



REINALDO L. GOMIDE ² e FREDERICO O. M. DURÃES ³

¹ Pesquisa financiada pelos projetos Embrapa 12.1999.021-02 e PRODETAB 161-2/1998.

² Pesquisador Senior, Embrapa Milho e Sorgo, PhD, Engenharia de Irrigação, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, E-mail: gomide@cnpmembrapa.br.

³ Pesquisador Senior, Embrapa Milho e Sorgo, DSc, Fisiologia Vegetal, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, E-mail: fduraes@cnpmembrapa.br.

Palavras chaves: Transpiração, balanço de energia no caule, termopares, fluxo de calor e temperatura, automação.

INTRODUÇÃO

O mecanismo de perda de vapor d'água das folhas ou a taxa de transpiração (T) tem um grande efeito no estatus hídrico das plantas, em diversos processos metabólicos e no crescimento e desenvolvimento das plantas (HALE & ORCUTT, 1987; MERVA, 1995). As condições ambientais (solo, água e atmosfera) e a constituição genética das espécies afetam diretamente a taxa de T das plantas (MERVA, 1995). A deficiência hídrica é um resultado da supressão parcial ou total de aplicação de água às plantas, devido a distribuição irregular das precipitações pluviais e ao manejo inadequado da água de irrigação. O estresse hídrico ocorre sempre quando a água disponível no solo reduzir a níveis que diminuem a absorção normal de água pelo sistema radicular das plantas e quando as condições atmosféricas forem favoráveis a perda contínua de vapor d'água por T das plantas e evaporação direta da superfície do solo. A determinação da taxa de T das plantas pode ser realizada com medições automáticas de fluxo de circulação de seiva nos caules (sistema vascular: conjunto de vasos do xilema), por meio de métodos denominados de termoeletricos, onde a grande maioria dos trabalhos considera uma condição de estado de equilíbrio térmico, seguindo a aplicação do calor na forma de pulso (COHEN et al., 1981; EDWARDS & WARWICK, 1984; GOMIDE et al., 1992), de um aquecimento contínuo (CERMAK et al., 1976) ou de um balanço de calor (PICKARD, 1973; SAKURATANI, 1981, 1982 e 1984). Todos requerem o conhecimento das propriedades térmicas do tecido vegetal do caule, isto é, calor específico, condutividade térmica e densidade.

Os recursos hídricos estão se tornando cada vez mais escassos, requerendo estudos criteriosos voltados para a racionalização e o uso mais eficiente da água. A medição da necessidade e do déficit hídrico de culturas envolve parâmetros ligados ao contínuo solos, plantas e atmosfera. Caracterizar o *estresse hídrico* tem-se tornado um tema importante para programar a irrigação e selecionar genótipos de plantas mais resistentes ao déficit hídrico, desde que se obtenham métodos eficientes de quantificar esse déficit e seu efeito no crescimento das plantas (HALE & ORCUTT, 1987; MERVA, 1995). Medidas diretas de parâmetros de plantas, associadas com algumas medidas agroclimática a nível de superfície, podem ser a alternativa para um melhor conhecimento da deficiência hídrica das culturas, auxiliando a seleção de genótipos melhor adaptados às condições limitantes de água e o controle de reposição parcial da necessidade hídrica das culturas, onde seria previsto o manejo de irrigações com estresse hídrico. Com base nisso, o presente trabalho teve o propósito de caracterizar o estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea Mays L.*) por meio de monitoramento automático de fluxo de seiva, ou seja, da taxa de T com sondas de balanço de energia instaladas em segmentos de caules de plantas.

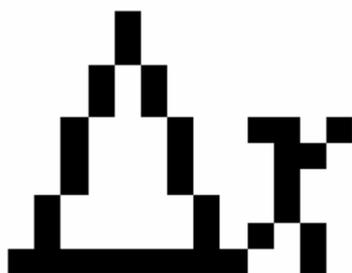
MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram realizados em condições de casa-de-vegetação na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em vasos de 20 Kg. O solo usado como substrato foi retirado da camada de 0,20 m e classificado como Latossolo Vermelho Amarelo álico, textura média, fase cerrado. Os potenciais matriciais (Ψ_{ms}) desse solo de -0,015 MPa e -1,50 MPa forneceram conteúdos de água (θ_s) de 34,8 % e 26,4 % (% com base em volume), que corresponderam a capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente (θ_{s_cc} e θ_{s_pmp}), respectivamente. Antes da semeadura, cada vaso recebeu adubação de 10g de sulfato de amônio, 27g de superfosfato simples, 5g de cloreto de potássio, 20g de sulfato de magnésio e 0,6g de sulfato de zinco, com base na análise química do laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo. A adubação de cobertura constou de 2 g de sulfato de amônio aplicado em cada vaso semanalmente, a partir do estágio V6 até o florescimento. As duas linhagens, L1170 e L13.1.2, de milho estudadas foram semeadas manualmente em 14/02/2001, com 8 sementes por vaso e aos 15 dias após a emergência foi realizado um desbaste deixando-se 3 plantas por vaso. Todas as plantas foram mantidas com um regime hídrico adequado (não estressado- NE ou θ_{s_cc}) até 13/04/2001, 58 dias após a semeadura (DAS), período correspondente ao início de florescimento. Depois desta data, dois vasos de cada uma dessas linhagens foram mantidos sob duas condições de regime hídrico, isto é, NE e estressado (ES), com conteúdos de água no solo próximos aos valores de Ψ_{ms} de -0,015 MPa e de -0,3 MPa ($\theta_s=29,0\%$), respectivamente. O controle do conteúdo de água no solo foi realizado com uma balança eletrônica digital com capacidade de 32 Kg e resolução de 0,005 Kg que funcionou como minilímetro de pesagem. Os tratos culturais foram executados sempre que se fizeram necessários. No final das medições, foram colhidas as três plantas de cada vaso e regime hídrico para determinação da área foliar.

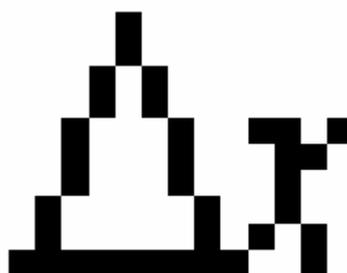
Nas medições de fluxo de seiva no caule das plantas selecionadas foram usadas sondas de balanço de energia ("Dynagage"), fabricadas pela Dynamax Inc. (van BAVEL et al., 1994). O método termoeletrico empregado seguiu todas as recomendações e procedimentos de SAKURATANI (1984). O equipamento utilizado nas medições consistiu de sondas, flexíveis e ajustáveis, que abraçaram aos caules das plantas (Figura 1) e não provocaram nenhum distúrbio aos caules das mesmas. O fluxo de seiva no caule da planta foi determinado pela seguinte equação (SAKURATANI, 1984):

$$F = \frac{Q - kA \frac{(T_u - T_d) + (T_u' - T_d')}{\Delta x} - KE}{c(T_u - T_d)}$$

em que, F é o fluxo de seiva (g s^{-1}), Q é a quantidade de calor suprida ao segmento de caule (W), T_u e T_d são as temperaturas do caule nos limites inferior e superior do segmento aquecido, respectivamente ($^{\circ}\text{C}$), T_u' é a temperatura do caule a uma distância



(m) abaixo do ponto de medida de T_u ($^{\circ}\text{C}$), T_d' é a



temperatura do caule a uma distância (m) acima do ponto de medida de T_d ($^{\circ}\text{C}$), K é uma constante (W v^{-1}), E é a força eletromotriz (v) do elemento sensor de fluxo de calor preso ao segmento aquecido, k é a condutividade térmica do caule ($\text{Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), A é a área da seção transversal do segmento de caule aquecido (m^2) e c é o calor específico da seiva ($\text{J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$). A taxa de transpiração T por unidade de área foliar, em $\text{g h}^{-1}\text{m}^{-2}$, foi obtida a partir da determinação de F.

As sondas de balanço de energia ("Dynagage" modelo SGB19, van BAVEL et al., 1994) usadas apresentaram resistência elétrica de 65 Ω e voltagem de excitação de 4,5 Vdc. O valor de condutividade térmica do caule de milho "k" foi de 0,54 $\text{Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$. As sondas foram instaladas a 0,25 m de altura acima do solo no vaso nos caules de duas plantas das linhagens L1170 e L13.1.2, que apresentaram diâmetros de 1,53 e 1,75 cm e 1,68 e 1,75 cm, respectivamente. O sistema de aquisição de dados envolveu dataloggers, sensores, computadores portáteis e painel solar (Figura 1). Um software gerenciou todo o processo de aquisição automática de dados e cálculos das taxas de fluxo de seiva (T).



FIGURA 1. Sonda de balanço de energia (a) e sistema de medição automática de fluxo de seiva, instalado em segmentos de caules de plantas de milho (b) (Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2001).

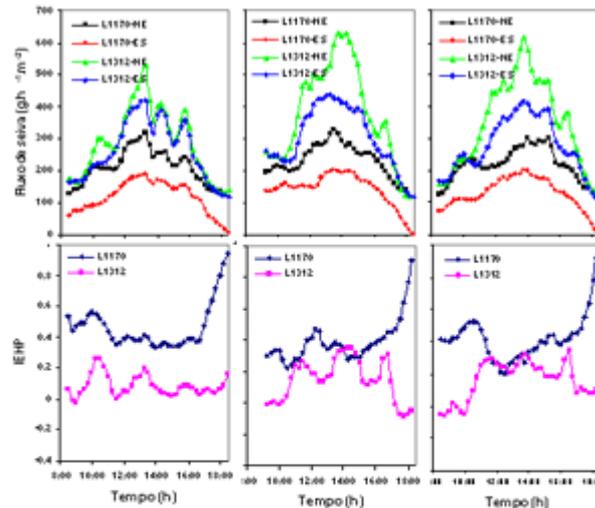
O índice de estresse hídrico da planta (IEHP) foi calculado com $\text{IEHP} = 1 - T_{\text{ES}} / T_{\text{NE}}$, em que, T_{NE} e T_{ES} são as taxas de T obtidas em condições não estressada (NE) e estressada (ES), respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de área foliar das linhagens L1170 e L13.1.2 para o regime hídrico de água no solo NE foram de 0,3724 e 0,2829 m^2 e para a condição hídrica ES de 0,2920 e 0,2130 m^2 , respectivamente. Os resultados da variação de fluxo de seiva (T) por unidade de área foliar de duas linhagens de milho (L1170 e L13.1.2) em função do tempo, para dois regimes hídricos de água no solo (NE e ES) e diferentes datas estão apresentados na Figura 2. Verifica-se que as sondas de balanço de energia, mostraram-se sensíveis para detectar variação de consumo de água das plantas e que os maiores valores de fluxo de seiva ou transpiração ocorreram entre 12:00 e 15:00 horas, indicando uma maior demanda evaporativa da atmosfera no interior da casa de vegetação neste período. Os resultados indicam que as linhagens L1170 e L13.1.2 mostraram-se mais sensível e tolerante à seca, respectivamente, uma vez que sempre apresentaram menores valores de fluxo de seiva da linhagem L1170 para as duas condições de regime hídrico (NE e ES), principalmente para a condição de estresse hídrico, onde foi mais realçada e evidente as menores taxa de consumo de água das plantas. A Figura 2 também mostra a variação de índice de estresse hídrico da planta (IEHP) de duas linhagens de milho (L1170 e L13.1.2) em função do tempo para diferentes datas. Verifica-se que a linhagem L1170 é a mais sensível ao estresse hídrico, uma vez que apresentou maiores valores de IEHP. Já a linhagem L13.1.2 apresentou valores bem menores de IEHP, comprovando tratar-se de uma linhagem mais tolerante à seca. Mesmo a linhagem L13.1.2 chegou a apresentar valores mais elevados de IEHP, indicando provavelmente uma condição favorável para o estresse hídrico manifestar-se nas plantas, isto é, alta demanda evaporativa da atmosfera e limitação de conteúdo de água no solo. Alguns valores negativos obtidos de IEHP provavelmente estão relacionados a uma reposição inadequada de água de irrigação aos vasos, principalmente àqueles vasos mantidos sob regime hídrico não estressado (T

máxima ou potencial) e, também, a uma demanda evaporativa da atmosfera desuniforme no interior da casa de vegetação. Isto pode ocasionar valores de T_{ES} (atual ou real) maiores que T_{NE}

(máximo ou potencial).



(máximo ou potencial).

(a)

(b)

(c)

FIGURA 2. Variação de fluxo de seiva (transpiração) por unidade de área foliar ($g \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) e de índice de estresse hídrico da planta (IEHP) de duas linhagens de milho (L1170 e L13.1.2) em função do tempo para dois regimes hídricos de água no solo (não estressado - NE e estressado - ES) e diferentes datas (a, b e c = 22, 23 e 25/04/2001, respectivamente).

CONCLUSÕES

As sondas de balanço de energia, instaladas nos caules das plantas, mostraram-se sensíveis para detectar variação de fluxo de seiva ou consumo de água das plantas (transpiração); a linhagem de milho L1170 apresentou menores valores de fluxo de seiva e mostrou-se sensível ao estresse hídrico (maiores valores de IEHP); a linhagem de milho L13.1.2 apresentou maiores valores de fluxo de seiva e mostrou-se tolerante ao estresse hídrico (menores valores de IEHP); e o IEHP mostrou-se adequado para caracterização hídrica das duas linhagens de milho estudadas.

LITERATURA CITADA

CERMAK, J., KUCERA, J.; PENKA, M. Improvement of a method of sap flow determination in fully-grown trees based on heat balance with direct electrical heating of xylem. *Biol. Plant.*, v.18, p.99-105, 1976.

COHEN, Y.; FUCHS, M.; GREEN, G.C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, cell and environment*, n.4, p.391-397, 1981.

EDWARDS, W.R.N.; WARWICK, N.W.M. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. *New Zealand J. of Agric.Res.*, v.27, p.537-543, 1984.

- GOMIDE, R. L.; JORDAN, K. A. & SLACK, D. C. A transient heat probe sensor for measuring transpiration in woody plant stems. **In:** PROC. OF THE WORKSHOP ON REAL TIME SENSING AND CONTROL OF AUTOMATED IRRIGATION SYSTEMS, 16th, 1992, Budapest, Hungary. European Regional Conf., International Commission on Irrigation and Drainage, 1992, p.51-58.
- HALE, M. G.; ORCUTT, D. M. *The physiology of plants under stress*. Ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 206p.
- MERVA, G. E. *Physical principles of the plant biosystem*. Ed. Pamela De Vore-Hansen, the American Society of Agricultural Engineers, 1995. 272 p.
- PICKARD, W.F. A heat pulse method of measuring water flux in woody plant stems. *Mathematical Biosciences*, v.16, p.247-262, 1973.
- SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal Agricultural Meteorology*, v.37, n.1, p.9-17, 1981.
- SAKURATANI, T. Improvement of the probe for measuring water flow rate in intact plants with the stem heat balance method. *Journal Agricultural Meteorology*, v.40, n.3, p.273-277, 1984.
- SAKURATANI, T. Two thermic methods for measuring water flux in the stem of intact plants and their applications. *Bull. of Nat. Inst. of Agric. Sci.*, series A, v.29, p.47-121, 1982.
- van BAVEL, M. G.; van BAVEL, C. H. M.; LUDWIG, K.; HARRELSON, D.; THANNOON, S. *Flow 32[™] installation and operation manual, version 2.12 software*. Ed. Houston, Texas: Dynamax Inc., 1994. 178p.

