

CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS DE UMIDADE PARA USO EM SUBSTRATOS

**GUILHERME H. CRUBELATTI¹, JOSÉ A. S. PITA², ALINE A. NAZÁRIO³,
GUSTAVO L. MUNIZ⁴, ANTONIO P. CAMARGO⁵, EDSON E. MATSURA⁶**

¹ Estudante de graduação em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, 19 99638-3739, guilherme.crubelatti@gmail.com

² Estudante de graduação em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, 19 99227-5261, jabilio89@gmail.com

³ Estudante de pós-doutorado, FEAGRI/UNICAMP, 19 998271-5174, alineanazario@gmail.com

⁴ Estudante de doutorado, FEAGRI/UNICAMP, 31 99590-2131, gustavolopesmuniz@yahoo.com.br

⁵ Professor Doutor, FEAGRI/UNICAMP, 19 3521-1112, apcpires@unicamp.br

⁶ Professor Doutor, FEAGRI/UNICAMP, 19 3521-1023, matsura@feagri.unicamp.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo determinar curvas de calibração do sensor capacitivo modelo EC-5 da Decagon Devices para três tipos de substratos de uso comercial. As equações obtidas foram confrontadas com aquelas recomendadas pelo fabricante. Foram avaliadas 20 unidades do sensor EC-5 em 3 tipos de substratos comerciais recomendados para a produção de mudas de cana-de-açúcar, citros e espécies florestais. Para cada tipo de substrato foram condicionados 8 níveis conhecidos de conteúdo de água na amostra de substrato, utilizando-se o método de calibração recomendado pelo fabricante dos sensores. As equações calibradas para cada substrato apresentaram indicadores de acurácia superior à equação informada pelo fabricante, evidenciando a necessidade de calibração dos sensores. A equação calibrada utilizando todos os dados experimentais é bastante similar às equações calibradas individualmente para cada um dos substratos, indicando que uma única equação calibrada seria apropriada para os três tipos de substrato avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: subirrigação; substrato; conteúdo de água no solo

CALIBRATION OF CAPACITIVE SOIL MOISTURE SENSORS FOR USE IN SUBSTRATES

ABSTRACT: This work aimed to determine the calibration curves of the EC-5 capacitive sensor from Decagon Devices for three commercial substrates. The equations obtained were compared with those recommended by the manufacturer. Twenty EC-5 sensor units were evaluated on three commercial substrates recommended for the production of sugarcane, citrus and forest species. For each type of substrate, 8 known levels of water content were conditioned in the substrate sample using the calibration method recommended by the sensor manufacturer. The calibrated equations for each substrate showed indicators of accuracy higher than the equation reported by the manufacturer, evidencing the need for calibration of the sensors. The calibrated equation using all experimental data is quite similar to the individually calibrated equations for each of the substrates, indicating that a single calibrated equation would be appropriate for the three substrate types evaluated.

KEYWORDS: ebb-and-flow subirrigation; substrate; volumetric water content

INTRODUÇÃO: A irrigação é necessária em cultivos conduzidos em ambiente protegido e costuma ser efetuada utilizando sistemas de irrigação localizada ou subirrigação. Qualquer que seja o sistema de irrigação, a quantidade de água aplicada deve ser controlada para melhor eficiência no uso de recursos. A subirrigação é caracterizada pela recirculação de uma solução nutritiva, que é armazenada em um reservatório e bombeada para uma mesa ou bancada de crescimento que contém as plantas cultivadas em tubetes, vasos ou bandejas. A parte inferior dos recipientes de cultivo é umedecida, sendo que a elevação de umidade na zona do substrato explorada pelo sistema radicular se dá especialmente por ascensão capilar (FERRAREZI et al., 2015). Para irrigar vasos de plantas cultivadas em substratos com a quantidade certa de água, é importante quantificar adequadamente o conteúdo de água no substrato para decidir quando e quanto irrigar (FERRAREZI; IERSEL; TESTEZLAF, 2015; NEMALI et al., 2007). Sensores capacitivos para determinação de umidade emitem um sinal elétrico de resposta que é proporcional à constante dielétrica do solo, sendo que, quanto mais úmido estiver o solo, maior será o valor da constante dielétrica. O processo de calibração desses sensores consiste em obter uma curva correlacionando umidade volumétrica e sinal analógico ou digital fornecido pelo sensor. Sensores de umidade confiáveis e acessíveis para determinar o conteúdo de água em substratos são limitados, existindo a necessidade de identificar sensores de umidade adequados para diferentes tipos de substratos, a fim de assegurar a confiabilidade das medições (NEMALI et al., 2007). Neste sentido, o presente trabalho determinou curvas de calibração para o sensor capacitivo modelo EC-5 da Decagon Devices para três tipos de substratos de uso comercial.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP). O sensor capacitivo de umidade utilizado foi o modelo EC-5 da Decagon Devices. O sensor foi alimentado com tensão de 2500 mV e emite um sinal de resposta analógico na faixa de 250 a 1000 mV. Cada sensor avaliado foi conectado a um sistema de aquisição de dados caracterizado por conversor analógico-digital com 16 bits de resolução. Um aplicativo programado em C# foi desenvolvido utilizando o Microsoft Visual Studio, sendo que este foi utilizado para a comunicação com o circuito de aquisição de dados e para o armazenamento de leituras. A cada tarefa de coleta de dados do sensor conectado ao sistema, configurou-se a aquisição de 100 leituras realizadas em intervalo de 1 s. Foram avaliadas 20 unidades do sensor EC-5 em 3 tipos de substratos comerciais recomendados para a produção de mudas de cana-de-açúcar, citros e espécies florestais (TABELA 1). Utilizou-se o método de calibração recomendado pelo fabricante dos sensores (COBOS; CHAMBERS, 2010). As curvas foram construídas plotando os valores de umidade volumétrica determinados experimentalmente em função do sinal analógico de resposta dos 20 sensores, sendo que foram avaliadas 8 condições de umidade do substrato. O seguinte procedimento experimental foi adotado: 1) colocou-se o substrato em estufa de ar de circulação forçada a 65°C por 24 h; 2) retirou-se da estufa e deixou ao ar livre por tempo mínimo de 72 h, a fim de restabelecer equilíbrio entre a umidade do substrato com a umidade do ambiente; 3) no momento de iniciar as avaliações foram coletadas amostras e levadas a estufa de ar de circulação forçada a 65°C por 24 h, para determinar a umidade no momento de início das avaliações; 4) separou-se a massa de substrato, de acordo com sua correspondente densidade, para o volume de 1 L; 5) foram adicionados volumes crescentes de água até próximo da capacidade máxima de retenção do substrato, sendo que o volume acrescido em cada ciclo de medição correspondente a 10% do volume do recipiente (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 mL); 6) a mistura foi homogeneizada vigorosamente a cada acréscimo de água; 7) inseriu-se um sensor no béquer e realizou-se a leitura, sem movimentar o substrato ou alterar sua densidade (esta etapa foi repetida para os 20 sensores avaliados); 8) pesou-se o béquer

com substrato; 9) deixou-se o substrato secar em estufa a 65°C com circulação de ar por 24 h; 10) determinou-se a umidade volumétrica a partir da diferença de água no início e final do teste; e, 11) determinou-se a equação de regressão e comparação entre equação do fabricante e as leituras registradas no momento de cada leitura. A qualidade de ajuste das equações obtidas foi avaliada pelos indicadores RMSE e pelo erro relativo nas previsões de umidade correspondente a 95% das estimativas realizadas. O erro relativo foi calculado com base nos valores observados e estimados de umidade ($\delta_{95\%} = 100 * |\theta_{\text{observado}} - \theta_{\text{estimado}}| / \theta_{\text{observado}}$).

TABELA 1. Identificação e características dos 3 tipos de substratos avaliados.

| Parâmetro | Substrato | | |
|--|--|--|--|
| | Cana-de-açúcar | Citros | Florestal |
| Umidade (%) | 45 | 70 | 47 |
| Capacidade de retenção de água (kg/kg) | 1,30 | 1,70 | 1,36 |
| Densidade global (kg/m ³) | 336 | 360 | 314 |
| pH | 6,3 | 6,6 | 6,4 |
| Condutividade elétrica (dS/m) | 0,6 | 0,8 | 0,5 |
| Composição | Casca de pinus; pó de coco; vermiculita e areia fina | Casca de pinus; carvão vegetal e vermiculita | Casca de pinus; vermiculita e areia fina |

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A FIGURA 1 apresenta as curvas de calibração ajustadas e recomendada pelo fabricante para cada um dos substratos avaliados. Para todos os substratos avaliados observou-se que a equação do fabricante ($\theta_{(\%) = 0,211 * mV - 67,500$) apresenta coeficiente angular da reta superior aos valores obtidos experimentalmente, sendo que isto proporciona baixo erro nas estimativas realizadas na faixa central de medição do sensor, mas acentua os erros nas estimativas tanto em valores baixos quanto elevados de umidades. As equações ajustadas para os três tipos de substrato são bastante similares, sendo que uma única equação poderia ser recomendada (FIGURA 1D). Conforme esperado, os valores de RMSE sempre foram menores ao utilizar-se os modelos calibrados. Ao comparar-se modelos para um dado conjunto de dados, quanto menor o valor de RMSE, melhor a qualidade de ajuste do modelo (MONTGOMERY; RUNGER, 2013). Para o substrato cana-de-açúcar, 95% das estimativas de umidade utilizando o modelo calibrado apresentaram erros relativos de até 25,0% em relação aos valores determinados em estufa. De modo similar, para os substratos citros e espécies florestais, os respectivos erros relativos utilizando as equações ajustadas foram de 31,1% e 20,6%. Os resultados de erro proporcionam uma noção da acurácia nas determinações de umidade utilizando os sensores capacitivos. O conjunto de dados correspondente às condições de umidade volumétrica inferiores a 5% foram excluídos das análises de qualidade do ajuste, pois os erros relativos nas estimativas de tais condições foram demasiadamente elevados, evidenciando que os sensores não devem ser utilizados para medição de umidade volumétrica muito baixa. A equação calibrada utilizando todos os dados experimentais é bastante similar às equações calibradas individualmente para cada um dos substratos. Analisando a última equação, o valor de $\delta_{95\%}$ de 35,0% é pouco superior ao valor observado para as calibrações individuais, indicando que esta equação seria apropriada para os três tipos de substrato avaliados.

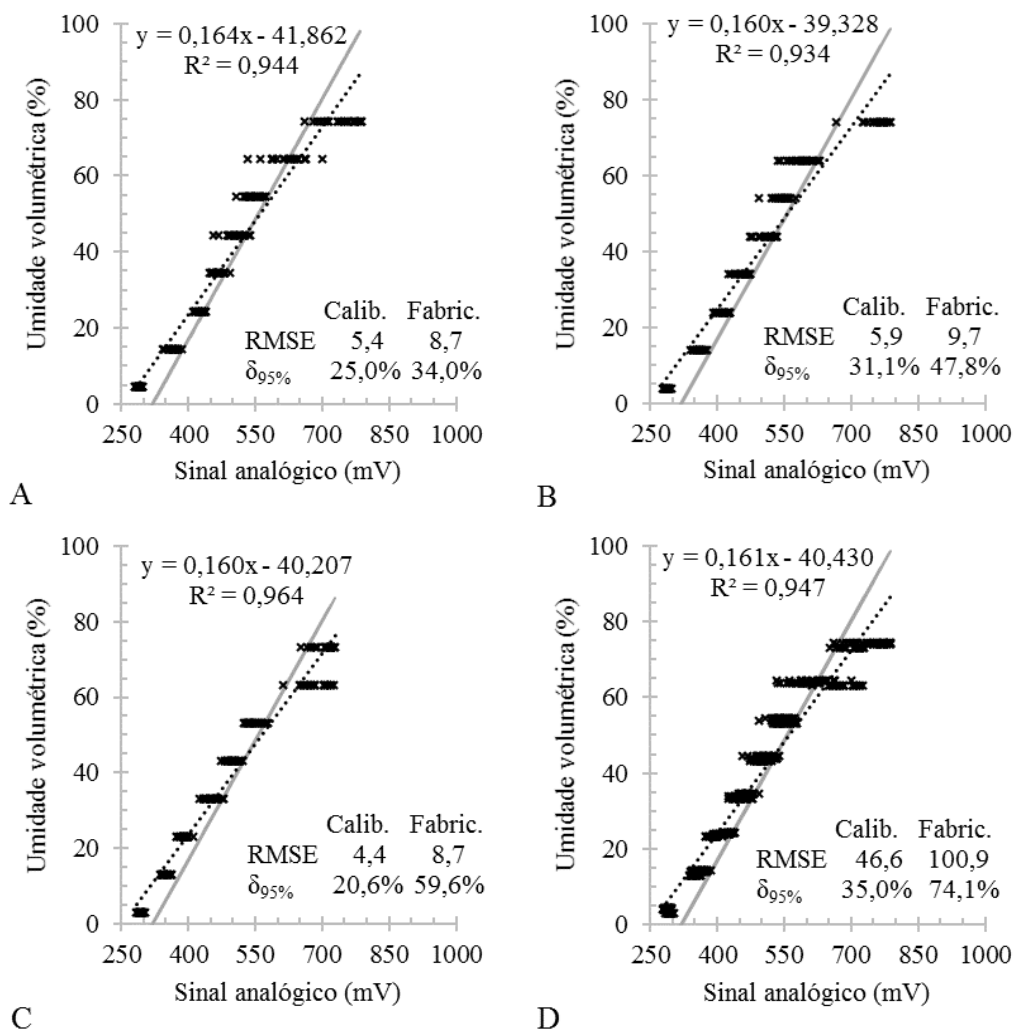


FIGURA 1. Curvas de calibração e respectivos indicadores de qualidade de ajuste das equações para os substratos cana-de-açúcar (A), citros (B), espécies florestais (C) e para os três tipos de substrato (D). A linha pontilhada representa a equação linear ajustada, enquanto a linha cheia representa a equação recomendada pelo fabricante para substratos (*potting soil*).

CONCLUSÕES: As equações calibradas para cada substrato apresentaram indicadores de acurácia superiores àquela informada pelo fabricante, evidenciando a necessidade de calibração dos sensores. A equação calibrada utilizando todos os dados experimentais é bastante similar às equações calibradas individualmente para cada um dos substratos, indicando que uma única equação calibrada seria apropriada para os três tipos de substrato avaliados.

REFERÊNCIAS:

- COBOS, D. R.; CHAMBERS, C. **Calibrating ECH2O Soil Moisture Sensors: Application Note 2 - Decagon Devices**, 2010.
- FERRAREZI, R. S. et al. Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. **HortTechnology**, v. 25, n. 3, p. 262–276, 1 jun. 2015.
- FERRAREZI, R. S.; IERSEL, M. W. VAN; TESTEZLAF, R. Monitoring and Controlling Ebb-and-flow Subirrigation with Soil Moisture Sensors. **HortScience**, v. 50, n. 3, p. 447–453, 2015.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 6. ed. Hoboken: Wiley, 2013.
- NEMALI, K. S. et al. Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH2O and Theta probes. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 2, p. 227–234, 2007.