

## DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UMA SUBUNIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Fernanda Oliveira da Silva<sup>1</sup>, João Batista Toentino Júnior<sup>2</sup>

**RESUMO:** Diversos modelos matemáticos já foram propostos para o dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação. Desta forma, o presente trabalho propôs desenvolver equações numéricas a partir das equações básicas da hidráulica utilizando o método do *backstep*. As equações foram implementadas em linguagem R. Foram aplicados diferentes estudos de caso para o dimensionamento da subunidade, em situações com aclave e com declive. As linhas laterais foram caracterizadas por coeficientes, tal qual um emissor, calculados por meio de simulações, que relacionam a pressão inicial e vazão inicial e a pressão inicial e pressão final. A aplicação das equações resultou em duas matrizes, que representam a vazão e pressão em cada emissor da linha lateral. O método *backstep* possui maior precisão por utilizar as equações básicas da hidráulica, por calcular trecho a trecho e permitir ao usuário conhecer o perfil de vazão, pressão e perda de carga em cada emissor. Os algoritmos desenvolvidos em forma de funções na linguagem de programação R se apresentaram como uma ferramenta prática para o dimensionamento de uma única linha lateral ou uma subunidade de irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** backstep, modelagem hidráulica

## HYDRAULIC DESIGN OF A SUBUNITY OF A DRIP IRRIGATION SYSTEM

**ABSTRACT:** Many mathematical models have already been proposed for the hydraulic design of an irrigation system. In this way, the present study proposed to develop numerical equations from the basic hydraulic equations using the backstep method. The equations were implemented in R language. Different case studies were conducted for subunit design in situations with uphill and downhill. The lateral lines were characterized by coefficients, such as an emitter, calculated by simulations, which relate the initial pressure and initial flow rate and initial pressure and last pressure. The application of the equations resulted in two matrices, which represent the flow

<sup>1</sup> Estudante de Pós Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa postal 101, CEP 89520-000, Curitiba/SC. E-mail: fernanda.oliveira.silva@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Associado, Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba/SC. E-mail: joao.tolentino@ufsc.br

and pressure in each emitter of the lateral line. The backstep method is more accurate because it uses the basic equations of the hydraulics, is calculated step by step, and allow the user to know the flow rate, pressure, and loss head profile of each emitter. The algorithms developed in the form of functions in the programming language R have been presented as a practical tool for the design of a single lateral line or an irrigation subunit.

**KEYWORDS:** backstep, hydraulic modeling

## INTRODUÇÃO

Uma unidade básica de um sistema de irrigação por gotejamento, também chamada de subunidade, é composta pelas linhas de derivação, que conduzem a água até as linhas laterais, que são responsáveis por distribuir a água para a planta por meio dos emissores. Atualmente, tem sido demonstrado um grande interesse pelo dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento (KHEMAIES et al., 2012), uma vez que um sistema dimensionado corretamente traz como benefícios maior uniformidade de aplicação de água e redução do custo de implantação do projeto e de energia (VALIANTZAS, 2002; WU, 2010; YILDIRM, 2015).

Diversas abordagens foram desenvolvidas para otimizar o dimensionamento de um projeto de irrigação por gotejamento, por meio da análise hidráulica do fluxo (MONSERRAT et al., 2018; SADEGHI & PETERS, 2013; YILDIRM, 2015). Muitos modelos matemáticos utilizam o método *backstep* assistido por meio da computação (HATHOOT et al., 1993; JUANA et al., 2004; VALLESQUINO & LUQUE-ESCAMILLA, 2001; YITAYEW & WARRICK, 1988) que tem como diferencial calcular o trecho-a-trecho, sendo assim, calculando com maior precisão a vazão e perda de carga.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um modelo para o dimensionamento hidráulico de uma subunidade de irrigação utilizando o método *backstep*. O modelo será capaz de determinar a pressão e a vazão na entrada da linha lateral e de derivação em situações de aclave ou declive.

## MATERIAL E MÉTODOS

Pelo método do *backstep*, o cálculo da pressão e da vazão em cada emissor é feito iniciando pelo final da linha lateral em direção ao início desta linha. Para isso, a pressão no último emissor é previamente fixada. A vazão em cada elemento da linha lateral é calculada pela soma da vazão do elemento posterior e da vazão do emissor posterior (Equação 1). A

pressão na linha lateral é calculada por meio da soma da pressão no emissor posterior e a perda de carga no elemento da linha lateral (Equação 2). A vazão do emissor é calculada pelas características do emissor e pela pressão no emissor (Equação 3).

$$Q_{i-1} = Q_i + q_i \quad (1)$$

$$H_{i-1} = H_i + hf_{Q_{i-1}} + Z_i \quad (2)$$

$$q_{i-1} = K * H_{i-1}^x \quad (3)$$

Em que,

$Q$  – vazão no elemento da linha lateral,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$q$  – vazão do emissor,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$H$  – pressão no emissor, mca

$hf$  – perda de carga no elemento da linha lateral, m.

$Z$  – cota do emissor, m

$K$  – coeficiente do emissor, adimensional

$x$  – expoente do emissor, adimensional

A subunidade de irrigação pode ser representada por uma matriz bidimensional, em que as linhas laterais são as linhas da matriz e os emissores são representados pelas colunas da matriz. O dimensionamento da linha de derivação foi realizado tal qual uma linha lateral, cujos coeficientes foram ajustados por meio de simulação. Silva & Tolentino Júnior (2016) descreveram a relação entre pressão e vazão no início da linha lateral por uma equação potência, e a relação entre pressão inicial e pressão no final da linha lateral por uma equação linear (Equações 4 e 5).

$$Q_{ini} = a * H_{ini}^b \quad (4)$$

$$H_{ini} = c * H_{fim} \quad (5)$$

Para o cálculo do dimensionamento hidráulico, todas as equações descritas foram implementadas na forma de funções na linguagem computacional R. Foram aplicados diferentes estudos de caso para o dimensionamento da subunidade, em situações com aclive e com declive, utilizando os seguintes parâmetros:

- Coeficiente do emissor (K):  $1,053 \cdot 10^{-6}$
- Expoente do emissor (x): 0,5
- Pressão no fim da linha de derivação (HfimLD): 15 mca
- Diâmetro linha lateral (DLL): 0,025 m
- Diâmetro da linha de derivação (DLD): 0,040 m

- Espaçamento entre linhas laterais (SeLD): 4 m
- Espaçamento entre emissores (SeLL): 1 m
- Número de linhas laterais (nLL): 10 unidades
- Número de emissores (ne): 100 unidades

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o dimensionamento da subunidade de irrigação, as linhas laterais foram caracterizadas por coeficientes calculados por meio de simulações, em que a relação pressão inicial e vazão inicial foi descrito por uma equação potência e a relação entre pressão inicial e pressão final por uma equação linear.

Para a situação com declive de 1%, as equações encontradas foram as seguintes:

$$Q_{ini} = 6,99 * 10^{-5} * H_{ini}^{0,5152} \quad (6)$$

$$H_{ini} = 0,35336 * H_{fim} \quad (7)$$

Já para o estudo com aclave de 1%, as equações foram:

$$Q_{ini} = 7,48 * 10^{-5} * H_{ini}^{0,5003} \quad (8)$$

$$H_{ini} = 0,3775 * H_{fim} \quad (9)$$

A aplicação das equações 1 a 3 resultou em duas matrizes, uma representa a vazão e outra a pressão em cada emissor da linha lateral (Quadros 1 e 2). O perfil de pressão em declive mostrou um comportamento diferente que o estudo de caso em aclave. Para a situação em aclave, a maior pressão está no início da linha lateral e a menor pressão está no último emissor (Figura 1). Já para a situação em declive, a menor pressão está localizada na linha lateral nove e no emissor cinquenta e cinco, com um aumento gradativo até o último emissor (Figura 4).

Em situação de uma área não plana, é usual dividir a linha lateral em dois trechos: aclave e declive. Neste contexto, foram propostos dois algoritmos para determinar o gradiente de pressão e vazão em situações de aclave/declive, quando o usuário desconhece a posição na linha em que está a máxima pressão, uma vez que pode variar de área para área.

Fundamente-se que o ganho de energia por inclinação compensa o gradiente de perda de carga, sendo assim em linhas laterais submetidas a declividade a máxima pressão e vazão pode estar em qualquer emissor (Figura 1 e 2). Conhecer o perfil de vazão e pressão em fase de dimensionamento pode contribuir para a maior uniformidade do sistema em fase de operação.

As funções propostas se apresentaram como uma forma rápida para o dimensionamento de uma linha lateral ou para uma subunidade. O método *backstep* possui maior precisão por utilizar as equações básicas da hidráulica, por calcular trecho a trecho e permitir ao usuário conhecer o perfil de vazão, pressão e perda de carga em cada emissor (VALIANTZAS, 2002) podendo realizar ajustes que atendam o design do projeto.

**Quadro 1.** Dimensionamento da subunidade com declive de 1%. As linhas da matriz representam os emissores e as colunas da matriz representam as linhas laterais.

```

subuni( HfimLD = 15, K = 1.053e-6, x = 0.5, DLL = 0.025, DLD = 0.040, SeLD = 4,
SeLL = 1, nLL = 10, ne = 100, dec = -0.01)
$q
      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,...]      [,10]
[1,] 15.03882 14.90509 14.79939 14.71876 14.66014      ... 14.58468
[2,] 15.02180 14.88828 14.78274 14.70224 14.64371      ... 14.56836
[3,] 15.00519 14.87187 14.76649 14.68611 14.62767      ... 14.55244
[4,] 14.98898 14.85585 14.75063 14.67037 14.61202      ... 14.53690
[5,] 14.97316 14.84023 14.73517 14.65503 14.59676      ... 14.52176
[6,] 14.95774 14.82500 14.72009 14.64007 14.58188      ... 14.50699
...      ...      ...      ...      ...      ...      ...
[100,] 14.74755 14.62363 14.52574 14.45110 14.39684      ... 14.32703
$h
      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,...]      [,10]
[1,] 15.73859 15.45993 15.24144 15.07582 14.95597      ... 14.80240
[2,] 15.70299 15.42507 15.20716 15.04199 14.92246      ... 14.76930
[3,] 15.66828 15.39108 15.17375 15.00900 14.88978      ... 14.73703
[4,] 15.63443 15.35795 15.14117 14.97685 14.85794      ... 14.70558
[5,] 15.60146 15.32567 15.10944 14.94553 14.82692      ... 14.67495
[6,] 15.56933 15.29423 15.07854 14.91504 14.79672      ... 14.64512
[7,]      ...      ...      ...      ...      ...      ...      ...
[100,] 15.13485 14.88157 14.68300 14.53248 14.42357      ... 14.28402
    
```

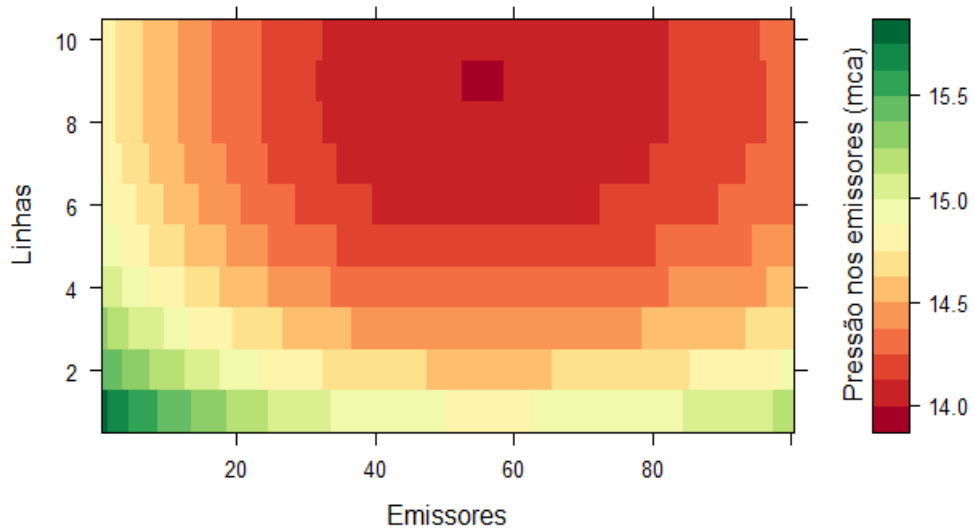
**Quadro 2.** Dimensionamento da subunidade com aclave de 1%. As linhas da matriz representam os emissores e as colunas da matriz representam as linhas laterais.

```

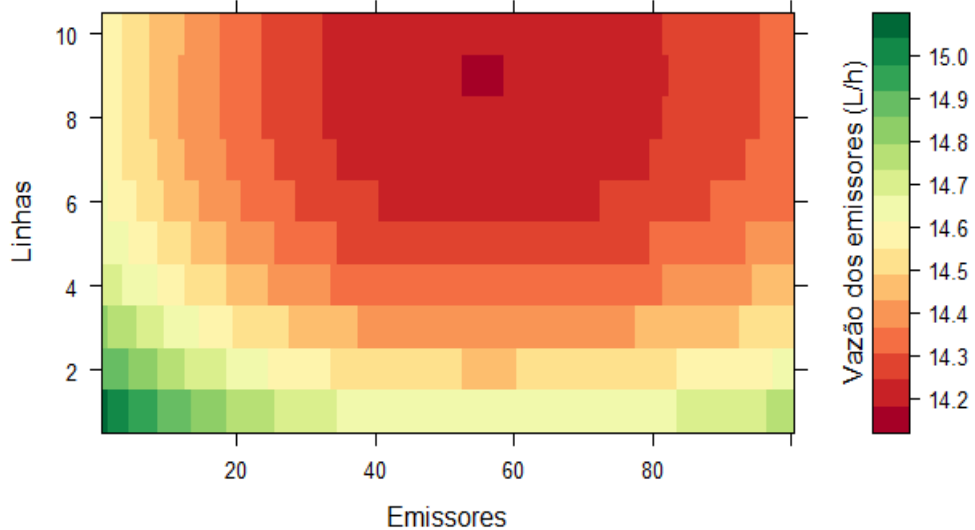
subuni( HfimLD = 15, K = 1.053e-6, x = 0.5, DLL = 0.025, DLD = 0.040, SeLD = 4,
SeLL = 1, nLL = 10, ne = 100, dec = 0.01)
$q
      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,...]      [,10]
[1,] 15.25430 15.13513 15.03921 14.96400 14.90694      ... 14.80074
[2,] 15.22876 15.10972 15.01389 14.93876 14.88175      ... 14.77566
[3,] 15.20360 15.08467 14.98893 14.91388 14.85693      ... 14.75093
[4,] 15.17881 15.05999 14.96435 14.88936 14.83246      ... 14.72656
[5,] 15.15439 15.03568 14.94012 14.86520 14.80836      ... 14.70256
[6,] 15.13033 15.01173 14.91625 14.84140 14.78461      ... 14.67890
...      ...      ...      ...      ...      ...      ...
[100,] 14.02215 13.90432 13.80942 13.73499 13.67850      ... 13.57332
$h
      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,...]      [,10]
[1,] 15.73859 15.45993 15.24144 15.07582 14.95597      ... 14.80240
[2,] 15.70299 15.42507 15.20716 15.04199 14.92246      ... 14.76930
[3,] 15.66828 15.39108 15.17375 15.00900 14.88978      ... 14.73703
[4,] 15.63443 15.35795 15.14117 14.97685 14.85794      ... 14.70558
[5,] 15.60146 15.32567 15.10944 14.94553 14.82692      ... 14.67495
[6,] 15.56933 15.29423 15.07854 14.91504 14.79672      ... 14.64512
[7,]      ...      ...      ...      ...      ...      ...      ...
[100,] 13.68256 13.45357 13.27055 13.12788 13.02012      ... 12.82066
    
```

O comportamento de pressão e vazão é muito similar tanto para uma situação de declive (1 e 2) como para a situação de aclave (Figura 3 e 4). Conhecer o comportamento do perfil de

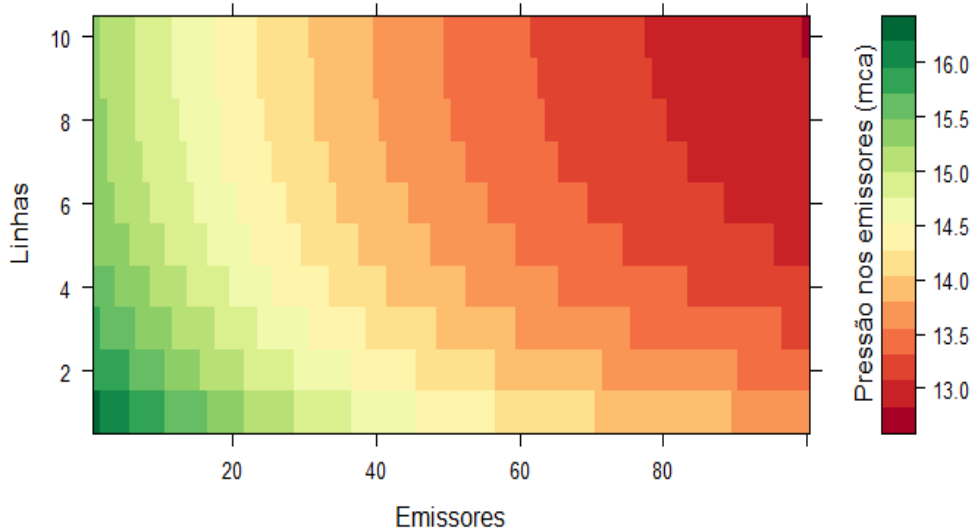
pressão em uma subunidade pode ser de suma importância para ainda em fase de projeto determinar a melhor uniformidade do sistema de irrigação.



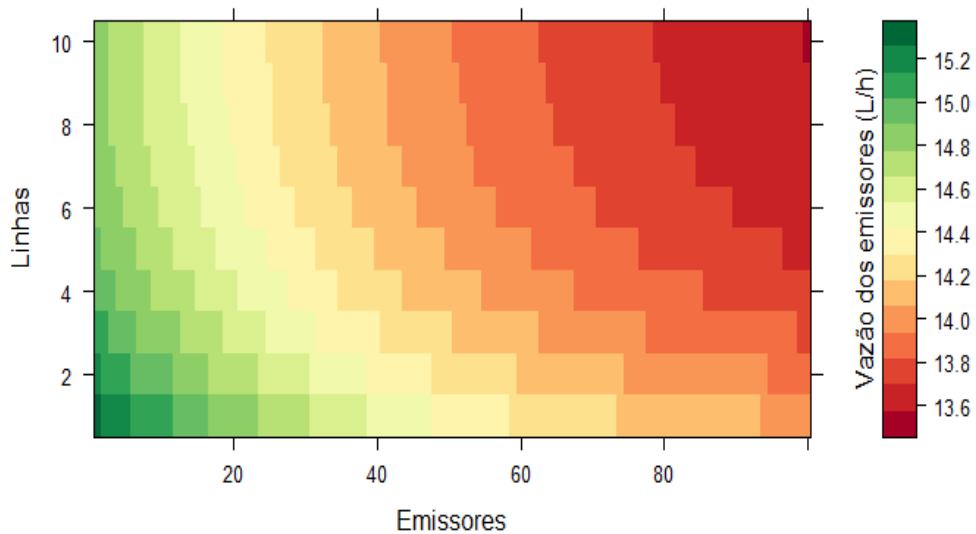
**Figura 1.** Variação da pressão na subunidade com declive de 1%.



**Figura 2.** Variação da vazão na subunidade com declive de 1%.



**Figura 3.** Variação da pressão na subunidade com aclive de 1%.



**Figura 4.** Variação da vazão na subunidade com aclive de 1%.

## CONCLUSÕES

Os algoritmos desenvolvidos em forma de funções na linguagem de programação R se apresentaram como uma ferramenta prática para o dimensionamento de uma única linha lateral ou uma subunidade de irrigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HATHOOT, H. M.; AL-AMOUD, A. I.; MOHAMMAD, F. S. Analysis and design of trickle-irrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 5, p. 756–767, 1993.
- JUANA, L. et al. Analytical Relationships for Designing Rectangular Drip Irrigation Units. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 130, n. 1, p. 47–59, 2004.
- KHEMAIES, Z. et al. Design of Nonzero Uniformly Sloping Laterals in Trickle Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 5, p. 419–425, 2012.
- MONSERRAT, J.; BARRAGAN, J.; COTS, L. Design of Paired Laterals on Uniformly Sloping Fields. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 144, n. 6, p. 04018008, 2018.
- SADEGHI, S. H.; PETERS, T. Analytical determination of distribution uniformity for microirrigation tapered laterals laid on uphill and horizontal slopes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 6, p. 483–489, 2013.

VALIANTZAS, J. D. Hydraulic Analysis and Optimum Design of Multidiameter Irrigation Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 128, n. April, p. 78–86, 2002.

VALLESQUINO, P.; LUQUE-ESCAMILLA, P. L. New algorithm for hydraulic calculation in irrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 4, n. August, p. 254–260, 2001.

WU, P. T.; ZHU, D. L.; WANG, J. Gravity-fed drip irrigation design procedure for a single-manifold subunit. **Irrigation Science**, v. 28, n. 4, p. 359–369, 2010.

YILDIRM, G. Computer-Based Analysis of Hydraulic Design Variables for Uniformly Sloping Microirrigation System Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 7, p. 04014079, 2015.

YITAYEW, M.; WARRICK, A. w. Trickle Lateral Hydraulics II: Desing and examples. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 114, n. 2, p. 289–300, 1988.