossoró, 2009. 59p. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2009.

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

MEDEIROS, J.F.; SILVA, J.N.; NASCIMENTO, K.C.N.S.; LEVIEN, S.L.A.; OLIVEIRA, F.A.; DUTRA, I. Evapotranspiração do melão pele-de-sapo irrigado com diferentes

lâminas e fertirrigado com diferentes doses de nitrogênio e potássio. **ITEM Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.67, p.68-71, 2005.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de água e métodos de rega**. Lisboa: Publicações Europa-América. 312p. 2004.