

RELAÇÃO ENTRE UNIFORMIDADE DA PRODUTIVIDADE E INDICADORES DE UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO EM CITROS *

HELIO MOREIRA DA SILVA JUNIOR¹; ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES²; CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA³ E JOÃO CARLOS CURY SAAD⁴

*Artigo extraído da dissertação do primeiro autor.

¹ Engenheiro Agrônomo, Docente no curso de agronomia, FUNEPE/ Fundação Educacional de Penápolis Avenida São José, 400 – Vila Martins, CEP 16300-000, Penápolis, SP, Brasil, moreirahelio@hotmail.com

² Engenheiro Agrícola, Adjunto A, UFRPE/ Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Avenida Bom Pastor s/n, Boa Vista, CEP 55292-270, Garanhuns, PE, Brasil, anthony.gomes@ufrpe.br

³ Engenheiro Agrônomo, Pós doutorando no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, AC Rio Verde CEP 75901-970, Rio Verde, GO, Brasil, ctsc2007@hotmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, UNESP/Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu, Departamento de Engenharia Rural, Fazenda Lageado, rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307 – Botucatu, SP, Brasil, joaosaad@fca.unesp.br

1 RESUMO

Um dos critérios recomendados de dimensionamento de sistemas de irrigação localizada fundamenta-se na uniformidade de emissão desejada na unidade operacional, supondo-se que a aplicação uniforme de água gera produção também uniforme. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a uniformidade de emissão de projeto e a uniformidade da produção, em irrigação por microaspersão. Um modelo de Programação Linear foi aplicado no dimensionamento de um sistema de irrigação para uso em pomar de citros. A análise de sensibilidade envolveu diferentes declividades, 0%, 3%, 6%, 9% e 12%, e diferentes valores de uniformidade de emissão de projeto, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% e 94%. Observaram-se maiores valores de uniformidade da vazão nos maiores valores de declividade, exceto em 12%. Quando se calculou o coeficiente de variação (CV) da produtividade na unidade operacional utilizando a função de produção para o fator água, verificou-se uma melhoria da uniformidade em todas as combinações avaliadas, em relação à uniformidade da vazão dos microaspersores. Os CV da carga hidráulica dos emissores na unidade operacional ficaram na faixa de 2 a 33%, os CV da vazão ficaram entre 1 e 17% e os CV da produtividade com 60 dias de irrigação ficaram entre 0,03 a 1,25%. Para se obter elevada produtividade com uniformidade na unidade operacional, deve-se considerar não apenas a uniformidade de emissão, mas especialmente a escolha adequada da lâmina a ser aplicada.

Palavras chave: Uniformidade de emissão; Irrigação localizada; Laranja irrigada.

**SILVA JUNIOR, H. M.; GOMES, A. W. A.; COSTA, C. T.S; SAAD, J. C.C;
RELATIONSHIP BETWEEN CITRUS PRODUCTIVITY AND INDICATORS OF
UNIFORMITY IN TRICKLE IRRIGATION SYSTEM**

Recebido em 19/11/2014 e aprovado para publicação em 15/11/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p430-442>

2 ABSTRACT

One of the recommended design criteria for localized irrigation systems is based on the desired emission uniformity, assuming that the uniform water application generates uniform production. The aim of this study was to evaluate the relation between the project emission uniformity and yield uniformity, in microsprinkler irrigation system. A Linear Programming model was applied in the irrigation system design of a citrus orchard. The sensitivity analysis involved different slopes, 0, 3, 6, 9 and 12%, and different values of emission uniformity, 60, 70, 75, 80, 85, 90 and 94%. The emitter discharge uniformity increased with the increase of the slope, except at 12%. It was observed, in all the combinations evaluated, that the productivity variation coefficient decreased when the water production function was used. The pressure head variation coefficient ranged from 2 to 33%, the flow variation coefficient ranged from 1 to 17%, and yield variation coefficient with 60 days of irrigation ranged from 0,03 to 1,25%. In order to obtain high yield with high uniformity in the operational unit, it is necessary to consider not only the emission uniformity, but especially the appropriate choice of the irrigation depth.

Keywords: Microsprinkler; Orange tree; Emission uniformity.

3 INTRODUÇÃO

Em irrigação, a uniformidade está relacionada com a capacidade do equipamento em fornecer a mesma quantidade de água em toda a área irrigada. Em sistemas de irrigação localizada, o dimensionamento baseia-se na uniformidade de emissão (UE) pré-estabelecida, que é função da qualidade de fabricação do emissor e da variação de pressão na rede hidráulica. Este valor desejado de UE pode ou não ser confirmado pelo projeto final, em decorrência da declividade da área e dos diâmetros comerciais da tubulação, que dificilmente coincidem exatamente com aqueles definidos nos cálculos do dimensionamento.

A necessidade do dimensionamento e manejo adequados dos sistemas de irrigação visam o aumento da produtividade e a redução do consumo de água e energia. É importante o planejamento integrado da irrigação visando a redução dos custos fixos e operacionais. É cada vez maior a busca pelos benefícios obtidos com o planejamento otimizado da irrigação, pois o que se deseja ao final é uma elevada e uniforme produção na área irrigada.

A Pesquisa Operacional permite identificar a alternativa mais racional de uso dos recursos disponíveis e é uma técnica eficaz na otimização dos sistemas de irrigação. Para o agricultor irrigante o que interessa é o sistema de irrigação adequado, dimensionado racionalmente e manejado criteriosamente, que ao final resulte na maximização de sua produtividade. A questão fundamental que motivou este trabalho foi: dimensionar sistemas de irrigação localizada visando obter elevada uniformidade de emissão na unidade operacional significa obter também elevada uniformidade na produtividade ?

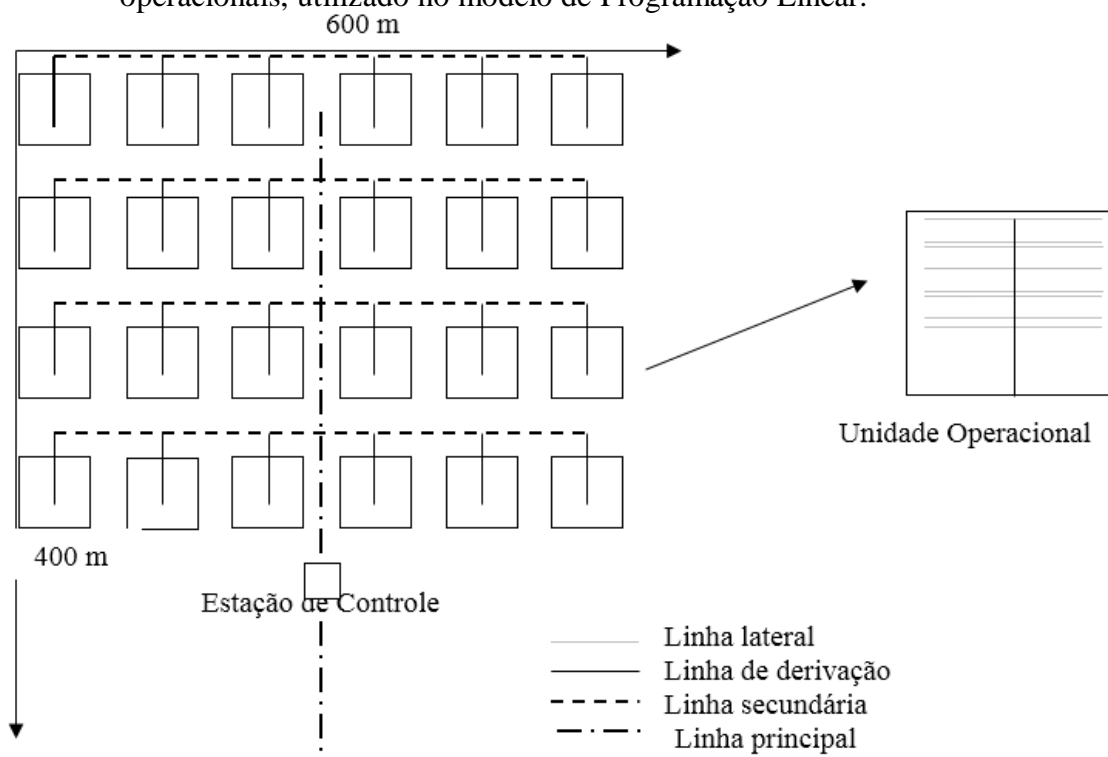
Duas hipóteses foram formuladas. A primeira afirma que “o coeficiente de variação (CV) da vazão dos microaspersores na unidade operacional não coincide com o CV da produtividade”. A outra hipótese é: há variação entre o CV da vazão e o CV da produtividade na unidade operacional e esta variação é dependente da lâmina aplicada no ciclo da cultura.

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a relação entre a uniformidade de emissão pré-estabelecida no projeto e a potencial uniformidade de produtividade, em sistema de irrigação por microaspersão, utilizando como exemplo a aplicação em citros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se uma área hipotética cultivada com citros para a análise comparativa, tendo dimensões de 400m por 600m, ou seja, 24 ha (Figura 1), com declividade na direção do menor comprimento (400m). As linhas de plantio estavam em nível na direção da maior dimensão (600m). O espaçamento considerado foi 4m x 7m, ou seja, 4m entre árvores na linha de plantio e 7m entre linhas de planta, totalizando 28m² por planta e 357 plantas por ha. Adotou-se um microaspersor por planta.

Figura 1. “Lay-out” do sistema de irrigação por microaspersão contendo 24 unidades operacionais, utilizado no modelo de Programação Linear.



Utilizou-se um modelo de Programação Linear (PL) de minimização de custos desenvolvido por Saad (2002) e posteriormente modificado por Marcussi (2004). Para solucionar os modelos de PL foi utilizado o programa computacional GAMS, versão 2.50, o qual possui uma linguagem básica de programação que permite acesso a 15 “solvers”, o que evidencia a grande aplicabilidade e poder de resolução deste software na Pesquisa Operacional.

O modelo dimensionou toda a rede hidráulica do sistema de irrigação, com exceção da linha lateral, da qual apenas calculou-se a distribuição de pressão em função da pressão na sua entrada.

No modelo foi utilizado um microaspersor não-autocompensante cujas características encontram-se no Tabela 1.

Tabela 1. Características do microaspersor.

Características	Microaspersor fixo (não autocompensante)
Carga hidráulica de operação (mca)	15,5
Vazão correspondente à carga hidráulica de operação (L.h ⁻¹)	43
Diâmetro molhado (m)	5,1m (300° x 11 jatos)
Coefficiente de variação de fabricação (CVF) - %	2,3
Preço unitário (R\$)	2,33

A relação entre a vazão e a carga hidráulica para o microaspersor utilizado no modelo de Programação Linear é dada por:

$$q = 9,8918 \cdot h^{0,5326} \quad \text{com } r^2 = 0,9985 \quad (1)$$

Em que: q é a vazão em L/h e h é a carga hidráulica em mca.

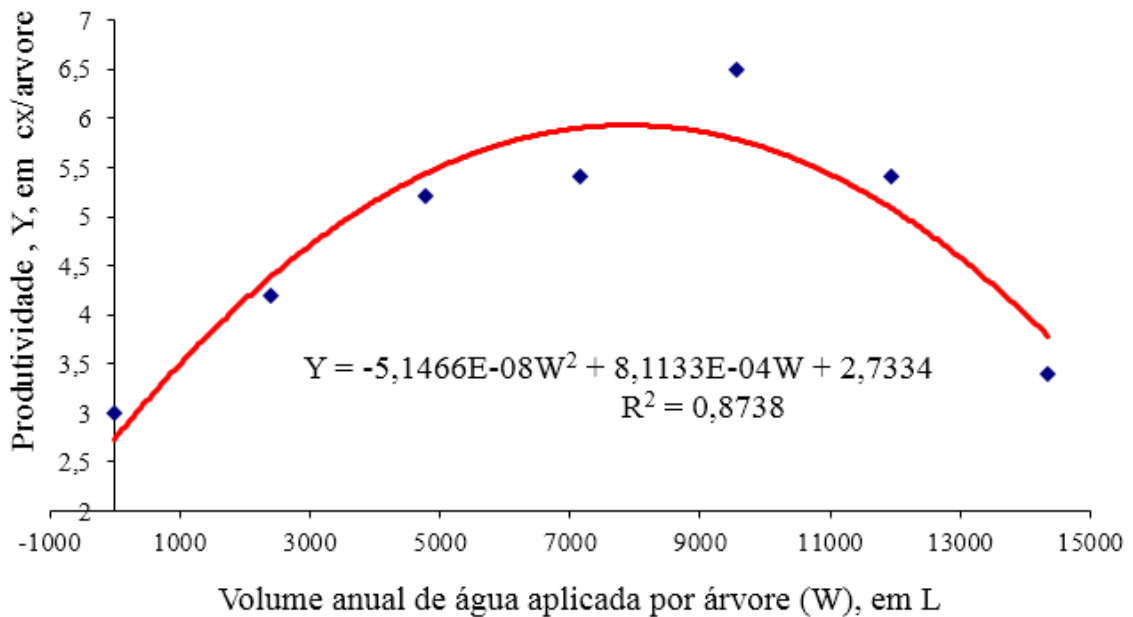
Os valores de UE pré-estabelecidos avaliados foram 60, 70, 75, 80, 85, 90 e 94% e as declividades na direção da linha de derivação utilizadas foram 0 (em nível), 3, 6, 9 e 12%.

Visando considerar também o efeito da eficiência de aplicação de água na uniformidade da produtividade, foram considerados 3 volumes de irrigação aplicados no ciclo de um ano e representados por 3h de irrigação em 30, 60 e 90 dias, os quais correspondem a 3870, 7740 e 11610 L/árvore/ano, respectivamente.

O volume anual aplicado correspondente a 60 dias de irrigação com 3h por dia de operação é a quantidade que permite a máxima produtividade, com base na função de resposta da laranja para o fator água (Figura 2).

Tanto a irrigação durante 30 dias, que caracteriza um déficit de aplicação de água, quanto a aplicação de água durante 90 dias, que corresponde a um volume excessivo, geram um valor de produtividade inferior ao ótimo, o que pode ser constatado na função de produção da laranja para o fator água que é dada por uma equação polinomial do segundo grau, tendo um trecho inicial ascendente, uma faixa ótima e um trecho descendente (Figura 2), conforme apresentado Bertanha (1997) e por Marcussi (2004).

Figura 2. Função de produção de citros (Y; em caixa por árvore) para o fator água (W; em L)



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ilustrar as análises realizadas, escolheu-se a combinação envolvendo declividade 0% (em nível) e uniformidade de emissão pré-estabelecida de 90%. Os itens seguintes mostram progressivamente a avaliação da unidade operacional, até chegar na receita líquida.

5.1 Distribuição da Produção por Árvore nas Linhas Laterais (em caixas.ano⁻¹)

A partir dos dados de lâmina aplicada por microaspersor e utilizando a função de produção da laranja para o fator água, obteve-se a produtividade em caixas por árvore por ano, para cada uma das três lâminas aplicadas (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, em cada ponto de emissão de água da unidade operacional, para 30 dias de irrigação no ano (lâmina anual de irrigação de 3870 L/árvore), na condição em nível e com UE de 90%.

Linha de Derivação (m)	Produtividade (caixa.árvore ⁻¹ . ano ⁻¹)											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	5,23	5,21	5,19	5,17	5,15	5,14	5,13	5,13	5,12	5,12	5,12	5,12
10,5	5,22	5,20	5,18	5,16	5,15	5,14	5,13	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12
17,5	5,22	5,20	5,18	5,16	5,15	5,14	5,13	5,12	5,12	5,11	5,11	5,11
24,5	5,21	5,19	5,17	5,15	5,14	5,13	5,12	5,11	5,11	5,11	5,10	5,10
31,5	5,20	5,17	5,15	5,13	5,12	5,11	5,10	5,09	5,09	5,08	5,08	5,08
38,5	5,18	5,16	5,13	5,12	5,10	5,09	5,08	5,07	5,07	5,07	5,06	5,06
45,5	5,17	5,14	5,12	5,10	5,09	5,08	5,07	5,06	5,05	5,05	5,05	5,05
52,5	5,16	5,13	5,11	5,09	5,08	5,06	5,05	5,05	5,04	5,04	5,04	5,04
59,5	5,15	5,12	5,10	5,08	5,07	5,06	5,05	5,04	5,03	5,03	5,03	5,03
66,5	5,14	5,12	5,10	5,08	5,06	5,05	5,04	5,03	5,03	5,02	5,02	5,02
73,5	5,14	5,11	5,09	5,07	5,06	5,04	5,03	5,03	5,02	5,02	5,02	5,02
80,5	5,14	5,11	5,09	5,07	5,05	5,04	5,03	5,03	5,02	5,02	5,02	5,02
87,5	5,13	5,11	5,08	5,07	5,05	5,04	5,03	5,02	5,01	5,01	5,01	5,01
94,5	5,13	5,11	5,08	5,06	5,05	5,04	5,03	5,02	5,01	5,01	5,01	5,01
Produção Mínima	5,01	Caixa/árvore/ano										
Produção Média	5,09	Caixa/árvore/ano										
Media	5,09	Caixa/árvore/ano										
Desvio-padrão	0,05											
CV	0,01											

Tabela 3. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, em cada ponto de emissão de água da unidade operacional, para 60 dias de irrigação no ano (lâmina anual de irrigação de 7740 L/árvore), na condição em nível e com UE de 90%.

Linha de Derivação (m)	Produtividade (caixa.árvore ⁻¹ . ano ⁻¹)												
	Pontos de emissão na linha lateral (m)												
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	
3,5	5,928	5,924	5,927	5,929	5,930	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	
10,5	5,919	5,925	5,928	5,930	5,930	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	
17,5	5,920	5,925	5,928	5,930	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,931	5,930	5,930	
24,5	5,922	5,926	5,929	5,930	5,931	5,931	5,931	5,930	5,930	5,930	5,930	5,930	
31,5	5,926	5,929	5,930	5,931	5,931	5,930	5,930	5,929	5,928	5,928	5,928	5,928	
38,5	5,928	5,930	5,931	5,931	5,930	5,929	5,928	5,927	5,926	5,926	5,926	5,926	
45,5	5,929	5,931	5,931	5,930	5,929	5,927	5,926	5,925	5,924	5,923	5,923	5,923	
52,5	5,930	5,931	5,930	5,929	5,927	5,925	5,924	5,923	5,922	5,921	5,921	5,921	
59,5	5,931	5,931	5,930	5,928	5,926	5,924	5,922	5,921	5,920	5,919	5,919	5,919	
66,5	5,931	5,931	5,929	5,927	5,925	5,923	5,921	5,919	5,918	5,917	5,917	5,917	
73,5	5,931	5,931	5,929	5,927	5,924	5,922	5,920	5,918	5,917	5,916	5,916	5,916	
80,5	5,931	5,930	5,929	5,926	5,924	5,921	5,919	5,918	5,916	5,916	5,915	5,915	
87,5	5,931	5,930	5,928	5,926	5,923	5,920	5,918	5,916	5,915	5,914	5,914	5,914	
94,5	5,931	5,930	5,928	5,925	5,923	5,920	5,918	5,916	5,915	5,914	5,913	5,913	
Produção Mínima						5,91							Caixa/árvore/ano
Produção Média						5,93							Caixa/árvore/ano
Media						5,93							Caixa/árvore/ano
Desvio-padrão						0,01							
CV						0,00							

Tabela 4. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, em cada ponto de emissão de água da unidade operacional, para 90 dias de irrigação no ano (lâmina anual de irrigação de 11610 L/árvore), na condição em nível e com UE de 90%.

Linha de Derivação (m)	Produtividade (caixa.árvore ⁻¹ . ano ⁻¹)											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	4,80	4,89	4,96	5,02	5,06	5,10	5,12	5,14	5,15	5,16	5,17	5,17
10,5	4,82	4,90	4,97	5,03	5,07	5,11	5,14	5,15	5,17	5,17	5,18	5,18
17,5	4,83	4,92	4,99	5,04	5,09	5,12	5,15	5,17	5,18	5,19	5,19	5,19
24,5	4,86	4,94	5,01	5,06	5,11	5,14	5,17	5,19	5,20	5,21	5,21	5,21
31,5	4,92	5,01	5,07	5,13	5,17	5,20	5,23	5,25	5,26	5,27	5,27	5,27
38,5	4,98	5,06	5,12	5,18	5,22	5,25	5,28	5,29	5,30	5,31	5,32	5,32
45,5	5,02	5,10	5,16	5,22	5,26	5,29	5,31	5,33	5,34	5,35	5,35	5,35
52,5	5,05	5,13	5,19	5,25	5,29	5,32	5,34	5,36	5,37	5,38	5,38	5,38
59,5	5,08	5,16	5,22	5,27	5,31	5,34	5,36	5,38	5,39	5,40	5,40	5,40
66,5	5,10	5,17	5,23	5,28	5,32	5,36	5,38	5,39	5,41	5,41	5,42	5,42
73,5	5,11	5,18	5,25	5,30	5,34	5,37	5,39	5,40	5,42	5,42	5,43	5,43
80,5	5,11	5,19	5,25	5,30	5,34	5,37	5,39	5,41	5,42	5,43	5,43	5,43
87,5	5,13	5,20	5,27	5,32	5,35	5,38	5,41	5,42	5,43	5,44	5,44	5,44
94,5	5,13	5,21	5,27	5,32	5,36	5,39	5,41	5,43	5,44	5,44	5,45	5,45
				Produção Mínima			4,8	Caixa/árvore/ano				
				Produção Média			5,2	Caixa/árvore/ano				
				Media			5,2	Caixa/árvore/ano				
				Desvio-padrão			0,15					
				CV			0,03					

Nas Figuras 3, 4 e 5 tem-se a representação espacial na unidade operacional das produtividades apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Figura 3. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional com volume aplicado correspondente a 30 dias de irrigação.

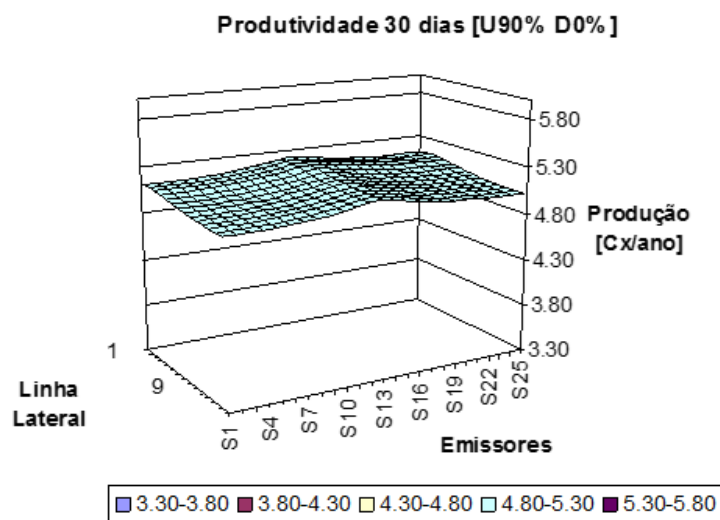


Figura 4. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional com volume aplicado correspondente a 60 dias de irrigação.

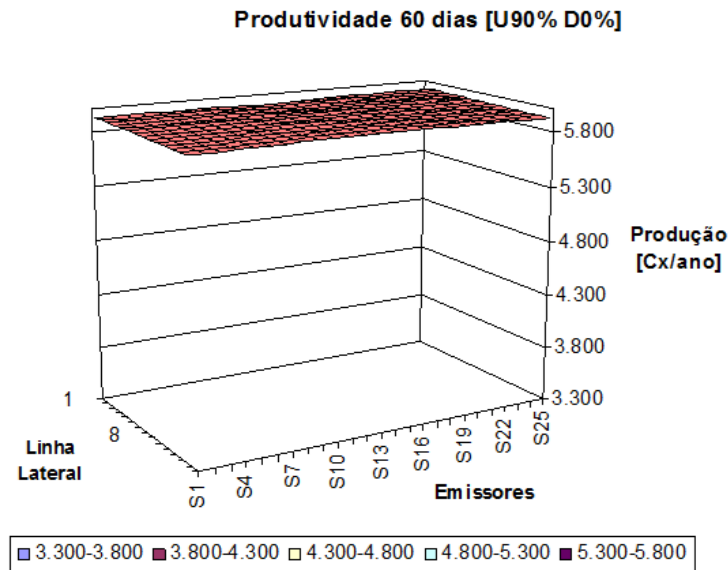
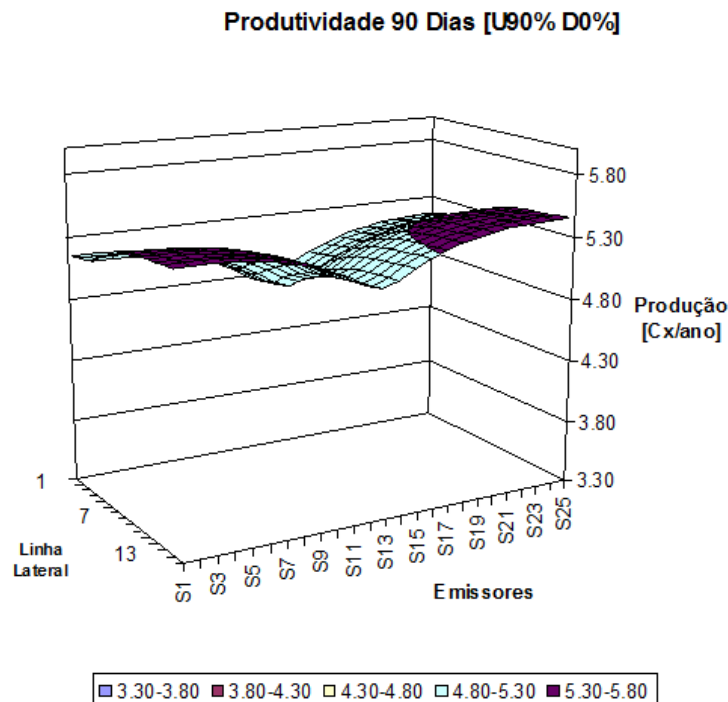


Figura 5. Distribuição da produtividade, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional com volume aplicado correspondente a 90 dias de irrigação.



Verifica-se nas Tabelas 2, 3, e 4 que a lâmina ótima (7740 L/árvore/ano) apresentou o menor coeficiente de variação da produtividade nos pontos de emissão de água da unidade operacional, seguida da aplicação de 3870 L/árvore/ano (CV de 1%) e da irrigação com 11610 L/árvore/ano (CV de 3%). A representação espacial destas lâminas aplicadas (Figuras 2, 3 e 4) confirma a maior uniformidade da lâmina ótima (3870 L/árvore/ano), pois neste caso específico

a variação de volume aplicado se dá em torno do ponto ótimo da função de produção para o fator água, caracterizada por um polinômio do segundo grau (Figura 2).

A relação entre a vazão e a carga hidráulica é dada por uma equação na forma de potência, com expoente próximo de 0,5 (equação 1). Desta forma, o coeficiente de variação da carga hidráulica é aproximadamente o dobro do coeficiente de variação de vazão, conforme pode ser verificado na Tabela 5, em todas as combinações estudadas de uniformidade de emissão e declividade na direção da linha de derivação.

Tabela 5. Coeficiente de variação (CV) da carga hidráulica e da vazão nos emissores da unidade operacional, para as combinações avaliadas de UE pré-estabelecida e declividade.

UE pré-estabelecida	Declividade %	CV da Carga Hidráulica (%)	CV da vazão dos microaspersores (%)
94	0	2,1	1,1
	3	7,5	4,0
	6	10,1	5,3
	9	6,3	3,4
	12	14,0	7,4
90	0	6,5	3,4
	3	11,9	6,3
	6	10,9	5,8
	9	7,6	4,0
	12	16,3	8,6
80	0	10,9	5,8
	3	19,1	10,0
70	0	10,9	5,8
	3	7,6	4,0
60	0	16,3	8,6
	3	18,0	9,5

O CV da carga hidráulica na unidade operacional do sistema de irrigação por microaspersão foi sempre maior que o CV da vazão, em todas combinações avaliadas, conforme indica a Tabela 5.

5.2 CV da Vazão x CV da Produtividade

O objetivo de se ter uniformidade na aplicação de água é justamente obter uniformidade de produtividade vegetal, que neste caso em estudo, está expressa em caixas de laranja por árvore.

Quando se analisa produtividade, além da uniformidade de aplicação de água, que significa o quanto a irrigação se aproxima da aplicação da mesma quantidade de água nos diferentes emissores, deve-se considerar também a eficiência de aplicação, a qual está relacionada com o atendimento das necessidades hídricas da planta, nos momentos oportunos.

Analisando-se a Tabela 6 verifica-se que, nos três volumes anuais aplicados, o coeficiente de variação da produtividade sempre foi menor que o coeficiente de variação da vazão, para todas as combinações de uniformidade de emissão e de declividade estudadas. Isto indica que há uma faixa de lâmina aplicada de água que compreende o ponto de máxima

produtividade, na qual a desuniformidade de vazão é amenizada pela função de resposta, que é um polinômio do segundo grau.

Tomando como exemplo a uniformidade de emissão de projeto de 90% na declividade de 3%, verifica-se que o coeficiente de variação da vazão na unidade operacional foi de 6,3%. Quando se analisa, para esta mesma combinação, o coeficiente de variação da produtividade, nota-se que para a lâmina aplicada excessiva (90 dias) obtém-se um valor próximo (5,4%). Para 30 dias, que é a lâmina deficitária, o CV da produtividade diminuiu para 2%, ou seja, três vezes menor, enquanto que para a lâmina ótima (60 dias) o coeficiente de variação da produtividade reduziu para 0,2%, ou seja, 30 vezes menor. Isto se repete em praticamente todas as combinações avaliadas, com pequenas modificações de valores, porém com a mesma tendência.

Tabela 6. Coeficientes de variação da vazão e da produção, para diferentes combinações de declividade do terreno, UE pré-estabelecida e lâmina anual aplicada.

UE pré- estabelecida (%)	Declividade (%)	CV (%) da vazão dos microaspersores	CV (%) da produtividade		
			3870 L/árvore/ano	7740 L/árvore/ano	11610 L/árvore/ano
94	0	11,0	0,3	0,0	0,9
	3	4,0	1,2	0,1	3,4
	6	5,3	1,7	0,1	4,6
	9	3,4	1,1	0,1	2,8
	12	7,4	2,3	0,3	6,3
90	0	3,4	1,1	0,1	2,9
	3	6,3	2,0	0,2	5,4
	6	5,8	1,8	0,2	5,0
	9	4,0	1,3	0,1	3,4
	12	8,6	2,7	0,4	7,2
80	0	5,8	1,8	0,2	4,8
	3	10,0	3,1	0,4	8,7
70	0	9,5	3,0	0,4	8,2
	3	12,4	3,8	0,6	10,3
60	0	12,5	3,8	0,6	10,8
	3	13,0	3,9	0,7	10,6

A hipótese relacionada com este item afirma que “o CV da vazão não coincide com o CV da produtividade” e é verdadeira, conforme demonstrado anteriormente.

A outra hipótese: há variação entre o CV da vazão e o CV da produtividade na unidade operacional e esta variação é dependente da lâmina aplicada. Tal hipótese foi verdadeira para as três lâminas avaliadas. Quanto mais próxima a lâmina aplicada daquela que corresponde à máxima produção física, maior foi a diferença entre o CV da vazão e o CV da produtividade.

5.3 Receita Líquida para as Combinações Avaliadas

A Tabela 7 apresenta o lucro anual para a área total (24 ha) em função das combinações de declividade, uniformidade de emissão de projeto e lâmina anual aplicada. Observa-se que a maior receita líquida foi obtida com 85% de UE, condição em nível e 60 dias de irrigação no ano. Ficou evidente também que o maior efeito no lucro é decorrente da escolha adequada da

lâmina aplicada, pois em todas as combinações avaliadas obteve-se maior receita líquida com 60 dias de irrigação, seguido por 90 dias e finalmente por 30 dias.

De maneira geral, verificou-se que o lucro diminui com o aumento da declividade, o que implica em maior altura manométrica do projeto e maior custo operacional.

Tabela 7. Receita líquida para a área total do projeto (24 ha), nas combinações avaliadas de declividade e UE pré-estabelecida.

Declividade %	UE %	Receita líquida para a área total (R\$)		
		3870 L/árvore/ano	7740 L/árvore/ano	11610 L/árvore/ano
0	94	23276,9	27825,5	24055,3
3	94	23324,3	27815,6	23910,4
6	94	23292,9	27776,3	23887,4
9	94	23313,8	27788,5	23861,4
12	94	23239,6	27687,0	23763,0
0	90	23351,5	27810,7	23851,4
3	90	23331,1	27802,9	23889,6
0	85	23256,2	27845,4	24236,9
3	85	23291,4	27758,6	23875,4
0	80	23315,3	27831,2	24019,8
3	80	23197,2	27699,5	23980,5
0	75	23330,1	27789,7	23851,7
3	75	23077,6	27639,8	24160,2
0	70	23294,7	27736,5	23798,2
3	70	22945,0	27580,2	24379,2
0	60	23154,3	27620,5	23871,8
3	60	22860,3	27542,2	24519,3

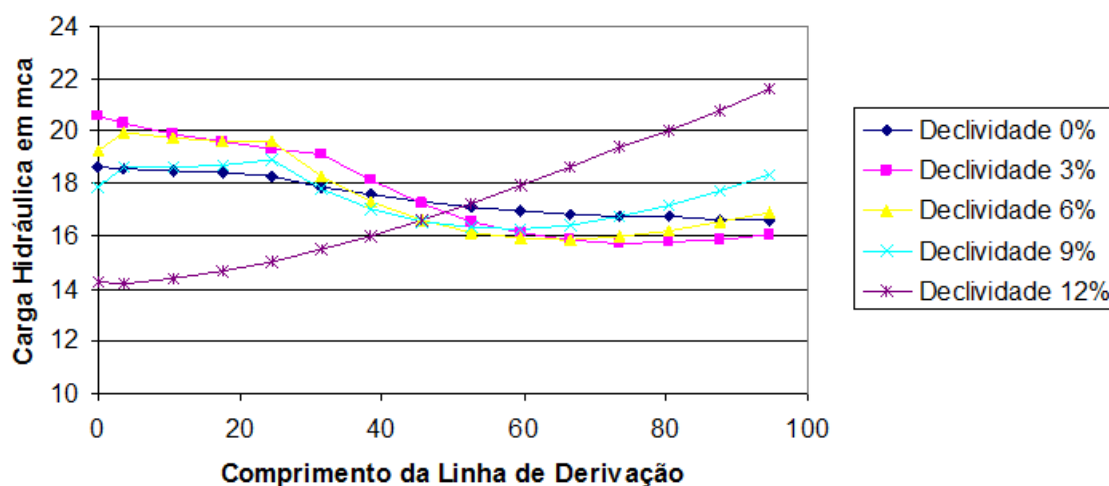
5.4 Distribuição da Carga Hidráulica na Linha de Derivação em áreas com declividade

Na Tabela 8 tem-se a distribuição de carga hidráulica na linha de derivação para a UE de 90%, em diferentes condições de declividade.

Tabela 8. Distribuição da carga hidráulica (mca) na linha de derivação, para UE de 90%, em diferentes condições de declividade.

Distância das saídas da Linha de Derivação (m)	Carga hidráulica (mca) nas saídas da linha de derivação				
	UE pré-estabelecida				
	0%	3%	6%	9%	12%
0	18,64	20,59	19,29	17,87	14,25
3,5	18,59	20,33	19,97	18,65	14,16
10,5	18,50	19,91	19,75	18,65	14,36
17,5	18,43	19,58	19,63	18,74	14,66
24,5	18,28	19,33	19,59	18,90	15,04
31,5	17,90	19,15	18,30	17,83	15,49
38,5	17,57	18,14	17,32	17,06	16,01
45,5	17,32	17,22	16,62	16,57	16,59
52,5	17,11	16,55	16,16	16,31	17,22
59,5	16,96	16,10	15,91	16,28	17,91
66,5	16,85	15,83	15,86	16,43	18,64
73,5	16,77	15,73	15,96	16,75	19,41
80,5	16,73	15,75	16,19	17,19	20,06
87,5	16,64	15,87	16,52	17,73	20,80
94,5	16,61	16,05	16,91	18,33	21,62

A representação gráfica da Tabela 8 está na Figura 6. A linha de derivação com declive de 12% é a única que apresenta carga hidráulica mínima no início da linha e máxima no final.

Figura 6. Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação, para a uniformidade de emissão de 90% em diferentes condições de declividade.

6 CONCLUSÕES

Com base nas simulações e nas hipóteses avaliadas, pode-se concluir que:

- o coeficiente de variação da vazão dos emissores da unidade operacional foi sempre maior que o coeficiente de variação da produtividade;

- o CV da produtividade foi dependente da lâmina aplicada, com menores valores quando se aplicou aproximadamente o volume que resulta em máxima produtividade;
- para se obter uniformidade da produtividade, deve-se considerar não apenas a uniformidade de emissão na unidade operacional, mas especialmente a escolha adequada da lâmina de irrigação a ser aplicada.

7 REFERÊNCIAS

- BARRAGAN, J.; WU, I. P. Simple pressure parameters for micro-irrigation design. **Biosystems Engineering**, London, v. 90, n. 4, p. 463-475, 2005.
- BERTONHA, A. **Funções de resposta da laranja pera a irrigação complementar e nitrogênio**. 1997. 113 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New Jersey: The Blackburn Press, 2000. v. 1. 652 p.
- MARCUSSI, F. F. N. **Avaliação dos desempenhos hidráulico e econômico de um sistema de irrigação localizada utilizando programação linear**. 2004. 188 f. Dissertação (Mestre em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- SAAD, J. C. C. **Modelos de programação linear e não-linear para otimização do dimensionamento e operação de sistemas de irrigação localizada**. 2002. 129 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.