

UMA SONDA DE CALOR TRANSIENTE CONTROLADA POR COMPUTADOR PARA MEDIR FLUXO DE FLUIDO EM MEIOS POROSOS

GOMIDE, Reinaldo Lúcio¹, JORDAN, Kenneth A.² & SLACK, Donald C.²

RESUMO: Uma sonda de calor transiente controlada por computador foi desenvolvida para medir fluxo de fluido em meios porosos. O sistema é operado automaticamente com o auxílio de uma placa de computador e é basicamente composto de um sensor do tipo sonda-termistor, uma fonte de corrente elétrica constante de dois níveis, um conversor de sinal analógico para digital, um transistor de efeito de campo e um conjunto de amplificadores operacionais. A sonda é alternadamente comutada entre dois módulos de operação, alta e baixa potência. Um programa foi desenvolvido para solicitar ao usuário os tempos para controlar o termistor e permitir os registros de identificação do local, data, horário e dados para posições específicas da memória. Os princípios, a concepção, a montagem e o funcionamento de toda a instrumentação são descritos. O sistema foi testado e avaliado em dois diferentes meios porosos. Resultados indicaram que o termistor aquecido é capaz de detectar o fluxo de fluido uma vez que sua resposta térmica transiente foi afetada pela taxa de fluxo local.

PALAVRAS-CHAVE: sonda de calor transiente, fluxo de fluido, meios porosos, automação.

ABSTRACT: A computer based transient heat probe sensor has been developed to measure fluid flow in porous media. The system is operated in a stand-alone fashion with the aid of a single board computer and is basically made of a thermistor probe sensor, a two level constant electric current source, an analog-to-digital signal converter, a field effect transistor, and a set of operational amplifiers. The thermistor is alternately and automatically switched between a high and a low power mode of operation. A software was developed to prompt the user for the times to control the thermistor and allow the registration of local identification, date, time and data to specific memory locations. The microprocessor instrumentation principles, design, assembly and function are described. The system was tested and evaluated in two different porous media. Results indicated that the heated thermistor is able to detect fluid flow since its transient thermal response was affected by the local flow rate.

KEYWORDS: transient heat probe sensor, fluid flow, porous media, automation.

INTRODUÇÃO: Um grande número de cientistas tem se preocupado com a investigação de fluxos em diferentes meios porosos. Muitos trabalhos têm empregado dispositivos termoeletrônicos, onde uma fonte de calor contínua e um pulso direcionado de calor são usados como indicadores para detectar o movimento de fluidos. Fanney e Dougherty (1987) desenvolveram e calibraram um termistor autoaquecido para medir o fluxo induzido em um termosifão de um sistema de aquecimento solar e apresentaram resultados da análise da transferência de calor. Também, medições de fluxo de seiva no caule de plantas têm sido realizadas (Cohen et al., 1981; Edwards e Warwick, 1984), utilizando conhecimento das propriedades térmicas da madeira úmida e de condição de equilíbrio térmico na análise da transferência de calor. Contudo, ainda não tem sido encontrado

¹ Pesquisador da EMBRAPA-CNPMS e Bolsista do CNPq, Engenharia de Irrigação, Ph.D., E-mail: gomide@cnpmc.embrapa.br.

² Professores da University of Arizona, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Tucson, Arizona, U.S.A.

uma maneira de estudar o fluxo de fluido em meio poroso para condições transiente de transferência de calor. Da mesma forma, ainda não tem sido desenvolvido um único sensor com o propósito de realizar a aplicação do pulso de calor e detectar as mudanças de temperatura do meio. Com base nisso, procurou-se desenvolver neste estudo uma sonda de calor transiente controlada por computador para medir fluxo de fluido em meios porosos. Também, um programa foi desenvolvido para controlar a sonda e permitir a aquisição automática dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS: O sistema consiste de um computador em forma de uma única placa, um conversor de sinal analógico para digital, uma sonda (termistor encapsulado com vidro de 1 KW à 25 °C) e um conjunto de amplificadores operacionais. Os componentes elétricos, incluindo a sonda, foram montados em um "protoboard". Para obter os módulos de operação de autoaquecimento e resfriamento, a sonda foi excitada com uma corrente constante, por meio de duas resistências retroalimentáveis (6,4 e 640 W), um transistor de efeito de campo (usado como chave eletrônica de alta velocidade) e um sinal enviado da porta de controle (C5) do chaveamento. O sinal analógico da sonda é amplificado, convertido para um valor digital e registrado pelo sistema automático de aquisição de dados. A Figura 1 ilustra o sistema em operação. Um programa foi desenvolvido, em BASIC-52, para controlar o circuito elétrico e coletar, transferir e armazenar os dados. GOMIDE (1990) fornece uma descrição detalhada da instrumentação, do diagrama do circuito elétrico e do programa fonte. O sistema foi testado e avaliado em dois diferentes meios porosos: uma câmara cilíndrica, de acrílico transparente, preenchida com pequenas esferas de vidro (355 a 420 µm de diâmetro), onde a sonda foi inserida radialmente até o seu centro; e um conjunto de vasos do xilema de um caule lenhoso de uma planta, onde procedeu-se a inserção radial da sonda. As taxas de fluxo de fluido através da câmara (água destilada) e da planta (seiva, macieiras de 18 meses) foram obtidas com um método volumétrico direto e um minilímetro de pesagem (transpiração), respectivamente. Durante os testes, realizaram-se medições simultâneas da resposta térmica transiente da sonda e das taxas de fluxo do fluido (água e seiva). A mesma sonda foi usada como fonte de calor e sensor de temperatura. O sinal detectado após a aplicação do pulso de calor foi a queda de temperatura com o tempo (resfriamento). O efeito da taxa de fluxo do fluido sobre a resposta da sonda foi estudado por meio da relação adimensional $S_f = (T - T_f) / (T_i - T_f)$, onde S_f é a resposta térmica da sonda, T representa a temperatura da sonda no tempo "t", T_f é a temperatura do fluido no meio poroso antes da aplicação do pulso de calor, e T_i é a temperatura inicial no tempo zero (t=0), início da fase de resfriamento (a temperatura mais alta da sonda).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A sonda apresentou uma dissipação de potência da ordem de 10^{-1} e 10^{-5} W durante os módulos de operação de autoaquecimento e resfriamento, respectivamente. O pulso de calor produzido é dissipado por condução e convecção, devido ao movimento do fluido. Tempos de aplicação de pulso de calor da ordem de 0,3 a 6,5 s foram testados. Os resultados indicaram uma melhor diferenciação da resposta da sonda, principalmente das maiores taxas de fluxo de fluido, com os maiores tempos de aplicação do pulso. O principal efeito da duração do pulso foi sobre o tempo necessário para a sonda retornar às condições de T_f . A resolução do sistema permitiu detectar variações de temperaturas da ordem de 0,06 °C, em intervalos de tempo de 0,030 s, nas proximidades da condição de equilíbrio. Os resultados indicaram que a resposta térmica transiente da sonda foi afetada pela magnitude do fluxo local que os dados não poderiam ser analisados por meio de modelos de primeira ordem (Figura 2).

CONCLUSÕES: A sonda de calor transiente, controlada por computador, é capaz de detectar a taxa de fluxo de fluido em meios porosos, em tempo real. A resposta térmica da sonda indicou que os dados não poderiam ser analisados por meio de modelos de primeira ordem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- COHEN, Y.; FUCHS, M.; GREEN, G.C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environment*, v.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.
- FANNEY, A.H.; DOUGHERTY, B.P. Measurement of buoyancy-induced flow using a self-heated thermistor flowmeter. *J. of Solar Energy Eng., Trans. of the ASME*, v. 109, p.34-39, 1987.
- GOMIDE, R.L. **A transient heat probe sensor for measuring transpiration in the stem of woody plants.** Tucson, Arizona, U.S.A., The Univ. of Arizona, 1990. 166p. Ph.D. Thesis.



Figura 1. Sonda de calor transiente, controlada por computador, monitorando fluxo de seiva no caule de uma macieira e minilímetro de pesagem determinando transpiração da planta.

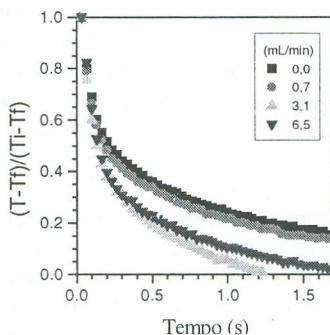


Figura 2. Resposta térmica transiente da sonda a diferentes taxa de fluxo de água em uma coluna cilíndrica com pequenas esferas de vidro após a aplicação de um pulso de calor de 3,5 s.