

CALIBRAÇÃO DE SENSOR PARA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DO TEOR DE ÁGUA EM UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

EDICÉLIA DE B. RIBEIRO¹, ANA CAROLINA F. DE CARVALHO¹, EDILENE A.
FERREIRA¹, DAÍSE S. REIS¹, DANIEL DOS S. COSTA²

¹ Graduando Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro - BA, e.barros18@hotmail.com.

² Engenheiro Agrícola e Ambiental, Professor Auxiliar, Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro - BA, Fone: (074) 2102.7621, daniel.costa@univasf.edu.br.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil.

RESUMO: O uso eficiente da água na irrigação dependerá, principalmente, do correto monitoramento da água no solo. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo a calibração de um sensor resistivo comercial para manejo da irrigação. Para tal, utilizou-se um Neossolo Quartzarênico e três sensores comerciais. A calibração foi feita tomando-se como referência o método padrão da estufa. As leituras com os sensores se iniciaram quando o solo atingiu o ponto de saturação e após cada leitura as amostras foram colocadas em estufa a 65 °C. Este procedimento foi repetido em intervalos de duas horas até a quantidade de água nas amostras de solo tornar-se praticamente constante. Para registrar e armazenar os sinais elétricos advindos dos sensores foram utilizados um *data logger* microcontrolado e um cartão de memória (2 GB), respectivamente. Os resultados mostraram que o sensor resistivo comercial apresenta resposta à variação do teor de água do solo, com um coeficiente de determinação de 0,86, permitindo sua utilização no monitoramento e no controle da irrigação em jardins, vasos ou em sistemas de irrigação voltados para produção de mudas.

PALAVRAS-CHAVE: umidade do solo, manejo de irrigação, instrumentação agrícola.

SENSOR CALIBRATION TO ESTIMATE VOLUMETRIC WATER CONTENT IN ARENOSOLS

ABSTRACT: The efficient use of water for irrigation depends mainly on the correct monitoring of soil water. Thus, this study aimed to calibration of a commercial resistive sensor for irrigation management. For this purpose, we used Arenosols and three commercial sensors. The calibration was done taking as reference the standard oven method. The sensors readings began when the soil has reached the point of saturation and after each reading, the samples were placed in an oven at 65 °C. This procedure was repeated every two hours until the amount of water in the samples become almost constant. To register and store the electrical signals coming from the sensors a microcontroller data logger and a memory card (2 GB) were used, respectively. The results showed that the commercial resistive sensor shows response to varying water content of the soil, with a coefficient of determination of 0.86,

allowing its use in monitoring and control of irrigation in gardens, pots or in irrigation systems aimed seedling production.

KEYWORDS: soil moisture, irrigation management, agricultural instrumentation.

INTRODUÇÃO: A agricultura irrigada tem sido uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, gerando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

Considerando que a água pode se tornar um fator limitante na agricultura devido à implantação e ao manejo inadequados das áreas irrigadas, torna-se imprescindível a adoção de medidas que possibilitem o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

O manejo da irrigação com base no monitoramento da umidade do solo permite racionalizar a quantidade de água aplicada, tornando o seu uso mais eficiente. A fim de alcançar uma gestão adequada de irrigação, é importante conhecer o conteúdo de água no solo para que seja aplicada a quantidade de água necessária durante o tempo correto (CRUZ et al., 2010).

Para a determinação da umidade do solo existem métodos diretos e indiretos. Segundo LEÃO et al. (2010), os métodos diretos se utilizam da medição efetiva da água contida no solo, sendo o método gravimétrico o mais utilizado. Tal método consiste em amostrar o solo e, por meio de pesagens, determinar a sua umidade gravimétrica, relacionando a massa de água com a massa de sólidos da amostra ou a umidade volumétrica, relacionando o volume de água contido na amostra e o seu volume. Apesar de sua eficiência, este possui a desvantagem de necessitar de 24 horas ou mais para obter o resultado, no entanto, é o método-padrão para calibração dos métodos indiretos.

Os métodos indiretos, por sua vez, utilizam-se de propriedades físicas ou físico-químicas do solo que sejam proporcionais ao seu teor de água. Como exemplo, tem-se a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a moderação de nêutrons, a constante dielétrica do solo e a tensão da água no solo, tais características variam com a sua umidade (TOMMASELLI, 1997).

A possibilidade de determinação instantânea da umidade torna os métodos indiretos mais adequados para indicar o início e a duração da irrigação. Neste contexto, o uso de sensores é uma das formas mais precisas para monitorar o conteúdo de água no solo, e sua implementação trouxe várias contribuições para o ambiente agrícola (CRUZ et al., 2010).

Em virtude dos sensores determinarem o conteúdo de água do solo de forma indireta, é imprescindível a realização de calibrações para os solos a serem monitorados, em razão das diferenças físicas que os mesmos apresentam. Essas calibrações podem ser realizadas em condições de laboratório e são bastante representativas, pois são utilizadas amostras indeformadas, que preservam as características do solo, como estrutura, densidade e aeração, como em sua forma original (CRUZ et al., 2010).

Diante disso, esse trabalho teve como objetivo a calibração de um sensor resistivo comercial para monitoramento do conteúdo de água no solo para fins de manejo da irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS: Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Energia na Agricultura pertencente ao Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro-BA.

Foram calibrados três sensores tomando-se como referência o método padrão da estufa. Para isso, três recipientes foram construídos com tubo de PVC, possuindo diâmetro nominal de 100 mm, tampa de PVC com diâmetro de 100 mm, e manta filtrante - PPI. O tubo foi cortado em pedaços de 26 cm e um orifício de 2 cm de diâmetro foi feita no centro da tampa. No entanto, a manta filtrante foi colocada sobre o furo a fim de evitar que o solo fosse perdido durante o processo de saturação, conforme SEGUNDO (2011).

O solo utilizado neste experimento foi o Neossolo Quartzarênico com propriedades físico-hídricas conhecidas, classificado como textura arenosa, com 94% de areia e 6% de argila. Em cada recipiente, foi estabelecida uma altura de 14 cm para a coluna de material do solo. Assim, uma vez que o diâmetro interno do recipiente é 98 milímetros, para esta altura o volume é 1,056 dm³. A partir da densidade do solo de 1,47 g cm⁻³, a quantidade de solo em cada recipiente foi calculada, obtendo-se o valor de 1557,4 g.

Para a determinação correta do ponto de saturação adaptou-se a metodologia de TOMMASELLI et al. (2001), na qual, os três recipientes contendo material de solo foram inseridos em outro recipiente com lâmina de água nunca superior a um quinto da altura do tubo, para evitar a formação de bolhas de ar dentro do solo a ser saturado. A saturação ocorreu por ascensão capilar durante 48 h.

Posteriormente, os sensores foram inseridos dentro dos tubos, um em cada repetição (Figura 1). Em seguida, os sinais destes sensores foram coletados e a massa de cada amostra determinada. As amostras foram colocadas em estufa a 65 °C. Este procedimento foi repetido de duas em duas horas até a quantidade de água nas amostras de solo tornar-se praticamente constante. Ao final desse procedimento, essas amostras foram transferidas para béqueres (2 l) e colocadas em estufa a 105 °C durante 24 horas para determinar a massa de solo seco (Equações 1 e 2).

$$U_e = (M_u - M_s) / M_s \quad (1)$$

$$U = U_e \cdot d \quad (2)$$

em que,

U_e ó Teor de água no solo, g.g⁻¹;

M_u ó Massa de solo úmido, g;

M_s ó Massa de solo seco em estufa, g;

U - Teor de água no solo, cm³.cm⁻³, e

d ó Densidade do solo, g.cm⁻³.

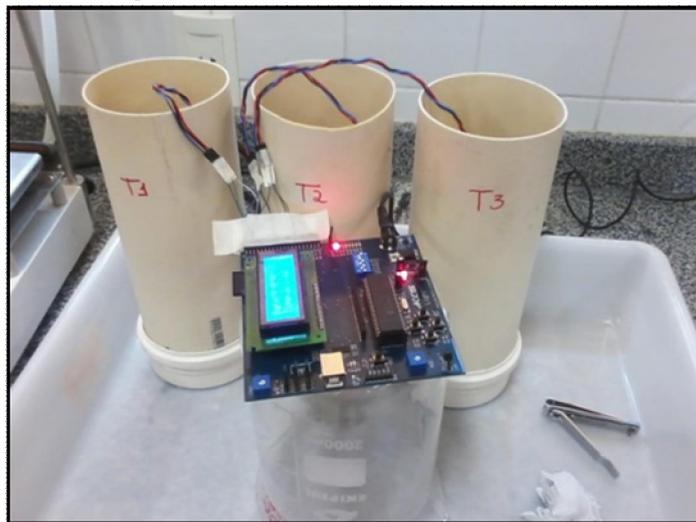


FIGURA 1. Experimento para calibração de sensores de umidade do solo.

Para aquisição de dados foi utilizado um *data logger* microcontrolado, constituído de um PIC18F4620 da Microchip® que possui a finalidade de gerenciar e processar os dados. A interface com usuário é através de botões e um display LCD para configuração das variáveis de armazenamento. Além disso, os dados foram armazenados em cartão de memória SD com capacidade de 2,0 Gbytes.

O sensor utilizado é constituído por dois eletrodos utilizados para conduzir corrente pelo solo e determinar o nível de umidade por comparação com a resistência. Assim, quanto maior a quantidade de água no solo, menor sua resistência à passagem de corrente elétrica. O circuito elétrico do sensor resistivo está representado na Figura 2.

Para análise estatística, foi utilizada análise de regressão e realizado o Teste t de Student.

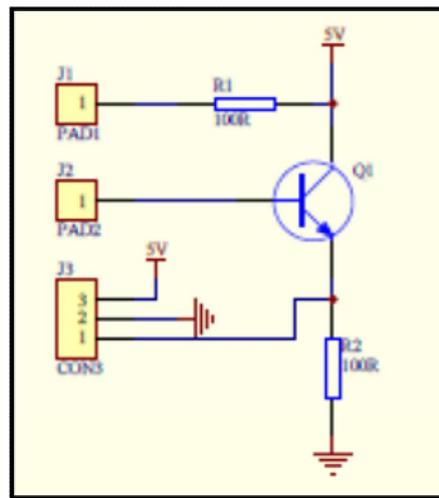


FIGURA 2. Circuito elétrico referente ao sensor resistivo comercial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: De acordo com os dados das três repetições, um modelo matemático foi ajustado aos dados experimentais para estimar o teor de água do solo. O modelo foi obtido por meio de ajustes de gráficos de dispersão de dados e análise de regressão das repetições.

O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi a regressão linear representado pelas Equações 3, 4 e 5, referentes a cada repetição. As curvas apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) de, respectivamente, 0,86; 0,87 e 0,84, indicando que o modelo explica as variações no teor de água do solo em função da tensão elétrica.

$$U = 0,4732v \text{ ó } 1,4711 \quad (3)$$

$$U = 0,3042v \text{ ó } 1,0234 \quad (4)$$

$$U = 0,2898v \text{ ó } 0,9504 \quad (5)$$

em que,

U - estimativa do teor de água no solo, $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, e
v - sinal de tensão de saída do sensor, V.

As estimativas do teor de água do solo estão representadas graficamente nas Figuras 3, 4 e 5, como uma função do sinal de tensão medido pelos sensores. As equações aproximaram-se da encontrada por FAGUNDES et al. (2011) o qual também obteve uma curva linear. Essa tendência linear também foi encontrada por SILVA (2013) para um sensor resistivo, que

encontrou um coeficiente de determinação de 0,82 para uma equação geral de calibração gerada através dos dados de todos os sensores utilizados pelo autor.

De acordo com FAGUNDES et al. (2011), o conhecimento dessas equações é essencial para a implementação de sistemas de irrigação que utilizam-se de programas para leitura e armazenamento de dados, que ligados aos sensores farão a leitura dos dados de umidade do solo, minimizando os possíveis erros.

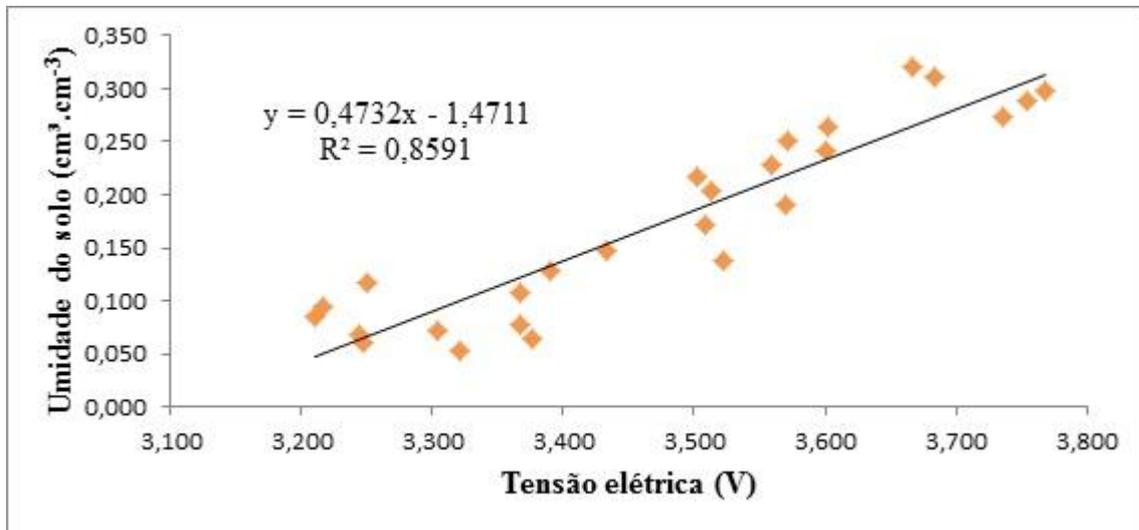


FIGURA 3. Variação do teor de umidade do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), à base de volume, em função da tensão elétrica (V) referente ao sensor 1.

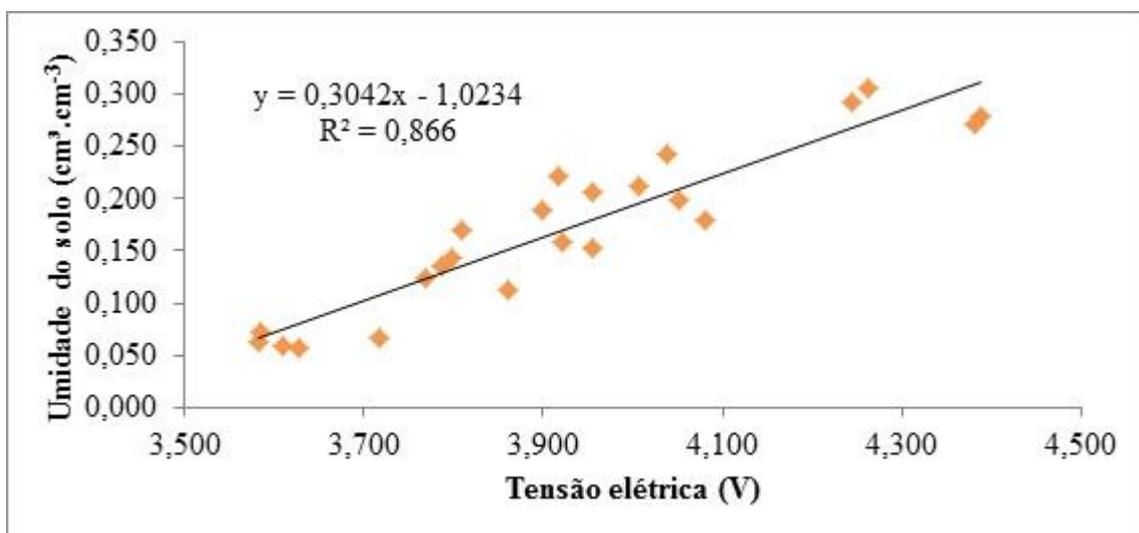


FIGURA 4. Variação do teor de umidade do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), à base de volume, em função da tensão elétrica (V) referente ao sensor 2.

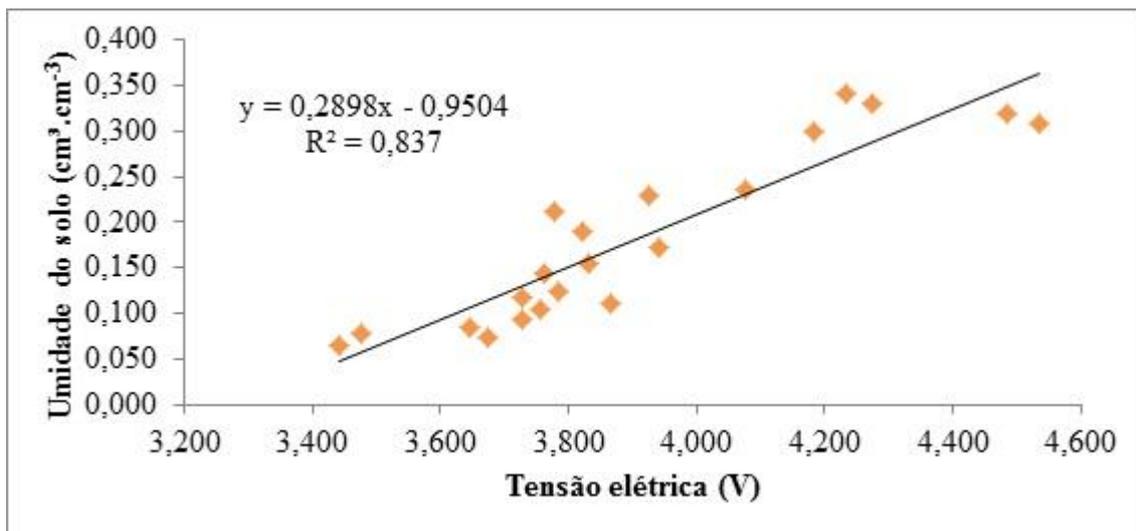


FIGURA 5. Variação do teor de umidade do solo (cm³. cm⁻³), à base de volume, em função da tensão elétrica (V) referente ao sensor 3.

A análise estatística das curvas de calibração dos sensores de umidade do solo (Tabela 1) apresentaram coeficientes angulares (a) e lineares (b) significativos pelo Test t de Student, no nível de 1% de probabilidade, comprovando que o teor de água no solo é diretamente proporcional à tensão elétrica, podendo ser determinado, com ótima confiabilidade. Observa-se que as curvas de calibração dos sensores utilizados, embora semelhantes, não são coincidentes, o que mostra a importância da calibração individual dos sensores, como destacado por FAGUNDES et al. (2011).

Entretanto, deve-se salientar que mesmo quando as calibrações são equações desenvolvidas especificamente para um sensor e um determinado solo, diferentes condições de cultivo pode reduzir sensivelmente a precisão dessas equações de calibração (THOMPSON et al., 2005). Do mesmo modo, SILVA et al. (2005) afirmam que a temperatura ambiente também ocasiona variações nas respostas dos sensores, podendo diminuir sua precisão durante a medição.

TABELA 1. Análise estatística da curva de calibração dos sensores de umidade do solo.

Sensores	a	b	r	R ²
Sensor 1	0,47 **	-1,47 **	0,93	0,86
Sensor 2	0,30 **	-1,02 **	0,93	0,87
Sensor 3	0,29 **	-0,95 **	0,91	0,84

** : Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste t de Student.

CONCLUSÕES: O sensor resistivo comercial apresenta resposta à variação do teor de água do solo, com comportamento potencial, permitindo a determinação da quantidade de água de forma adequada. Assim, sua utilização apresenta-se como um método eficiente e viável para o monitoramento e controle da irrigação, garantindo a otimização da aplicação de água e prevenindo a cultura contra possíveis estresses hídricos.

AGRADECIMENTOS: À Professora Ph.D. Carmem M. S. Masutti pela concessão do laboratório de química do solo para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Ed. 8, Viçosa, MG: UFV, 2006, 625 p.

CRUZ, T. M. L.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; SANTOS, C. C.; OLIVEIRA, A. D. S.; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, Fevereiro, 2010.

FAGUNDES, M. C.; MORAES, M. O.; SCHAFFER, D.; QUEIROZ, T. M. Calibração de sensores para determinação do teor de água do solo. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v.9, n.1, p.53-58, 2011.

LEAO, R. A. O.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; MESQUITA, P. E. G.; COELHO, S. L. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para calibração de sensores de umidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, Abril, 2007.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Ed. 3, Viçosa, MG: UFV, 2009, 355 p.

SEGUNDO, A. K. R.; MARTINS, J. H.; MONTEIRO, P. M. B.; OLIVEIRA, R. A.; FILHO, D. O. Desenvolvimento de sensor capacitivo para a medição de umidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, Abril, 2011.

SILVA, D. O. M. **Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação. 2013. 63 p.** Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA.

SILVA, I.O.; TEIXEIRA, A.S.; CANAFÍSTULA, F.J.F.; LEÃO, R.A.O. **Development of a capacitance sensor for monitoring soil moisture**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa, Florida. St. Joseph: ASAE, 2005.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO E. M.; AGUERA, E. T.; VALDEZ. L.C.; FERNÁNDEZ E. M. D. Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. **Irrigation Science**, May, 2005.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, Setembro, 2001.

TOMMASELLI, J. T. G. Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho de TDR (Time Domain Reflectometry). Tese (Doutorado em ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba: CENA/USP, 1997.