

APLICATIVO WEB PARA SIMULAÇÃO HIDRÁULICA E DE UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA EM SUBUNIDADES DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Gustavo Lopes Muniz¹, Antonio Pires De Camargo², Nicolás Duarte Cano³, Jonesmar Oliveira⁴, Johnnatan Alexander Yepes⁵, José Antônio Frizzone⁶

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo desenvolver um aplicativo WEB para simulação hidráulica e obtenção de indicadores de uniformidade de aplicação de água em subunidades de irrigação localizada. O aplicativo limita-se a solucionar casos nos quais a subunidade apresenta linhas laterais em nível conectadas em uma linha de derivação que pode possuir um ou vários diâmetros comerciais e instalada sobre declive regular ou irregular. O equacionamento para simulação hidráulica da linha lateral e da linha de derivação utiliza a Equação Universal de perda de carga e permite levar em conta perdas localizadas provocadas pelos emissores ao longo das linhas laterais e pelos conectores iniciais de laterais ao longo da linha de derivação. A carga de pressão na entrada da subunidade deve ser conhecida para realização das simulações. Os cálculos nas linhas laterais utilizam solução analítica baseada no método Energy Grade Line (EGL), enquanto os cálculos na linha de derivação são realizados pelo método trecho-a-trecho. A simulação permite a rápida obtenção dos indicadores q_{var} e Uniformidade de Emissão (UE) para a subunidade, além de vazão total na entrada da subunidade.

PALAVRAS-CHAVE: perda de carga; EGL; microirrigação

WEB APPLICATION FOR SIMULATION OF HYDRAULICS AND WATER APPLICATION UNIFORMITY IN MICROIRRIGATION SUBUNITS

ABSTRACT: The objective of this work was to develop a WEB application for simulation of hydraulics and to obtain indicators of water application uniformity in microirrigation subunits. The WEB application is limited to solving cases in which the subunit presents lines in level

¹ Eng. Agrícola e Ambiental, doutorando em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP. Av. Cândido Rondon, 501, Cidade Universitária, CEP 13083-875, Campinas – SP. e-mail: gustavolopesmuniz@yahoo.com.br

² Prof. Doutor, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

³ Eng. Agrícola, doutorando em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

⁴ Estudante de graduação em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

⁵ Eng. Agrícola, doutorando em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

⁶ Prof. Titular, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

connected in a manifold that can have one or several commercial diameters and installed on regular or irregular slope. The equation for hydraulic simulation of the line and of the manifold uses the Universal Equation of head loss and considers the localized losses caused by the emitters along the lines and by the start connectors of lines along the manifold. The pressure load at the subunit input must be known to perform the simulations. The calculations in the lines use analytical solution based on the Energy Grade Line (EGL) method, while the calculations in the derivation line are carried out by the method step-by-step. The simulation allows quick obtaining of indicators q_{var} and Emission Uniformity (EU) for the irrigation subunit, in addition to total flow rate at the subunit entrance.

KEYWORDS: head loss; EGL; microirrigation

INTRODUÇÃO

É comum que subunidades de irrigação localizada sejam projetadas de modo que as linhas laterais sejam instaladas em nível, utilizando-se um único modelo de tubo-gotejador em toda a subunidade. Em terrenos com declividade irregular, também é comum que a linha de derivação seja instalada no sentido perpendicular ao declive do terreno, podendo haver associação em série de condutos com diâmetros distintos e irregularidade de cotas topográficas ao longo dos trechos que compõem a linha de derivação. A carga de pressão na entrada da subunidade é conhecida, podendo eventualmente ser mantida constante por válvula reguladora de pressão instalada no cavalete de controle de fluxo de água para a subunidade. Sabe-se também que as perdas localizadas de carga proporcionadas pela inserção dos emissores ao longo da linha lateral e pela inserção de conectores iniciais ao longo da linha de derivação são relevantes no projeto hidráulico de subunidades e devem ser consideradas (BOMBARDELLI et al., 2019; RETTORE NETO et al., 2014; VILAÇA et al., 2017). Recomenda-se que subunidades de irrigação localizada sejam projetadas de modo a satisfazer critério de uniformidade de vazão dos emissores, sendo que o critério $q_{var} \leq 10\%$ ou Uniformidade de Emissão (UE) de aproximadamente 90% são indicadores típicos de adequada uniformidade (FRIZZONE et al., 2012). Para estimativa acurada de ambos os indicadores de uniformidade é necessário conhecer valores mínimo, médio e máximo de vazão dos emissores na subunidade, sendo que essa tarefa se torna complexa ao assumir que a linha de derivação pode possuir vários diâmetros associados em série e pode estar instalada sobre terreno composto por trechos com declividade irregular. Tendo em vista tal situação prática, no presente trabalho desenvolveu-se um aplicativo WEB

para a simulação hidráulica e de uniformidade de aplicação de água em subunidades de irrigação por gotejamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O aplicativo WEB foi desenvolvido utilizando as linguagens de programação HTML, CSS e Javascript. As rotinas de cálculo envolvem iterações e foram implementadas em Javascript. O aplicativo limita-se a solucionar casos nos quais a subunidade apresenta linhas laterais em nível conectadas em uma linha de derivação, que pode possuir um ou vários diâmetros comerciais e instalada sobre declive regular ou irregular (Figura 1).

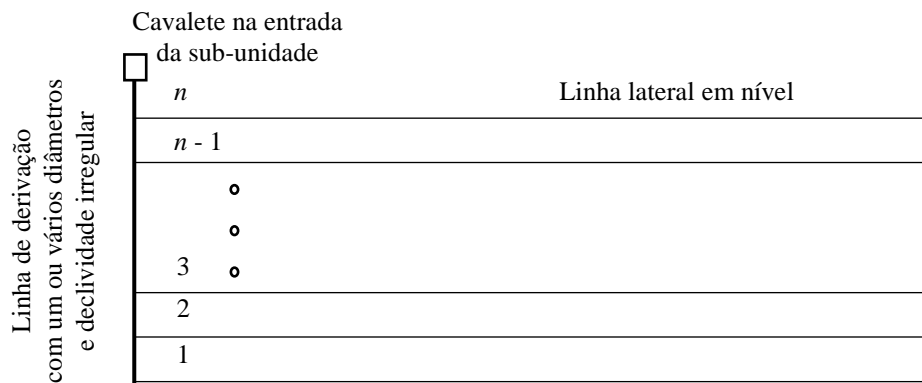


Figura 1. Esquema da subunidade a ser simulada.

A simulação hidráulica requer os seguintes dados de entrada: coeficiente de viscosidade cinemática da água (ν); comprimento da linha lateral (L_{LL}); diâmetro da linha lateral (D_{LL}); espaçamento entre emissores na linha lateral (S_E); coeficientes da equação vazão-pressão do emissor (k e x); perda localizada de carga provocada pela inserção de cada emissor na linha lateral, expressa em termos de comprimento equivalente de canalização (L_{eqLL}); coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação do emissor (CVF_q); número de linhas laterais conectadas na linha de derivação (N_{LL}); espaçamento entre linhas laterais (S_{LL}); diâmetro da linha de derivação (D_{LD}); perda localizada de carga provocada pela inserção de cada conector inicial na linha de derivação, expressa em termos de comprimento equivalente de canalização (L_{eqLD}); rugosidade da superfície da tubulação da linha de derivação (ϵ); carga de pressão na entrada da subunidade (H_{in}); número de emissores por planta (N_p); declividade da linha de

derivação, que é configurável trecho-a-trecho (Δz_i); e, diâmetro da linha de derivação, que é configurável trecho-a-trecho (D_{LD_i}).

A solução descrita na sequência é obtida por iterações. Na primeira iteração assume-se que a carga média de pressão em todas as linhas laterais (h_{med}) é igual a carga de pressão na entrada da subunidade (H_{in}) e, com isso, é possível calcular a vazão média dos emissores em cada linha lateral (q_{med}) utilizando-se a equação vazão-pressão característica do emissor (Eq. 1):

$$q_{med} = k h_{med}^x \quad (1)$$

Em que: q_{med} é a vazão média dos emissores na linha lateral ($L \text{ h}^{-1}$); h_{med} é a carga de pressão média na linha lateral (m); k e x são os coeficientes da equação vazão-pressão do emissor.

A vazão na entrada de cada linha lateral (Q_{LL_i}) é obtida pelo produto entre q_{med} e o número de emissores na linha lateral. A perda total de carga em cada linha lateral é estimada pela equação Universal com fator de atrito calculado pela equação de Blasius e fator de correção de perda de carga que assume número grande de saídas ($F = \frac{1}{m+1}$) (Eq. 2). As perdas localizadas proporcionadas pela inserção dos emissores ao longo da lateral são consideradas pelo coeficiente adimensional λ_{LL} , que é obtido pela Eq. 3.

$$h_{f_{LL}} = \frac{0,02458 v^{0,25} q_{med}^{1,75} L_{LL}^{2,75} \lambda_{LL}}{D_{LL}^{4,75} S_E^{1,75} 2,75} \quad (2)$$

$$\lambda_{LL} = \frac{L_{eq_{LL}} + S_E}{S_E} \quad (3)$$

A vazão, a perda de carga e a carga de pressão ao longo da linha de derivação são calculadas pelo método trecho-a-trecho, iniciado a partir da extremidade final da linha de derivação. A vazão de cada linha lateral é determinada com base em h_{med} e q_{med} correspondente a cada linha lateral e os valores de vazão são acumulados sequencialmente em cada trecho na direção da entrada da subunidade. O fator de atrito para os cálculos de perda de carga na linha de derivação é estimado pela equação de Swamee (SWAMEE, 1993) (Eq. 4). A perda total de carga na linha de derivação é calculada trecho-a-trecho utilizando a equação Universal com fator de atrito calculado pela Eq. 4 e leva em conta perdas localizadas de carga devido à inserção de conectores iniciais na linha de derivação (Eq. 5).

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{R_e} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{R_e^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{R_e} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (4)$$

$$h_{f_i} = f_i \frac{S_{LL} \lambda_{LD} V_i^2}{D_{LDi} 2 g} \quad (5)$$

Em que: h_{f_i} é a perda total de carga em um trecho i da linha de derivação; f_i é o fator de atrito para um trecho i ; S_{LL} é o espaçamento entre linhas laterais, assumido como constante na subunidade; λ_{LD} é o coeficiente adimensional utilizado para considerar as perdas localizadas proporcionadas pela inserção dos conectores iniciais ao longo da linha de derivação, sendo obtido de modo similar a Eq. 3, na qual S_E e L_{eqLL} devem ser substituídos por S_{LL} e L_{eqLD} , respectivamente; D_{LDi} é o diâmetro interno da linha de derivação no trecho considerado; V_i é a velocidade média de escoamento no trecho; g é a aceleração da gravidade ($=9,81 \text{ m s}^{-2}$).

Estimada a perda de carga, calcula-se a carga de pressão em cada trecho da linha de derivação (Eq. 6), partindo da entrada da subunidade, onde a carga de pressão é conhecida (H_{in}). A carga de pressão na entrada da linha lateral n é obtida subtraindo a perda de carga e a variação de nível no trecho entre a entrada da subunidade e a respectiva linha lateral. Para as demais linhas laterais, utiliza-se a mesma lógica, adotando-se a Eq. 6. A variação de carga cinética nos trechos é desprezível.

$$h_i = h_{i+1} - \Delta z_i - h_{f_i} \quad (6)$$

Em que: h_i é a carga de pressão na entrada da linha lateral i ; h_{i+1} é a carga de pressão na entrada da linha lateral à montante; Δz_i é a variação de carga de posição no trecho; h_{f_i} é a perda total de carga no trecho.

Conhecidas a perda de carga em cada linha lateral e a carga de pressão na entrada de cada uma, obtém-se a carga mínima de pressão na linha lateral. Visto que todas as linhas laterais estão em nível, a carga mínima de pressão na lateral sempre está localizada no final da lateral e é obtida subtraindo-se a carga de pressão na entrada da lateral da perda total de carga na lateral. A partir dos valores máximo e mínimo de carga de pressão na linha lateral, obtém-se os valores correspondentes de vazão dos emissores. Para linhas laterais em nível, a vazão média dos emissores na linha lateral pode ser aproximado pela Eq. 7 (FRIZZONE et al., 2012).

$$q_{med_i} = \frac{2 q_{min_i} + q_{max_i}}{3} \quad (7)$$

Um novo valor da carga média de pressão na linha lateral é obtida isolando-se h_{med} na Eq. 1. O processo de iterações consiste em substituir esse novo valor de h_{med} de cada linha lateral e refazer os cálculos até que o erro entre os valores de h_{med} em todas as linhas laterais sejam inferiores a um erro arbitrado em 0,01 m ou até que se atinja o número máximo de iterações, arbitrado em 100.

Obtida a convergência de resultados, sabe-se a carga de pressão na entrada de cada linha lateral (h_{max}) e é possível estimar a carga de pressão em qualquer posição a partir do início da linha lateral pela equação do perfil de pressão, que é deduzida a partir de conceitos de Energy Grade Line (EGL). Portanto, também é possível estimar a vazão dos emissores em qualquer posição dentro da subunidade. Os indicadores de uniformidade de aplicação q_{var} e Uniformidade de Emissão são calculados conforme Eqs. 8 e 9.

$$q_{var} = 100 \frac{q_{max_{SU}} - q_{min_{SU}}}{q_{max_{SU}}} \quad (8)$$

$$UE = 100 \left(1 - \frac{1,27 CVF_q}{\sqrt{N_p}} \right) \frac{q_{min_{SU}}}{q_{med_{SU}}} \quad (9)$$

Em que: q_{var} representa a variação de vazão dos emissores na subunidade; $q_{max_{SU}}$ e $q_{min_{SU}}$ são a máxima e a mínima vazão de emissores na subunidade; UE é a Uniformidade de Emissão na subunidade; CVF_q é o coeficiente de variação de vazão dos emissores, devido a efeitos de fabricação; N_p é o número de emissores por planta na subunidade; $q_{med_{SU}}$ é o valor médio de vazão dos emissores na subunidade, sendo aproximado pela média de vazões médias dos emissores nas linhas laterais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do aplicativo WEB foram confrontados com resultados obtidos em planilha eletrônica de cálculo e validados com três dígitos significativos. O diâmetro e a declividade em cada trecho da linha de derivação podem ser configurados pelo usuário na interface gráfica da página WEB. A simulação permite a rápida obtenção dos indicadores q_{var} e Uniformidade de Emissão (UE) para a subunidade, além de vazão total na entrada da subunidade. A carga de pressão na entrada da subunidade deve ser conhecida para realização das simulações. Os cálculos nas linhas laterais utilizam solução analítica baseada no método Energy Grade Line

(EGL) (WU, 1992), porém desprezam a variação de carga cinética na lateral. Os cálculos na linha de derivação são realizados pelo método trecho-a-trecho e consideram que a variação de carga cinética também é negligenciável. O diâmetro e a declividade em cada trecho da linha de derivação podem ser configurados pelo usuário na interface gráfica da página WEB. A perda localizada de carga provocada pela protrusão de emissores ao longo de linhas laterais pode ser estimada por equações que levam em contato a geometria do emissor e o diâmetro da linha lateral, havendo diversos modelos na literatura (FRIZZONE et al., 2012). De modo similar, as perdas localizadas provocadas pela protrusão de conectores de início de linha lateral ao longo da linha de derivação podem ser estimadas com base em equações conhecidas (VILAÇA et al., 2017). O método dos comprimentos equivalentes caracteriza uma metodologia simples para levar em conta tais perdas de carga, sendo que o uso de um coeficiente adimensional λ (Eq. 3) que multiplica o comprimento físico da canalização costuma ser empregado no projeto de linhas laterais (FRIZZONE et al., 2012). Quando as perdas localizadas forem de difícil estimativa ou, caso o usuário deseje negligenciá-las, basta adotar $L_{eq} = 0$, que conduz a $\lambda = 1$.

O aplicativo WEB está disponível em <https://apcpires-simulasubunidade.netlify.com/>, mas em breve deve ser migrado para uma página do Laboratório de Hidráulica e Irrigação – LHI/FEAGRI/UNICAMP, que agrupará outras aplicações para uso em hidráulica e irrigação. Um conjunto de dados de demonstração está pré-definido na página WEB. Em relação a planilhas eletrônicas, aplicações WEB apresentam diversas vantagens, tais como: são mais acessíveis; apresentam menor risco de erros devido a alterações indevidas em rotinas de cálculo por parte do usuário; possibilitam estimativas rápidas utilizando dispositivos portáteis (celular, tablet, etc.); facilitam a atualização de rotinas de cálculo pelo desenvolvedor.

CONCLUSÕES

O aplicativo WEB é útil para realizar a simulação hidráulica e obter indicadores de uniformidade de subunidades de irrigação localizada de forma rápida e acurada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOMBARDELLI, W. W. Á.; CAMARGO, A. P.; FRIZZONE, J. A.; LAVANHOLI, R.; ROCHA, H. S. Local head loss caused in connections used in micro-irrigation systems. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 492–498, 2019.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1. ed. Maringá: Eduem, 2012.

RETTORE NETO, O.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A.; CAMARGO, A. P. Method for determining friction head loss along elastic pipes. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 329–339, 2014.

SWAMEE, P. K. Design of a submarine oil pipeline. **Journal of Transportation Engineering**, [s. l.], v. 119, n. 1, p. 159–170, 1993.

VILAÇA, F. N.; DE CAMARGO, A. P.; FRIZZONE, J. A.; MATEOS, L.; KOECH, R. Minor losses in start connectors of microirrigation laterals. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 35, n. 3, 2017.

WU, I. P. Energy gradient line approach for direct hydraulic calculation in drip irrigation design. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 21–29, 1992.