Uso da reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de fósforo em colunas de solos fertirrigados

Using of the time domain reflectometry to evaluate the phosphorus distribution in soils columns fertirrigateds

Marcelo Rocha dos Santos¹, Mauro Aparecido Martinez², João Henrique Zonta^{3*},
Antonio Teixeira de Matos², Rubens Alves de Oliveira²

RESUMO

Estudos direcionados para o monitoramento da dinâmica de solutos no solo, sob áreas fertirrigadas, são de fundamental importância, pois permitem adotar medidas de manejo da fertirrigação possibilitando disponibilizar o nutriente nos locais de maior densidade radicular. Objetivou-se com esse trabalho avaliar, usando a técnica da TDR, a distribuição de fósforo em colunas de Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho (LV) fertirrigadas com MAP. Foram realizadas fertirrigações com MAP nas colunas e determinados os teores de água (θ) e condutividades elétricas do solo (CEs) com uso de sondas de TDR instaladas em várias profundidades, sendo a concentração do nutriente estimada com uso de modelos matemáticos. Em ambos os solos o fósforo ficou adsorvido a camada superficial, não alcançando os 12 cm de profundidade, independentemente do momento da fertirrigação.

Palavras chaves: fertirrigação, fósforo no solo, TDR.

ABSTRACT

Studies to monitor soil solute dynamics in fertigated areas are of great importance, because they allow the adoption of measures of fertigation management, making the nutrients available in the places of greatest root density. The objective of this study was to evaluate, using the TDR technique, the phosphorus distribution in Neosol Quartzarenic (RQ) and Red Latossol (LV) soil columns fertigated with MAP. The MAP fertigations were performed in the columns; the soil water content (θ) and soil bulk electric conductivity (CEs) were obtained using (with) TDR probes installed at various depths, and the nutrient concentration was estimated using mathematical models. In both soils the phosphorus was adsorbed in surface layer, not reaching 12 cm depth, regardless of the moment of the fertigation was started.

Key words: fertigation, soil phosphorus, TDR..

Introdução

O uso da fertirrigação vem sendo difundido em todo o País, especialmente na Região Nordeste, em pólos agrícolas de produção de frutas e hortaliças, sendo seu uso crescente principalmente em condições de irrigação localizada. Com a expansão do uso desta tecnologia, a demanda por informações voltadas para o seu correto manejo tem aumentado sensivelmente, sendo, porém, tais informações ainda escassas (Folegatti, 1999).

Estudos direcionados para o monitoramento da dinâmica de solutos no solo, sob áreas fertirrigadas, são de fundamental importância, pois permitem adotar medidas de manejo de fertirrigação possibilitando disponibilizar o nutriente nos locais de maior densidade radicular. Sob áreas fertirrigadas, o conhecimento da dinâmica de íons no solo é também necessário para a sustentabilidade dos recursos de solo e água (Coelho *et al.*, 2005b).

O monitoramento de íons no solo é geralmente realizado com a utilização de extrator de solução,

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IFBaiano, Distrito de Ceraíma, Guanambi – BA, Brasil, CEP: 46430-000, Fone: (77) 34932100, e-mail: marrochas@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Viçosa, Av. Ph. Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa – MG, Brasil, CEP: 36570-000, Fone (31) 3899 3472, e-mails: mmauro@ufv.br, atmatos@ufv.br, rubens@ufv.br

³ Embrapa Algodão, Rua Oswaldo Cruz, 1143, Centenário, Campina Grande – PB, Brasil, CEP: 58428-095, Fone: (83) 3182 4300, e-mail: zonta@cnpa.embrapa.br

* Autor para correspondência.

Enviado para publicação em 20/10/2009.

realização de amostragem do solo ou o uso de extrato da pasta saturada do solo. O extrator é bastante popular entre os pesquisadores por apresentar resultados precisos a um custo relativamente baixo, porém, sua instalação no solo reduz a precisão dos resultados, pois altera o local em estudo, não permitindo repetições, e limita a obtenção de resultados a um curto espaço de tempo (Souza *et al.*, 2006). A amostragem do solo requer maior tempo para análise e é um processo destrutivo. O extrato da pasta saturada não representa o estado iônico do solo em tempo real. Uma técnica que tem sido utilizada para a avaliação do movimento de solutos no solo é a reflectometria no domínio do tempo (TDR) (Bejat *et al.*, 2000; Mmolawa & Or, 2000), que permite o monitoramento de íons em tempo real, de forma contínua e precisa, mantendo-se a estrutura do solo.

Com a utilização da TDR pode-se ao mesmo tempo, determinar, num dado local do solo, o teor de água e a condutividade elétrica (CE_a), o que abre caminho para inferir a condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) e a concentração de um dado nutriente aplicado (C_i). A CE_a , determinada com a utilização da TDR, é variável conforme o teor de água no solo (θ), uma vez que leva em conta a CE_w e a condutividade elétrica do material sólido (CE_s). Vários modelos matemáticos têm sido usados para estimar CE_a em função de θ e da CE_w , sendo que os modelos de Rhoades (1976) e o de Vogeler *et al.* (1996) são os que têm melhor correlacionado CE_a , CE_w e θ (SANTANA *et al.*, 2004; Coelho *et al.*, 2004).

Dos nutrientes aplicados ao solo via fertirrigação, o fósforo destaca-se devido sua interação com os constituintes do solo, com o Al, Fe e Ca, sua ocorrência em formas orgânicas e sua lenta taxa de difusão na solução, que o torna o nutriente menos prontamente disponível na rizosfera. Mesmo quando são aplicados fertilizantes, a maior parte do P adicionado é adsorvido em colóides do solo, tornando-se com o tempo, não-disponível, dada a formação de compostos de baixa solubilidade, sem propiciar uma esperada contribuição para a produção vegetal (Fernandes, 2006).

Segundo Coelho *et al.* (2004), a fertirrigação por gotejamento pode aumentar o movimento de P no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação na forma sólida no solo. O movimento é maior na fertirrigação porque uma maior concentração em uma faixa estreita do solo satura mais rapidamente os sítios de fixação de P mais próximos ao ponto de aplicação do fertilizante. O movimento de P no solo

aumenta com a taxa de aplicação deste e também com o raio de molhamento.

Trabalhos relacionados à influência do momento da fertirrigação durante a irrigação na distribuição do íon no solo, ainda são escassos na literatura, portanto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar, em laboratório, a distribuição de fósforo em colunas de solo Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho Ácrico típico (LV) fertirrigadas com fosfato monoamônico, durante o início, o meio e o final da irrigação.

Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV, montado em um arranjo experimental do tipo fatorial 2 x 3, com três repetições, sendo os tratamentos duas classes de solos (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho Ácrico típico) e três diferentes momentos de aplicação do fertilizante durante a irrigação (início, meio e final).

Os solos para o enchimento das colunas foram retirados de um Neossolo Quartzarênico (RQ) nas proximidades da Fazenda Experimental da EPAMIG, à latitude de 15°32'S e longitude de 43°46'W em Mocimbu, no município de Jaíba, MG, e de um Latossolo Vermelho Ácrico típico (LV) proveniente da região do Alto Paranaíba, MG à latitude de 19° 21' S e longitude de 046° 07' W. O RQ foi retirado nos primeiro 40 cm de profundidade, enquanto o LV foi retirado de uma profundidade compreendida entre 50 a 120 cm, o qual corresponderia ao horizonte Bw1 e Bw2 (Rolim Neto, 2002), por estes apresentar característica de eletropositividade. Os solos coletados foram secos ao ar e passados em peneira com malha de 2,0 mm. Amostras destes foram utilizadas para determinação das características físico-hídricas e químicas, conforme apresentado na Tabela 1.

Para monitoramento do teor de água no solo (θ) e da condutividade elétrica do solo (CEs) foram utilizadas sondas de TDR confeccionadas em laboratório, sendo estas compostas de três hastes de 0,13 m dos quais com 0,10 m de comprimento efetivo e 0,03 m de comprimento coberto por resina, espaçadas entre si de 1,7 cm e sem resistor na haste central.

As colunas foram confeccionadas com tubos de PVC de 150 mm de diâmetro e 0,70 m de comprimento, fechados em uma das extremidades, com um dreno na base, preenchidas com uma camada

Tabela 1. Características físico-hídricas e químicas no Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho (LV).

Características físico-hídricas			Características químicas		
	RQ	LV		RQ	LV
Areia Grossa (kg kg ⁻¹) ¹	0,63	0,02	pH em água	5,34	5,01
Areia Fina (kg kg ⁻¹) ¹	0,24	0,03	pH em KCl	4,38	5,45
Silte (kg kg ⁻¹) ²	0,02	0,11	P (mg dm ⁻³)	2,10	0,50
Argila (kg kg ⁻¹) ²	0,11	0,84	K (mg dm ⁻³)	46,0	10,0
Massa específica do solo (kg dm ⁻³) ³	1,49	1,07	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,76	0,09
Massa específica das partículas (kg dm ⁻³) ⁴	2,73	2,53	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10	0,00
Retenção de água a -10 kPa (cm ³ cm ⁻³) ⁵	0,09	0,39	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,19	0,00
Retenção de água a -1.500 kPa (cm ³ cm ⁻³) ⁵	0,05	0,29	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	1,10	3,00
Porosidade (m ³ m ⁻³) ⁶	0,45	0,58	SB (cmol _c dm ⁻³)	0,98	0,12
Macroporosidade (m ³ m ⁻³) ⁷	0,36	0,16	CTC (t) (cmol _c dm ⁻³)	1,17	0,12
Microporosidade (m ³ m ⁻³) ⁸	0,09	0,42	CTC (T) (cmol _c dm ⁻³)	2,08	3,12
Condutividade Hidráulica (cm h ⁻¹) ⁹	52,8	28,35	V (%)	47,10	3,80
			m (%)	16,20	0,00
			Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	0,78	1,94
			P-rem (mg L ⁻¹)	41,9	3,6

¹ Por peneiramento

² Método da Pipeta

³ Método da proveta e anel volumétrico para S1 e S2 respectivamente

⁴ Método do balão volumétrico

⁵ Extrator de placa porosa

⁶ $PT = 1 - \rho_s/\rho_p$

⁷ $P_{MACRO} = P_{TOTAL} - P_{MICRO}$

⁸ Mesa de tensão

⁹ Permeâmetro de carga constante

P – Na – K – Extrator Mehlich 1

Ca – Mg – Al – Extrator: KCl – 1 mol.L⁻¹

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L⁻¹ – pH 7,0

SB = Soma de Bases

CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org = C. Org x 1,724 – Walkley-Black

P-rem = Fósforo Remanescente

de material de solo de 0,66 m, sobrando uma borda de 0,04 m. O solo foi compactado nos recipientes de modo a se obter massas específicas semelhantes às encontradas no campo (Tabela 1). Sondas de TDR foram inseridas horizontalmente nas colunas de solo num espaçamento de 9 centímetros entre si, para possibilitar a quantificação do teor de água e da condutividade elétrica do solo, sendo a

Figura 1. Vista geral das colunas com as sondas e o equipamento de TDR.

primeira sonda inserida numa profundidade de 3 cm (Figura 1).

A calibração das sondas para determinação do teor de água foi feita usando-se a metodologia proposta por Cecílio *et al.* (2004), onde, para o solo RQ um modelo polinomial de terceira ordem (eq 1) foi ajustado para determinar o teor de água do solo com base na constante dielétrica medido pela TDR, para o LV, um modelo linear (eq 2) apresentou bom ajuste, onde, os coeficientes de determinação foram de 0,98 para os dois casos. O coeficiente geométrico das sondas (K_p) foi 56,4084.

$$\theta_{RQ} = 0,0000437Ka^3 - 0,001829Ka^2 + 0,036518Ka - 0,1706486 \quad (1)$$

$$\theta_{LV} = 0,01188095Ka + 0,05948608 \quad (2)$$

Em que θ_{RQ} e θ_{LV} são os teores de água (m³ m⁻³) nos solos RQ e LV, respectivamente e Ka é a constante dielétrica do solo.

Nove colunas foram preenchidas com o RQ e nove com LV, sendo que para cada solo, as colunas foram fertirrigadas com solução de MAP. Em cada

solo a fertirrigação foi aplicada no início, no meio e no final do período de irrigação. Foi construído um sistema com frascos de Mariotte conectados a um recipiente gotejador, que possibilitou manter uma carga hidráulica constante, possibilitando a aplicação de água e solução fertilizante numa vazão média de $0,73 \text{ L h}^{-1}$ e ainda, a aplicação independente da irrigação ou fertirrigação.

Após a montagem, as colunas foram submetidas a uma primeira irrigação, visando elevar o teor de água na camada de 0 a 0,40 m de profundidade a valores correspondentes a capacidade de campo. Terminada esta irrigação, esperou-se um período de três dias para redistribuição da água nas colunas de solo. Cessada a redistribuição, foi feita uma segunda irrigação com duração de aproximadamente quarenta minutos na qual foi aplicada uma lâmina de 0,38 L de água e 0,10 L de solução fertilizante em cada coluna. A dosagem do fertilizante aplicado, de $57,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de P, foram baseadas em valores recomendados de $690 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P, respectivamente, para a cultura da bananeira (BORGES *et al.*, 2006), distribuídos numa frequência mensal de aplicação. A irrigação foi feita com água destilada e a solução fertilizante (mistura do fertilizante com água destilada) apresentava condutividade elétrica de $1,82 \text{ dS.m}^{-1}$. Após a irrigação, as colunas eram cobertas com plástico para evitar evaporação e permitir somente a redistribuição.

Durante o período de irrigação, fertirrigação e de redistribuição, os teores de água e as condutividades elétricas do solo foram determinadas usando um aparelho de TDR conectado a um datalogger. O datalogger foi programado a emitir comandos para a TDR fazer leitura em intervalos de 3 minutos durante a irrigação ou fertirrigação e em intervalo de 10 minutos após o final da irrigação, quando ocorria a redistribuição da água e dos fertilizantes no solo. Cada teste era encerrado quando a variação do teor de água com o tempo era mínima na coluna.

O modelo matemático proposto por Vogeler *et al.* (1996) e calibrado por Santos (2008) foi usado para estimar a condutividade elétrica da solução do solo (CEss) em função do teor de água (θ) e da condutividade elétrica do solo (CEs). Esse modelo foi conjugado com um modelo do tipo potencial que relacionou a CEss com a concentração do nutriente (C_i), resultando em um modelo final (Eqs. 3 e 4) capaz de estimar a concentração de nitrato no RQ e LV, respectivamente.

$$C_{iP} = \left[\left(\frac{CE_a - (0,434417 \times \theta + 0,021373)}{0,475695 \times \theta + 0,030135} \right) / 0,410731 \right]^{\frac{1}{0,200779}} \quad (3)$$

$$C_{iP} = \left[\left(\frac{CE_a - (0,114154 \times \theta + 0,045607)}{-1,9088 \times \theta + 1,71408} \right) / 0,041895 \right]^{\frac{1}{0,584303}} \quad (4)$$

em que,

C_{iP} é a concentração do nitrato (mg L^{-1}).

CE_a é a condutividade elétrica do solo (dS m^{-1}) e.

Resultados e Discussão

A distribuição de água e a condutividade elétrica do solo Quartzarênico desde a primeira irrigação em que se aplicou somente água, até o final do tratamento com MAP aplicado no meio da segunda irrigação são apresentadas na Figura 2. Observa-se que no início da primeira irrigação o teor de água estimado usando a TDR era inferior ao teor de água do ponto de murcha permanente ($0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). A primeira irrigação, que durou aproximadamente 1,5 horas, elevou o teor de água a valores acima da capacidade de campo ($0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Cessada a irrigação inicial, a coluna de solo passou por um período de redistribuição, ao final do qual toda coluna ficou com teor de água acima do ponto de murcha permanente.

Nota-se na Figura 2, pelo aumento da condutividade elétrica do solo nas maiores profundidades, que a primeira irrigação provocou a lixiviação dos sais já existente no solo.

A segunda irrigação, com a fertirrigação realizada no momento intermediário, começou a aproximadamente 117 horas do início da primeira irrigação.

A influência do momento da aplicação da solução fertilizante na condutividade elétrica do solo a partir da segunda irrigação, para fertirrigações feitas com MAP no início, meio e final desta irrigação são verificadas na Figura 3. Nota-se que a condutividade elétrica atinge valor máximo de $0,052 \text{ dS m}^{-1}$ na camada superficial (3 cm), quando aplicou-se fertirrigação no final da irrigação, e de $0,22 \text{ dS.m}^{-1}$ na mesma camada, quando aplicou a solução fertilizante no início da irrigação. Como o teor de água nos dois tratamentos não apresentou grandes diferenças em valores absolutos nas profundidades de 3 cm, pode-se inferir que houve somente movimentação de água para as camadas mais profundas quando

Figura 2. Distribuição do teor de água(a) e condutividade elétrica no (b) Neossolo Quartzarênico, a partir do início da primeira irrigação até final do teste com MAP aplicado na segunda irrigação em sua fase intermediária.

foi realizada a aplicação do fertilizante no final da irrigação, e que a solução fertilizante não avançou além dos 3 cm de profundidade. Para a aplicação do fertilizante no início da irrigação, houve a movimentação também do fertilizante para as camadas mais profundas, indicado pelo aumento no valor da condutividade elétrica com o passar do tempo.

Nota-se também na figura 3 elevados valores de CE_a nas camadas mais profundas, referente a 12, 21, 30, 39, 48 e 57 cm, o que não representa valores de CE_a devido à aplicação do MAP. Antes de iniciar o experimento propriamente dito (Figura 1), as colunas eram submetidas a uma irrigação para que

o teor de água ficasse na faixa entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Nessa irrigação foi observado que os sais contidos no solo eram conduzidos para as camadas mais profundas juntamente com a frente de umedecimento o qual era verificado pelo aumento expressivo da condutividade elétrica do solo como se vê na Figura 2.

Pela Tabela 1 nota-se que o solo RQ apresenta 46 mg L^{-1} de potássio, $2,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de P e pequena quantidade de outros sais, isso pode ter contribuído para que durante a primeira irrigação realizada nas colunas, ocasionasse arrastamento dos sais contido no solo para aquelas camadas mais profundas.

Figura 3. Teor de água e condutividade elétrica no Neossolo Quartzarênico com aplicação de MAP no início, meio e final da irrigação.

A influência do momento da aplicação da fertirrigação na distribuição de fósforo no Neossolo Quartzarênico é observada na Figura 4. Verifica-se que, quando a fertirrigação foi realizada no início ou no meio da irrigação, o fósforo avançou além dos 3 cm de profundidade, porém não alcançando os 12 cm, ou seja, o fósforo ficou adsorvido na camada de 3 a 12 centímetros de profundidade. Isso é notado devido ao pico no gráfico referente à sonda 3 cm, o qual não aparece nos 12 cm (Figura 4a e 4b). Tendo em vista que o fósforo não deslocou além dos 3 cm de profundidade, não é apresentada a distribuição de fósforo, quando a fertirrigação foi realizada no final da irrigação.

O teor de fósforo estimado pela TDR foi de 29 e $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ a 3 cm de profundidade quando foi aplicada solução de MAP no início e meio da irrigação, respectivamente.

A influência da fertirrigação com MAP no início da irrigação para o Latossolo Vermelho acríco típico (LV) na distribuição do teor de água e da condutividade elétrica é verificada na Figura 5. Nota-se que CE_a permanece relativamente inalterada ao longo do período analisado enquanto há redistribuição de água na coluna, evidenciando que o fósforo contido na solução fertilizante ficou adsorvido às partículas de argila na camada superficial do solo, permitindo apenas a dinâmica e redistribuição da água no solo.

Figura 4. Teor de fósforo na solução no Neossolo Quartzarênico quando a fertirrigação foi realizada no início da irrigação (a) e meio da irrigação (b).

Na fertirrigação feita no início da irrigação para o solo LV (Figura 5), o fósforo não lixiviou além dos 3 cm de profundidade, sendo que a frente umedecimento alcançou pelo menos os 57 cm. Para verificar se havia necessidade de realizar fertirrigação no meio e final da irrigação, foi realizada uma nova fertirrigação com solução de MAP, seis vezes mais concentrada que a primeira. Foi verificado nessa segunda fertirrigação que o sal também não alcançou os 3 cm de profundidade, não havendo então, a necessidade da aplicação da fertirrigação tanto no meio quanto no final da irrigação.

A baixa mobilidade do fósforo nesse solo se deve provavelmente ao alto teor de argila (Tabela 1)

e a eletropositividade que este apresenta. Rolim Neto (2002) resalta que com o aumento do intemperismo, principalmente em condições tropicais, os solos tornam-se mais eletropositivos e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos.

Estudando a distribuição do fósforo no solo sob fertirrigação com ácido fosfórico numa dosagem de $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 para cada aplicação, após 5 aplicações sucessivas, Foratto *et al.* (2007) verificaram que em Latossolo Vermelho eutrófico, de textura muito argilosa, o fósforo atingiu uma profundidade de aproximadamente 30 cm e o bulbo molhado alcançou 80 cm, sendo que todas as aplicações foram feitas com a mistura

Figura 5. Teor de água (a) e condutividade elétrica (b) do Latossolo com aplicação de MAP para diferentes profundidades.

fertilizante. Ressalta-se aqui, que mesmo aplicando uma dosagem de $57,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P, semelhante à aplicada por Foratto *et al.* (2007), o solo neste estudo apresenta característica de eletropositividade, o que o diferencia do solo usado por Foratto *et al.* (2007) e, no seu estudo, foi realizado cinco aplicações consecutivas.

Conclusões

A fertirrigação com MAP, quando realizada em qualquer momento durante a irrigação no Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, possibilita que o fósforo fique adsorvido nos 12 primeiros centímetros de profundidade do solo, após a irrigação.

Literatura Citada

- Bejat, L.; Perfect, E.; Quinsberry, V.L.; Coyne, M.S.; Haszler, G.R.
2000 Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 3, pp. 818-26.
- Borges, A. L.; Coelho, E. F.; Costa, E. L.; Silva, J. T. A.
2006 *Fertirrigação da bananeira*. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMP, 8 p. (Circular Técnica, 84).
- Cecílio, R. A.; Santos, D. B.; Souza, D. O.
2004 Proposta de metodologia para obtenção da curva de calibração de umidade do solo com aparelho de TDR. In: XXXIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola. 2004, São Pedro. 33. Resumos, São Pedro: SBEA, CD-Rom.
- Coelho, E. F.; Santana, G. S.; Silva, T. S. M.; Ramos, M. M.
2004 Estimativa da concentração de potássio na solução do solo com base em leituras de condutividade elétrica e umidade por reflectometria no domínio do tempo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, São Pedro. 33. Resumos, São Pedro: SBEA, CD-Rom.
- Coelho, E. F.; Santos, M. R.; Silva, A. J. P.
2005 Estimativa da concentração de NO_3 no solo sob aplicação de nitrato de cálcio no solo usando reflectometria no domínio do tempo. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Teresina – PI, Resumos, Teresina: ABID, 2005. CD-Rom.
- Fernandes, M. S.
2006 *Nutrição mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, 432 p.
- Foratto, L. C.; Zanini, J. R. Natale, W.
2007 Teor de fósforo e pH no bulbo molhado, com diferentes frequências de fertirrigação, utilizando ácido fosfórico. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 2, pp. 436-444.
- Mmolawa, K.; Or, D.
2000 Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil*, v. 222, n. 1-2, pp. 163-90.
- Rhoades, J. D.; Raats, P. A.; Prather, R. J.
1976 Effects of liquid phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, v. 40, pp. 651-655.
- Rolim Neto, F. C.
2002 *Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Topolitosseqüências de Solos do Alto Paranaíba – MG*. Viçosa, UFV, 143 p. (Tese de Doutorado).
- Santana, G. S.; Coelho, E. F.; Silva, T. S. M.; Ramos, M. M.; Coelho Filho, M. A.
2004 Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo em função da umidade e da condutividade elétrica aparente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004. Resumos, São Pedro: SBEA, CD-Rom.
- Santos, M. R.
2008 *Uso da Reflectometria no Domínio do Tempo para avaliar a distribuição de nitrato e fósforo em colunas de solos fertirrigados*. 2008. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- Souza, C. F.; Folegatti, M. V.; Matsura, E.E.; Or, D.
2006 Calibração da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 1, pp. 282-291.
- Vogeler, I.; Clotier, B. E.; Green, S. R.; Scotter, D. R.; Tillman, R. W.
1996 Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, n. 1, pp. 5-12.