

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TDR

ANDRÉ MALLER¹, ROBERTO REZENDE², CASSIO CASTRO SERON³, ÁLVARO HENRIQUE CÂNDIDO DE SOUZA, ANTÔNIO CARLOS ANDRADE GONÇALVES²

¹ Mcs., Universidade Estadual de Maringá, (44)99564408, anmaller@hotmail.com

² Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá, (44)30298822, rrezende@uem.br

³ Eng. Agric. Universidade Estadual de Maringá.

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: A técnica de TDR tem por princípio a relação entre a constante dielétrica aparente do solo (K_a) com a umidade deste. Tal relação pode ser feita uma vez que as constantes dielétricas da água e da matriz do solo variam grandemente entre si, apresentando valores de 81 para a primeira e de 3 a 5 para a última. No entanto, a matriz do solo exerce significativa influência nas leituras de K_a , o que torna necessário a utilização de calibrações locais. As sondas utilizadas no equipamento devem ser importadas, o que eleva o custo e pode inviabilizar a utilização do equipamento. Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de construção de sondas de TDR e de calibração com o solo característico da região. O modelo ajustado com as sondas fabricadas pela metodologia proposta segue o preconizado pela literatura, o que valida os métodos propostos.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de irrigação, eletromagnéticas, indireto

CONSTRUCTION AND CALIBRATION OF TDR PROBES

ABSTRACT: TDR technique principle is the correlation between the apparent soil dielectric constant (K_a) with the soil moisture. This relationship can be done since the dielectric constants of water and soil matrix vary widely among themselves, with values of 81 and 3 to 5 respectively. However, the soil matrix exerts significant influence on K_a readings. Thence, its necessary local calibrations. The probes used in the equipment must be imported, which increases the cost and makes the use of the equipment unfeasible. This study aims to propose a methodology for building TDR probes and calibration with the characteristic soil of the region. The adjusted model with probes manufactured by the proposed methodology follows the criteria of the literature, validating the proposed methods.

KEYWORDS: water management, electromagnetic, indirect

INTRODUÇÃO: A irrigação tem por finalidade prover água para as culturas na quantidade e momento ideais para o desenvolvimento. Para aumentar a eficiência da utilização da água aplicada, é necessário dispor de algum método de determinação de umidade do solo. O método gravimétrico é o método mais preciso e, portanto, utilizado como padrão. Como desvantagem, cita-se o tempo necessário para o secamento das amostras.

Os métodos indiretos são mais rápidos e tem por princípio relacionar a umidade do solo com outra propriedade do mesmo. As técnicas eletromagnéticas, por exemplo, tem por princípio o efeito da umidade na velocidade de propagação de pulsos eletromagnéticas. A velocidade do pulso é utilizada para calcular a constante dielétrica aparente do meio (K_a). Como a velocidade do pulso varia grandemente entre a água e os demais componentes do solo, é possível correlacionar a umidade do solo com a K_a medida por meio de um modelo. Os valores de K_a usuais da água e da matriz de solo seca são 81 e de 3 a 5 respectivamente (NOBORIO, 2001). Apesar da K_a da matriz do solo ser bem menor do que da água, sua influência nas leituras é significativa, o que torna necessário a utilização de calibrações locais (TRINTINALHA, 2000).

A utilização do TDR (time domain reflectometry) propicia leituras rápidas e relativamente confiáveis, além de propiciar segurança ao operador durante sua utilização. No entanto, os fabricantes de sondas

não são nacionais, o que torna necessário a importação destas e, muitas vezes, torna inviável a utilização do equipamento.

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de construção de sondas de TDR e calibração com o solo característico da região.

MATERIAL E MÉTODOS: As sondas de TDR foram construídas utilizando-se conectores BNC, dois metros de cabo coaxial e resina para laminação para formar um corpo de 5 x 5 x 2,5 cm no qual estará completamente imerso o capacitor de 4,7 pF e parcialmente imersas duas hastes de aço inoxidável com 2,6 mm de diâmetro e 0,2 m de comprimento exposto, ou seja, que pode ser inserido no solo. Os componentes da sonda foram unidos por meio de solda de estanho 60/40 e fluxo.

O microlisímetro é um recipiente com solo que apresenta massa específica aparente do solo seco (D_s) definida, unidade base volume variável no tempo e que pode ser quantificada a qualquer instante. Foi constituído por um recipiente perfurado cilíndrico de 250 mm de altura com fundo. A massa do recipiente (m_r), das sondas (m_s) e do solo seco (m_{ss}) foram quantificadas previamente. Munido destes dados, é possível quantificar a massa de água (m_a) no interior do instrumento utilizando-se a seguinte equação:

$$m_a = m_t - (m_r + m_s + m_{ss}) \quad (1)$$

em que,

m_t - massa total do microlisímetro

A D_s do solo pode ser calculada por meio da razão entre a m_{ss} e o volume ocupado por este (V_{ss}), sendo que este último pode ser obtido por meio da diferença entre o volume total do microlisímetro e o volume não ocupado por solo devido ao processo de compactação. Após ter adicionado 0,3 L de solo, o mesmo foi compactado por meio de um corpo de prova de massa 2,79 kg. A altura do corpo em relação à superfície do solo foi padronizada em 0,45 m e o número de impactos em queda livre foi suficiente para que o solo apresente reação ao corpo, ou seja, para que parte da energia do impacto seja devolvida ao corpo de prova fazendo com que este quique sobre o solo. Três a quatro impactos foram suficientes em média.

Uma vez com a D_s e a μ_i quantificadas, é possível calcular a unidade base volume instantânea (θ_i) por meio da equação:

$$\theta_i = D_s \mu_i \quad (2)$$

A inserção das sondas foi realizada no solo saturado. A saturação do solo deve ser feita de forma gradual, com a finalidade de que seja garantido o preenchimento dos microporos com água e que o ar não fique retido no interior dos microagregados.

Foi construído um molde de madeira composto por quatro segmentos lixados de madeira com 985 x 52 x 16 mm unidos por peças retangulares. Nos dois segmentos perfurados, foram realizados furos com broca de 3,5 mm de diâmetro, espaçados em 25 mm na direção do comprimento, totalizando 36 perfurações.



FIGURA 1 . Molde para construção de sondas

As sondas de TDR são constituídas de conector BNC, dois metros de cabo coaxial, um corpo de resina no qual estará completamente imerso o capacitor de 4,7 pF e parcialmente imersas duas hastes de aço inoxidável com x diâmetro e 0,2 m de comprimento exposto, ou seja, que pode ser inserido no solo. Os componentes da sonda são unidos por meio de solda de estanho 60/40 e fluxo.

O preparo da ponta do cabo coaxial na qual será soldada o conector BNC (Figura 1A) consiste em remover aproximadamente 10 mm da capa e 7 mm do isolamento. A trança que compõe a blindagem deve ser enovelada para facilitar a solda com a massa do conector, removendo-se os demais componentes da blindagem. O preparo da ponta do cabo coaxial na qual será soldada o capacitor (Figura 1B) consiste em remover aproximadamente 25 mm de capa e 15 mm do isolamento. A trança metálica deve ser enovelada conforme procedimento já descrito. O preparo das hastes (Figura 1C)

consiste em desgastar aproximadamente 50% do diâmetro por um comprimento equivalente ao comprimento do conector múltiplo. Esse procedimento tem por finalidade garantir que haverá espaço no interior do conector múltiplo para inserir simultaneamente a haste e uma extremidade do cabo coaxial pelo parafuso superior.

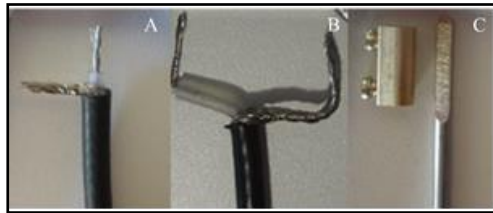


FIGURA 2 . Ponta preparada para ser soldada no cabo coaxial (A), no capacitor (B) e hastes preparadas com o conector múltiplo (C)

O modelo de conector macho BNC utilizado influencia na metodologia de conexão ao cabo. Recomenda-se que a trança enrolada seja soldada no corpo do conector para evitar mal contato devido a oxidação. Assegura-se que a trança não apresentará contato com o condutor central caso seja inserida no orifício do corpo do conector (Figura 2A). A fixação do capacitor no conjunto deve ser realizada visando equalizar as distâncias dos contatos com o condutor central e com a blindagem (Figura 2B). Outro procedimento importante na fixação é a padronização da posição deste em relação aos componentes do cabo coaxial. Recomenda-se utilizar alguma marcação do capacitor como referência e fixar os demais seguindo o mesmo padrão.

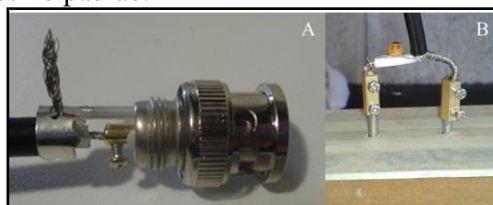


FIGURA 3 . Cabo com o conector BNC (A) e com o capacitor (B)

A equação que relaciona a condutividade elétrica do solo (K_a) e a umidade base volume (θ) foi ajustada por meio de dados obtidos com recipientes cilíndricos de 0,025 m de altura, preenchidos com TFSA com massa específica definida e com duas sondas inseridas. O recipiente foi saturado pela parte inferior por 24 h para assegurar a máxima expulsão de ar do interior dos poros. O K_a e a umidade base massa foram medidos durante o secamento do solo, originando pares de dados para o ajuste da equação. O ajuste e o teste do modelo foram realizados com 1187 e 505 pares de dados respectivamente

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O modelo empírico que relaciona os valores medidos de K_a e de θ está expresso na Figura 4. Modelos empíricos são relações funcionais entre variáveis e que apresentam aplicabilidade limitada, geralmente às condições em que foram gerados (TOMMASELLI e BACCHI, 2001). O modelo polinomial cúbico foi o que apresentou melhor ajuste aos dados (TOPP et al, 1980).

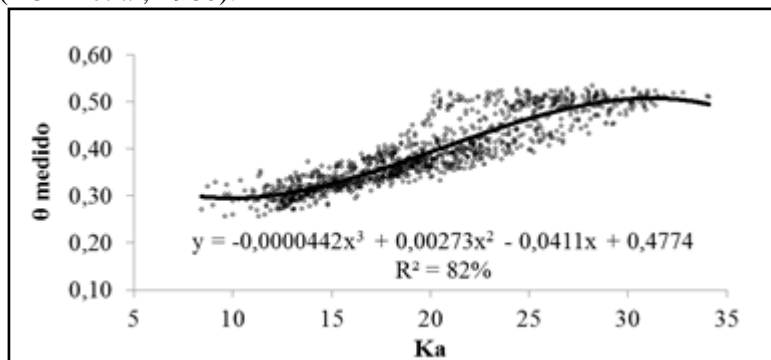


FIGURA 4 . Curva de calibração das sondas de TDR

As estimativas de θ foram mais confiáveis quanto menor for a umidade do solo. Por meio da Figura 4A, observa-se que o modelo apresentou, em média, desvio sistemático de pequena magnitude em relação à reta 1:1. No entanto, observa-se que a aglutinação dos pontos ao redor da reta foi maior em valores de umidade menores que 0,4. A Figura 5B confirma que os resíduos, ou seja, diferenças entre as estimativas e os valores medidos de θ foram menores no mesmo intervalo de umidade. Por estes motivos, era esperado que os contornos dos mapas de distribuição apresentassem contornos mais definidos quanto menor os incrementos de umidade.

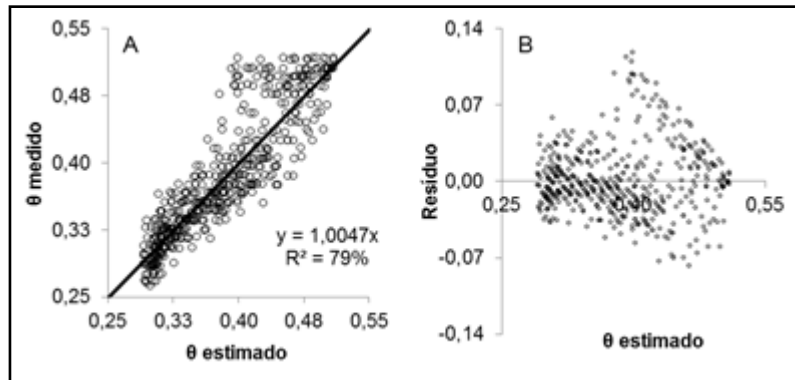


FIGURA 5 . Teste do modelo de estimativa da θ por meio das medições de K_a .

As medidas de K_a realizadas por meio das sondas de TDR representaram a umidade média ao longo da região em que as hastes de 0,2 m estão inseridas. A variabilidade do contato entre a haste e a matriz do solo ao longo desta região resulte em medidas de K_a menos precisas (SERRARENS et al., 2000). É provável que a mineralogia do Nitossolo esteja relacionada com o fenômeno, uma vez que as argilas expansíveis tendem a contrair-se com a redução de umidade. incremento de precisão do equipamento na estimativa de baixos valores de θ (Figura 4). TOMMASELLI (2001) relata que, para altos valores de umidade, a extrema variabilidade nos valores de constante dielétrica (K_a), pode ser explicada pela formação de bolsas de ar ou de água ao redor das guias de onda, e que isso é inerente à metodologia

CONCLUSÕES: A metodologia de construção resulta em sondas que, se calibradas pelo método proposto, fornecem modelos de estimativa consagrados na literatura. Por este motivo, as metodologias de construção e calibração são confiáveis.

REFERÊNCIAS

- TRINTINALHA, M. A. **Avaliação da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) na determinação de umidade em nitossolo vermelho eutroférico**. Maringá, 2000. 67p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá.
- FALLEIROS, M. C. **Medida da umidade do solo com sonda de nêutrons**. São Paulo, 1994. 131 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, USP.
- TOMMASELLI, J. T. G. Critérios para calibração de sondas de TDR. In: Workshop sobre Aplicação da Técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do tempo) na Agricultura, 1., 2001, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: UNICAMP/FEAGRI, 2001. p. 85-114
- SERRARENS, D.; MACINTYRE, J. L.; HOPMANS, J. W.; BASSOI, L. H. Soil moisture calibration os TDR multilevel probes. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 349–354, 2000.
- TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de reflectometria de microondas para dois solos paulistas típicos. In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 25., Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1995. v.1, p.24
- NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domains reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 31, p. 213-237, 2001