

ARTIGO TÉCNICO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO CAPIM “TANZÂNIA” (*Panicum maximum* J.) EM PASTEJO ROTACIONADO, BASEADA NA EVAPORAÇÃO DO TANQUE “CLASSE A” E NO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

JUAN S. DELGADO-ROJAS¹, MARCELO NOVAES², LEANDRO F. LOURENÇO³, RUBENS D. COELHO⁴

RESUMO: Em função do índice de área foliar (IAF) do Capim Tanzânia (*Panicum maximum* J.) e da lâmina de evaporação do tanque “Classe A” (ECA), foi gerado um modelo multiplicativo para determinar a evapotranspiração máxima (ETm) desse cultivo forrageiro. Foi adotada uma correlação entre a ETm em função da evaporação do tanque “Classe A” e do índice de área foliar (IAF), por meio de uma regressão linear múltipla dos valores logarítmicos, correspondentes a períodos diários durante 11 meses (janeiro a novembro de 2000). Considerando a dificuldade para determinar o IAF e aplicar como variável no modelo proposto, foi desenvolvido outro modelo por meio da correlação entre a ETm e as variáveis ECA e o valor equivalente de IAF, em dias de descanso (NDd), adotando-se como padrão o número de 33 dias como o máximo recomendado de descanso para capim Tanzânia, em condições irrigadas. Para avaliar os modelos, foram utilizados valores de ETm observados a campo durante quatro meses (agosto a novembro-2000) por meio do método de balanço hídrico do solo, monitorado com tensiômetros. Na validação do modelo, foram utilizados testes estatísticos recomendados na literatura, verificando-se bons ajustes entre os valores observados e estimados, recomendando-se a sua utilização para o manejo da irrigação de Capim Tanzânia, no Estado de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: balanço hídrico, irrigação, pasto.

MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF TANZANIA PASTURE (*Panicum maximum* J.) ROTATE GRAZER, USING THE EVAPORATION OF THE “CLASS A” PAN AND THE LEAF AREA INDEX

SUMMARY: In function of the leaf area index (LAI) during the period of rest of grass *Tanzânia* (*Panicum maximum* J.) and of the evaporation of the “Class A” pan (ECA) a multiply model was generated to determine the maximum evapotranspiration (ETm) of that forage cultivation. A correlation was adopted among ETm in function of the evaporation of the “Class A” pan and of the leaf area index (LAI), through a multiple regression of the logarithmic values, corresponding to daily periods for 11 months (January to November of 2000). Considering the difficulty to determine LAI and to apply as variable in the proposed model, other model was created through the correlation between ETm and variable ECA and the equivalent value of LAI in days of rest (NDd), being adopted as pattern the number of 33 days as the recommended maximum number of days of rest for Tanzania pasture, in irrigated conditions. The models were tested using the ETm values observed on field conditions for four months (August-November-2000) through the method of water balance of the soil monitored with tensiometers. Statistical tests recommended in the literature were used for validation of the model, and it has been observed good fittings among the observed and proposed values, being recommended its use for the management of Capim Tanzania irrigation, at São Paulo State.

KEYWORDS: water balance, irrigation, grass.

¹ Eng. Agr. Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, Piracicaba - SP, e-mail: jsdrojas@carpa.ciagri.usp.br, Bolsista FAPESP.

² Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

³ Aluno de Mestrado, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

⁴ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 14-11-2001

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 24-10-2003

INTRODUÇÃO

Para um manejo da irrigação adequado e eficiente, é indispensável conhecer o balanço hídrico no solo, medindo-se diretamente a variação hídrica na camada útil ou estimando-se a capacidade evapotranspirativa da cultura por métodos climatológicos indiretos.

No caso da medida de consumo da água *in situ*, pelo método de tensiometria, tem-se o problema da variabilidade espacial dos fatores físicos do solo, obrigando-se a manter uma quantidade considerável de tensiômetros para diminuir o erro; portanto, esse método, apesar de ser muito recomendado, demonstra ser pouco prático para o manejo da irrigação com um bom nível de precisão.

As culturas forrageiras, como o capim “Tanzânia”, apesar da grande importância econômica na pecuária, são pouco estudadas. Essa falta de informação traz a necessidade de realizar maior número de trabalhos para determinar o consumo diário de água na zona central do Estado de São Paulo, com o intuito de facilitar o manejo da irrigação, otimizando a utilização dos recursos hídricos.

JENSEN (1968), por meio de um modelo multiplicativo, determinou um fator de sensibilidade da cultura à deficiência hídrica do solo para cada fase fenológica da planta, chamando-o de λ . DOORENBOS & KASSAM (1979) também demonstraram que é possível quantificar empiricamente num modelo o efeito da água sobre a planta. Eles encontraram um fator de correlação entre a produtividade relativa (Y_a/Y_m) e a evapotranspiração relativa (ET_a/ET_m), sendo Y_a a produtividade real, Y_m a produtividade máxima e ET_a a evapotranspiração real da cultura. Ao resultado dessa relação, os autores chamaram de “fator do efeito da água sobre o rendimento (ky)”.

VILLA NOVA et al. (1996), por meio de uma regressão linear múltipla, descreveram a evapotranspiração de três culturas: milho, alface e cana-de-açúcar, como uma função do índice de área foliar e da evaporação do tanque “Classe A”.

Conhecendo a taxa de crescimento da área foliar do capim Tanzânia, assim como o coeficiente de cultura (k_c) em função da época, é possível gerar um modelo para determinar a ET_m da cultura em função da ECA e do IAF, utilizando qualquer um dos métodos mencionados anteriormente.

O presente trabalho teve como objetivo criar um modelo para determinar a evapotranspiração máxima da cultura de capim Tanzânia, para auxiliar o manejo da irrigação em ambiente de pastejo rotacionado.

MATERIAL E MÉTODOS

A primeira parte do trabalho consistiu, basicamente, na criação do modelo baseado no trabalho descrito por JENSEN (1968), gerando um modelo multiplicativo (eq.1) por meio de uma regressão linear múltipla dos valores logarítmicos de ET_m , ECA e IAF, sendo ET_m a variável dependente dos valores da ECA e do IAF.

$$ETM = e^a ECA^\alpha IAF^\beta \quad (1)$$

em que,

α e β - coeficientes de sensibilidade para as variáveis ECA e IAF, respectivamente, e
 e^a - coeficiente linear do modelo.

Os cálculos da ET_m , diariamente, a partir de 1º de janeiro até 30 de novembro de 2000 (11 meses), foram realizados por meio do cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman & Monteith (padrão da FAO) (PEREIRA et al., 1997), e multiplicado pelo coeficiente de cultura (k_c) do capim Tanzânia. Esse coeficiente foi determinado por LOURENÇO et al. (2001) para essa região e está dado pela seguinte equação:

$$k_c = 0,3068 + 0,0222 \text{ NDD}_{\text{atu}} \quad (2)$$

em que,

NDD_{atu} - número de dias de descanso ou dias após o pastejo.

O índice de área foliar (IAF), ao longo do período considerado, foi determinado por MELLO et al. (2001), por meio de medidas diretas com ajuda de um sensor LICOR 2000.

A necessidade de contar com dados confiáveis da ECA para ser utilizado como variável independente desse modelo exigiu a utilização de medidas automáticas por meio de sistema de aquisição de dados (datalogger Campbell CR10x).

Os dados meteorológicos utilizados para o cálculo de ET_o (temperatura, umidade relativa, radiação global, velocidade do vento, etc.) foram registrados na estação agrometeorológica da ESALQ.

Para avaliar a eficiência do sistema de controle de irrigação adotado a campo, foram determinados e quantificados as deficiências hídricas e os excedentes por meio de cálculos de balanço hídrico diário obtido pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), equacionado por MENDONÇA (1958), realizados ao longo do período de quatro meses (agosto-novembro). A capacidade de água disponível (CAD) assumida nesse cálculo foi de 60 mm, considerando o tipo de solo e a profundidade radicular efetiva média da cultura de aproximadamente 38 cm.

A segunda parte do trabalho consistiu de experimento de campo, que teve como objetivo determinar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) (Capim Tanzânia) por meio de balanço hídrico do solo *in situ*, pelo método de tensiometria; foi montado na área experimental de irrigação da Fazenda Areão, do Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), situada no município de Piracicaba - SP, nas coordenadas geográficas: latitude 22°42'30" sul, longitude 47°30'00" oeste e 546 m de altitude. O clima da região é subtropical úmido, com média total anual de chuvas de 1.278 mm, com verão chuvoso e inverno seco.

Os dados obtidos neste experimento, durante quatro meses, entre 1º de agosto e 30 de novembro de 2000, foram utilizados para avaliar o modelo proposto.

Uma superfície de 63.000 m² cultivada com capim Tanzânia (*Panicum maximum* J.) e irrigada por pivô central foi dividida em parcelas de 1.333 m² e submetida a regime de pastejo rotacionado durante três dias, com 33 dias de descanso sucessivamente. Após cada ciclo de pastejo, foram feitas adubações com 400 kg ha⁻¹ da formulação 20-5-20. O solo dessa área é classificado como Podzólico Vermelho-Escuro de textura franco-argilosa.

Para o monitoramento das condições hídricas do solo, foi selecionada uma das parcelas em que foram instaladas cinco baterias de tensiômetros aos 20; 40; 60; 80 e 100 cm de profundidade, com leituras diárias para o controle da irrigação.

O potencial da água no solo foi mantido em valores superiores a -0,05 MPa. A irrigação era realizada quando os tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade indicavam valores médios na faixa de 0,03 a 0,04 MPa de tensão de água no solo.

A determinação da umidade do solo foi calculada por meio da equação de GENUCHTEN (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (3)$$

em que,

θ_r e θ_s - umidade residual e de saturação do solo, respectivamente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Ψ_m - potencial mátrico, cm, e

α , n e m - parâmetros de ajuste da equação.

A determinação da evapotranspiração máxima do capim Tanzânia (ET_m), por meio desse método, foi calculada diariamente para a camada de 60 cm a partir da variação de armazenamento da água no solo mediante a expressão seguinte:

$$ET_m = \sum (\theta_i - \theta_f) Z \quad (4)$$

em que,

θ_i e θ_f - umidade média do perfil inicial e final, respectivamente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, e

Z - profundidade da camada do solo monitorado, mm.

Considerando a dificuldade para determinar o IAF na prática e aplicar como variável no modelo proposto, foi criado outro modelo, estimando-se por meio de regressão linear o valor equivalente de IAF em número de dias de descanso (NDD), ao invés de utilizar o próprio IAF, como foi visto na eq.(1).

Para converter os valores de IAF em número de dias de descanso (NDD_{atu}), foi utilizada a seguinte expressão matemática:

$$NDD_{atu} = \frac{(IAF_{atu} - IAF_{ant})}{\frac{IAF_f - IAF_i}{DTd}} + NDD_{ant} \quad (5)$$

em que,

IAF_{atu} - índice de área foliar do dia;

IAF_{ant} - índice de área foliar do dia anterior;

IAF_f - índice de área foliar correspondente ao período final considerado (corresponde ao dia 33);

IAF_i - índice de área foliar que corresponde ao primeiro dia após o pastejo;

DTd - número de dias máximo de descanso, normalmente considerado 33 dias, e

NDD_{ant} - valor do número de dias de descanso equivalente, calculado para o dia anterior, por meio da eq.(5).

Os valores de ET_m, determinados *in situ*, foram utilizados para avaliar os valores de ET_m estimados pelos dois modelos propostos. Posteriormente, os dados foram ajustados e submetidos à análise estatística.

Os índices estatísticos utilizados para a avaliação do modelo foram os seguintes: (i) coeficiente de determinação (r^2); (ii) índice de concordância de WILLMOTT (1981) (d); (iii) erro médio absoluto (EMA); (iv) erro máximo (EM); (v) eficiência do modelo proposto (EF); (vi) erro sistemático (ES), e (vii) erro aleatório (EA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da regressão gerada a partir dos valores logarítmicos das variáveis descritas anteriormente [eq.(1)], temos o seguinte modelo:

$$ET_m = 0,3 ECA^{0,95} IAF^{0,8} \quad (6)$$

Na Tabela 1, são apresentados os valores observados de ET_m (determinados no campo por meio do método de tensiometria) e os valores calculados por meio da eq.(6).

TABELA 1. ETm (mm dia⁻¹) observada, determinada pelo método de tensiometria (ordenados de maneira crescente) e estimada pelo modelo proposto [eq.(6)].

ETm Observada	ETm Estimada	ETm Observada	ETm Estimada
0,70	0,44	2,30	2,67
1,07	2,74	2,34	2,75
1,12	1,84	2,53	4,30
1,21	0,73	2,59	2,33
1,28	1,07	2,74	3,20
1,29	1,04	3,01	1,95
1,33	1,58	3,14	3,21
1,34	1,27	3,43	2,17
1,39	1,52	3,71	3,87
1,52	1,26	3,80	3,98
1,54	1,56	3,86	4,90
1,58	2,37	3,94	4,78
1,63	2,37	3,98	3,73
1,75	1,35	4,01	2,73
1,76	1,27	4,06	4,17
1,82	2,49	4,16	3,80
1,87	1,97	4,26	5,45
2,05	2,11	4,29	3,42
2,09	1,91	4,35	4,48
2,12	1,16	4,45	3,16
2,21	2,28	5,32	5,16
2,24	3,65	5,33	4,74

É importante salientar que os dados de ETm obtidos no campo depois de uma chuva ou depois de uma irrigação, devido ao processo de estabilização do tensiômetro durante os dias subsequentes, foram descartados por serem valores não confiáveis.

Com o objetivo de melhorar a aferição do modelo proposto, foi realizada nova regressão linear na qual o dado independente, dessa vez, foi o NDd obtido por meio da eq.(5), tendo como resultado o modelo seguinte [eq.(7)] e, utilizando os mesmos valores de ETm observados, foi testado novamente esse novo modelo (Tabela 2).

Nas Figuras 1a e 1b, podem ser observadas as relações entre a ETm observada, determinadas pelo método de tensiometria e a calculada pelos dois modelos propostos [eqs.(6) e (7)], respectivamente.

Comparando-se os coeficientes de determinação, pode-se notar que, quanto à dispersão dos valores, eles são parecidos; no entanto, o segundo modelo [eq.(7)] tende a superestimar a ETm em 12%.

$$ETm = 0,28 ECA NDd_{atu}^{0,38} \quad (7)$$

TABELA 2. ETm (mm dia⁻¹) observada, determinada pelo método de tensiometria (ordenadas de maneira crescente) e ETm estimada pelo modelo proposto [eq.(7)].

ETm Observada	Etm Proposta	ETm Observada	ETm Proposta
0,70	0,55	2,30	3,40
1,07	3,65	2,34	3,60
1,12	2,09	2,53	4,36
1,21	0,48	2,59	2,92
1,28	1,23	2,74	4,15
1,29	1,25	3,01	1,96
1,33	1,68	3,14	3,74
1,34	1,65	3,43	2,63
1,39	2,13	3,71	4,70
1,52	1,71	3,80	5,05
1,54	1,77	3,86	4,98
1,58	2,96	3,94	4,91
1,63	2,96	3,98	4,37
1,75	1,66	4,01	3,30
1,76	1,74	4,06	4,81
1,82	2,54	4,16	3,83
1,87	2,41	4,26	5,67
2,05	1,64	4,29	4,15
2,09	2,42	4,35	5,07
2,12	1,62	4,45	3,65
2,21	2,80	5,32	5,42
2,24	3,70	5,33	4,85

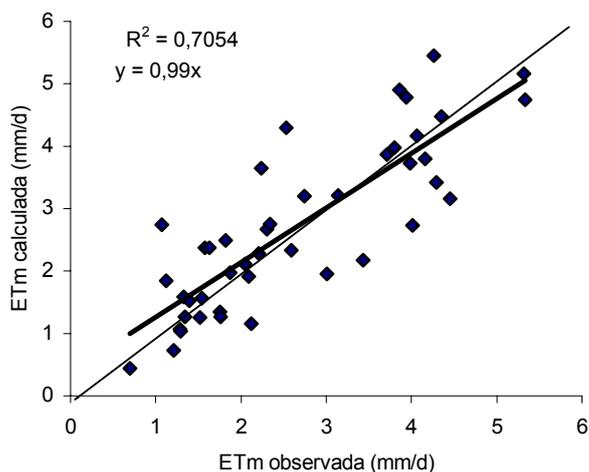


FIGURA 1a. Relações entre a ETm observada e ETm determinada pela eq.(6).

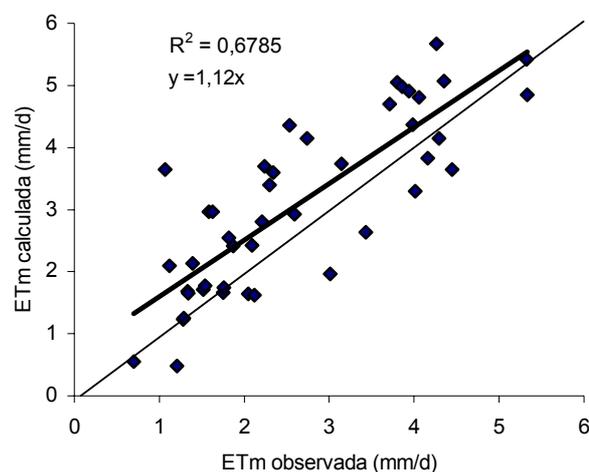


FIGURA 1b. Relações entre a ETm observada e ETm determinada pela eq.(7).

Na avaliação estatística dos resultados (Tabela 3), pode-se observar que, em geral, a ETm estimada pelo modelo que leva como variável independente o IAF [eq.(6)] apresentou melhor desempenho parecido ao modelo [eq.(7)] que leva em consideração o NDd. A maior diferença somente é evidenciada no erro aleatório e erro sistemático, em que o primeiro modelo teve melhor desempenho

(Tabela 3). No entanto, como foi dito anteriormente, considerando-se a facilidade de aplicação do segundo modelo [eq.(7)], ele é utilizado na prática mais do que o modelo anterior.

TABELA 3. Valores dos índices estatísticos utilizados na avaliação dos modelos de estimativa de ETm por meio dos modelos correspondentes às eqs. (6) e (7), respectivamente.

Índices Estatísticos	r^2	d	EMA	EM	EF	ES	EA
eq.(6)	0,70	0,91	0,55	1,77	0,66	0,03	0,50
eq.(7)	0,68	0,88	0,73	2,58	0,47	1,25	1,05

A relativa grande dispersão entre os valores estimados e observados pode ter sido devida ao erro de determinação da ETm obtida por meio do balanço hídrico com monitoramento da umidade do solo. Essa suscetibilidade obedece à variabilidade espacial dos parâmetros físicos do solo. Isso, possivelmente, provocou erros sistemáticos na determinação da variação da umidade na camada de solo envolvida no cálculo, repercutindo na estimativa da ETm. Esse tipo de erro é inevitável; no entanto, é importante considerá-lo para não subestimar a confiabilidade do modelo proposto.

Apesar de terem sido realizadas irrigações suplementares ao longo do período de quatro meses, a cultura teve alguns dias de deficiência hídrica (ETm-ETa), principalmente nos dias consecutivos de altas demandas hídricas do ambiente (Figura 2); mas, como as irrigações foram realizadas seguindo estritamente a indicação do solo (potencial mátrico), teve de ser assumido que a cultura teve uma evapotranspiração máxima, apesar de sofrer certa deficiência hídrica, tal como é demonstrada na Figura 3.

Na Figura 3, observa-se com maior detalhe o grau de deficiência hídrica sofrida pela cultura. Apesar de ter sido amenizado o estresse hídrico por meio da irrigação, a cultura sofreu deficiência hídrica, em maior ou menor grau, quase que durante todo esse período.

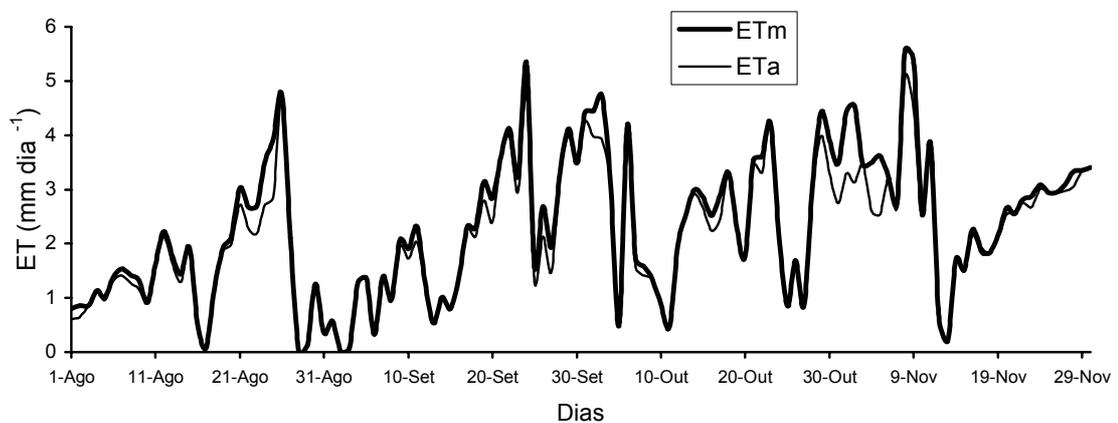


FIGURA 2. Evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real da cultura (ETa) com irrigação suplementar.

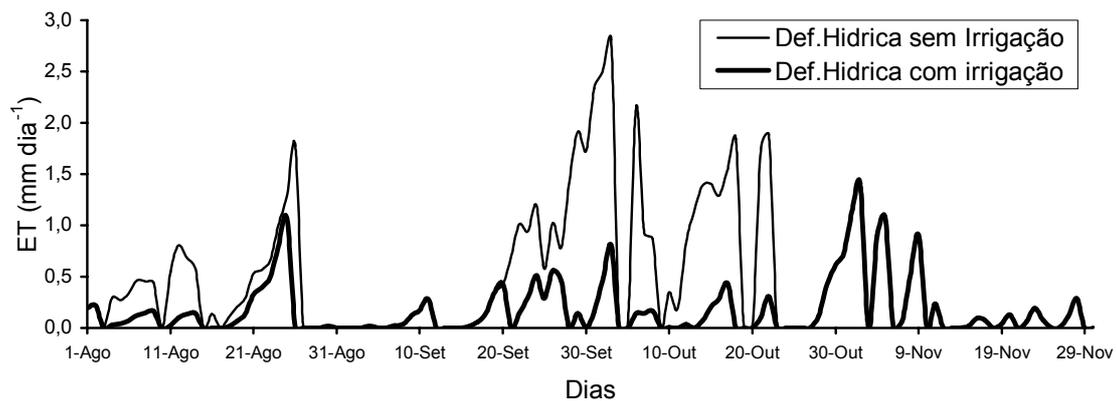


FIGURA 3. Déficit hídrico da cultura com e sem irrigação.

CONCLUSÕES

Os modelos multiplicativos de determinação da evapotranspiração máxima do capim Tanzânia (*Panicum maximum* J.), tanto utilizando o índice de área foliar (IAF) quanto o número de dias de descanso (NDd) após o pastejo, como variáveis independentes, tiveram bons desempenhos quando comparados com os valores observados e podem ser utilizados com boa confiabilidade no Estado de São Paulo.

Os modelos propostos têm duas limitações: a) devem ser empregados exclusivamente em pastejo rotacionado irrigado, e b) na utilização do modelo definido pela equação $ET_m = 0,28 ECA NDD_{atu}^{0,38}$, o valor da variável Número de Dias de Descanso (NDd) não deve ser maior do que 33.

O coeficiente de sensibilidade, correspondente às duas equações, demonstrou que a variação da ET_m em condições irrigadas depende em maior grau da demanda hídrica do ambiente que, no caso, é representada pela evaporação do tanque “Classe A” (ECA) e, em menor grau, do índice de área foliar (IAF) e do número de dias de descanso (NDd), respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).
- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- LOURENÇO, L.F.; COELHO, R.D.; SORIA, L.G.T.; PINHEIRO, V.D.; CORSI, M. Coeficiente de cultura (kc) do capim Tanzânia (*Panicum maximum* J.) irrigado por pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu. *Anais...* Foz de Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD.
- MELLO, A.C.L.; LOURENÇO, L.F.; MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S.; CORSI, M. Dinâmica do índice de área foliar de capim Tanzânia em função do fotoperíodo e da temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2001. 1 CD.
- MENDONÇA, P. de V.E. Sobre o novo método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., 1958, Madrid. *Anais...* Madri: Instituto Superior de Agronomia, 1958. p.415-25.

PEREIRA, A.R.; ARRUDA, H.V. *Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 50 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. *Climatology*, Philadelphia, v.8, n.1, p.104, 1955.

GENUCHTEN, M.T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-8, 1980.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, R.A.; BARBIERI, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index and class A pan evapotranspiration. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.2, p.35-7, 1996.

WILLMOTT, J.C. On the validation of models. *Physical Geography*, Palm Beach, v.2, p.184-94, 1981.