

Calibração do sensor dielétrico ECH₂O em dois tipos de solo¹

Calibration of the dielectric sensor ECH₂O in two types of soil

Fábio Rodrigues de Miranda², Maria Gabrielle Sousa de Santana³, Carmem Cristina Mareco de Souza³ e Cláudio Henrique Chaves de Oliveira⁴

Resumo - O sensor ECH₂O (Decagon Devices, Inc.) é uma sonda de capacitância de baixo custo e de fácil adaptação a sistemas automáticos de aquisição de dados. No entanto, para que possa produzir resultados satisfatórios, o próprio fabricante recomenda sua calibração para solos com características distintas de composição textural e salinidade. O presente estudo teve como objetivo calibrar o sensor dielétrico ECH₂O, modelo EC-10, para dois tipos de solos com diferentes composições texturais (Neossolo Quartzarênico e Cambissolo). Avaliou-se a resposta do sensor à variação decrescente da umidade do solo, medida através da determinação da massa de um volume conhecido de solo em uma balança eletrônica. Os resultados mostraram que, quando devidamente calibrado, o sensor ECH₂O pode ser utilizado satisfatoriamente na determinação da umidade do solo. Para o Neossolo Quartzarênico o sensor ECH₂O apresentou uma resposta linear à variação de umidade do solo, representada pela equação $\Theta = 0,0009x - 0,2778$, em que Θ é a umidade do solo em $m^3 m^{-3}$ e x é o potencial elétrico do sensor ECH₂O em mV, com $r^2 = 0,9899$. Para o Cambissolo a equação de calibração do sensor foi: $\Theta = 8,2890 \times 10^{-6}x^2 - 0,0106x + 3,5291$, com $r^2 = 0,9475$.

Termos para indexação: umidade do solo, Cambissolo, Neossolo

Abstract - The ECH₂O sensor (Decagon Devices, Inc.) is a low-cost dielectric probe, which is easily adapted to automatic data acquisition systems. However, to present satisfactory results, the sensor manufacturer recommends its calibration for soils with distinct characteristics of texture and salinity. The study aimed to calibrate the dielectric sensor ECH₂O, model EC-10 for two types of soil with distinct textures, Quartzipsament and Cambisol. It was evaluated the sensor response to decreasing soil water content, measured by determining the mass of a known soil volume, using an electronic scale. The results showed that, when it is properly calibrated, the ECH₂O sensor can perform adequately for soil water content measurements. For the Quartzipsament the ECH₂O sensor presented a linear response to soil water content variation, according to the equation $\Theta = 0,0009x - 0,2778$, where Θ is the soil water content in $m^3 m^{-3}$ and x is the sensor voltage output in mV, with $r^2 = 0,9899$. For the Cambisol the calibration equation was $\Theta = 8,2890 \times 10^{-6}x^2 - 0,0106x + 3,5291$, with $r^2 = 0,9475$.

Index terms: soil water content, Cambisol, Quartzipsament

¹ Recebido para publicação em 09/06/2006; aprovado em 16/05/2007

² Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Caixa Postal 3761, CEP 60511-110, Fortaleza, CE. Fone (85) 3299-1912, fabio@cnpat.embrapa.br.

³ Estudante de Agronomia, Bolsista do CNPq, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE.

⁴ Eng. Agrônomo, M.Sc., Bolsista do CNPq, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE.

Introdução

A determinação da umidade do solo é de grande importância para a pesquisa e o manejo da irrigação. Em virtude das dificuldades envolvidas na determinação direta da umidade do solo pelo método gravimétrico, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada.

Entre os métodos indiretos de determinação da umidade do solo, aqueles que relacionam a umidade às 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., 1997).

O sensor ECH₂O (Decagon Devices, Inc.) 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 fabricante dos sensores ECH₂O recomenda a calibração do sensor para cada tipo solo, uma vez que em solos com altos teores de sal ou areia, a calibração de fábrica não proporciona bons resultados. O presente estudo teve como objetivo calibrar o sensor dielétrico ECH₂O modelo EC-10 para dois tipos de solos com composição textural distinta (Neossolo Quartzarênico e Cambissolo).

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no Laboratório de Solos e Água da Embrapa Agroindústria Tropical. Foram coletadas amostras de dois tipos de solos de texturas distintas (Neossolo Quartzarênico e Cambissolo), nos municípios de Paracuru-CE e Limoeiro do Norte-CE, respectivamente. Em ambos os solos as amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 0,2 m.

No laboratório, as amostras foram passadas em uma peneira com malha de 0,005 m para a retirada de raízes e torrões. A seguir, as amostras foram colocadas em dois recipientes plásticos com diâmetro de 0,25 m e altura de 0,24 m (0,01178 m³), um para cada tipo de solo e saturadas. O fundo dos recipientes foi previamente perfurado e coberto com um tecido de algodão, a fim de permitir a drenagem do excesso de água, evitando-se perdas de solo.

Em cada recipiente foram instalados quatro sensores de umidade ECH₂O, modelo EC-10 (Decagon Devices, Inc), cujas dimensões eram 0,1450 m de comprimento, 0,0317 m de largura e 0,0015 m de espessura. Os sensores foram instalados verticalmente, na mesma profundidade (0,05 m abaixo da superfície do solo), a uma distância de 0,06 m da parede do recipiente e equidistantes entre si. Procedeu-se então uma leve compressão lateral do solo contra os sensores, com o auxílio de uma espátula, a fim de melhorar o contato entre o solo e os sensores, seguindo as recomendações de instalação do fabricante.

Os conjuntos (recipiente, solo, estação de coleta de dados e sensores) foram colocados sobre uma bancada no laboratório e pesados diariamente, em horário fixo (às 10:00 h), durante aproximadamente 40 dias, até que a variação de massa dos mesmos fosse insignificante, utilizando-se uma balança eletrônica, com precisão de ±2,5 g. Durante esse período foram realizadas leituras horárias do potencial elétrico de resposta dos sensores de umidade ECH₂O (em mV), utilizando estações de coleta de dados Em5 (Decagon Devices, Inc.).

Após encerradas as pesagens e as leituras de umidade, o solo foi retirado dos recipientes, levado para secar em uma estufa a 105 °C por 24 h e pesado novamente para a determinação da massa de solo seco. A massa de água presente no solo em cada pesagem foi determinada pela diferença entre as leituras diárias da balança e a massa do conjunto (recipiente solo seco, estação de coleta de dados e sensores). A umidade volumétrica do solo foi obtida pela relação entre o volume de água em cada pesagem (considerando a densidade da água de 1000 kg m⁻³) e o volume de solo em cada recipiente. Os dados de umidade volumétrica e dos sensores ECH₂O foram submetidos à análise de regressão, utilizando o software SAS.

Para cada tipo de solo foram determinadas ainda a condutividade elétrica, o teor de matéria orgânica, a composição granulométrica, a densidade de partículas e a densidade do solo (utilizando amostras deformadas) e a porosidade total. As análises foram realizadas em laboratório, segundo a metodologia descrita em Embrapa (1997).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os valores de densidade do solo, composição granulométrica, teor de matéria orgânica e condutividade elétrica do Neossolo Quartzarênico e do Cambissolo utilizados no estudo. Nota-se uma grande diferença entre os dois tipos de solo quanto à composição textural, com o Cambissolo apresentando maior teor de argila e maior porosidade total em relação ao Neossolo. Ambos os solos apresentaram baixos valores de matéria orgânica e de condutividade elétrica.

Tabela 1 - Densidade do solo, composição granulométrica, teor de matéria orgânica e condutividade elétrica do Neossolo Quartzarênico e do Cambissolo utilizados no estudo

	Neossolo Quartzarênico	Cambissolo
Dens. de partículas (Mg m ⁻³)	2,75	2,87
Dens. do solo (Mg m ⁻³)	1,49	1,35
Porosidade total (%)	45,82	52,96
Areia (g kg ⁻¹)	944	505
Silte (g kg ⁻¹)	18	212
Argila (g kg ⁻¹)	38	283
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	16,50	22,50
Condu. elétrica (dS m ⁻¹)	1,04	0,96

Os dados de umidade volumétrica observados no Neossolo Quartzarênico e os respectivos valores de potencial elétrico de resposta dos sensores ECH₂O são apresentados na Figura 1. Observou-se que para o Neossolo Quartzarênico o sensor apresentou uma resposta linear à variação da umidade do solo. Os quatro sensores utilizados apresentaram leituras bastante semelhantes entre si para um mesmo valor de umidade do solo (CV = 0,039), principalmente para baixos valores de umidade. A equação que define a curva de calibração do equipamento para o Neossolo Quartzarênico foi:

$$\Theta = 0,00091x - 0,27781 \quad r^2 = 0,9899 \quad n = 120$$

em que,

Θ é a umidade do solo em m³ m⁻³ e x é o potencial elétrico do sensor ECH₂O em mV.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise de regressão. Todos os parâmetros da equação de calibração do sensor para o Neossolo foram significativos (P < 0,01). O erro médio quadrático observado (RMSE = 0,0083 m³ m⁻³) pode ser considerado baixo.

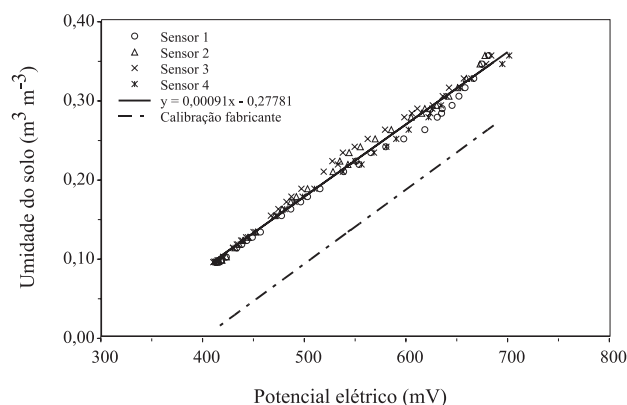


Figura 1 - Umidade volumétrica do solo, valores medidos do potencial elétrico dos sensores ECH₂O e curva de regressão para o Neossolo Quartzarênico

Tabela 2 - Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH₂O no Neossolo Quartzarênico

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr > F
Modelo linear	0,79300	11533	<0,0001
Erro	0,00007		

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
x	0,00091	0,000008	107,39	<0,001
intercepto	-0,27781	0,00461	-60,24	<0,001

A equação de calibração apresentada pelo fabricante do sensor para um solo areno siltoso ($\Theta = 0,00094x - 0,3760$), apresenta inclinação bastante semelhante à equação de calibração obtida para o Neossolo Quartzarênico, porém, o valor da constante é bem maior. Com isso, o uso da equação de calibração original faria com que os valores de umidade do solo fossem consideravelmente subestimados pelo sensor ECH₂O naquele solo.

Na Figura 2 é apresentada uma comparação entre os valores de umidade do solo medidos e os valores determinados com os sensores ECH₂O utilizando-se a equação de calibração obtida para o Neossolo Quartzarênico. A equação de regressão dos valores de umidade do solo estimados em relação aos medidos apresentou um valor de inclinação muito próximo de 1 ($\beta = 0,9886$), intercepto igual a zero e um coeficiente de determinação alto ($r^2 = 0,9837$), o que mostra um excelente desempenho dos sensores na determinação da umidade do Neossolo Quartzarênico, utilizando a equação de calibração.

O sensor ECH₂O apresentou uma resposta bastante satisfatória à variação da umidade no Neossolo

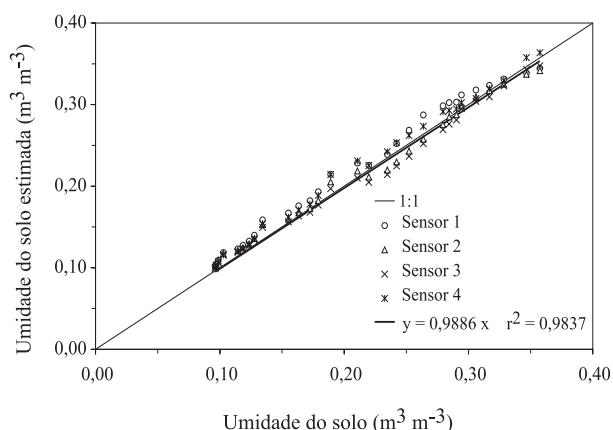


Figura 2 - Umidade volumétrica do solo medida e valores estimados pelos sensores ECH₂O utilizando a equação de calibração para o Neossolo Quartzarênico

Quartzarênico, comprovando que o sensor pode apresentar boa performance, mesmo em solos com altos teores de areia. Resultados semelhantes foram relatados por Borhan e Parsons (2004), que concluíram que o sensor ECH₂O apresentou um bom potencial para o monitoramento contínuo da umidade em um solo arenoso da Flórida.

Para o Cambissolo, somente foi possível utilizar os dados de dois dos quatro sensores para a obtenção da curva de calibração, uma vez que dois canais da estação de coleta de dados apresentaram problemas. Observou-se que o sensor apresentou uma resposta quadrática à variação da umidade do solo (Figura 3). A equação de calibração do sensor para esse tipo de solo foi:

$$\Theta = 8,2890 \times 10^{-6} x^2 - 0,0106 x + 3,5291$$

$$r^2 = 0,9475 \quad n = 30$$

em que,

Θ é a umidade do solo em $m^3 m^{-3}$ e x é o potencial elétrico do sensor ECH₂O em mV.

Nota-se na Figura 3 que se fosse utilizada a equação de calibração recomendada pelo fabricante, os valores de umidade do solo determinados pelo sensor ECH₂O seriam superestimados em até 45% em relação à umidade real do solo. Trintinalha et al. (2004), estudando o comportamento do sensor ECH₂O em um Nitossolo Vermelho distroférico, também obtiveram uma equação de calibração quadrática ($\Theta = 7,7538 \times 10^{-6} x^2 - 1,0788x + 4,0021$). No entanto os coeficientes da equação foram diferentes dos obtidos neste estudo.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise de regressão. Todos os parâmetros da equação de

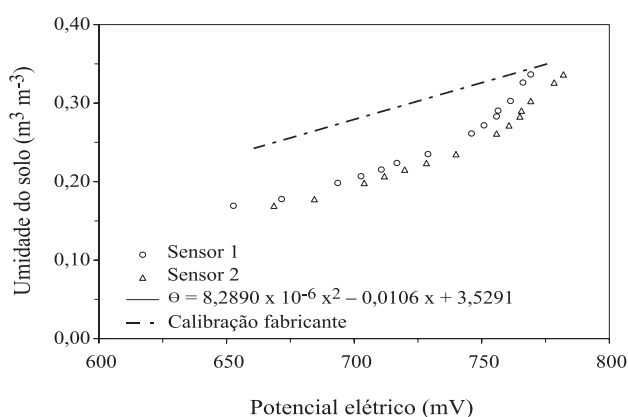


Figura 3 - Umidade volumétrica do solo, valores medidos do potencial elétrico dos sensores ECH₂O e curva de regressão para o Cambissolo

calibração do sensor ECH₂O para o Cambissolo foram significativos ($P < 0,01$). Os valores observados de erro médio quadrático ($RMSE = 0,0140 m^3 m^{-3}$) e coeficiente de variação dos dados ($CV = 0,054$) foram baixos, embora maiores que os observados no Neossolo.

Tabela 3 - Resultados da análise de regressão para a calibração do sensor ECH₂O no Cambissolo

Fonte de variação	Quadrado médio	F	Pr > F
Modelo quadrático	0,051435	261,54	<0,0001
Erro	0,000197		

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
intercepto	3,5291	0,9514	3,71	0,0009
x	-0,0106	0,0026	-4,03	0,0004
x ²	8,2890 x 10 ⁻⁶	1,8020 x 10 ⁻⁶	4,60	<0,0001

Na Figura 4 é apresentada uma comparação entre os valores de umidade do solo medidos e os valores determinados com os sensores ECH₂O utilizando-se a equação de calibração obtida para o Cambissolo. Apesar de apresentar um valor de inclinação muito próximo de 1 ($\beta = 1,0021$) e um intercepto igual a zero, a estimativa da umidade no Cambissolo utilizando o sensor ECH₂O, após a calibração, não foi tão boa quanto para o solo arenoso, apresentando um coeficiente de determinação mais baixo ($r^2 = 0,9403$). Na Figura 4 nota-se que os erros mais expressivos ocorreram principalmente para teores mais altos de umidade do solo.

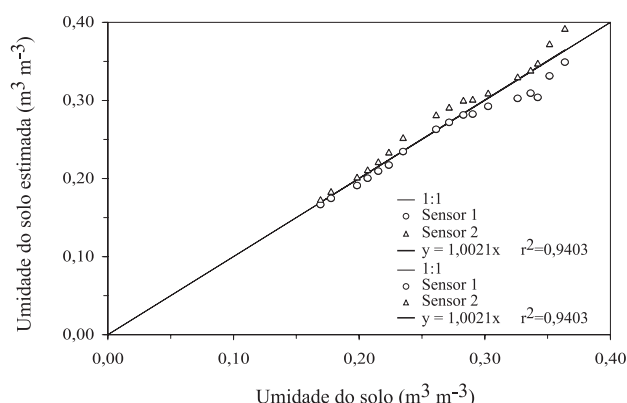


Figura 4 - Umidade volumétrica do solo medida e valores estimados pelos sensores ECH₂O utilizando a equação de calibração para o Cambissolo

Os resultados obtidos comprovaram que a resposta do sensor ECH₂O à umidade varia com o tipo do solo. Ambas as curvas de calibração obtidas neste estudo diferem daquela descrita pelo fabricante do sensor e daquela obtida por Trintinalha et al. (2004), para um Nitossolo Vermelho distroférico. 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 de outros trabalhos de pesquisa.

Conclusões

1. O sensor ECH₂O apresentou curvas de calibração distintas para o Neossolo Quartzarênico e o Cambissolo, segundo modelos linear e quadrático, respectivamente; e

2. As curvas de calibração obtidas para ambos os solos apresentaram valores altos de coeficiente de determinação (r^2), indicando que, quando devidamente calibrado, o sensor pode ser utilizado com bons resultados na determinação da umidade do solo, tanto para o Neossolo Quartzarênico quanto para o Cambissolo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro, via bolsas de pesquisa para a realização do trabalho.

Referências Bibliográficas

- 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)
- 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.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1)
- 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.