

DESENVOLVIMENTO DE SENSORES DE FLUXO DE SEIVA PARA ESTIMATIVA DE TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS

Vinicius de Campos Franz (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Felipe da Silva Angelotto, Gabriel Malagutti de Assis, Pedro Manoel Pinheiro, João Paulo Francisco (Orientador). E-mail: Ra128444@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Biológicas, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Ciências Agrárias, Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e solo.

Palavras-chave: Conservação de Solo e Água, Transpiração Vegetal, Fluxo de Seiva

RESUMO

A quantificação da quantidade de água consumida pelas plantas por meio de sensores de fluxo de seiva pode ser adotada como manejo de irrigação. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo desenvolver sensores de baixo custo para monitoramento do fluxo de seiva em plantas, visando a determinação da transpiração vegetal e melhoria do manejo hídrico. As sondas de dissipação térmica foram construídas com agulhas de aço inoxidável, fios de constantan e termopares tipo T, integradas a um sistema de aquisição de dados baseado em Arduino. Para calibração, as sondas foram testadas em tubos de PVC com fluxo de água controlado, registrando a diferença de temperatura (ΔT) entre a sonda aquecida e a referência. Os resultados mostraram resposta linear da sonda à variação de fluxo, com diferenças de temperatura de até $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ no maior fluxo aplicado (2 L min^{-1}), demonstrando sensibilidade adequada para medição de fluxo de seiva. O valor de K obtido para a equação de Granier foi 4,43, indicando que os sensores desenvolvidos podem ser utilizados de forma confiável para monitoramento contínuo da transpiração de plantas, oferecendo uma alternativa de baixo custo para estudos fisiológicos e manejo da irrigação.

INTRODUÇÃO

Com o uso de sensores de fluxo de seiva é possível quantificar a quantidade de água consumida pela planta e por sua vez determinar a lâmina adequada para a reposição de água para a cultura (Capurro et al., 2024). A transpiração vegetal é de fato, a forma mais importante de saída de água em áreas de cultivo, sendo fator determinante para o balanço hídrico (Kumar et al., 2022). Dessa forma, o uso de sensores capaz de medir o fluxo de seiva que funcionam pelo princípio da dissipação térmica, uma das sondas está sobre constante aquecimento e a outra permanece como referência, e com base no movimento da seiva dentro da planta causa uma diferença de temperatura entre ambas: quanto maior for o transporte de

calor convectivo pelo fluxo, menor será a diferença, o que expressa diretamente a taxa de transpiração da planta (Pascoal et al., 2024). O uso de sensores de baixo custo, construídos com agulhas hipodérmicas e termopares tipo T, integrados com um sistema de aquisição de dados como placas de arduino, possibilita a medição contínua e em tempo real (Dangare et al., 2017). Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi o de desenvolver sensores de fluxo de seiva de baixo custo para determinação da transpiração de plantas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no laboratório de Hidráulica e Irrigação, pertencente ao curso de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – Centro de Ciências Agrárias., localizado em Umuarama/PR.

Construção dos sensores de fluxo de seiva

A sonda de dissipação térmica foi confeccionada com o uso fio de constantan de 50 μm de diâmetro. Esse fio foi cuidadosamente enrolado ao redor de uma agulha de aço inoxidável (0,9 $\times$ 25 mm), formando ao final um cilindro com aproximadamente 1,2 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento. No interior de cada agulha, na região central, foi inserida uma junção de termopar, obtida pela união de fios de cobre com fios de constantan. Dois desses termopares, conectados em série e posicionados a 10 cm de distância um do outro, são responsáveis pela medição da temperatura.

O aquecimento da sonda superior ocorreu pela resistência criada pelo fio de constantan que foi enrolado na parte externa da agulha. Para o fornecimento de calor, foi utilizado fontes de corrente ajustável, com a possibilidade de ligar múltiplas sondas com os elementos aquecedores ligados em série. A resistência elétrica total das sondas foi medida através de um multímetro e foi calculada a tensão a ser utilizada pela lei de Ohm, de modo a se ter uma potência calculada de 0.1 W.

As fontes de corrente foram posicionadas em caixas pb203, onde se colocou a placa de circuito elétrico com os componentes necessários para o funcionamento do sistema de fornecimento de energia. Para que fosse possível a confecção desse sistema de corrente com seis saídas em série foram utilizados: seis reguladores LM317 TO-220, seis dissipadores DM812 MD, seis trimpots MV 2K, seis resistores de 22 Ω (1 W), um diodo 1N4007, um fusível, um resistor de 1,2 k Ω (1/4 W), um LED vermelho de 5 mm, dois conectores PTR de 12 vias (seis machos e seis fêmeas) e dois conectores PTR de 2 vias (um macho e um fêmea). A fonte foi alimentada com 12 V, utilizando-se a mesma bateria empregada no sistema de aquisição de dados.

Calibração do fluxo de seiva

Para o teste de calibração, cada sonda foi instalada em um segmento de tubo de PVC preenchido com algodão e fluxo de água controlado. As sondas foram posicionadas verticalmente, de modo que a sonda superior fosse responsável pelo aquecimento e a inferior atuasse como referência de temperatura. Um fluxo de água ajustável foi conectado ao segmento para simular diferentes taxas de fluxo de seiva.

O sistema de aquisição de dados, controlado por Arduino, registrou a diferença de temperatura (ΔT) entre as sondas a cada 10 minutos, durante um período total de 2 horas por teste. Foram realizados três ensaios consecutivos para cada nível de fluxo simulado.

Para cada sonda, foi calculado o índice K conforme Granier (1985):

$$K = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T}{\Delta T_{max}}$$

Os valores de K foram então relacionados às taxas de fluxo simuladas para gerar a curva de calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentados os valores (tipo boxplot) de diferença de temperatura obtidos com as sondas de dissipação térmica construída em função do tempo e de diferentes fluxos de água aplicados. Cabe ressaltar que a cada intervalo de 10 minutos, foi acrescido um fluxo de água equivalente à $0,02 \text{ L min}^{-1}$.

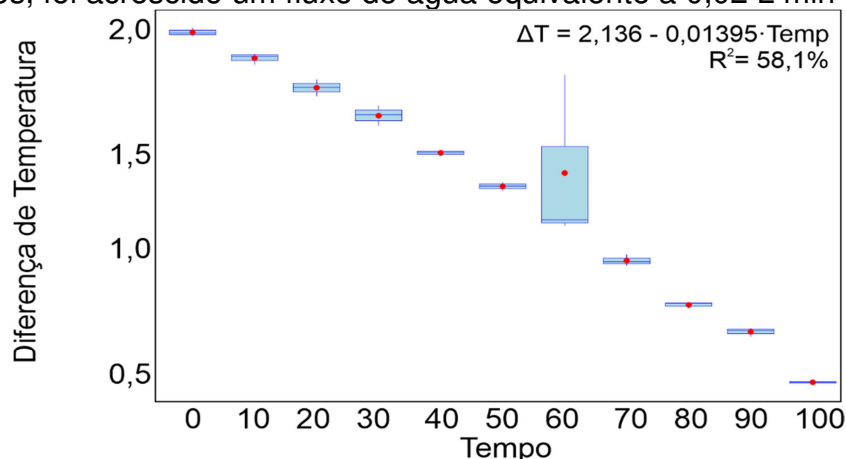


Figura 1 – Diferença de temperatura ao longo do tempo em função do fluxo de água aplicado.

Verifica-se que com o aumento do fluxo de água a sonda respondeu linearmente, em queda, ao longo do tempo. No maior fluxo de água, equivalente à 2 L min^{-1} era possível obter uma diferença de temperatura de aproximadamente $0,5^\circ\text{C}$. Esse resultado demonstra que a sonda teve sensibilidade para obtenção da diferença de temperatura e que a mesma pode ser utilizada para determinação de fluxo de seiva em plantas pelo método de dissipação térmica, estando de acordo com o princípio estabelecido por Granier (1987), que descreve a proporcionalidade entre o gradiente térmico na sonda e a taxa de fluxo de seiva.

Observou-se uma resposta linear da sonda à variação do fluxo, com maior queda de temperatura (aproximadamente $0,5^\circ\text{C}$) no fluxo máximo aplicado (2 L min^{-1}). o que demonstra a sensibilidade do sistema em detectar variações relativamente pequenas. Esse desempenho é relevante, pois estudos prévios indicam que a acurácia do método depende fortemente da estabilidade da calibração e da capacidade de detectar mudanças sutis no fluxo. Além disso, o valor de K calculado

para a equação de Granier (4,43) está dentro de uma faixa compatível com a literatura.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que as sondas de dissipação térmica construídas apresentaram sensibilidade adequada para medir diferenças de temperatura em função de diferentes fluxos de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Fundação Araucária e Universidade Estadual de Maringá.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**. Rome: FAO, 1998.

CAPURRO, M. C.; HAM, J. M.; KLUITENBERG, G. J.; COMAS, L. H.; ANDALES, A. A. A novel sap flow system to measure maize transpiration using a heat pulse method. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 301, e108963, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108963>.

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**, Oxford, v. 3, p. 309–320, 1987.

KUMAR, S.; RAJPUT, R.; RAO, K. S.; SINGH, A. K.; KAUR, H. Challenges and advances in measuring sap flow in agriculture and agroforestry: A review with focus on nuclear magnetic resonance. **Sensors**, Basel, v. 22, n. 21, p. 1–23, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22218357>.

PASCOAL, A.; BARROS, P.; COSTA, L.; REIS, J. A technical survey on sap flow sensors: From classical approaches to open-source and IoT-based solutions. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, p. 1–17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59465-3>.

DANGARE, A.; MARQUES, P. A. A.; CASTRO, N. M. R. Smart sap flow: low cost sensor for measuring plant transpiration. **EAI Endorsed Transactions on Smart Cities**, Ghent, v. 2, n. 5, p. 1–8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4108/eai.24-7-2017.152898>.