

CALIBRAÇÃO DO SENSOR CAPACITIVO EM SUBSTRATO DE CASCA DE COCO

T.M.L. CRUZ¹ A.S. TEIXEIRA², R.A.O. LEÃO³, F.J.F., CANAFÍSTULA⁴

¹Estudante de graduação em Agronomia, bolsista CNPq, Univ. Fed. do Ceará, Av. Mister Hull, 2977, C P. 12.168, Fortaleza-CE. CEP: 60021-970, tadeumacryne@hotmail.com; ²Professor Ph.D, Dep. de Eng. Agrícola-UFC/CCA, adunias@ufc.br; ³Mestre em Irrigação e Drenagem, Dep. de Eng. Agrícola-UFC/CCA, alipioleao@yahoo.com.br; ⁴Físico, Téc. em eletrônica, Dep. de Eng. Agrícola-UFC/CCA firmينو@dee.ufc.br

RESUMO: Esse trabalho teve como objetivo calibrar um sensor capacitivo, visando a estimar a umidade em substrato de casca de coco, utilizado no cultivo de rosas, no sistema semi-hidropônico. O sensor tem como base a constante dielétrica do meio (solo ou outro substrato, mais solução do solo). O sensor é constituído por duas placas paralelas, de fibra de vidro, recobertas em um dos lados por uma fina camada de cobre e isoladas com verniz, formando um capacitor. Um CI tipo oscilador e um divisor de frequência constituem o sensor. O sensor foi instalado em um corte de tubo de PVC, com 7,5 cm de diâmetro e 26,0 cm de altura, contendo substrato de coco. O sensor foi alimentado por uma fonte DC a 6,38 volts e corrente de 14,07 mA e instalado no topo de uma balança com precisão de 0,01 g. O substrato foi saturado e colocado para secar ao ar. Foram realizadas leituras diárias de temperatura, frequência e massa. Obteve-se, através do modelo de regressão linear múltipla, a equação de ajuste da umidade volumétrica (θ), em função da frequência obtida como resposta do sensor (F) e da temperatura ambiental (T), dada por $\theta = 1,590 - 3,830 \cdot 10^{-4} \cdot F - 4,006 \cdot 10^{-3} \cdot T$, com $R^2 = 0,9446$. Os coeficientes da regressão foram significativos a probabilidades inferiores a 1%. O sensor apresentou elevado grau de linearidade, podendo ser utilizado para estimar a umidade do substrato.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação; automação; umidade do substrato.

SUMMARY: This paper aims at calibrate a capacitance sensor for moisture determination on coconut fiber as media for potted roses grown under a semi-hydroponics regime. The sensor relates moisture content from dielectric constant of the media and is made of two parallel plates built with fiber glass and coated with a fine layer of copper witch is electrically isolated by a layer of vanish, as in a capacitor. An IC works as an oscillator and the other one as a frequency divider. The sensor was installed in a segment of 7.5 cm wide by

26 cm long PVC pipe with coconut fiber inside. A 6.36 volts DC, 14.07 mA - source powered the sensor. The system was put on the top of a scale sensitive to 0.01 g. The media was saturated with water and put to dry on the air. Daily reading of air temperature, mass and frequency were recorded. The response of the sensor to change in moisture content and temperature followed a linear function of the form $\theta = 1.590 - 3,830.10^{-4}.F - 4,006.10^{-3}.T$ with $R^2 = 0,9446$ where θ = volumetric water content ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), F = frequency (kHz), and T = air temperature ($^{\circ}\text{C}$). The regression coefficients were significant to probabilities lower than 1% indicating a high linearity of the response of the sensor.

KEYWORDS: irrigation, automation, and moisture content.

INTRODUÇÃO

A cultura do coqueiro possui grande importância econômica e social, fornecendo vários produtos como óleo, gorduras, minerais e vitaminas. O mercado do coco inclui a agroindústria, que fornece o leite de coco e o coco ralado, e o mercado *in natura*, do qual a água de coco é o principal produto. Como consequência do consumo de coco, ocorre o acúmulo de casca do coco em lixões e às margens de estradas, sendo um material de difícil decomposição (Carrijo, 2002). Segundo Rosa et al. (2001), até 85% do peso bruto do coco verde é considerado lixo.

A fibra da casca do coco pode ser utilizada como substrato para o cultivo de diversas culturas, proporcionando melhor aeração e retenção de água. Carrijo (2002) afirma que o aproveitamento da casca de coco verde é viável por terem fibras quase inertes e alta porosidade. Segundo este autor, a utilização da casca do coco verde processada, além de importância econômica e social, possui também importância do ponto de vista ambiental.

O termo substrato aplica-se a todo material sólido, natural, sintético, residual, mineral ou orgânico, distinto do solo que, colocado de forma pura ou em mistura, dentro de um recipiente, permite o desenvolvimento do sistema radicular (Abad e Nogueira, 1998).

O uso de métodos de sensoriamento para determinar a umidade em qualquer tipo de substrato é de grande importância econômica, pois proporciona aumento na eficiência de irrigação e reduz os desperdícios de energia, fertilizantes e água. Dentre os métodos de determinação da umidade do solo, há aqueles que tomam por base a constante dielétrica como o método TDR (*Time Domain Reflectometry*) e o das sondas capacitivas.

A capacitância (C) de um capacitor, matematicamente, nada mais é do que um fator de proporcionalidade entre a carga elétrica armazenada e a tensão aplicada. Este fator varia diretamente com a área da placa do capacitor e inversamente com a distância entre elas, tendo como fator de proporcionalidade, se as placas estão no vácuo, a constante de permissividade

do vácuo. Não estando o capacitor no vácuo, quaisquer materiais ou substâncias que estejam entre as placas apresentarão uma constante de permissividade diferente da do vácuo, cuja relação com este é chamada de constante dielétrica.

Uma vez que a água possui uma constante dielétrica bem maior do que a dos sólidos do solo e do que a do ar, é possível a utilização das sondas capacitivas como sensor de umidade do solo.

Não obstante os métodos baseados na constante dielétrica sejam indiretos e necessitem de calibração, possuem vantagens como não necessitarem de retiradas de amostras de solo, fornecerem respostas instantâneas e serem conectáveis a sistemas de aquisição de dados, características estas que, segundo Yoder (1998), são critérios que têm sido perseguidos para o desenvolvimento de sensores de umidade do solo.

O presente trabalho visou à calibração de um sensor de umidade do solo tipo capacitivo, em fase de desenvolvimento, instalado em substrato de fibra de coco.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Mecânica e Eletrônica do Departamento de Engenharia Agrícola – DENA da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE. Utilizou-se como substrato a fibra da casca de coco, a qual foi obtida através de processos de corte, trituração e secagem.

O substrato foi colocado em um tubo de PVC com 7,5 cm de diâmetro e 26,0 cm de altura, deixando-se 3,5 cm entre a borda do tubo e o nível do substrato, perfazendo um volume total de substrato de 994,02 cm³. Primeiramente foi instalado o sensor no substrato e todo o conjunto foi pesado, obtendo-se massa igual a 450,22 g. A seguir o substrato foi saturado e posto para secar, ao ar, no topo de uma balança com precisão de 0,01 g (Figura 1), para determinação da umidade ao longo do experimento. Considerando a densidade da água (ρ_{H_2O}) de 1 g.cm⁻³, a umidade com base no volume do substrato ao longo do experimento foi determinada pela seguinte equação:

$$\theta_{subst} = \frac{m_{subst_u} - m_{subst_s}}{V_{subst} \cdot \rho_{H_2O}} \quad (1)$$

onde: θ_{subst_sat} = umidade volumétrica do substrato saturado, em cm³.cm⁻³; m_{subst_u} = massa do substrato úmido, em g; m_{subst_s} = massa do substrato seco, em g e V_{subst} = volume total do substrato, , ρ = massa específica da água considerada.

O sensor foi alimentado por uma fonte com tensão de 6,38 VDC e corrente 14,07 mA. Foram realizadas leituras diárias de temperatura, frequência e massa. As leituras de temperatura foram feitas por meio de um termômetro de mercúrio, com precisão de 0,2 °C.



Figura – 1: Sensor instalado em tubo de PVC preenchido com substrato de casca de coco.

Um CI tipo oscilador e um divisor de frequência constituem-se no sensor. Valores máximos e mínimos de frequência na ordem de 2278.3304 a 2549.0811 kHz foram obtidos com a configuração para o substrato seco e saturado, respectivamente. Os dados obtidos de umidade volumétrica, temperatura e frequência (resposta do sensor) foram analisados estatisticamente com o uso do software SPSS 10.0

RESULTADO E DISCUSSÃO

O resultado da análise de regressão apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0.9446 e a seguinte relação funcional:

$$\theta = 1,590 - 3,830 \cdot 10^{-4} \cdot F - 4,006 \cdot 10^{-3} \cdot T \quad (2)$$

Onde: θ = Umidade volumétrica do substrato, em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$; F – Frequência de resposta do sensor, em kHz e T = Temperatura ambiental, em °C.

Na tabela 1, o resultado da análise de variância da regressão, possui um nível de significância muito abaixo de 1% de probabilidade. A tabela 2 mostra o teste dos coeficientes, mostrando que os coeficientes da regressão foram significativos à probabilidades bem inferiores a 1%.

Tabela 1 – Análise de Variância da regressão, tendo como variável dependente a umidade volumétrica do substrato e como variáveis dependentes a frequência da resposta do sensor e a temperatura ambiental

Fontes de variação	Soma de quadrados	gl	Quadrados médios	F	Sig.
Regressão	$4,463 \times 10^{-2}$	2	$2,231 \times 10^{-2}$	719,982	$3,35 \times 10^{-60}$
Residual	$2,913 \times 10^{-3}$	94	$3,099 \times 10^{-5}$		
Total	$4,754 \times 10^{-2}$	96			

Tabela 2. Teste t para os coeficientes da equação de ajuste.

Coeficientes	Coeficientes não normalizados		Coeficientes normalizados	t	Sig.
Linear	1,590	$3,515 \times 10^{-2}$		45,245	$1,340 \times 10^{-18}$
F	$-3,830 \times 10^{-4}$	$1,031 \times 10^{-5}$	-1,028	-37,167	$1,340 \times 10^{-18}$
T	$-4,006 \times 10^{-3}$	$5,531 \times 10^{-4}$	-0,200	-7,244	$9,631 \times 10^{-11}$

A figura 2(A) mostra a dispersão dos dados correlacionando umidade volumétrica do substrato com a frequência de resposta do sensor. Enquanto o substrato secou, a frequência observada no experimento aumentou. Isto ocorre porque quanto mais úmido estiver o material dielétrico entre as placas do sensor capacitivo, neste caso o substrato de fibra da casca do coco, maior é a sua constante dielétrica e, conseqüentemente, a capacitância do sensor. Esta última é inversamente proporcional à frequência obtida no contador de frequência.

A Figura 2(B) mostra o comportamento dos dados observados em relação à reta 1:1. Observa-se que com a redução da umidade do substrato, a umidade observada apresenta maior dispersão dos dados observados em relação à reta 1:1. Este fato pode significar que o sensor funciona melhor quando submetido a umidades mais elevadas e que, no caso de cultivo de plantas ornamentais, onde a umidade do substrato deve ser mantida sempre elevada, com utilização de irrigações frequentes, o sensor pode ser utilizado com sucesso, principalmente como instrumento de decisão quando utilizado na automação da irrigação cujo critério seja a umidade do substrato.

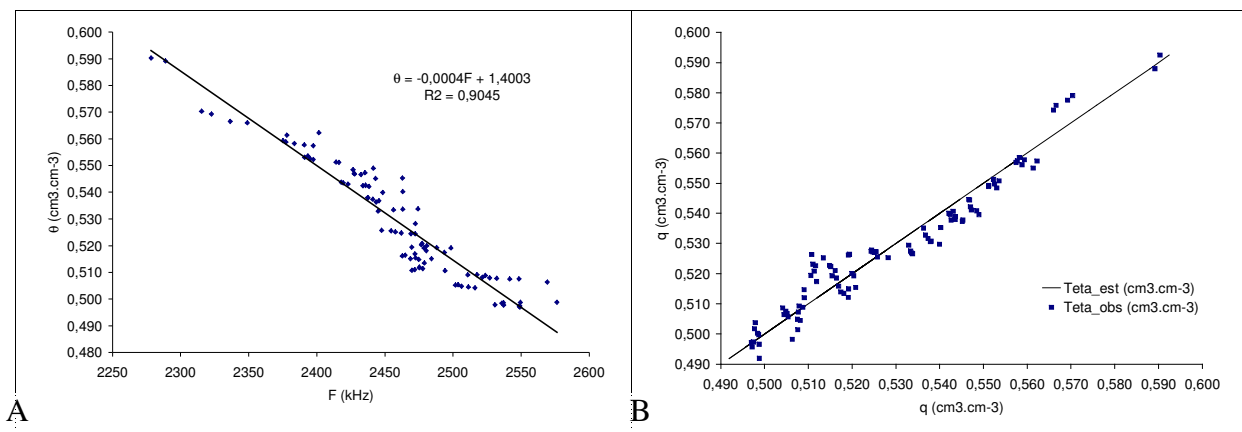


FIGURA 2-A) – Dispersão dos dados de frequência observados no contador em relação à umidade obtida através do peso da água. B) – Gráfico com os dados de frequência estimada pela regressão múltipla com os de frequências observadas no contador de frequência.

CONCLUSÃO

Até o presente momento o sensor capacitivo se apresenta mais preciso para elevados teores de umidade do substrato de fibra da casca do coco, e pode ser utilizado na determinação da umidade em substrato de fibra de casca de coco.

BIBLIOGRAFIA

- ABAD, M.; NOGUERA, P. Substratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: CADAHIA, C. (Ed.) Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. p.287-342.
- CARRIJO, O. A; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola, Brasília – DF. Disponível em <http://www.cnph.embrapa.br/public/textos/texto9.html>, acesso em 15/05/2005.
- ROSA, M.F; SANTOS, F.J.S.; MONTENEGRO, A.A.T.; ABREU, F.A.P.; CORREIA, D; ARAUJO, F.B.S.; NORÔES, E.R.V. Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 6p. (Comunicado Técnico, 54). Revista Brasileira de Fruticultura v.25, n 3, Jaboticabal Dec. 2003
- YODER, R. E.; JOHNSON, D. L.; WILKERSON, J. B.; YODER, D. C. Soil Water Sensor Performance. Applied Engineering in Agriculture, St. Joseph-MI, v. 14, n. 2, p. 121-133, 1998.