

Concentração de potássio em função da condutividade elétrica da solução do solo

Torquato Martins de Andrade Neto¹ & Eugênio Ferreira Coelho^{2*}

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: andradeneto@hotmail.com

²Embrapa Mandioca e Fruticultura, CNPMF, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: eugenio@cnpmf.embrapa.br

*Autor Correspondente

Resumo: O monitoramento dos íons no solo deve ser feito para avaliar a fertirrigação e deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando a concentração da solução de injeção e a uniformidade de distribuição. O objetivo do presente trabalho foi avaliar e validar modelo de estimativa da concentração de potássio como função da condutividade elétrica da solução do solo (CEw). Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações de cloreto de potássio da solução de injeção (1,0; 2,5 e 4,0 g L⁻¹) aplicadas através de microaspersão e gotejamento durante o primeiro ciclo da cultura. Foram realizadas coletas de dados de condutividade elétrica da solução do solo e avaliação da concentração de potássio da solução do solo ao longo do ciclo da cultura da bananeira, para geração do modelo potencial de estimativa da concentração de potássio. O modelo foi avaliado com dados de campo coletados durante um ciclo da cultura da bananeira cultivar Terra Maranhão. Os resultados mostraram que é viável estimar a concentração de potássio na solução do solo, a partir de dados de CEw, para condições de campo, por meio de um modelo potencial. A concentração de potássio na solução do solo pode ser estimada a partir de leituras da condutividade elétrica dessa mesma solução em condições de campo, considerando uma média de erro normalizado de 20 a 25%, uma eficiência do modelo de 0,55 a 0,68 % e erro quadrático médio (MSE) entre 9,41 e 14,29 mg L⁻¹.

Palavras-chave: concentração de fertilizante, irrigação localizada, fertirrigação.

Concentration of potassium as a function of electrical conductivity of soil solution

Abstract: The monitoring of ions in the soil should be done to evaluate the fertigation and should accompany the application of fertilizers, noting the concentration of the injecting solution and uniformity of distribution. The objective was to evaluate and to validate models for estimating potassium concentration in the soil solution as a function of electrical conductivity (ECw). Treatments consisted of using three solutions of potassium chloride (1.0; 2.5 e 4.0 g L⁻¹) applied by two trickle irrigation systems (microsprinkler and drip) during the first crop cycle. Data collection of electrical conductivity of the soil solution and evaluation of the concentration of potassium in the soil solution during the cycle of banana crop were performed. The model was evaluated by using field data during one cycle of the banana cv Terra Maranhão. Results showed that it is feasible to estimate the potassium concentration in the soil solution from data of ECw by using a potential model. The potassium concentration in the soil solution may be estimated from readings of electrical conductivity under field conditions considering the mean of normalized error of 20 to 25%, model efficiency of 0.55 to 0.68% and root-mean-square error (RMSE) in the range 9.41 to 14.29 mg L⁻¹.

Key words: fertilizer concentration, trickle irrigation, fertirrigation.

Introdução

O uso incorreto da fertirrigação pode causar diversos danos ao meio ambiente tais como: degradação física e química dos solos devido às alterações no pH e no teor de sais ou sódio do solo; contaminação da fonte de água de irrigação ou do lençol freático ou subterrâneo sob a área irrigada (Pinto, 2001). Oliveira & Villas (2008), relatam que o emprego da fertirrigação de forma racionalizada tem possibilitado a otimização do uso de insumos em diferentes culturas irrigadas. O uso sustentável dos recursos naturais solo e água em áreas submetidas à fertirrigação, em primeiro lugar, carecem do conhecimento da dinâmica dos íons no solo.

Um manejo adequado da fertirrigação consiste em aplicar nutrientes na quantidade certa compatível com as necessidades da mesma em sua fase fenológica. É necessário avaliar o estado químico do solo, quanto à concentração dos nutrientes na solução do solo de forma que se possa avaliar se a fertirrigação está sendo feita de forma adequada. Souza et al. (2007) ressaltam que o monitoramento dos íons a partir de análise do solo tem a desvantagem de necessitar de amostras destrutivas e demandar tempo na obtenção de resultados. Uma forma simples de avaliação da situação dos nutrientes pela solução do solo em tempo real é pela condutividade elétrica da solução (CEw), que pode ser determinada até mesmo com um condutivímetro de bolso. A CEw pode ser relacionada a níveis de diferentes nutrientes na solução do solo (Heimovaara et al., 1995; Santana et al., 2007)). A possibilidade de avaliação de níveis de nutrientes pela CEw abre uma porta para pesquisas no sentido de adequar as quantidades de nutrientes na solução do solo às necessidades das culturas em tempo real. Entretanto, para que isso possa ser feito, é preciso consolidar o sucesso da relação CEw como função da concentração de diferentes nutrientes. Relações positivas com elevados coeficientes de determinação entre CEw e concentrações de alguns nutrientes foram observadas por Muñoz-Carpena et al. (2001), trabalhando com aplicação de brometo de potássio (KBr), com aplicação de nitrato e potássio (Coelho et al., 2005b).

A coleta de solução do solo por meio de extratores de solução permite maior número de repetições no mesmo local ou próximo, porém necessitam de regiões umedecidas a potenciais totais da água elevados (Santos, 2008). A CEw pode também ser avaliada sem a necessidade de uso de extratores de solução, pelo emprego da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), isto é, por meio de leituras da umidade do solo e da condutividade elétrica aparente (CEa) (Noborio, 2001; Santana et al., 2006; Coelho et al., 2005b).

Este trabalho teve como objetivo avaliar e validar um modelo matemático de estimativa da concentração de potássio como função da condutividade elétrica da solução do solo (CEw), em dois sistemas de irrigação na cultura da bananeira em condições de campo.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, em Cruz das Almas no estado da Bahia (12° 48' S, 39° 06' W, 225m), cujo clima é classificado como úmido a sub-úmido. O solo da área experimental é caracterizado como um Latossolo Amarelo Distrófico de textura média contendo respectivamente, 529 g de areia, 107 g de silte e 364 g de argila e densidade de 1,51 kg dm⁻³ (Souza & Souza, 2001). As características químicas do solo no início do experimento para as diferentes concentrações aplicadas encontram-se na Tabela 1.

A cultura utilizada foi à bananeira 'Terra Maranhão', em uma área de 0,10 ha com 120 plantas em fileiras simples de 3,0 x 2,5 m. Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações de cloreto de potássio (1,0; 2,5 e 4,0 g L⁻¹) aplicadas por meio de dois sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), durante o primeiro ciclo da cultura num delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2, com quatro repetições.

O sistema de microaspersão foi constituído de um microaspersor para quatro plantas com vazão de 43,0 L h⁻¹. O sistema de gotejamento envolveu uma linha lateral de irrigação por fileira de plantas, com três emissores de 4,0 L h⁻¹ por touceira de plantas. A lâmina de irrigação de

Tabela 1. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico de Cruz das Almas - BA

Tratamento (g L ⁻¹)	pH	P (mg dm ⁻³)	Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)				V (%)	M.O (g kg ⁻¹)
			K	Ca+Mg	Na	H+Al		
1,0	6,4	10,0	0,36	3,48	0,09	1,42	72,2	6,01
2,5	6,5	12,5	0,41	3,33	0,06	0,97	81,7	12,48
4,0	6,3	11,0	0,50	4,70	0,07	1,08	77,0	10,14

reposição de água entre duas irrigações foi calculada pela evapotranspiração da cultura estimada pela evaporação obtida pelo método do “tanque classe A” (Coelho et al., 2013). As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação. O cloreto de potássio foi a fonte de potássio utilizada, cuja quantidade e volume da solução injetora foram determinados seguindo-se recomendações de Coelho et al. (2004).

O presente trabalho consistiu na avaliação de um modelo matemático de estimativa da concentração de potássio em função da condutividade elétrica da solução do solo (CEw) e na validação do mesmo em dois sistemas de irrigação localizada. Os dados de potássio (mg L^{-1}) e CEw (dS m^{-1}) foram relacionados por uma função potencial de forma a explicitar CEw como função de K^+ . Os valores de α e β foram obtidos pela ferramenta Solver do Excel. O modelo foi utilizado na forma:

$$CE_w = \alpha K^\beta \quad (1)$$

A coleta de dados foi feita em duas etapas: na etapa 1 foi feita a avaliação do modelo e na etapa 2 a validação do mesmo.

Avaliação do modelo potencial

No final da fase vegetativa da bananeira, um ensaio experimental foi realizado em que os extratores de solução (cápsulas porosas) foram instalados no solo às profundidades de 0,20 e 0,40 m a uma distância de 0,30 m da planta, entre um emissor e outro no gotejamento e entre a planta e o emissor no caso da microaspersão. Extratores de solução foram lavados em laboratório com água deionizada e instalados. Sendo, em seguida, realizada uma sucção (-70 kPa) com uma bomba de vácuo manual, com retirada da solução do solo duas horas depois a sucção. Em seguida as soluções do solo foram levadas ao laboratório para leitura de condutividade elétrica da solução do solo (CEw) com uso de um condutivímetro de mesa e determinação da concentração de potássio com uso de um espectrofotômetro de chama. Esse processo de coleta e processamento da solução do solo foi repetido a cada 15 dias durante dois meses. O modelo (Eq 1) foi ajustado aos dados pelo método da minimização do quadrado dos erros.

Validação do modelo

A validação do modelo foi feita por meio de coleta mensal de amostras de solução do solo nas parcelas experimentais, durante o primeiro ciclo da cultura, com posterior determinação da concentração de potássio e da CEw em laboratório conforme metodologia descrita na etapa 1. Os dados de CEw de campo foram inseridos no

modelo potencial determinado na etapa 1, e os resultados da concentração de potássio foram comparados com os valores determinados em laboratório ao longo do tempo.

Indicadores de avaliação do modelo

Na etapa 1 de avaliação do modelo foram usados os indicadores estatísticos MEN (média dos erros), erro quadrático médio (MSE) e o R^2 (coeficiente de determinação) (Gomes et al., 2002). A erro quadrático médio (MSE) foi definida pela equação utilizada também por Gomes et al. (2002):

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2} \quad (2)$$

onde:

n - número de dados;

O_i - valor medido da concentração do íon K (mg L^{-1})

E_i - valor estimado da concentração do íon K (mg L^{-1})

Para análise desses parâmetros cabe enfatizar que esses desvios foram computados na mesma unidade da variável estudada. Esse procedimento segundo Legates & McCabe Jr. (1999), torna-se apropriado para melhor interpretação dos resultados. Foi utilizada também a equação dos erros normalizados:

$$MEN = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_{\text{medido}} - K_{\text{estimado}}}{K_{\text{medido}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

O MEN indica a diferença relativa, em % e/ou na unidade em estudo, entre os valores estimados e medidos. A simulação é considerada excelente quando MSE é menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% (Jamieson et al., 1991).

Os valores medidos e estimados do potássio foram comparados com base no ajustamento do modelo de regressão linear simples, sendo as estimativas dos parâmetros da regressão testados pela hipótese de nulidade conjunta: $H_0: \beta_0=0$ e $\beta_1=1$ e H_a : rejeição de H_0 (Mayer et al., 1994), adotando o valor de $\alpha = 0,05$, onde a aceitação da hipótese de nulidade implica na equivalência dos valores medidos e estimados. A utilização desse método permite analisar a proximidade dos valores medidos e os estimados pelo modelo de estimativa de potássio. Diversos autores têm utilizado o mesmo teste estatístico para avaliação de modelos matemáticos (Thornton & Hansen, 1996; Rocha Júnior et al., 2003; Cruz et al., 2004; Pina et al., 2006; Oliveira et al., 2007; e Silva et al., 2007).

Na etapa 2, a de validação do modelo, uma vez definidos os parâmetros do modelo de estimação de teor do íon (K) como função da CEw, o mesmo foi aplicado

aos dados de CEw medidos mensalmente nas parcelas ao longo do primeiro ciclo da cultura da bananeira. A eficiência do modelo de estimativa da concentração de potássio foi calculada com a fórmula de Nash & Sutcliffe (1970) considerando os valores da concentração do íon K medidas nas parcelas em relação às estimadas a partir da CEw da solução do solo, ao longo do ciclo da bananeira:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2} \quad (4)$$

EF – Eficiência do modelo

O_m – Valor médio da concentração do íon (mg L^{-1})

Resultados e Discussão

O modelo potencial que relaciona K^+ e CEw ajustou-se melhor aos dados para o gotejamento, explicando 83,0, 73,0 e 84,0% das variações de K^+ com as de CEw para os tratamentos com 1,0; 2,5 e 4,0 g L^{-1} , respectivamente (Tabela 2). Na microaspersão o modelo explicou 79,0, 73,0 e 80,0% das variações de K^+ como função de CEw, respectivamente para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g L^{-1} (Tabela 2). Os resultados obtido pelo modelo potencial, em termos gerais, ficaram abaixo dos obtidos por Silva et al. (2005), que encontraram um coeficiente de determinação de 83,76% para explicar as variações dos valores de K^+ medidos e estimados pelo modelo potencial. Houve proximidade com os valores encontrados por Santana et al. (2007), em avaliação realizada com modelos matemáticos lineares e potenciais de estimativa desse íon na solução do solo.

No sistema de microaspersão apenas a média dos desvios normalizados relativos à concentração de 1,0 g L^{-1} (5,76%) diferiu das demais médias dos desvios ($P < 0,05$) que foram próximas de 12,0% (Tabela 2). No caso do

sistema de gotejamento, as médias não diferiram entre si ($P < 0,05$). Esses valores de desvios (até 12%) podem ser considerados como satisfatórios para monitoramento de íons no solo, levando em conta a variabilidade dos atributos químicos no solo. O valor de MSE variou de 1,02 a 1,63 g L^{-1} no sistema de microaspersão, já no gotejamento essa faixa foi de 1,01 a 1,19 g L^{-1} , ou seja, menores valores para a concentração de 1,0 g L^{-1} de KCl, nos dois sistemas, sendo que o modelo apresentou bom desempenho para os dois sistemas estudados, considerando a MSE. Borges et al. (2010) na avaliação de modelos de estimativa de radiação solar, observaram que quanto menor o valor do MSE, maior é a precisão do modelo.

No caso da microaspersão, houve a rejeição da hipótese de nulidade ($P < 0,05$), indicando que não há similaridade dos valores de potássio estimados pelo modelo e medidos na solução do solo em estudo. Os valores do teste de Mayer et al. (1994) foram de 0,0156; 0,0212 e 0,0100, respectivamente para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g L^{-1} . Nas aplicações via gotejamento, também foi observado significância do teste de hipótese de nulidade de Mayer et al. (1994), os valores do teste foram de 0,0304; 0,0298 e 0,0140 da menor para a maior dose aplicada. Em ambos os sistemas de irrigação, a eficiência do modelo ficou acima de 0,73 com maiores valores para o gotejamento (0,79 a 0,87) que para microaspersão (0,73 a 0,77).

Na validação do modelo em campo, para o gotejamento, considerando os dados da concentração de potássio medida e estimada, os valores de MEN não diferiram entre si (Tabela 3). As eficiências relativas ao modelo potencial variaram de 0,55 a 0,68. Na microaspersão não se observou diferenças entre as médias do desvio (MEN), indicando que os desvios não aumentaram com o aumento da concentração do fertilizante na água de irrigação.

Tabela 2. Índices estatísticos resultantes do ajuste do modelo potencial para K^+ como função de CEw e coeficientes estatísticos, para as diferentes concentrações de cloreto de potássio nos dois sistemas de irrigação

Sistema	KCl (g L^{-1})	Índices Estatísticos								
		α	β	(1)MEN	(2)MSE	(3)MEA	P (4)	(5) R^2	EF(6)	a(7)
Microaspersão	1,0	0,1615	0,4296	5,76 a	1,02	1,23 a	0,0156	0,79	0,77	1,003
	2,5	3,7E-06	3,0878	12,23 b	1,63	8,71 b	0,0212	0,73	0,79	0,905
	4,0	0,1572	0,6831	12,26 b	1,20	2,22 a	0,0100	0,80	0,73	0,987
Gotejamento	1,0	0,3703	0,4430	10,25 a	1,01	1,29 a	0,0304	0,83	0,85	1,017
	2,5	0,2034	0,6600	11,91 a	1,19	2,24 b	0,0298	0,73	0,87	0,987
	4,0	2,0684	0,6342	7,81 a	1,13	2,05 b	0,0140	0,84	0,79	0,992

(1)MEN= Média dos erros normalizados (Desvios); (2)MSE – erro quadrático médio; (3)MEA – Média absoluta dos erros; (4)P – Teste estatístico de Mayer et al., (1994); (5) R^2 – Coeficiente de determinação do modelo; (6)EF – Eficiência do Modelo; (7) β – Valor do parâmetro da equação ($Y=aX$)

Tabela 3. Índices estatísticos para a validação do modelo de estimativa de potássio aplicado em diferentes concentrações (conc.) de cloreto de potássio ao longo do primeiro ciclo da bananeira

Sistema	Conc. (g L ⁻¹)	Índices Estatísticos		
		MEN (%)	RMSE (mg L ⁻¹)	EF
MA	1,0	20,0	10,98	0,63
	2,5	24,1	12,46	0,55
	4,0	25,0	14,29	0,62
G	1,0	21,7	9,41	0,60
	2,5	22,0	10,30	0,55
	4,0	20,8	9,98	0,68

MA - Microaspersão; G - Gotejamento; EF - Eficiência do modelo de estimativa de potássio equação; MEN - Média dos erros normalizados; MSE - Erro quadrático médio

As eficiências relativas ao modelo potencial variaram de 0,55 a 0,63 e os valores de RMSE variaram entre 10,98 a 14,29 mg L⁻¹. Nas aplicações via gotejamento esses valores variaram de 9,41 a 10,30 mg L⁻¹. Isso resultou em variações entre valores medidos e estimados acima de 20,0% (MEN), o que indicou um valor médio de eficiência do modelo em estimar potássio ao longo do tempo.

Foi observada em campo uma relativa proximidade entre os valores medidos de potássio na solução do solo e os estimados pelo modelo potencial (Figura 1). Em termos médios, foi observado um erro normalizado máximo de 25,0% e mínimo de 20,0% na microaspersão, no caso do gotejamento os valores máximos e mínimos foram de 22,0 e 20,8% (MEN), respectivamente. Esses valores podem ser aceitáveis no manejo de íons no solo devido à variabilidade espacial dos atributos químicos

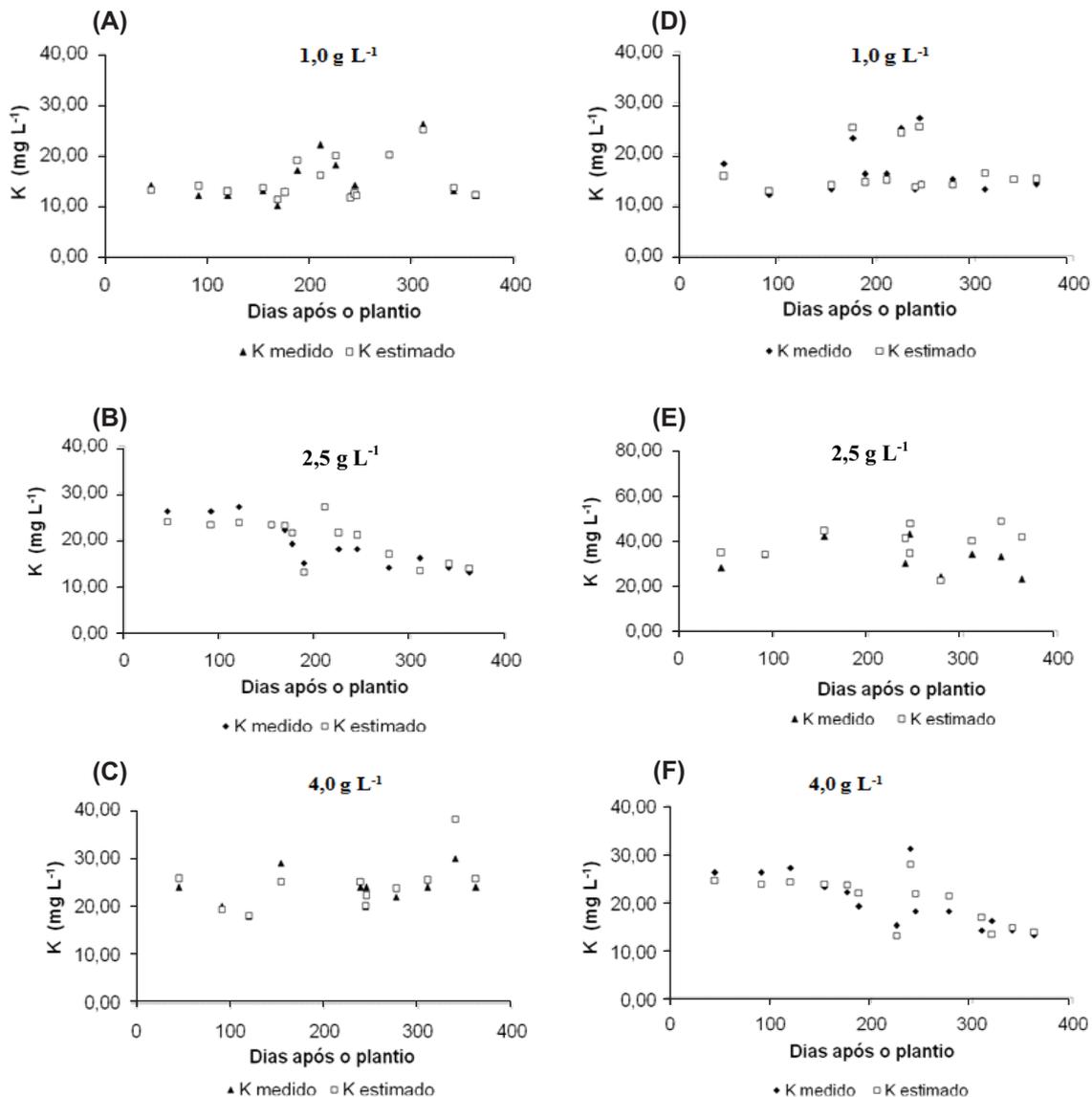


Figura 1. Valores de K⁺ medidos e estimados na solução do solo pelo modelo potencial nos tratamentos com 1,0; 2,5 e 4,0 g L⁻¹, respectivamente no gotejamento (A, B e C) e, microaspersão (D, E e F).

do solo. Machado et al. (2007) observaram variação de 27,19% do potássio em um Latossolo Vermelho, valores superiores aos apresentados pelo modelo nesse trabalho. Os resultados aproximaram-se dos obtidos por Andrade Neto et al. (2012), em trabalho com um modelo potencial combinado com o modelo de Vogeler et al. (1996), que resultaram em uma variação em termos gerais de 20,0% (MEN) para os valores medidos em comparação com os estimados em um Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa.

Conclusões

1. O modelo apresentou coeficiente de determinação entre 0,73 a 0,84 e baixa eficiência na estimativa de potássio ao longo do tempo.
2. A concentração de potássio na solução do solo pode ser estimada a partir de leituras da condutividade elétrica dessa mesma solução em condições de campo, considerando uma média de erro normalizado de 20 a 25%.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado da Bahia (FEPESB) pelo apoio e financiamento de recursos para desenvolvimento da pesquisa e pela bolsa de estudos.

Literatura Citada

- Andrade Neto, T.M.; Coelho, E.F.; Alves, M da S.; Santana Junior, E.B.; Santana, J.A. do. Estimating potassium in the soil solution as a function of electrical conductivity and soil water content. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.618-623, 2012.
- Borges, V.P.; Oliveira, A.S. de.; Coelho Filho, M.A.; Silva, T.S.M.; Pamponet, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, p.74–80, 2010.
- Coelho, E. F.; Oliveira, R. C.; Pamponet, A. J. M. Necessidades hídricas de bananeira tipo Terra em condições de tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, p. 1260-1268, 2013.
- Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Coelho Filho, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizados em latossolo de tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 27, n. 1, p. 175-178, 2005 a.
- Coelho, E. F.; Vellame, L. M.; Coelho Filho, M. A. . Sondas de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo com uso de multiplexadores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 475-480, 2005b.
- Cruz, M. G.; Alexander, M. E.; Wakimoto, R. H. Modeling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands. *Forest Science*, v.50, p.640-658, 2004.
- Gomes, E. N.; Escobedo, J. F.; Frisina, V. A.; Angela. R. Modelos de estimativa da Par global e difusa em função da radiação de ondas curtas e da transmissividade atmosférica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, Foz de Iguaçu-PR, CBM, 2002.
- 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*, v.59, p.689-698, 1995.
- Jamieson, P. D., Porter, J. R.; Wilson, D. R. A test of the computer-simulation model archwheat on 7 wheat crops grown in New-Zealand. *Field Crops Research*, v.27, p.337-350, 1991
- Legates, D. R.; McCabe Jr., G. J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Science Research*, v.35, p.233-241, 1999.
- Machado, L. de O.; Lana, Â. M. Q.; Quintão, R. M. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 591-599, 2007.
- Mayer, D. G.; Stuart, M. A.; Swain, A. J. Regression of real word data on model output: An appropriate overall test of validity. *Agriculture System*, v.45, p.93-104, 1994.
- 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 em el suelo. In: López, J. J.; Quemada, M. V. (ed.) *Temas de investigación en zona no saturada.. Pamplona: Universidade Pública de Navarra*, 2001. 7p.
- Nash, J. E. ; Sutcliffe, J. V. River flow forecasting through conceptual models Part I A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, n.3, p.282–290, 1970.
- Noborio, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.31, p.213-237, 2001.
- Oliveira, A.S.; Campos, J.M.S.; Valadares Filho, S.C.; Assis, A. J. de; Teixeira, R. M. A.; Valadares, R. F. D.; Pina, D. dos S.; Oliveira, G. S. de. Substituição do milho por casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: Consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, p.1172-1182, 2007.
- Oliveira, M. V. A. M. de.; Villas Boas, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistemas de irrigação por gotejamento. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.95-103, 2008.
- Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Campos, J. M. de Souza; Moraes, K. A. K. de; Oliveira, A. S. de; Paixão, M. L. Efeitos de indicadores e dias de coleta na digestibilidade dos nutrientes e nas estimativas do valor energético de alimentos para vacas alimentadas com diferentes fontes de proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.2461-2468, 2006.

- Pinto, J. M. Fertirrigação em fruticultura irrigada. *Revista Irrigação & Tecnologia Moderna*, v.49, n.1, p.14-23, 2001.
- Rocha Júnior, V. R.; Valadares Filho, S. C.; Borges, A.M. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.2, p.480-490, 2003.
- Santana, G. S.; Coelho, E. F.; Silva, T. M.; Ramos, M. M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.2, p.142-151, 2007.
- Santana, G. da S.; Coelho, E. F.; Silva, T. S. M., Ramos, M. M.. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo a partir do teor de água e da condutividade elétrica aparente do solo. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.3, p.672-685, 2006.
- Santos, R. M. Uso da reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de nitrato e fósforo em colunas de solos fertirrigados. Viçosa: UFV, 2008. 73p. Dissertação de Mestrado.
- Silva, P.A.; Valadares Filho, S.C.; Valadares, R.F.D; Cecon, P. R.; Detmann, E.; Paixão, M. L. Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade in vivo da fibra em detergente neutro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.3, p.711-718, 2007.
- Silva, T. S. M.; Coelho, E. F.; Paz, V. P. S.; Vellame, L. M.; Santana, G. S. Teor de potássio na solução do solo com uso da técnica de reflectometria no domínio do tempo. *Revista Irrigação*, v.10, n. 4, p.393-402, 2005.
- Souza, C. F; Favaro, R. B. T. M; Folegatti, M. V; Daroz, T. H. C. Uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para avaliar a distribuição do nitrato no volume molhado do solo sob fertirrigação. *Magistra*, v.19, n.2, p.112-122, 2007.
- Souza, L. da S.; Souza, L.D. Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, 2001. 56p. Boletim de Pesquisa, 20.
- Thornton, P. K.; Hansen, J. W. A note on regressing real-world data on model output. *Agricultural Systems*, v.50, n.4, p.411-414, 1996.
- 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.