

## CALIBRAÇÃO DE SENSOR DIELÉTRICO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO

Lays Fabiana dos Santos Costa<sup>1</sup>, Eva de Melo Ferreira<sup>2</sup>, Lucas Vellame<sup>3</sup>, Ariani Garcia<sup>4</sup> e Átila Reis da Silva<sup>5</sup>

1. Mestranda em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.  
E-mail: lays.fabiana@yahoo.com.br
2. Especialista. Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.
3. Doutor. Docente no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.
4. Mestranda em Sistemas de Produções, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, São Paulo
5. Doutor, pós-doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

### RESUMO

Na caracterização física de um solo diversos parâmetros são importantes, entre eles estão a condutividade hidráulica e a umidade gravimétrica do solo. O uso de sondas para medir a condutividade do solo é um dos métodos mais utilizados. O sensor ECH2O é um meio que permite o conhecimento da condutividade do solo, podendo produzir resultados tão bons quanto a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), com a vantagem de ter um custo inferior. O presente trabalho tem como objetivo principal calibrar o sensor dielétrico ECH2O, modelo EC-5, onde três solos e uma amostra de rejeito foram utilizados, medindo também a umidade desses materiais. Na calibração, o material arenoso foi o com melhor resposta ao sensor ECH2O, podendo isso ser explicado pela porosidade da amostra e também por sua diferenciada capacidade de retenção de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Física do Solo; Medidores de condutividade do solo; Umidade do solo.

### SENSOR CALIBRATION OF DIELECTRIC IN DIFFERENT KINDS OF SOIL

#### ABSTRACT

In physical characterization of a soil various parameters are important among them are the hydraulic conductivity and gravimetric soil moisture. The use of probes to measure the conductivity of the soil is one of the most used methods. The ECH2O sensor is a medium that enables the knowledge of the conductivity of the soil and can produce as good results as the Time Domain Reflectometry (TDR), with the advantage of having a lower cost. The present work aims to calibrate the dielectric sensor ECH2O, model EC-5, where three solos and a sample of tailings were used, also measuring the moisture of these materials. During calibration, the sandy material was more responsive to ECH2O sensor that can be explained by the porosity of the sample and also differentiated by their ability to retain water.

**KEYWORDS:** Physical of soil; Conductivity meters soil; Soil moisture.

## INTRODUÇÃO

A composição do solo possui diferentes características. Sua heterogeneidade, propriedades e conseqüentemente, a armazenagem de água, que estão relacionadas com a maior ou menor disponibilidade e absorção de água pelas culturas, variam consideravelmente no espaço (SALVADOR et al., 2011). O espaço poroso do solo no campo é ocupado por quantidades variáveis de uma solução aquosa denominada água no solo (JONG VAN LIER, 2010).

Os diferentes usos que um solo é submetido interferem em suas propriedades físicas. A umidade, a condutividade hidráulica e o potencial hidráulico são alguns dos fatores alterados. O potencial da água do solo descreve a força que impulsiona seu movimento. Essa é a medida mais fundamental e essencial na física do solo (DECAGON DEVICES, 2013).

A condutividade hidráulica do solo é essencial para o estudo da dinâmica da água, do transporte de elementos químicos, nutrientes e agrotóxicos, bem como seus impactos potenciais ao ambiente (ESALQ-USP, 2013). Pode-se dizer que o conhecimento do fluxo de água abaixo da zona radicular efetiva em um meio não saturado, por exemplo, é essencial para o planejamento e gestão de sistemas de irrigação (SILVA & COELHO, 2013).

A determinação do conteúdo de água ou umidade dos solos é algo importante para os principais estudos de processos físicos, químicos e biológicos que neles ocorrem. As técnicas de medida da umidade do solo são normalmente classificadas como diretas ou indiretas (MANIERI et al., 2007).

Entre os métodos indiretos de determinação da umidade do solo, aqueles que relacionam a umidade as propriedades dielétricas do meio solo-água-ar, como a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e as sondas de capacitância têm se destacado nos últimos anos por apresentarem boa precisão e baixo risco para o operador. Esses métodos baseiam-se no fato de que a constante dielétrica dos minerais no solo não excede 12, enquanto que a constante dielétrica da água pura é de aproximadamente 81. Por essa razão a variação da constante dielétrica no meio solo-água-ar estará diretamente associada ao conteúdo de água presente no solo (YODER et al., 1998).

A TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) é uma das formas de determinação da umidade em pesquisas de manejo e conservação da água e do solo, sendo uma técnica não destrutiva, o que permite a continuidade e automação na coleta dos dados (COELHO et al., 2005). Uma das dificuldades encontradas no uso desses sensores é definir o número a ser instalado na área, bem como o local de sua instalação (COELHO et al., 2010).

Um sensor capacitivo possui diversas características positivas. Algumas dessas são: o conhecimento exato de quanto e quando irrigar, até qual profundidade molhar, o comportamento das raízes em função da demanda hídrica, a situação hídrica do solo em função do tempo (drenagem e infiltração), transporte/armazenamento de nutrientes dissolvidos e a quantidade de água prontamente disponível para as plantas.

O sensor ECH2O (DECAGON DEVICES, 2013) é uma sonda de capacitância de baixo custo, de fácil adaptação a sistemas automáticos de aquisição de dados e que fornece leituras de potencial elétrico (mV) proporcionais à constante dielétrica do solo e, portanto à umidade volumétrica do solo. Alguns estudos têm mostrado que quando devidamente calibrado, o sensor ECH2O pode produzir resultados tão bons quanto o TDR na determinação da umidade do solo, com a vantagem de ter um custo muito mais baixo (TRINTINALHA et al., 2004; CZARNOMSKI et al., 2005).

O presente trabalho tem como objetivo principal calibrar o sensor dielétrico ECH2O, modelo EC-5. Três solos e uma amostra de rejeito foram utilizados, medindo também a umidade desses materiais.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Escola de Agronomia (EA/UFG). Foram coletadas amostras de três solos, sendo esses: areia, solo sob *Caryocar brasiliense*, solo onde existe um pivô com o plantio de *Phaseolus vulgaris* e um rejeito de mineração, totalizando quatro amostras. As amostras foram colocadas em recipientes plásticos com diâmetro de 0,01 m e comprimento de 0,30 m, um para cada amostra e então foram saturadas (Figura 1).



**FIGURA 1.** Recipientes plásticos utilizados na execução do experimento, onde amostras de areia, solo em área de plantio de *Caryocar brasiliense*, feijão e rejeito de mineração.

**FONTE:** Autores (2014).

Nos recipientes foram instalados sensores de umidade ECH<sub>2</sub>O, modelo EC-5 (Decagon Devices, Inc), cujas dimensões são 0,254 m de comprimento, 0,032 m de largura (Figura 2). Os sensores foram instalados verticalmente. O conjunto (recipiente, amostra, balança, estação de coleta de dados e sensores) foi colocado sobre uma bancada na estufa junto a um computador responsável pela leitura diária da umidade do solo, além de ser feita a pesagem diária das amostras (Figura 3).



**FIGURA 2.** Sensor capacitivo ECH2O modelo EC-5 (Adaptado de DECAGON, 2013).



**FIGURA 3.** *Data logger* instalado junto a um computador para a medição diária de condutividade.

**FONTE:** Autores (2014).

A massa de água presente na amostra em cada pesagem foi determinada pela diferença entre as leituras diárias da balança e a massa do conjunto (recipiente, amostra, estação de coleta de dados e sensores). A umidade volumétrica foi obtida pela relação entre o volume de água em cada pesagem e o volume em cada recipiente. Os dados de umidade volumétrica e potencial elétrico (mV) foram submetidos à análise de regressão.

O sensor ECH<sub>2</sub>O (DECAGON DEVICES, 2013) é uma sonda de capacitância de baixo custo, fácil adaptação a sistemas automáticos de aquisição de dados, que fornece leituras de potencial elétrico (mV) proporcionais à constante dielétrica do solo, portanto, à umidade volumétrica do solo. Quando devidamente calibrado, o sensor ECH<sub>2</sub>O pode produzir resultados tão bons quanto o TDR na determinação da umidade do solo, com a vantagem de ter um custo mais baixo.

#### **Calibração do sensor EC-5**

A CE-5 é menos sensível à variação na textura e condutividade elétrica, porque funciona em uma frequência de medição maior. Sua equação de calibração

geral deve aplicar para todos os solos minerais até oito dS/m. As equações de calibração são mostradas abaixo:

#### Solos Minerais

De acordo com testes, uma única equação de calibração é suficiente para diferentes amostras com condutividade elétrica de 0,1 dS/m a 10 dS/m. O conteúdo volumétrico de água ( $q$ ) é dado por:

$$q = 8.5 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Raw} - 0,48 \quad (1)$$

onde Raw é a saída do datalogger.

#### Solo em vasos

Em solos em vasos pode-se utilizar para converter os dados de saída para o conteúdo de água no solo acondicionado em vasos a equação:

$$q = 7.2 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Raw} - 0,393 \quad (2)$$

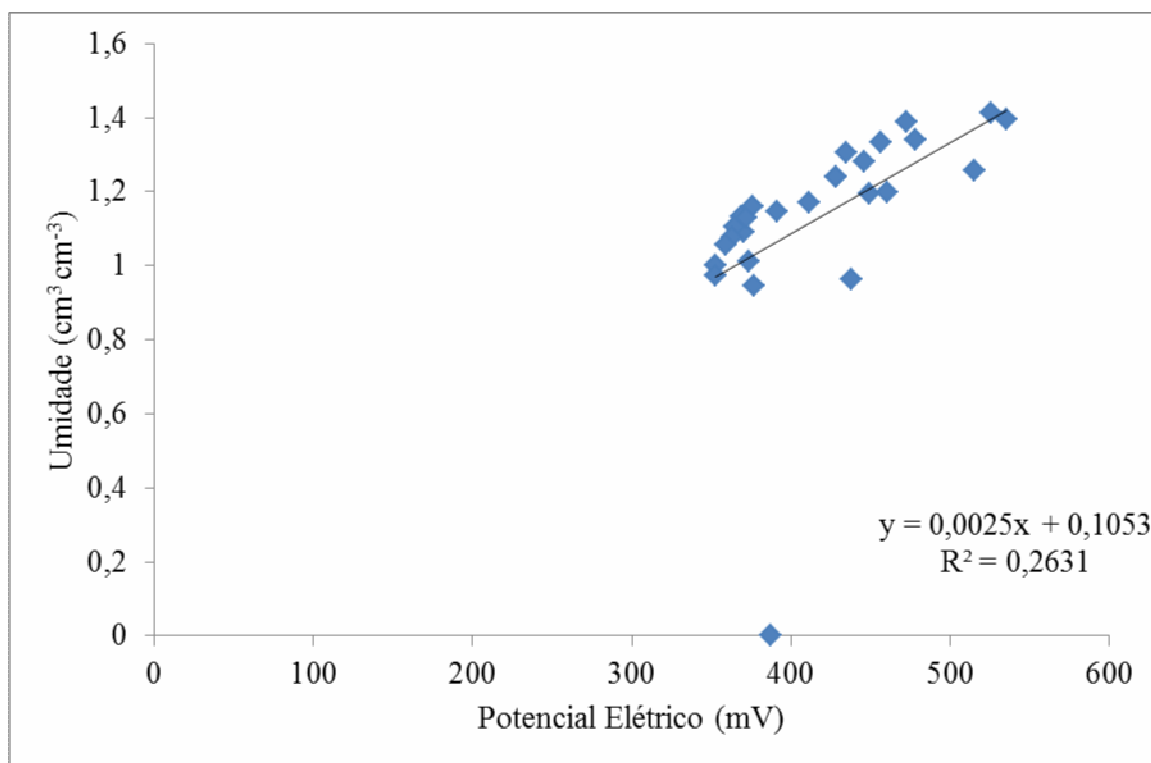
#### Lã de rocha

O conteúdo volumétrico de água pode ser calculado com:

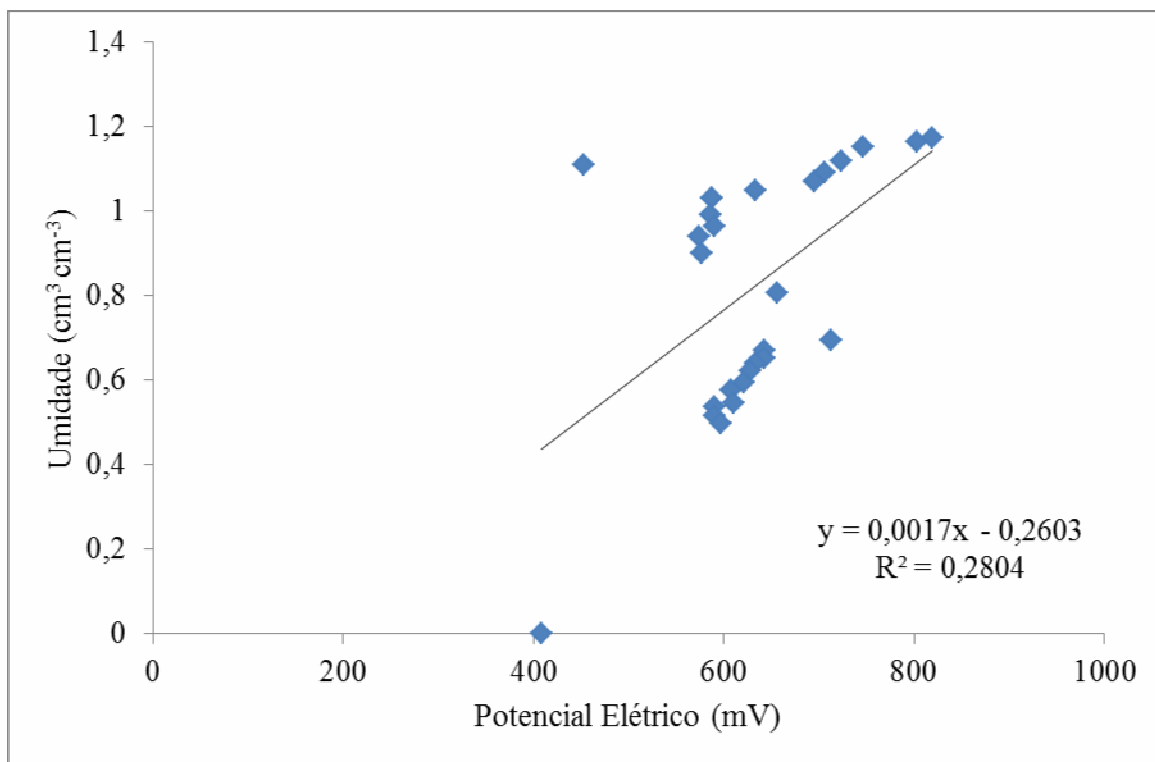
$$q = 6,28 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Raw}^2 + 1,37 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Raw} - 0.183 \quad (3)$$

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

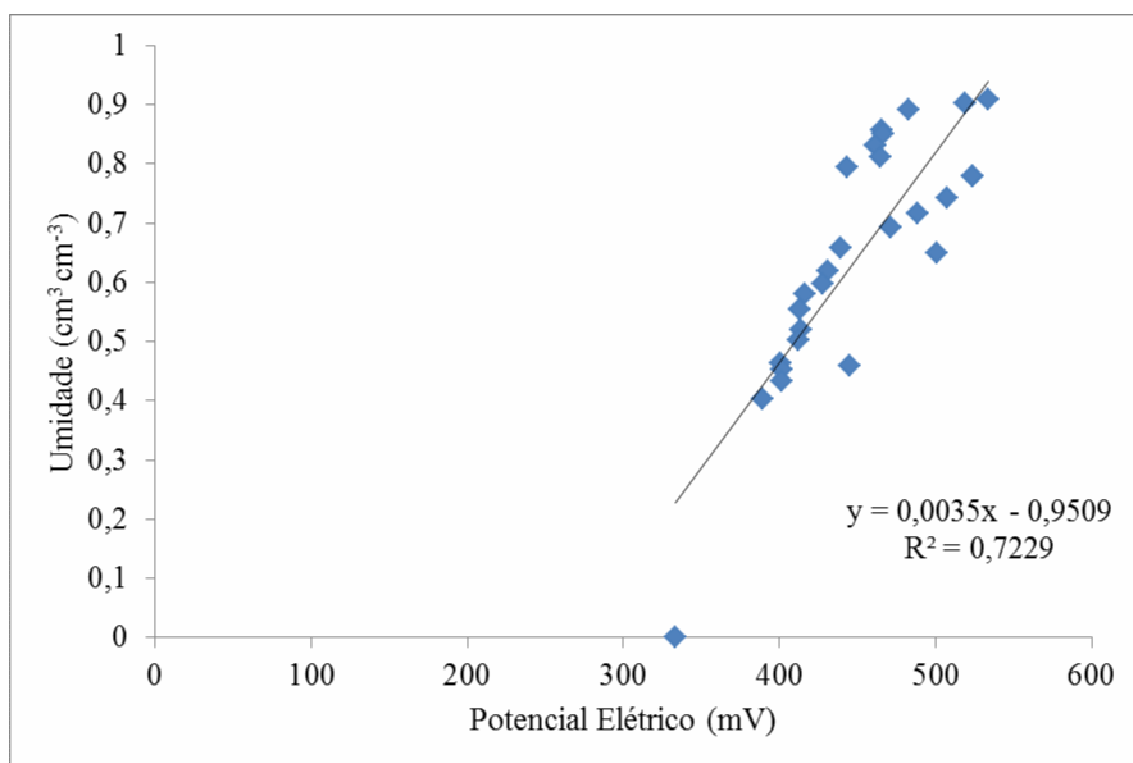
Os dados de umidade observados nos quatro tipos de solo e os respectivos valores de potencial elétrico são apresentados a seguir.



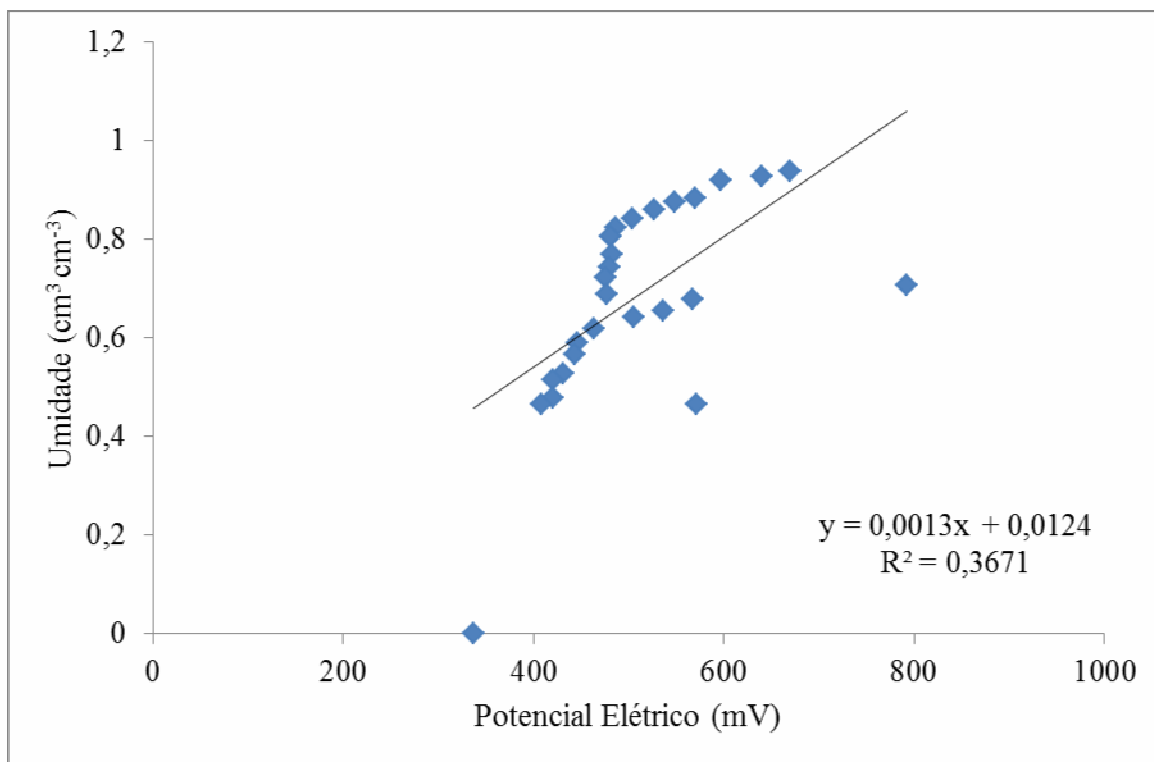
**FIGURA 4.** Umidade volumétrica, valores medidos do potencial elétrico do sensor ECH<sub>2</sub>O e a reta de regressão para a Areia.



**FIGURA 5.** Umidade volumétrica, valores medidos do potencial elétrico do sensor ECH<sub>2</sub>O e a reta de regressão para o rejeito de mineração.



**FIGURA 6.** Umidade volumétrica do solo, valores medidos do potencial elétrico do sensor ECH<sub>2</sub>O e a reta de regressão para o solo argiloso.



**FIGURA 7.** Umidade volumétrica do solo, valores medidos do potencial elétrico do sensor ECH<sub>2</sub>O e a reta de regressão para o solo arenoso.

A equação que definiu a curva de calibração para os seguintes tratamentos foram:

- Areia:  $y = 0,0025x + 0,105$
- Rejeito:  $y = 0,0017x - 0,2603$
- Solo Argiloso:  $y = 0,0035x - 0,9509$
- Solo Arenoso:  $y = 0,0013x + 0,0124$

Onde:  $y$  = umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $x$  = Potencial elétrico do sensor ECH<sub>2</sub>O, tipo EC-5, (mV).

A equação de calibração apresentada pelo fabricante do sensor para estes solos tem potencial elétrico de até 800 mV com leitura bastante semelhante as equações obtidas. Em valores superiores a 800 mV, o comportamento da reta é diferente.

O sensor ECH<sub>2</sub>O apresentou resposta satisfatória em relação a variação da umidade na areia, comprovando que o sensor pode apresentar boa performance em solos do tipo. Resultados semelhantes foram relatados por BORHAN & PARSON (2004), que concluíram que o sensor ECH<sub>2</sub>O apresentou um bom potencial para o monitoramento contínuo da umidade em um solo arenoso da Flórida, EUA.

Os valores da estatística de regressão para os tratamentos, mostrados nas tabelas um, dois, três e quatro, indicam que o teste F foi significativo para os valores confirmando que a umidade varia entre si até a umidade de saturação.

**TABELA 1.** Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH<sub>2</sub>O na Areia.

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr>F	
Modelo linear	0,976313	3,06	0,091	
Erro	0,319016			
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr>t
X	1,473647	0,22358047	6,591	0
Intercepto	-0,024414	0,01395562	-1,749	0,0908

**TABELA 2.** Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH<sub>2</sub>O no Rejeito de mineração.

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr>F	
Modelo linear	1,913846	5,999	0,021	
Erro	0,319016			
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr>t
X	1,297806	0,22358047	5,805	0
Intercepto	-0,034182	0,01395562	-2	0,0206

**TABELA 3.** Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH<sub>2</sub>O no Solo argiloso.

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr>F	
Modelo linear	0,816462	2,559	0,12	
Erro	0,319016			
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr>t
X	0,99812	0,22358047	4,464	0,0001
Intercepto	-0,022326	0,01395562	-1,6	0,1205

**TABELA 4.** Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH<sub>2</sub>O no Solo arenoso.

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr>F	
Modelo linear	0,726452	2,053	0,26	
Erro	0,319016			
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr>t
X	1,07863	0,22358047	5,753	0,0001
Intercepto	-0,022326	0,01395562	-1,698	0,0212

Os resultados obtidos comprovaram que a resposta do sensor ECH<sub>2</sub>O à umidade varia com o tipo do solo. As curvas de calibração obtidas neste estudo diferem daquela descrita pelo fabricante do sensor, tal fato mostra a necessidade de calibração específica do sensor para cada solo, principalmente quando o grau de precisão necessário na determinação da umidade do solo seja alto, como é o caso em outros estudos.

### CONCLUSÃO

Os usos e ocupações do solo possuem interferência direta sobre as características de umidade, por exemplo. O material arenoso foi o com melhor resposta ao sensor ECH<sub>2</sub>O. Esse foi satisfatório em relação à variação da umidade, comprovando que o sensor pode apresentar bom desempenho em solos com essas



características. O sensor ECH2O quando devidamente calibrado, pode ser utilizado com bons resultados na determinação da umidade do solo.

## REFERÊNCIAS

BORHAN, M.S.; PARSONS, L.R. **Monitoring of soil water content in a citrus grove using capacitance ECH2O probes**. St. Joseph: ASAE, 2004. (ASAE Paper No.042110).

COELHO, E. F; VELLAME, L. M; COELHO FILHO, M. A. TDR probe for estimating soil water content and bulk electrical conductivity by using multiplexers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 475-480, out./dez. 2005.

\_\_\_\_\_; DA SILVA, A. J. P; DE MIRANDA, J. H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 608-618, jul./ago. 2010.

CZARNOMSKI, N.M.; MOORE, G.W.; PYPKER, T.G.; LICATA, J.; BOND, B.J. Precision and accuracy of three alternative instruments for measuring soil water content in two forest soils of the Pacific Northwest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.35, n.8, p.1867-1876, 2005.

DECAGON DEVICES. **Water potential**. Disponível em: <<http://www.decagon.com/products/soils/water-potential/>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS-ESALQ-USP. **Condutividade hidráulica**. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/condutividade1.html>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

JONG VAN LIER, Q. (Editor). **Física do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

MANIERI, J. M; VAZ, C. M. P; MARIA, I. C. D. TDR spiral probe for moisture measurement in the soil profile. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 191-198, mar./abr. 2007.

SALVADOR, M. M. S; KHÖNE, S; KHÖNE, J. M; LENNARTZ, B; LIBARDI, P. L. Fluxo de água em um Gleyic Luvisol usando traçador e sua relação com as propriedades físicas e morfológicas do solo. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 2, p. 160-166, mar./abr. 2011.

SILVA, A. J. P & COELHO, E. F. Percolação de água estimada com reflectometria no domínio do tempo (TDR), em lisímetros de drenagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 920-927, jul./ago. 2013.

TRINTINALHA, M.A.; GONÇALVES, A.C.G.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; FOLEGATTI, M.V., FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.3, p.353-360, 2004.

YODER, R.E.; JOHNSON, D.L.; WILKERSON, J.B.; YODER, D.C. Soil water sensor performance. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.14, n.2, p.121-133, 1998.