

**Desempenho de Aparelho  
TDR na Estimativa de  
Teor de Água no Solo em  
Luvissole e Vertissolo da  
Região da Campanha do RS**





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pecuária Sul  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 38***

## **Desempenho de Aparelho TDR na Estimativa de Teor de Água no Solo em Luvissole e Vertissolo da Região da Campanha do RS**

Leandro Bochi da Silva Volk  
Gustavo Trentin  
José Pedro Pereira Trindade  
Jordano Nunes Machado

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Pecuária Sul**

Rodovia BR 153, km 603, Caixa Postal 242

96401-970 - Bagé -RS

Fone: 55 53 3240-4650

Fax: 55 53 3240-4651

<https://www.embrapa.br/pecuaria-sul>

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: Claudia Cristina Gulias Gomes

Secretária-executiva: Graciela Olivella Oliveira

Membros: Claudia Cristina Gulias Gomes, Daniel Portella Montardo, Estefanía Damboriarena, Graciela Olivella Oliveira, Jorge Luiz Sant´anna dos Santos, Naylor Bastiani Perez, Renata Wolf Suñé, Roberto Cimirro Alves, Viviane de Bem e Canto.

Supervisor editorial: Comitê Local de Publicações

Revisor de texto: Comitê Local de Publicações

Normalização bibliográfica: Graciela Olivella Oliveira

Tratamento de ilustrações: GHI Marketing

Editoração eletrônica: GHI Marketing

Foto(s) da capa: Leandro Bochi da Silva Volk

**1ª edição online**

**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 Pecuária Sul

---

Desempenho de aparelho TDR na estimativa de teor de água no solo em Luvissole e Vertissolo da região da Campanha do RS [recurso eletrônico] / Leandro Bochi da Silva Volk ... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Bagé : Embrapa Pecuária Sul, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pecuária Sul, ISSN 1983-0467 ; 38)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.embrapa.br>>

Título da página Web (acesso em 30 dez. 2014)

1. Umidade do solo. 2. Física do solo. 3. Ciência do solo. I. Trentin, Gustavo. II. Trindade, José Pedro Pereira. III. Machado, Jordano Nunes.

---

CDD 631.432

© Embrapa 2014

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Material e Métodos</b> .....	11
<b>Resultados e Discussão</b> .....	12
<b>Conclusões</b> .....	18
<b>Referências</b> .....	19



# **Desempenho de Aparelho TDR na Estimativa de Teor de Água no Solo em Luvisso e Vertisso da Região da Campanha do RS**

---

*Leandro Bochi da Silva Volk*<sup>1</sup>

*Gustavo Trentin*<sup>1</sup>

*José Pedro Pereira Trindade*<sup>1</sup>

*Jordano Nunes Machado*<sup>2</sup>

## **Resumo**

A determinação do teor de água no solo constitui uma medida imprescindível nas atividades agrícolas, envolvendo as relações água-solo-planta-atmosfera. Tal determinação pode ser feita de forma gravimétrica ou volumétrica no laboratório, ou com a utilização de sensores capacitivos, resistivos e outros baseados em propriedades dielétricas, térmicas, ópticas ou radiações ionizantes, como é o caso do TDR. Apesar da praticidade, os valores de umidade volumétrica medidos com TDR têm se mostrado subestimados ou superestimados. Os solos dos gêneros Luvisso e Vertisso ocorrentes na região fisiográfica da Campanha do Rio Grande do Sul apresentam textura e mineralogia diferentes dos solos utilizados em estudos semelhantes a este. O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho do aparelho TDR Trase System I na estimativa da umidade volumétrica de dois solos ocorrentes na região fisiográfica da Campanha do Rio Grande do Sul. Os solos utilizados foram o Luvisso Háplico órtico típico e o Vertisso Ebânico órtico chernossólico. O aparelho TDR utilizado no estudo foi o Traser System I 6050X1 da Soil Moisture com hastes

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., pesquisador da Embrapa Pecuária Sul.

<sup>2</sup> Biólogo especialista, professor. jordanom@hotmail.com

de 15 cm. Testou-se os modelos de Ledieu, de Topp e a equação de regressão. As medições foram feitas em vasos de 3 L, quando eram determinadas a umidade volumétrica e a constante dielétrica do solo. Devido aos altos valores de  $R^2$  e  $d$  encontrados para os modelos de Ledieu e de Topp, bem como para a equação de regressão para o uso do TDR em Luvisolo e Vertissolo para a estimativa de valores de umidade para uso agrônômico, o aparelho cumpre com seu objetivo e pode ser utilizado sem calibração. Contudo, para a determinação de valores absolutos de umidade volumétrica para fins de pesquisa, se faz necessário o uso das equações de regressão, pois a equação embutida no aparelho Trase System superestima os valores de umidade volumétrica para o Luvisolo e subestima para o Vertissolo.

Palavras-chave: Umidade do solo, textura do solo, constante dielétrica do solo.



# **Performance of TDR Device in Estimating Water Content in Lovisol an Alfisol in the RS Region Campanha**

---

## **Abstract**

The determination of water content in the soil is an essential measure in agricultural activities, involving water-soil-plant-atmosphere relationship. Determination may be made by gravimetric or volumetric method in the laboratory, or with using of capacitive and resistive sensors, and dielectric properties based on thermal, optical or ionizing radiation, such as TDR. Despite the convenience, the values of volumetric water content measured with TDR have been shown to be underestimated or overestimated. Vertisol and Alfisol are soils that occurring in Campanha, physiographic region of Rio Grande do Sul state, have different texture and mineralogy of soils used in other similar studies like this. The aim was to evaluate the performance of the TDR device Trase System I for the estimation of soil moisture for Vertisol and Alfisol. The soils used were Alfisol and Vertisol. The TDR apparatus used in the study was Traser System I 6050X1 by

Soil Moisture Company, with 15 cm stems. We tested models of Ledieu, Topp and the regression equation. The measurements were made in a 3 L vessel, where moisture and dielectric constant of the soil were determined. Due to the high values of  $R^2$  and  $d$  found for models of Ledieu and Topp, as well as the regression equation for the use of TDR in Alfisol and Vertisol for estimating moisture values for agronomical use, the device meets its goal and may be used without calibration. However, for the determination of absolute values of soil moisture for research purposes, is necessary the use of the regression equations, because the equation for the embedded device Trase System overestimates the values of soil moisture for the Alfisol and underestimates for the Vertisol.

Index terms: Soil moisture, soil texture, soil dielectric constant.

## Introdução

A falta ou excesso de água afetam fortemente o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é essencial na produção agrícola (REICHARDT; TIMM, 2004). Em função disso, a determinação do teor de água no solo constitui uma medida imprescindível nas atividades agrícolas, envolvendo as relações água-solo-planta-atmosfera.

As medidas do teor de água no solo podem ser feitas de forma gravimétrica (por diferença de massa entre solo úmido e seco) e volumétrica (volume de água contido em um volume de solo) no laboratório, ou com a utilização de sensores capacitivos, resistivos e outros baseados em propriedades dielétricas, térmicas, ópticas ou radiações ionizantes. Dentre eles se destaca a reflectometria de microondas (TDR – *time domain reflectometry*), por ser um método não destrutivo e a estimativa ser feita em tempo real. Contudo, apesar da praticidade e rapidez com que a estimativa do teor de água no solo é feita, seu uso deve ser precedido de calibração, sob risco de elevado erro de estimativa, principalmente em equipamentos que já possuem equações de transformação da leitura da constante dielétrica aparente ( $k_a$ ) em umidade volumétrica ( $\Theta$ ), como apontado por diversos autores (SILVA; GERVÁSIO, 1999; TOMMASELLI; BACCHI, 2001; VILLWOCK et al., 2004; SANTOS et al., 2010).

Especificamente no caso do aparelho Trase System I (Soil Moisture Equipment Corporation), a equação utilizada é a de Topp et al. (1980). Tal equação é de caráter empírico e não leva em consideração os efeitos dos componentes da  $k_a$  e das propriedades físicas do solo, razão pela qual pode não ser a mais adequada. A justificativa de uso de tal equação tem por base que os valores da constante dielétrica relativa do ar (próximo a 1%), do solo (entre 3% e 5%) e da água (próximo a 83%) são muito dispares, sendo a presença da água no solo a única determinadora dos valores de  $k_a$  medida no solo.

Por esse motivo, os valores de umidade volumétrica têm se mostrado subestimados ou superestimados quando medidos com o Trase System I, devido à equação embutida (SILVA; GERVÁSIO, 1999; TOMMASELLI; BACCHI, 2001; VILLWOCK et al., 2004; SANTOS et al., 2010). Para Dirksen e Dasberg (1993), tal variação pode ser explicada pelas características intrínsecas do solo. Segundo Santos et al. (2010), a estrutura do solo não influi nas medições, mas existem evidência de que a textura, os teores de óxido de ferro e matéria orgânica e a área superficial específica das partículas de solo influem na constante dielétrica aparente do mesmo. Isso por que estas características são as que mais influenciam na adsorção de água nas partículas de solo.

Em função dessa limitação do equipamento em questão, os trabalhos disponíveis na literatura científica relatam equações distintas para distintos gêneros de solo, contudo restringidas a solos de elevado grau de intemperismo (Latosolo, Neossolo Quartzarênico, Argissolo e Nitossolo) e, portanto, com pouca presença de argilas 2:1 em sua mineralogia.

Os solos dos gêneros Luvissolo e Vertissolo ocorrentes na região fisiográfica da Campanha do Rio Grande do Sul apresentam constituição de sólidos diferentes dos solos utilizados nos outros estudos. Ambos possuem, em geral, teor de matéria orgânica mais elevado (o Luvissolo possui entre 11 e 30 g kg<sup>-1</sup> e o Vertissolo entre 18 e 56 g kg<sup>-1</sup>) e predominância de argilas expansivas do tipo 2:1 (STRECK et al., 2008). Essas diferenças marcantes influem diretamente na retenção de água nesses solos, o que, em consequência, irá influir nas estimativas feitas pela equação utilizada no aparelho Trase System I.

Com base no exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho do aparelho TDR Trase System I na estimativa da umidade volumétrica de dois solos ocorrentes na região fisiográfica da Campanha do Rio Grande do Sul.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Estudos em Agroecologia e Recursos Naturais da Embrapa Pecuária Sul (Labeco). Os solos utilizados foram o Luvissole Háplico órtico típico (de textura média, com teor de argila de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o Vertissolo Ebânico órtico chernossólico (de textura argilosa, com teor de argila de  $360 \text{ g kg}^{-1}$ ) (STRECK et al., 2008), ambos coletados dentro das áreas experimentais da Embrapa Pecuária Sul, município de Bagé/RS. As unidades experimentais constituíram-se de vasos com capacidade de 3 litros que foram preenchidos com solo coletado da camada de 0 a 20 cm, sendo o excesso de raízes e material vegetal retirado manualmente. Foram utilizados 6 vasos para cada solo, que foram mantidos à sombra, dentro do laboratório. Antes de ser acondicionado nos vasos, o solo foi desagregado e, após o condicionamento, foi levemente pressionado. Após isso, o solo foi saturado com água e ao atingir a capacidade de campo, as hastes do TDR foram instaladas. O aparelho TDR utilizado no estudo foi o Traser System I 6050X1 da Soil Moisture com hastes de 15 cm. Uma vez saturado o solo e as hastes do TDR instaladas, ele foi deixado secar naturalmente e as medições da umidade volumétrica e constante dielétrica aparente do solo foram efetuadas a cada 2 a 3 dias de intervalo, sendo, no mesmo instante, pesado o vaso para posterior determinação do teor volumétrico de água no solo. Ao final do ciclo de secamento (quando não se observou mais variação no peso dos vasos), uma amostra de solo foi retirada e a umidade volumétrica foi determinada e, por diferença de peso, as demais umidades foram calculadas.

A partir dos valores de umidade volumétrica determinada por pesagem e de constante dielétrica aparente medida com o aparelho TDR foram testados para as equações:

a) Topp et al. (1980)

$$\Theta = (-530 + 292 k_a - 5,5 k_a^2 + 0,043 k_a^3)/10^4 \quad (1)$$

onde:  $\Theta$  é o teor de água em base volumétrica ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e  $k_a$  é a constante dielétrica aparente (adimensional).

b) Ledieu et al. (1986)

$$\Theta = 0,1138 \sqrt{k_a} - 0,1756 \quad (2)$$

c) Logaritmo

$$\Theta = -b + a * \ln(k_a) \quad (3)$$

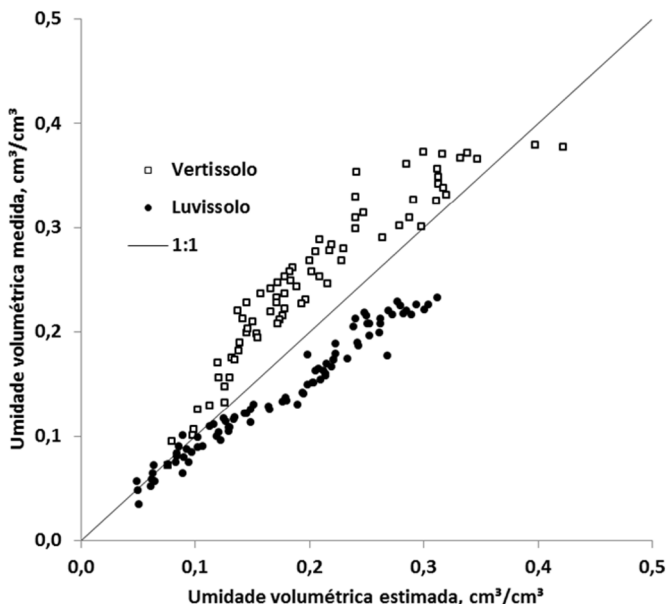
onde:  $a$  e  $b$  são parâmetros do modelo que se referem ao solo.

Os três modelos de calibração foram analisados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), pelo índice de concordância (d) proposto por Willmott (1981) e pela reta 1:1.

## Resultados e Discussão

Na figura 1 são apresentados os resultados obtidos de leitura da umidade volumétrica com o TDR e os valores reais para o Luvissole e o Vertissolo. Observa-se na figura 1 que a umidade volumétrica do solo estimada pelo aparelho TDR no Luvissole variou entre 0,05 e 0,33  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , sendo subestimada acima do valor de 0,13  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . Comportamento similar foi observado por Tomaselli e Bacchi (2001) para Areia Quartzosa (Neossolo Quartzarênico, pela classificação atual), Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro (Latosolo Vermelho, pela classificação atual), todos os solos com textura variando entre arenosa e média, tal qual o Luvissole utilizado nesse estudo. Em relação ao Vertissolo, observa-se que a umidade volumétrica do solo estimada pelo aparelho TDR variou entre 0,09 e 0,43  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , sendo superestimada para valores acima de 0,10  $\text{cm}^3$

$\text{cm}^{-3}$ . Comportamento diferente ao observado por Silva e Gervásio (1999) e Tommaselli e Bacchi (2001) para solos com textura entre média e argilosa, tal qual o Vertissolo utilizado nesse estudo. Contudo, como já comentado, os Vertissolos possuem argilas expansivas, o que os difere dos solos estudados por Silva e Gervásio (1999) e Tommaselli e Bacchi (2001).

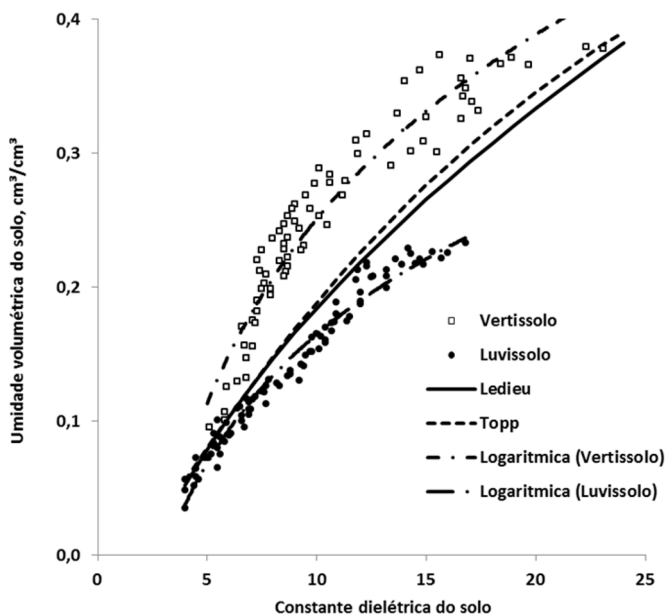


**Figura 1.** Umidade volumétrica estimada com TDR Trase System em relação a umidade volumétrica medida por gravimetria nos solos avaliados.

Na figura 2 são apresentados a relação entre a leitura da constante dielétrica ( $k_a$ ) com o TDR e os valores de umidade volumétrica real, bem como a estimativa de umidade volumétrica por meio do  $k_a$  para os modelos de Ledieu e de Topp para o Luvissole e o Vertissolo. Observa-se na figura 2 que os solos avaliados apresentaram comportamento distinto em relação aos valores de  $k_a$  e de umidade volumétrica real. De maneira geral, para um mesmo valor de  $k_a$ , o Vertissolo apresentou umidade volumétrica real maior do que o Luvissole. Ambas constatações reforçam o afirmado por Villwock et al. (2004) sobre a

necessidade de se fazer a calibração do aparelho TDR para cada solo a ser monitorado. Em relação ao modelo de Ledieu e de Topp, apesar de serem matematicamente distintos, observa-se que apresentaram comportamento muito similar dentro da faixa de valores de  $k_a$  observados nesse estudo. O Vertissolo apresentou valores de umidade volumétrica real acima da estimada pelos modelos de Ledieu e de Topp, indicando que estes subestimam o valor real da umidade do solo. Comportamento inverso foi observado com o Luvissole, onde os valores de umidade real foram menores do que os estimados pelos modelos de Ledieu e de Topp para valores de  $k_a$  maiores que 8, indicando que tais modelos superestimam os valores de umidade real.

Na figura 2 também pode-se observar que a melhor correlação entre os valores de  $k_a$  e a umidade volumétrica real para os dois solos estudados foi dada pela equação logarítmica.



**Figura 2.** Umidade volumétrica estimada com TDR Trase System em relação a constante dielétrica dos solos avaliados.



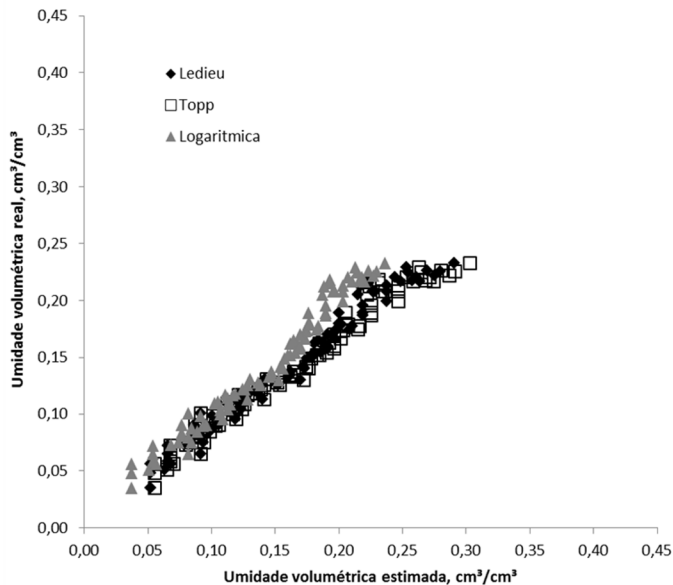
As duas equações de regressão encontradas e os respectivos coeficientes de correlação e índice de concordância são apresentadas na tabela 1. As equações de regressão destoam do que foi proposto por Silva e Gervásio (1999) e Tommaselli e Bacchi (2001), uma vez que ambos encontraram equações polinomiais de terceira ordem.

**Tabela 1.** Equações de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice de concordância ( $d$ ) para estimativa da umidade volumétrica ( $\theta$ ) com o uso do aparelho TDR Trase System para o Luvissole e Vertissolo da região da Campanha do Rio Grande do Sul, por meio da medida da constante dielétrica do solo ( $k_a$ )

Solo	Equação	$R^2$	$d$
Luvissole	$\theta = 0,1387 \ln(k_a) - 0,1548$	0,9676	0,9916
Vertissolo	$\theta = 0,1987 \ln(k_a) - 0,2067$	0,9149	0,9773

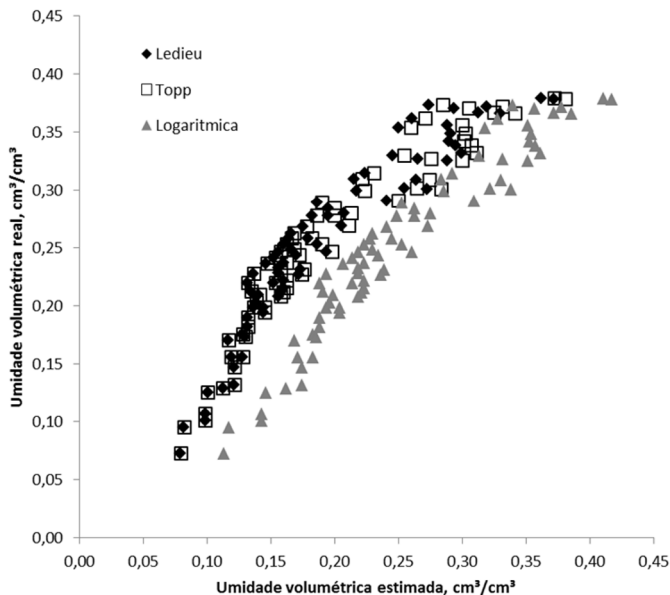
Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as relações entre a umidade volumétrica real e estimada pela equação de regressão e pelos modelos de Ledieu e de Topp para o Luvissole e Vertissolo, respectivamente. Na tabela 2 são apresentados o coeficiente de determinação e o índice de concordância dos modelos de Ledieu e de Topp para os dois solos estudados.

Observa-se na figura 3 que o comportamento dos dois modelos e da equação de regressão são muito semelhantes, inclusive com sobreposição de pontos. Contudo, observa-se superestimação da umidade real do solo para valores acima de  $0,13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (ou constante dielétrica igual a 8, como dito anteriormente). Esse comportamento é explicado, na tabela 2, pelos valores de coeficiente de determinação altos e semelhantes entre si e pelos valores acima de 0,94 de índice de concordância (sendo 0 o menor e 1 o maior valor de índice de concordância).



**Figura 3.** Relação entre a umidade volumétrica real e a estimada pelos modelos de Ledieu e Topp e pela equação de regressão proposta para o Luvissole.

Na figura 4 observa-se que o comportamento dos modelos foram muito semelhantes entre si e com a equação de regressão proposta para o Vertissolo. Contudo, confirmou-se que a umidade real é subestimada nesse solo por estes modelos, com atenção ao de Topp que vem embutido no aparelho TDR utilizado neste estudo. Tal comportamento resultou nos valores de  $R^2$  e  $d$  apresentados na tabela 2, os quais são altos (acima de 0,78), contudo menores do que os valores de  $R^2$  e  $d$  apresentados na tabela 1 para o mesmo solo.



**Figura 4.** Relação entre a umidade volumétrica real e a estimada pelos modelos de Ledieu e Topp e pela equação de regressão proposta para o Vertissolo.

**Tabela 2.** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice de concordância (d) para estimativa da umidade volumétrica com o uso do aparelho TDR Trase System para o Luvissole e Vertissolo da região da Campanha do Rio Grande do Sul, por meio da medida da constante dielétrica do solo ( $k_a$ ) nos modelos de Ledieu e Topp.

Ordem de Solo	Ledieu		Topp	
	$R^2$	d	$R^2$	d
Luvissole	0,971	0,958	0,968	0,944
Vertissolo	0,789	0,827	0,810	0,851

## **Conclusões**

Devido aos altos valores de  $R^2$  e  $d$  encontrados para os modelos de Ledieu e de Topp, bem como para a equação de regressão para o uso do TDR em Luvissole e Vertissolo para a estimativa de valores de umidade para uso agrônômico, o aparelho cumpre com seu objetivo e pode ser utilizado sem calibração.

Contudo, para a determinação de valores absolutos de umidade volumétrica para fins de pesquisa, se faz-se necessário o uso das equações de regressão, pois a equação embutida no aparelho Trase System superestima os valores de umidade volumétrica para o Luvissole estudado e subestima para o Vertissolo estudado.

# Referências

DIRKSEN, C.; DASBERG, S. Improved calibration of time domain reflectometry soil water content measurements. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 57, n. 3, p. 660-667, May/June 1993.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 88, p. 319-328, 1986.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**. Barueri: Manole, 2004. 477 p.

SANTOS, M. dos; ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 299-308, mar./abr. 2010.

Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000200003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 22 nov. 2012.

SILVA, E. L.; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 417-420, 1999.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS: ASCAR, 2008. 222 p.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 6, n. 9, p. 1145-1154, jun. 2001.

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, n. 3, p. 574-582, June 1980.

VILLWOCK, R.; TAVARES, M. H. F.; VILAS BOAS, M. A. Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 82-88, jan./abr. 2004.



**Embrapa**

---

**Pecuária Sul**

CGPE 10489

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA