

MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DE FLUXO DE SEIVA COM SONDAS DE BALANÇO DE ENERGIA E CARACTERIZAÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO DE DUAS LINHAGENS DE MILHO (*Zea mays* L.)

R. L. GOMIDE³, F. O. M. DURÃES⁴, M. K. KOBAYASHI⁵, R. A. F. MACHADO⁶

Escrito para apresentação no
XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2002
Salvador-BA, 29 de julho a 02 de agosto de 2002

RESUMO: O objetivo do trabalho é estudar um sistema de monitoramento automático da taxa de transpiração e caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.) a partir de medições de fluxo de seiva com sondas de balanço de energia, instaladas nos caules das plantas. As sondas são compostas de resistência elétrica de aquecimento (jaqueta térmica), que fornece uma taxa constante de calor ao segmento do caule; termopares de cobre-constantan, que detectam as perdas de calor da superfície da jaqueta térmica para o ar ao redor do caule e as diferenças de temperatura no segmento do caule monitorado. O sistema de aquisição de dados envolveu dataloggers, sensores, computadores portáteis e fonte de energia (painel solar e baterias recarregáveis). Um programa gerenciou toda a aquisição automática de dados e efetuou os cálculos de fluxo de seiva. Os resultados indicaram que as sondas mostraram-se sensíveis para detectar variação de fluxo de seiva (transpiração); a linhagem de milho L1170 apresentou menores valores de fluxo de seiva e mostrou-se sensível ao estresse hídrico; a linhagem de milho L13.1.2 apresentou maiores valores de fluxo de seiva e mostrou-se tolerante ao estresse hídrico e o índice de estresse hídrico de plantas (IEHP) mostrou-se adequado para caracterização hídrica das duas linhagens de milho estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Sensores, fluxo de calor e temperatura, transpiração.

SAP FLOW AUTOMATIC MEASUREMENT WITH ENERGY BALANCE PROBES AND WATER STRESS CHARACTERIZATION OF TWO MAIZE (*Zea mays* L.) LINEAGES

SUMMARY: The objective of this work is to study an automatic measurement system of transpiration rate and water stress characterization of two maize (*Zea mays* L.) lineages from sap flow measurements with energy balance probes, installed on plants stems. The probes are made of heating electrical resistance (thermal jacket), which provides a constant heat rate to the stem segment; copper-constantan thermocouples, which detect surface heat losses from the thermal jacket to the air surrounding the stem and the temperature differences in the stem segment being monitored. The acquisition data system involved dataloggers, sensors, notebooks, and energy source (solar panel and rechargeable batteries). A program managed all the automatic data acquisition process and provided the sap flow rates computation. The results indicated that the energy balance probes were sensible to detect sap flow (transpiration) variation; the maize lineage L1170 provided lower sap flow values and was sensible to water stress; the maize lineage L13.1.2 provided higher sap flow values and was tolerant to water stress; and the plant water stress index (PWSI) was adequate for water stress characterization of the two maize (*Zea mays* L.) lineages studied.

KEYWORDS: Sensors, heat and temperature flow, transpiration.

² PhD Engenharia Agrícola: Irrigação/Automação, Pesquisador Senior, Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas-MG. Fone: (31) 3779-1228. E-mail: gomide@cnpm.embrapa.br.

³ DSc Fisiologia Vegetal, Pesquisador Senior, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

⁵ DSc Engenharia Agrícola, Bolsista Recém-doutor do CNPq, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

⁶ MSc Fitotecnia, Bolsista CAPES, Doutorando em Agricultura na FCA/UNESP, Botucatu-SP.

INTRODUÇÃO: Em algumas regiões do Brasil, os recursos hídricos são escassos, requerendo estudos criteriosos para a orientação com relação ao uso mais eficiente da água. A irrigação é uma alternativa tecnológica para contornar o problema hídrico, visando assegurar o aumento da produtividade, tanto em quantidade como em qualidade dos produtos. Caracterizar o *estresse hídrico* tem-se tornado um fator importante como modo de programar a irrigação e selecionar genótipos de plantas mais resistentes ao déficit hídrico, desde que se obtenham métodos de quantificar esse déficit e seu efeito (HALE & ORCUTT, 1987). A medição da necessidade e do déficit hídricos de culturas envolve parâmetros ligados às plantas e condições agrometeorológicas. Hoje é possível a obtenção de evapotranspiração (ET), transpiração (T) e *índice de estresse hídrico da cultura* (IEHC) com técnicas de sensoriamento remoto (RAY & DADHWAL, 2001; CARLSON et al., 1995) e de medições de fluxo de circulação de seiva no caule de plantas, conhecidas como métodos termoeletrônicos (SAKURATANI, 1984). Medidas diretas de parâmetros de plantas com o propósito de caracterizar as suas necessidades hídricas, 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 das irrigações com estresse hídrico. Com base nisso, o presente trabalho tem o propósito de estudar um sistema de monitoramento automático de T com sondas de balanço de energia instaladas em caule de plantas a partir de medições de fluxo de seiva e caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.).

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 ($\theta_{s_{cc}}$ e $\theta_{s_{pmp}}$), respectivamente. As duas linhagens, L1170 e L13.1.2, de milho estudadas foram semeadas em 14/02/2001, com 3 plantas por vaso. Todas as plantas foram mantidas com um regime hídrico adequado (não estressado- NE ou $\theta_{s_{cc}}$) 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. A adubação básica e as correções do solo seguiram as recomendações preconizadas em literatura para a cultura do milho. Os tratamentos 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 termoeletrônico 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):

$$F = \frac{Q - kA \frac{(T_u - T_u') + (T_d - T_d')}{\Delta x} - KE}{c(T_d - T_u)} \quad (1)$$

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 ($^{\circ}C$), T_u' é a temperatura do caule a uma distância Δx (m) abaixo do ponto de medida de T_u ($^{\circ}C$), T_d' é a temperatura do caule a uma distância Δx (m) acima do ponto de medida de T_d ($^{\circ}C$), 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 ($Wm^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$), A é a área da seção transversal do

segmento de caule aquecido (m^2) e c é o calor específico da seiva ($J g^{-1} °C^{-1}$). A taxa de transpiração T por unidade de área foliar, em $g h^{-1}m^{-2}$, 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 65Ω e voltagem de excitação de 4,5 Vdc. O valor de condutividade térmica do caule de milho “ k ” foi de $0,54 Wm^{-1} °K^{-1}$. 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).

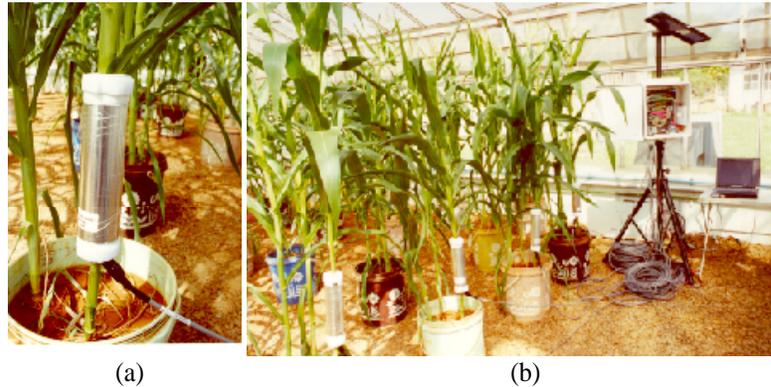


Figura 1 - Sonda de balanço de energia (a) e sistema de medição automática de fluxo de seiva, instalado em plantas de milho (b) (Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2001).

O índice de estresse hídrico da planta (IEHP) foi calculado com $IEHP = 1 - T_{ES} / T_{NE}$, 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).

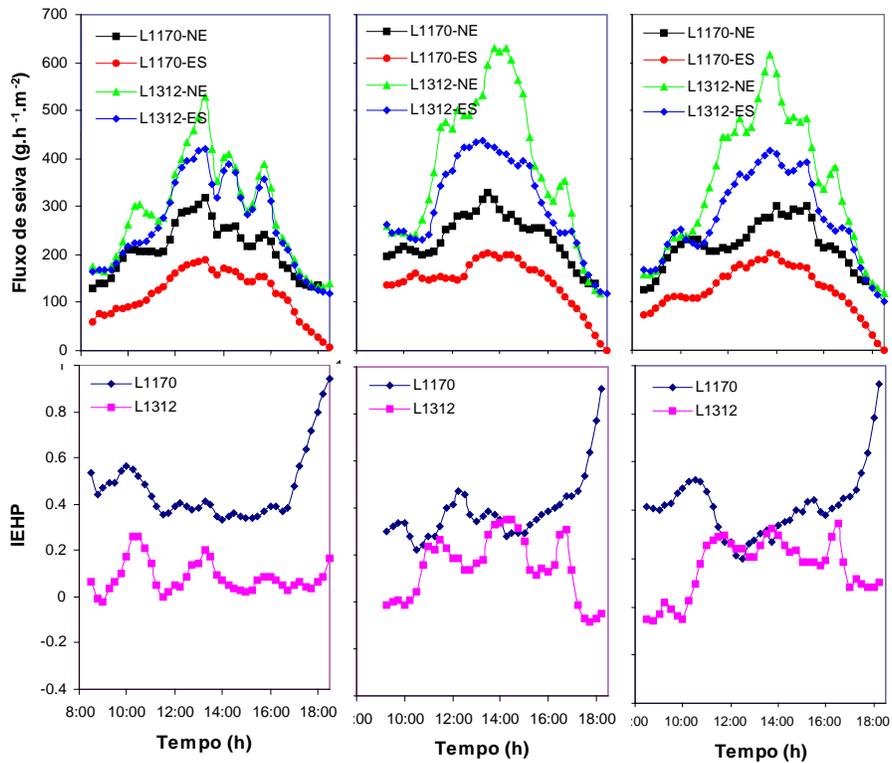


Figura 2 - Variação de fluxo de seiva (transpiração) por unidade de área foliar e de índice de estresse hídrico da planta (IEHP) de duas linhagens de milho (L1170 e L13.1.2) em função do tempo para dois regimes hídricos de água no solo (não estressado - NE e estressado - ES) e diferentes datas.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CARLSON, T. N.; CAPEHART, W. J.; GILLIES, R. R. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sensing Environment*, n.54, p.161-167, 1995.
- HALE, M. G.; ORCUTT, D. M. *The physiology of plants under stress*. Ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 206p.
- RAY, S.S.; DADHWAL, V. K. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Management*, n.49, p.239-249, 2001.
- 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.
- 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.