



Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo



Sérgio R. L. Otto¹ & Miguel Alcaide²

¹ UEPG, Pç. Santos Andrade s/n, CEP 84010-790, Ponta Grossa, PR. Fone: (42) 220-3090. E-mail: srotto@convoy.com.br (Foto)

² Univ. de Córdoba, Apdo de Correos 3048, 14080 Córdoba, España. Fone: (957) 218513. E-mail: ag1algam@uco.es

Protocolo 119 - 19/10/1999

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo testar a utilização conjunta do TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) e do tensiômetro, na determinação da curva de retenção de água no solo. Foram determinadas várias curvas de retenção de água de um solo franco-arenoso, em condições de laboratório e campo, em solo peneirado e em solo com estrutura indeformada, com a utilização dos métodos TDR-tensiômetro e placa de Richards. Os valores de umidade volumétrica do solo determinados com o método TDR-tensiômetro, foram menores que os obtidos com o método placa de Richards. As leituras de umidade volumétrica do solo franco-arenoso realizadas com o TDR, necessitam de correção.

Palavras-chave: placa de Richards, calibração do TDR

Soil water retention curve by TDR-Tensiometer method

Abstract: TDR (Time Domain Reflectometry) and tensiometer methods were used to obtain soil water retention curve. Several soil water retention curves of a sandy loam soil were determined in both laboratory and field conditions from sieved and undisturbed soil using a TDR-tensiometer and Richard's pressure plate apparatus. The values of soil water content determined by TDR-tensiometer were smaller than those achieved by Richard's pressure plate. The TDR's data of the soil water content for this sandy loam soil require specific correction.

Key words: Richard's pressure plate, TDR calibration

INTRODUÇÃO

A determinação da relação entre umidade volumétrica do solo (θ) e potencial matricial da água no solo (ψ_m), mais conhecida como curva de retenção de água no solo, é de grande importância na agricultura irrigada, tanto no que se refere ao dimensionamento de sistemas de irrigação como ao manejo desses sistemas.

O método clássico de determinação desta curva consiste na utilização da placa de Richards para obtenção de vários pontos de equilíbrio entre umidade volumétrica e o potencial matricial da água no solo (Klute, 1986). Este método apresenta algumas desvantagens, como alto custo do equipamento e número reduzido de laboratórios que o possuem, grande tempo necessário para determinação desta curva e problemas de contato hidráulico entre placa porosa e amostra de solo, porém a maior vantagem seja, possivelmente, a de não representar bem as condições de campo (Cassel, 1985; Bruce e Luxmoore, 1986) razão pela qual várias metodologias, nas condições de

laboratório e/ou campo, têm sido propostas (Su & Brooks, 1980; Bruce & Luxmoore, 1986; Vieira & Castro, 1987; Rawls & Brakensieck, 1989; Martínez et al., 1994; Centurion et al., 1997) na tentativa de tornar a obtenção desta curva mais rápida, simples, barata e/ou precisa.

A utilização do TDR e do tensiômetro na determinação desta curva é promissora, porque pode ser realizada com simplicidade, nas condições de laboratório e de campo; além disso, tais equipamentos podem ser utilizados no monitoramento da umidade e tensão da água no solo e na possível automatização do sistema de irrigação.

A medida de umidade volumétrica com o TDR se baseia na determinação da constante dielétrica do solo (ϵ). Os valores da constante dielétrica dos componentes do solo são de 1 para o ar, de 3 a 7 para as partículas minerais e de 80 para a água. Como o componente que possui a maior influência sobre os valores da constante dielétrica do solo é a água, pode-se estimar a umidade volumétrica do solo em função de sua constante dielétrica (Zegelin et al., 1992).

A equação de calibração da umidade volumétrica em função da constante dielétrica, que a princípio seria válida para os diversos tipos de solo, conforme Topp & Davis (1985) é a seguinte:

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5,5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4,3 \times 10^{-6} \varepsilon^3 \quad (1)$$

em que:

- θ - umidade volumétrica do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
- ε - constante dielétrica do solo.

A utilização do TDR na determinação da umidade volumétrica do solo apresenta muitas vantagens, pois é uma técnica não destrutiva, não utiliza radiação ionizante, apresenta alta exatidão nas medições, é portátil e as medições podem ser feitas de forma automática, em condições de laboratório ou de campo, em qualquer direção no perfil do solo e no tempo real (Gomide, 1998); entretanto, é importante considerar-se que a utilização deste equipamento também apresenta algumas desvantagens, como elevado custo atual do equipamento e possível necessidade de calibração específica para cada tipo de solo, apesar da afirmada universalidade da relação entre umidade volumétrica e constante dielétrica proposta por Topp et al. (1980). Por outro lado, o tensiômetro apresenta a desvantagem da limitação de medidas de potencial matricial entre 0 e -100 kPa.

Em função desses comentários, o presente trabalho de pesquisa teve como objetivo testar a utilização conjunta do TDR e tensiômetro na determinação da curva de retenção da água no solo, fazer comparações entre as curvas obtidas com os métodos TDR-tensiômetro e placa de Richards e determinar a necessidade ou não de calibração específica do TDR para o solo franco-arenoso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido no “Centro de Investigación y Desarrollo Agrário de Córdoba”, Espanha, com um solo franco-arenoso de origem aluvial, classificado como “Typic Xerofluvent”. A análise textural indicou que o solo da camada de 0 - 20 cm de profundidade apresenta valores de 16,2, 15,4 e 68,4% de argila, silte e areia, respectivamente.

A avaliação das medidas de umidade do solo realizadas com o TDR (Trime FM da IMKO - Micromodultechnik) com sondas TDR de 2 hastes e 2 comprimentos de haste (10 e 15 cm) foi executada da seguinte maneira: onze vasos de volume conhecido foram encheidos com a mesma quantidade de solo seco em estufa, de forma a proporcionar valor de densidade aparente deste solo, semelhante ao encontrado no campo. Foram adicionadas diferentes quantidades de água em cada vaso, calculadas de forma a proporcionar valores de umidade volumétrica variando entre solo seco e solo saturado. Esses vasos foram cobertos com plástico durante 7 dias, para evitar evaporação e proporcionar a homogeneização da umidade das amostras; posteriormente, realizou-se a medida de umidade do solo, com três repetições, ao se inserir verticalmente a sonda TDR em cada vaso.

O trabalho também consistiu na determinação de várias curvas de retenção de água, em condições de laboratório e

campo, em solo com estrutura indeformada e em solo peneirado com malha de 2 mm de diâmetro, com a utilização dos seguintes procedimentos:

Funil de Haines-placa de Richards

O funil de Haines e a placa de Richards foram utilizados, respectivamente, para obtenção dos pontos da curva de retenção de água no solo entre 0 e -10 kPa e entre -10 e -300 kPa. Utilizaram-se, também, amostras de solo com estrutura indeformada (PR-LI) e amostras de solo peneirado (PR-LP) retiradas na camada de 0 - 20 cm de profundidade e contidas em anéis de 4,9 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura.

As curvas de retenção de água no solo, na fase de secamento, foram determinadas de acordo com o procedimento de equilíbrio sequencial da umidade e tensão, proposto por Klute (1986).

TDR-tensiômetro em laboratório

Foram instaladas 2 sondas TDR de 3 hastes metálicas de 20 cm de comprimento, horizontalmente, na profundidade de 15 cm e 3 tensiômetros com manômetro de mercúrio, verticalmente, entre as profundidades de 12,5 e 17,5 cm, num solo peneirado e seco à estufa, colocado numa caixa de madeira com 26,5; 37,8 e 40,0 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente. Este solo foi saturado no sentido ascendente, mantendo-se o estado de saturação durante 48 h, para ser posteriormente drenado.

Durante o inverno e em condições de laboratório, foram realizadas medidas diárias da umidade volumétrica do solo com o TDR (Trase 6050X1 da Soil Moisture Equipment Corp.) e do potencial matricial da água no solo com os tensiômetros.

O tempo necessário para obtenção das curvas de retenção de água no solo nas fases de secamento (TDR-LP) e de umedecimento foi de, respectivamente, 68 e 45 d.

TDR-tensiômetro em campo (sonda TDR fixa)

Foram instalados uma sonda TDR de 3 hastes metálicas de 20 cm de comprimento, horizontalmente, na profundidade de 7,5 cm, e um tensiômetro, verticalmente, entre as profundidades de 5 e 10 cm, no interior de 6 caixas metálicas com 15, 20 e 37 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente (3 com solo indeformado e 3 com solo peneirado) abertas nas faces inferior e superior.

O solo foi saturado durante 24 h no sentido descendente e as leituras diárias de umidade e potencial matricial foram realizadas durante a primavera, em condições de campo, respectivamente, com o TDR (Trase 6050X1) e tensiômetros. As curvas de secamento para o solo indeformado (TDR-CI) e peneirado (TDR-CP) foram obtidas em 14 d.

TDR-tensiômetro em campo (sonda TDR móvel)

Durante o verão e em condições de campo, foram instalados 48 tensiômetros na profundidade de 10 cm, fundamentalmente para fazer o controle do potencial matricial da água no solo, num experimento de alface com irrigação por gotejamento. A cada vez que se desejava realizar uma leitura conjunta da umidade e do potencial matricial, se inseria uma sonda TDR (Trime FM) com 2 hastes metálicas de 10 cm de comprimento, verticalmente, no solo, com aproximadamente 5 cm de distância de cada tensiômetro.

Os valores de umidade volumétrica medidos com o TDR (Trase 6050X1) foram corrigidos de acordo com Gómez et al. (1996) e os valores medidos com o TDR (Trime FM) foram corrigidos com as equações encontradas neste trabalho.

O modelo de estimação da umidade volumétrica em função do potencial matricial, proposto por van Genuchten (1980) foi utilizado para o ajuste das curvas de retenção de água no solo, obtidas pelas distintas metodologias:

$$\theta = \{(\theta_s - \theta_r) / [1 + (10 \alpha \psi_m)^n]^m\} + \theta_r \quad (2)$$

em que:

θ , θ_s e θ_r - umidades do solo, do solo saturado e residual do solo, respectivamente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

ψ_m - potencial matricial da água no solo, kPa

α , n e m - coeficientes da equação com valores de $0 < \alpha < 1$, $n > 1$ e $0 < m < 1$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados elevados valores de coeficiente de determinação para a relação entre umidade volumétrica medida com o TDR (Trime FM) e a umidade volumétrica real (Figura 1); isto indica a existência de uma boa correlação entre a umidade volumétrica e a constante dielétrica do solo medida com o TDR, e demonstra boas possibilidades de uso deste equipamento nas medições de umidade do solo, porém as sondas com hastes de 10 e 15 cm de comprimento superestimaram os valores de umidade volumétrica do solo, em 10 e 38%, respectivamente (Figura 1), mostrando a necessidade da correção específica das leituras realizadas com o TDR (Trime FM) com as hastes metálicas de diferentes comprimentos para o solo franco-arenoso estudado, pois a afirmada equação universal instalada no software deste equipamento não apresentou bons resultados para este solo.

Gómez et al. (1996) também concluíram que o TDR (Trase 6050X1) necessita de calibração específica para este solo

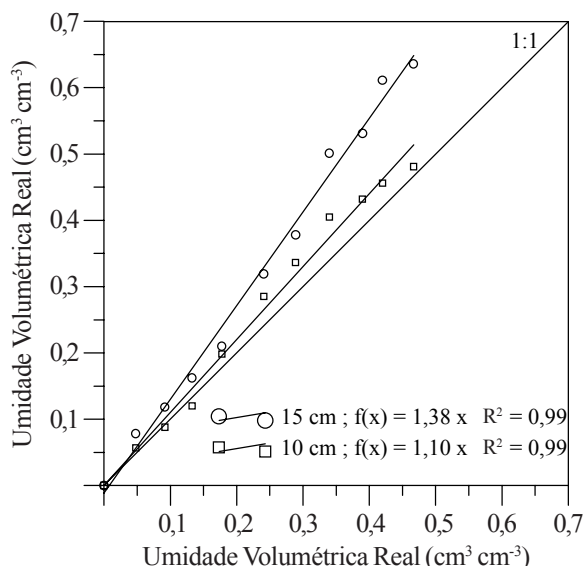


Figura 1. Curvas de calibração do TDR Trime FM para dois comprimentos de haste

franco-arenoso, uma vez que o equipamento subestimou os valores de umidade volumétrica do solo; além disso, os resultados encontrados por Silva (1998) para o solo Latossolo Roxo Distrófico, por Fernandes et al. (1998) para um solo argiloso e por Gomide (1998) para o solo Latossolo Vermelho Amarelado, também indicam a necessidade de calibração específica do TDR.

As curvas de retenção de água no solo obtidas com TDR-tensiômetro no laboratório e determinadas por secamento e umedecimento, são apresentadas na Figura 2, na qual se observa que o solo em processo de secamento reteve maior quantidade de água que em processo de umedecimento, fenômeno este conhecido por histerese. O tempo de 68 e 45 d, respectivamente, para determinação dessas curvas, foi grande, devido à pequena evaporação dentro do laboratório, no inverno.

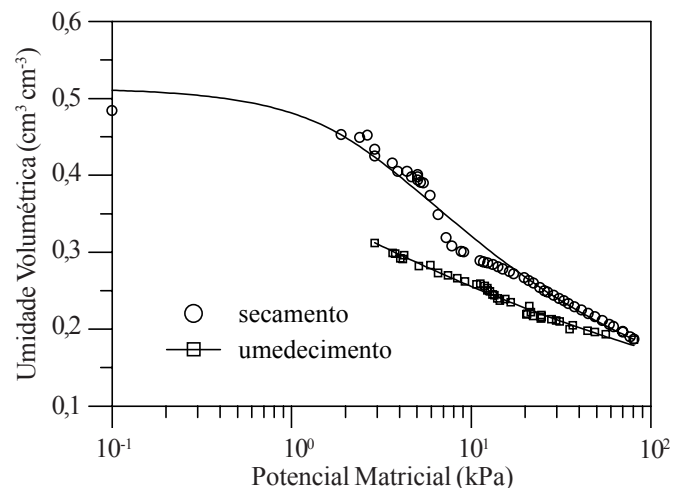


Figura 2. Curvas de retenção de água no solo peneirado, obtidas por secamento e umedecimento, utilizando o método TDR- tensiômetro, em condições de laboratório

A umidade no solo peneirado para um mesmo valor de potencial matricial foi maior nas curvas de secamento obtidas com os métodos placa de Richards, TDR-tensiômetro no laboratório e TDR-tensiômetro no campo (sonda TDR fixa) respectivamente (Figura 3) devido, provavelmente, às diferentes formas de saturação do solo, fazendo com que o solo no campo, que foi saturado no sentido descendente, haja provocado o aprisionamento de ar.

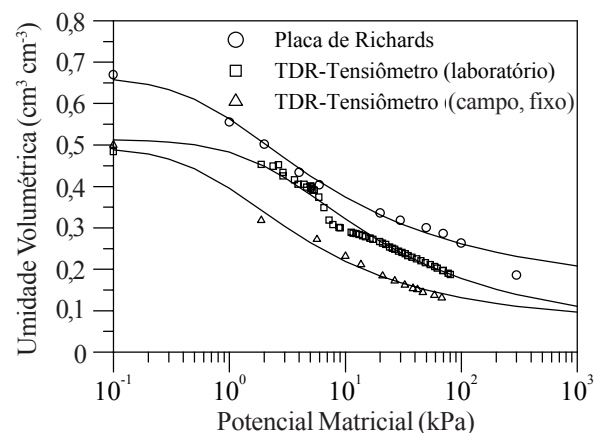


Figura 3. Curvas de retenção de água no solo peneirado, obtidas por secamento, com a utilização de três métodos diferentes

Da mesma forma, a umidade no solo com estrutura indeformada, para um mesmo valor de potencial matricial, foi maior nas curvas de secamento obtidas pelo método placa de Richards comparadas com as obtidas com o método TDR-tensiômetro no campo (sonda TDR móvel e fixa) (Figura 4); provavelmente, a maior quantidade de ar aprisionado no solo em condições de campo tenha provocado esses resultados. A variabilidade dos pontos de umidade e potencial matricial medidos, respectivamente, com a sonda TDR móvel e os tensiômetros, foi grande, principalmente nas baixas tensões, devido ao constante processo de secamento e umedecimento do solo; à variabilidade do solo superficial e da umidade, no espaço e no tempo; e à própria forma de medição de umidade, pois se utilizava uma sonda móvel.

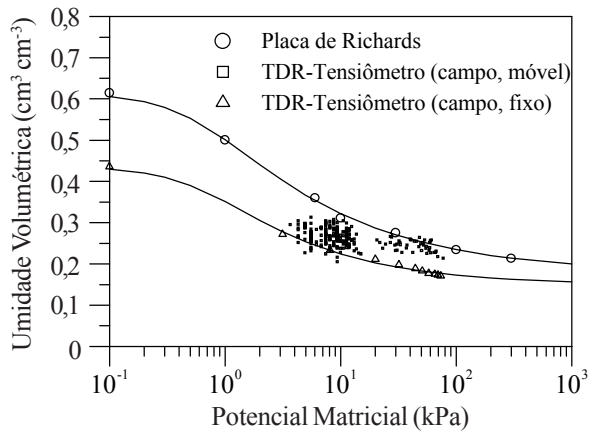


Figura 4. Curvas de retenção de água no solo com estrutura indeformada, obtidas por secamento, com a utilização de três diferentes métodos

Os valores de umidade determinados com a placa de Richards foram maiores que os dados gerais dos solos franco-arenosos e os obtidos com o TDR-tensiômetro (Tabela 1); além disso, os valores dos coeficientes de determinação são altos, indicando a adequação do modelo de van Genuchten no ajuste das curvas de retenção de água no solo.

De forma geral, pode-se constatar que a umidade do solo obtida com a placa de Richards apresenta maiores valores que os obtidos em condições de campo, indicando que, se o controle de irrigação for realizado em função de medidas de umidade do solo e em função dos dados obtidos com o método clássico, poder-se-á cometer o erro de se realizar a irrigação antes do necessário, provocando perdas de água por percolação e encharcamento do solo, razão por que, de acordo com Bruce &

Luxmoore (1986) é necessário ter-se cautela ao se utilizar dados de laboratório para representar as condições de campo.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho indicam que:

1. As leituras de umidade volumétrica, realizadas com as sondas do TDR (Trime FM) com hastes de 10 e 15 cm, necessitam de correção específica para o solo franco arenoso estudado.
2. Os valores de umidade volumétrica do solo a um mesmo potencial matricial de água no solo, determinados com o método TDR-tensiômetro, foram menores que os obtidos com o método placa de Richards.
3. O método TDR-tensiômetro pode ser usado para obtenção da curva de retenção de água no solo, em condições de laboratório e de campo.

LITERATURA CITADA

- Bruce, R.R.; Luxmoore, R.J. Water retention: field methods. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.563-596.
- Cassel, D.K. Physical characteristics of soils of the Southern Region-Summary of in situ unsaturated hydraulic conductivity. North Carolina State University Southern Cooperative Service Bulletin 303, 1985. 143p.
- Centurion, J.F.; Moraes, M.H.; Della Libera, C.L.F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, p.173-179, 1997.
- Fernandes, A.C.; Oliveira Filho, D.; Pereira, S. Determinação da umidade do solo via reflectometria no domínio do tempo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas, MG, Anais ... Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998, v.2, p.326-328.
- Gómez, J.A.; Bernardes, M.; Bonachela, S.; Villalobos, F.J.; Mateos, L. Evaluación de três equipos comerciales de TDR para medición de la humedad del suelo. In: Congreso Nacional de Riegos, 14, 1996, Aguadulce, España. Anais... Madrid: Asociación Española de Riego y Drenaje, 1996. p.585-592.
- Gomide, R.L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas, MG, Anais ... Simpósio. Lavras: UFLA/SBEA, 1998, p.133-238.

Tabela 1. Parâmetros da equação de van Genuchten, coeficiente de determinação e valores ajustados de umidade da curvas de retenção de água no solo, obtidas com a utilização da placa de Richards

Curvas	α	n	M	θ				R^2
				θ_s	θ_{30}	θ_{1500}	θ_r	
PR-LP	0,137	1,327	0,246	0,666	0,310	0,202	0,160	0,988
PR-LI	0,156	1,399	0,285	0,615	0,271	0,196	0,176	0,999
TDR-LP	0,042	1,358	0,264	0,514	0,240	0,103	0,058	0,972
TDR-CP	0,138	1,403	0,287	0,496	0,167	0,093	0,073	0,989
TDR-CN	0,153	1,486	0,327	0,435	0,193	0,155	0,148	0,996
F Aren*	-	-	-	0,453	0,207	0,095	0,041	-

* Rawls & Brakensiek (1989)

- Klute, A. Water retention: laboratory methods. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.563-596.
- Martínez, J.; Sanchez, J.M.; Cammeraat, L.H. La medida de la humedad del suelo mediante el método TDR (Time Domain Reflectometry): estado del arte y ejemplos de aplicación. In: Morell, I.(ed.). *Investigación en zona no saturada*, Publicacions de la Universitat Jaume I, 1994 p.17-27.
- Rawls, W.J.; Brakensiek, D.L. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In: Morel-Seytoux, H.J. (ed.). *Unsaturated flow in hydrologic modeling. Theory and practice*, Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 275-300.
- Silva, E.L. Determinação automática do teor de água em Latossolo Roxo distrófico com uso de reflectometria de onda. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 27, 1998, Poços de Caldas, MG, Anais ... Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998, v.1, p.154-156.
- Su, C.; Brooks, R.H. Water retention measurements for soils. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.106, p.105-112, 1980.
- Topp, G.C.; Davis, J.L. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. In: Hillel, D. (ed.). *Advances in irrigation*. New York: Academic Press, 1985. p.107-127.
- Topp, G.C.; Davis, J.L.; Annan, A.P. Eletromagnetic determination of soil-water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, Washington, v.16, p.574-582, 1980.
- van Genuchten, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science of Society America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.
- Vieira, S.R.; Castro, O.M. de. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, p.87-90, 1987.
- Zegelin, S.L.; White, I.; Russell, G.F. A critique of the Time-Domain Reflectometry technique for determining field soil water content. In: Topp, G.C.; Reynolds, W.O.; Green, R.E. (eds). *Advances in measurements of soil physical properties: Bringing theory into practice*. Madison, 1992, p.187-208.