

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA CARGA HIDRÁULICA E VAZÃO NA UNIDADE OPERACIONAL DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Francisco F. N. Marcussi¹; João C. C. Saad²; Saulo A. de Souza¹; Carlos E. A. G. Barreto¹

¹Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, marcussi@sc.usp.br

²Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP

1 RESUMO

As diferentes possibilidades de combinações de uniformidade de emissão na unidade operacional, de um sistema de irrigação localizada, com a declividade do terreno, favorecem a ocorrência de várias configurações no sistema de irrigação, por consecutivo de diferentes distribuições de carga hidráulica, vazão e de manejo do sistema. Atenta-se para o problema do dimensionamento do sistema, nesse sentido, da verificação da distribuição de pressão e vazão, na unidade operacional, após o mesmo ser implantado. Este trabalho teve por objetivo verificar a uniformidade de pressão e vazão na linha de derivação e nas linhas laterais com microaspersores, em dados obtidos por pesquisa operacional. Os resultados permitem averiguar que independente da declividade analisada, quanto maior é a uniformidade de emissão calculada para a linha de derivação no projeto, maior é sua uniformidade de pressão. Já os resultados de vazão nos emissores da unidade operacional, embora diferentes frente às três lâminas de irrigação testadas, mostram uma variação constante entre o ponto de maior vazão e o de menor vazão.

UNITERMOS: irrigação, pressão e uniformidade de emissão.

MARCUSSI, F.F.N.; SAAD, J.C.C.; SOUZA, S.A.; BARRETO, C.E.A.G. ANALYSIS OF LOAD HYDRAULIC UNIFORMITY AND DISCHARGE IN THE OPERATIONAL UNIT OF AN IRRIGATION SYSTEM

2 ABSTRACT

The different combination possibilities of emission uniformity and field slope within the operational unities of localized irrigation systems favor the occurrence of some configurations in the irrigation system, and consequently different hydraulic head distributions, discharge and system management. After the system has been implanted, it is necessary to verify pressure and discharge distribution in the operational unit. This work objective was to verify pressure and discharge uniformity on derivation line and lateral lines with micro sprinkle in data gotten from operational research. The results allow to check that despite analyzed declivity; the higher the emission uniformity calculated for the line of derivation in the project is, the higher its pressure uniformity is. Previously the results of discharge in the emitters of the operational unit showed a constant variation entering the point of higher discharge and lower discharge , even though differently from the three tested irrigation blades.

KEYWORDS: Irrigation, hydraulic head, pressure uniformity.

3 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da demanda de água se deve ao destino de 69% para as práticas de irrigação, 11% para uso doméstico, 11% para uso animal, 7% para a indústria e apenas 2% destina-se ao consumo rural (ANA, 2005). Neste contexto de uso indireto d'água, pelo ser humano, insere-se a necessidade de produção de alimentos irrigados, em localidades ou épocas em que a oferta pluviométrica não se faz suficiente.

Segundo Gomes (1999), a microaspersão é uma alternativa de irrigação intermediária entre a irrigação por aspersão convencional fixa e a irrigação por gotejamento. Um sistema de irrigação por microaspersão é composto de tubulações laterais porta-microaspersores, tubulações de derivação, uma rede de tubulações de distribuição e um cabeçal de controle, da mesma forma que um sistema por gotejamento. As tubulações laterais são normalmente de polietileno ou de PVC. A conexão dos microaspersores às tubulações laterais se efetua mediante pequenos tubos de polietileno, apoiados em pequenas hastes, colocadas verticalmente sobre o terreno (Gomes, 1999).

Bernardo (1995) cita que os sistemas de irrigação por microaspersão são fixos e constituídos das seguintes partes: motobomba, cabeçal de controle, linha principal, válvulas (facultativas), linha de derivação, linha lateral e gotejadores.

Klar (2000) cita que os microaspersores têm a vantagem de sofrer menos entupimento que os gotejadores, além de aplicar vazões maiores e trabalhar com pressão maior que o sistema de gotejamento.

Lisboa (2002), cita que a formulação do problema a ser resolvido por programação linear segue alguns passos básicos: deve ser definido o objetivo básico do problema, ou seja, a otimização a ser alcançada; para que esta função objetivo seja matematicamente especificada, devem ser definidas as variáveis de decisão envolvidas; estas variáveis normalmente estão sujeitas a uma série de restrições, normalmente representadas por inequações.

Matanga & Mariño (1979) otimizaram a irrigação de três culturas, em Davis, Califórnia, em termos de alocação de área e para tanto utilizaram um modelo de programação linear para maximizar a receita líquida, considerando-se a disponibilidade de água, a mão-de-obra, o custo da irrigação e os custos da água e dos produtos. Não se contesta mais a necessidade da irrigação como fator de aumento da produtividade de pomares em uma fruticultura tecnificada.

Hoje o desafio maior é planificar a irrigação com segurança, de modo a permitir seu uso em bases econômicas sólidas e sem prejuízos ao meio ambiente. A uniformidade de emissão é um resultado conjunto das características do equipamento e de suas configurações hidráulicas. Testar a carga hidráulica do sistema de irrigação, depois de dimensionado, através de dados obtidos por pesquisa operacional, verificando se o mesmo atende as exigências pré-estabelecidas pelo projetista, é uma ferramenta importante para a tomada de decisão de implantar ou não o sistema em campo, além de auxiliar no manejo do mesmo depois de implantado. Este trabalho teve por objetivo, através de dados de pesquisa operacional, analisar a distribuição da carga hidráulica real e vazão nas linhas laterais depois do sistema implantado, com diferentes uniformidades de emissão e declividades do terreno.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados resultados de programação linear de minimização de custos obtidos por Marcussi, 2004. As condições operacionais do sistema foram pré-elaboradas, sendo que a otimização se fez quanto à combinação de diâmetros da rede hidráulica. Os embasamentos de projeto do sistema de irrigação localizada para este estudo foram:

- configuração da rede hidráulica e as condições operacionais foram definidas previamente;
- linhas laterais em polietileno com diâmetro único e dispostas em nível;
- linhas de derivação em declive ou em nível;
- linhas de derivações em PVC com diâmetros variáveis, e dispostas nas seguintes declividades (%): 0, 3, 6, 9 e 12;
- o dimensionamento foi feito para as seguintes uniformidades de emissão (%): 80 e 92;
- as unidades operacionais são compostas por: válvula reguladora de pressão, linha de derivação, linhas laterais e emissores.

A carga hidráulica na entrada da linha lateral é calculada por (Keller & Bliesner, 2000):

$$H_w = h_w + k_l h_{f_l} + 0,5\Delta El \quad (1)$$

em que: H_w = carga hidráulica na entrada da linha lateral média (m); h_w = carga de operação do emissor (m); $k_l = 0,75$ para linhas laterais com diâmetro único, 0,63 para linhas com dois diâmetros e 0,5 para linhas com 3 ou mais diâmetros (Karmeli & Keller, 1975); h_{f_l} = perda de carga na linha lateral (m); ΔEl = diferença de nível (m) entre o início e o final da linha lateral, sendo positivo para laterais em aclive e negativo para laterais em declive.

A perda de carga total por atrito na linha de derivação (h_{f_m}), em m, é calculada por:

$$h_{f_m} = 1,05 \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I JM_{j,i} LM_{j,i} \quad (2)$$

em que: $JM_{j,i}$ = gradiente de perda de carga ($m \cdot m^{-1}$) na tubulação de PVC com diâmetro i utilizada na seção j da linha de derivação; e 1,05 = fator utilizado para compensar as perdas de carga localizadas.

Foi selecionado um microaspersor não-autocompensante, cujas características encontram-se no Quadro 1.

A relação entre a variação do volume aplicado por ano e a variação de pressão, levando-se em conta o CVF (coeficiente de variação de fabricação do emissor), é calculada por:

$$vva = \frac{h_2^{0,5326} - h_1^{0,5326}}{h_2^{0,5326}} \quad (3)$$

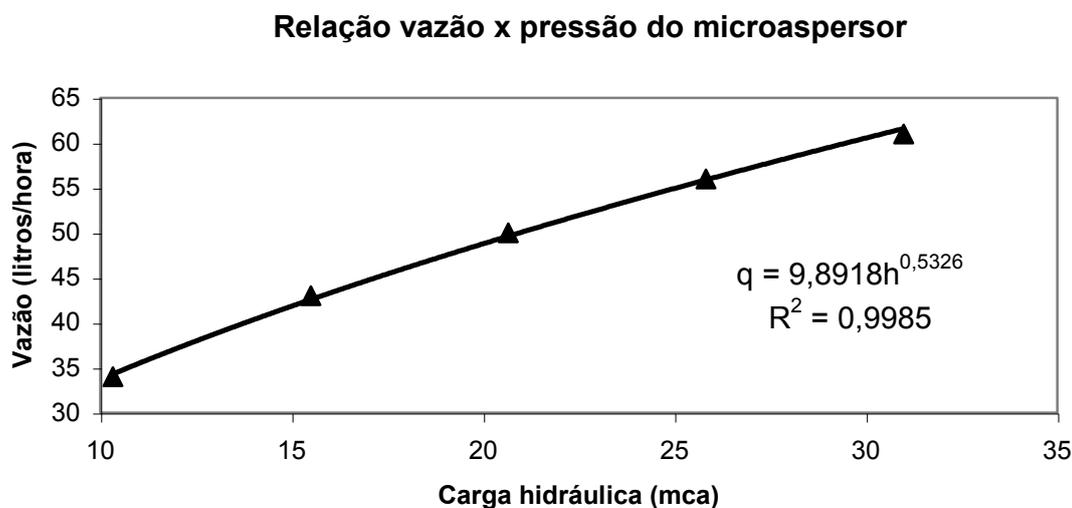
em que: vva = variação do volume aplicado anual (%); h_1 = pressão observada no ponto 1 (mca) e h_2 = pressão observada no ponto 2 (mca).

No estudo feito com a uniformidade de vazão em todos os microaspersores, da unidade operacional, sob a mesma uniformidade de emissão e a declividade do terreno, optou-se por utilizar três lâminas de irrigação (correspondentes a 30, 60 e 90 dias de irrigação, correspondentes ao tempo médio de irrigação suplementar nos períodos de estiagem dependendo dos períodos de chuva do ano).

Quadro 1. Características do microaspersor.

Características	Microaspersor fixo (não autocompensante)
Pressão de operação (mca)	15,5
Vazão correspondente à pressão de operação (L.h ⁻¹)	42,6
Diâmetro molhado (m)	5,1m (300° x 11 jatos)
Coeficiente de variação de fabricação (CVF) - %	2,3
Relação vazão - pressão	$q = 9,8918 \cdot h^{0,5326}$ $r^2 = 0,9985$ $q = L \cdot h^{-1}$ $h = mca$

A representação gráfica da relação entre a vazão e a pressão do microaspersor selecionado encontra-se na Figura 1.

**Figura 1.** Relação entre vazão e pressão para o microaspersor considerado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos resultados de distribuição de carga hidráulica e vazão, na unidade operacional, optou-se por fazer uma comparação dos extremos, ou seja, os resultados mais dispares possíveis foram confrontados, mostrando a eficácia ou não das diferentes configurações hidráulicas propostas sob as diferentes declividades. Todos esses resultados estão detalhados em Marcussi 2002.

No caso da carga hidráulica (Figuras 2 e 3), comparou-se à distribuição da pressão nas linhas laterais da unidade operacional, com 80% de uniformidade de emissão (UE) pré-estabelecida e declividade de 0%, com a de 92% de UE e declividade de 3%. Segundo Scaloppi (1993), a determinação da pressão máxima e mínima ao longo da linha lateral é importante em projetos, permitindo a determinação da variação total de pressão ao longo da lateral.

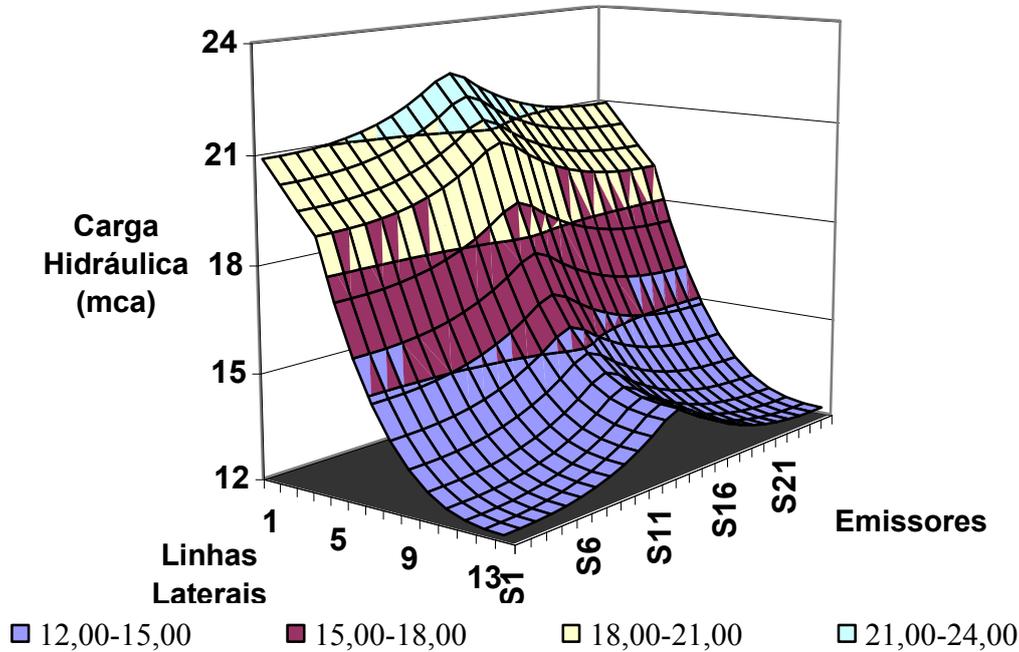


Figura 2. Distribuição da pressão nas linhas laterais da unidade operacional, com 80% de EU calculada e declividade de 0%.

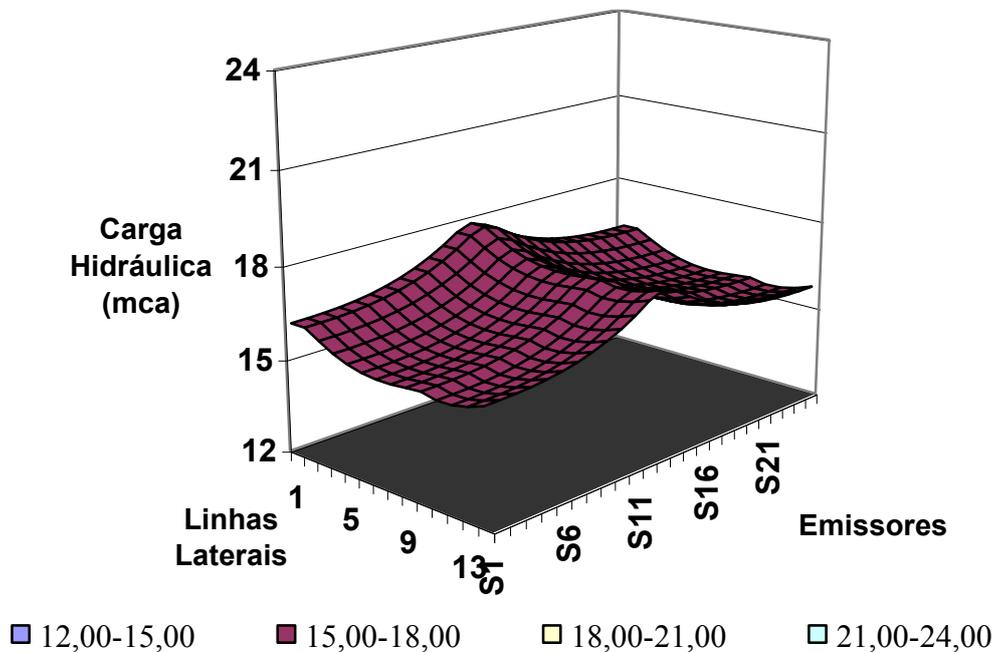


Figura 3. Distribuição da pressão nas linhas laterais da unidade operacional, com 92% de EU calculada e declividade de 3%.

Verifica-se que com 80% de UE pré-estabelecida, e declividade de 0% (Figura 2), a carga hidráulica nas linhas laterais variou de 22,3 a 12,2 mca, mostrando uma variação de 45,3% da maior pressão, para a menor. Já com 92% de UE pré-estabelecida, e declividade de 3% (Figura 3), a carga hidráulica nas linhas laterais variou de 17,7 a 15,7 mca, mostrando uma variação de apenas 11,3% da maior pressão encontrada nas linhas laterais, da unidade operacional, para a menor. Esses resultados mostram uma perfeita interação entre a UE pré-estabelecida para a linha de derivação e a UE nas linhas laterais da unidade operacional, indicando uma tendência objetiva de que quanto maior for a uniformidade de pressão na linha de derivação maior será também a uniformidade da pressão nas linhas laterais da unidade operacional em que estas estão inseridas. Ressalta-se que o conceito matemático de cálculo da UE tanto da linha de derivação como das linhas laterais são os mesmos.

Gillespie et al. (1979), cita que em irrigação localizada, o critério mais importante é o de minimização da variação de descarga ao longo da linha de irrigação, seja ela linha lateral ou linha de derivação. Nas Figuras 2 e 3, observa-se, para linhas laterais em nível, que em via de regra o ponto de maior pressão sempre ocorre no primeiro microaspersor da linha lateral inserida na primeira saída da linha de derivação, e que o ponto de menor pressão ocorre no último microaspersor da linha lateral inserida na última saída da linha de derivação.

Segundo Nakayama et al. (1986), o sistema de irrigação ideal é aquele em que todos os emissores fornecem o mesmo volume d'água em dado tempo de irrigação, ou seja, cada planta receberia o mesmo volume d'água em um período de irrigação. Do ponto de vista prático é impossível se atingir essa idealizada performance requerida, porque a vazão do emissor será afetada por variações de pressão d'água e características da sua fabricação.

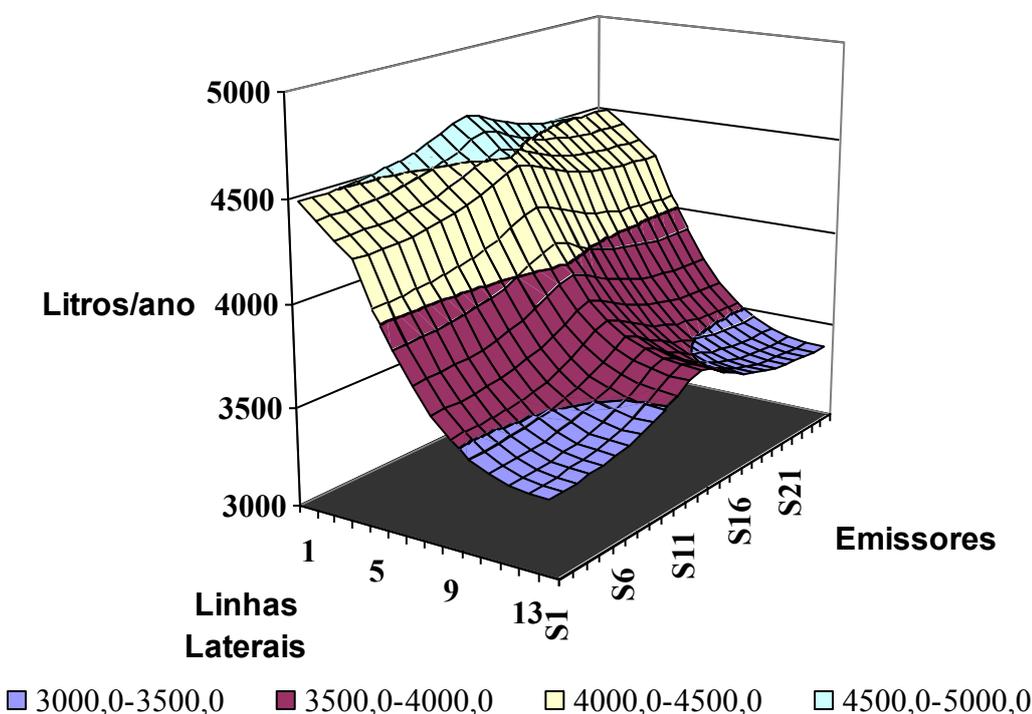


Figura 4. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 80% de UE, declividade de 0% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de 3,87 m³/ano.

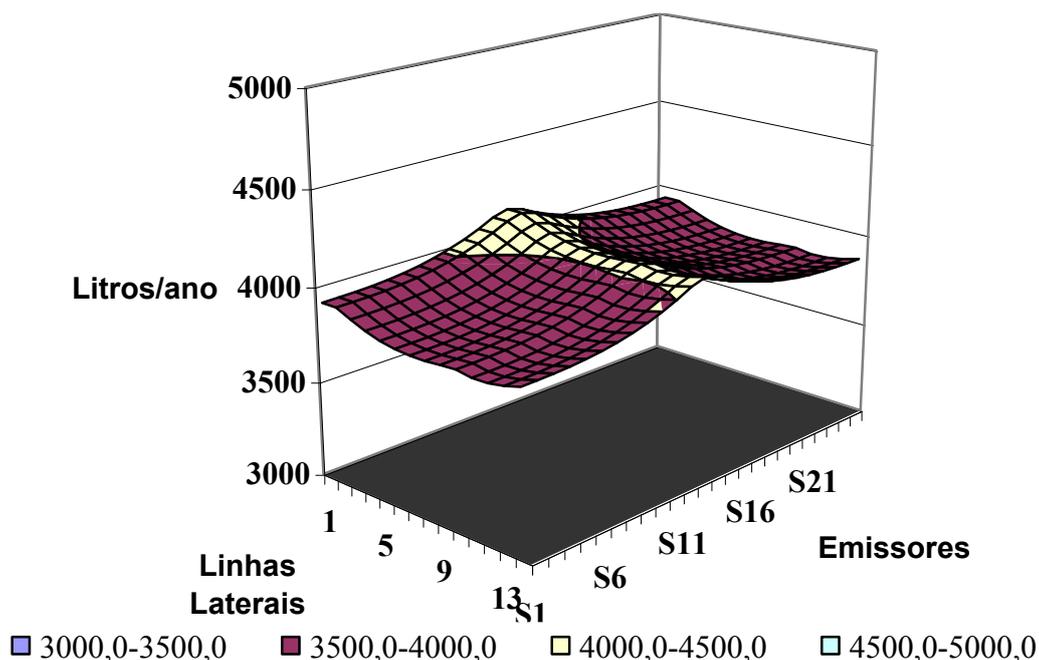


Figura 5. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 92% de UE, declividade de 3% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de $3,87 \text{ m}^3/\text{ano}$.

As Figuras 4 e 5 mostram a distribuição da vazão na unidade operacional com volume anual aplicado de $3,87 \text{ m}^3/\text{ano}$, com respectivamente 80% de UE com declividade de 0% e também 92% de UE com declividade de 3%. Observa-se que a 92% de UE, sob 3% de declividade, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 4.111 a 3.816 L/ano, indicando uma variação de apenas 7,2% na unidade operacional, entre o ponto de maior vazão nas linhas laterais para o ponto de menor vazão. Já para 80% de UE, em nível, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 4.657 a 3.368 L/ano, mostrando uma variação de 27,7%, entre o ponto de maior vazão e o ponto de menor vazão, na unidade operacional. Esta variação de 27,7%, entre os pontos de maior e menor vazão, também poderia ser relacionada e explicada pela variação de pressão observada para as mesmas condições. Em alguns casos, como o demonstrado a seguir os valores são muito próximos. Utilizando-se a equação 3, considerando $h1 = 12,2$ e $h2 = 22,3$ (condições de 80% de UE com declividade de 0%), consegue-se a variação de 27,5%, muito próximo do valor real obtido de 27,7%.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se a distribuição da vazão na unidade operacional com volume anual aplicado de $7,74 \text{ m}^3/\text{ano}$ com, respectivamente, 80% de UE com declividade de 0% e também 92% de UE com declividade de 3%. Observa-se que a 92% de UE, sob 3% de declividade, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 8.221 a 7.632 L/ano, indicando uma variação de apenas 7,2%, entre o ponto de maior vazão para o ponto de menor vazão, na unidade operacional. Já para 80% de UE calculada para a linha de derivação, em nível, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 9.313 a 6.736 L/ano, mostrando uma variação de 27,7%, entre o ponto de maior vazão para o ponto de menor vazão, na unidade operacional.

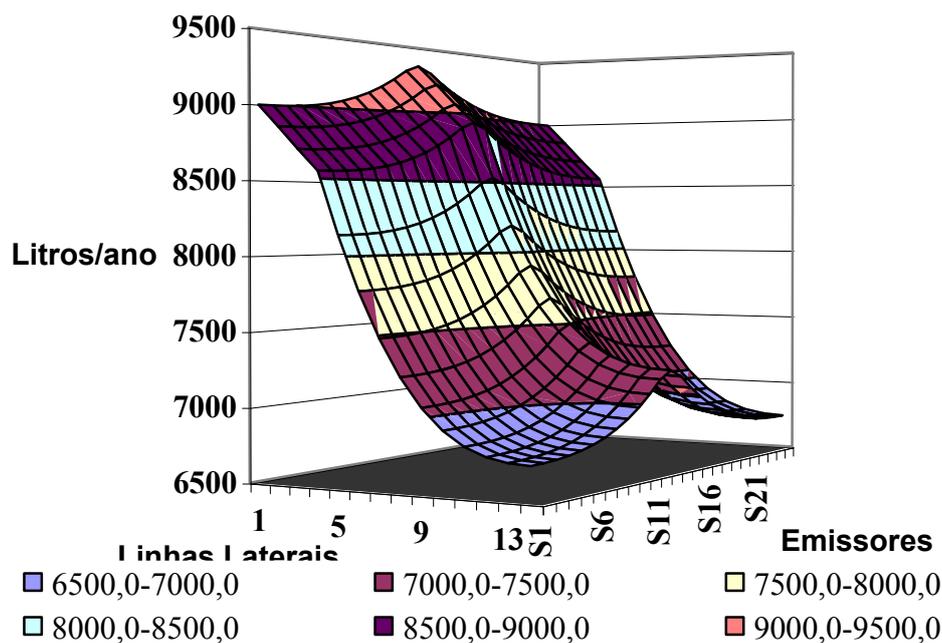


Figura 6. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 80% de UE, declividade de 0% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de 7,74 m³/ano.

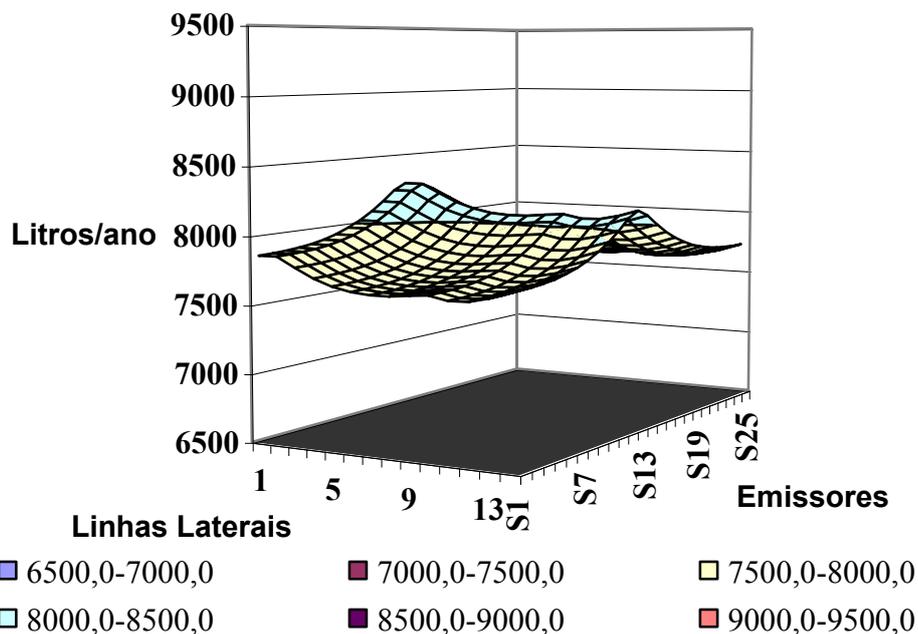


Figura 7. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 92% de UE, declividade de 3% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de 7,74 m³/ano.

Observa-se nas Figuras 8 e 9 a distribuição da vazão na unidade operacional com volume anual aplicado de 11,61 m³/ano com respectivamente 80% de UE e declividade de 0% e 92% de UE e declividade de 3%. Observa-se que a 92% de UE, sob 3% de declividade, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 12.332 a 11.449 L/ano, indicando uma variação de apenas 7,2%, entre o ponto de maior vazão e o ponto de menor vazão, na unidade

operacional. Esta variação de 7,2%, entre os pontos de maior e menor vazão, também poderia ser relacionada e explicada pela variação de pressão observada para as mesmas condições. Utilizando-se a equação 3, considerando $h1 = 17,7$ e $h2 = 15,7$ (condições de 92% de UE e declividade de 3%), consegue-se a variação de 6,6%, valor relativamente próximo ao valor real obtido de 7,2%.

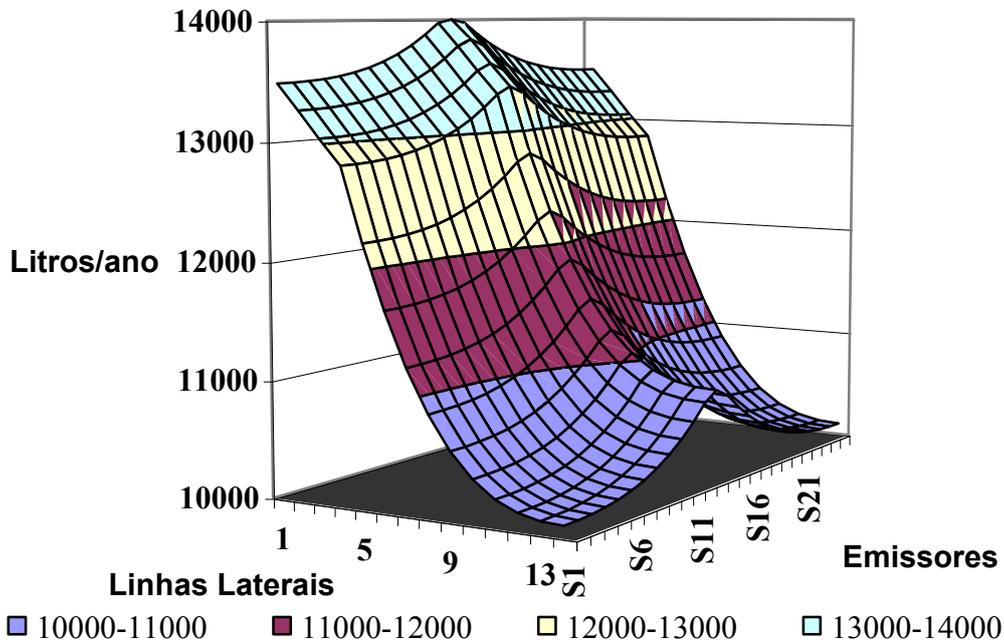


Figura 8. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 80% de UE, declividade de 0% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de $11,61 \text{ m}^3/\text{ano}$.

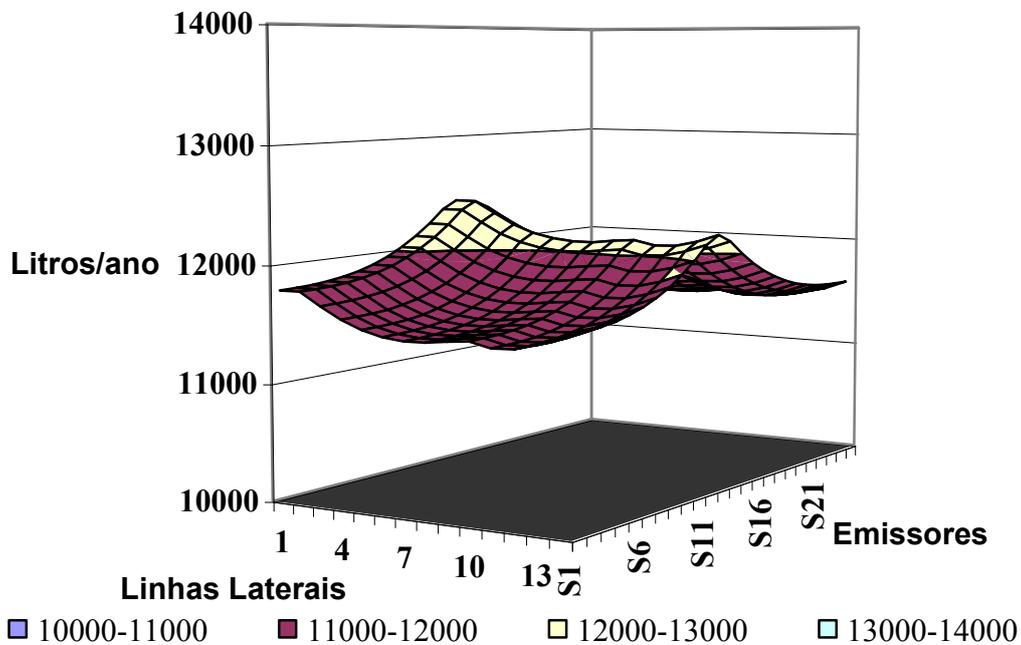


Figura 9. Distribuição da vazão na unidade operacional, com 92% de UE, declividade de 3% e lâmina correspondente a aplicação de um volume de $11,61 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Já para 80% de UE, em nível, a vazão nos emissores da unidade operacional variou de 13.970 a 10.104 L/ano, mostrando uma variação de 27,7%, entre o ponto de maior vazão e o ponto de menor vazão, na unidade operacional. Em experimento feito para avaliar o desempenho de sistemas de irrigação pressurizados em fruticultura, Moura (1999) cita que os menores valores de vazão são encontrados no final das linhas laterais.

Nota-se que os resultados de vazão nos emissores da unidade operacional, embora diferentes frente as três lâminas de irrigação testadas, mostram uma variação constante entre o ponto de maior vazão e o de menor vazão; pois a distribuição de pressão é igual independentes das diferentes lâminas testadas.

6 CONCLUSÕES

Há interação entre a uniformidade de emissão pré-estabelecida pelo projetista para a linha de derivação e a uniformidade de emissão nas linhas laterais da unidade operacional.

Há uma tendência objetiva de que quanto maior for a uniformidade de pressão na linha de derivação maior será também a uniformidade da pressão nas linhas laterais da unidade operacional em que estas estão inseridas.

Há uma variação constante entre o ponto de maior vazão e o de menor vazão nos emissores da unidade operacional; pois a distribuição de pressão é igual e independentes das diferentes lâminas testadas.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Brasil (Processo: 131498/2002-9) pela bolsa de pós-graduação que favoreceu o desenvolvimento deste trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Relatório de conjuntura de recursos hídricos 2005 – demandas e disponibilidades**. Brasília, 2005. 1 p. <http://www.ana.gov.br/>.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

GILLESPIE, V.A.; PHILLIPS, A.L.; WU, P. Drip irrigation design equations. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 105, n. 3, p. 247-258, 1979.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**. 3. ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 412 p.

KARMELI, D.; KELLER, J. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, p. 679-684, 1975.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New Jersey: Caldwell, 2000. v. 1, 652 p.

KLAR, A.E. Critérios para escolha do método de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 5, n. 1, p.52-82, 2000.

LISBOA, E.F.A. Pesquisa operacional. **Apostilado curso de pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, 2002. 56 p. <http://www.ericolisboa.eng.br>.

MARCUSSI, F.F.N. **Avaliação dos desempenhos hidráulico e econômico de um sistema de irrigação localizada utilizando programação linear**. 2004. 195 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MATANGA, G.B., MARIÑO, M.A. Irrigation planning. I. Crop pattern. **Water Resources Research**, New York, v. 15, p. 672-678, 1979.

MOURA, E.N. **Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação pressurizados em fruticultura**. 1999. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier Science, 1986. 383 p.

SCALOPPI, E. J.; ALLEN, R. G. Hydraulics of irrigation laterals: comparative analysis. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 119, n. 1, p. 91-115, 1993.