

# CALIBRAÇÃO DE CAMPO DE UMA SONDA FDR (REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DE FREQUÊNCIA) PARA ESTIMATIVA DA UMIDADE DO SOLO

AUREO S. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, FLÁVIA JANAÍNA C. BRANDÃO<sup>2</sup>, LUCAS M. VELLAME<sup>3</sup>,  
LEONARDO C. LOPES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Adjunto, Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA, [aureo@ufba.br](mailto:aureo@ufba.br); <sup>2</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Pesquisadora Associada, NEAS/UFRB; <sup>3</sup> Mestrando em Ciências Agrárias, NEAS/UFRB; <sup>4</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras, MG.

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

**RESUMO:** Vários são os sensores de umidade atualmente disponível no mercado. Funcionam segundo princípios diferentes, custos, precisão e exigências de pessoal treinado para manuseio. O objetivo deste trabalho foi calibrar em condições de campo uma sonda FDR para estimativa da umidade em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Amostras secas e úmidas foram obtidas a partir de 10 cm de profundidade em incrementos de 20 cm, até 110 cm. Paralelamente, leituras com o sensor foram realizadas para obtenção do valor de D, sendo este a diferença entre as frequências das ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas. Com os pares ordenados (D,θ) dois modelos, exponencial e linear, foram ajustados. Ambos os modelos ajustaram-se bem, porém o modelo exponencial para todas as profundidades amostradas apresentou os maiores coeficientes de determinação. Com as curvas de calibração obtidas, o sensor pode ser utilizado satisfatoriamente para estimativa da umidade do solo em condições de campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** FDR, instrumentação, umidade do solo

## FIELD CALIBRATION OF A FDR SENSOR (FREQUENCY DOMAIN REFLECTOMETRY) FOR DETERMINATION OF SOIL MOISTURE

**ABSTRACT:** Many soil moisture sensors are actually available for measuring the water content of soils. They vary according to the working principle, cost, precision, and skilled-personnel requirements. The objective of this work was to calibrate under field a FDR sensor model Sentry 200 AP, to estimate soil moisture in the cohesive soils of the Costal Tableland region of the State of Bahia. A field experiment was carried out at the School of Agronomy of the Federal University of Bahia. Soil samples were taken from the walls of a trench, from 10 to 110 cm, at 20 cm increments for gravimetric determination. Readings with the sensor were also taken at the same depths. An exponential and a linear model were fitted to the data. The dispersion of data increased with the depth mainly due to the variability in soil density. The higher determination coefficients were obtained with the exponential model. For any of the two models the sensor can be satisfactorily used for soil moisture determination in the field.

**KEYWORDS:** FDR, instrumentation, soil moisture

**INTRODUÇÃO:** A determinação da umidade do solo ( $\theta$ ) é essencial à quantificação do volume de água armazenado no perfil. Em agricultura irrigada, por exemplo, esta informação define os limites de disponibilidade hídrica às plantas e, conseqüentemente, o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar. A escolha do método mais adequado para aferição de  $\theta$  deve levar em conta critérios como custo, praticidade, operacionalidade, princípio de funcionamento e precisão das medições (LEY et al., 1992). Estes métodos de estimativa de  $\theta$  empregam equipamentos que tipicamente requerem alguma calibração. Em alguns casos, o equipamento é fornecido previamente calibrado. Qualquer que seja o caso, e para atender a características particulares de cada solo, os sensores são em geral submetidos a uma nova calibração de forma a fornecer estimativas confiáveis de  $\theta$  (CARTER & CONWAY, 1984;

HILLEL, 1998) Inúmeros trabalhos descrevem procedimentos para calibração de aparelhos TDR (TOPP & DAVIS, 1985; SILVA & GERVÁSIO, 1999) em que polinômios de terceiro grau são ajustados para estimativa de  $\theta$  a partir de  $K_a$ . Diferentes modelos de sondas de capacitância (sensores FDR) têm sido calibrados tanto em condições de campo (LEY et al., 1992) quanto de laboratório (PALTINEANU & STARR, 1997) e apresentado graus variáveis de confiabilidade nas estimativas de  $\theta$ . O objetivo deste trabalho foi calibrar e validar modelos de calibração (local e de fábrica) de uma sonda de capacitância em perfil de solo representativo dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, na região do Recôncavo Baiano.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os trabalhos de campo foram conduzidos em área do Campo Experimental II da Escola de Agronomia da UFBA, Cruz das Almas, Bahia (12° 40' 39" S; 39° 06' 23" W; 220 m anm), na faixa litorânea do Brasil conhecida como Tabuleiros Costeiros. Descrição pedológica de alguns solos da região é encontrada em AGUIAR NETTO et al. (1999) e REZENDE (2000). O solo é classificado como Latossolo Amarelo coeso típico, densidade do solo de 1,63 g/cm<sup>3</sup>, porosidade total 38%, umidade à capacidade de campo e ponto de murcha de 0,198 e 0,108 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Textura predominante: franco-argilo-arenosa.

Utilizou-se uma sonda de capacitância (modelo Sentry 200 AP, número de série 556, Troxler Electronic Laboratories, Inc., Research Triangle Park, NC, USA) que se baseia na constante dielétrica do sistema solo-água-ar para estimar a umidade do solo. O volume de solo medido pela sonda independe do tipo de solo ou do conteúdo de água e aproxima-se ao de um cilindro de 10 cm de altura e 25 cm de diâmetro (LEY et al., 1992). Adicionalmente, a instalação do tubo de acesso requer extremo cuidado para garantir perfeita aderência entre o solo e a parede externa do tubo. A leitura da sonda (D) corresponde à diferença entre as frequências das ondas emitidas e recebidas, sendo D um número adimensional, semelhante à razão de contagem em sondas de nêutrons.

O solo da área reservada aos testes de campo encontrava-se por mais de dois anos livre do trânsito de máquinas e coberto por gramíneas (*Brachiaria decumbens* Wapp.) e pequenos arbustos. Dez tubos de PVC rígido (60 mm DE, 55 mm DI e 150 cm comprimento), divididos em dois grupos de cinco e alinhados em fileiras paralelas, equidistantes 100 cm ao longo da fileira e 160 cm entre fileiras. Centralizada e paralela às fileiras, abriu-se uma trincheira de 100 cm de largura x 500 cm de comprimento x 150 cm de profundidade. Para amostragem de solo em ampla faixa de umidade (seco a úmido), o lado Oeste da trincheira (LO) foi reservado para determinações em solo seco e o lado Leste (LL) para determinações em solo úmido.

O perfil do solo foi arbitrariamente dividido em seis camadas de 20 cm de espessura. As leituras com a sonda eram feitas no ponto médio de cada camada (10, 30, 50, 70, 90 e 110 cm), tomado como representativo da respectiva camada. Isto é razoável, considerando que o volume de solo medido pelo sensor é um cilindro de 10 cm de altura por 25 cm de diâmetro (LEY et al., 1992). Portanto, cada tubo forneceu seis pares ordenados (D, $\theta$ ) para calibração, totalizando portanto dez pares por camada, considerando ambos os lados da trincheira.

Aos pares ordenados (D, $\theta$ ) ajustou-se o modelo exponencial (equação 1) e o modelo linear, segundo a equação 2.

$$\theta = \left( \frac{1}{F_1} \right) \cdot \ln \left( \frac{D - F_2}{F_0} \right) \quad (1)$$

$$\theta = B_0 + B_1 \cdot D \quad (2)$$

onde  $\theta$  e D já foram definidos anteriormente e  $F_0$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $B_0$  e  $B_1$  são os coeficientes de ajuste.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No Lado Oeste (L.O.) da trincheira os valores extremos da densidade do solo ( $d_s$ ) foram 1,28 e 1,81 kg dm<sup>-3</sup> e no Lado Leste foram 1,50 e 1,77 kg dm<sup>-3</sup>, com valor médio de 1,59 kg dm<sup>-3</sup> para toda a área. Em média,  $d_s$  variou de 1,44 kg dm<sup>-3</sup> (70 cm) a 1,69 kg dm<sup>-3</sup> (10 cm) no L.O. com 6,3% de CV e de 1,57 kg dm<sup>-3</sup> (110 cm) a 1,73 kg dm<sup>-3</sup> (30 cm) no L.L. com 3,4% de CV. Houve uma tendência de decréscimo da densidade com a profundidade,

concentrando-se os maiores valores na camada de 10 a 50 cm. Durante os testes de campo a umidade volumétrica no lado seco (L.O.) variou de 9,6 a 23,2%. No lado úmido (L.L.) a variação foi de 18,7 a 29,4%, mostrando a ampla faixa de umidade do solo a que o sensor foi submetido.

A Tabela 1 mostra os coeficientes de ajuste da calibração para ambos os modelos, com os respectivos coeficientes de determinação. Em geral, a dispersão dos dados aumentou com a profundidade. Para todas as profundidades, o modelo exponencial apresentou melhor ajuste em comparação ao modelo linear.

Tabela 1 – Coeficientes de calibração e de determinação para ambos os modelos de ajuste para cada camada do perfil de solo. (Cruz das Almas, Bahia, 2006)

Profundidade (cm)	Modelo exponencial				Modelo linear		
	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	r <sup>2</sup>
10	-2258,9	-0,02771	5083	0,983	-68,9040	0,0234	0,963
30	-2136,9	-0,03077	5083	0,969	-78,8364	0,0252	0,937
50	-1754,1	-0,02147	5083	0,856	-99,6523	0,0305	0,742
70	-1716,5	-0,02052	5083	0,889	-112,2171	0,0336	0,791
90	-1712,2	-0,01931	5083	0,942	-137,2876	0,0402	0,890
110	-1576,8	-0,01506	5083	0,819	-140,0282	0,0411	0,687

A Figura 1 mostra as curvas de calibração, segundo o modelo exponencial para as profundidades extremas do perfil de solo. Verifica-se o aumento na dispersão dos dados com a profundidade, conforme Tabela 1. Valores semelhantes foram encontrados por WEINZETTEL & USUNOFF (2003) e EVETT & STEINER (1995).

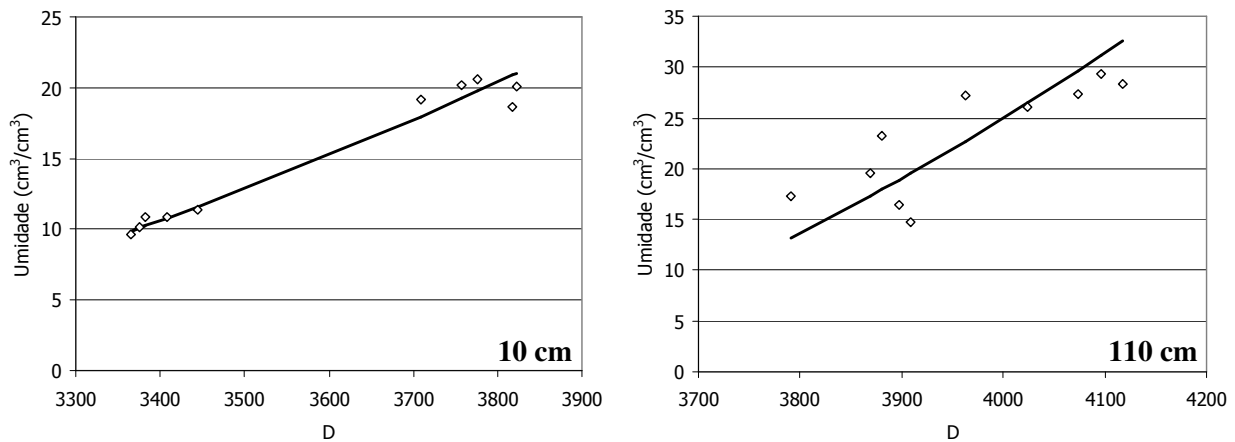


Figura 1 – Curvas de calibração para profundidades extremas do perfil de solo, segundo o modelo exponencial. (Cruz das Almas, Bahia, 2006).

**CONCLUSÕES:** Para ambos os modelos testados, a calibração da sonda FDR revelou alto coeficiente de correlação entre as leituras do sensor e a umidade gravimétrica. A dispersão dos dados aumentou com a profundidade, provavelmente devido à variações nas propriedades do solo, a exemplo da densidade do solo com efeito sobre a variabilidade da umidade volumétrica. O modelo exponencial revelou os maiores coeficientes de determinação, em todas as profundidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGUIAR NETTO, A. de O.; NACIF, P.G.S.; REZENDE, J. de O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um Latossolo amarelo coeso do estado da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 23, p. 661-667, 1999.

CARTER, V.H.; CONWAY, S. Como predizer datas e dados sobre a irrigação com um medidor de umidade de partículas de nêutrons. *ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, n. 18, p. 14-21, 1984.

EVETT, S. R.; STEINER, J. L. Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 59, p. 961-968, Jul/Aug, 1995.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press. 1998. 771 p.

LEY, T.W.; STEVENS, R.G.; TOPIELC, R.R.; NEIBLING, W.H. **Soil water monitoring and measurement**. Prosser, WA: Pacific Northwest Publication. Washington State University, 1992, 27 p.

PALTINEANU, I.C.; STARR, J.L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1734-1742. 1997.

REZENDE, J. DE O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: Limitações Agrícolas e Manejo**. Salvador: Secretaria da Agricultura, Reforma Agrária e Irrigação, SEAGRI (Série Estudos Agrícolas, 1). 2000. 117 p.

SILVA, E.L. DA; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo roxo distrófico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 417-420, 1999.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. *Advances in Irrigation*, Madison, v. 3, p. 107-127, 1985.

WEINZETTEL, P.; USUNOFF, E. **Calibración de una sonda de capacitancia en suelos argiudoles de la zona central de la provincia de BS. AS., Argentina**. Estudios de la zona no saturada del solo. Vol. VI. Instituto de Hidrología de Llanuras. J. Alvarez-Benedi y P. Marinero, 2003. Buenos Aires – Argentina.