

USO DA REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO NO MONITORAMENTO DE UMIDADE E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO, EM CONDIÇÕES DE CAMPO¹

GESSIONEI DA S. SANTANA², EUGÊNIO F. COELHO³, MÁRCIO M. RAMOS⁴

¹ Extraído da pesquisa de doutoramento do primeiro autor.

² Eng^o Agr^o, Prof. Escola Agrotécnica Federal de Salinas, Salinas, MG, (038) 3841-1599, e-mail: gessionei@eafsalinas.gov.br

³ Eng. Agr., Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

⁴ Eng^o Agr^o, Prof. Titular, Universidade Federal de Viçosa – DEA, Viçosa, MG

**Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2006
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB**

RESUMO: Objetivou-se a avaliação de alguns modelos disponíveis na literatura, quanto à sua capacidade de predição da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) a partir de dados de umidade (θ) e condutividade elétrica aparente do solo (CE_a), obtidos em condições de campo, por meio da técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). Coletaram-se os dados durante um período de aproximadamente oito dias, passando por dois eventos de fertirrigação. Amostras de solução do solo foram coletadas com o uso de extratores imediatamente antes e após cada evento de fertirrigação e, em seguida, a cada 24 horas. Seis modelos foram ajustados aos dados, por meio de planilha eletrônica, com base no coeficiente de determinação e do coeficiente angular de uma equação do tipo $Y = aX$. Os modelos estimaram satisfatoriamente a CE_w, a partir de θ e CE_a, sugerindo a possibilidade de se estimar e monitorar a CE_w por meio da técnica da TDR, em condições de campo.

PALAVRAS-CHAVE: TDR, manejo de fertirrigação, íons salinos

USING TIME DOMAIN REFLECTOMETRY FOR SOIL WATER CONTENT AND BULK ELECTRICAL CONDUCTIVITY MONITORING UNDER FIELD CONDITIONS

ABSTRACT: The objective of the work was to evaluate some models to predict soil solution electrical conductivity (CE_w) as a function of soil water content (θ) and bulk electric conductivity (CE_a) data obtained under field conditions by means of time domain reflectometry (TDR). Data were collected during a period of eight days with two fertirrigation events. Soil solution samples were collected immediately before and after each fertirrigation event and in a frequency of 24 hours between the two events using water samplers. Six models for estimating CE_w as a function of CE_a and θ were fitted to the field data and the analyses were based upon the goodness of fit and the coefficient of $Y = aX$. All models estimated reasonably CE_w indicating the possibility of estimating and monitoring CE_w by TDR technique under field conditions.

KEYWORDS: TDR, fertirrigation management, saline ion

INTRODUÇÃO: O monitoramento de íons no solo consiste em ponto-chave no manejo de fertirrigação. Isso tem sido feito por meio de amostragens de solo ou de extração de solução do solo, com o uso de extratores. A amostragem de solo tem o inconveniente de destruir a estrutura do solo e é limitada no tempo e no espaço, visto que, seus resultados representam uma condição iônica referente apenas ao momento e ao volume de solo nos quais se realizou a mesma. A extração de solução do solo também não permite o conhecimento do estado iônico do solo em tempo real, além de só ser possível em “regiões” do solo com umidades associadas a potenciais superiores àqueles aplicados nos extratores. A implementação de um método capaz de monitorar de forma contínua a distribuição de água e íons em áreas agrícolas faz-se necessária, para facilitar o manejo da fertirrigação. A técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) pode consistir em alternativa viável no monitoramento do

estado iônico do solo, pois além de possibilitar, com o uso de uma única sonda, a determinação simultânea da θ e condutividade elétrica aparente do solo (CEa), em tempo “real”, de formas contínua, automática e rápida e com o mínimo distúrbio da estrutura do solo, viabiliza, de forma indireta, o conhecimento da condutividade elétrica da solução do solo (CEw) (Noborio, 2001; Wraith & Das, 1998; Muñoz-Carpena et al. 2001). A literatura apresenta diversos modelos que relacionam θ , CEa e CEw (Rhoades et al., 1976; Rhoades et al., 1989; Vogeler et al., 1996; Heimovaara et al., 1995; Nadler et al., 1984, modificado por Rhoades et al., 1989; Mualen & Friedman, 1991). Objetivou-se avaliar alguns modelos disponíveis na literatura, quanto à sua capacidade relacionar θ , CEa e CEw, visando a predição da CEw a partir da θ e CEa obtidos em campo, por meio de um equipamento de TDR.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental do Gortuba da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Nova Porteirinha, MG, em um bananal. O solo da área experimental apresenta as seguintes características físicas: areia total 427,3 g kg⁻¹, silte 417,3 g kg⁻¹, argila 155,3 g kg⁻¹ e densidade do solo 1,46 g cm⁻³. As umidades correspondentes a -10 e -1.500 kPa foram, respectivamente, 0,2155 e 0,1572 kg kg⁻¹. O bananal foi fertirrigado por um sistema de irrigação do tipo microaspersão, de vazão 60 L h⁻¹, para uma pressão de serviço de 160 kPa e raio de alcance de 3,0 m. Cada microaspersor irrigava quatro plantas, estando o mesmo posicionado no centro da área compreendida entre as quatro plantas irrigadas. A trincheira foi aberta no sentido diagonal, em relação às linhas de plantio, partindo-se da planta para o microaspersor. A irrigação foi manejada com base no método do tanque classe A, sendo realizada durante quatro dias da semana (de terça-feira a sexta-feira) e a fertirrigação tinha frequência semanal. No monitoramento das variáveis θ e CEa utilizou-se um TDR, um datalogger, quatro multiplexadores (contendo cada um oito canais) e 22 sondas de TDR. A condutividade elétrica da solução do solo (CEw) foi obtida com extratores de solução do solo. As sondas de TDR e os extratores foram instalados conforme Figura 1. A CEa foi estimada com a equação de Giese & Tiemann (1975) e, posteriormente, teve seus valores corrigidos para a temperatura de 25 °C, conforme a equação 1 (Franson, 1985):

$$f_T = \frac{1}{[1 + \alpha(T - 25)]} \quad (1)$$

em que, f_T corresponde ao fator de correção da CEa quanto ao efeito da temperatura, adimensional; α (°C⁻¹) corresponde ao coeficiente de temperatura, sendo igual a 0,019 °C⁻¹ (Heimovaara et al., 1995); e T corresponde à temperatura da solução do solo, em °C. Seis modelos que relacionam as variáveis θ , CEa e CEw foram avaliados nesse trabalho (Tabela 1). Os dados de θ e CEa correspondentes aos momentos e posições do perfil do solo, nos quais, extraiu-se solução do solo, foram, juntamente com os dados de CEw, processados por meio de planilha eletrônica, visando a obtenção dos valores dos parâmetros dos modelos que otimizam a relação existente entre essas variáveis. A avaliação dos modelos, quanto à sua capacidade de relacionar as variáveis θ , CEa e CEw foi feita com base no coeficiente de determinação (R²) e no grau de ajuste da variável dependente (Y) com a variável independente (X), mediante o estabelecimento de uma equação do tipo Y = aX.

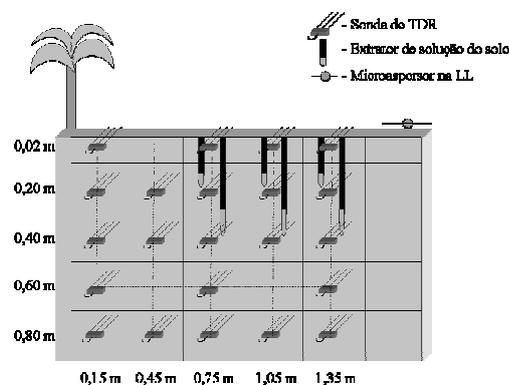


Figura 1. Posições em que as sondas e os extratores de solução do solo foram instalados na trincheira.

Tabela 1. Modelos avaliados no estudo¹

AUTOR / MODELO	MODELO	Parâmetros ³	Equação n ^o
Rhoades et al. (1976)	$CEa = (a\theta^2 + b\theta)CEw + CE_s$	a, b, CE _s ²	(2)
Nadler et al. (1984), mod. por Rhoades et al. (1989)	$CEw = f_T (CE_a - \delta CE_s) F(\theta)$	CE _s ² , ϕ_s , θ_{ws}	(3)
Rhoades et al. (1989)	$CEa = [\theta - (c\theta + d)]CEw + \frac{(\theta_{sol} + c\theta + d)^2}{\theta_{sol}}$	c, d	(4)
Mualen & Friedman (1991)	$CEa = CEw \left(\frac{\theta^\beta}{\theta_s} \right) + CE_s$	β , CE _s ²	(5)
Heimovaara et al. (1995)	$CEa = CEw (\theta - \theta_r)^{\beta+1} \frac{\left[1 - \left(1 - \theta^{1/m} \right)^m \right]^2}{1 - \left(1 - \theta^{1/q} \right)^q}$	p, n, β	(6)
Vogeler et al., (1996)	$CEa = (c\theta - d)CEw + (a\theta - b)$	a, b, c, d	(7)

¹ sendo, CEa, CEw e CE_s, em dS m⁻¹ e θ , θ_s e θ_r em cm³ cm⁻³. Para o modelo de Nadler et al. (1984), mod. por Rhoades et al. (1989), CEa, CEw e CE_s devem estar em S m⁻¹;

² CE_s corresponde à condutividade elétrica da fração sólida do solo. Está associada com as trocas iônicas na interface sólido-líquido do solo e normalmente é considerada como uma constante para cada solo; e

³ Obtidos por otimização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 2 tem-se os valores dos parâmetros e os coeficientes de determinação dos modelos ajustados aos dados de θ _CEa_CEW. Percebe-se que todos os modelos relacionaram bem as variáveis θ _CEa_CEW (R² superiores a 0,86), o que sugere a possibilidade de estimativa da CEw a partir de dados de θ e CEa obtidos com a técnica da TDR. Valores dessa magnitude também foram encontrados por Vogeler et al., (1996), Muñoz-Carpena et al., 2001, porém, para condições de laboratório. Verifica-se ainda, notável concordância entre os valores de CE_s obtidos pelos três modelos que tem esse parâmetro na sua estrutura (0,1610; 0,1720; e 0,1500), o que confere, ainda mais, confiabilidade nas estimativas da CEw. Com relação ao coeficiente angular da reta Y = aX, percebe-se que na maioria dos modelos, o valor deste convergiu para a unidade; exceção é feita para os modelos de Heimovaara et al., (1995) que subestima a CEw em aproximadamente 5% (a = 0,9482) e Mualen & Friedman (1991) que superestima a CEw em 12% (a = 1,12). Esses resultados revelam a possibilidade de uso da técnica da TDR no monitoramento da umidade do solo e das condutividades elétricas aparente e da solução do solo. Conforme constatado em diversos outros trabalhos, os modelos de Rhoades et al., (1976) e Vogeler et al., (1996) são aqueles que melhor relacionam estas variáveis.

Tabela 2. Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos ajustados aos dados de θ _CEa_CEW

AUTOR / MODELO	Parâmetros										R ²
	a	b	c	d	CE _s ¹	ϕ_s	θ_{ws}	p	n	β	
Rhoades et al. (1976)	5,6763	-0,4287	-	-	0,1610	-	-	-	-	-	0,9615
Nadler et al. (1984), mod. por Rhoades et al. (1989)	-	-	-	-	0,1720	0,9993	-0,1227	-	-	-	0,9381
Rhoades et al. (1989)	-	-	-0,4887	-0,0076	-	-	-	-	-	-	0,9318
Mualen & Friedman (1991)	-	-	-	-	0,1500	-	-	-	-	1,7289	0,9332
Heimovaara et al. (1995)	-	-	-	-	-	-	-	1,0001	-0,2416	-0,5881	0,8648
Vogeler et al., (1996)	-1,1510	-0,4832	4,6826	1,0067	-	-	-	-	-	-	0,9653

¹ sendo, CE_s, em dS m⁻¹.

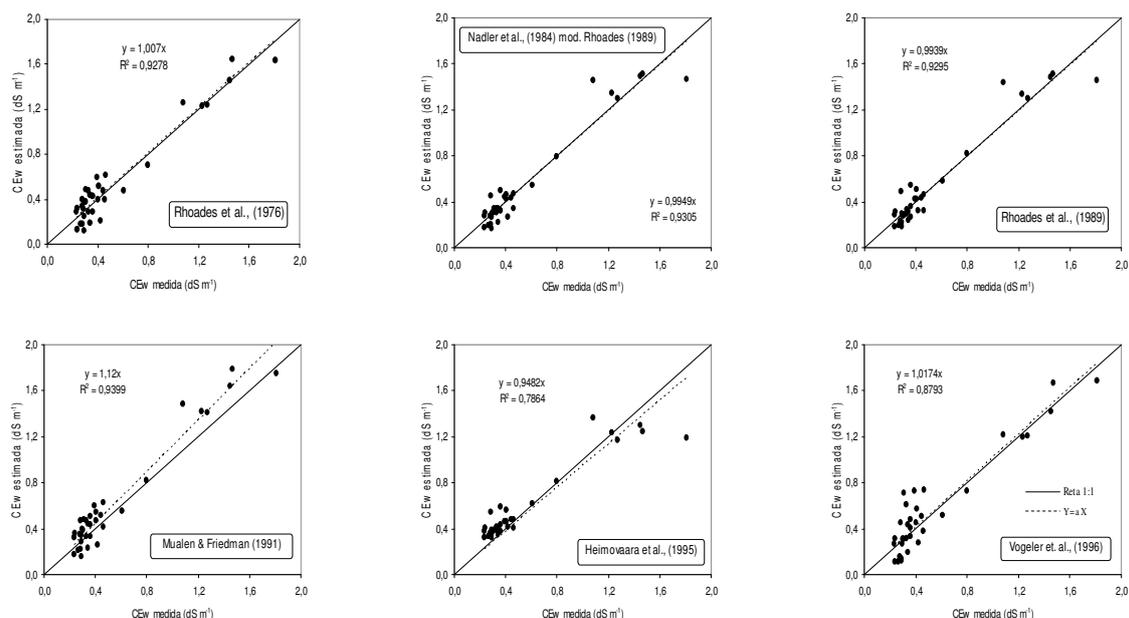


Figura 2. CEw estimada como função da CEw medida.

CONCLUSÃO: Os modelos relacionaram satisfatoriamente as variáveis θ , CEa e CEw, com destaque para os de Rhoades et al., (1976) e Vogeler et al., (1996), o que sugere a possibilidade de estimativa e monitoramento da CEw a partir da θ e CEa obtidas com a técnica da TDR, em condições de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Giese, K.; Tiemann, R. Determination of the complex permittivity from the sample time domain reflectometry. *Advanced Molex Relaxes Processes*, New York, v.7, n.1, p.45-49, 1975.
- Heimovaara, T.J.; Focke, A.G.; Bouten, W.; Verstraten, J.M. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.59, n.3, p.689-698, 1995.
- Mualen, Y.; Friedman, S.P. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. *Water Resources Research*, Washington, v.27, n.10, p.2771-2777, 1991.
- Muñoz-Carpena, R.; Regalado, C.M.; Alvarez-Benedí, J.; Socorro, A.R.; Pérez, N. Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino en el suelo. In: López, J.J.; Quemada, M. ed. V, *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001, p.1-7.
- Noborio, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, Madison, v.31, n.3, p.213-237, 2001.
- Rhoades, J.D.; Manteghi, N.A.; Shouse, P.J.; Alves, W.J. Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.2, p.433-439, 1989.
- Rhoades, J.D.; Raats, P.A.; Prather, R.J. Effects of liquid phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.40, n.5, p.651-655, 1976.
- Vogeler, I.; Clothier, B.E.; Green, S.R.; Scotter, D.R.; Tillman, R.W. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, n.1, p.5-12, 1996.
- Wraith, J. M; Das, B.S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time domain reflectometry. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.47, n.1-2, p.145-150, 1998.