

# XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

## “Irrigação de Laranjeira com Efluente de Esgoto Tratado; Na e K no solo”

**BRUNO F. F. PEREIRA<sup>(1)</sup>, MAGNUS D. DEON<sup>(2)</sup>, TAMARA M. GOMES<sup>(3)</sup>, MARCOS SCHAAP<sup>(4)</sup>,  
SANDRA F. NOGUEIRA<sup>(5)</sup>, ALESSANDRA M. DE PAULA<sup>(6)</sup>, ROBERTA SANTIN<sup>(7)</sup>, CÉLIA R.  
MONTES<sup>(8)</sup> & ADOLPHO J. MELFI<sup>(9)</sup>**

**RESUMO-** Este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação com efluente de esgoto urbano no teor de Na e K no solo. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com três repetições e quatro lâminas de irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto. Quatro diferentes lâminas foram fornecidas com base na evapotranspiração da cultura (ETc); i) 100% da ETc, ii) 125% da ETc, iii) 150% da ETc, e iv) 200% da ETc além do tratamento testemunha, sem irrigação (0% da ETc). A lâmina de 200% da ETc proporcionou a máxima concentração de Na trocável no solo para estas duas épocas. O índice pluviométrico da região em estudo (1200 mm ano<sup>-1</sup>) proporcionou a lixiviação do Na no perfil do solo. Reduções no conteúdo de K trocável no solo foram observadas com o aumento das lâminas de irrigação como consequência do aumento do teor de Na no complexo de troca do solo e/ou pela lixiviação de K pelas lâminas excedentes (125, 150 e 200%). Com base nestes resultados e visando a otimização dos aspectos ambientais e da sustentabilidade da fertilidade do solo, sugere-se a irrigação com lâmina de 100% da necessidade hídrica da cultura, que possibilitará a menor entrada de Na no solo, além de reduzir as perdas de K.

**Palavras-Chave:** (efluente de estação de tratamento de esgoto, irrigação, laranja, sódio, potássio)

### Introdução

No Brasil, a irrigação é responsável por aproximadamente 70% do consumo da água doce no país [1]. Estima-se ainda que a demanda por alimentos poderá duplicar entre os anos de 1991 e 2030 [2]. Assim, não só o consumo de água, como também o de outros recursos naturais, como minerais para produção de fertilizantes químicos tendem a aumentar com a demanda de mais alimento, associada ao crescimento populacional.

O uso de efluente de esgoto tratado (EET) para irrigação agrícola pode, além de fornecer água, nutrientes e matéria orgânica para produção sustentável de alimentos, minimizar o impacto ambiental causado pela sua disposição nos corpos d'água e aumentar a disponibilidade de água para outros fins. Assim, observa-se grande relevância nos estudos envolvendo o uso de esgoto tratado para irrigação da cultura de citros, visando à economia de água, fertilizantes minerais e a preservação dos recursos naturais.

O esgoto sanitário geralmente contém 99,9% de água, sendo a fração restante formada por sólidos orgânicos (cerca de 70%), inorgânicos (cerca de 30%), suspensos e dissolvidos. O esgoto apresenta ainda uma significativa concentração de nutrientes, particularmente macronutrientes (N, P e K) [3]; [4].

Estudos demonstraram modificações físicas e/ou químicas no solo e planta pela irrigação com efluente de esgoto. Estas modificações podem variar principalmente em função da composição do EET e da lâmina de irrigação aplicada, tipo de solo e planta. As principais propriedades do solo que podem ser afetadas pela irrigação com EET são: razão de infiltração, condutividade hidráulica, densidade, porosidade, pH e o conteúdo de nutrientes [4].

Neste contexto este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação com efluente de esgoto tratado no teor de Na e K no solo.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) em Piracicaba (lat. 22°43'04,0" S, long. 47°37'10,6" W) ao lado da uma estação de tratamento de esgoto (ETE) do Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba (SEMAE). O clima da região é caracterizado como Cwa pela classificação climática de Köppen, com precipitação média é de 1.253 mm ano<sup>-1</sup>. O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (Embrapa, 1999) com as seguintes características químicas: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4.8; matéria orgânica (M.O.) = 15 g

<sup>(1,2)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: brunoffp2000@yahoo.com.br.

<sup>(3,6)</sup> Pós-Doutoranda do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), Universidade de São Paulo (USP), P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil, tel. +55 19 34294057.

<sup>(4)</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>(5)</sup> Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM. Av. Soldado Passarinho, 303, 13070-115, Campinas, SP, Brasil.

<sup>(7)</sup> Bolsista DTI do CNPq do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), Universidade de São Paulo (USP), P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP,

<sup>(8)</sup> Professora Doutora do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), USP, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>(9)</sup> Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), USP, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

dm<sup>-3</sup>; P, enxofre (S), e boro (B) = 12, 7, e 0,30 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e potássio (K) = 1, 11, 5, and 1.2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente; saturação por base (V) e saturação por alumínio = 47 e 5%, respectivamente; capacidade de troca de cátions (CTC) = 38,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; fração granulométrica = 688, 109, e 202 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente.

Mudas de laranja 'Valência' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] enxertadas em citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata* Raf) foram transplantadas na área em espaçamento 6 x 4 m. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram as diferentes lâminas de irrigação com efluente de esgoto tratado estimadas com base na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>): i) 100% da ET<sub>c</sub> (523 mm); ii) 125% da ET<sub>c</sub> (653 mm); iii) 150% da ET<sub>c</sub> (748 mm); e iv) 200% da ET<sub>c</sub> (1046 mm), além do tratamento testemunha, sem irrigação (0% da ET<sub>c</sub> sem irrigação).

O efluente de esgoto tratado é proveniente da ETE-SEMAE-Piracicamirim cujo sistema de tratamento é constituído por reatores anaeróbios UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido de lagoa de aeração.

O sistema de irrigação adotado foi do tipo gotejamento, com duas linhas de irrigação para cada linha de cultivo. O manejo da irrigação foi realizado com base no balanço hídrico considerando a ET<sub>c</sub> e a precipitação pluvial. A ET<sub>c</sub> foi estimada pela evaporação do tanque Classe A, utilizando os coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) proposto por [5] que leva em consideração os diferentes estádios de desenvolvimento. Os dados climatológicos foram semanalmente obtidos na estação do campus ESALQ-USP. A irrigação foi iniciada em setembro de 2007 e finalizada em março de 2009.

A amostragem do solo foi realizada com trado tipo "holandês" em set-2007 (época1), mar-2008 (época 2), set-2008 (época 3) e mar-2009 (época 4). As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, à 40 cm de distância do colo das plantas da área útil experimental. Em cada parcela experimental, foram coletadas doze sub-amostras para a composição de uma amostra composta das camadas 0-10 e 10-20 cm, e 6 sub-amostras das camadas 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm para composição de uma amostra para análise química. O solo foi seco ao ar e peneirado em malha 2,0 mm. Sódio e K foram extraídos em solução Mehlich-1 [6] (1:10) e quantificados em fotômetro de chama. Cálcio, Mg e a acidez potencial foram determinados conforme [7]. A porcentagem de sódio trocável no solo foi calculada pela fórmula: PST = (Na/Ca+Mg+K+Na+H+Al)\*100. Onde a concentração dos elementos é dada em mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa SAS versão 9.1.2 [8]. Para a verificação da normalidade dos dados foram utilizados o método gráfico (histograma) e o método numérico (Kolmogorov-Sminorv) sendo P>0,05. As lâminas de irrigação e camadas do solo amostrado foram

consideradas como variáveis independentes (preditoras). O teor de Na e K no solo foram as variáveis dependentes (resposta). A análise foi realizada para cada uma das quatro épocas de avaliação.

## Resultados

Os teores de Na e K no solo não foram influenciados pelas lâminas de irrigação ou profundidades amostradas na primeira época de avaliação. Entretanto, houve influência destas variáveis no teor de Na nas outras três épocas de avaliação, e o K foi influenciado nas duas últimas épocas.

Para 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> época de avaliação o teor de Na trocável foi superior nas camadas superficiais do solo (0-40 cm), diminuindo no sentido crescente da profundidade e elevando-se com as lâminas de irrigação (Figuras 1-A e 1-B). Conforme a equação de ajuste que relaciona as três variáveis (teor de Na trocável, lâmina de irrigação e profundidade), a lâmina de 200% (1046 mm ano<sup>-1</sup>) proporcionou a máxima concentração de Na trocável no solo para estas duas épocas. De todas as épocas estudadas a época 3 (set-2008) foi a que apresentou a maior incremento no teor de Na trocável nas camadas superficiais do solo. Isto deve-se ao maior volume de irrigação nos meses que precederam esta avaliação (maio, junho e julho).

Para a época 4 também foi observado um aumento de Na trocável no solo em função das lâminas de irrigação com efluente de esgoto. Entretanto, este fato foi observado nas camadas sub-superficiais do solo (40-100 cm). Entretanto, nesta época predomina o efeito positivo da profundidade do solo no teor trocável de Na, o inverso do observado nas épocas anteriores (Figura 1-C).

Uma das formas de avaliação dos efeitos do Na no solo é feita pelo cálculo da porcentagem de Na trocável (PST) no solo, que estima a proporção que este elemento ocupa no complexo de troca. Considerando-se a época 3, a qual apresentou os valores mais elevados de Na trocável no perfil, calculou-se o PST (Figura 1-D). Observa-se que, na camada superficial do solo (0-20 cm) houve um aumento proporcional da PST com as lâminas de irrigação, variando de 0% nas parcelas sem irrigação (0%) até aproximadamente 4% nas parcelas irrigadas com 200% da ET<sub>c</sub>.

Não houve influência das lâminas de irrigação com efluente de esgoto no teor de K trocável no solo nas épocas 1 e 2. Contudo, nas épocas 3 e 4 houve uma redução no teor de K trocável no solo com o aumento das lâminas de irrigação (Figura 4 e 5).

## Discussão

Dentre as principais preocupações da irrigação com efluente de esgoto está o aumento do teor de Na no solo. O aumento da concentração de Na trocável no solo com lâminas de irrigação com efluente de esgoto já foi bem relatado em outros estudos [03, 13, 14]. Entretanto, nas condições deste trabalho, a capacidade de resiliência do solo em relação aos teores de Na trocável em superfície, considerando a concentração de Na inicial, foi diferenciada. Isto ocorreu provavelmente em devido ao tipo de solo, ao elevado índice pluviométrico da região e a baixa concentração de Na no efluente. Dentre as técnicas de remediação de solos afetados por sais, conforme o boletim

39 da FAO [9] está a lixiviação do Na. Esta técnica proporciona a remoção do excesso de Na da zona radicular. Quando necessário, o excesso de Na pode ser removido através de lâminas irrigação determinada com base na necessidade de lixiviação [10]. Esta técnica é utilizada principalmente em regiões áridas com baixo índice pluviométrico. Entretanto, o elevado regime pluviométrico, em determinadas épocas, da região do presente estudo, aproximadamente 1200 mm ano<sup>-1</sup>, foi suficiente para lixiviar todo o Na acumulado nas camadas superficiais para as camadas sub-superficiais.

Só são considerados sódicos os solos com valores de PST superiores a 15% [11]. Neste estudo o valor máximo obtido foi de 4%. Isto mostra que mesmo na época de seca, época de maior intensidade de irrigação, por consequência maior adição de Na no solo, a PST esteve longe de 15%, ou seja, sem risco de sodificação, mesmo na maior lâmina de irrigação aplicada (200%). Contudo, ressalta-se que o solo foi irrigado por apenas dois anos, assim, estudos a longo prazo são fundamentais.

Foi observado a redução dos teores de K proporcional ao aumento das lâminas de irrigação, conforme observado em estudos anteriores [12]; [14]. Este efeito foi também inversamente proporcional ao teor de Na trocável no solo. Isto deve-se provavelmente: (i) ao aumento do teor de Na no complexo de troca que proporciona o deslocamento de K para a solução do solo seguida por sua lixiviação. Concentrações excessivas de Na no solo podem inibir a absorção de K, Ca e Mg pelas plantas [12]. Conforme estes autores, para que isto seja evitado a relação Na:Ca não deve ser superior a 10:1. Neste estudo o valor máximo desta razão (1:4) foi muito inferior a este valor; e (ii) As lâminas de irrigação excessivas (125, 150 e 200%) podem também ter influenciado na lixiviação do K, que assim como o Na, é um elemento facilmente lixiviável. Embora tenha ocorrido uma pequena redução no teor de K trocável, mesmo no tratamento com a lâmina mais elevada (200%), o teor de K trocável continua dentro do limite de interpretação médio (1,6-3,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) [15] para culturas perenes.

### Conclusões

O presente estudo revelou que a irrigação com efluente de esgoto tratado elevou o teor de Na no solo proporcionalmente à lâmina de irrigação. Contudo, o índice pluviométrico da região em estudo foi suficiente para lixiviar o excesso de Na.

A irrigação com lâminas excessivas de irrigação proporcionou a redução no teor de K trocável. Com base nestes resultados e visando a otimização dos aspectos ambientais e da sustentabilidade da fertilidade do solo, sugere-se a lâmina de 100%, que proporcionará desta forma a mínima entrada de Na no solo e redução de perdas de K.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processo 06/56419-6).

### Referências

- [01] AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. 2009 [Online]. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília. Homepage: < <http://conjuntura.ana.gov.br> >.
- [02] DAILY, G.; DASGUPTA, P.; BOLIN, B.; CROSS, P.; GUERNY, J. DU; EHRlich, P.; FOLKE, C.; JANSSON, A.M.; JANSSON, B.; KAUTSKY, N.; KINZING, A.; LEVIN, S.; MALER, K.; PINSTRUP-ANDERSEN, P.; SINISCALCO, D.; WALKER, B. 1998. Global food supply: food production, population growth, and the environment. *Science*, 281:1291-1292.
- [03] BASTOS, R.K.X. 2003. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES - FINEP, 267p.
- [04] GUO, L.; SIMS, R. 2003. Soil response to eucalypt tree planting and meatworks effluent irrigation in a short rotation forest regime in New Zealand. *Bioresource Technology*, 87:341-347.
- [05] DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. 1977. Crop water requirements. Rome, Italy: FAO *Irrigation and Drainage*. (FAO paper 24).
- [06] MEHLICH, A. 1953. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH<sub>4</sub>*. North Carolina Soil Test Division (Mimeo 1953), Raleigh, NC.
- [07] RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., 2001. eds. *Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo. 285p.
- [08] SAS System. 2004. SAS Institute Inc. *SAS OnlineDoc® 9.1.2*. Cary, NC: SAS Institute.
- [09] ABROL, I.P. YADAV, J.S.P., MASSOUD, F.I. 1988. Salt-Affected soils and their management, FAO Soil Bulletin 39, *Food and agriculture organization of the united nations*, Rome.
- [10] FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F.J. 2007. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Roberto Ferreira de Novais; Victor Hugo Alvarez V.; Nairam Félix de Barros; Renildes Lúcio F. Fontes; Reinaldo Bertola Cantarutti; Júlio César Lima Neves. (Org.). *Fertilidade do Solo*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. XVI, 929-954.
- [11] US Salinity Laboratory Staff, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA *Agricultural Handbook* No. 60. US Government Printing Office, Washington, DC.
- [12] GORHAM, J. 2007. Sodium, In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. (Eds.) *Handbook in Plant Nutrition*, Boca Raton: CRC-Press. p.569-575.
- [13] MORGAN, K.T.; WHEATON, T.A.; PARSONS, L.R.; CASTLE, W.S. 2008. Effects of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus. *HortScience* 43: 459-464.
- [14] FONSECA, A.F. 2005. *Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem*. Tese de Doutorado, USP/ESALQ, Piracicaba.
- [15] RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. 1996. (Ed.). *Recomendações de*

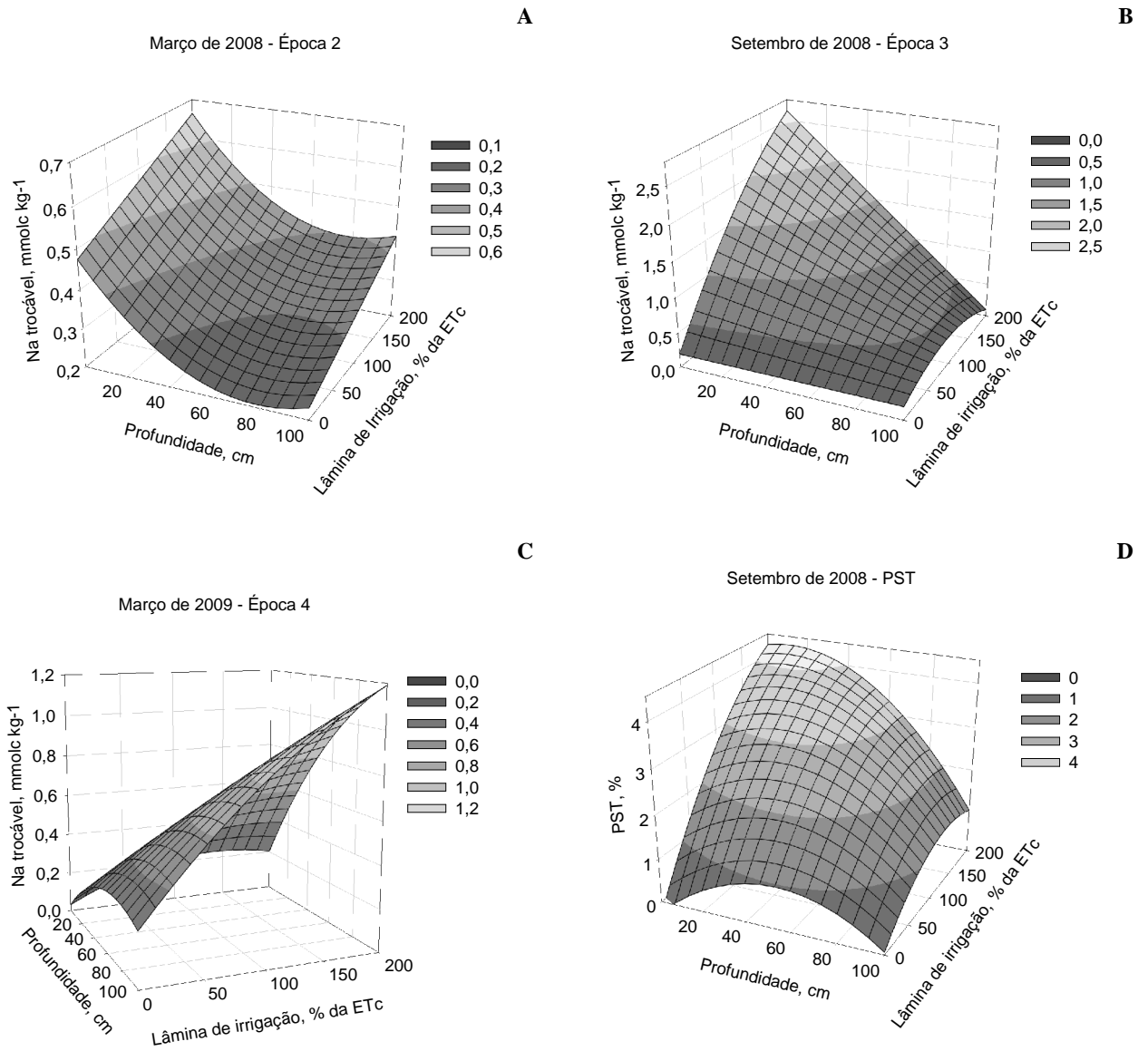


Figura 1 A, B, C– Influência das lâminas de irrigação no teor de Na trocável nas diferentes camadas do perfil do solo em diferentes épocas de amostragem.

Figura 1 D – Influencia das lâminas de irrigação na porcentagem de sódio trocável (PST) nas diferentes camadas do perfil do solo.

A - Março de 2008  $y=0,4739907336+0,0009516304 \cdot \text{trat}-0,0068879825 \cdot \text{prof}+0,0000445179 \cdot \text{prof}^2$ .  $R^2=0,388^{**}$

B - Setembro de 2008  $y=0,1891858142+0,0175739825 \cdot \text{trat}-0,000026660 \cdot \text{trat}^2-0,0001270650 \cdot \text{prof} \cdot \text{trat}$   $R^2=0,839^{**}$

C - Março de 2009  $y=0,031435+0,002796 \cdot \text{trat}+0,007460 \cdot \text{prof}-0,000009653 \cdot \text{trat}^2+0,000038543 \cdot \text{prof} \cdot \text{trat}-0,000052947 \cdot \text{prof}^2$ .  $R^2=0,685^{**}$

D - Setembro de 2008  $y=-0,234970+\text{trat} \cdot 0,034962+\text{prof} \cdot 0,044686-\text{trat} \cdot \text{trat} \cdot 0,000062523-\text{prof} \cdot \text{trat} \cdot 0,000177-\text{prof} \cdot \text{prof} \cdot 0,000417$ .  $R^2=0,780^{**}$ .  $\text{PST}\% = \text{Na}/(\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}+\text{H}+\text{Al}+\text{Na}) \cdot 100$ .

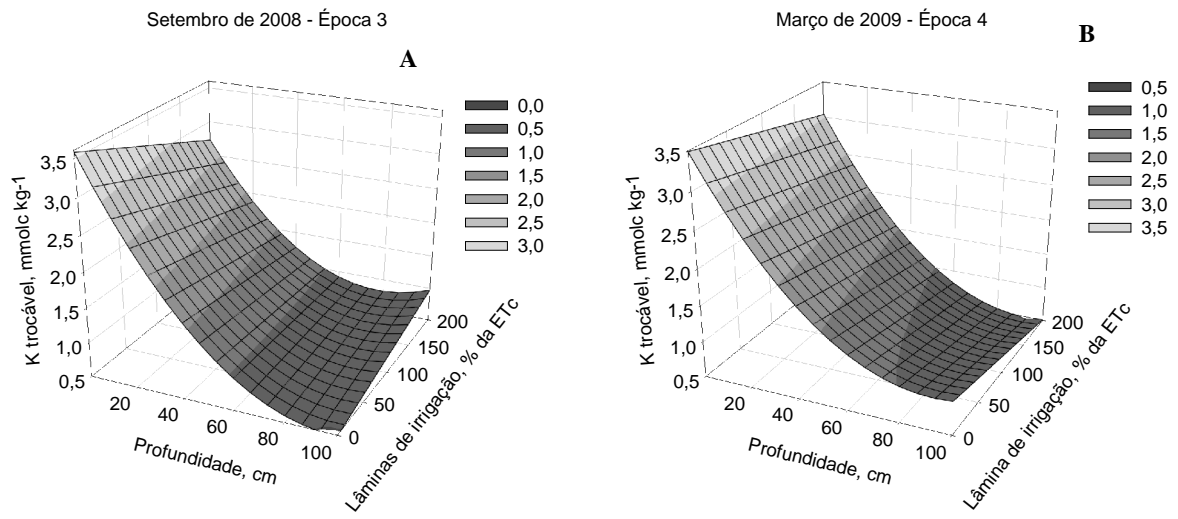


Figura 2 A e B – Influência das lâminas de irrigação no teor de K trocável nas diferentes camadas do perfil do solo em diferentes épocas de amostragem.

Setembro de 2008  $y=3,573051273-0,004239905 \cdot \text{trat}-0,062541649 \cdot \text{prof}+0,000066791 \cdot \text{trat} \cdot \text{prof}+0,000316713 \cdot \text{prof}^2$   $R^2=0,735^{**}$ .

Março de 2009  $y=3,489147851-0,002265530 \cdot \text{trat}-0,054736079 \cdot \text{prof}+0,000294443 \cdot \text{prof}^2$   $R^2=0,856^{**}$ .

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.