

# SENSOR “MENOS INVASIVO” INTEGRADO A UM SISTEMA “TERMO-PULSO-MARCADOR”, PARA O MONITORAMENTO DA PERDA D’ÁGUA EM PLANTAS: Resultados preliminares

Antonio Odair **SANTOS**<sup>1</sup> & Camila de **BARROS**<sup>3</sup>

## 1. INTRODUCAO

A medição precisa do uso da água pelas plantas é fundamental para o entendimento do balanço hídrico e energético de cultivos agrícolas e florestais.

Na escala de lavoura, particularmente para a área de irrigação, a determinação da perda d’água é fundamental para o cálculo de lâminas de recarga e para o dimensionamento de projetos a campo.

A determinação da curva de perda d’água a partir de medições no fluxo de seiva no caule, tanto para plantas herbáceas como arbóreas tem sido feita pela utilização da técnica conhecida como sistema de pulso de calor, dentre outras. A técnica é baseada na aplicação de calor como elemento traço, para detectar o movimento de seiva no xilema, através do uso de sensores implantados (Smith & Allen, 1996). A taxa de fluxo de seiva é determinada pela aplicação de um pulso de calor e conseqüente medição da modificação na temperatura à montante e à jusante da fonte de calor.

Santos (2003) (neste congresso), apresentou aspectos do desenvolvimento de um sistema integrado para o monitoramento de fluxo de seiva, utilizando-se sensores termométricos implantados no caule de milho, e eletrodos móveis para o fornecimento do calor, que são inseridos no diâmetro do caule.

A necessidade da abordagem de outras culturas, com diâmetros de caule variados, principalmente na área da silvicultura e fruticultura e a necessidade de simplificação da metodologia, justifica o estudo de melhorias dos métodos e processos envolvidos no monitoramento da perda d’água em plantas, que tem base no uso do calor como marcador da seiva.

O objetivo deste estudo é demonstrar aspectos do desenvolvimento de um sensor de “engate rápido”, integrado a um protótipo para monitoramento direto da perda d’água em plantas, com base na marcação da seiva por calor.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Base Teórica do sistema

A determinação do transporte d’água em plantas, através da marcação da seiva por calor, tem por base a condução e convecção de calor em meio homogêneo e isotrópico (Swanson & Whitfield, 1981).

Configurando-se uma fonte de calor e sensores, para diferencial de temperatura em um mesmo plano diametral e longitudinal, pode-se determinar a velocidade de seiva amostrando-se aquele diferencial em dois pontos assimétricos em relação à fonte de calor, no caule e equacionando-se do seguinte modo, para plantas herbáceas (p.e. Santos et al., 1999):

$$v = (x_1 - x_2) / 2t_0 \quad [2]$$

onde  $x_1$  e  $x_2$  são as distâncias à jusante e à montante da fonte linear de calor, respectivamente,  $t_0$  é o tempo requerido para que o diferencial de temperatura entre  $x_1$  e  $x_2$  retorne aos seus valores iniciais (re-ocorrência).

A partir da determinação de  $t_0$ , a transpiração ( $Tr$ ) pode ser determinada assumindo-se que o transporte de calor é proporcional ao transporte de seiva, utilizando-se a relação abaixo:

$$Tr = v(t_0) \cdot C_f \frac{d^2 \pi}{4} \quad [3]$$

onde  $C_f$  é um fator de calibração específico para cada espécie vegetal e  $d$  é o diâmetro médio do caule no local da implantação dos sensores.

### Sistema de marcação da seiva

A geração de pulsos de calor foi feita através de um sistema autônomo e integrado para marcação da seiva e armazenamento dos dados relativos à evolução da curva de diferencial de temperatura versus tempo. O sistema foi baseado no desenvolvimento de uma placa controladora de pulsos conectada a duas mini-baterias, com a distribuição de carga elétrica em um conjunto de difusores de calor e o monitoramento da temperatura interna do caule feito por juntas termopares capilares dotadas de bainha (agulhas hipodérmicas).

O experimento foi desenvolvido em laboratórios do Centro de Engenharia Agrícola (IAC) em Jundiaí, durante os anos de 2002 e 2003.

### 2.2.2. Construção do sensor

A movimentação da seiva foi verificada através da medição diferencial da temperatura entre dois pontos amostrados na base do caule do milho. O sensor foi construído em três blocos desmontáveis de teflon (Figura 1). A condução de calor até a seiva foi feita através de um núcleo difusor de calor, que foi desenvolvido com base no conjunto formado por um condutor de aço cromado envolto em níquel-cromo. A construção obtida permite tripla função (marcar a seiva e ler em dois pontos do caule) a partir de elementos fixos em um bloco único. A idéia central é a de que o aquecimento do conjunto resistivo do sensor através de um pulso longo pode marcar a seiva por diferencial de potencial de calor, sem necessidade de circulação de corrente elétrica em todo o diâmetro do caule.

As distâncias entre as agulhas e entre estas e a fonte de calor obedeceu à configuração previamente

1. Dr., Pqc do Centro de Engenharia Agrícola, (IAC). Cx. P. 26, CEP 13201-970, Jundiaí, SP. E-mail: [odairsan@iac.sp.gov.br](mailto:odairsan@iac.sp.gov.br)

3. Bolsista de Iniciação Científica no Centro de Engenharia Agrícola, IAC

estabelecidas para milho, descritas em Santos et al. (1999).

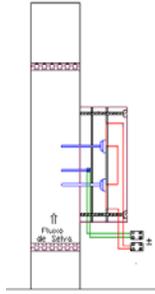


Figura 1. Diagrama do corpo de teflon e microcircuito do sensor de tripla função, desenvolvido para leitura do fluxo de seiva em milho.

### 2.2.3. Leitura e armazenamento dos dados

A leitura da temperatura diferencial, em planta de milho, foi efetuada ao longo do tempo, sendo a flutuação do sensor ponderada a cada 5 minutos. A cada dez minutos um pulso longo de calor de 2,5 segundos foi fornecido à seiva e a re-ocorrência da temperatura imediatamente anterior ao pulso foi armazenada.

Uma alternância entre períodos de sombreamento e iluminação, em torno de 15 minutos foi aplicada sobre planta de milho, para forçar a verificação no nível de concordância entre a evolução da curva do sensor e a da radiação solar.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção experimental em teflon mostrou-se adequada devido à tolerância do material para temperaturas de até 300 °C. O difusor de calor montado no interior da peça sofre um forte aquecimento por um tempo muito curto. Testes de fornecimento de calor evidenciaram que não ocorreu danos internos ao sensor com um pulso de 12 segundos de duração, que é cerca de seis vezes maior que o tempo de pulso utilizado para marcar a seiva no experimento.

A sensibilidade do sensor para a movimentação de seiva pode ser observada na Figura 2, onde é mostrada a evolução das curvas termométricas do sensor e da radiação solar, durante três dias e uma noite. O núcleo difusor de calor mostrou-se adequado para fornecer traços de calor à seiva do milho. Foi observado um ponto máximo para a curva diferencial de temperatura em torno de dois graus centígrados, para um pulso longo de 2,5 segundos. O aumento de temperatura interna, no caule do milho, não causa dano aos tecidos e o gasto de energia, ao longo do dia, pode ser suprido com facilidade pelo painel solar instalado.

A alternância entre sombreamento e iluminação aplicada em algumas horas do dia evidenciou haver aumento no tempo de “re-ocorrência” acompanhando a queda nos níveis de radiação solar, sendo o contrário também verdadeiro. Isto mostra haver concordância entre a evolução da curva de elemento importante da demanda atmosférica e a curva de  $t_0$  desenvolvida pelo sensor. Outro detalhe observado na figura 2 são os tempos de re-ocorrência em dois dias de demandas

atmosféricas diferentes. Para o dia com níveis de radiação solar menor observam-se tempos maiores de re-ocorrência, e para o dia de maior insolação, os níveis de re-ocorrência são menores, sugerindo taxas maiores de transpiração neste último caso.

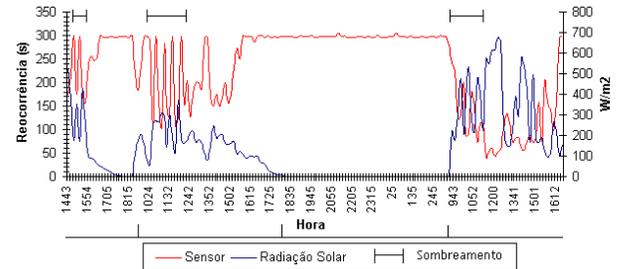


Figura 2. Curva de sensibilidade ao fluxo de seiva desenvolvida por sensor construído para determinação de parâmetros de cálculo da velocidade seiva ( $t_0$ ) e curva da radiação solar, no dia 14, 15 e 16/04/2003, em milho.

## 4. CONCLUSÃO

O sensor desenvolvido possibilitou a marcação da seiva com calor, sendo o conjunto sensível a variações no fluxo de seiva do milho, portanto passível de utilização na determinação direta da taxa de transpiração em plantas, após calibração a campo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B. 1999. Assessment of corn water uptake based on sap heat tracing, under water-stressed conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB). v.3, n.2, pp.145 – 149, 1999.
- SMITH, D.M.; ALLEN, S.J. Measurement of sap flow in plant stems. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 305, p. 1833-1844, 1996.
- SWANSON, R.H., WHITFIELD, D.W.A. Numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.32, p.221-239, 1981.