

INFLUÊNCIA DA UNIFORMIDADE DE EMISSÃO NOS CUSTOS DOS SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO

Kennedy LUCENA (1)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica - PB, Av. 1º de Maio nº 720 - Jaguaribe - João Pessoa - PB,
CEP 58.015 - 430, Telefone: 3208 3073, Fax: 3208 3052, e-mail: kennedyflavio@yahoo.com.br

RESUMO

Os sistemas de microirrigação como os de gotejamento e de microaspersão têm apresentado grande expansão no país em virtude de sua principal característica que é a redução do consumo de água, em função da possibilidade da obtenção de elevadas uniformidades de aplicação da água. A uniformidade de aplicação ou de emissão é um dos principais critérios usados no dimensionamento de sistemas de microirrigação. Quanto maior a uniformidade de emissão maiores os custos dos sistemas, principalmente quando não são utilizados emissores autocompensantes, para reduzir as variações de pressões na rede, dentro dos limites estabelecidos. Neste estudo científico desenvolveu-se um modelo matemático de programação não linear com o objetivo de minimizar o custo de investimento do sistema de microaspersão em função da variação da uniformidade de emissão. Foram aplicadas uniformidades de emissão de 90%, 80%, 70% e 60% e obtidos o custo fixo do sistema e o custo da subunidade. Constatou-se que as variações na uniformidade de emissão não implicam em variações proporcionais no custo do sistema e da subunidade. A redução no custo da subunidade é mais acentuada que no custo do sistema. Quanto maior o número de subunidades do sistema maior a redução dos custos com a redução a uniformidade de emissão. Uma redução de 90% para 80% na uniformidade de emissão resultou em redução de custo do sistema e da subunidade de até 30,77% e 50,43%, respectivamente. Verificou-se, portanto, que a uniformidade de emissão tem grande impacto nos custos do sistema e deve ser avaliada com mais atenção na elaboração do projeto de microaspersão.

Palavras-chave: Uniformidade de emissão, custos fixos, modelo matemático, microaspersão.

1. INTRODUÇÃO

O mundo tem presenciado nos últimos anos uma maior atenção ao uso mais racional dos recursos naturais, que estão se tornando cada vez mais escassos, e particularmente com relação ao recurso água. A menor disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas é um problema grave em vários países e em algumas regiões do Brasil. O setor agrícola do nosso país é o maior consumidor de água doce, com aproximadamente 70% da água usada, sendo de grande relevância a obtenção de estratégias que visem à economia de água. Uma das medidas eficazes para reduzir o elevado consumo de água na irrigação é a aplicação de técnicas modernas de condução e distribuição da água. Os sistemas de microirrigação, como os de gotejamento e de microaspersão, destacam-se por sua potencialidade de um uso mais racional da água, o que é proporcionado pelo maior controle na distribuição d'água ao longo da rede vêm gradualmente se expandindo no Brasil. Além disso, esses sistemas operam com baixas pressões o que favorece também importante redução no consumo de energia. A aplicação mais eficiente d'água ao solo é obtida em função de dois aspectos principais desses sistemas: a qualidade dos emissores e o dimensionamento hidráulico mais preciso. No dimensionamento dos sistemas de microirrigação o principal objetivo é conseguir a uniformidade de aplicação desejada (Hill & Keller, 1978). Sistemas com baixa uniformidade de aplicação podem resultar em perdas por percolação, promovendo maiores custos com água e energia, perdas de fertilizantes, necessidade de drenagem e danos ambientais (Capra, 1998). Quando se dimensiona com emissores autocompensantes a preocupação do projetista é menor, uma vez que, dentro de uma certa faixa de pressões, os emissores garantem uma boa regulação da descarga, promovendo elevadas uniformidades. No entanto, quando não são usados emissores autocompensantes, deve-se considerar a sensibilidade dos emissores à variação de pressão na rede e, quanto maior se deseje a uniformidade de emissão, menores deverão ser as variações de pressão. Disso pode-se deduzir que, quanto maiores as uniformidades de emissão, maiores os custos com tubulações e acessórios na rede. Como os sistemas de irrigação têm custos elevados, devem-se buscar dimensionamentos ótimos que minimizem tanto os custos fixos como operacionais, que estão diretamente relacionados com a uniformidade de emissão. Neste trabalho aplica-se um modelo computacional para analisar a relação entre a uniformidade de emissão e os custos do sistema, proporcionando assim, um melhor entendimento do projetista para a tomada de decisão quanto ao valor da uniformidade de emissão que deve ser adotada para o projeto.

2. METODOLOGIA

Os sistemas de microirrigação são divididos em parcelas independentes hidráulicamente que denominamos subunidades de irrigação. O número de subunidades do sistema afeta a uniformidade de emissão e o custo final do projeto. Dessa forma, foram avaliadas várias possibilidades de projetos com diferentes uniformidades de emissão e número de subunidades de sistemas do tipo *microaspersão* (Figura 1). Para avaliar a influência da uniformidade de emissão e da subunidade no custo fixo ou de investimento do sistema utilizou-se um matemático de programação não linear desenvolvido por Lucena (2003). Nesse modelo foi empregada a técnica da programação seqüencial quadrática (PSQ) para problemas de otimização com restrições lineares e não lineares através do *toolbox* de otimização do software MatLab versão 5.3.

2.1. Descrição do sistema e dos cenários de projeto

A operação do sistema também tem influência direta nos custos de investimento e, portanto, o número de unidades operacionais é outra variável de projeto importante. Uma unidade operacional compreende o conjunto de subunidades que estão em funcionamento em um mesmo instante.

Foram feitas simulações de cenários de projeto para uniformidades de emissão de 90%, 80%, 70% e 60%, para sistemas de microaspersão com: quatro subunidades ($N_{sub} = 4$) e quatro unidades operacionais, oito subunidades ($N_{sub} = 8$) e quatro unidades operacionais, doze subunidades ($N_{sub} = 12$) e três unidades operacionais e dezesseis subunidades ($N_{sub} = 16$) quatro unidades operacionais, todos com área total de 34,56 ha (345600 m²) e comprimento de 720m e largura de 480 m (Tabela 1). Para cada um dos sistemas dimensionados as subunidades têm as mesmas dimensões e estão em terreno com desnível nulo.

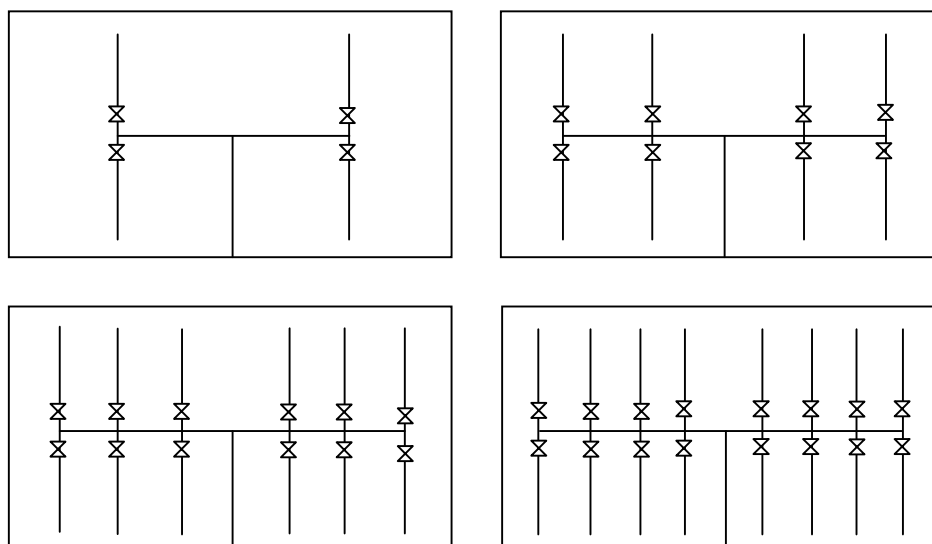


Figura 1 – Lay-out dos sistemas dimensionados com quatro subunidades ($N_{sub} = 4$), oito subunidades ($N_{sub} = 8$), doze subunidades ($N_{sub} = 12$) e dezesseis subunidades ($N_{sub} = 16$)

Tabela 1 - Dimensões dos sistemas dimensionados

$A_I (m^2)$	N_{sub}	$A_{sub} (m^2)$	$L_L (m)$	$L_D (m)$
345600	4	86400	180	240
345600	8	43200	90	240
345600	12	28800	60	240
345600	16	21600	45	240

2.2. Função objetivo do modelo

Foram analisados os custos de investimento amortizados (C_I) do sistema compreendendo: (1) tubulações de polietileno (C_{PE}) e de PVC (C_{PVC}), função do diâmetro e classe de pressão; (2) conjunto de sucção (C_{SUC}), função do diâmetro; (3) sistema de bombeamento (C_{SB}), função da potência consumida; (4) sistema de filtragem (C_{SF}), função da vazão total do sistema; (5) centro de controle (C_{CC}) e válvulas (C_{VR}), função do número de subunidades; (6) adaptadores de linhas laterais (C_{AD}) e conectores (C_{CON}), função do número de linhas laterais; (7) e emissores “microaspersores” (C_{EM}). Os custos unitários ($US\$.m^{-1}$) das tubulações foram obtidos através de uma função do tipo potencial ($C_{tubo} = a.D^b$), onde D é o diâmetro interno em m, a e b parâmetros de regressão para cada tipo de tubulação, PVC ou polietileno. O fator de atualização do capital foi calculado para uma taxa anual de 6% num período de 10 anos.

$$\text{Min } f(X) = \frac{C_I}{A_I} \quad [\text{Eq. 01}]$$

em que: $f(X)$ - função objetivo; A_I - área irrigada, ha; C_I - custo de investimento amortizado, $US\$.ano^{-1}$.

2.3. Variáveis de decisão do modelo

O modelo tem como principais variáveis os diâmetros contínuos (não comerciais) de todas as tubulações (principal, secundária, derivação e lateral) e a pressão média de operação do sistema.

2.4. Restrições do modelo

- Faixa de pressão de operação do microaspersor

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$$

em que: $h = h_{\text{med}}$ - pressão média ou de serviço do emissor na subunidade, KPa; h_{\min} - mínima pressão de operação do emissor, KPa; e h_{\max} - máxima pressão de operação do emissor, KPa.

- Variação de pressão na subunidade

Obtida a partir da equação da uniformidade de emissão (UE) de Karmeli & Keller (1975) e Keller & Bliesner (1990):

$$\Delta h_s \leq 2,5h \left\{ 1 - \left[\left(\frac{UE}{100(1 - 1,27 C_{VF} N_{EP}^{-0,5})} \right)^{\frac{1}{x}} \right] \right\} \quad [\text{Eq. 02}]$$

em que: Δh_s - máxima variação de pressão admissível na subunidade, KPa; C_{VF} - coeficiente de variação de fabricação do emissor, %; x - expoente da equação característica do emissor; N_{EP} - número de emissores por planta; e h - pressão de operação do emissor, KPa.

O emissor tem a seguinte equação de descarga característica:

$$q = 6,92 \cdot h^{0,3775} \quad [\text{Eq. 03}]$$

com q em L/h e h em KPa ($150 \leq h \leq 300$) e seu coeficiente de variação de fabricação (CVF) é de 0,04.

- Velocidades nas tubulações (m.s^{-1}), lateral (V_L), derivação (V_D), secundária (V_S) e principal (V_P)

$$V_L, V_D, V_S \text{ e } V_P \leq 2,5$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 pode-se verificar a variação dos custos dos sistemas e de suas respectivas subunidades em função da uniformidade de emissão. Em todos os sistemas dimensionamentos a pressão média de operação ótima foi de 150 KPa, que corresponde à mínima pressão de operação do emissor. Observa-se que quanto menor o número de subunidades do sistema menor a redução percentual dos custos analisados. Os custos fixos apresentam menor redução, uma vez que a composição dos custos fixos depende de outros componentes do sistema tais como sistemas de filtragem e de bombeamento.

Tabela 2 - Custos fixos dos sistemas (C_{sist}) e das subunidades (C_{sub}) ($\text{US}\$.ha^{-1}.ano^{-1}$), em função da uniformidade de emissão e número de subunidades do sistema

UE (%)	Nsub = 4		Nsub = 8		Nsub = 12		Nsub = 16	
	Csist	Csub	Csist	Csub	Csist	Csub	Csist	Csub
60	273,20	83,42	256,45	70,28	235,43	56,37	211,88	58,20
70	276,99	88,10	257,95	73,18	236,21	57,47	211,88	58,20
80	284,76	97,01	262,40	79,56	240,93	63,36	213,95	60,84
90	309,05	122,73	280,80	100,56	256,61	80,50	228,80	76,82

A redução na uniformidade de emissão de 90% para 60% (33,33%) resultou, para $N_{sub} = 4$, numa redução no custo do sistema e da subunidade de 11,60% e 32,03%, enquanto para $N_{sub} = 16$ essas reduções foram da 31,44% e 52,58%, respectivamente. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que quanto maior o número de subunidades no sistema, menor será o tamanho das mesmas implicando na possibilidade da redução dos diâmetros das tubulações de derivação e das linhas laterais. Os resultados demonstram que a UE afeta de modo relevante os custos dos sistemas. Para um sistema com $N_{sub} = 16$, uma redução de 90% para 80% implicou em 30,77% nos custos do sistema. À medida que a UE foi reduzida, a redução nos custos tenderam a se estabilizar, ou a sofrerem pequenas variações, isso ocorre devido às restrições de velocidade de fluxo, de variações de pressão e dos limites mínimos dos diâmetros comerciais (Figuras 2 e 3). Constatase, portanto, que o valor de UE deve ser criteriosamente selecionado dado sua importância nos custos do sistema. Pôde-se observar também que o comportamento dos custos do sistema e da subunidade é semelhante, apresentando um melhor ajuste matemático entre os custos e a uniformidade de emissão o modelo polinomial de grau dois (Tabela 3).

Tabela 3 - Modelos ajustados para obtenção dos custos fixos dos sistemas (C_{sist}) e das subunidades (C_{sub}) (US\$.ha⁻¹.ano⁻¹), em função da uniformidade de emissão e número de subunidades do sistema

	$N_{sub} = 4$	$N_{sub} = 8$	$N_{sub} = 12$	$N_{sub} = 16$
C_{sub}	$C = 0,052.UE^2 - 6,621.UE + 291,9$ $R^2 = 0,991$	$C = 0,045.UE^2 - 5,815.UE + 256,8$ $R^2 = 0,988$	$C = 0,040.UE^2 - 5,232.UE + 226,2$ $R^2 = 0,994$	$C = 0,039.UE^2 - 5,407.UE + 239,3$ $R^2 = 0,976$
C_{sist}	$C = 0,051.UE^2 - 6,534.UE + 481,3$ $R^2 = 0,989$	$C = 0,042.UE^2 - 5,562.UE + 438,6$ $R^2 = 0,984$	$C = 0,037.UE^2 - 4,904.UE + 395,9$ $R^2 = 0,991$	$C = 0,037.UE^2 - 5,040.UE + 381,1$ $R^2 = 0,971$

Valores elevados apenas se justificam quando são usados emissores com excelente qualidade de fabricação e que permitem realmente um maior controle na distribuição d'água. Outro aspecto importante a se considerar é que elevadas uniformidades na aplicação não significam elevadas eficiências de irrigação, uma vez que esta depende diretamente do manejo adotado na área. Vários trabalhos têm demonstrado também que a uniformidade de distribuição d'água abaixo da superfície, dependendo do tipo de solo, é superior à da superfície (Li, 1998). Capra & Scicolone, (1996) e Solomon (1985) citam como outro fator importante que afeta diretamente a uniformidade os entupimentos totais e parciais dos emissores que podem comprometer o projeto.

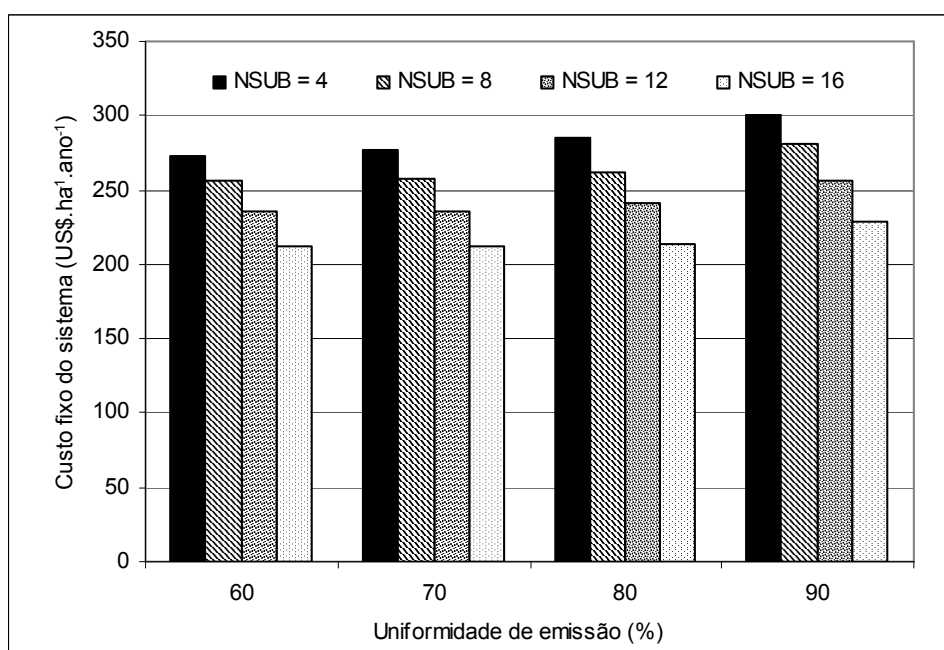


Figura 2 - Variação dos custos fixos do sistema com a uniformidade de emissão

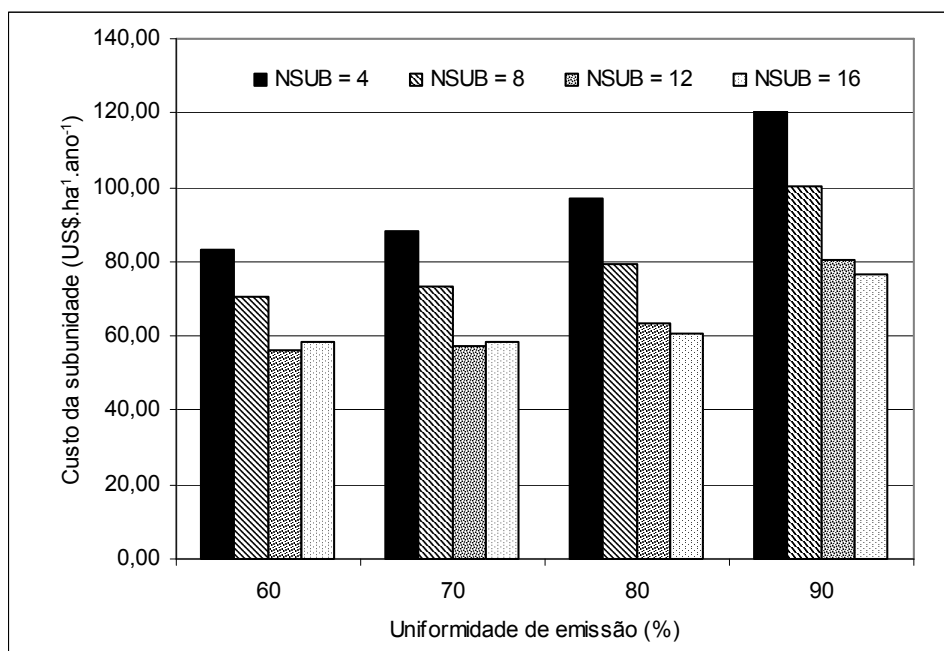


Figura 3 - Variação do custo da subunidade com a uniformidade de emissão

4. CONCLUSÕES

A redução da uniformidade de emissão implica em redução representativa nos custos do sistema. Essa redução é mais efetiva no custo da subunidade que nos custos fixos. Os custos reduzem em proporção muito maior que a redução na uniformidade de emissão. À medida que aumenta o número de subunidades maior é a redução de custos com a menor uniformidade. Os custos tendem a se estabilizar com a redução da uniformidade em função dos diâmetros mínimos de tubos aceitáveis. Uma redução de 11,11% na uniformidade de emissão, de 90% para 80%, resultou em redução máxima no custo do sistema e da subunidade de até 30,77% e 50,43%, respectivamente. Dada a importância da uniformidade de emissão nos custos do sistema recomenda-se que esta seja avaliada com maior rigor na elaboração dos projetos de microirrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. *Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems*. Journal of Agricultural Engineering Research. Silsoe Research Institute. n. 70. p. 355-365. 1998.
- DANDY, G. C.; HASSANLI, A. M. *Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. v. 122. n. 5. p. 265-274. 1996.
- HILL, R. W.; KELLER, J. *Irrigation system selection and management for maximum crop profit*. ASAE. n. 78 – 5024. 1978, 21p.
- KELLER, J.; BLIESNER, D. *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990, 651p.
- LI, J. *Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system*. Agricultural Water Management. Elsevier Science. n. 38. p. 135-146. 1998.
- LUCENA, K. F. M. *Modelo de otimização para o dimensionamento e operação de sistemas de microirrigação*. Universidade Federal de Campina Grande - PB. Tese de Doutorado. 187 p.

SOLOMON, K. *Global uniformity of trickle irrigation systems*. ASAE. v. 28. n. 4. p. 1151–1158. 1985.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO), do governo brasileiro, pelo apoio financeiro para realização do estudo.