



SONDAS DE TDR PARA DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DO SOLO

WELSON LIMA SIMÕES²; EUGENIO FERREIRA COELHO¹; DELFRAN BATISTA DOS SANTOS³; LUCIO ADERITO DOS ANJOS VEIMROBER JUNIOR⁴

¹ Engenheiro Agrícola, Ph.D., Embrapa mandioca e Fruticultura/Cruz das Almas-BA. E-mail: ecoelho@cpnif.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, Pós-graduando UFV/Viçosa - MG.

³ Engenheiro Agrônomo, professor, EASB/Senhor do Bomfim - BA.

⁴ Graduando, UFRB/Cruz das Almas - BA.

Apresentado no
XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
30 de julho a 02 de agosto de 2007 - Bonito - MS

RESUMO: O desenho das sondas de TDR é fundamental para fins de leituras de umidade e principalmente da condutividade elétrica aparente do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de sondas de TDR de diferentes espaçamentos entre hastes e comprimentos de resina no início das hastes. O experimento constou de duas fases: a primeira consistiu na construção das sondas e a segunda na avaliação das mesmas. As sondas, de 0,10 m de comprimento fora da resina, foram construídas variando-se o espaçamento entre hastes (2,0 cm; 2,5 cm; 3,0 cm e 3,5 cm) e o comprimento da resina no início das hastes (3,5 cm; 4,5 cm e 5,5 cm). Na segunda fase, a avaliação das sondas foi feita em termos de determinação da condutividade elétrica (CE) e umidade; a CE foi determinada em colunas de solo, as quais foram aplicadas soluções contendo sais cloreto de sódio e cloreto de cálcio com diferentes condutividades elétricas, ou seja: 0,55, 1,042 e 2,78 dSm⁻¹. As leituras de condutividade elétrica e de umidade com as sondas de TDR foram afetadas pelo nível de salinidade do solo, conseqüente da concentração da solução aplicada, pelas características das sondas, em termos de espaçamento entre hastes e comprimento de resina no início das hastes. As leituras das sondas foram influenciadas, também, pelo uso de multiplexador. Houve uma tendência de leituras maiores de umidade para maiores espaçamentos entre hastes e comprimento da resina no início das hastes.

PALAVRAS-CHAVE: TDR, guias de onda, desenho de sondas de TDR

TDR PROBES FOR USING IN SOIL SALINITY STUDIES

ABSTRACT: The design of TDR probes is fundamental for readings of soil water content and electrical conductivity. This work had as objective to evaluate the performance of TDR probes of different spacings between rods and length of epoxy in the beginning of the probe. The experiment had two phases: in the first, probes were built and in the second they were evaluated. The probes of 0.10 m length were built varying the spacing between rods (2.0 cm; 2.5 cm; 3.0 cm e 3.5 cm) and the length of the epoxy (3.5 cm; 4.5 cm e 5.5 cm). In the second phase, probe evaluation was accomplished by the determination of soil water content and electrical conductivity (CE). EC was determined in soil columns where solutions of sodium chloride and calcium chloride with different electrical conductivities, i.e. 0.55, 1.042 e 2.78 dSm⁻¹. The soil water content and electrical conductivity readings were affected by: (a) the level of soil salinity, as a consequence of solution concentration applied; (b) by probe characteristics such as spacing between rods and length of epoxy in the beginning of the probes. The readings were also influenced by the use of multiplexer. The larger the readings of soil CE or water content, the larger the spacing between rods and the length of epoxy in the beginning of the probe.

KEYWORDS: TDR, wave guides, TDR probe design

INTRODUÇÃO: A reflectometria no domínio do tempo (TDR) tem sido usada na ciência do solo para determinação de umidade e de condutividade elétrica aparente do solo. Apesar do custo dos equipamentos de TDR serem ainda limitantes ao uso pelos produtores, alternativas desses equipamentos vem evoluindo para custos mais acessíveis. No caso do uso dos mesmos para estimativa da condutividade elétrica do solo, tem-se conduzido estudos visando-se avaliar a dinâmica de íons no solo com uso da TDR (MMOLAWA & OR, 2000). O uso da TDR apresenta desvantagem em condições de salinidade do solo limitando-se a solos de baixa condutividade elétrica (MALLANTS et al., 1996). O desenho das sondas de TDR é fundamental para fins de leituras de umidade e principalmente da condutividade elétrica aparente, que depende da impedância da sonda, comprimento das hastes, impedância no cabo e voltagens antes do início da sonda e no final da mesma (GIESE & TIEMAN, 1975). Dessa forma, o espaçamento e comprimento das hastes e o volume da resina (epóxi) podem influir significativamente no desempenho das sondas. COELHO et al. (2003) verificaram que sondas com hastes espaçadas de 1,7 e 2,2 cm entre si tiveram melhor desempenho que sondas de espaçamentos inferiores. Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho e a viabilidade de uso de guias de onda de diferentes espaçamentos entre hastes e comprimentos de resina no início das hastes para uso com equipamento de TDR 100.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação e fertirrigação da Empresa Mandioca e Fruticultura, a partir de um solo de textura argilosa, com as seguintes características físicas: areia total 590g kg⁻¹, silte 95 g kg⁻¹, argila 315 g kg⁻¹, densidade do solo de 1,33 kg dm⁻³, de partículas 2,50 kg dm⁻³ e porosidade total 32%. As amostras deformadas foram destorroadas, secas ao ar e peneirada, sendo, em seguida feito extrato de saturação, usando soluções de diferentes condutividades elétricas. O experimento constou de duas fases, sendo a primeira, a construção das sondas, o que foi feito seguindo recomendações de COELHO et al. (2003) e SOUZA et al. (2001), usando-se quatro espaçamentos entre hastes (2,0 cm, 2,5 cm, 3,0 cm e 3,5) e comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 3,5 cm, 4,5 cm e 5,5 cm, num total de 12 sondas de TDR. Todas as sondas tiveram comprimento efetivo, fora da resina de 0,10 m, com cabos coaxiais de 50 ohms de 0,5 m de comprimento. As hastes de aço inoxidável tiveram diâmetro 0,003 m. Uma vez construídas, foi determinada a constante (K) de cada sonda, por meio de soluções de cloreto de sódio e cloreto de cálcio na proporção de 3:2 em peso, com CE de 0,55, 1,0, 2,78 e 3,68 dS m⁻¹ e pela determinação da CE na TDR, mantendo-se K = 1, ou seja para cada CE medida determinou-se $F = 1/Zc \cdot ((1-p)/(1+p))$ da equação de GIESE & TIEMAN (1975), sendo Zc a impedância do cabo (50 ohm) e p o coeficiente de reflexão. Foi feito uma análise de regressão linear com intercepto em zero, com os valores de CE medidos em função de F, o que gerou para cada sonda sua respectiva constante (K), que foi o coeficiente angular da equação de regressão. Com o valor de K, determinou-se a impedância de cada sonda, pela equação $Z_0 = K \cdot 2 \pi L$ (HEIMOVARA, 1993). A segunda fase constou de avaliar as sondas para de determinação da condutividade elétrica (CE), o que foi feito empregando-se três colunas de solo com umidade equivalente a saturação, as quais foram adicionadas uma solução contendo os sais cloreto de sódio e cloreto de cálcio com diferentes condutividades elétricas, ou seja: 0,55 (solução 1-S1), 1,042 (solução 2-S2), 2,78 (solução 3-S3) e 3,68 dSm⁻¹ (solução 4-S4). Vinte e quatro horas após a aplicação das soluções, foi feita a leitura de CE com cada sonda de TDR em cada coluna de solo. Foram feitas análises de variância para CEa e umidade obtidas das diferentes sondas de TDR, considerando aplicação das soluções S1, S2 e S3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores do coeficiente da sonda (K) e da impedância da mesma (Z) para as condições, com e sem uso de multiplexador são apresentados na Tabela 1. A Tabela 1 mostra que as variações no espaçamento entre hastes ou no comprimento da resina no início das hastes acarreta variações tanto na impedância das sondas como no coeficientes das mesmas, o que indica diferenças possíveis nas leituras da condutividade elétrica (CE). Tais valores diferenciaram entre si de 0,33% a 20,47%

Tabela 1. Coeficientes das sondas (K) e da impedância (Z) para as condições, com e sem uso de multiplexador.

Espaçam Hastes (cm)	3,5	3,0	2,5	3,0	3,5	3,5	2,0	2,5	2,0	2,5	3,0	2,0
Compr Resina (cm)	5,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	5,5	5,5	4,5	4,5	4,5	3,5
K sem multiplexador	6.74	5.94	6.18	5.37	6.74	7.57	5.22	5.78	6.29	5.74	6.04	5.6
K com multiplexador	6.35	5.92	5.59	5.9	6.06	6.02	5.36	5.51	5.39	5.76	5.63	4.96
Z sem Multiplexador (Ω)	254.09	223.93	232.98	202.44	254.09	285.38	196.78	217.90	237.12	216.39	227.70	211.11
Z com Multiplexador (Ω)	239.38	223.17	210.73	222.42	228.45	226.94	202.06	207.72	203.19	217.14	212.24	186.98
Diferença (%)	5.78	0.33	9.54	9.86	10.08	20.47	2.68	4.67	14.30	0.34	6.78	11.428

Leituras de CE - A análise de variância mostrou que as variáveis independentes uso de multiplexer (MULTI), espaçamento entre hastes de uma sonda (ESP), espessura de resina no início da sonda (CRES) e a interação MULTI x ESP ou MULTI x CRES tiveram efeito significativo na CE para S1 e S2; para S3 não houve efeito de qualquer variável independente na CE. Houve diferença significativa nos dados de CE obtidos com e sem uso de multiplexer para CE da solução S1 e S2 (Tabela 2); para S3, não houve diferença significativa entre os valores de CE obtido pelas duas condições (com ou sem multiplexer). O espaçamento entre hastes não teve efeito nos valores de CE medida pela TDR para S1 e S3; para CE de S2, os espaçamentos de 3,5 cm, 3,0 cm e 2,0 cm não resultaram em diferenças na CE pela TDR e CE referente ao espaçamento 3,5 cm diferiu da CE referente ao espaçamento 2,5 cm (Tabela 2). O comprimento da resina no início das sondas não teve efeito na CE lida pela TDR, mas para a solução S1, o comprimento de resina de 4,0 cm diferiu dos demais (Tabela 2).

Tabela 2. Teste de Tukey de diferença entre médias da CE lida pelas sondas de TDR construídas conforme especificações.

Uso do multiplexador	CE para S1 (dS/m)	CE para S2 (dS/m)	Espaçamento entre hastes (m)	CE para S2 (dS/m)	Comprim. da resina (m)	CE para S1 (dS/m)
Sem uso	0,162 a	0,261 a	0,035	0,327 a	0,035	0,224 a
Com uso	0,306 b	0,447 b	0,030	0,352 a b	0,045	0,231 a b
			0,020	0,356 a b	0,055	0,235 a b
			0,025	0,382 b	0,040	0,332 b

Leituras de umidade - Houve maior sensibilidade das leituras de umidade às variáveis independentes, mesmo para maiores CE do solo. As variáveis independentes individuais, bem como as interações MULTI x ESP ou MULTI x CRES e ESP x CRES tiveram efeito na umidade para CE das soluções S1 e S2; para S3, houve efeito das variáveis individuais e da interação ESP x CRES. As umidades médias lidas pela TDR com uso e sem uso de multiplexer só não diferiram entre si para a solução S1. O espaçamento entre hastes teve efeito significativo nas leituras de umidade para todas as soluções aplicadas, sendo que as leituras médias de umidade não diferiram para os espaçamentos 2,0cm, 2,5 cm e 3,0 cm para S2 e S3. No caso da S1, as médias de umidade foram diferentes entre si para todos os espaçamentos entre hastes. Houve uma tendência de leituras maiores de umidade para maiores espaçamentos entre hastes para todas as CE (Figura 1A). O comprimento da resina no início da sonda só não teve efeito nas leituras de umidade pela TDR para S1, sendo que houve uma tendência de aumento dos valores de umidade com o aumento do comprimento da resina (Figura 1B).

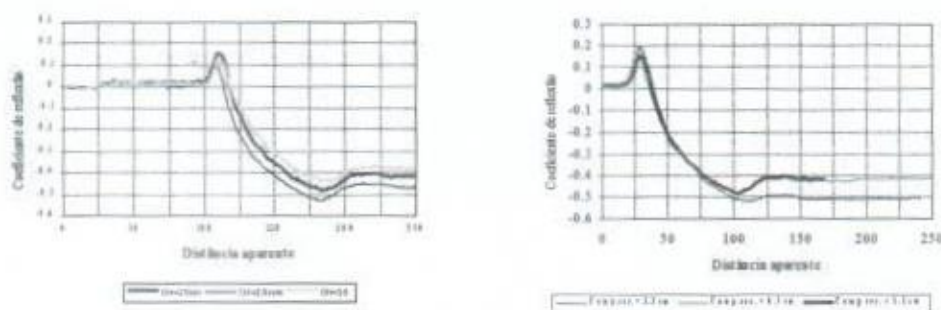


Figura 1. Sinal eletromagnético para (A) sondas de TDR de diferentes comprimentos de hastes, para comprimento de resina de 3,5 cm e (B) sondas de TDR de diferentes comprimentos de resina

A seleção das sondas para uso em condições de solos salinos deve considerar as características da própria sonda, capacidade de leituras da condutividade elétrica, além da capacidade de leituras da umidade do solo. As sondas com espaçamento entre hastes de 3,5 cm e comprimento de resina de 5,5 cm foram as que resultaram em maior atenuação do sinal eletromagnético com elevadas distorções do valor de umidade do solo, com superestimativa da umidade.

CONCLUSÕES: As leituras de condutividade elétrica e de umidade das sondas de TDR foram afetadas pelo nível de salinidade do solo, conseqüente da concentração da solução aplicada, pelas características das sondas, em termos de espaçamento entre hastes e comprimento de resina no início das hastes. As leituras das sondas foram influenciadas, também, pelo uso do multiplexador. Houve uma tendência de leituras maiores de umidade para maiores espaçamentos entre hastes e comprimento da resina no início das hastes.

REFERÊNCIAS

- COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; SANTOS, D. B. dos; LEDO, C. A. da S. . Numero e espaçamento entre hastes de guias de onda para medida de umidade do solo com TDR. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 215-220, 2003.
- GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from the sample time domain reflectometry. Adv. Mol. Relax. Processes, v.7, p.45-49, 1975.
- HEIMOVAARA, T.J. Time domain reflectometry in soil science: theoretical background, measurements, and models. Ph.D thesis, University of Amsterdam, The Netherlands, 1993
- MALLANTS, M. VANCLOOSTER, N. TORIDE, J. VANDERBORGHT, M. TH. VAN GENUCHTEN AND J. FEYEN. Comparison of three methods to calibrate TDR for monitoring solute movement in undisturbed soil. Soil Science Society of America Journal, v.60, p.747-754, 1996.
- MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: a review. Plant and Soil, Dordrecht, v.222, n.1-2, p.163-190, 2000.
- SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. dos. Avaliação de sondas de TDR para medidas da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. v. CD ROM.
- SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. . Experiência do laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP no uso da técnica da TDR. In: Edson Eiji Matsura; Antônio Javarez Junior; Eder Pereira Gomes; Claudinei Fonseca Souza. (Org.). Aplicações da técnica de TDR na agricultura. 1 ed. Campinas: Feagri/Unicamp, 2001, v. , p. 147-176.