

SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DO VOLUME DO SOLO MOLHADO PARA GOTEJADORES SUBSUPERFICIAIS EM DIFERENTES VAZÕES

KATARINA LIRA GRECCO¹, CLAUDINEI FONSECA SOUZA²

¹ Doutora em Ciências, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), (19) 992330596, klgrecco@usp.br;

² Professor Doutor Associado 2, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar/CCA), cfsouza@ufscar.br.

Apresentado no

XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: O correto dimensionamento dos sistemas de irrigação é importante para alcançar o uso racional de água e nutrientes, uma vez que a escassez de água se tornou uma preocupação para muitos países. Esse dimensionamento é possível com informações sobre a dinâmica da água e dos nutrientes no volume do solo molhado. Modelos matemáticos podem ser utilizados para obter essas informações através de propriedades físico-hidráulicas do solo, sendo o HYDRUS-2D um modelo amplamente utilizado. Portanto, o objetivo deste estudo foi simular a movimentação de água e potássio em um perfil de solo arenoso utilizando o modelo HYDRUS-2D através de gotejadores subsuperficiais em diferentes vazões no cultivo de cana-de-açúcar. O solo escolhido foi Neossolo Quartzarênico com o espaçamento e profundidade de gotejadores de 0,40 e 0,20 m, respectivamente, nas vazões de 1,0 e 1,6 L h⁻¹. Dez aplicações de 1 L com solução de potássio na concentração de 1,7 mmol m⁻³ foram realizadas. As simulações apresentaram o melhor desempenho na vazão de 1,6 L h⁻¹. O volume do solo molhado nesta vazão permaneceu na profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar e próximo à superfície do solo, evitando impactos econômicos e ambientais devido às perdas de água e potássio para camadas mais profundas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: fertirrigação; modelo matemático; projeto de irrigação.

NUMERICAL SIMULATIONS OF WETTED SOIL VOLUME FOR SUBSURFACE DRIPPERS IN DIFFERENT FLOW RATES

ABSTRACT: The correct setting of irrigation systems is important to achieve a rational use of water and nutrients since water scarcity has become a concern for many countries. This setting is possible with information on water and nutrient dynamics in the wetted soil volume. Mathematical models can be used to obtain this information through soil physical-hydraulic properties, being the HYDRUS-2D a model widely used. Therefore, the aim of this study was to simulate water and potassium movement in a sandy soil profile by using the HYDRUS-2D model through subsurface drippers in different flows rates in sugarcane cultivation. The soil chosen was a Psamment (Ferralic Arenosol) with dripper spacing of 0.40 m, depth of 0.20 m, and flow rates of 1.0 and 1.6 L h⁻¹ were used. Ten applications of 1 L with a potassium solution at a concentration of 1.7 mmol m⁻³ were carried out. The simulations presented the best performance in flow rate of 1.6 L h⁻¹. The wetted soil volume in this setting remained on the effective depth of the sugarcane root system and close to the soil surface, avoiding economic and environmental impacts due to water and potassium losses for deeper soil layers.

KEYWORDS: fertigation; mathematical model; irrigation project.

INTRODUÇÃO: A escassez de água é uma das maiores preocupações dos governos em todo o mundo. A irrigação utiliza mais de 70% do consumo total de água e as estratégias globais concentram-se na necessidade de melhorar o uso dos recursos naturais. O conhecimento das dimensões do volume do solo molhado é um aspecto essencial para melhorar o uso de água e nutrientes, permite definir informações importantes, como frequência de irrigação, espaçamento dos gotejadores, dimensionamento hidráulico e manejo da irrigação (HAO et al., 2007; SOUZA; FOLEGATTI, 2010). Os testes em campo são a maneira mais confiável para determinar o volume do solo molhado para projetos de irrigação, uma vez que os gotejadores são instalados em locais representativos e o conteúdo de água é medido pelo método

gravimétrico (KELLER; BLIESNER, 1990). Assim, a determinação de campo é demorada, uma vez que as amostras precisam ser secas a 105°C por 48 h pelo método gravimétrico, têm um alto custo devido ao uso de gotejadores e têm impactos ambientais devido à remoção de amostras de solo indeformadas. Uma alternativa seria a utilização de modelos matemáticos que simulam o volume do solo molhado em relação às propriedades físico-hidráulicas do solo e parâmetros do transporte de solutos, um exemplo desses modelos é o HYDRUS-2D. Desta forma, este estudo visa simular o movimento de água e potássio no perfil de solo arenoso utilizando o modelo HYDRUS-2D através de gotejadores subsuperficiais no espaçamento de 0,40 m e profundidade de 0,20 m para as vazões de 1,0 e 1,6 L h⁻¹.

MATERIAL E MÉTODOS: O material de solo escolhido foi o Neossolo Quartzarênico. Os gotejadores utilizados nas simulações numéricas possuíam vazões de 1,0 e 1,6 L h⁻¹. Dois gotejadores com a mesma vazão foram posicionados no espaçamento e profundidade de 0,40 e 0,20 m, respectivamente. Nas simulações, dez aplicações de 1 L com solução de potássio na concentração de 1,7 mmol m⁻³ foram realizadas. Essa solução foi aplicada a cada hora, de acordo com Souza et al. (2006).

O processo de irrigação por gotejamento subsuperficial foi simulado utilizando-se o modelo HYDRUS-2D (ŠIMŮNEK; ŠEJNA; VAN GENUCHTEN, 1999) baseado na seguinte forma da equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r K(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \right] - S(h) \quad (1)$$

em que: h é o potencial mátrico (cm), t é o tempo (dia), r é a coordenada radial (cm), z é a coordenada vertical (cm), K é a condutividade hidráulica (cm dia⁻¹) e S é a absorção de água pelo sistema radicular (dia⁻¹). As propriedades hidráulicas do solo foram descritas usando as equações padrão de van Genuchten (1980) dadas por:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (2)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^n \right]^2 \quad (3)$$

em que: θ_r e θ_s são os conteúdos de água no solo residual e saturado (m³ m⁻³), respectivamente, α (m⁻¹), n e m (adimensionais) são parâmetros da curva de retenção de água do solo, com $m = 1 - 1/n$, e S_e é a saturação efetiva dada por:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

As simulações do transporte de potássio foram realizadas usando a equação tridimensional de dispersão-advectação dada por:

$$\frac{\partial \theta RC}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\theta D_{rr} \frac{\partial C}{\partial r} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z} - q_r C \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\theta D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z} - q_z C \right] - S(h) C_s \quad (5)$$

em que: C é a concentração da solução (mg cm⁻³), C_s é a concentração do soluto retirada pela captação da água pelas raízes (mg cm⁻³), R é o fator de retardamento (adimensional), q_r e q_z são os fluxos dos fluxos volumétricos radial e vertical (cm dia⁻¹), respectivamente, e D_{rr} , D_{rz} e D_{zz} são componentes do tensor de dispersão (cm² dia⁻¹).

O detalhamento temporal foi o mesmo para todas as simulações numéricas, com o tempo inicial de zero e o tempo final de 10 h. Para o detalhamento espacial, utilizou-se uma malha com elementos finitos estruturados e discretização horizontal e vertical de 0,05 e 0,60 m, respectivamente, para a formação de cada retângulo-triângulo na malha. Os fluxos de água foram determinados através da área do volume de solo molhado (0,010612 e 0,023891 m²) de cada vazão, sendo possível calcular os fluxos de 0,047 e 0,033 m h⁻¹ para todas as simulações. A seção vertical do perfil do solo foi desenhada no modelo HYDRUS-2D e apresentou 0,60 m de altura e 0,40 m de largura. As escolhas das simulações de água e potássio para a representação gráfica foram as da 1^a (1 h), 5^a (5 h) e 10^a (10 h) aplicações para cada vazão do gotejador. A condição limite superior não apresentou fluxo e a condição limite inferior apresentou drenagem livre. As condições iniciais de teor de água e concentração de potássio no solo foram de 0,13 m³ m⁻³ e 5,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 mostra as simulações da distribuição de água com um espaçamento e profundidade dos gotejadores de 0,40 e 0,20 m, respectivamente, para as vazões 1,0 e 1,6 L h⁻¹. Na primeira vazão, a sobreposição ocorreu a partir de 0,25 m³ m⁻³. Não foi observada

sobreposição dos maiores conteúdos de água ($0,27$ a $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo assim, volumes superiores a 10 L poderão ser aplicados, evitando danos à aeração do solo. O volume com os maiores conteúdos de água permaneceu acima de $0,40 \text{ m}$, nessa profundidade foram encontradas 80% das raízes de cana-de-açúcar para três cultivares no 205° dia após a soca (LANDELL et al., 2005; OHASHI et al., 2015), o qual indica a profundidade efetivas das raízes dessa cultura. A distância do volume de solo molhado em relação a superfície do solo não se tornou uma desvantagem, pois o sistema radicular da cana-de-açúcar está localizado até $0,20 \text{ m}$ ao 34° dia após o plantio (BATTIE LACLAU; LACLAU, 2009; SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

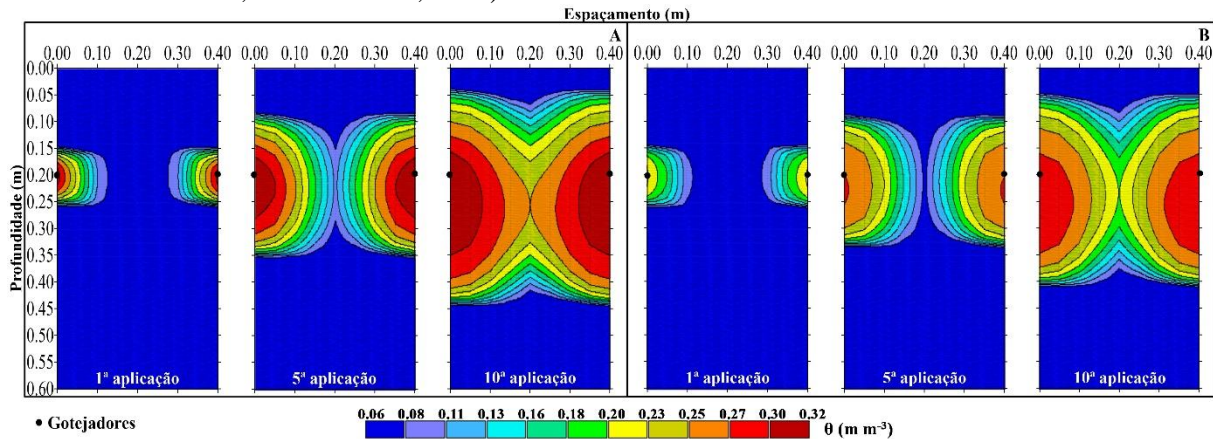


Figura 1. Distribuição dos conteúdos de água no solo em um espaçamento e profundidade entre gotejadores de $0,40$ e $0,20 \text{ m}$, respectivamente, para as vazões de $1,0$ (A) e $1,6$ (B) L h^{-1} .

Já para a vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$, a sobreposição do volume do solo molhado quase permaneceu acima da profundidade efetiva na 10^a aplicação, indicando o volume de água disponível para as plantas sem perdas de água. A disponibilidade de água nos conteúdos de $0,27$ a $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para plantas localizadas entre os gotejadores pode ser uma vantagem para esse dimensionamento do sistema de irrigação, evitando a escassez de água para essas plantas. O volume com os maiores conteúdos de água ($0,30$ a $0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foi localizado na profundidade efetiva das raízes.

Na Figura 2 apresenta as simulações da distribuição de potássio com um espaçamento e profundidade dos gotejadores de $0,40$ e $0,20 \text{ m}$, respectivamente, para as vazões $1,0$ e $1,6 \text{ L h}^{-1}$. Nenhuma sobreposição das maiores concentrações de potássio ($1,25$ a $1,53 \text{ mmol m}^{-3}$) foi observada para a vazão de $1,0 \text{ L h}^{-1}$. A sobreposição iniciou-se a partir de $0,70 \text{ mmol m}^{-3}$ na 5^a aplicação, sendo possível aplicar maiores quantidades do íon pela fertirrigação. Porém, com precaução em relação as perdas por lixiviação para camadas mais profundas do solo, pois o volume formado na última aplicação ultrapassou a profundidade efetiva das raízes.

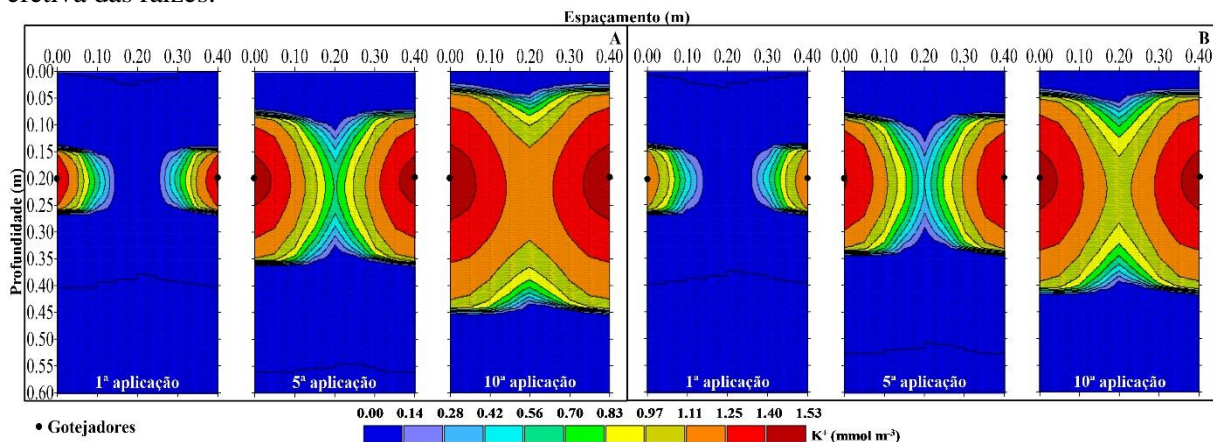


Figura 2. Distribuição das concentrações de potássio no solo em um espaçamento e profundidade entre gotejadores de $0,40$ e $0,20 \text{ m}$, respectivamente, para as vazões de $1,0$ (A) e $1,6$ (B) L h^{-1} .

As maiores concentrações de potássio não foram sobrepostas para a vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$. Todavia, a sobreposição iniciou-se em $0,42 \text{ mmol m}^{-3}$, sendo esta concentração menor que a vazão anterior. As perdas de potássio foram muito baixas, porque todo o volume de potássio aplicado permaneceu na

profundidade efetiva na última aplicação. Isso mostrou uma vantagem em escolher esse dimensionamento do gotejamento subsuperficial, pois uma redução nas perdas de nutrientes e água foram observadas nessa vazão. Além disso, as concentrações de 1,25 a 0,97 mmol m⁻³ de potássio estarão disponíveis para plantas localizadas entre gotejadores, evitando deficiência nutricional.

CONCLUSÕES: Observamos que o espaçamento entre gotejadores, profundidade e vazão de 0,40 m, 0,20 m e 1,6 L h⁻¹, respectivamente, apresentaram o melhor desempenho através de simulações numéricas pelo modelo HYDRUS-2D. Os motivos foram relacionados: a) ausência de maior distanciamento entre o volume de solo molhado e a superfície do solo, b) ausência de danos à aeração do solo devido à região saturada, c) as plantas localizadas entre os gotejadores não apresentaram deficiência hídrica e nutricional, e d) o volume aplicado permaneceu na profundidade efetiva das raízes da cana-de-açúcar (0,40 m), evitando impactos econômicos e ambientais, com perdas de água e potássio para camadas mais profundas do solo.

REFERÊNCIAS:

- BATTIE LACLAU, P.; LACLAU, J.-P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 114, n. 3, p. 351–360, dez. 2009.
- HAO, A. et al. Estimation of Wet Bulb Formation in Various Soil During Drip Irrigation. **Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University**, v. 52, n. 1, p. 187–193, 2007.
- KELLER, J.; BLIESNER, I. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- LANDELL, M. G. A. et al. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil (Boletim Técnico, No. 197)**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2005.
- OHASHI, A. Y. P. et al. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 131–138, 29 abr. 2015.
- ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; VAN GENUCHTEN, M. T. **The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple Solutes in variably-saturated media. Version 2.0**, 1999.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2–3, p. 169–183, jun. 2005.
- SOUZA, C. F. et al. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 12–25, 2006.
- SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V. Spatial and temporal characterization of water and solute distribution patterns. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 1, p. 09-15, fev. 2010.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.