

Documentos

ISSN 0104-866X
Dezembro, 2005

117

Instruções Básicas para Instalação e Operação de TDR 100



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto
Presidente

Sílvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Sílvio Crestana
Diretor-Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores-Executivos

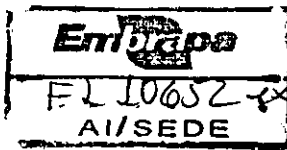
Embrapa Meio-Norte

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral

Aderson Soares de Andrade Júnior
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Paulo Henrique Soares da Silva
Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza
Chefe-Adjunto de Administração



ISSN 0104-866X

Dezembro, 2005

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 117

Instruções Básicas para Instalação e Operação de TDR 100

Eugênio Ferreira Coelho
Maurício Antonio Coelho Filho
Edson Alves Bastos
Aderson Soares de Andrade Junior

Teresina, PI
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal 01

CEP: 64006-220 Teresina, PI.

Fone: (86) 3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: www.cpamn.embrapa.br

E-mail: sac@cpamn.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Fernando Carvalho Leite

Secretária-Executiva: Ursula Maria Barros de Araújo

Membros: Alitieni Moura Lemos Pereira, Angela Pucknik Legat,
Humberto Umbelino de Sousa, Semíramis Rabelo Ramalho Ramos, José
Almeida Pereira, Rosa Maria Cardoso Mota Alcântara

Supervisor editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisor de texto: Lígia Maria Rolim Bandeira

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Editoração eletrônica: Erlândio Santos de Resende

1ª edição

1ª impressão (2005): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio-Norte

Instruções básicas para instalação e operação de TDR 100 / Eugênio
Ferreira Coelho ... [et al.]. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2005.
28 p. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-
866X ; 117).

1. Umidade do solo. 2. Condutividade hidráulica. 3. Relação solo-
água. 4. Manejo de água. 5. Fertirrigação. I. Coelho, Eugênio Ferreira. II.
Embrapa Meio-Norte. III. Série.

CDD 631.587 (21. ed.)

©Embrapa, 2005

Autores

Eugênio Ferreira Coelho

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Mandioca e Fruticultura, Caixa Postal 07,
CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA.

Maurício Antônio Coelho Filho

Engenheiro Agônomo em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01,
CEP 64006-220 Teresina, PI.

Edson Alves Bastos

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01,
CEP 64006-220 Teresina, PI.
edson@cpamn.embrapa.br.

Aderson Soares de Andrade Júnior

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Bolsista CNPq, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01,
CEP 64006-220 Teresina, PI,
aderson@cpamn.embrapa.br.

Apresentação

O conhecimento do teor de água no solo é fundamental para o manejo racional da irrigação. Existem muitas técnicas para medir o conteúdo de água no solo, cada uma com suas vantagens e limitações. Dentre elas, a reflectometria no domínio do tempo (TDR) é muito difundida, principalmente no meio científico, pois permite a determinação não destrutiva e instantânea do conteúdo de água e da condutividade elétrica do solo com possibilidade de automação.

Neste documento, são apresentadas as instruções básicas para instalação e operação de uma TDR 100, bem como as informações sobre os acessórios necessários para o uso desse equipamento, como as sondas ou hastes para TDR, multiplexadores, *datalogger* e o programa PCTDR, o qual permite a visualização das leituras do conteúdo de água no solo.

Espera-se que este documento possa contribuir para elucidar algumas dúvidas em relação à instalação e uso de TDR, de modo a propiciar uma melhor e adequada utilização do equipamento, notadamente, em estudos envolvendo manejo de irrigação e fertirrigação.

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Instruções Básicas para Instalação e Operação de TDR 100	9
Introdução	9
TDR 100	12
Multiplexadores	15
Sondas para TDR 100	18
Referências Bibliográficas	20
Anexo	21

Instruções Básicas para Instalação e Operação de TDR 100

Eugênio Ferreira Coelho

Maurício Antonio Coelho Filho

Edson Alves Bastos

Aderson Soares de Andrade Junior

Introdução

O conhecimento da umidade do solo é fundamental para o manejo racional da irrigação. Por isso existem muitas técnicas para determinação direta e indireta da umidade do solo, cada uma com suas vantagens e limitações. Dentre elas, a reflectometria no domínio do tempo (TDR) é muito difundida, principalmente no meio científico, pois permite a determinação não destrutiva e instantânea da umidade do solo e da condutividade elétrica do solo com possibilidade de automação, nesse caso com vantagens de permitir a determinação simultânea em vários pontos, sendo muito oportuno em estudos de distribuição de umidade em perfis irrigados e fertirrigados e da extração da água pelas culturas.

O uso da TDR tem como base a medida do tempo de propagação de um sinal eletromagnético em um sensor instalado no solo. O sinal é emitido de um testador de cabos e percorre um cabo co-axial de impedância constante até chegar a uma sonda no final do cabo, onde, pelas alterações no início da mesma, sofre uma reflexão, continuando o percurso nas hastes da sonda até o final da mesma, onde é definitivamente refletido de volta ao testador de cabos. O tempo medido pelo testador de cabos para o sinal eletromagnético percorrer ida e volta do início ao final da sonda vai depender da impedância do meio. O tempo de percurso do sinal eletromagnético ao longo das hastes da sonda de comprimento permite obter a constante dielétrica do solo (ϵ_b) pela equação:

$$\epsilon_b = \left(\frac{c \Delta t}{2L} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

em que Dt é o tempo de deslocamento (ns); c é a velocidade da luz (0,30m/ns) e L é o comprimento da haste (m).

A constante dielétrica aparente do solo é uma resultante das constantes dielétricas dos meios presentes no solo, isto é, do meio poroso (ar) da matriz do solo, do meio líquido (água) e meio sólido (partículas do solo). A constante dielétrica ϵ_b tem diferentes valores, conforme o meio, ficando em torno de 1 no ar, variando de 3 a 5 em solo e ao redor de 80 na água. Portanto, pequenas variações de umidade no solo afetam significativamente as suas propriedades eletromagnéticas, o que consiste numa vantagem da TDR em relação a outros processos de determinação de umidade, principalmente em termos de calibração.

Uma vez conhecida a constante dielétrica do solo, a umidade volumétrica (θ) poderá ser determinada por meio de modelos matemáticos, dos quais o mais comum é o modelo cúbico da forma apresentada por Topp; DAVIS; ANNAN (1980):

$$\dots\dots\dots (2)$$

O modelo cúbico é o que mais se ajusta aos dados de umidade como função da constante dielétrica, mesmo que os coeficientes não sejam os mesmos obtidos por TOPP; DAVIS; ANNAN (1980). Outros modelos podem ser também usados, tais como o modelo de LEDIEU et al. (1986):

$$\theta = 0,1138 \cdot \sqrt{\epsilon_b - 1} + 0,1758 \dots\dots\dots (3)$$

Outro modelo de natureza física de ROTH et al. (1990) considera a constante dielétrica aparente como uma resultante de componentes da matriz do solo (ϵ_s), do ar (ϵ_a) e da água (ϵ_w):

$$\epsilon_a^\alpha = \theta \epsilon_w^\alpha + (1 - \phi) \epsilon_s^\alpha + (\phi - \theta) \epsilon_a^\alpha \quad (4)$$

em que: θ corresponde à porosidade total e ϕ à umidade do solo. O parâmetro α leva em conta os efeitos do arranjo geométrico dos componentes do meio na constante dielétrica aparente.

A TDR pode ser também usada para estimar a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a). A determinação é feita com base no sinal emitido pelo testador de cabos, onde a voltagem inicial (V_0) tomada na saída do testador de cabos e a voltagem final (V_{inf}) tomada a uma distância elevada do testador de cabos,

quando a reflexão torna-se constante. A determinação da CE_a usa também a impedância característica do cabo coaxial (Z_u), normalmente de 50Ω e a impedância característica da sonda de TDR determinada imergindo a sonda de TDR em água deionizada, obtendo-se V_0 e V_1 (Fig. 1) pela equação (ZEGELIN; WHITE; JENKINS, 1989):

$$Z_0 = Z_u * K^{0,5} * \frac{(1 + \rho)}{(1 - \rho)} \dots\dots\dots 5$$

sendo $\rho = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^{-1}$ o coeficiente de reflexão e K a Constante dielétrica.

Geralmente, o material dielétrico usado é água deionizada a $20^\circ C$ ($K=81$).

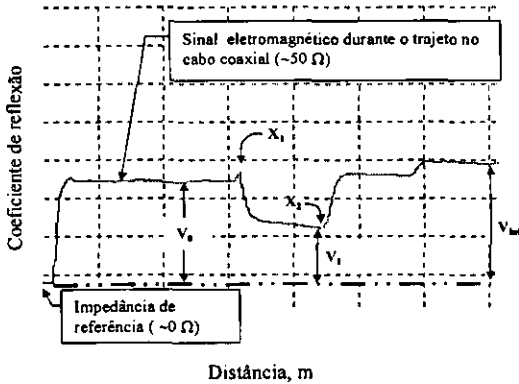


Fig. 1. Esquema de interpretação da onda eletromagnética X_1 é a distância no início da sonda (logo após o final do cabo coaxial) e X_2 é a distância no final da sonda. Sendo V_0 a amplitude do sinal eletromagnético gerado pelo TDR, V_1 a amplitude do sinal depois da reflexão do início da sonda, e V_{int} a amplitude do sinal de retorno depois de reflexões múltiplas.

Uma vez obtida a impedância da sonda, a CE_a pode ser determinada pelo modelo de GIESE; TIEMANN (1975):

$$CE_a = \frac{Z_0}{120\pi LZ_u} \left(\frac{2V_0}{V_{int}} - 1 \right) \text{ (dS m}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (6)$$

em que: L é o comprimento da sonda (m); Z_0 a impedância característica da sonda (obtido em água destilada); Z_u a impedância no cabo $\approx 50 \Omega$; V_0 a amplitude do sinal eletromagnético gerado pelo TDR; e V_{int} a amplitude do sinal eletromagnético depois da reflexão do início da sonda.

Outra forma de expressar a equação de GIESE; TIEMANN (1975), usada pela TDR 100 (Campbell Scientific), é a seguinte:

$$CE_s = \frac{K_p}{Z_v} \cdot \frac{1 - \rho_{inf}}{1 + \rho_{inf}} \text{ (dS.m}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots 7$$

onde: K é uma constante geométrica da sonda. A constante K é determinada fazendo-se a leitura de CE_s em soluções de CE conhecidas, para $K = 1$, o que leva a obter valores de $1/Z_v(1 + p) / (1 - p)$. Ajustando-se um modelo linear aos dados, obtém-se uma função linear, cujo coeficiente angular será a constante geométrica K (SILVA et al., 2005a).

Em termos práticos, o que se faz é o monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) via extratores de solução, seja como indicativo da necessidade de fertirrigação, para o monitoramento de algum íon ou monitoramento da salinidade do solo. O mesmo pode ser realizado com a TDR, porém a condutividade elétrica será estimada, pois a CE_s determinada é resultante da fase líquida do solo (CE_w) e da condutividade elétrica referente aos cátions trocáveis situados na interface líquido sólido (CE_s), conforme Rhoades; Raats; Prather (1976):

$$CE_s = CE_w + CE_s \dots\dots\dots (8)$$

Muitos modelos matemáticos que relacionam a CE_w , q e a CE_s foram desenvolvidos e devem ser testados para cada tipo de solo, fertilizante utilizado na fertirrigação, sistema de irrigação e frequência de fertirrigação (SILVA; COELHO; SANTOS, 2005b), para o uso adequado da técnica com essa finalidade. Há possibilidade, também, de se estimar a concentração de dado nutriente no solo a partir de relações empíricas entre CE_w estimada e o nutriente avaliado (COELHO et al., 2005).

TDR 100

A TDR 100 (Campbell Scientific, inc.) é um equipamento que pode ser utilizado de duas maneiras: a) quando as leituras de umidade e CE_s são realizadas em computador via aplicativo "PCTDR" que permite a leitura direta na TDR100 ou de sondas localizadas em multiplexadores; b) acionamento e armazenamento de dados via datalogger.

Ao acionar o aplicativo, obtém-se uma janela de trabalho, em que há locais para inserção dos parâmetros necessários a estimativa da condutividade elétrica e da umidade do solo. Em outra janela, é necessário o preenchimento de informações básicas para a leitura da da umidade, que estão relacionadas ao cabo, ao sinal resultante e à sonda utilizada: velocidade de propagação do pulso eletromagnético (V_p), média de leituras em cada ponto do sinal gerado (average), número de pontos para o gráfico (points), início do gráfico (start), comprimento utilizado na leitura (length), comprimento da sonda e "offset" da sonda. Esse preenchimento é fundamental para a determinação adequada da umidade do solo e os valores inseridos nesse campo deverão constar, como será visto posteriormente, na programação do "datalogger".

No que se refere ao cabo, a V_p varia de 0,67 a 0,9, dependendo das propriedades de transmissão do condutor como as características do material isolante do cabo coaxial. O valor de V_p em si não afeta as leituras da TDR, pois o mesmo é cancelado nos cálculos, mas afeta o comprimento aparente do cabo ao se realizar a leitura. Por isso, geralmente assume-se V_p igual a 1. Nesse caso, o comprimento aparente do cabo será igual ao comprimento real multiplicado por V_p selecionado/ V_p real. Por isso, o início da leitura do sinal não coincide com a distância real entre a TDR e a sonda.

O número de leituras necessárias para média de cada ponto no sinal é quatro, podendo-se usar valores maiores quando houver muita instabilidade no sinal. O número de pontos informados serão utilizados ao se salvar o gráfico do sinal gerado em arquivo ASCII, uma boa resolução é obtida ao se utilizar 251 pontos. O início do gráfico, que representa a distância aparente entre a TDR e a sonda deverá ser selecionado visualmente com base no sinal obtido no PCTDR. O correto é deixar um espaço entre a reflexão referente ao cabo e o início da sonda, que em termos práticos poderá ser a distância aparente entre a TDR e o início da sonda menos 0,5 m. O comprimento dependerá do sinal, devendo ser suficiente para representar todo o comprimento da guia de onda e parte da reflexão no final da mesma. O manual da TDR 100 recomenda valores da distância de 3 m para guias de onda entre 0,10 e 0,20 m, e de 4 m para guias de comprimento entre 0,21 e 0,30 m.

Com relação à sonda, é necessário informar o comprimento da mesma, fora da resina, em metros. O "offset" da sonda de TDR é usado para compensar o percurso do sinal dentro da resina de forma a se computar o percurso do mesmo apenas na haste dentro do solo sem considerar a parte da resina. O manual da

TDR 100 fornece os offsets das sondas de TDR produzidas pela Campbell Scientific. É importante, ao se confeccionar sondas, realizar a calibração com um offset único. Esse valor pré-estabelecido, por exemplo, 0, deverá ser adotado para realização da leitura via aplicativo e na programação do “datalogger”. Para as sondas adquiridas comercialmente, é importante verificar no manual os offsets indicados. Nesse caso, as calibrações deverão ser realizadas com os valores tabelados para cada tipo de sonda.

Com o programa PCTDR podem ser acionados os multiplexadores, nas opções de avanço de próxima sonda e volta a sonda anterior, considerando o fato de que já tenha sido feita a seleção dos número de multiplexadores e de sondas utilizadas. A opção de apenas ver o sinal eletromagnético na tela é dada pela “get waveform” e a opção de gravar na tela um sinal eletromagnético é dada pela “capture waveform”. Abaixo (Fig. 2), pode-se observar uma leitura de umidade do solo na tela do PCTDR.

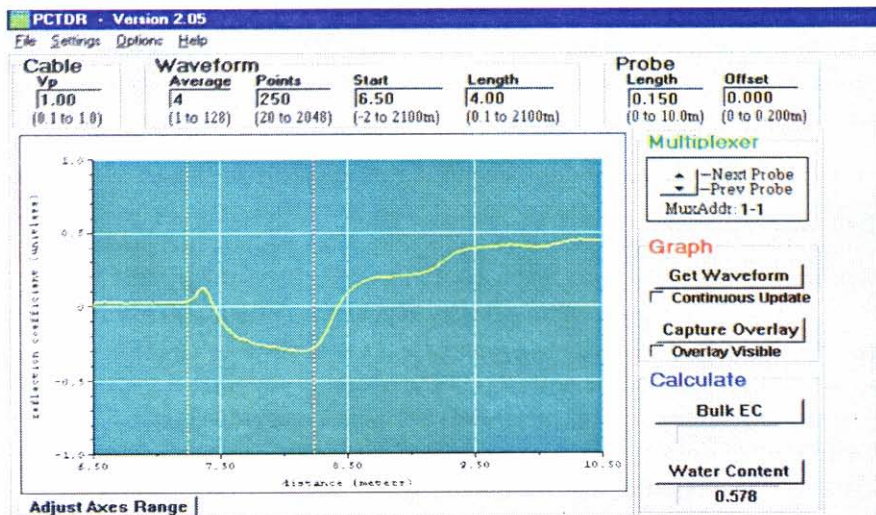


Fig. 2. Visualização da tela do programa PCTDR após uma leitura de umidade, com os campos preenchidos segundo tamanho da guia e distância TDR-guia.

Multiplexadores

Os multiplexadores são usados quando se deseja conectar mais de uma sonda em um único reflectômetro, ampliando assim a capacidade de leituras do equipamento. Nesse caso, o equipamento realiza a leitura seqüencial de várias sondas de uma só vez. Os multiplexadores, usados no caso dos reflectômetros, podem ser de acionamento eletrônico, como o usado na Trase System, ou eletromecânico, usados na TDR 100, MP-917 ou Tektronix.

A comunicação da TDR100 com os multiplexadores (SDMX50, Campbell Scientific, inc.) faz-se através de um sinal digital que comuta os relés dos multiplexadores. Durante a instalação de um sistema de medição com uso da TDR100 e multiplexadores, o maior cuidado para que o sistema funcione corretamente é o endereçamento dos multiplexadores por meio dos "jumpers" realizado manualmente e da TDR com a chave comutadora localizada na parte frontal do equipamento. Neste, geralmente utiliza-se o 0 como endereço da TDR 100 como será visto no exemplo de programação. Uma forma de selecionar diversos canais analógicos com multiplexadores é através da ligação dos mesmos em níveis, conforme o exemplo ilustrado na Fig. 3, Pela Fig. 3b, o endereçamento será dado em função do nível de localização dos multiplexadores (nível 1: MSD = 0 e LSD = 1; nível 2: MSD = 0 e LSD = 2). O exemplo da Fig.3 pode ser utilizado para o melhor entendimento da necessidade de se endereçar corretamente os multiplexadores. Nesta, a TDR está lendo a guia de onda instalada no canal 3 do multiplexador 1 situada no nível 2. Nesse caso, a TDR irá comutar o relé 1 do multiplexador 0 (nível 1) e todos os relés do canal 3 no segundo nível. Seguindo os fios de ligação, veremos que apenas a guia de onda selecionada será lida.

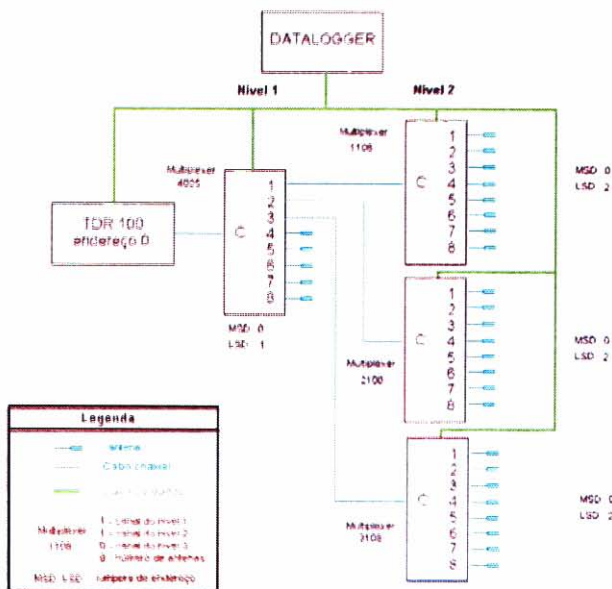
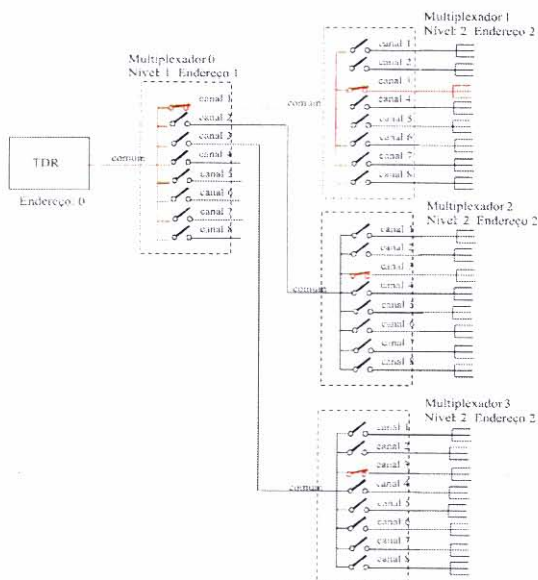


Fig.3. Ligação de quatro multiplexadores em dois níveis de leitura. Um multiplexador (0) no nível 1 e três multiplexadores (1, 2, 3) no nível 2.

Ligação da TDR100 ao CR10X

Na Fig. 3, foi esquematizada a ligação da TDR100 a um conjunto de multiplexadores em dois níveis, e estão sendo mostrados, também, a indicação dos "jumpers" de endereços (MSD e LSD) e a identificação dos multiplexadores para programação com o CR10X. O cabo de terra de 12V e de dados (C1, C2 e C3) devem ser ligados de forma paralela (CR10 – Multiplexador - Multiplexador). A instrução que promove a leitura da TDR é a instrução P119 constituída por 13 passos:

Medida da TDR 100 (P119)

- 1: 00 endereço da TDR.
- 2: 0 tipo de medida (0 para umidade La/L, 1 para gráfico, 2 para gráfico mais derivada e 3 para condutividade elétrica).
- 3: 0000 multiplexador e seleção das guias de onda (identificação por quatro números conforme legenda da Fig. 2b).
- 4: 4 número de leituras para média (em geral 4).
- 5: 1 velocidade de propagação da onda no cabo (não interfere nas leituras de umidade, apenas serve para que o comprimento que aparece no gráfico corresponda ao real).
- 6: 250 número de pontos do gráfico.
- 7: 6 comprimento do cabo (a leitura iniciará a partir desse comprimento)
- 8: 5 comprimento de leitura (a leitura será do ponto definido na instrução anterior mais o comprimento definido neste parâmetro).
- 9: .1 comprimento da guia de onda (m).
- 10: 0.085 offset da guia de onda.
- 11: 3 local de gravação da primeira leitura.
- 12: 0,1138 multiplica a leitura por esse parâmetro (ver eq. 3 de LEDIEU et al., 1986).
- 13: - 0.1758 soma a leitura por esse parâmetro (ver eq. 3 de LEDIEU et al., 1986).

A comutação dos relês será definida mediante o terceiro passo da programação, os três primeiros números se referem, respectivamente, a comutação do canal (1 ao 8) indicado, dos multiplexadores no nível 1, 2 e 3; e o quarto número se refere ao número de leituras sequenciais que serão realizadas ao ser comutados os relês. Exemplo, se o endereço colocado no passo três da programação fosse 1108 indicaria que a leitura seria realizada a partir da comutação do relê 1 do multiplexador 0 no nível 1 e dos oito relês do multiplexador 1 do nível 2, ou seja, seriam realizadas leituras de todas as oito sondas do multiplexador 2. Nesse caso, como observado na Fig. 3, mesmo com a comutação dos relês de outros

multiplexadores no nível 2 não implicará em leituras de umidade ou CE nesses multiplexadores, pois os mesmos estão ligados a outros canais, não comutados, do multiplexador 0 do nível 1.

Como se pode observar, a instrução P119 deve ser inserida para cada multiplexador usado e para cada tipo de leitura (umidade e condutividade elétrica). É importante salientar que o uso de duas sondas diferentes também implica em programação separada. Assim, caso fosse necessário fazer leituras de condutividade elétrica e umidade no exemplo da Fig. 3, seriam necessárias oito instruções P119, considerando que o comprimento do cabo e tamanho das sondas seriam os mesmos em cada multiplexador utilizado. Exemplo de programação completa para leitura de umidade do solo, CEa, e temperatura do solo encontram-se em anexo.

Sondas para TDR 100

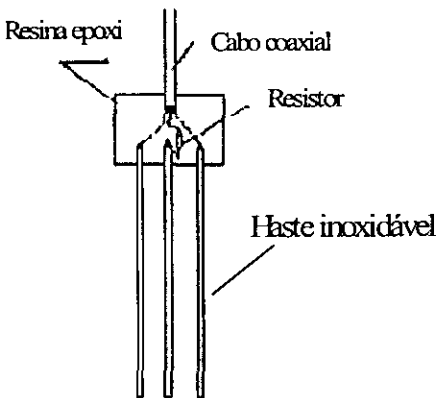
As guias de onda ou sondas de TDR são elementos essenciais nas leituras de umidade ou condutividade elétrica aparente do solo e se constituem basicamente no prolongamento de um cabo coaxial de 50 ohms, que se conecta em uma ou mais hastes, onde se pode determinar o tempo de propagação do sinal para cálculo da constante dielétrica aparente. Um pulso eletromagnético é emitido pelo testador de cabos e percorre o cabo coaxial até se transferir para as hastes, que se constituem num circuito aberto. Assim, é necessário saber a posição de início da haste, uma vez que haverá uma reflexão no final da mesma. Para promover uma reflexão no início da haste, são utilizados diferentes meios, sendo o mais utilizado a resina epoxi.

O comprimento mínimo das guias recomendado para sonda da TDR 100 é de 0,10 m. Comprimentos menores acarretam reduções na precisão das leituras, principalmente para cabos mais longos. Geralmente é utilizado para construção das mesmas o aço inoxidável como hastes podendo ser utilizado, também, o latão. O diâmetro das hastes pode variar; o importante é manter a relação diâmetro/espacamento entre hastes superior a 0,1. O diâmetro próximo de 3 mm tem sido muito comum. No caso de sondas de três hastes, o espaçamento de 1,7 cm entre hastes de 3,0 mm de diâmetro pode ser adotado para obtenção de bom desempenho da TDR. A estrutura da resina no início das sondas pode ter dimensões de 3,5 x 5,0 cm.

No caso de uso da TDR 100, se a mesma estiver acoplada a multiplexadores, torna-se necessário elevar a impedância de entrada na sondas para evitar o risco de o programa considerar pequenas reflexões no cabo como início da sonda.

Isso pode ser feito com aumento da resina no cabeçote da sonda ou com a inclusão de um resistor de 15 W em série com o terminal interno (positivo).

A construção de uma sonda de três hastes de 10 cm para uso com reflectômetros requer os seguintes materiais: cabo coaxial RG58 (50 ohms), conector BNC de clipagem, três hastes de aço inoxidável de 3 mm de diâmetro e de 12 cm de comprimento, resina de poliéster ou araudite, catalisador de resina, solda elétrica e liga de estanho Sn 63/37, ácido fosfórico a 1%, alicate decapador e alicate de clipagem. Para uso da TDR 100 com multiplexadores, é necessário um resistor de 15 W (COELHO et al., 2005) (Fig. 4) ou que a resina possua comprimento mínimo de 0,05m (SILVA; COELHO; SANTOS, 2005b). Utilizando essa última configuração, foi possível detectar o início do pico característico e a faixa máxima de leitura de CE_u aumentou de 1,2 dS/m, obtida com o uso do resistor, para 5,12 dS/m.



$$10^{-6} \varepsilon_b^3$$

Fig. 4. Guia de onda apresentando o resistor de 15 W usada na leitura direta da TDR ou por meio de multiplexadores. Cabo coaxial 50W, haste inoxidável $f = 3$ mm, $L^3 0,10$ m.

Inicialmente, deve-se desencapar aproximadamente 2 cm de cabo coaxial, dividir igualmente a malha externa do cabo de modo a se ter duas extensões de 1,7 cm a partir do cabo. Deve-se expor 0,5 cm do fio central do cabo. Em seguida, deve-se molhar a extremidade da haste no ácido fosfórico e soldá-la a um dos prolongamentos da malha externa do cabo; repetir essa ação para a outra haste e outra extensão do cabo. A terceira haste deve ser soldada ao fio central do cabo. Quando for usado o resistor de 15 W, o mesmo deverá ser soldado em série com a haste central. Na outra extremidade do cabo, desencapar a malha externa e expor 0,5 cm do fio interno. Usar o conector BNC e fazer a clipagem do mesmo ao cabo. Em seguida, fazer a montagem do cabo e hastes numa calha de forma a se obter o espaçamento desejado, entre 1,7 e 2,2 cm; preparar a resina

na quantidade necessária e preencher a calha deixando em repouso para secagem da resina, retirando depois a sonda construída.

Referências Bibliográficas

- COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M.A. Sondas de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo com uso de multiplexadores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 475-480, 2005.
- GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from thin-sample time domain reflectometry, Improved analysis of the step response waveform. *Adv. Molec. Relax. Processes*, v. 7, p. 45-49, 1975.
- LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S., A method measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 88, p. 319-328, 1986.
- RHOADES, J. D.; RAATS, P. A. C.; PRATHER, R. J. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity, *Soil Science Society America Journal*, v. 4, p. 651-655, 1976.
- ROTH, K.; SCHULIN, R.; FRULER, H.; ATTINGER, W. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using composite dielectric approach. *Water Resources Research*, v. 26, n. 10, p. 2267-2273, 1990.
- SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. dos. Avaliação de sondas de TDR para medida da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. *Anais...* Jaboticabal: SBEA, 2005b. 1 CD-ROM.
- SILVA, T. S. M. da; PAZ, V. P. da S.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SANTANA, G. da S. Condutividade elétrica da solução do solo em função da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo sob aplicação de cloreto de potássio com uso da reflectometria no domínio do tempo. *Irriga*, v. 10, n. 2, p. 174-183, 2005a.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A P. Eletromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, v. 16, p. 574-582, 1980.
- ZEGELIN, S. J.; WHITE, J.; JENKINS, D. R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry. *Water Resources Research*, v. 25, n. 11, p. 2367-2376, 1989.

A N E X O

Anexo

:{CR10X}

;programa para determinação da umidade do solo em 24 pontos; da condutividade elétrica aparente do solo CEa em 24 pontos ; e da temperatura do solo usando com termopares tipo T em seis profundidades do solo.

Table 1 Program

01: 600 Execution Interval (seconds)

;Medida da tensao de alimentacao do datalogger:

1: Batt Voltage (P10)

1: 1 Loc [bateria]

;Medida da temperatura interna do datalogger:

2: Internal Temperature (P17)

1: 2 Loc [tint_____]

;Medida de WC 8 probes conectadas ao nivel 2 do SDM50

;Multiplexador está conectado ao canal 1 do nível 1:

3: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address

2: 0 La/L for Water Content

3: 1108 MMMP Mux & Probe Selection

4: 4 Waveform Averaging

5: 1 Vp

6: 251 Points

7: 8.5 Cable Length (meters)

8: 3 Window Length (meters)

9: .10 Probe Length (meters)

10: 0 Probe Offset (meters)

11: 4 Loc [WC_M1C1]

12: .1138 Mult

13: -0.1758 Offset



;Medida de CEA 8 probes conectadas ao nível 2 do SDMX50

;Multiplexador está conectado ao canal 1 do nível 1:

4: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address

2: 3 Electrical Conductivity

3: 1108 MMMP Mux & Probe Selection

4: 4 Waveform Averaging

5: 1 Vp

6: 251 Points

7: 8.5 Cable Length (meters)

8: 3 Window Length (meters)

9: 0.1 Probe Length (meters)

10: 0 Probe Offset (meters)

11: 12 Loc [CEA_M1C1]

12: 8.1841 Mult

13: 0 Offset

;Medida de WC 8 probes conectadas ao nível 2 do SDMX50

;Multiplexador está conectado ao canal 2 do nível 1:

5: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address

2: 0 La/L for Water Content

3: 2108 MMMP Mux & Probe Selection

4: 4 Waveform Averaging

5: 1 Vp

6: 251 Points

7: 8.5 Cable Length (meters)

8: 3 Window Length (meters)

9: 0.1 Probe Length (meters)

10: 0 Probe Offset (meters)

11: 20 Loc [WC_M2C1]

12: .1138 Mult

13:-0.1758 Offset

;Medida de CEA 8 probes conectadas ao nível 2 do SDMX50

;Multiplexador está conectado ao canal 2 do nível 1:

6: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address
2: 3 Electrical Conductivity
3: 2108 MMMP Mux & Probe Selection
4: 4 Waveform Averaging
5: 1 Vp
6: 251Points
7: 8.5 Cable Length (meters)
8: 3 Window Length (meters)
9: 0.1 Probe Length (meters)
10: 0 Probe Offset (meters)
11: 28 Loc [CEA_M2C1]
12: 8.1841 Mult
13: 0 Offset

;Medida de WC 3 probes conectadas ao nível 2 do SDMX50

;Multiplexador está conectado ao canal 3 do nível 1:

7: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address
2: 0 La/L for Water Content
3: 3108 MMMP Mux & Probe Selection
4: 4 Waveform Averaging
5: 1 Vp
6: 251 Points
7: 8.5 Cable Length (meters)
8: 3 Window Length (meters)
9: 0.1 Probe Length (meters)
10: 0 Probe Offset (meters)
11: 36 Loc [WC_M3C1]
12: .1138 Mult
13: -0.1758 Offset

;Medida de CEA 3 probes conectadas ao nível 2 do SDMX50

;Multiplexador está conectado ao canal 3 do nível 1:

8: TDR100 Measurement (P119)

1: 00 SDM Address

2: 3 Electrical Conductivity
3: 3108 MMMP Mux & Probe Selection
4: 4 Waveform Averaging
5: 1 Vp
6: 251 Points
7: 8.5 Cable Length (meters)
8: 3 Window Length (meters)
9: 0.1 Probe Length (meters)
10: 0 Probe Offset (meters)
11: 44 Loc [CEA_M3C1]
12: 8.1841 Mult
13: 0 Offset

9: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1: 6 Reps
2: 1 2.5 mV Slow Range
3: 1 DIFF Channel
4: 1 Type T (Copper-Constantan)
5: 2 Ref Temp (Deg. C) Loc [tint_____]
6: 52 Loc [T1]
7: 1.0 Mult
8: 0.0 Offset

10: Do (P86)
1: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

11: Real Time (P77)
1: 1110 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 0000)

12: Sample (P70)
1: 57 Reps
2: 1 Loc [bateria]

***Table 2 Program**

02: 0 Execution Interval (seconds)

***Table 3 Subroutines**

End Program

-Input Locations-

1	bateria	1	1	1
2	tint	1	2	1
3		1	1	0
4	WC_M1C1	1	1	1
5	WC_M1C2	1	1	0
6	WC_M1C3	1	1	0
7	WC_M1C4	1	1	0
8	WC_M1C5	1	1	0
9	WC_M1C6	1	1	0
10	WC_M1C7	1	1	0
11	WC_M1C8	1	1	0
12	CEa_M1C1	1	1	1
13	CEa_M1C2	1	1	0
14	CEa_M1C3	1	1	0
15	CEa_M1C4	1	1	0
16	CEa_M1C5	1	1	0
17	CEa_M1C6	1	1	0
18	CEa_M1C7	1	1	0
19	CEa_M1C8	1	1	0
20	WC_M2C1	1	1	1
21	WC_M2C2	1	1	0
22	WC_M2C3	1	1	0
23	WC_M2C4	1	1	0
24	WC_M2C5	1	1	0
25	WC_M2C6	1	1	0
26	WC_M2C7	1	1	0
27	WC_M2C8	1	1	0
28	CEa_M2C1	1	1	1
29	CEa_M2C2	1	1	0
30	CEa_M2C3	1	1	0
31	CEa_M2C4	1	1	0

32	CEa_M2C5	1	1	0
33	CEa_M2C6	1	1	0
34	CEa_M2C7	1	1	0
35	CEa_M2C8	1	1	0
36	WC_M3C1	1	1	1
37	WC_M3C2	1	1	0
38	WC_M3C3	1	1	0
39	WC_M3C4	1	1	0
40	WC_M3C5	1	1	0
41	WC_M3C6	1	1	0
42	WC_M3C7	1	1	0
43	WC_M3C8	1	1	0
44	CEa_M3C1	1	1	1
45	CEa_M3C2	1	1	0
46	CEa_M3C3	1	1	0
47	CEa_M3C4	1	1	0
48	CEa_M3C5	1	1	0
49	CEa_M3C6	1	1	0
50	CEa_M3C7	1	1	0
51	CEa_M3C8	1	1	0
52	T1	5	1	1
53	T2	9	1	1
54	T3	9	1	1
55	T4	9	1	1
56	T5	9	1	1
57	T6	17	1	1



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

