

DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UMA GUIA DE ONDA PARA TDR

C. L. T. ANDRADE¹, D. OR², E. L. COSTA³, L. COUTO⁴, P. E. P. ALBUQUERQUE⁵

Escrito para apresentação no

XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001

Mabu Thermas & Resort, Foz do Iguaçu – Paraná, 31 de julho a 03 de agosto de 2001

RESUMO: – A medição da umidade do solo é crucial para pesquisa e manejo de irrigação. Entre os métodos mais recentes de determinação da umidade está o da TDR (“time domain reflectometry”) que se baseia na correlação entre a propriedade dielétrica do solo e a sua umidade. A obtenção do perfil de umidade do solo requer a utilização de um grande número de guias de onda, cujo custo ainda é elevado. Por outro lado, as curvas de calibração relacionando umidade com constante dielétrica do solo foram desenvolvidas para solos de países temperados. Os objetivos desse trabalho foram construir uma guia de onda com materiais facilmente encontrados no mercado nacional e calibrá-la para solos tropicais. As curvas de calibração para areia quartzosa e latossolo vermelho escuro são distintas e diferentes dos modelos apresentados na literatura. A modificação de um modelo matemático fisicamente embasado permitiu a geração de curvas de calibração com bom ajuste, porém independentes para cada tipo de solo.

PALAVRAS-CHAVE: instrumentação, umidade do solo, irrigação.

DEVELOPMENT AND CALIBRATION OF A TDR WAVE GUIDE

SUMMARY: – Soil-water content measurement is critical for irrigation research and management. Time domain reflectometry – TDR is among the newly developed methods for soil-water content determination which relies on the correlation between soil dielectric property and its water content. In order to get a soil water content profile, a large number of wave guides are necessary which makes the costs still high. On the other hand, calibration curves relating dielectric constant to soil-water content have been developed for soils of temperate regions. The objectives of this work were the development of a buriable wave guide using easy-to-find materials and its calibration for tropical soils. Calibration curves developed for sand and dark-red oxisol are distinct and different from those found in the literature. A modified physically-based mathematical model fit well to the data of each soil type independently.

KEYWORDS: instrumentation, water content, irrigation.

INTRODUÇÃO: - A medição do potencial da água e da umidade do solo é essencial para a pesquisa e para o manejo racional da irrigação. Entre os métodos de medição da umidade do solo desenvolvidos mais recentemente está o da TDR (“time domain reflectometry”), cujo princípio de funcionamento baseia-se na correlação existente entre a propriedade dielétrica (permissividade) e a umidade do solo. Uma descrição detalhada do princípio de funcionamento deste tipo de equipamento é apresentada na literatura (OR e WRAITH, 1997; SOILMOISTURE, 1990).

Até a década de 80, a relação entre a umidade e a constante dielétrica de um solo mineral era descrita por uma equação empírica desenvolvida por TOPP et al. (1980):

$$\theta = -5,310^{-2} + 2,9210^{-2} \epsilon_b - 5,510^{-4} \epsilon_b^2 + 4,310^{-6} \epsilon_b^3 \quad (1)$$

em que θ é a umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) e ϵ_b é a “constante” dielétrica (adimensional) do meio poroso que engloba sólidos, água e ar. Os coeficientes da equação 1 são empíricos, ajustados para solos

¹ Engenheiro Agrícola, PhD, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970, Sete Lagoas, MG, Brasil, Tel. 31 3779 1000, Fax 31 3779 1088, camilo@cnpmis.embrapa.br

² Agrônomo, PhD, Prof. Dep. de Planta, Solo e Biometeorologia, Universidade do Estado de Utah, USA

³ Agrônomo, MSc, Pesquisador da Epamig, Janaúba, MG, Brasil

⁴ Agrônomo, PhD, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

⁵ Engenheiro Agrícola, DS, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

3827

CD

minerais de países temperados e para uma faixa de umidade de 0 a $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Nos anos 90, um outro modelo fisicamente embasado foi proposto por ROTH et al. (1990):

$$\theta = \frac{\epsilon_b^\beta - (1-n)\epsilon_s^\beta - n\epsilon_a^\beta}{\epsilon_w^\beta - \epsilon_a^\beta} \quad (2)$$

em que ϵ_s , ϵ_a , ϵ_w são, respectivamente, as constantes dielétricas da fase sólida, gasosa e líquida do solo, n é a porosidade do solo (decimal) e β é um parâmetro adimensional relacionado com a geometria do meio poroso. As constantes dielétricas da fase sólida do solo, da água e do ar são conhecidas e alguns autores têm recomendado um valor de 0,5 para o parâmetro β .

As guias-de-onda utilizadas em pesquisa para obtenção do perfil de umidade do solo são do tipo de três hastes que podem ser enterradas. O custo para a instalação de várias baterias de guias de onda no solo é alto. Há, portanto, a necessidade de se produzir, a custo mais baixo, guias-de-onda para monitoramento no perfil do solo. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e calibrar uma guia-de-onda para a TDR, modelo TRASE.

MATERIAL E MÉTODOS: - As guias-de-onda foram confeccionadas no laboratório de física do solo da Embrapa Milho e Sorgo e a calibração foi feita em campo, em um latossolo vermelho-escuro de Sete Lagoas, MG, e em uma areia quartzosa do Projeto Jaíba, MG. Um equipamento TDR, modelo TRASE, pertencente à Epamig, foi empregado nos estudos.

Guias-de-onda do tipo de três hastes, com 15 cm de comprimento, foram confeccionadas com materiais nacionais. Um cabo coaxial do tipo RG-58, 50 omhs, flexível, foi utilizado para conectar a guia-de-onda à TDR. Em uma de suas extremidades, foi fixado por clipagem um conector tipo BNC. Varetas de solda para aço inoxidável tipo 308L, diâmetro 3,25 mm, foram empregadas como hastes. A parte externa do cabo coaxial foi dividida para conectar-se nas duas hastes externas da guia. A parte interna do cabo foi soldada na haste central. Um capacitor de 4 picroFarad, soldado entre duas das três hastes, foi necessário para marcar eletronicamente o início da guia na TDR-TRASE (Figura 1).

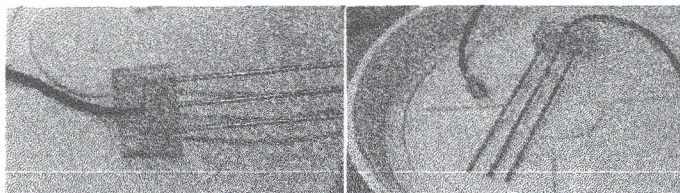


Figura 1 – Detalhe do capacitor soldado entre duas hastes e do conector da guia de onda

Para manter as hastes separadas de uma distância fixa, sobre a conexão hastes-cabo, fundiu-se um bloco de resina de poliéster tipo T-208, com respectivo catalisador.

A calibração das guias foi feita, lendo-se com a TDR a constante dielétrica global de guias de onda enterradas a 20 e a 40 cm e, imediatamente, retirando-se um amostra de solo não deformado para determinação da umidade gravimetricamente. Leituras e amostragens foram realizadas em diversas condições de umidade do solo.

Os modelos de Top et al. (1980) e de ROTH et al. (1990) foram testados para descrever a relação entre umidade e propriedade dielétrica do solo. O modelo de ROTH et al.(1990) foi também modificado, incluindo nele uma constante arbitrária, α , e permitindo o ajuste do parâmetro β .

$$\theta = \alpha + \frac{\epsilon_b^\beta - (1-n)\epsilon_s^\beta - n\epsilon_a^\beta}{\epsilon_w^\beta - \epsilon_a^\beta} \quad (3)$$

Ferramentas de ajuste de modelos não lineares de planilhas eletrônicas foram empregadas para determinar os parâmetros α e β .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: - Dados de umidade versus propriedade dielétrica, para dois tipos de solo, bem como as curvas de calibração para as guias-de-onda confeccionadas na Embrapa Milho e Sorgo são apresentados na Figura 2.

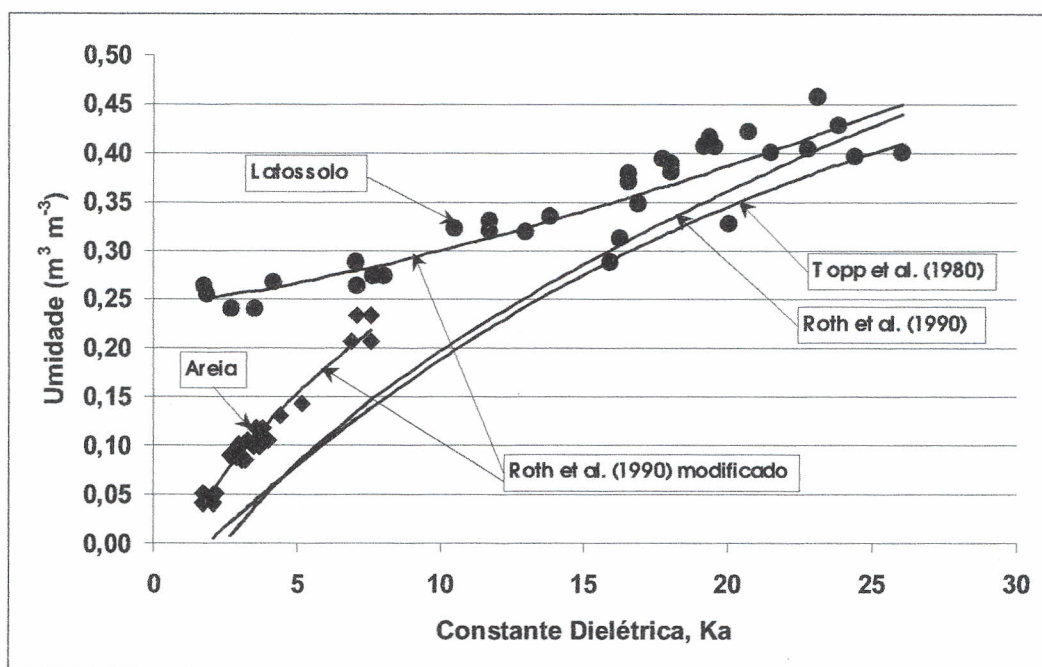


Figura 2 – Umidade do solo em função da propriedade dielétrica para dois tipos de solo e curvas de calibração para guias-de-onda confeccionadas em laboratório

Nota-se que os dados observados de umidade versus propriedade dielétrica são muito distintos para os dois solos, contrariando o conceito de calibração universal preconizada pelo fabricante da TDR (SOILMOISTURE, 1990). Valores de constante dielétrica entre 2,5 e 7,5 correspondem a valores muito menores de umidade na areia quartzosa que no latossolo. O efeito da textura na estimativa da umidade com TDR foi observado também por outros pesquisadores (DAESBERG e HOPMANS, 1992; JACOBSEN e SCHJONNING, 1993; TOMASELLI e BACHI, 1996; PONIZOVSKY et al., 1999).

Os modelos de TOPP et al. (1980) e de ROTH et al. (1990) subestimam a umidade nos dois tipos de solo, sobretudo na faixa de baixa umidade, onde a propriedade dielétrica da fase líquida não é predominante. Pode estar havendo uma interferência dos óxidos de ferro e de alumínio na propriedade dielétrica da fase sólida dos solos tropicais, o que requer estudos mais aprofundados.

O ajuste do modelo de ROTH et al. (1990) modificado (equação 3), foi adequado para ambos os solos (Figura 1 e Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros do modelo de ROTH original e modificado, ajustados para os dados de umidade versus propriedade dielétrica dos dois solos

Parâmetros	ROTH-Modificado		ROTH-Original
	Areia	Latossolo	
β	0,496	1,402	0,500
α	0,0707	0,2533	0,0000
N	0,4190	0,6170	0,4190
Soma dos Quadrados dos Desvios	0,0033	0,0221	
Variância	0,0028	0,0033	
Número de Pontos	29	33	
R^2	0,9590	0,7981	

O valor de β para a areia quartzosa é praticamente igual ao proposto por ROTH et al. (1990) para um meio poroso isotrópico; entretanto, o valor de $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ da constante α ajustada desloca a curva para cima. No caso do latossolo, o valor de β é ainda maior, estando fora dos limites de -1 e 1 definidos por ROTH et al. (1990).

Os valores da constante α para ambos os solos estão próximos de valores médios da umidade no ponto de murcha permanente (-1500 kPa). Esse fato é importante no aprofundamento dos estudos visando uma equação generalizada para solos minerais. A inclusão de outros parâmetros relacionados à textura, porosidade, densidade e matéria orgânica no modelo já foi experimentada em outros trabalhos (JACOBSEN e SCHJONNING, 1993; TOMASELLI e Bachi, 1996; PONIZOVSKY et al., 1999).

Outros estudos nos quais se mede diretamente o tempo de trânsito do pulso eletromagnético e com ele se determina a constante dielétrica global do solo devem ser implementados, bem como a inclusão de outros parâmetros de solo no modelo.

CONCLUSÕES:-

- É possível a confecção de guias-de-onda para TDR-TRASE utilizando materiais nacionais, o que possibilita ampliar a utilização desse equipamento em pesquisa e manejo de irrigação;
- O comportamento da relação entre umidade e propriedade dielétrica do solo é diferente para areia quartzosa e latossolo vermelho-escuro, o que requer curvas de calibração distintas;
- Os modelos existentes na literatura não descrevem corretamente essa relação para os solos estudados;
- A modificação do modelo de ROTH et al. (1990) permite o ajuste de curvas de calibração separadas para cada um dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: -

- DAESBERG, S.; HOPMANS, W. Time domain reflectometry calibration for uniformly and non uniformly wetted sandy and clayey loam soils. **Soil Sci. Soc. Am. Journal**, **56**:1341-1345, 1992.
- JACOBSEN, O.H.; SCHJONNING, P. A. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. **Journal of Hydrology**, **151**:147-157, 1993.
- OR, D.; WRAITH, J.M. **Agricultural and environmental soil physics**. Utah State University, 1997.
- PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S.M.; PACHEPSKY, Y.A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. **Journal of Hydrology**, **218**:35-42, 1999.
- ROTH, K.; SHULIN, R.; FLUHLER, H.; ATTINGER, W. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using composit dielectric approach. **Water Resources Research**, **26**(10):2267-2273, 1990.
- SOILMOISTURE Equipment Corp. **TRASE operating instructions**. 1990.
- TOMASELLI, J.T.G; Bachi, O.O.S. Calibração de um TDR utilizando modelos empíricos para cinco solos paulistas. **Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo**, **13**. 1996.
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, **16**:574-582, 1980.