

# Utilização de Estações Climáticas Automáticas nos Estudos de Clima e Estresses Hídricos de Culturas para a Fenotipagem de Genótipos de Cereais Tolerantes à Seca <sup>1</sup>

Reinaldo L. Gomide <sup>2</sup>, Paulo E. P. de Albuquerque <sup>2</sup>, Camilo de L. T. de Andrade <sup>2</sup>, Frederico O. M. Durães <sup>2</sup> e João H. M. Viana <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pesquisa financiada pelo projeto The Generation Challenge Program (GCP) – SP1, Drought Phenotyping Network (DPN) Project 2005-2007 – Embrapa Milho e Sorgo.

<sup>2</sup> Pesquisadores Seniors, Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, E-mail: gomide@cnpms.embrapa.br.

**Palavras-Chave:** Evapotranspiração de referência e real, deficiência hídrica, instrumentação, sensores, coeficientes de cultura e de tanque.

## INTRODUÇÃO

A caracterização climática e determinação da necessidade e do estresse hídricos de culturas envolvem medidas diretas de parâmetros de plantas, associadas com algumas medidas de água no solo e microclimáticas, em nível de superfície, tais como temperatura e umidade relativa do ar, déficit de pressão de vapor d'água do ar, radiação solar e velocidade do vento. Essas medidas são muito importantes nos trabalhos de seleção de genótipos para estudos de adaptação às condições limitantes de água (Gomide et al., 2001).

A evapotranspiração (ET) é um processo combinado de transferência de água, na forma de vapor, de uma superfície coberta com vegetação para a atmosfera, incluindo a evaporação direta das superfícies do solo e das plantas e a transpiração das plantas. Nessa transferência de vapor d'água, os elementos do clima controlam a força de demanda hídrica da atmosfera, atuando no contínuo solo-plantas-atmosfera, como “dreno”. As medições dessas observações, em tempo real, podem ser realizadas com estações climáticas automáticas (ECA) ou plataformas de coletas de dados (PCD), que são usadas na determinação da ET a partir de métodos desenvolvidos para obtenção da ET de referência ( $ET_0$ ). A determinação da ET da cultura ( $ET_c$ ) é obtida pela multiplicação do valor da  $ET_0$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Todo o processo pode ser automatizado, desde a aquisição dos dados climáticos até os cálculos de  $ET_c$ , sendo a informação disponível aos usuários. Com isso, estratégias de tomada de decisão de quando e quanto irrigar podem ser estabelecidas. O problema maior é com o desenvolvimento e ajuste de  $K_c$ 's apropriados para cada área (região ou sítio-específico) e cultura (Gomide, 1998; Gomide et al., 2001).

O objetivo deste trabalho foi descrever a utilização de estações climáticas automáticas para os estudos de fenotipagem de genótipos de cereais visando à tolerância à seca.

## MATERIAL E MÉTODOS

As estações climáticas automáticas (ECA) ou plataformas de coletas de dados (PCD) climáticas medem e registram os parâmetros climáticos no nível de superfície, de forma precisa e acurada, em intervalo de tempo programável. Basicamente, essas estações são dotadas de sistemas eletrônicos digitais, sensores para prover sinais eletrônicos dos parâmetros climáticos, circuito eletrônico para ampliar e converter os sinais para valores digitais e meios para armazenamento e transferência dos dados coletados em condição local

ou por telemetria (Gomide, 1998). Esses sistemas são totalmente integrados e envolvem “dataloggers”, sensores e computadores portáteis (“notebooks”) para interface direta e transferência de programas e dados. A fonte de energia de alimentação das ECA’s é proveniente de painéis solares e baterias recarregáveis. Em funcionamento, as ECA’s são geralmente programadas para fazer leituras nos sensores a intervalos de tempo de 0,5 a 1,0 min e calcular as médias dos parâmetros registrados a cada intervalo de 30 min. Apenas as médias dos dados são armazenadas nos dataloggers, para futura transferência, na forma de arquivo de dados para disquete ou transmissão à distância para compor os bancos de dados de clima.

A estação climática automática (ECA) instalada na área do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, na Embrapa Milho e Sorgo, região central do Estado de Minas Gerais, com coordenadas geográficas e altitude de 19° 27' 17,04167” latitude sul, 44° 10' 22,71995” longitude oeste e 731,214 m, respectivamente, faz parte de uma rede de ECA’s usadas nos trabalhos de fenotipagem para avaliação e caracterização de genótipos de cereais e legumes tolerantes à seca. A configuração da ECA foi efetuada para fins de caracterização de microclima e determinação de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), manejo de irrigação e controle da água nos experimentos do sítio. A configuração envolve sensores para medições de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade e direção do vento, precipitação e evaporação da água do tanque classe A, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1. Estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, (Embrapa Milho e Sorgo, MG, 2005).

A temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar são registrados a 1,8 m de altura. O elemento sensor usado para medir a temperatura do ar é um termômetro de resistência de platina (TRP, 1000  $\Omega$ ), encapsulado em cerâmica, com características de estabilidade, confiabilidade e resposta extremamente rápida, assegurando uma transdução precisa da magnitude da temperatura do ar. Para a umidade relativa do ar, é utilizado um sensor capacitivo. Ambos condicionam sinais de saída de 0 a 1000 mV e são montados em uma única sonda, que é inserida no interior de um abrigo meteorológico (Vaisala, HMP 35C, Figura 1). Os sensores usados para medir a velocidade e direção do vento são construídos em

alumínio para ter baixo peso e alta resistência à corrosão. Ambos estão instalados a 2,4 m de altura do solo. A velocidade do vento, em  $\text{m s}^{-1}$ , é medida com um anemômetro de 3 conchas, que produz um sinal cuja frequência é detectada por meio de um interruptor de luz “light chopper”. A direção do vento é medida em graus, tendo como referência o norte verdadeiro e contado no sentido horário, com um leme e contrapeso conectados a um potenciômetro de precisão (Climatronics CS800-L, Figura 1). A radiação solar global é registrada em  $\text{W m}^{-2}$ , a 2,1 m de altura do solo, com um sensor que mede a radiação global incidente por meio de um detector fotovoltaico de silício, acondicionado em uma peça maciça (LI-COR, Figura 1). O sensor possui uma base nivelável de alumínio, com aparato mecânico complementar em aço inoxidável para sua instalação. O sinal de saída desse sensor é de  $0,2 \text{ kW m}^{-2} \text{ mV}^{-1}$ . A precipitação é monitorada com um pluviômetro de caçamba oscilante, em  $\text{mm h}^{-1}$ , instalado a uma altura de 1,5 m (TE525, Figura 1). A unidade é construída em alumínio anodizado e é composta de um funil, base e caçamba. A seção de captação do pluviômetro apresenta um diâmetro de 158,8 mm. O sensor é calibrado para registrar a precipitação com uma resolução de 0,25 mm através da geração de um pulso magnético.

A variação de nível da água do tanque Classe “A” é registrada com um elemento sensor que fornece um sinal elétrico proporcional ao nível da água do tanque. A unidade é constituída de um flutuador, um contrapeso, uma corrente e uma roda dentada presa a um potenciômetro de precisão de  $1 \text{ K } \Omega$  (NOVALYNX, 1997). O conjunto fica instalado no interior de uma coluna de 20,3 cm de diâmetro e 66,0 cm de altura, com base nivelável, que funciona como poço tranquilizador para o flutuador, visando evitar rápidas flutuações de nível da água durante as medições. Essa coluna é conectada, lateralmente, ao tanque através de um tubo de PVC de 12,7 mm de diâmetro e 2 m de comprimento, formando um sistema de vasos comunicantes (Figuras 1). Desta forma, uma mudança no nível da água no interior do tanque corresponderá a uma mesma mudança de nível no interior da coluna. Como a corrente está presa nas extremidades pelo flutuador e contrapeso e encaixada na roda dentada, a oscilação de nível é detectada pelo flutuador e transmitida ao potenciômetro que registra a variação de resistência. O sistema é calibrado para fornecer a leitura do nível da água do tanque em mm.

Para fins de padronização de cálculos da nova proposta de  $ET_o$ , para estimativas diárias, a seguinte equação combinada de Penman-Monteith é proposta (Smith, 1991; Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 275} U_2 (e_a - e_d)$$

em que,  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência da cultura hipotética,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $R_n$  é o saldo radiação,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;  $G$  é o fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;  $T$  é a temperatura do ar,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;  $(e_a - e_d)$  é o déficit de pressão de vapor do ar,  $\text{kPa}$ ;  $\delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $\lambda$  é o calor latente de evaporação da água,  $\text{MJ kg}^{-1}$ ;  $\gamma^*$  é a constante psicrométrica modificada,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  ( $=1 + 0,33 U_2$ ) e 900 é o fator de conversão  $\text{kJ}^{-1} \text{ kg K}$ .

As medições da evaporação da água do tanque Classe “A” ( $E_t$ ) são usadas para determinar a  $ET_o$  por meio da seguinte equação:  $ET_o = K_t E_t$ , onde,  $K_t$  é um coeficiente de correção da  $E_t$ . Uma tabela que descreve a variação de  $K_t$  em função das condições de tamanho e da natureza da área de bordadura, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar é apresentada por Doorenbos & Pruitt (1977). Essa tabela foi obtida de dados experimentais de diversas regiões do mundo, portanto sob diferentes condições climáticas, considerando-se as diferenças de albedo, rugosidade e resistência estomática das superfícies de água e de vegetação (grama). Mais tarde, Snyder (1992) desenvolveu a seguinte equação para permitir

interpolação dos valores tabelados de  $K_t$  e também facilitar o uso em sistemas automatizados de obtenção de dados:

$$K_t = 0,482 + 0,024 \ln(D_b) - 0,000376 U + 0,0045 UR$$

em que  $D_b$  é a distância (tamanho) da área de bordadura, em m,  $U$  é a velocidade do vento em  $\text{Km d}^{-1}$  e  $UR$  é a umidade relativa média do dia em %. O autor salienta que essa equação só deve ser usada dentro dos limites de  $D_b$ ,  $U$  e  $UR$  da tabela original.

O método do tanque Classe A é recomendado pela FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977) e é bastante usado no manejo de irrigação para determinar a  $ET_c$  a partir da  $ET_o$  e dos  $K_c$ 's.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de variação do microclima, no período de dezembro de 2005 a maio de 2006, com base nos dados registrados da estação climática automática, localizada dentro da área do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, são apresentados a seguir. A Figura 2 mostra a variação diária da temperatura do ar mínima, média e máxima ( $T_{min}$ ,  $T_{med}$  e  $T_{max}$ , respectivamente), em  $^{\circ}\text{C}$ . Verifica-se que a amplitude térmica no período (diferença entre a  $T_{max}$  e  $T_{min}$ ) variou de  $5^{\circ}$  a  $14^{\circ}\text{C}$ . Os valores registrados de temperatura do ar mínima, média e máxima variaram de aproximadamente 11 a  $21^{\circ}\text{C}$ , 19 a  $26^{\circ}\text{C}$  e 22 a  $34^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Os dias 22 de abril e 5 de maio de 2006 apresentaram as mais baixas temperaturas do ar, 11,5 e  $13^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. As maiores temperaturas ( $T_{max}$ ) estão na faixa de 30 a  $34^{\circ}\text{C}$  e ocorreram nos meses de Janeiro e Fevereiro (verão).

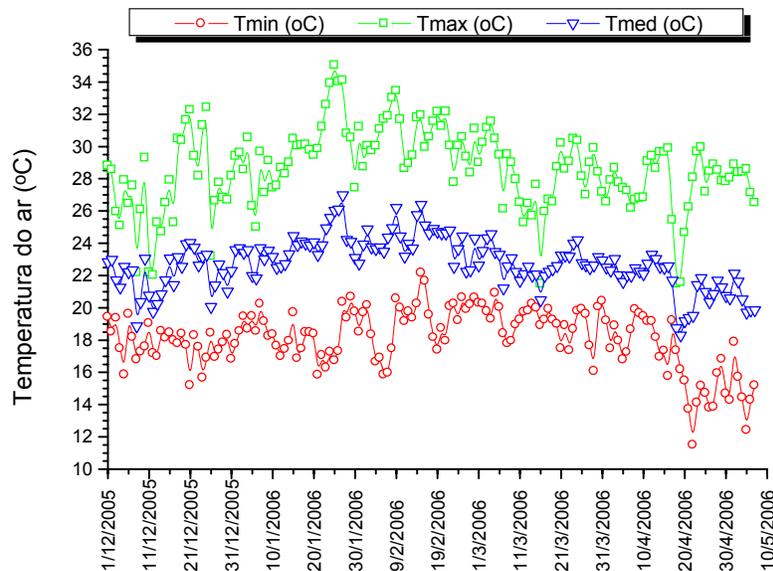


Figura 2. Variação diária da temperatura do ar mínima, média e máxima ( $T_{min}$ ,  $T_{med}$  e  $T_{max}$ , respectivamente), em  $^{\circ}\text{C}$ , na estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, dezembro de 2005 a maio de 2006).

A Figura 3 mostra a variação diária da radiação solar ( $R_s$ ), em  $\text{MJ/m}^2\text{dia}$ , e temperatura do ar média ( $T_{med}$ ), em  $^{\circ}\text{C}$ . Pode-se constatar a existência de uma relação

praticamente direta de variação desses dois parâmetros microclimáticos. A radiação solar diária varia desde um mínimo de 8,5 até um máximo de 30,5 MJ/m<sup>2</sup>dia. As oscilações abruptas dos valores diários de Rs podem ser explicadas principalmente pela ocorrência de nuvens (tempo nublado), que afetam diretamente a incidência direta e difusa dos raios solares.

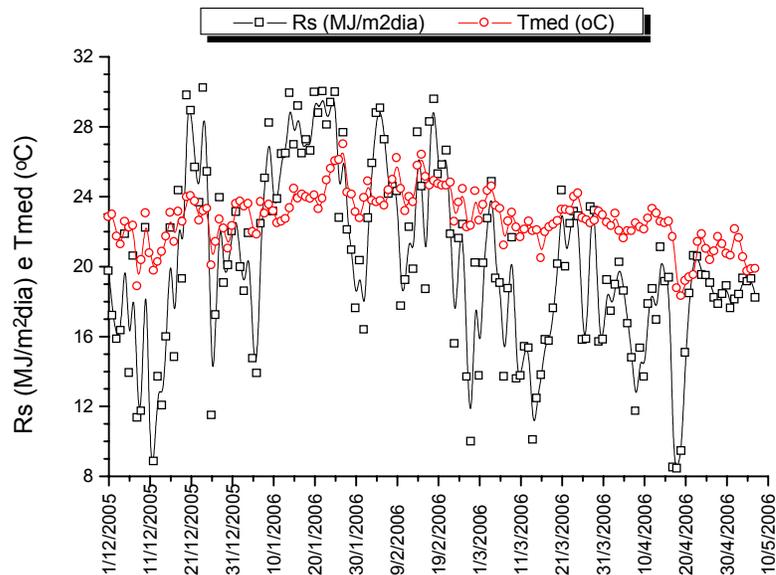


Figura 3. Variação diária da radiação solar (Rs), em MJ/m<sup>2</sup>dia, e temperatura do ar média (Tmed), em °C, na estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, dezembro de 2005 a maio de 2006).

A variação diária da umidade relativa do ar mínima, média e máxima (URmin, URmed e URmax, respectivamente), em %, é apresentado na Figura 4. Observa-se a ocorrência de dias mais secos com valores de URmin do ar abaixo de 35 %. Isso associado às elevadas temperaturas do ar propicia condições de alta demanda evaporativa da atmosfera. Os valores de URmed do ar variaram de 68 a 100 %, sendo o último valor devido a situação de um dia com chuva.

A Figura 5 mostra a variação diária da precipitação (Prec), em mm. A estação chuvosa (Dezembro de 2005 e Janeiro a Março de 2006) compreende período dos dados em que foram registrados os maiores valores diários de Prec (de 50 a 118 mm). A precipitação acumulada mensal foi de 396, 126, 108, e 414 mm para os meses de Dezembro de 2005 e Janeiro a Março de 2006, respectivamente.

O novo conceito de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) baseia-se na taxa de ET de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12m, resistência do dossel da cultura de 70 sm<sup>-1</sup> e albedo de 0,23. Esse conceito assemelha-se, bem de perto, à ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade no solo. O método combinado de Penman-Monteith tem fornecido melhores resultados de estimativa da ET<sub>o</sub> para o caso dessa cultura hipotética de referência, atendendo tanto à definição original de ET potencial de Penman quanto ao conceito de ET<sub>o</sub> da FAO. As variações diárias da ET<sub>o</sub>, em mm/dia, determinada pelo método de Penman-Monteith, e velocidade média do vento (VV med), em m/s, encontram-se na Figura 6. Os maiores valores diários de ET<sub>o</sub> (demanda hídrica da

cultura) foram na faixa de 4,8 a 6,6 mm/dia e os menores valores diários foram da ordem de 1,2 a 2,8 mm/dia. A variação diária da velocidade média do vento (VV med), em m/s, ficou na faixa de 0,6 a 2,4 m/s.

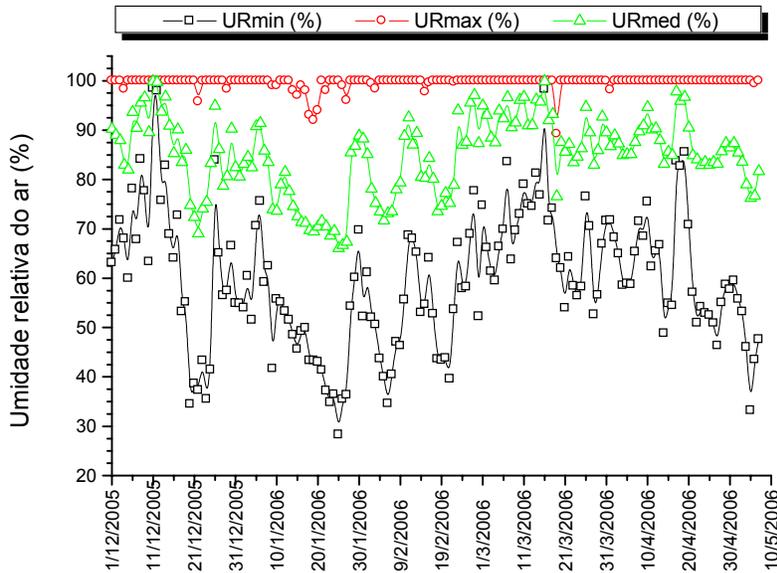


Figura 4. Variação diária da umidade relativa do ar mínima, média e máxima (URmin, URmed e URmax, respectivamente), em %, na estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, dezembro de 2005 a maio de 2006).

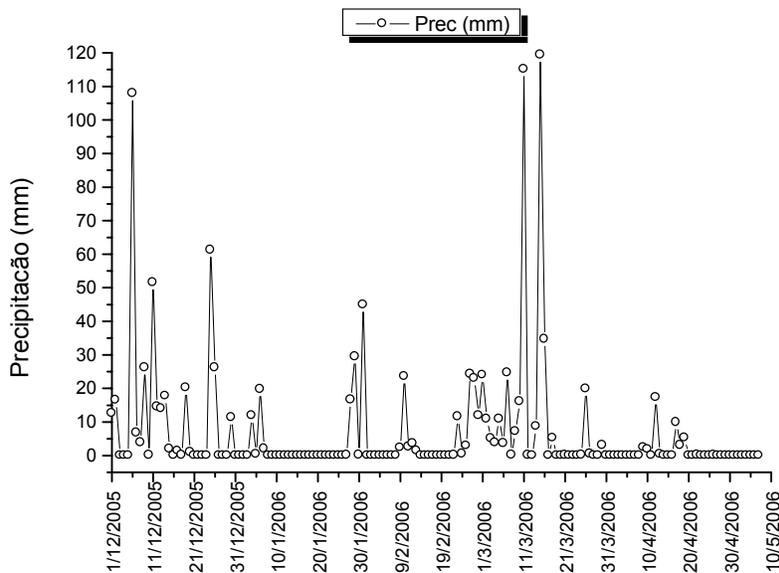


Figura 5. Variação diária da precipitação (Prec), em mm, na estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, dezembro de 2005 a maio de 2006).

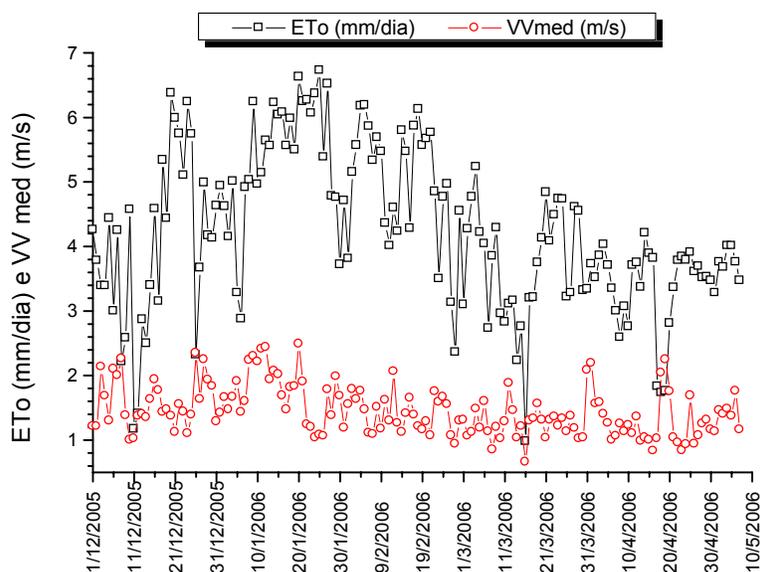


Figura 6. Variação diária da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), em mm/dia, e velocidade média do vento ( $VV_{med}$ ), em m/s, na estação climática automática do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, dezembro de 2005 a maio de 2006).

## CONCLUSÕES

A estação climática automática (ECA), instalada na área do sítio-específico de precisão de Sete Lagoas, na Embrapa Milho e Sorgo, faz parte de uma rede de ECA's e está configurada para efetuar a caracterização de microclima e determinação de evapotranspiração de referência, manejo de irrigação e controle da água nos trabalhos de fenotipagem de genótipos de cereais e legumes tolerantes à seca, com sensores para medições de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade e direção do vento, precipitação e evaporação da água do tanque classe A. As medições de microclima registradas na ECA foram usadas na determinação de  $ET_o$  por meio da equação combinada de Penman-Monteith, que é bastante usada no manejo de irrigação para determinar a  $ET_c$  a partir de  $ET_o$  e dos coeficientes de cultura.

A nova proposta de cálculos diários de  $ET_o$ , com base na equação combinada de Penman-Monteith é apresentada e padronizada de acordo com os procedimentos de Smith (1991) e Allen et al. (1998). A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), em mm/dia, variou desde valores máximos de 4,8 a 6,6 mm/dia até valores mínimos de 1,2 a 2,8 mm/dia. A determinação da  $ET$  da cultura ( $ET_c$ ) é obtida pela multiplicação do valor da  $ET_o$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Todo o processo é automatizado, desde a aquisição dos dados climáticos até os cálculos de  $ET_c$ , sendo a informação disponível para estabelecer estratégias de tomada de decisão de quando e quanto irrigar as culturas. Deve-se ter cuidado com a seleção apropriada de  $K_c$ 's para cada área (região ou sítio-específico) e cultura.

## LITERATURA CITADA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES,D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requeriments*. Roma, FAO, 1977. 179p. (FAO, Irrigation and drainage, Paper 24).
- GOMIDE, R.L. *Monitoramento para manejo de irrigação: instrumentação, automação e métodos*. In: Faria, M.A.; Silva, E.L.; Vilela, L.A.A.; Silva, A.M. Manejo de Irrigação. UFLA, SBEA, 1998. p. 133-238.
- GOMIDE, R.L.; ALBUQUERQUE, P.E.P. de; KOBAYASHI, M. K.; INAMASU, R. Y. Microprocessor and automation techniques for registration of water requirements, stress indexes, and irrigation timing criteria of corn and beans crops in the brazilian south-east irrigated fields. *ASAE Annual International Meeting*, Sacramento, California, USA, 2001. 11 p. (*Paper Number: 01-2049*).
- SMITH, M. *Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements*. Rome, FAO, Land and Water Development Division, 1991. 45 p.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Eng.*, v. 118, p. 977-980, 1992.