

# **MODELOS PARA ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE IONS NO SOLO SOB APLICAÇÃO DE NITRATO DE CÁLCIO USANDO REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO**

M. Rocha dos Santos<sup>1</sup>, E. Ferreira Coelho<sup>2</sup>, A. Jadavi Pereira da Silva<sup>3</sup>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo avaliar em laboratório modelos que estimam a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) em função da condutividade elétrica aparente (CEa), a da umidade do solo ( $\theta$ ). O experimento foi realizado em laboratório consistindo da determinação de CEa e  $\theta$  com a TDR para dois materiais de solo que foram acondicionados em colunas de PVC a uma densidade de  $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$  sob diferentes condições de água disponível e concentrações de nitrato de cálcio, atendendo quatro níveis de água disponível e cinco concentrações das soluções. Após as leituras CEa e umidade pela TDR em cada coluna de solo, foi extraído solução iônica em cada posição de leitura para determinação da CEw. Modelos lineares e não lineares relacionando CEa,  $\theta$  e CEw foram ajustados por otimização aos dados coletados. O modelo de Vogeler e Clothier (1996) foi o que melhor se ajustou aos dados, tanto na determinação de CEa, como de CEw para ambos os materiais de solo.

**Palavras chaves:** condutividade elétrica da solução do solo, condutividade elétrica aparente, umidade do solo

## **MODELS FOR ESTIMATING ION DISTRIBUTION IN THE SOIL UNDER APPLICATION OF CALCIUM NITRATE BY USING TIME DOMAIN REFLECTOMETRY**

**SUMMARY:** This work had as objective to evaluate models for estimating soil solution electrical conductivity (CEw) function of soil water content ( $\theta$ ) and bulk electrical conductivity (CEa). The experiment was carried in laboratory and consisted of the determination of CEa and  $\theta$  by using TDR for two soil materials that were packed into columns to a density of  $1.44 \text{ kg dm}^{-3}$ . For each soil material, the columns were under application of four calcium nitrate concentrations in order to fill the soil to five different conditions of available water. In each soil column CEa and  $\theta$  was read by using TDR.

---

<sup>1</sup> Estudante de Eng. Agrônoma da UFBA, bolsista PIBIC/CNPq. Campus Universitário, Escola de Agronomia da UFBA, CP 82, CEP 44380 000 Cruz das Almas - Bahia

<sup>2</sup> Pesquisador EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Caixa Postal 07, CEP:44380-000, Cruz das Almas, BA, email: ecoelho@cnpmf.embrapa.br

<sup>3</sup> Est. Agronomia, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da UFBA. Bolsista PIBIC/ CNPq

Afterwards, soil solution was extracted in the same location  $CE_a$  and  $\theta$  were measured in all columns and was used for obtaining  $CE_w$ . Linear and non linear models were fitted to the data of  $CE_a$ ,  $CE_w$  and  $\theta$  by optimization process. The model of Vogeler e Clothier (1996) was verified as the best to estimate either  $CE_a$  or  $CE_w$  for both soil materials.

**key words:** Soil solution electrical conductivity, bulk electrical conductivity, soil water content

## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos recursos de solo e água em áreas fertirrigadas necessita do conhecimento da dinâmica de ions no solo quando se faz uma adubação ou fertirrigação. Visando obter melhor precisão da dinâmica e monitoramento de ions no solo, o emprego da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) apresenta-se como uma alternativa, sendo que a TDR pode ao mesmo tempo estimar num dado local do solo a umidade e a condutividade elétrica aparente do solo ( $CE_a$ ). A  $CE_a$ , por sua vez, está relacionada com a condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_w$ ) e com a umidade ( $\theta$ ) do mesmo. Para estimar  $EC_a$  em função de  $\theta$  e da  $CE_w$ , vários modelos matemáticos tem sido utilizado, sendo um dos mais usuais o de ROADES et al. (1976):

$$T = a\theta + b \quad (1)$$

em que  $T$  é um coeficiente de transmissão que considera a tortuosidade do fluxo de corrente elétrica no meio poroso.  $T$  é função linear da umidade, isto é,  $T = a\theta + b$ . NADLER et al. (1984) estimaram a  $CE_w$  em função da umidade e da  $CE_a$  da seguinte forma:

$$CE_w = F_T \cdot CE_a \cdot F(\theta) \quad (2)$$

em que  $F_T$  é um fator de correção da temperatura para  $25^\circ\text{C}$ ,  $\delta$  é um parâmetro empírico e  $F(\theta)$  é um fator que leva em conta a tortuosidade do fluxo de corrente elétrica. Com base na aproximação de MUALEM & FRIEDMAN (1991) e na função de não linear de retenção de umidade, HEIMOVAARA et al. (1995) propuseram o seguinte modelo não linear:

$$CE_a = CE_w \cdot (\theta - \theta_r)^{\beta+1} \frac{\left[1 - (1 - \theta^{\frac{1}{m}})^m\right]^2}{1 - (1 - \theta^{\frac{1}{q}})^q} \quad (3)$$

em que  $\theta_r$  é a umidade residual do solo. Além desses há outros modelos, como o proposto por ROADES et al. (1989):

$$CE_a = [\theta - (c\theta + d)]CE_w + \frac{(\theta_{sol} + c\theta + d)^2}{\theta_{sol}} \quad (4)$$

em que  $\theta_{\text{sol}}$  é a fração volumétrica ocupada pelos solutos do solo. Há também o modelo empírico proposto por VOGELER & CLOTHIER (1996) para solos agregados:

$$(5)$$

Esses modelos podem ser calibrados para diferentes condições específicas de aplicação de nutrientes tendo sido avaliados por MUNOZ-CARPENA et al., (2001) que verificou viabilidade de uso dos mesmos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade da estimativa da condutividade elétrica da solução do solo em função da condutividade elétrica aparente (CEa) e da umidade do solo ( $\theta$ ) para dois materiais de um mesmo tipo de solo, fertirrigados por diferentes fontes de nitrogênio.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no laboratório de irrigação e fertirrigação na Embrapa Mandioca e Fruticultura. Usou-se materiais de solo de um plantio de mamão, irrigado com dois gotejadores por planta com vazão de 3,75 litros/hora. O mamoeiro estava sendo fertirrigado com nitrato de cálcio numa frequência de 3 dias por semana e uréia numa frequência diária. O solo apresentou as seguintes características físicas: areia total 444 g kg<sup>-1</sup>, silte 131 g kg<sup>-1</sup>, argila 425 g kg<sup>-1</sup>, a umidade referente ao potencial de -10 kPa foi de 0,2933 kg kg<sup>-1</sup> e a umidade referente a -1500 kPa foi de 0,1735 kg kg<sup>-1</sup>. Foram fabricadas em laboratório sondas de TDR de 0,10 m de comprimento de haste de 0,0032 m de diâmetro de aço inox, não apresentando resistor na haste central, resultando num modelo cúbico entre a umidade estimada ( $\theta_e$ ) e a umidade obtida por gravimetria ( $\theta_g$ ):

$$\theta_e = 6,438 \theta_g^3 - 5,524 \theta_g^2 + 2,0373 \theta_g - 0,0745 \quad (6)$$

Dois materiais de solo foram usados em questão, isto é, um referente ao tratamento 1, fertirrigado no campo com uréia (T1) e um referente ao tratamento 2, fertirrigado no campo com nitrato de cálcio (T2). Quarenta vasos de polietileno de 0,098 m de diâmetro interno com 0,15 m de altura da coluna de solo foram preparados para acondicionar 1,584 kg de solo em cada um para alcançar uma densidade de 1,4 kg.dm<sup>-3</sup> para cada solo. Soluções de nitrato de cálcio com condutividades elétricas de 2,0, 5,0, 7,0, 9,0, e 12,0 dS.m<sup>-1</sup> foram aplicadas ao solo de forma a se atingir as umidades correspondentes a 20, 50, 70 e 90% da água disponível do solo. Após 24 horas uma guia de onda de 0,10 m de comprimento de haste foi inserida verticalmente em cada vaso. As sondas foram acopladas a multiplexadores ligados a uma TDR 100 (Campbell Scientific). No momento das leituras com a TDR, foi feita a medição da temperatura do solo através de um termopar de cobre-constantan, ligado a um armazenador de dados. Imediatamente após cada leitura pela TDR, retirou-se a guia de onda e no mesmo

local, fez-se a inserção de um extrator de solução, ao qual se aplicou uma sucção equivalente a 80 kPa. A solução foi retirada do extrator e foi medido sua condutividade elétrica com um condutivímetro de mesa. Os dados de CEa e umidade lidos pela TDR e os dados de CEw medidos no condutivímetro foram agrupados e as equações 1, 2, 3, 4 e 5 foram ajustadas aos dados por otimização. O modelo que se ajustou melhor aos dados de CEa, CEw e  $\theta$  (maior coeficiente de determinação), foi trabalhado de forma a se estimar CEw em função de CEa e  $\theta$ . Novo ajuste do modelo foi feito aos dados, obtendo a equação com os parâmetros que minimizaram a soma dos quadrados dos desvios entre CEw lido e estimado. A precisão dos modelos foi observada verificando o ajuste da variável dependente medida e estimada pela reta  $y = ax$ , com intercepto em zero.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo que melhor se ajustou aos dados de CEa x CEw e  $\theta$  para os materiais de solo dos tratamentos T1 e T2 foi o de VOGELER & CLOTHIER (1996) com coeficientes de determinação de 0,9386 e 0,8611, respectivamente (Tabelas 1 e 2), seguido pelo de ROADES et al. (1976). O modelo de VOGELER & CLOTHIER (1996) e o de ROADES et al. (1976) têm sido os de melhores ajustes em todos os trabalhos feitos com o mesmo solo, ou com outros tipos considerando a aplicação de soluções de cloreto de potássio SILVA et al., (2003). Usando este modelo para estimativa de CEw em função de CEa e  $\theta$ , obteve-se as equações 7 e 8, cujos coeficientes de determinação foram de 0.8913 e 0.7391 para os materiais de solo dos tratamentos T1 e T2, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros resultantes dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de ECa como função de ECw,  $\theta$  para o solo do tratamento T1.

Modelo	Coeficientes								
	a	b	c	d	CEs (dS.m <sup>-1</sup> )	m	q	$\beta$	R <sup>2</sup>
Roades et al. (1976)	8,5289	-0,4891			0,12570				0,9078
Roades et al. (1989)			-2,0490	-0,4316					0,9352
Vogeler e Clothier (1996)	2,8889	0,4194	2,6633	0,33679					0,9386
Heimovara et al. (1995)						7,05276	1,0815	-1,05243	0,8455
Nadler et al. (1984)	9,9149	-0,953			0,1260				0,8843

Tabela 2. Parâmetros resultantes dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de ECa como função de ECw,  $\theta$  para o solo do tratamento T2.

Modelo	Coeficientes								
	a	b	c	d	CEs (dS.m <sup>-1</sup> )	m	q	β	R <sup>2</sup>
Roades et al. (1976)	-1,2434	1,4334			0,1256				0,8049
Roades et al. (1989)			0,30759	-0,0324					0,8014
Vogeler e Clothier (1996)	15,407	3,2403	-2,6221	-0,8247					0,8611
Heimovara et al. (1995)						1,3051	6,5342	-0,0854	0,1206
Nadler et al. (1984)	0,2474	0,7420			0,1250				0,7307

$$CE_w = \frac{CE_a - (0,7690\theta + 0,0173)}{3,6836\theta - 0,5360} \quad (7)$$

$$CE_w = \frac{CE_a - (7,5374\theta - 1,4148)}{0,4194 - 0,8528\theta} \quad (8)$$

Para os materiais de solo (T1 e T2) CEw pode ser determinada em função da CEa e da umidade lidas pela TDR, conforme os valores do coeficiente de determinação, que mostram grande parte das variações em CEw explicadas por CEa e  $\theta$ . A Figura 1 mostra que, em média, os valores estimados de CEw subestimaram os valores medidos em 2,13% e 3,21% para os materiais de solo de T1 e T2, entretanto, a dispersão do modelo  $y=ax$  foi maior para o solo T2. Os limites dos intervalos de confiança mostram que os modelos tornam-se menos precisos para maiores valores de CEw e que os limites de confiança são mais próximos para o solo T1, denotando maior precisão do modelo para este material de solo.

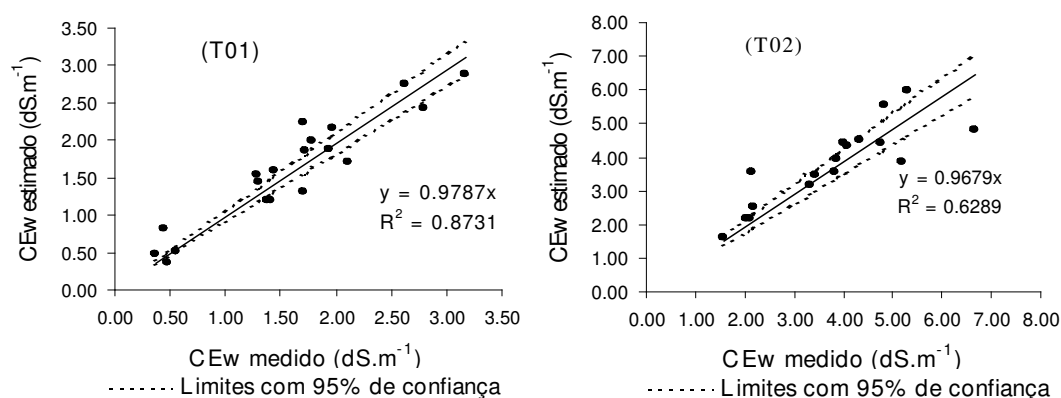


Figura 1. Avaliação do modelos de estimativa de CEw estimado pelo modelo de e VONGELER CLOTHIER (1996) em função de CE medida.

## CONCLUSÕES

A condutividade elétrica da solução do solo pode ser estimada a partir da CEa e  $\theta$  lidas na TDR. O modelo empírico de Vangelier & Clothier (1996) foi o que melhor estimou CEw a partir da CEa e  $\theta$ , seguido pelo de Roades et al. (1976), sendo os recomendados para os materiais de solo do estudo.

## BIBLIOGRAFIA

- HEIMOVAARA, T. J., FOCKE, A.G., BOUTEN, W., VERSTRANTEN, J.M. **Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry**. Soil Science Society of America Journal, v.59, p.689-698. 1995.
- MUALEM, Y., FRIEDMAN, S.P. **Theoretical predication of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil**. Water Resources Research v.27, p.2771–2777. 1991
- NADLER, A., FRENKEL, H., MANTELL, A. Applicability of the four-probe technique under extremely variable water contents and salinity distribution. Soil Science Society of America Journal v.48, p.1258–1261. 1984.
- OLIVEIRA, A. M. G. Mamão. In: BORGES, A. L; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. P. 114 – 121.
- R. MUÑOZ-CARPENA, C.M. REGALADO, J. ALVAREZ-BENEDÍ, A.R. SOCORRO, N. PÉREZ. **Determinación simultánea mediante tdr del transporte de agua y un soluto salino en el suelo**. In J.J. López e M. Quemada ed. v jornadas sobre investigacion en zona no saturada. p.1-7. Pamplona: Universidade Pública de Navarra. 2001.
- 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, v.40, p.651–655. 1976
- RHOADES, J.D., MANTEGHI, N.A., SHOUSE, P.J., ALVES, W.J. **Soil electrical conductivity and salinity:new formulations and calibrations**. Soil Science Society America Journal v.53, p.433–439. 1989.
- VOGELER, I.; CLOTHIER, B. E. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. Soil science society of America Journal, v. 60, p. 5-12, 1996.