UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

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

HÉLIO MOREIRA DA SILVA JÚNIOR

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Julho – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

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

HÉLIO MOREIRA DA SILVA JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Julho – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Silva Júnior, Hélio Moreira da, 1984-
S586r Relação entre uniformidade da produtividade e indicadores de uniformidade da irrigação em sistema de irrigação por microaspersão em citros / Hélio Moreira da Silva Júnior. – Botucatu : [s.n.], 2011
vi, 100 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
Orientador: João Carlos Cury Saad
Inclui bibliografia

1. Laranja. 2. Irrigação por aspersores. 3. Irrigação localizada. 4. Produtividade agrícola. 5. Uniformidade de emissão. I. João Carlos Cury Saad. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

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

ALUNO: HÉLIO MOREIRA DA SILVA JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

PROF. DR. JOÃO LUÍS ZOCOLER

PROF. DR. ALTAIR BERTONHA

Data da Realização: 21 de julho de 2011.

OFEREÇO

A Maria Aparecida Abrão Moreira, *minha mãe*, Hélio Moreira da Silva*, meu pai,*

A Flavia Moreira da Silva (in memória) e, Fernanda Moreira da Silva *minhas irmãs*, por acreditarem e entenderem todos os momentos de dificuldade.

Agradecimentos

A DEUS, por permitir concluir mais uma etapa de minha pequena formação profissional e pessoal.

A FCA/UNESP e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em Irrigação e Drenagem.

A toda minha família incluindo avós tios primos aqueles *in memorian*, por apoiarem e acreditarem em toda a minha formação.

Ao Professor Dr. João Carlos Cury Saad, pelo incentivo, amizade, orientação nos diversos momentos da realização desse trabalho, e pela grande compreensão das minhas limitações.

Aos amigos: Roselani Araldi, Adriana Tanaka, Adilson Pacheco de Souza pela boa influencia em minha vida.

Aos amigos de pós-graduação.

Aos membros da banca, Profs. Drs. João Luis Zocoler e Altair Bertonha, por sua disponibilidade e opiniões para a melhora desse trabalho e por fazerem parte no meu desenvolvimento intelectual.

A todos acima citados meu sincero obrigado.

SUMÁRIO

Página

RESUMO 7
SUMMARY 9
1. INTRODUÇÃO 10
2.1. Coeficientes de Uniformidade 13
2.2. Programação Linear 15
2.3. Medidas de dispersão: Coeficiente de Variação e Desvio Padrão 18
2.4.Laranja irrigada e Função de Produção para o fator Água 18
3. MATERIAIS E MÉTODOS 21
3.1. Modelo de Programação Linear 21
3.2. Pomar com citros utilizado nas avaliações 22
3.3. Parâmetros de entrada do modelo de PL 24
3.3.1. Função de Produção da laranja para o fator água. 24
3.3.2. Uniformidade de Emissão (UE) Pré-estabelecida e o Dimensionamento da Unidade Operacional 25
3.3.3. Indicadores de uniformidade 27
3.3.4. Volumes anuais aplicados 28
3.3.5. Tarifa de Energia Elétrica 28
3.3.6. Cotação da Laranja Para Indústria 28
3.3.7. Custo da Água 29
3.3.8. Custo da tubulação 29
3.3.8. Microaspersor Não-Autocompensante 30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 32
4.1. Estudo de Caso: UE pré-estabelecida de projeto de 90% e Declividade 0% 32
4.1.1. Distribuição de Pressão na Unidade Operacional 32
4.1.2. Distribuição da Vazão na Unidade Operacional 34
4.1.3. Distribuição da Lâmina de Água Aplicada 34
4.1.4. Distribuição da Produção por Árvore nas Linhas Laterais (Caixas/ano) 38
4.2. Uniformidade de Emissão de Projeto e Uniformidade de Emissão Final 42
4.3. Coeficiente de Proporcionalidade para Definição da Variação de Pressão na Unidade Operacional 44
4.4. Coeficientes de Variação da Carga Hidráulica e da Vazão 45
4.5. Indicadores de Uniformidade 46
4.6. CV da Vazão x CV da Produção 48
4.7. Receita Líquida das Combinações Avaliadas 50
4.8. Distribuição da Carga Hidráulica na Linha de Derivação, para Diferentes UE Pré-estabelecidas 51
4.9. Distribuição da Carga Hidráulica na Linha de Derivação, para Terrenos com Diferentes Declividades. 53
5. CONCLUSÕES 55
6. REFERÊNCIAS 56

ANEXO 1 60
ANEXO 2 66
ANEXO 3 71
ANEXO 4 75
ANEXO 5 90
ANEXO 6 94

LISTA DE PARÂMETROS

a = coeficiente da relação vazão x pressão do emissor;

A_t = área total a ser irrigada, em m^2.

CV (f) coeficiente de variação de fabricação

C = coeficiente de proporcionalidade, variando de 1,5 a 4, em função de alguns fatores, dentre eles a declividade.

FV_N = valor futuro do dinheiro em um período N.

Hmed = carga hidráulica média em mca;

Hmin = carga hidráulica mínima na unidade operacional, em mca.

HFL = perda de carga permitida na linha lateral, em mca.

HFD = perda de carga permitida na linha de derivação, em mca.

i = taxa de juros no período

LD = comprimento da linha de derivação, m.

N = número de emissores por árvore.

PV = valor presente;

qn = vazão média das 25% menores vazões observadas, em $L.h^{-1}$;

$\bar{q}$ = vazão média;

qx = média das 12,5% maiores vazões observadas;

qmin = vazão mínima dos dados observados na unidade operacional;

So = gradiente de declive, em m/m;

UE = uniformidade de emissão;

UE (f) = uniformidade de emissão em função do processo de fabricação, adimensional;

UEa = uniformidade de emissão absoluta;

UD = Uniformidade de distribuição (%);

x = coeficiente da relação vazão pressão do emissor;

Y = produtividade, em caixas (40,8kg) por árvore;

W = volume anual de água aplicado, em L;

ΔH = variação permissível de carga hidráulica na unidade operacional (H máximo – H mínimo).

RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE DO CITROS E INDICADORES DE UNIFORMIDADE EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO. Botucatu, 2011. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
Autor: Hélio Moreira da Silva Júnior
Orientador: João Carlos Cury Saad

RESUMO

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 o resultado conjunto das características do equipamento e de sua configuração hidráulica. Entretanto, 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. Além disso, há uma questão: dimensionar sistemas de irrigação localizada visando obter elevada uniformidade de emissão significa alcançar elevada uniformidade na produção ?

Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre a uniformidade de emissão de projeto e a uniformidade da produção, em sistema de irrigação por microaspersão.

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%. Considerou-se um pomar de citros com dimensões de 400m por 600m, com declividade variável na direção do menor comprimento. As linhas de plantio estavam em nível, na direção da maior dimensão. O espaçamento adotado no pomar era de 7m x 4m. A linha de derivação operava sempre em declive e tinha espaçamento regular entre linhas laterais de 7m, sendo que a primeira estava a 3.5m. Observou-se maiores valores de uniformidade da vazão nos maiores valores de declividade, exceto em 12%. Quando se calculou o coeficiente de variação da produtividade utilizando a função de produção para o fator água, verificou-se uma melhoria da uniformidade em todas as combinações avaliadas. Comparando os índices de avaliação de desempenho, observou-se que tiveram o mesmo desempenho em todas as combinações estudadas, sendo que os menores valores foram obtidos para o indicador uniformidade de emissão e os maiores para uniformidade de distribuição, com o índice de Barragan tendo

desempenho intermediário. Os coeficientes de variação da pressão ficaram na faixa de 0,02 a 0,33, os coeficientes de variação da vazão ficaram entre 0,01 a 0,17 e os coeficientes de variação da produção com 60 dias de irrigação ficaram entre 0,0003 a 0,0125. Os resultados obtidos permitem uma análise consistente dos parâmetros hidráulicos da uniformidade de emissão pré-estabelecida para a linha de derivação, influencia desta nas linhas laterais, produtividade, uniformidade de emissão e receita liquida do produtor frente às distintas configurações hidráulicas e sob as declividades propostas. Verificou-se que nem sempre a melhor configuração hidráulica reverte em maior lucro ao irrigante para as condições de estudo indicadas.

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

RELATIONSHIP BETWEEN CITRUS PRODUCTIVITY AND INDICATORS OF UNIFORMITY IN TRICKLE IRRIGATION SYSTEM. Botucatu, 2009. 130p. Dissertation (Master in Agronomy/Irrigation and Drainage) – Faculty of Agronomic Sciences, State University of São Paulo.
Author: Hélio Moreira da Silva Junior
Advisor: João Carlos Cury Saad

SUMMARY

Irrigation uniformity is related to the ability of equipment to provide the same amount of water throughout the irrigated area. In irrigation systems, the design is based on the pre-established emission uniformity (EU) which is the combined result of the equipment characteristics and its hydraulic configuration. However, this desired value of the EU may not be confirmed by the final project, due to the slope of the area and the commercial diameters of the pipe.

This study aimed to evaluate the uniformity of design of an irrigation system and its relationship with yield.

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 design of trickle irrigation was applied to a citrus orchard with dimensions of 400m x 600m, with variable slope towards the shorter length. The tree rows were leveled in the larger direction and the spacing adopted in the orchard was 7m x 4m. The manifold line was always operating on a slope and had regular spacing between the lateral lines of 7m, the first of which was 3.5m. Higher discharge values were observed in the highest slope values except at 12%. When we calculated the variation coefficient of productivity using the production function for the water factor, there was an improvement of uniformity in all the combinations evaluated. Comparing the index performance evaluation, it was observed they had the same pattern performance in all combinations studied. The lowest values were obtained for the indicator emission uniformity and the largest for distribution uniformity, and the Barragan index had intermediary performance. The variation pressure coefficients ranged from 0.02 to 0.33, the flow variation coefficient ranged from 0.01 to 0.17, and production variation coefficients with 60 days of irrigation ranged from 0.0003 to 0.0125.

Keywords: Microsprinkler; Irrigated orange; Emission uniformity.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Agricultura e abastecimento MAPA (2011) a citricultura é uma das mais destacadas agroindústrias brasileiras. Responsável por 60% da produção mundial de suco de laranja, o Brasil é também o campeão de exportações do produto. O cultivo de laranja no Brasil se divide em dois períodos distintos. O primeiro, de 1990 a 1999, se caracteriza pelo aumento da produção e conquista da posição de líder do setor. O segundo, a partir de 1999, é o período de consolidação da capacidade e desempenho produtivo. São colhidas, anualmente no País, mais de 18 milhões de toneladas de laranja ou cerca de 30% da safra mundial da fruta.

Para manter a liderança do setor, o MAPA (2011) investe no apoio à adoção de sistemas mais eficientes, como a produção integrada, com medidas para reduzir os custos, aperfeiçoar e ampliar a comercialização do produto. Cerca de 50% da produção mundial de laranja e 80% da brasileira resultam em sucos industrializados. O principal comprador da bebida brasileira é a União Europeia que aumenta significativamente o percentual de importação anualmente. A maior parte das importações mundiais, 85%, é absorvida por apenas três mercados: Estados Unidos, União Europeia e Canadá.

Neste contexto tecnológico da citricultura nacional, se insere a irrigação localizada e o seu correto gerenciamento técnico, frente à diversidade de regiões produtoras, onde o elevado custo inicial de implantação tende a ser fator limitante na

adoção de tal tecnologia. Não se contesta a necessidade da irrigação como fator de aumento da produtividade de pomares cítricos. O desafio maior é permitir seu uso com bases econômicas sólidas e sem prejuízos ao meio ambiente. O interesse na irrigação localizada se deve especialmente à economia de água, de energia elétrica e de mão-de-obra, além do substancial aumento de produtividade e qualidade das frutas cítricas. A área de citros irrigada no Brasil é de 132.288 ha, sendo 31.360 ha com aspersão e 100.928ha com irrigação localizada (AGROFIT 2008).

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 o resultado conjunto das características do equipamento e de sua configuração hidráulica. Entretanto, 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 com todos os fatores aos quais está vinculada visando a redução dos custos, incluindo tanto os de aquisição dos equipamentos como os operacionais. É cada vez maior a busca pelos benefícios obtidos com o planejamento otimizado da irrigação como um todo, 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 esta dissertação foi: dimensionar sistemas de irrigação localizada visando obter elevada uniformidade de emissão significa obter também elevada uniformidade na produção ?.

As hipóteses desta dissertação foram:

a) a uniformidade de emissão após o dimensionamento é igual à uniformidade de emissão pré-estabelecida;

b) a uniformidade da carga hidráulica na unidade operacional é sempre maior que a uniformidade da vazão;

c) a uniformidade de emissão resulta sempre menores valores quando comparada com outros indicadores de uniformidade;

d) o coeficiente de variação da vazão na unidade operacional não coincide com o da produção;

e) a diferença entre o CV da vazão e o da produção na unidade operacional é dependente da lâmina aplicada.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre a uniformidade da produção e a uniformidade de irrigação, em sistema de irrigação por microaspersão utilizado em citros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Coeficientes de Uniformidade

A uniformidade de emissão (UE) é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação. É recomendado para a avaliação da uniformidade de sistemas de microaspersão, conforme Norma Técnica da ASAE (1982).

O conceito de uniformidade de emissão (UE) foi originalmente apresentado por Keller e Karmeli (1974), sendo a sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores, conforme expresso pela equação 1.

$$UE = 100\frac{qn}{\overline{q}} \quad (1)$$

Em que: UE - uniformidade de emissão; qn - média das 25% menores vazões observadas; $\overline{q}$ - média das vazões observadas.

A variação do fabricante é determinada por amostragem e teste dos emissores sob uma pressão constante da água. É usada para determinar a uniformidade de emissão causada pela variação no processo de fabricação. Os emissores são tomadas por amostras aleatórias e uma distribuição normal pode ser assumida para a

variação do fabricante. Desta forma, a uniformidade de emissão causada pela variação do fabricante pode ser expressa como:

$$UE_{(f)} = \left[1 - 1{,}27\frac{CV(f)}{\sqrt{N}}\right] \quad (2)$$

Sendo : UE (f) é a uniformidade de emissão por variação de fabricação, adimensional; N é o número de emissores por planta.

Keller e Karmeli (1974) propuseram uma forma modificada da equação de UE, denominada uniformidade de emissão absoluta (UEa), que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média, sendo expressa pela equação 3.

$$UE_a = 50\left(\frac{qn}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q_x}\right) \quad (3)$$

Sendo: UEa - uniformidade de emissão absoluta; qn - média das 25% menores vazões observadas; qx - média das 12,5% maiores vazões observadas; $\bar{q}$ - média das vazões observadas.

Para efeito de dimensionamento, conforme observou Bralts (1986), a equação 1 foi posteriormente modificada e redefinida, de forma a incluir o coeficiente de variação de fabricação e o número de emissores por planta, resultando na equação 4. Para efeito de avaliação de campo prevalece a equação 1.

$$UE = \left[1 - 1{,}27\frac{CV(f)}{\sqrt{N}}\right]\frac{q\min}{\bar{q}} \quad (5)$$

sendo UE é a uniformidade de emissão, causada tanto por variação hidráulica como pela variação do fabricante; qmin é a vazão mínima na unidade operacional.

Barragan (2005) propôs a utilização da seguinte fórmula:

$$UE_b = \sqrt{\left[1 - \frac{q\min}{\bar{q}}\right]^2 + \left[\frac{1{,}27CV(f)}{\sqrt{N}}\right]^2} \qquad (6)$$

Em que: UE_b é a uniformidade de emissão afetada tanto por variação hidráulica e variação do fabricante com base em uma abordagem estatística, não sendo conservadora quanto às outras formulas que usa o conceito da pior combinação hidráulica.

2.2. Programação Linear

A segunda guerra mundial fazia nascer um processo de otimização para alocar os recursos bélicos e humanos para uma melhor eficiência das forças aliadas contra as forças da Alemanha. Em meados de 1945 foram criados grupos de pesquisa na Inglaterra com o objetivo de estudar os problemas considerados novos e que escapavam das rotinas bélicas, tanto no plano estratégico como tático (DANTZIG, 1963 apud HILLIER e LIBERMAN, 1988). Essa fórmula de abordar problemas de otimização estimulou a disseminação desses grupos e, ao final da guerra, determinou sua manutenção, mas redirecionados para os desafios ligados à gerência civil. O marco definitivo na afirmação da Pesquisa Operacional foi a publicação por Dantzig, em 1947, do método simplex para a programação linear. Desse modo, a programação linear se tornou a primeira técnica explícita e permanece como a mais básica e útil de todas as técnicas da Pesquisa Operacional (HILLIER; LIBERMAN, 1988).

A programação linear é definida como uma técnica utilizada para resolver problemas em que se procura alocar recursos limitados a atividades ou decisões diversas, de maneira ótima. O objetivo é maximizar algum índice como o lucro ou

minimizar alguma medida de custo (RODRIGUES et al., 2000). Um problema de programação linear (PPL) envolve a maximização ou a minimização de uma função linear de várias variáveis, denominada função objetivo, sujeita a um conjunto de restrições representadas por equações ou inequações lineares. As variáveis não podem ser negativas, mas podem ser expressas como a diferença entre duas variáveis positivas. Todo PPL caracteriza-se por equações representadas por variáveis expressas no primeiro grau.

As restrições, expressas por inequações, permitem que não se exija o uso integral dos recursos disponíveis e que o nível de qualquer atividade explorada seja igual ou maior que zero. Dessa forma, assegura-se que a quantidade utilizada de recursos seja menor ou igual à quantidade disponível e que a produção seja maior ou igual à zero, aplicando-se para isso algumas pressuposições básicas:

a) linearidade: estabelece que os insumos sejam combinados em proporção fixa para determinado nível de produção e que toda variação deverá manter essa proporção;

b) aditividade: essa pressuposição requer que, dados quaisquer níveis de atividade, o uso total de cada recurso e a medida total de eficácia resultante sejam iguais à soma das quantidades correspondentes geradas por toda a atividade conduzida pelo recurso;

c) divisibilidade: o método pressupõe que os recursos e as atividades são infinitamente divisíveis, de modo que se pode admitir que sejam utilizadas frações da unidade padrão dos recursos e atividades, do que se conclui que o método admite processos contínuos. Às vezes, as variáveis têm significado físico somente para valores inteiros; entretanto a solução obtida pela programação linear frequentemente não é inteira. Por isso a suposição de divisibilidade é que as unidades de atividade possam ser divididas em qualquer nível fracional, para que sejam permissíveis valores não inteiros para as variáveis de decisão;

d) possibilidades finitas: indicam o número de atividades e recursos. Em curto prazo, considerando um problema localizado, as alternativas possíveis são limitadas por diversos fatores, que restringem o número de atividades e recursos a serem considerados;

e) certeza: a suposição de certeza é que todos os coeficientes do modelo são constantes conhecidas. Os modelos de PL são normalmente formulados no sentido de selecionar algum curso futuro e por isso os parâmetros usados são baseados numa predição de condições futuras, as quais introduzem inevitavelmente algum grau de incerteza. Por essa razão, normalmente, realiza-se uma análise de sensibilidade do modelo.

Segundo Lisboa (2002) 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, a função objetivo deve ser matematicamente especificada.

Saad (1993) cita que a implantação de um sistema de irrigação localizada envolve a escolha da configuração do equipamento no campo, o dimensionamento de seus componentes (tubulações, emissores, válvulas e outros) e a definição das condições operacionais (por exemplo: turno de irrigação).

O uso da programação linear na minimização do custo da rede hidráulica de sistemas de irrigação tem alguns aspectos vantajosos, dentre os quais se destacam a facilidade de utilização decorrente da disponibilidade de programas computacionais específicos, a riqueza de informações adicionais (análise de sensibilidade) e o fato de trabalhar com o diâmetro do tubo na forma de variável discreta (diâmetros comercialmente disponíveis). Além disto, a solução ótima, quando existente, é sempre um ótimo global, ou seja, dentro do universo de possibilidades previstas pelo modelo, não há solução melhor do que aquela fornecida (SAAD, 2002).

Segundo Rodrigues et al. (2000) os modelos de programação linear aplicados em planejamento de irrigação são frequentemente formulados estabelecendo como função objetivo a maximização da renda líquida anual, sujeito às restrições de disponibilidade de água e outros recursos. Devido à consideração de escassez do recurso hídrico, a maioria dos modelos foi desenvolvida no sentido de selecionar cultivos e respectivas áreas, para serem exploradas em condições limitantes de água.

Segundo Saad (2002) através do programa computacional GAMS (“General Algebric Modeling System”) pode-se solucionar modelos de programação linear, inteira, inteira-mista, binária e não-linear, havendo disponibilidade de mais de um “solver” para cada tipo de aplicação, principalmente para modelos mais complexos.

Brooks et al. (1988) citam que o GAMS tem grande capacidade de resolução de problemas de Pesquisa Operacional.

2.3. Medidas de dispersão: Coeficiente de Variação e Desvio Padrão

Em Estatística, o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística, e é definido como a raiz quadrada da variância. Ele é relativo à média e como duas distribuições podem ter médias diferentes, o desvio dessas duas distribuições não é comparável. A solução é usar o coeficiente de variação, que é igual ao desvio-padrão dividido pela média e pode ser utlizado para comparar distribuições diferentes.

2.4.Laranja irrigada e Função de Produção para o fator Água

A laranjeira é a mais conhecida árvore frutífera cultivada no mundo, sendo originária do leste asiático. Atualmente, os pomares mais produtivos encontram-se nas regiões de clima tropical e subtropical, destacando-se o Brasil, os Estados Unidos, o México, a China e a África do sul.

Na região sudeste do Brasil, o florescimento dos citros é estimulado, principalmente, pelas condições de déficit hídrico e de baixas temperaturas que ocorrem durante o inverno. Após o florescimento, no início da primavera, a disponibilidade de água e de nitrogênio no solo é responsável pela uniformidade da emissão das flores e, consequentemente, pela uniformização da maturação dos frutos na colheita (TUBELIS; SABILE, 1991). O Déficit hídrico, durante a floração e início da frutificação, provoca queda de flores e de frutos, reduzindo sua produtividade segundo Parsons e Muraro (1991).

Após a fixação dos frutos e durante o ciclo de produção, o déficit hídrico no solo pode causar redução irreversível no tamanho e no volume de suco dos frutos produzidos, porque, nesses casos, as árvores utilizam água armazenada nos frutos para manterem seus processos fisiológicos (COHEN; GOELL, 1984).

Durante o florescimento e a frutificação ocorrem processos metabólicos que aumentam a demanda por água e por nutrientes, isso devido à intensificação das atividades metabólicas das folhas, responsáveis pela produção dos compostos orgânicos que constituirão os frutos. Nessa fase, a preservação ou ampliação do sistema radicular é importante para manter esses processos metabólicos que garantirão tanto a geração, como a fixação de um maior número de frutos segundo Rodrigues (1980) e Giorgi et al., (1991).

A viabilidade da irrigação como fator de incremento de produção de frutos em citros foi constatada por Calheiros et al., (1992). Isso vem colaborar com as observações de Giorgi et al., (1991) e Albrigo (1994).

As fixações das flores e dos frutos são determinadas pela regularidade de fornecimento de água para as laranjeiras durante todo o ciclo de produção conforme Bertonha et al., (1999). Doorenbos e Kassam (1979) observaram a necessidade de água tanto para a manutenção dos frutos fixados nas árvores como para o acúmulo de massa ao longo do ciclo de produção. Além da produção de frutos, a laranjeira deve ser mantida em contínuo crescimento para dispor de ramos jovens onde estará fixada a próxima florada. A diminuição da absorção de água pelas radicelas afetará o potencial hídrico foliar que resulta na deterioração do status hídrico da planta, causando desequilíbrio na relação de absorção e de transpiração de água, bem como na expansão foliar dos citros, originando períodos de murchamento foliar e intensa competição por água entre as folhas e os frutos (COHEN E GOELL, 1984; CASTRO, 1994).

Segundo Madore (1994), a queda de frutos está relacionada com a elevação dos níveis de etileno e celulose na zona de abscisão, sendo o déficit hídrico o estímulo para desencadear os mecanismos para síntese de etileno, o qual desencadeia o processo de síntese de celulose, reduzindo a resistência da camada de abscisão e facilitando a queda dos frutos. Portanto, a frequência de irrigação e a quantidade de água aplicada em pomares de laranjeiras são determinantes para a produção dessa planta (KOO, 1979).

O tamanho do fruto é determinado pelo número de células que são formadas durante o período de divisão celular, no entanto a abundância de água no solo durante o desenvolvimento dos frutos pode aumentar a turgescência e, consequentemente,

o tamanho dos mesmos. Em contrapartida, reduz os teores de sólidos solúveis e os níveis de acidez do fruto (ALBRIGO, 1994). A competição com órgão em desenvolvimento, como ramos e folhas, também limita o crescimento e, por consequência, o tamanho dos frutos (BERTONHA et al., 1999).

Guardiola (1992) observou que o tamanho do fruto é função da quantidade de água fornecida para a árvore e que o fruto funciona como fonte de água para manter os processos fisiológicos. Koo (1979) ressalta que a produtividade dessas árvores está relacionada com o tamanho da copa que, por sua vez, está relacionada com o fornecimento de água para a árvore.

Para Doorembos e Kassan (1979), provavelmente a produção relaciona-se linearmente com a evapotranspiração. É por esse motivo que muitas funções de respostas usadas para ajustar um modelo experimental são funções lineares. Porém, na maioria dos casos, o uso de funções não-lineares se faz importante para a obtenção dos pontos de máximo e mínimo, tornando-se ferramenta indispensável na análise econômica dos dados, permitindo que se obtenha um valor considerado ótimo para a variável estudada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para verificar as hipóteses formuladas, considerou-se a combinação das seguintes variáveis de entrada:

a) Uniformidade de emissão pré-estabelecida: 60, 70, 75, 80, 85, 90 e 94%;
b) Declividade do terreno na direção da linha de derivação: 0, 3, 6, 9 e 12%;
c) Numero de dias de irrigação por ano: 30, 60 e 90 dias anuais de irrigação, correspondendo aos volumes de 3870, 7740 e 11610 L/árvore/ano.

3.1. Modelo de Programação Linear

Para avaliar cada combinação envolvendo uniformidade de emissão pré-estabelecida e declividade na direção da linha de derivação, utilizou-se um modelo de Programação Linear (PL) de minimização de custos desenvolvido por Saad (2002) e posteriormente modificado por Marcussi (2004), descrito no Anexo 1. A partir da configuração de sistema de irrigação por microaspersão, o modelo de PL define as combinações de diâmetros para cada linha da rede hidráulica, visando minimizar o custo total.

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.

3.2. Pomar com citros utilizado nas avaliações

Para proceder à análise comparativa, utilizou-se uma área hipotética cultivada com citros, com 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 7m x 4m, ou seja, 4m entre árvores na linha de plantio e 7m entre linhas de planta, totalizando 28m^2 por planta e 357 plantas por ha.

A configuração da rede hidráulica do sistema de irrigação localizada utilizado pelo modelo de Programação Linear de minimização é apresentado na Figura 1. Considera-se como unidade operacional a fração da área total que é controlada por uma válvula, tendo um regulador de pressão, linha de derivação e linhas laterais.

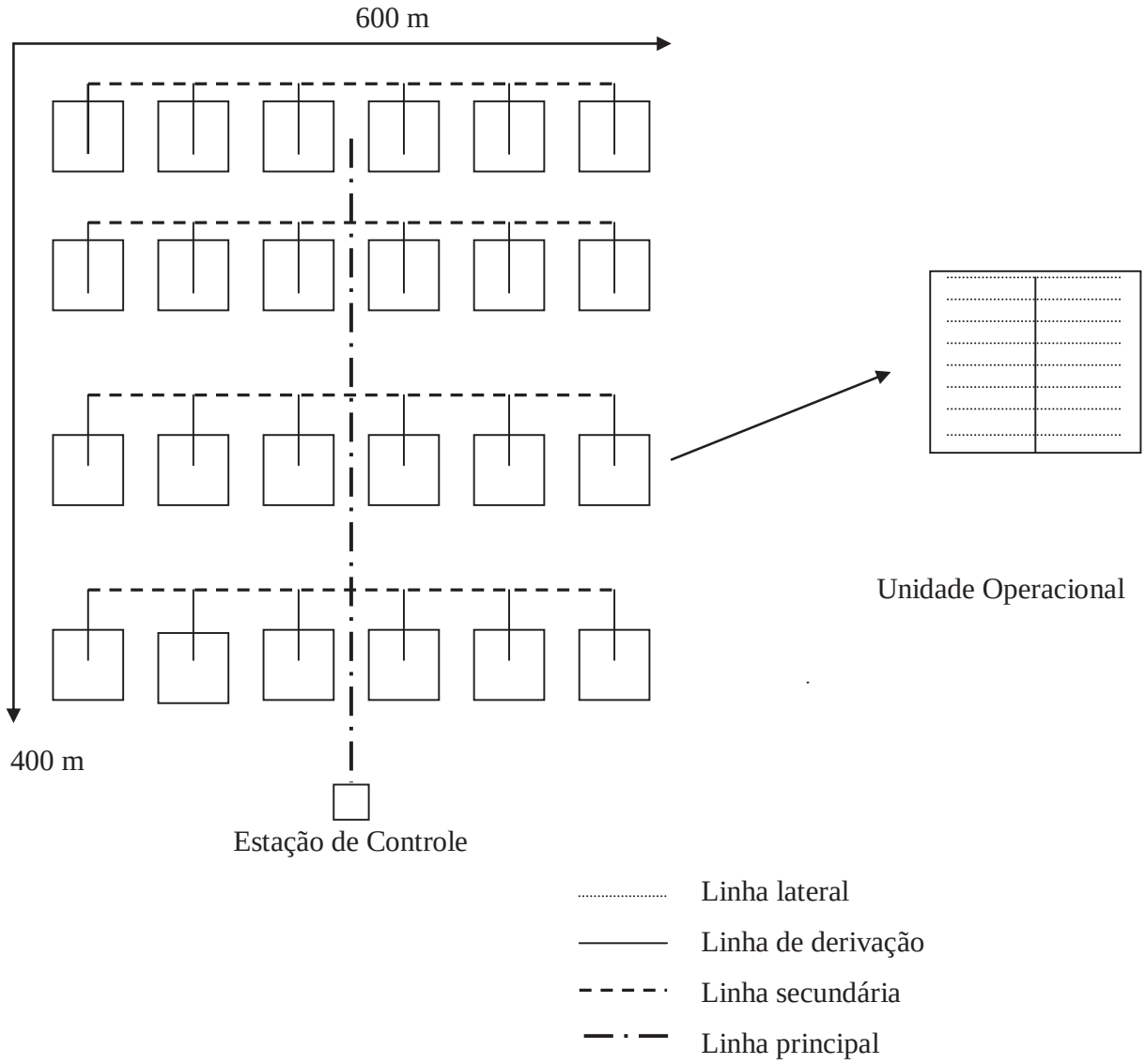


Figura 1. "Lay-out" do sistema de irrigação por microaspersão contendo 24 unidades operacionais, utilizado no modelo de Programação Linear.

3.3. Parâmetros de entrada do modelo de PL

3.3.1. Função de Produção da laranja para o fator água.

Para comprovar as hipóteses formuladas, o modelo foi resolvido em várias situações de UE e declividade, para três situações de lâminas de irrigação: abaixo do ótimo, no ótimo e acima do ótimo para a cultura da laranja, segundo a função de produção apresentada por Marcussi (2004), com base em dados de Bertonha (1997), que é expressa por:

$$Y = -5{,}1466.10^{-8} W^2 + 8{,}1133.10^{-4} W + 2{,}7334 \qquad (7)$$

em que Y = produtividade, em caixas (40,8kg) por árvore; W = volume anual de água aplicado, em L.

A Figura 2 traz a representação gráfica da função de produção para o fator água, ou seja, a relação entre a produtividade do pomar irrigado e o volume anual de água aplicado por árvore.

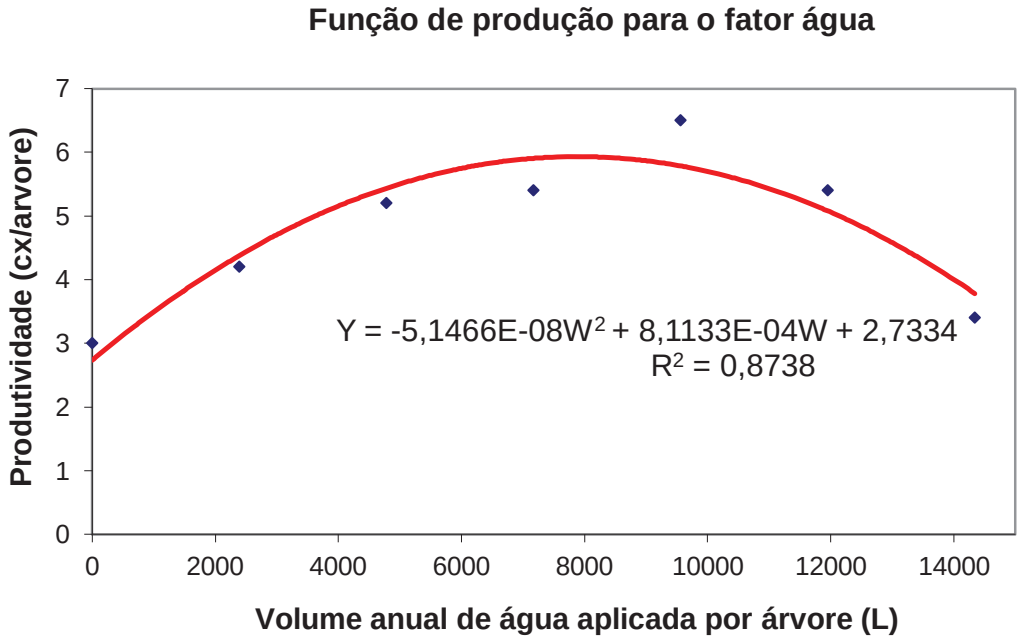


Figura 2 Função de produção da laranja para fator água

3.3.2. Uniformidade de Emissão (UE) Pré-estabelecida e o Dimensionamento da Unidade Operacional

Um dos critérios de dimensionamento de sistemas de irrigação localizado consiste em pré-estabelecer a uniformidade de emissão desejada. Com este valor definido e conhecendo-se a vazão de operação do microaspersor, seu coeficiente de variação de fabricação e o número de emissores por planta, pode-se calcular a vazão mínima utilizando a equação da UE. Esta vazão é então convertida em pressão mínima na unidade operacional e calcula-se a variação permissível de pressão, a qual será utilizada no dimensionamento das linhas laterais e de derivação.

Utilizando a UE pré-estabelecida, conhecendo-se o coeficiente de variação de fabricação, o número de emissores por árvore e a vazão de operação do microaspersor, pode-se obter a vazão mínima pela equação:

$$UE = \left[1 - 1{,}27\frac{CV_{(f)}}{\sqrt{N}}\right]\frac{q\min}{\bar{q}} \qquad (8)$$

Em que: $\bar{q}$ – vazão media correspondente a vazão de operação; UE – uniformidade de emissão desejada; $Cv_{(f)}$ – coeficiente de variação de fabricação

A partir de qmin, pode-se obter Hmin pela relação vazão x pressão do microaspersor.

$$qmin = a \,.\, Hmin^{x} \qquad (9)$$

Em que: qmin – vazão mínima dos dados observados; a - coeficiente dado pelo fabricante do emissor; x – coeficiente dado pelo fabricante do emissor.

A variação permissível de pressão na unidade operacional (ΔH) é dada por:

$$\Delta H = 2{,}5(Hmed - H\min) \qquad (10)$$

Em que: ΔH – variação permissível de carga hidráulica na unidade operacional (H máximo – H mínimo); Hmed – carga hidráulica média; Hmin – carga hidráulica mínima na unidade operacional.

Este coeficiente de proporcionalidade, C, varia de 1,5 a 4, em função de alguns fatores, dentre eles a declividade. Keller e Bliesner (2000) recomendam, para fins de projeto, que se utilize o valor 2,5.

Considerando que a linha lateral está em nível, sua perda de carga deve ser, no máximo, igual a:

$$HFL = \frac{\Delta H}{2} \tag{11}$$

Em que: *HFL* - perda de carga permitida na linha lateral.

Por sua vez, a perda de carga na linha de derivação é dada por:

$$HFD = \frac{\Delta H}{2} \pm So.L_D \tag{12}$$

Em que *HFD* = perda de carga permitida na linha de derivação; So – gradiente de declive, em m/m; e LD = comprimento da linha de derivação.

A linha lateral opera em nível e tem comprimento de 46 m, em função do formato e das dimensões da área, o diâmetro de 16mm foi selecionado para uso na linha lateral com microaspersores. Desta forma, a perda de carga na linha lateral HFL é fixa e igual a 2,48 m, para todas as uniformidades de emissão avaliadas. Única exceção ocorreu na uniformidade 94% de emissão pois foi utilizado diâmetro de 20 mm, com perda de carga igual a 0,882 m na linha lateral.

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

Para dimensionar a linha de derivação e a linha lateral, considerou-se a recomendação de Karmeli e Peri (1972), que sugerem que a divisão mais econômica da perda de carga admissível na unidade operacional é de aproximadamente 55% na linha lateral e 45 % na linha de derivação.

3.3.3. Indicadores de uniformidade

A uniformidade da vazão na unidade operacional foi avaliada pela uniformidade de distribuição (UD), pela uniformidade de emissão (UE) e pelo coeficiente proposto por Barragan.

A Uniformidade de Distribuição (UD) foi apresentado por Keller e Karmelli (1974), conforme expressa pela equação:

$$UD = 100\frac{qn}{\bar{q}} \tag{13}$$

Em que: UD – Uniformidade de distribuição (%); qn – Média das 25% menores vazões observadas; $\bar{q}$ (médio) – Média de todas as vazões observadas.

Barragan (2005) apresentou o seguinte coeficiente de uniformidade:

$$EU = \sqrt{\left[1 - \frac{q\min(h)}{\bar{q}h}\right]^2 + \left[\frac{1{,}27CV(f)}{\sqrt{N}}\right]^2} \tag{14}$$

Em que: EU é a uniformidade de emissão afetadas por tanto a variação hidráulica e variação do fabricante com base em uma abordagem estatística, adimensional.

3.3.4. Volumes anuais aplicados

Além das combinações de UE pré-estabelecida e declividade, foram avaliados três volumes de irrigação aplicadas no ciclo de um ano e representadas por 3h de irrigação em 30, 60 e 90 dias, as quais correspondem a volumes anuais aplicados de 3870, 7740 e 11610 L/árvore/ano, respectivamente, no período de agosto a novembro. Estes valores foram selecionados a partir da função de produção (eq. 7), considerando a lâmina que resulta em máxima produção e dois outros valores, um inferior e outro superior.

Para cada dia de irrigação, o tempo de operação do microaspersor era de 3h. Por exemplo, para obter a lâmina correspondente a 30 dias anuais de irrigação multiplica-se a vazão do microaspersor por 3h de operação/dia e por 30 dias de irrigação no ciclo, resultando em um volume aplicado (L/árvore/ano).

3.3.5. Tarifa de Energia Elétrica

Em função de suas dimensões e especificações, este projeto de irrigação se enquadra na categoria energia para Irrigação, que neste caso é de 0,16334 $R\$.kWh^{-1}$ consumido (CPFL, 2011).

3.3.6. Cotação da Laranja Para Indústria

A solução ótima originada pelos modelos de Programação Linear é totalmente dependente dos parâmetros de entrada. Um dos dados de entrada que apresenta maior variabilidade e, consequentemente, maior incerteza é o preço dos produtos agrícolas.

Quadro 1. Preço da laranja para indústria, em R$. caixa^{-1}, no Estado de São Paulo, no período de 1994 a 2011.

1994	5,65
1995	3,13
1996	2,31
1997	3,50
1998	4,88
1999	4,01
2000	3,09
2001	9,09
2002	10,09
2003	11,85
2004	8,56
2005	10,55
2006	13,42
2007	13,70
2008	12,60
2009	8,60
2010	16,61
2011	21,78

Fonte: CEPEA. Na árvore, sem frete, caixa de 40,8 kg

O levantamento junto a produtores e dados do Instituto de Economia Agrícola resultaram na seleção do valor R$ 5.50. caixa^{-1} como sendo o custo de produção da laranja, não considerando as despesas com irrigação.

3.3.7. Custo da Água

Adotou-se o preço da água com sendo aquele praticado na Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, o qual foi o segundo comitê a implementar a cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União. Desta forma, o preço da água considerado foi de R$ 0,02/m^3 ou R$ 20/1000m^3 (ANA, 2011).

3.3.8. Custo da tubulação

Os demais preços apresentados no modelo de Marcussi (2004) foram atualizados utilizando o índice de inflação pela equação (15) sendo feita ano a ano para respeitar o valor do dinheiro no tempo. Os preços estão em reais com os valores

atualizados pelo índice de inflação. Para isso foi realizada a conversão de dólar para real, que na época era de US$ 1 = R$ 1,80 (agosto/1999) e feita a atualização para valores presente.

$$FV_N = PV(1+ni) \tag{15}$$

em que: FV_N é o valor futuro do dinheiro em um período N; PV é o valor presente; i é a taxa de juros no período, que nesta dissertação, será a inflação descrita no Quadro 2; e n é o número de períodos que incide a taxa de juros.

Quadro 2: Índice de Inflação no Brasil de 1999/2010

Período	Ano	Inflação%
0	1999	8,94
1	2000	5,97
2	2001	7,67
3	2002	12,53
4	2003	9,30
5	2004	7,60
6	2005	5,69
7	2006	3,14
8	2007	4,46
9	2008	5,90
10	2009	4,31
11	2010	5,91

Fonte: Banco Central do Brasil

Os dados de entrada e a resolução do programa podem ser observados nos Anexos 2 e 3, respectivamente.

3.3.8. Microaspersor Não-Autocompensante

No modelo foi utilizado um microaspersor não-autocompensante cujas características encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3: Características do microaspersor.

Características	**Microaspersor fixo (não autocompensante)**
Carga hidráulica de operação (mca)	15,5
Vazão correspondente à pressão de operação ($L.h^{-1}$)	43
Diâmetro molhado (m)	5,1m (300^{o} x 11 jatos)
Coeficiente de variação de fabricação (CVF) - %	2,3
Relação vazão - pressão	$q = 9,8918 . h^{0,5326}$ $r^2 = 0,9985$ $q = L .h^{-1}$ $h = m$
Preço unitário(R$)	2,33

A representação gráfica da relação entre a vazão e a pressão do microaspersor selecionado encontra-se na Figura 4.

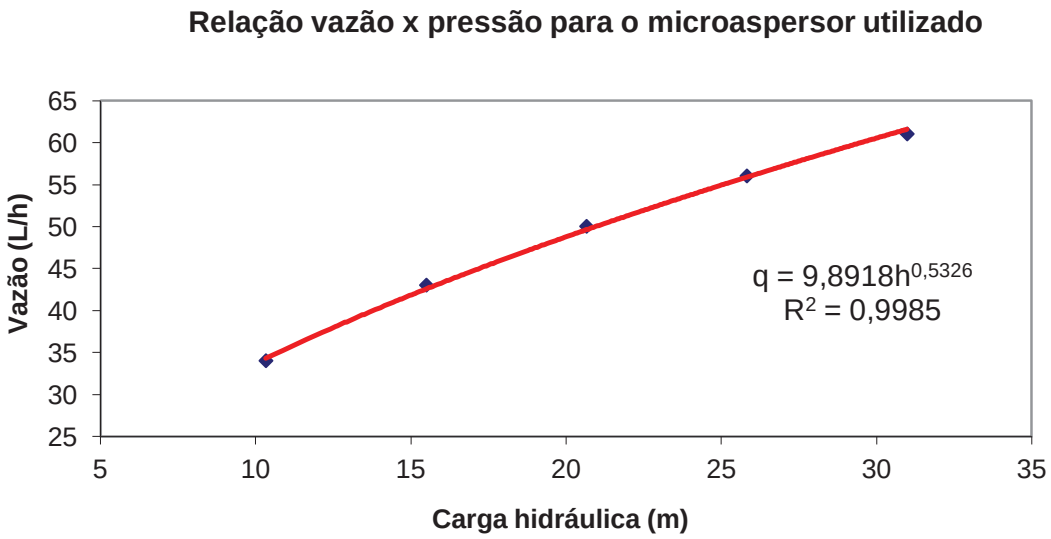


Figura 3. Relação entre vazão e pressão para o microaspersor utilizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de Programação Linear de Marcussi (2004) foi aplicado a diferentes combinações de uniformidade de emissão de projeto e declividade do terreno. A partir dos resultados obtidos, fez-se a avaliação e discussão das hipóteses formuladas.

4.1. Estudo de Caso: UE pré-estabelecida de projeto de 90% e Declividade 0%

Para ilustrar melhor as análises realizadas nesta dissertação, escolheu-se a combinação declividade 0% e uniformidade de emissão de projeto de 90%. Os itens seguintes mostram progressivamente a avaliação da unidade operacional, até chegar na receita líquida.

4.1.1. Distribuição de Pressão na Unidade Operacional

Na Tabela 1 tem-se a distribuição de pressão ao longo da linha de derivação e das linhas laterais da unidade operacional. Nota-se que a diferença de carga hidráulica entre o início (0m) e o final da linha lateral (46m) é sempre de 2,5mca. A variação de carga hidráulica na linha de derivação (LD) está representada na coluna correspondente à distância 0 (ponto de derivação de LD e origem da linha lateral).

Tabela 1. Distribuição da pressão na linha de derivação e nas linhas laterais da unidade operacional.

Linha derivação		Carga hidráulica (mca) nos microaspersores da linha lateral												
Trecho	Distância (m)	Pontos de emissão na linha lateral (m)												
		0	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
1	3,5	18,6	18,3	17,8	17,4	17,1	16,8	16,6	16,4	16,3	16,2	16,1	16,1	16,1
2	10,5	18,5	18,2	17,7	17,3	17,0	16,7	16,5	16,3	16,2	16,1	16,1	16,0	16,0
3	17,5	18,4	18,1	17,7	17,2	16,9	16,6	16,4	16,2	16,1	16,0	16,0	16,0	15,9
4	24,5	18,3	18,0	17,5	17,1	16,8	16,5	16,3	16,1	16,0	15,9	15,8	15,8	15,8
5	31,5	17,9	17,6	17,1	16,7	16,4	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,4	15,4
6	38,5	17,6	17,3	16,8	16,4	16,0	15,8	15,5	15,4	15,3	15,2	15,1	15,1	15,1
7	45,5	17,3	17,0	16,5	16,1	15,8	15,5	15,3	15,1	15,0	14,9	14,9	14,8	14,8
8	52,5	17,1	16,8	16,3	15,9	15,6	15,3	15,1	14,9	14,8	14,7	14,7	14,6	14,6
9	59,5	17,0	16,7	16,2	15,8	15,4	15,2	14,9	14,8	14,6	14,6	14,5	14,5	14,5
10	66,5	16,8	16,6	16,1	15,7	15,3	15,0	14,8	14,7	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4
11	73,5	16,8	16,5	16,0	15,6	15,2	15,0	14,7	14,6	14,5	14,4	14,3	14,3	14,3
12	80,5	16,7	16,4	16,0	15,5	15,2	14,9	14,7	14,5	14,4	14,3	14,3	14,3	14,2
13	87,5	16,6	16,4	15,9	15,4	15,1	14,8	14,6	14,4	14,3	14,2	14,2	14,2	14,2
14	94,5	16,6	16,3	15,8	15,4	15,1	14,8	14,6	14,4	14,3	14,2	14,2	14,1	14,1

4.1.2. Distribuição da Vazão na Unidade Operacional

A partir dos dados de carga hidráulica da Tabela 1 e utilizando a relação vazão x pressão do microaspersor, obteve-se as respectivas vazões (Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição da Vazão ($L.h^{-1}$) nas Linhas Laterais

Linha derivação (m)	Vazão ($L.h^{-1}$) nos microaspersores da linha lateral											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	46,5	45,9	45,3	44,8	44,4	44,1	43,9	43,7	43,6	43,5	43,5	43,5
10,5	46,4	45,7	45,2	44,7	44,3	44,0	43,8	43,6	43,5	43,4	43,4	43,3
17,5	46,3	45,6	45,1	44,6	44,2	43,9	43,6	43,5	43,4	43,3	43,2	43,2
24,5	46,1	45,4	44,9	44,4	44,0	43,7	43,4	43,3	43,1	43,1	43,0	43,0
31,5	45,6	44,9	44,3	43,8	43,4	43,1	42,9	42,7	42,6	42,5	42,5	42,5
38,5	45,1	44,4	43,9	43,4	43,0	42,7	42,4	42,2	42,1	42,0	42,0	42,0
45,5	44,8	44,1	43,5	43,0	42,6	42,3	42,0	41,8	41,7	41,7	41,6	41,6
52,5	44,5	43,8	43,2	42,7	42,3	42,0	41,7	41,5	41,4	41,3	41,3	41,3
59,5	44,3	43,6	43,0	42,5	42,1	41,7	41,5	41,3	41,2	41,1	41,1	41,1
66,5	44,1	43,4	42,8	42,3	41,9	41,6	41,3	41,1	41,0	40,9	40,9	40,9
73,5	44,0	43,3	42,7	42,2	41,8	41,5	41,2	41,0	40,9	40,8	40,8	40,8
80,5	43,9	43,2	42,6	42,1	41,7	41,4	41,2	41,0	40,8	40,8	40,7	40,7
87,5	43,8	43,1	42,5	42,0	41,6	41,3	41,0	40,8	40,7	40,6	40,6	40,6
94,5	43,8	43,1	42,5	42,0	41,6	41,2	41,0	40,8	40,7	40,6	40,5	40,5

4.1.3. Distribuição da Lâmina de Água Aplicada

Com os dados da Tabela 2, foram calculados os volumes aplicados pelos microaspersores da unidade operacional, para cada uma das seguintes condições: 30 dias, 60 dias e 90 dias de irrigação no ciclo, conforme apresentado nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 3: Distribuição do volume (litros/árvore/ano) de água aplicado na unidade operacional, para 30 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação (m)	Volume Aplicado (L/arvore/ano)											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	4187	4127	4076	4033	3998	3970	3949	3934	3923	3916	3913	3912
10,5	4177	4117	4065	4023	3987	3959	3938	3922	3912	3905	3902	3901
17,5	4168	4107	4056	4013	3978	3950	3928	3913	3902	3896	3892	3891
24,5	4150	4090	4038	3995	3959	3931	3910	3894	3883	3877	3873	3872
31,5	4102	4041	3989	3945	3909	3881	3859	3843	3832	3826	3822	3821
38,5	4062	4000	3948	3904	3868	3839	3817	3801	3790	3783	3780	3779
45,5	4029	3967	3914	3870	3834	3805	3783	3766	3755	3749	3745	3744
52,5	4004	3941	3888	3843	3807	3778	3755	3739	3728	3721	3718	3717
59,5	3984	3921	3868	3823	3786	3757	3735	3718	3707	3700	3697	3696
66,5	3970	3907	3854	3808	3772	3742	3720	3703	3692	3685	3682	3681
73,5	3961	3898	3844	3799	3762	3732	3710	3693	3682	3675	3672	3670
80,5	3955	3892	3838	3793	3756	3726	3704	3687	3676	3669	3666	3664
87,5	3943	3880	3826	3780	3743	3714	3691	3675	3663	3656	3653	3652
94,5	3940	3876	3822	3777	3740	3710	3687	3671	3660	3653	3649	3648
				Volume mínimo			3648,10		L/ano			
				Volume médio			3846,41		L/ano			
				Desvio-padrão			132,20					
				CV			0,03					

Tabela 4: Distribuição do volume (litros/árvore/ano) de água aplicado na unidade operacional, para 60 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação (m)	Volume Aplicado (L/arvore/ano)											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	8375	8255	8152	8067	7997	7941	7898	7867	7846	7833	7826	7824
10,5	8354	8233	8131	8045	7975	7919	7876	7845	7824	7810	7804	7802
17,5	8335	8215	8112	8026	7956	7900	7857	7825	7804	7791	7784	7782
24,5	8300	8179	8076	7990	7919	7863	7820	7788	7767	7754	7747	7745
31,5	8204	8082	7978	7890	7819	7762	7718	7687	7665	7652	7645	7643
38,5	8124	8001	7896	7807	7735	7678	7634	7602	7580	7566	7560	7558
45,5	8059	7935	7829	7740	7667	7610	7565	7533	7511	7497	7490	7488
52,5	8007	7883	7776	7687	7613	7555	7511	7478	7456	7442	7435	7433
59,5	7968	7843	7736	7646	7573	7514	7469	7437	7414	7400	7394	7391
66,5	7940	7814	7707	7617	7543	7485	7440	7407	7384	7371	7364	7361
73,5	7921	7795	7687	7597	7523	7464	7419	7386	7364	7350	7343	7341
80,5	7910	7784	7676	7585	7511	7453	7407	7374	7352	7338	7331	7329
87,5	7886	7760	7652	7561	7487	7428	7382	7349	7327	7313	7306	7304
94,5	7879	7753	7644	7554	7479	7420	7375	7342	7319	7305	7298	7296
			Volume mínimo			7296,21		L/ano				
			Volume médio			7692,82		L/ano				
			Desvio-padrão			264,40						
			CV			0,03						

Tabela 5. Distribuição do volume (litros/árvore/ano) de água aplicado na unidade operacional, para 90 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação	Volume Aplicado (L/arvore/ano)											
	Pontos de emissão na linha lateral (m)											
(m)	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
3,5	12562	12382	12229	12100	11995	11911	11847	11801	11769	11749	11739	11736
10,5	12531	12350	12196	12068	11962	11878	11814	11767	11735	11716	11706	11703
17,5	12503	12322	12168	12039	11934	11850	11785	11738	11706	11687	11677	11673
24,5	12450	12269	12114	11984	11878	11794	11729	11682	11650	11630	11620	11617
31,5	12306	12123	11966	11835	11728	11643	11578	11530	11497	11477	11467	11464
38,5	12186	12001	11843	11711	11603	11517	11451	11403	11370	11350	11340	11336
45,5	12088	11902	11743	11610	11501	11414	11348	11299	11266	11246	11236	11232
52,5	12011	11824	11664	11530	11420	11333	11266	11217	11184	11163	11153	11150
59,5	11952	11764	11604	11469	11359	11271	11204	11155	11121	11101	11090	11087
66,5	11910	11722	11561	11425	11315	11227	11159	11110	11076	11056	11045	11042
73,5	11882	11693	11531	11396	11285	11197	11129	11079	11046	11025	11015	11011
80,5	11865	11675	11514	11378	11267	11179	11111	11062	11028	11007	10997	10993
87,5	11829	11639	11477	11341	11230	11141	11074	11024	10990	10969	10959	10955
94,5	11819	11629	11467	11331	11219	11131	11062	11013	10979	10958	10948	10944
				Volume mínimo			10944,3		L/ano			
				Volume médio			11539,2		L/ano			
				Desvio-padrão			396,60					
				CV			0,03					

4.1.4. Distribuição da Produção por Árvore nas Linhas Laterais (Caixas/ano)

A partir dos dados de lâmina aplicada por microaspersor e utilizando a função de produção da laranja para o fator água, obteve-se a produção em caixas por árvore por ano, para cada uma das três lâminas aplicadas (Tabelas 6, 7 e 8).

Tabela 6. Distribuição da produção, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional, para 30 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação (m)	Produção por árvore (caixa/ano)											
	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 7: Distribuição da produção, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional, para 60 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação (m)	Produção por árvore (caixa/ano)											
	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 8. Distribuição da produção, em caixas por árvore por ano, na unidade operacional, para 90 dias de irrigação no ano

Linha de Derivação (m)	Produção por árvore (caixa/ano)											
	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 4, 5 e 6 tem-se a representação espacial das produtividades apresentadas nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente.

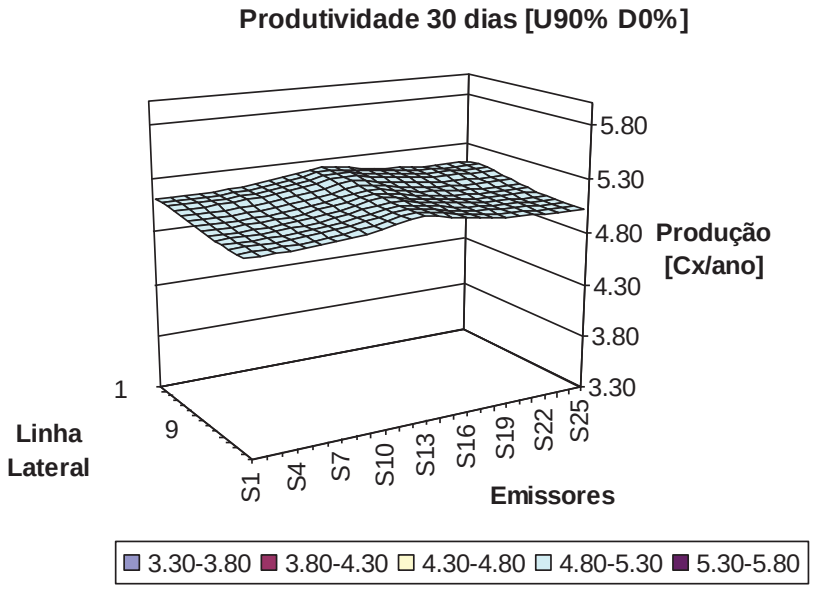


Figura 4: Distribuição da produção, em caixas por ano, em uma unidade operacional com volume aplicado correspondente a 30 dias de irrigação.

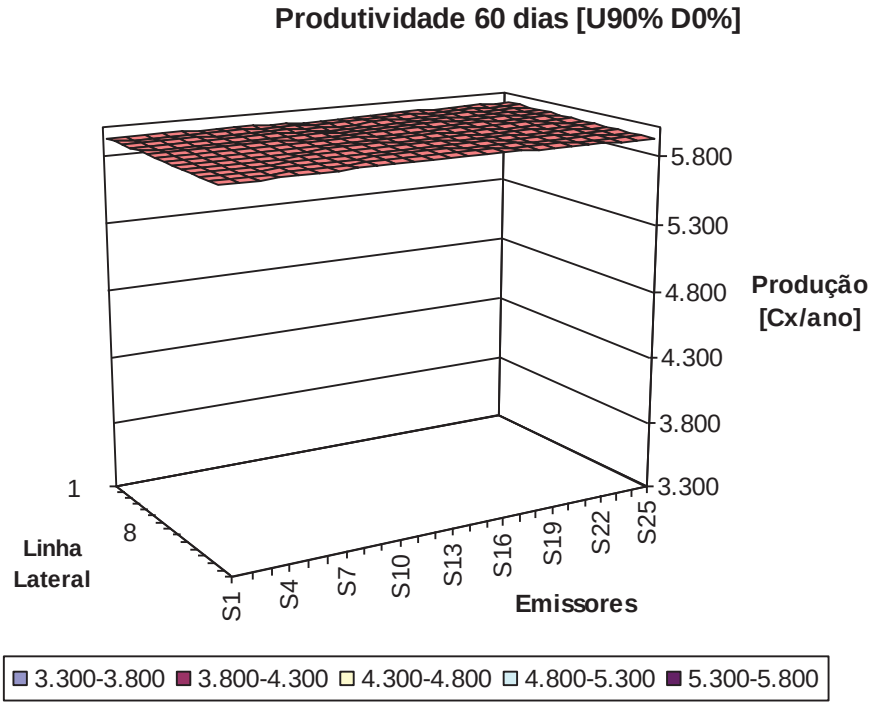


Figura 5: Distribuição da produção, em caixas por ano, em uma unidade operacional com volume aplicado correspondente a 60 dias de irrigação.

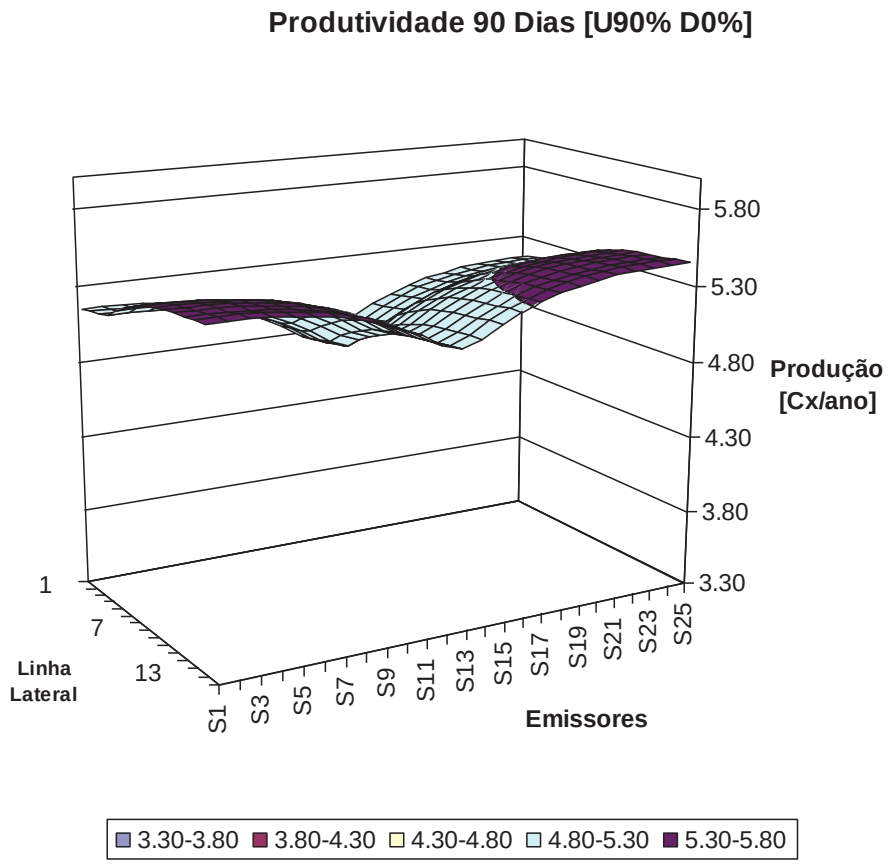


Figura 6: Distribuição da produção, em caixas por ano, em uma unidade operacional com volume aplicado correspondente a 90 dias de irrigação.

4.2. Uniformidade de Emissão de Projeto e Uniformidade de Emissão Final

Para verificar se a uniformidade de emissão pré-estabelecida coincide com a uniformidade de emissão que se tem após o dimensionamento, com a escolha dos diâmetros comerciais, o modelo de otimização foi aplicado em 25 combinações, decorrentes de 5 valores de UE pré-estabelecida e 5 declividades, conforme a Tabela 9.

Nota-se na Tabela 9 a ausência de valores de uniformidade de emissão final para valores iguais ou inferiores a 80%, nas declividades de 6, 9 e 12%. Nestes casos, o modelo de Programação Linear indicou que não havia solução pois a

variação de pressão disponível para ser utilizada na unidade operacional extrapolaria a máxima altura manométrica total permitida, que foi estabelecida como sendo de 82 mca, para que a tubulação ficasse na classe de pressão 80 (PN80). O uso de classe superior de pressão (PN125) iria encarecer demais o projeto.

Tabela 9: Comparação da Uniformidade de emissão pré-estabelecida no projeto a uniformidade de emissão final, para 25 diferentes combinações.

Declividade na Linha Derivação %	**Uniformidade de Emissão Final (%)**					Média
	Uniformidade de Emissão Pré-estabelecida no Projeto (%)					
	94	**90**	**80**	**70**	**60**	
em nível	95,31 (+1,4%)[1]	92,07 (+2,3%)	88,36 (+10,5%)	84,59 (20,8%)	82,25 (37,1%)	88,52
3	91,91 (-2,2%)	88,79 (-1,3%)	85,93 (7,4%)	84,24 (20,3%)	83,83 (39,7%)	86,94
6	90,87 (-3,3%)	89,42 (-0,6%)	-	-	-	90,15
9	92,12 (-2%)	90,68 (0,8%)	-	-	-	91,40
12	86,27 (-8,2%)	83,88 (-6,8%)	-	-	-	85,07
Média	91,30	88,97	87,14	84,41	83,04	88,16

[1]Variação entre a uniformidade de emissão final e a uniformidade de emissão pré-estabelecida no projeto.

Verifica-se que a uniformidade de emissão final diferiu da pré-estabelecida, em todas as combinações que resultaram em soluções viáveis.

Para a UE pré-estabelecida de 90%, muito recomendada na literatura, verificou-se uma variação de -6,8% a +2,3% entre o valor final e o valor previamente definido, para as declividades avaliadas. Por sua vez, a UE prévia de 94% indicou variações entre +1,4% e -8,2%, nas declividades de 0 a 12%, respectivamente.

Analisando a condição em nível, verifica-se que o valor de UE de projeto e o valor de UE final estão próximos para os valores de 94 e 90%. A medida que a UE prévia vai diminuindo, partindo-se de 90%, aumenta a diferença em relação ao valor final obtido. Por exemplo: para a situação em nível, com 80% de UE no projeto, obteve-se 88,36% no final, com variação de 10,5%. Este ganho de 10,5% em uniformidade está associado basicamente ao uso otimizado de dois diâmetros na linha de derivação, possível graças ao dimensionamento utilizando Programação Linear.

De forma geral, para uma mesma declividade, quanto menor a uniformidade de emissão pré-estabelecida maior foi a variação em relação ao valor final de uniformidade de emissão.

Quanto à hipótese de que a uniformidade de emissão após o dimensionamento é igual à uniformidade de emissão pré-estabelecida, ela não se sustentou, pois na condição em nível, os valores de UE final foram sempre superiores aos pré-estabelecidos. Nas demais combinações avaliadas, sempre houve diferença entre o valor prévio e o valor final de UE.

4.3. Coeficiente de Proporcionalidade para Definição da Variação de Pressão na Unidade Operacional

A diferença entre a pressão máxima e a pressão mínima na unidade operacional pode ser expressa por:

$$Hmax - Hmin = C \cdot (Hmed - Hmin) \qquad (16)$$

em que: Hmax = máxima carga hidráulica na unidade operacional (UO) ; Hmin = mínima carga hidráulica na UO; Hmed = carga hidráulica média na UO; C = coeficiente de proporcionalidade.

Keller e Bliesner (2000) recomendam, para fins de projeto, que se utilize C = 2,5 , sendo que o intervalo de variação deste coeficiente é de 1,5 a 4, dependendo da condição topográfica.

Analisando as 13 combinações viáveis apresentadas na Tabela 10, verifica-se variação do coeficiente C de 2,30 a 3,69, com média geral de 2,8. Todos as configurações avaliadas resultaram em dois diâmetros na linha de derivação.

Tabela 10: Coeficiente de proporcionalidade, C, para as diferentes combinações de UE pré-estabelecida e declividade, que resultaram em soluções viáveis no modelo de PL.

Declividade	Uniformidade de Projeto %					Média
	94	90	80	70	60	78,8
0	2,74	2,80	2,71	2,65	2,85	2,75
3	2,63	2,76	3,04	3,53	3,69	3,13
6	2,64	-	-	-	-	2,64
9	2,30	-	-	-	-	2,30
12	2,41	-	-	-	-	2,41
Média	2,54	2,78	2,88	3,09	3,27	2,83

Para a UE de 94%, o valor 2,5 preconizado é oportuno, pois a média para as diferentes declividades foi de 2,54%.

Na declividade de 3%, verifica-se aumento de C com a diminuição da uniformidade de emissão de projeto.

Os coeficientes médios de proporcionalidade foram aumentando com o decréscimo da uniformidade de emissão.

4.4. Coeficientes de Variação da Carga Hidráulica e da Vazão

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

$$q = 9{,}8918 \cdot h^{0{,}5326} \qquad (17)$$

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

Verifica-se que a relação entre a vazão e a carga hidráulica é dada por uma equação na forma de potência, com expoente próximo de 0,5. 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 11, em todas as combinações estudadas de uniformidade de emissão e declividade na direção da linha de derivação.

Tabela 11: Coeficiente de variação da carga hidráulica e da vazão nos emissores da unidade operacional, para as combinações avaliadas de UE pré-estabelecida e declividade.

UE de Projeto	Declividade %	Coeficiente de variação da Carga Hidráulica	Coeficiente de variação da Vazão
94	0	0,021	0,011
	3	0,075	0,040
	6	0,101	0,053
	9	0,063	0,034
	12	0,140	0,074
90	0	0,065	0,034
	3	0,119	0,063
	6	0,109	0,058
	9	0,076	0,040
	12	0,163	0,086
80	0	0,109	0,058
	3	0,191	0,100
70	0	0,109	0,058
	3	0,076	0,040
60	0	0,163	0,086
	3	0,180	0,095

A hipótese formulada de que "o CV da carga hidráulica na unidade operacional de sistemas de irrigação por microaspersão é sempre maior que o CV da vazão" é verdadeira para estas combinações avaliadas, conforme indica a Tabela 11.

4.5. Indicadores de Uniformidade

A Tabela 12 compara diferentes indicadores de uniformidade de vazão aplicados na caracterização do desempenho da unidade operacional.

Tabela 12: Diferentes indicadores de uniformidade de vazão aplicados na caracterização do desempenho da unidade operacional.

UE	Indicador de Uniformidade de Vazão		
Pré-estabelecida (%)	**Barragan**	**UE**	**UD**
94	96,56	95,31	98,7
	93,93	91,91	95,36
	92,97	90,87	94,46
	94,11	92,12	95,66
	88,49	86,27	90,9
90	94,07	92,07	95,85
	90,98	88,79	92,57
80	90,55	88,36	92,67
	88,15	85,93	89,68
70	86,81	84,59	88,85
	86,46	84,24	88,02
60	84,45	82,25	86,53
	86,04	83,83	87,63

A uniformidade de emissão (UE) apresentou os menores valores em todas a combinações avaliadas, quando comparada com o coeficiente de uniformidade de Barragan e com a uniformidade de distribuição (UD).

De maneira geral, os maiores valores de uniformidade foram obtidos com a UD, seguido pela uniformidade de Barragan e finalmente pela UE. Isto está coerente com o trabalho de Barragan (2005) segundo o qual a UE é um indicador que subestima a uniformidade.

A hipótese de que "a uniformidade de emissão é um indicador que subestima a uniformidade quando comparada com outros indicadores" foi comprovada.

4.6. CV da Vazão x CV da Produção

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

Quando se analisa produção, além da uniformidade, ou seja, além de simplesmente aplicar a mesma quantidade de água em 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.

Visando considerar também o efeito da eficiência de aplicação de água na uniformidade da produção, foram avaliadas 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 (eq. 7). A aplicação durante 30 dias equivale a uma volume inferior (déficit) à faixa ótima de produção, assim como 90 dias corresponde a uma volume excessivo (acima da 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).

Analisando-se a Tabela 13 verifica-se que, nos três volumes aplicados, o coeficiente de variação da produção 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%. Quando se analisa, para esta mesma combinação, o coeficiente de variação da produção, nota-se que para a lâmina aplicada excessiva (90dias)

obtém-se praticamente o mesmo valor, ou seja, 5%. Para 30 dias, que é a lâmina deficitária, o CV diminuiu para 2%, ou seja, três vezes menor, enquanto que para a lâmina ótima (60 dias) o coeficiente de variação da produção reduziu para 0,19%, 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 13: 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**	**CV da produção**		
	%		3870 L/ano	7740 L/ano	11610 L/ano
94	0	0,011	0,003	0,000	0,009
	3	0,040	0,012	0,001	0,034
	6	0,053	0,017	0,001	0,046
	9	0,034	0,011	0,001	0,028
	12	0,074	0,023	0,003	0,063
90	0	0,034	0,011	0,001	0,029
	3	0,063	0,020	0,002	0,054
	6	0,058	0,018	0,002	0,050
	9	0,040	0,013	0,001	0,034
	12	0,086	0,027	0,004	0,072
80	0	0,058	0,018	0,002	0,048
	3	0,100	0,031	0,004	0,087
70	0	0,095	0,030	0,004	0,082
	3	0,124	0,038	0,006	0,103
60	0	0,125	0,038	0,006	0,108
	3	0,130	0,039	0,007	0,106

A primeira hipótese relacionada com este item afirma que " o CV da vazão não coincide com o CV da produção" é verdadeira, conforme demonstrado anteriormente.

A outra hipótese: a diferença entre o CV da vazão e o CV da produção 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 será a diferença entre o CV da vazão e o CV da produção.

4.7. Receita Líquida das Combinações Avaliadas

A Tabela 14 apresenta o lucro anual pela área total 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 14. 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

4.8. Distribuição da Carga Hidráulica na Linha de Derivação, para Diferentes UE Pré-estabelecidas

Na Tabela 15 tem-se a distribuição da carga hidráulica nas saídas da linha de derivação, para as diferentes uniformidades de emissão pré-estabelecidas estudadas nesta dissertação, na condição em nível.

Tabela 15: Distribuição da carga hidráulica (mca) na linha de derivação, para diferentes valores de uniformidade de emissão pré-estabelecida, na condição em nível.

Distância das saídas da Linha de Derivação (m)	UE pré-estabelecida					
	70%	75%	80%	85%	90%	94%
0	22,3	21,5	20,6	19,6	18,6	16,6
3,5	21,9	21,1	20,2	19,5	18,6	16,6
10,5	21,3	20,5	19,6	18,9	18,5	16,5
17,5	20,8	19,9	19,0	18,3	18,4	16,4
24,5	20,3	19,5	18,6	17,8	18,3	16,3
31,5	19,6	19,1	18,2	17,5	17,9	16,3
38,5	18,2	18,7	17,9	17,1	17,6	16,2
45,5	17,1	17,6	17,6	16,9	17,3	16,2
52,5	16,2	16,7	17,2	16,7	17,1	16,2
59,5	15,6	16,1	16,6	16,5	17,0	16,2
66,5	15,1	15,6	16,1	16,4	16,8	16,1
73,5	14,8	15,3	15,8	16,3	16,8	16,0
80,5	14,6	15,1	15,6	16,1	16,7	15,9
87,5	14,5	15,0	15,5	16,1	16,6	15,9
94,5	14,5	15,0	15,5	16,0	16,6	15,9

Na Figura 7 tem-se a representação gráfica da Tabela 15. Os pontos de inflexão indicam mudança de diâmetro na linha de derivação.

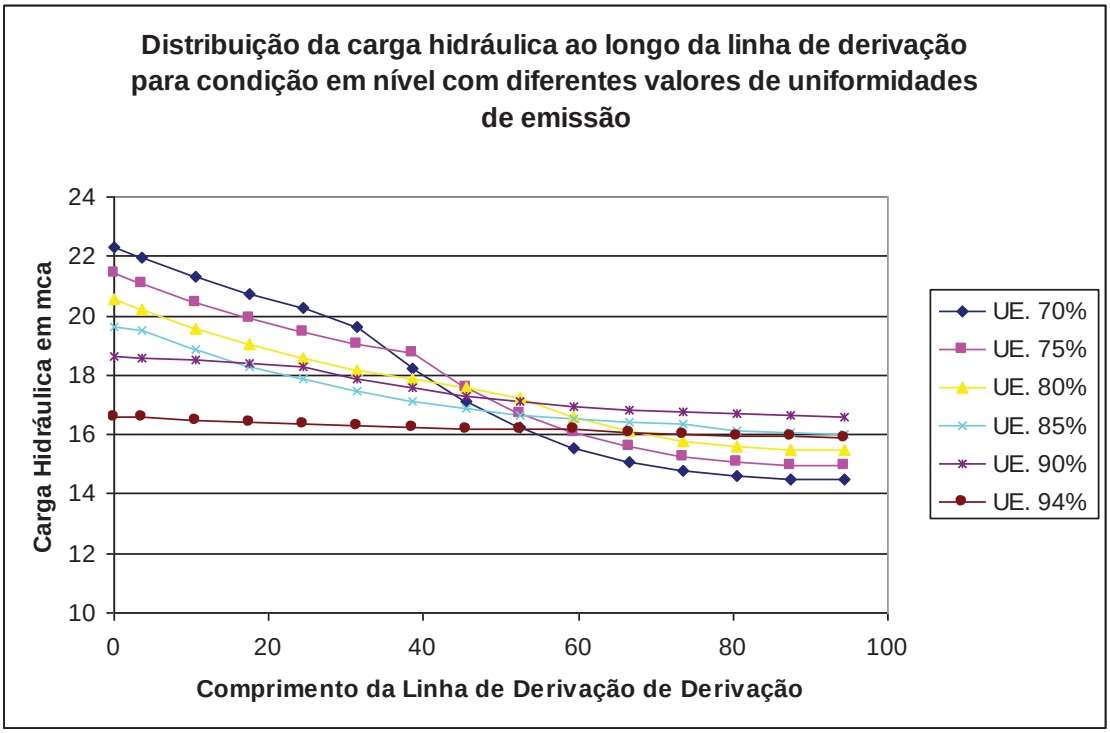


Figura 7. Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação na condição em nível, para diferentes valores de uniformidade de emissão.

4.9. Distribuição da Carga Hidráulica na Linha de Derivação, para Terrenos com Diferentes Declividades.

Na Tabela 16 tem-se a distribuição de carga hidráulica na linha de derivação para a UE de 90%, em diferentes condições de declividade.

Tabela16. 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)	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 16 está na Figura 8.

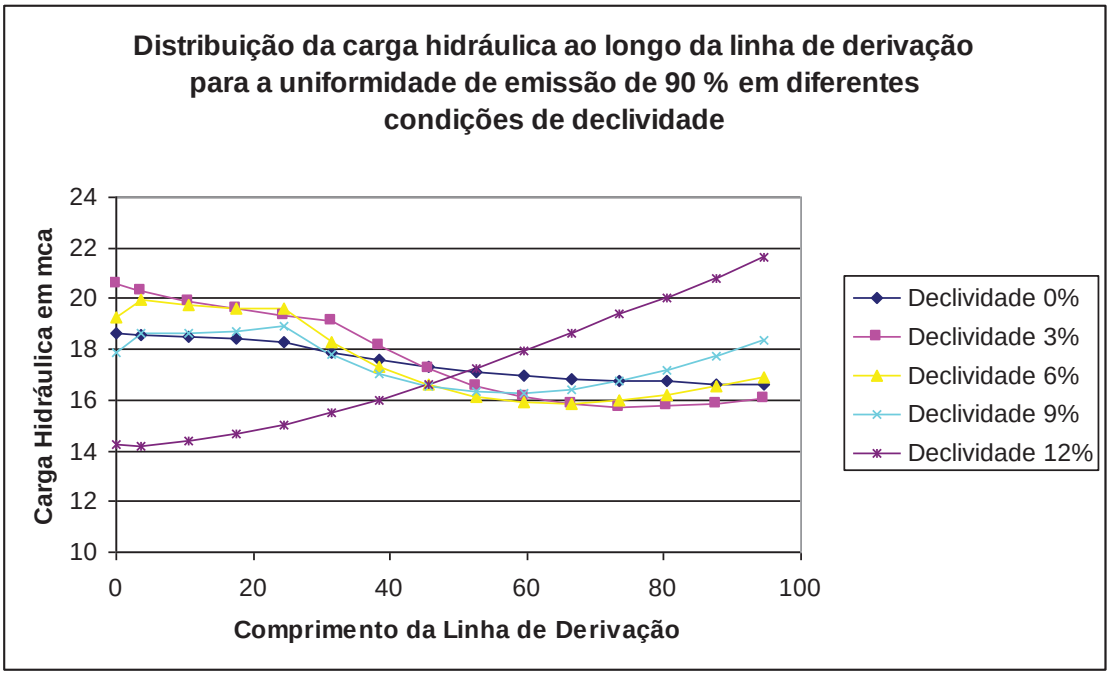


Figura 8. Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos e das hipóteses formuladas, pode-se concluir que:

a) a uniformidade de emissão após o dimensionamento diferiu da uniformidade de emissão pré-estabelecida, mais acentuadamente em valores iniciais menores que 90%;

b) a uniformidade da carga hidráulica na unidade operacional foi sempre maior que a uniformidade da vazão;

c) a uniformidade de emissão sempre gerou menores valores quando comparada com a UD e o índice proposto por Barragan;

d) o coeficiente de variação da vazão dos emissores da unidade operacional foi sempre menor que o coeficiente de variação da produtividade;

e) o CV da produtividade foi dependente da lâmina aplicada, com menores valores quando se aplicou aproximadamente o volume que resulta em máxima produção;

f) para se obter uniformidade da produção, deve-se considerar não apenas a uniformidade do equipamento de irrigação, mas especialmente a escolha adequada da lâmina a ser aplicada.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Cobrança- PCJ. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaPCJ_Inicial.asp>. Acesso em: 01 maio 2011.

AGROFIT. Resposta em produtividade em citros irrigado. 2008. Disponível em: <http://www.agrofit.com.br/portal/templates/netfit/html/artigos/Respostas%20em%20produtividade%20em%20citros%20irrigado.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2011.

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 2., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1994. p. 101-105.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASAE-EP-405**: design, installation and performance of trickle irrigation systems. St. Joseph, 1982. p. 519-522.

BANCO CENTRAL. Histórico de metas para a inflação no Brasil. Disponível em: <www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>. Acesso em: 01 maio 2011.

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 pêra a irrigação complementar e nitrogênio**. 1997. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

BERTONHA, A. et al. Irrigação e adubação nitrogenada na produção de laranja-pêra. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 21, n. 3, p. 537-542, 1999.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Eds.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).

BROOKS, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **GAMS:** a user's guide. Redwood City: The Scientific Press, 1988. 289 p.

CALHEIROS, R. O. et al. Viabilidade técnica da citricultura irrigada nas regiões norte e noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 6, p. 963-973, 1992.

CASTRO, P. R. L. Comportamento do citros sob déficit hídrico. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 15, n. 2, p. 139-154, 1994.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. A pesquisa que se aplica ao seu dia-a-dia: laranja indústria. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/citros/>. Acesso em: 01 maio 2011.

COHEN, A.; GOELL, A. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., 1984, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Citriculture, 1984. v. 2. p. 114-117.

CPFL PAULISTA: taxas e tarifas: preços de tarifas de energia elétrica praticadas na CPFL Paulista. Disponível em: <http://www.cpfl.com.br/Informaccedilotildees/TaxaseTarifas/tabid/206/Default.aspx>. Acesso em: 01 maio 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

GIORGI, D. I. F. et al. Influência climática na produção de laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 1, n. 12, p. 163-192, 1991.

GUARDIOLA, J. L. Fruit set and growth. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CITRUS, 2., 1992, Bebedouro. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Citriculture, 1992. v. 2, p. 121-123.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: EDUSP, 1988. 850 p.

KARMELI, D.; PERI, G. Trickle irrigation design principles (in Hebrew). Haifa: The Technion Students Publishing House, 1972. 112 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE,** St. Joseph, v. 17, p. 679-684, 1974.

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

KOO, R. C. J. The influence of N, K and irrigation on tree size, and fruit production of "valencia" orange. Proceedings of Florida State Horticulture Society, Goldenrod, v. 92, p. 10-13. 1979. (Florida Agricultural Experiment Stations Journal Series, 2122).

LISBOA, E. F. A. Pesquisa operacional. Curso de pesquisa operacional. Rio de Janeiro, 2002. 56 p. Disponível em: <http:// www.euricolisboa.eng.br>. Acesso em: 20 jun. 2011.

MADORE, M. A. Phloem transport of solutes in crop plants. University of California, Riverside, California. In: PESSORAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. Tucson: The University of Arizona, 1994. p. 337-353.

MARCUSSI, F. F. N. **Avaliação dos desempenhos hidráulico e econômico de um sistema de irrigação localizada utilizando programação linear.** 2004. 188 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Citrus. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus>. Acesso em: 20 jun. 2011.

PARSONS, L. R.; MURARO, R. P. Economics of citrus irrigation. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 8., São Paulo, 1991. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Citriculture, 1991. p. 148-151.

RODRIGUES, O. Nutrição e adubação de citrus. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F. C. P. (Eds.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. p. 385-428.

RODRIGUES, J. A. L. et al. Plano ótimo de cultivo no Projeto de Irrigação Morada Nova, Ceará, utilizando modelo de programação linear. **Irriga**, Botucatu, v. 5, n. 3, p. 199-221, 2000.

SAAD, J. C. C. **Otimização de sistemas de irrigação localizada utilizando programação não-linear**. 1993. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

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 Docente em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

TUBELIS, A.; SALIBE, A. A. Efeito da chuva na produtividade da cultura de laranja "baianinha". **Laranja**, Cordeirópolis, v. 1, n. 12, p. 141-156, 1991.

ANEXO 1

Modelo de Programação Linear – Marcussi (2004)

Dados de entrada do programa gams.

```
$Title  Teste
$Ontext
*Minimization model;
*Linear programming model;
$Offtext

 SETS
 I     diâmetro nominal tubo pvc PN40 para linhas de derivação  /35, 50, 75, 100, 125/
 G     diâmetro nominal tubo pvc PN40  /50, 75, 100, 125, 150/
 F     diâmetro pvc pn 80  /50, 75, 100, 150/
 J     trechos da linha de derivação  /1 * 14/
 B(J)  trechos da linha de derivação com 7m de comprimento /2 * 14/
 R     trechos de linha secundaria /1, 2, 3, 4/
 U     trechos da linha principal /1, 2, 3, 4/ ;

 SCALARS

 N       numero de unidades operacionais /24/
 NUOS    numero de unidades operacionais atuando  simultaneamente /4/
 IFR     turno de irrigação /6/
 NLL     numero de linhas laterais na unidade operacional  /28/
 NE      numero de emissores por linha lateral  /12/
 Cm      custo unitário do microaspersor em R$  /2.33/
 CL      preço em R$ por m de tubo de PE de 13mm da linha lateral /0.85/
 L       comprimento da linha lateral  em m  /46/
 D       comprimento da linha de derivação em m  /94.5/
 S       comprimento da linha secundaria em m /250/
 dz      gradiente de declive em m por m    /0.0/
 HFL     perda de carga na linha lateral em mca /2.48/
 He      perda de carga na estação de controle em mca /12/
 Hu      altura geométrica de sucção  em mca /3/
 V       perda de carga na válvula reguladora de pressão em mca /2/
 hm      carga hidráulica de operação do microaspersor em mca    /15.5/
 E       custo da energia elétrica em reais por Kwh  /0.16334/
 DI      dias de irrigação no ciclo /30/
 HI      horas de irrigação por dia /18/
 EF      rendimento do conjunto motor 88%  e bomba 70% /0.616/
 FRC     fator de recuperação do capital com juros 6% aa e 10 anos vida útil   /.13587/
 VL      perda de carga permitida na linha de derivação em mca  /2.03/
 VV      custo unitário válvula elétrica do inicio na unidade operacional em R$ /1073.73/
 PC      custo em R$ do painel de controle para 24 válvulas /4315.44/
 W       LÂMINA APLICADA /10080/
 Cw      custo da água em reais por m3 /0.02/
 A       area total /225792/
 FI      custo do sist de filtragem composto filtros de areia e tela mais válvula retrolavagem /27829.49/
 Q       vazão na saída da bomba em m3 por s /1.6053E-2/ ;
```

PARAMETERS

P(U) comprimento em m da linha principal /1 98
2 98
3 98
4 98 /

CD(I) preço em R$ por m do tubo de pvc PN40 /35 2.13
50 2.96
75 5.68
100 9.11
125 14.91 /

C40(G) preço em R$ por m do tubo de pvc PN40 /50 2.96
75 5.68
100 9.11
125 14.91
150 21.18 /

C80(F) preço em R$ por m do tubo de pvc PN80 / 50 4.22
75 8.44
100 16.69
150 33.33 /

JP4(G) perda de carga em m por 100m secund e principal com vazão Q / 50 11.792
75 1.577
100 0.167
125 10000
150 0.02876/

JP3(G) perda de carga em m por 100m na linha principal 1 com 2Q / 50 1000
75 5.677
100 0.5857
125 100000
150 0.099/

JP2(F) perda de carga em m por 100m na linha principal 1 com 3Q /50 94.956
75 12.1521
100 1.2326
150 0.20684/

JP1(F) perda de carga em m por 100m secund e principal com vazão 4Q /50 165.569
75 20.96
100 2.0998
150 0.3495/

JLS(F) perda de carga linha secundaria pn 80 com vazão Q /50 11.367
75 1.544
100 0.1276
150 0.0286/ ;

TABLE JD(J,I) perda de carga em m por 100m no trecho J da lin derivação com diâmetro I

	35	50	75	100	125
1	43.416	9.832	1.348	0.318	0.118
2	37.786	8.575	1.179	0.278	0.103
3	32.533	7.400	1.020	0.241	0.089
4	27.659	6.307	0.871	0.207	0.077
5	23.165	5.297	0.734	0.174	0.065
6	19.053	4.369	0.607	0.144	0.053
7	15.325	3.525	0.492	0.117	0.044
8	11.983	2.767	0.387	0.093	0.000
9	9.032	2.094	0.294	0.071	0.000
10	6.476	1.508	0.213	0.051	0.000

11	4.320	1.011	0.144	0.035	0.000
12	2.573	0.606	0.087	0.021	0.000
13	1.248	0.296	0.043	0.010	0.000
14	0.369	0.089	0.013	0.003	0.000 ;

VARIABLES

LD(J,I) comprimento em m da tubulação de diâmetro i no trecho j da linha de derivação
LS1(F) comprimento em m da linha secundaria 1 com diâmetro F
LS2(G) comprimento em m da linha secundaria 2 com diâmetro G
LS3(G) comprimento em m da linha secundaria 3 com diâmetro G
LS4(G) comprimento em m da linha secundaria 4 com diâmetro G
LP1(F) comprimento em m da linha principal 1 com diâmetro F
LP2(F) comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro F
LP3(G) comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro G
LP4(G) comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro G
CE custo em reais com consumo de energia
MAN altura manométrica total por bloco operacional em mca
HMED carga hidráulica media na linha de derivação em mca
HD(J) carga hidráulica nas saídas da linha de derivação em mca
HUO carga hidráulica mínima na entrada da UO antes da válvula em mca
Ho carga hidráulica na saída da estação de controle em mca
H1 carga hidráulica na transição entre os trechos 1 e 2 da linha principal em mca
H2 carga hidráulica na interseção do trecho 2 da linha principal com o trecho 2 da linha secundaria em mca
H3 carga hidráulica na interseção do trecho 3 da linha principal com o trecho 3 da linha secundaria em mca
H4 carga hidráulica na interseção do trecho 4 da linha principal com o trecho 4 da linha secundaria em mca
CB custo em reais do conjunto motobomba para man entre 50 e 82 mca
HFD perda carga na linha de derivação em mca
HDo carga hidráulica na entrada linha de derivação em mca
Z custo total do sistema de irrigação em reais ;

POSITIVE VARIABLES HDo, HD, HFD, HMED, LD(J,I), LS1(F), LS2(G), LS3(G), LS4(G), LP1(F), LP2(F), LP3(G), LP4(G),
MAN, Ho, H1, H2, H3, H4, HUO, CE, CB;

EQUATIONS

FO função objetivo
TRED1 comprimento do trecho 1 da linha de derivação
TRED(J) trechos de 2 a 28 da linha de derivação
SEC1 comprimento da linha secundaria 1
SEC2 comprimento da linha secundaria 2
SEC3
SEC4
PRI1 comprimento da linha principal 1
PRI2 comprimento da linha principal 2
PRI3
PRI4
EHD1 carga hidráulica na primeira saída da l de derivação
EHD(J) carga hidráulica nas demais saídas l derivação
EHM carga hidráulica media na l derivação
EHUO calculo de HUO
EHDo calculo da carga hidráulica no inicio da l deriv

EHFD perda de carga na l derivação
EMAN altura manométrica total
PN40 respeito à classe de pressão 40mca
PN80
ECE calculo do custo com energia elétrica
EHo carga hidráulica na saída da estação de controle
EH1 eq para calculo de H1
EH2 eq para calculo de H2
EH3
EH4
ECB eq para custo do sist de bombeamento
ECB1 eq 1 para custo de bombeamento
ECB2 eq 2 para custo de bombeamento
E1
E2
E3
E4
E5
E6
E7
E8
E9
E10
E11
E12
E13
E14

E21
E22
E23
E24
E25
EVLO(J)
EVLOX(J)
EVL1(J)
EVL2(J)
EVL3(J)
EVL4(J)
EVL5(J)
EVL6(J)
EVL7(J)
EVL8(J)
EVL9(J)
EVL10(J)
EVL11(J)
EVL12(J)
EVL13(J)
EVL14(J)
ELS1 dimensionamento da linha secundaria 1
ELS2 dimensionamento da linha secundaria 2
ELS3
ELS4 ;

FO.. Z =E=((((N*NLL*NE*Cm)+ N*NLL*L*CL + N*VV + N*SUM((I,J),CD(I)*LD(J,I)) +
2*(SUM((F),C80(F)*LS1(F))+ SUM((G),C40(G)*LS2(G))+ SUM((G),C40(G)*LS3(G))+

```
            SUM((G),C40(G)*LS4(G)))+ SUM((F),C80(F)*LP1(F))+
        SUM((F),C80(F)*LP2(F))+ SUM((G),C40(G)*LP3(G))+ SUM((G),C40(G)*LP4(G))+
            CB + PC + FI)*FRC + CE)*(10000/A))  + (W*10*Cw/(0.9*28)) ;

TRED1..        SUM((I),LD('1',I)) =E= 3.5 ;

TRED(B(J))..   SUM((I),LD(J,I)) =E= 7 ;

E1..          LD('13','75') =E= 0 ;
E2..          LD('14','75') =E= 0 ;
E3..          LD('10','100') =E= 0 ;
E4..          LD('11','100') =E= 0 ;
E5..          LD('12','100') =E= 0 ;
E6..          LD('13','100') =E= 0 ;
E7..          LD('14','100') =E= 0 ;
E8..          LD('8','125') =E= 0 ;
E9..          LD('9','125') =E= 0 ;
E10..         LD('10','125') =E= 0 ;
E11..         LD('11','125') =E= 0 ;
E12..         LD('12','125') =E= 0 ;
E13..         LD('13','125') =E= 0 ;
E14..         LD('14','125') =E= 0 ;

E21..         LP1('75') =E= 0 ;
E22..         LP2('75') =E= 0 ;
E23..         LP1('50') =E= 0 ;
E24..         LP2('50') =E= 0 ;
E25..         LP3('50') =E= 0 ;

EHDo..        HDo =E= HUO - v ;
EHD1..        HD('1') =E= HDo - 1.05*SUM((I),(JD('1',I)/100)*LD('1',I))+3.5*dz ;
EHD(B(J))..   HD(J) =E= (HD(J-1) - SUM((I),(JD(J,I)/100)*LD(J,I))*1.05+7 *dz);
EVLO(J)..     HDo - HD(J) =L= VL ;
EVLOX(J)..    HD(J) - HDo =L= VL ;
EVL1(J)..     HD('1') - HD(J) =L= VL ;
EVL2(J)..     HD('2') - HD(J) =L= VL ;
EVL3(J)..     HD('3') - HD(J) =L= VL ;
EVL4(J)..     HD('4') - HD(J) =L= VL ;
EVL5(J)..     HD('5') - HD(J) =L= VL ;
EVL6(J)..     HD('6') - HD(J) =L= VL ;
EVL7(J)..     HD('7') - HD(J) =L= VL ;
EVL8(J)..     HD('8') - HD(J) =L= VL ;
EVL9(J)..     HD('9') - HD(J) =L= VL ;
EVL10(J)..    HD('10') - HD(J) =L= VL ;
EVL11(J)..    HD('11') - HD(J) =L= VL ;
EVL12(J)..    HD('12') - HD(J) =L= VL ;
EVL13(J)..    HD('13') - HD(J) =L= VL ;
EVL14(J)..    HD('14') - HD(J) =L= VL ;
EHM..         HMED =E= SUM(J,HD(J))/(NLL/2)  ;
EHFD..        HFD =E= 1.05*(SUM((J,I),(JD(J,I)/100)*LD(J,I))) ;
SEC1..        SUM((F),LS1(F)) =E= S ;
SEC2..        SUM((G),LS2(G)) =E= S ;
SEC3..        SUM((G),LS3(G)) =E= S ;
SEC4..        SUM((G),LS4(G)) =E= S ;
PRI1..        SUM((F),LP1(F)) =E= P('1') ;
PRI2..        SUM((F),LP2(F)) =E= P('2') ;
```

```
PRI3..        SUM((G),LP3(G)) =E= P('3') ;
PRI4..        SUM((G),LP4(G)) =E= P('4') ;
EHUO..          HUO =E= (0.75*HFL)+ hm + v + (SUM((J,I),(JD(J,I)/100)*LD(J,I))*0.63*1.05)-
0.5*D*dz ;

EMAN..         (0.75*HFL) + hm + v +
((0.63*SUM((J,I),(JD(J,I)/100)*LD(J,I))+SUM((G),(JP4(G)/100)*LS4(G)) +
SUM((G),(JP4(G)/100)*LP4(G))+ SUM((G),(JP3(G)/100)*LP3(G)) + SUM((F),(JP2(F)/100)*LP2(F))+
SUM((F),(JP1(F)/100)*LP1(F)))*1.05) +(SUM((U),P(U)*dz)) - (0.5*D*dz)+ He +Hu =E= MAN ;

ECB..         CB =E= (15.869 * MAN) + 1477.9 ;
ECB1..         MAN =L= 82 ;
ECB2..         MAN =G= 50 ;
PN80..         Ho =L= 80 ;
PN40..         H4 =L= 80 ;
ECE..         CE =E= ((9.80665 * 1.1 * Q * MAN *N * DI *HI)/(NUOS*IFR*EF))* E ;
EHo..         Ho =E= MAN - He - Hu ;
EH1..         H1 =E= Ho -  P('1')*dz  - (1.05*SUM((F),(JP1(F)/100)*LP1(F))) ;
EH2..         H2 =E= H1 - P('2')*dz -  ((SUM((F),(JP2(F)/100)*LP2(F)))*1.05) ;
EH3..         H3 =E= H2 - P('3')*dz -  ((SUM((G),(JP3(G)/100)*LP3(G)))*1.05) ;
EH4..         H4 =E= H3 - P('4')*dz -  ((SUM((G),(JP4(G)/100)*LP4(G)))*1.05) ;
ELS1..         (SUM((F),(JLS(F)/100)*LS1(F))*1.05) =L= H1 - HUO ;
ELS2..         (SUM((G),(JP4(G)/100)*LS2(G))*1.05) =L= H2 - HUO ;
ELS3..         (SUM((G),(JP4(G)/100)*LS3(G))*1.05) =L= H3 - HUO ;
ELS4..         (SUM((G),(JP4(G)/100)*LS4(G))*1.05) =L= H4 - HUO ;

OPTION LIMROW = 200 ;
MODEL  PLMIN /ALL/ ;
SOLVE  PLMIN USING LP MINIMIZING Z
```

ANEXO 2

Solução do programa para situação descrita nos dados de entrada apêndice 1.

```
          S O L V E     S U M M A R Y

    MODEL   PLMIN           OBJECTIVE  Z
    TYPE    LP              DIRECTION  MINIMIZE
    SOLVER  CPLEX           FROM LINE  366

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE            966.6549

 RESOURCE USAGE, LIMIT         0.117     1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT        53        10000

GAMS/Cplex    Nov 11, 2004 WIN.CP.NA 21.5 026.029.041.VIS For Cplex 9.0
Cplex 9.0.2, GAMS Link 26

Optimal solution found.
Objective :         966.654862


---- VAR LD  comprimento em m  da tubulação de diâmetro i no trecho j da linha d
          e derivação

        LOWER     LEVEL     UPPER    MARGINAL

1 .35       .         .       +INF       2.527
1 .50       .         .       +INF       0.220
1 .75       .       3.500     +INF         .
1 .100      .         .       +INF       0.421
1 .125      .         .       +INF       1.244
2 .35       .         .       +INF       2.133
2 .50       .         .       +INF       0.142
2 .75       .       7.000     +INF         .
2 .100      .         .       +INF       0.430
2 .125      .         .       +INF       1.255
3 .35       .         .       +INF       1.765
3 .50       .         .       +INF       0.068
3 .75       .       7.000     +INF         .
3 .100      .         .       +INF       0.439
3 .125      .         .       +INF       1.266
4 .35       .         .       +INF       1.423
4 .50       .       1.392     +INF         .
4 .75       .       5.608     +INF         .
4 .100      .         .       +INF       0.447
4 .125      .         .       +INF       1.276
5 .35       .         .       +INF       1.171
5 .50       .       7.000     +INF         .
5 .75       .         .       +INF       0.063
5 .100      .         .       +INF       0.518
5 .125      .         .       +INF       1.348
```

6 .35 . . +INF 0.941
6 .50 . 7.000 +INF .
6 .75 . . +INF 0.121
6 .100 . . +INF 0.583
6 .125 . . +INF 1.414
7 .35 . . +INF 0.733
7 .50 . 7.000 +INF .
7 .75 . . +INF 0.174
7 .100 . . +INF 0.642
7 .125 . . +INF 1.474
8 .35 . . +INF 0.546
8 .50 . 7.000 +INF .
8 .75 . . +INF 0.221
8 .100 . . +INF 0.695
8 .125 . . +INF 1.526
9 .35 . . +INF 0.381
9 .50 . 7.000 +INF .
9 .75 . . +INF 0.263
9 .100 . . +INF 0.742
9 .125 . . +INF 1.574
10.35 . . +INF 0.239
10.50 . 7.000 +INF .
10.75 . . +INF 0.299
10.100 . . +INF 0.783
10.125 . . +INF 1.617
11.35 . . +INF 0.119
11.50 . 7.000 +INF .
11.75 . . +INF 0.330
11.100 . . +INF 0.818
11.125 . . +INF 1.653
12.35 . . +INF 0.022
12.50 . 7.000 +INF .
12.75 . . +INF 0.355
12.100 . . +INF 0.846
12.125 . . +INF 1.682
13.35 . 7.000 +INF .
13.50 . . +INF 0.051
13.75 . . +INF 0.426
13.100 . . +INF 0.919
13.125 . . +INF 1.755
14.35 . 7.000 +INF .
14.50 . . +INF 0.100
14.75 . . +INF 0.487
14.100 . . +INF 0.982
14.125 . . +INF 1.819

---- VAR LS1 comprimento em m da linha secundaria 1 com diâmetro F

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

50 . 78.993 +INF .
75 . 171.007 +INF .
100 . . +INF 0.092
150 . . +INF 0.292

---- VAR LS2 comprimento em m da linha secundaria 2 com diâmetro G

```
     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .     63.328    +INF       .
75      .    186.672    +INF       .
100     .        .      +INF     0.037
125     .        .      +INF    32.152
150     .        .      +INF     0.182

---- VAR LS3  comprimento em m  da linha secundaria 3 com diâmetro G

     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .     57.709    +INF       .
75      .    192.291    +INF       .
100     .        .      +INF     0.037
125     .        .      +INF    32.152
150     .        .      +INF     0.182

---- VAR LS4  comprimento em m  da linha secundaria 4 com diâmetro G

     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .     42.580    +INF       .
75      .    207.420    +INF       .
100     .        .      +INF     0.037
125     .        .      +INF    32.152
150     .        .      +INF     0.182

---- VAR LP1  comprimento em m da linha principal 1 com diâmetro F

     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .        .      +INF     2.342
75      .        .      +INF     0.229
100     .     98.000    +INF       .
150     .        .      +INF     0.074

---- VAR LP2  comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro F

     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .        .      +INF     0.826
75      .        .      +INF     0.055
100     .     98.000    +INF       .
150     .        .      +INF     0.090

---- VAR LP3  comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro G

     LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

50      .        .      +INF     6.368
75      .        .      +INF     0.012
100     .     98.000    +INF       .
125     .        .      +INF   640.954
150     .        .      +INF     0.070
```

---- VAR LP4 comprimento em m da linha principal 2 com diâmetro G

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
50	.	.	+INF	0.016
75	.	98.000	+INF	.
100	.	.	+INF	0.016
125	.	.	+INF	32.097
150	.	.	+INF	0.088

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR CE	.	2479.563	+INF	.
---- VAR MAN	.	50.000	+INF	.
---- VAR HMED	.	17.446	+INF	.

CE custo em reais com consumo de energia
MAN altura manométrica total por bloco operacional em mca
HMED carga hidráulica media na linha de derivação em mca

---- VAR HD carga hidráulica nas saídas da linha de derivação em mca

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	18.589	+INF	.
2	.	18.503	+INF	.
3	.	18.428	+INF	.
4	.	18.284	+INF	.
5	.	17.895	+INF	.
6	.	17.574	+INF	.
7	.	17.315	+INF	.
8	.	17.111	+INF	.
9	.	16.957	+INF	.
10	.	16.847	+INF	.
11	.	16.772	+INF	.
12	.	16.728	+INF	.
13	.	16.636	+INF	.
14	.	16.609	+INF	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR HUO	.	20.639	+INF	.
---- VAR Ho	.	35.000	+INF	.
---- VAR H1	.	32.839	+INF	.
---- VAR H2	.	31.571	+INF	.
---- VAR H3	.	30.968	+INF	.
---- VAR H4	.	29.346	+INF	.
---- VAR CB	.	2271.350	+INF	.
---- VAR HFD	.	2.030	+INF	.
---- VAR HDo	.	18.639	+INF	.
---- VAR Z	-INF	966.655	+INF	.

HUO carga hidráulica mínima na entrada da UO antes da válvula em mca
Ho carga hidráulica na saída da estação de controle em mca
H1 carga hidráulica na transição entre os trechos 1 e 2 da linha principal e

m mca
H2 carga hidráulica na interseção do trecho 2 da linha principal com o trecho 2 da linha secundaria em mca
H3 carga hidráulica na interseção do trecho 3 da linha principal com o trecho 3 da linha secundaria em mca
H4 carga hidráulica na interseção do trecho 4 da linha principal com o trecho 4 da linha secundaria em mca
CB custo em reais do conjunto motobomba para man entre 50 e 82 mca
HFD perda carga na linha de derivação em mca
HDo carga hidráulica na entrada linha de derivação em mca
Z custo total do sistema de irrigação em reais

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

ANEXO 3

Avaliações de desempenho do sistema de irrigação para todas as uniformidades de emissão de projeto estudadas, apresentando linhas de derivação em diferentes declividades

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para **94%** de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

Declividade %		Custo		Pressão		Vazão			CV da Produção		
94%		R$		Coef.variação	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0	958,42	1016,68	1071,59	0,02	96,56	95,31	98,70	0,01	0,003	0,0003	0,01
3	940,23	1005,51	1065,91	0,07	93,93	91,91	95,36	0,04	0,012	0,0010	0,03
6	947,35	1022,17	1093,93	0,10	92,97	90,87	94,46	0,05	0,017	0,0011	0,05
9	955,73	1040,52	1123,34	0,06	94,11	92,12	95,66	0,03	0,011	0,0009	0,03
12	975,64	1065,69	1155,74	0,14	88,49	86,27	90,90	0,07	0,023	0,0029	0,06

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para **90%** de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.90%		Custo R$		Pressão		Vazão			CV da Produção		
Declividade %	30	60	90	cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	907,97	966,65	1021,56	0,06	94,07	92,07	95,85	0,03	0,01	0,0009	0,03
3%	904,38	971,05	1032,77	0,12	90,98	88,79	92,57	0,06	0,02	0,0019	0,05
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,90	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para **85%** de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.85%		Custo		Pressão		Vazão			CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	900,20	959,10	1014,00	0,08	93,07	90,98	95,01	0,04	0,01	0,0015	0,04
3%	904,38	971,05	1032,77	0,16	89,39	87,17	89,00	0,08	0,03	0,0028	0,07
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para **80%** de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.80%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,64	956,75	1011,65	0,11	90,55	88,36	92,67	0,06	0,02	0,0022	0,05
3%	904,38	971,05	1032,77	0,19	88,15	85,93	89,68	0,10	0,03	0,0038	0,09
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para **75%** de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.75%	Custo	Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %	R$	R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,20	956,49	1011,40	0,15	88,42	86,20	90,47	0,08	0,02	0,0030	0,07
3%	904,38	971,05	1032,77	0,22	87,21	84,99	88,76	0,11	0,03	0,0051	0,10
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 70% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.70%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,18	86,81	84,59	88,85	0,10	0,03	0,0038	0,08
3%	904,38	971,05	1032,77	0,24	86,46	84,24	88,02	0,12	0,04	0,0063	0,10
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 60% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.60%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,24	84,45	82,25	86,53	0,13	0,04	0,0060	0,11
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 50% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.50%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,28	82,82	80,65	84,97	0,15	0,04	0,0085	0,12
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 40% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.40%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,31	81,70	79,55	83,94	0,16	0,05	0,0108	0,13
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 30% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

U.E.30%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,33	80,92	78,78	83,24	0,17	0,05	0,0125	0,12
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 20% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

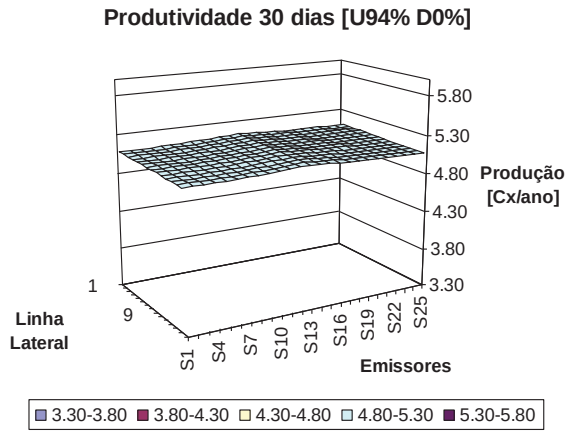
U.E.20%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,33	80,82	78,68	83,14	0,17	0,05	0,0125	0,12
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

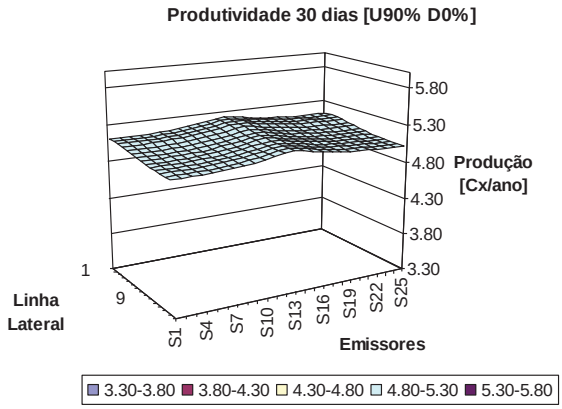
Avaliação de Desempenho do Sistema de Irrigação para 10% de Uniformidade de Emissão de Projeto, Apresentando Linhas de Derivação em Diferentes Declividades

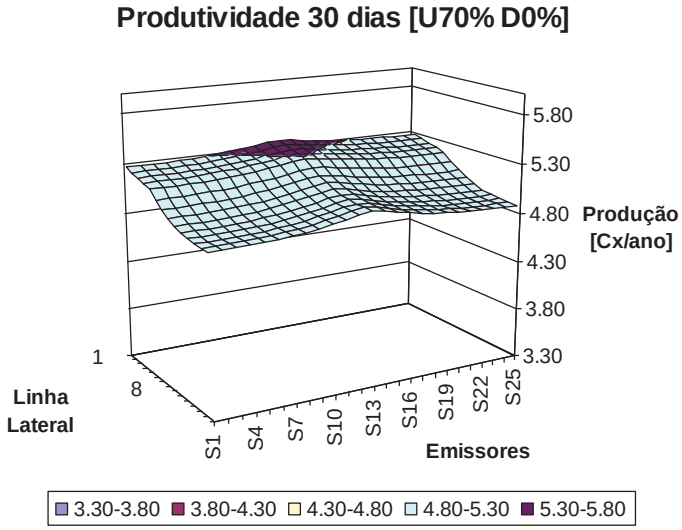
U.E.10%		Custo		Pressão			Vazão		CV da Produção		
Declividade %		R$		cv	Barragan	U.E.	25%	cv	30d	60 d	90 d
0%	897,17	956,49	1011,40	0,33	80,82	78,68	83,14	0,17	0,05	0,0125	0,12
3%	904,38	971,05	1032,77	0,25	86,04	83,83	87,63	0,13	0,04	0,0072	0,11
6%	911,58	987,72	1060,79	0,11	91,59	89,42	93,46	0,06	0,02	0,0017	0,05
9%	919,96	1006,07	1090,20	0,08	92,79	90,68	94,87	0,04	0,01	0,0012	0,03
12%	944,48	1034,53	1124,58	0,16	86,09	83,88	89,43	0,09	0,03	0,0041	0,07

ANEXO 4

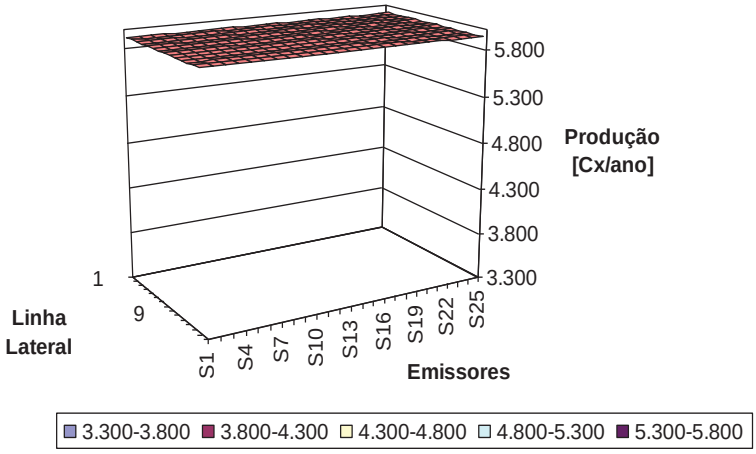
Gráficos de produção da laranja por pé, em caixas por ano, para uniformidade de emissão de projeto de 94, 90, 70%.



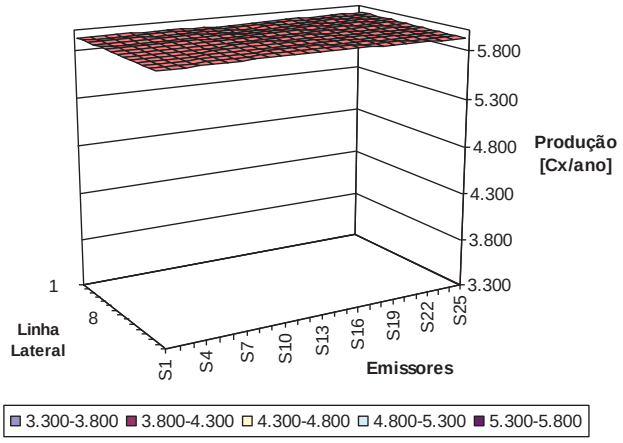




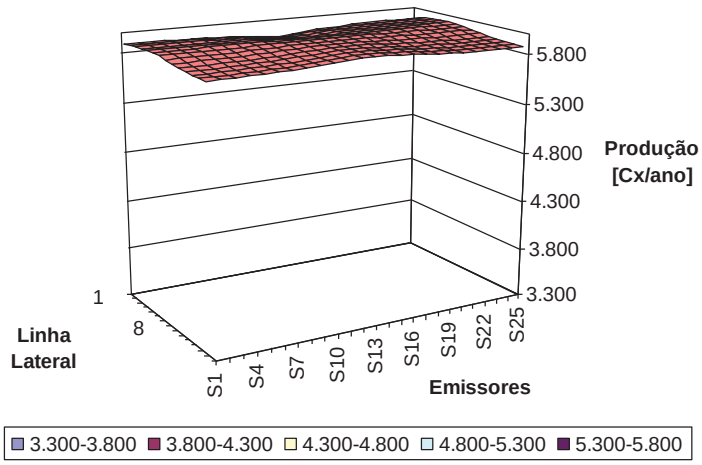
Produtividade 60 dias [U94% D0%]

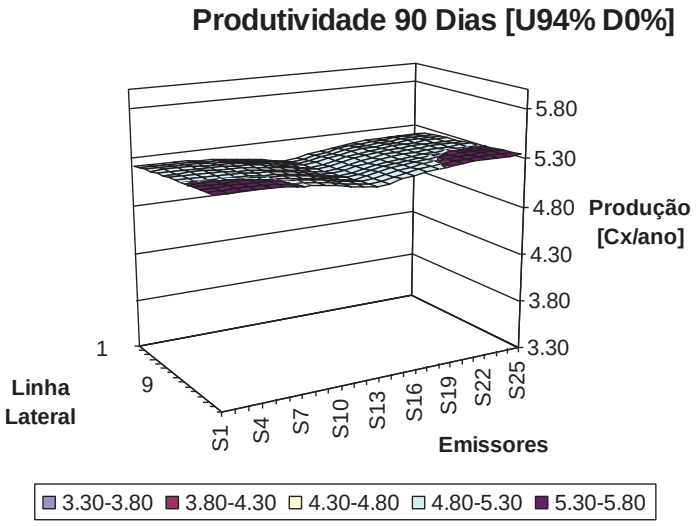


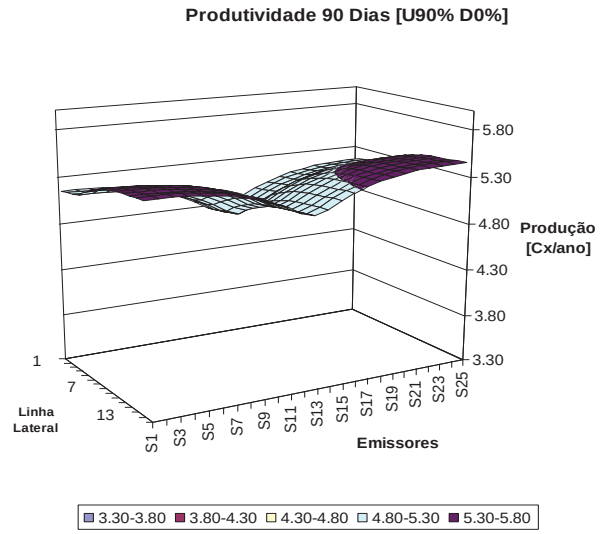
Produtividade 60 dias [U90% D0%]

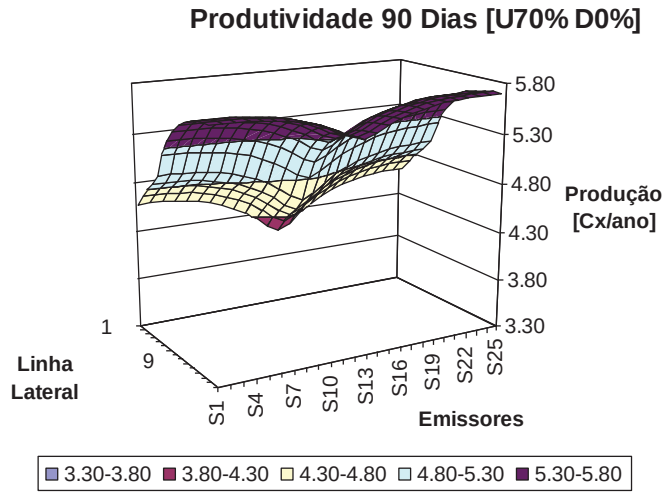


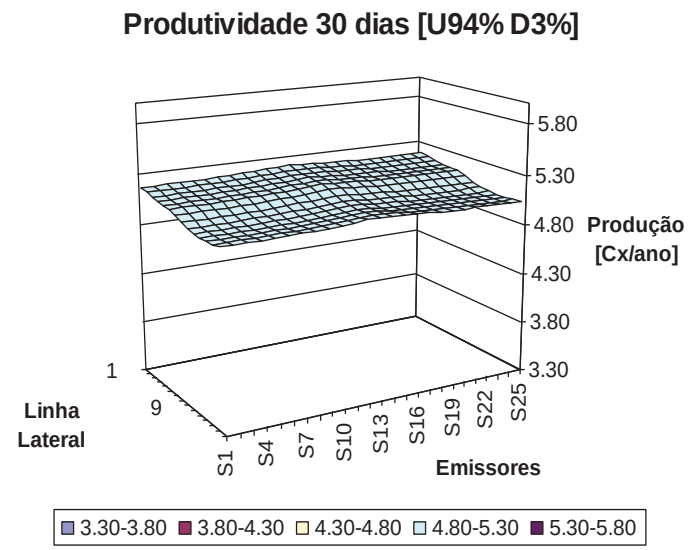
Produtividade 60 dias [U70% D0%]

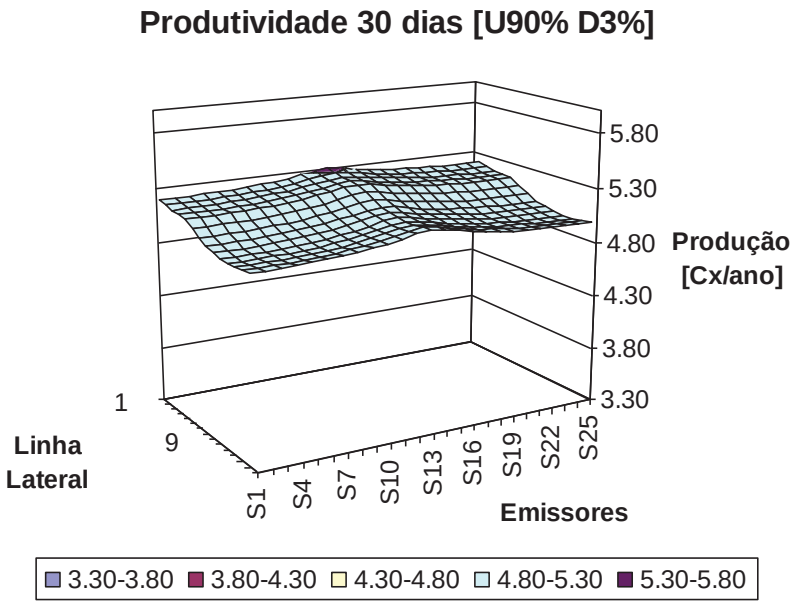



Produtividade 90 Dias [U94% D0%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

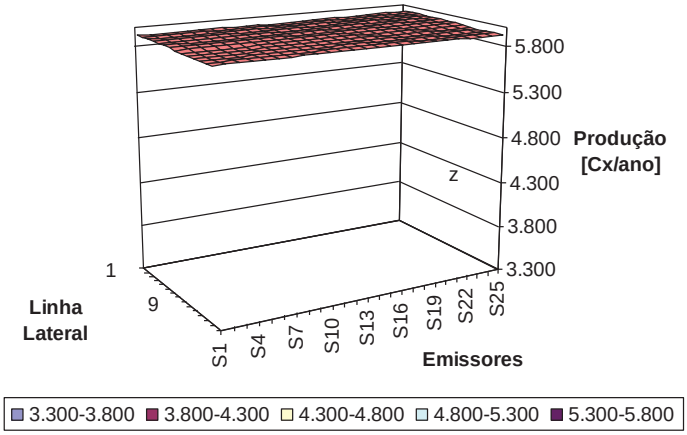

Produtividade 90 Dias [U90% D0%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
7
13
Linha
Lateral
S1
S3
S5
S7
S9
S11
S13
S15
S17
S19
S21
S23
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80


Produtividade 90 Dias [U70% D0%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

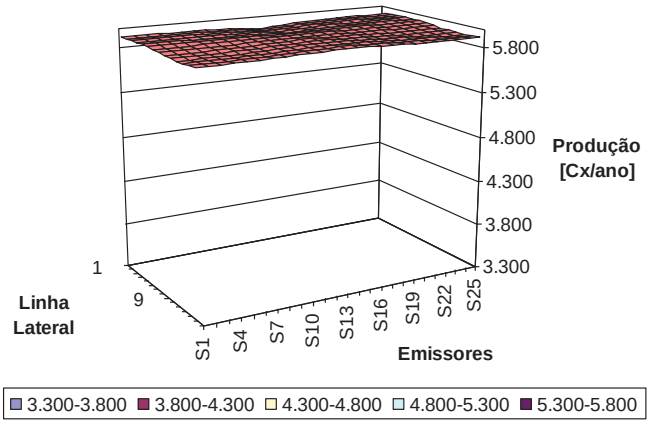

Produtividade 30 dias [U94% D3%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80


Produtividade 30 dias [U90% D3%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

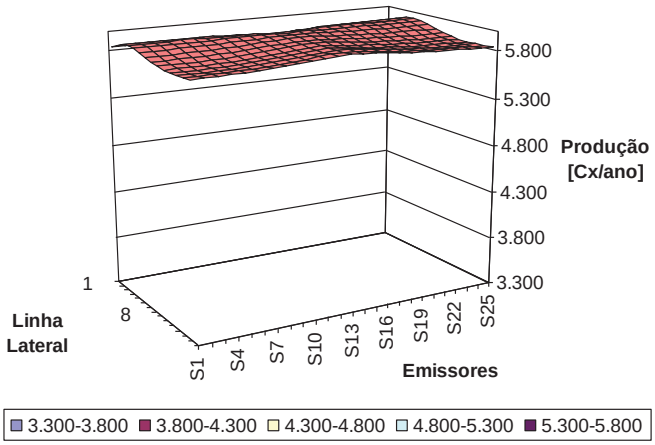
Produtividade 60 dias [U94% D3%]



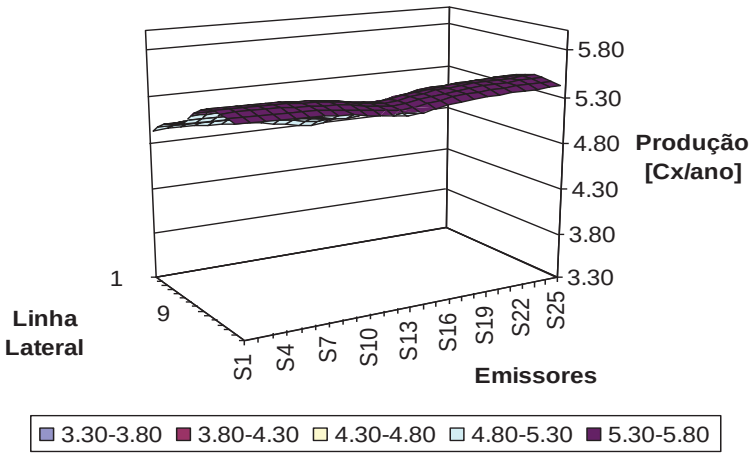
Produtividade 60 dias [U90% D3%]



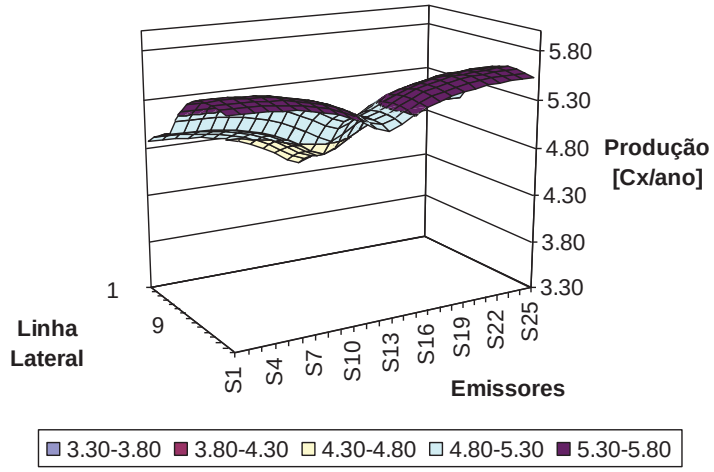
Produtividade 60 dias [U70% D3%]



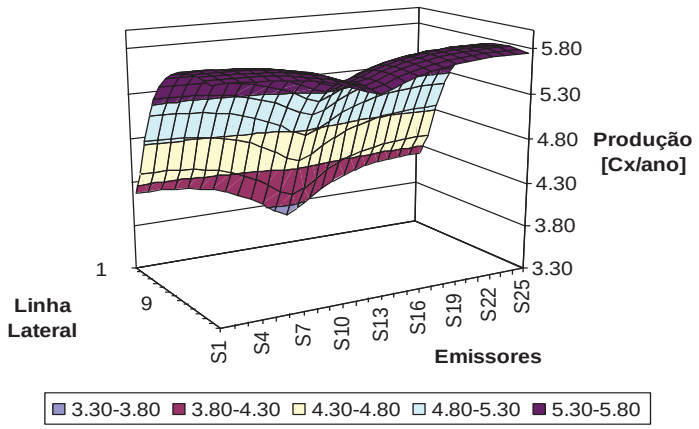
Produtividade 90 dias [U94% D3%]

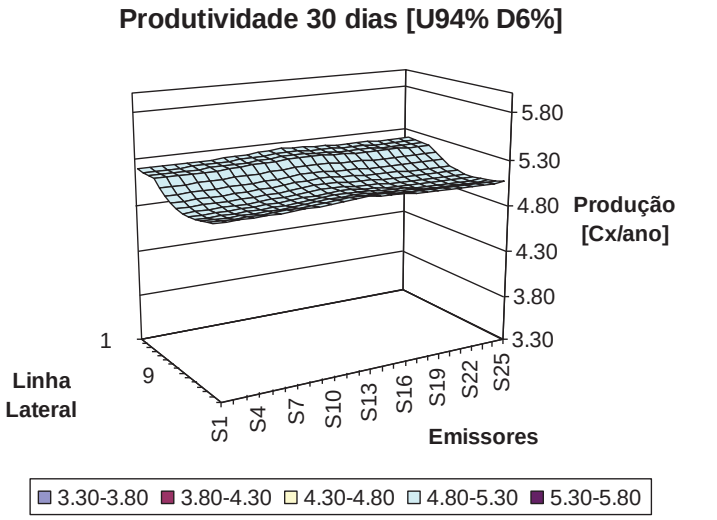


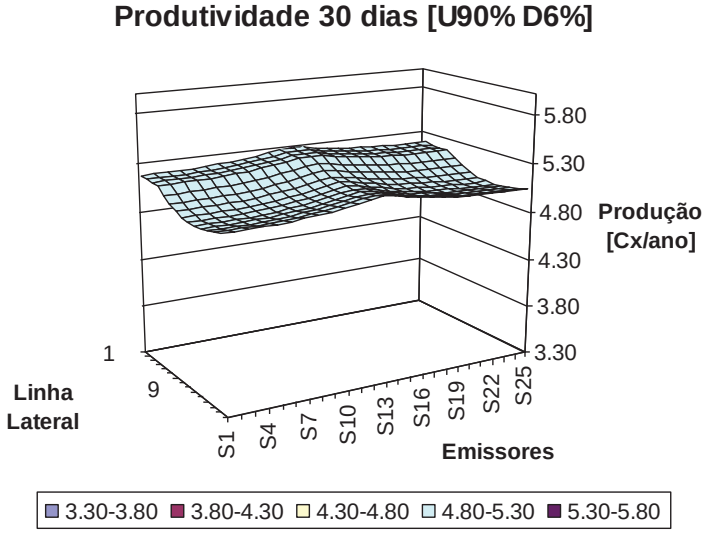
Produtividade 90 dias [U90% D3%]

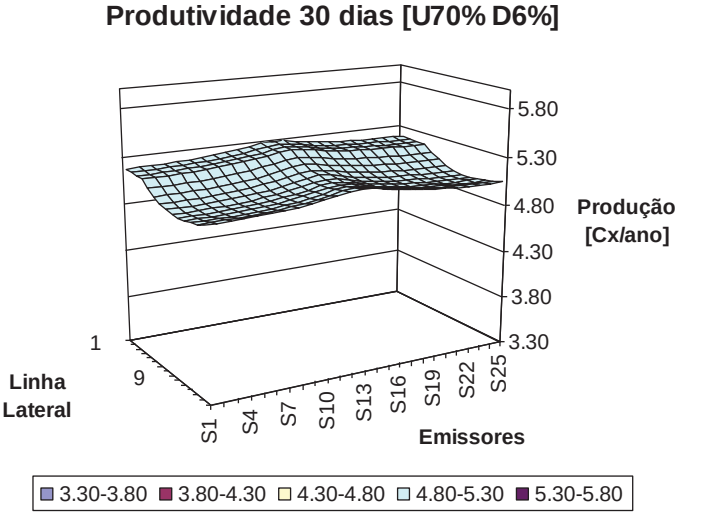


Produtividade 90 dias [U70% D3%]

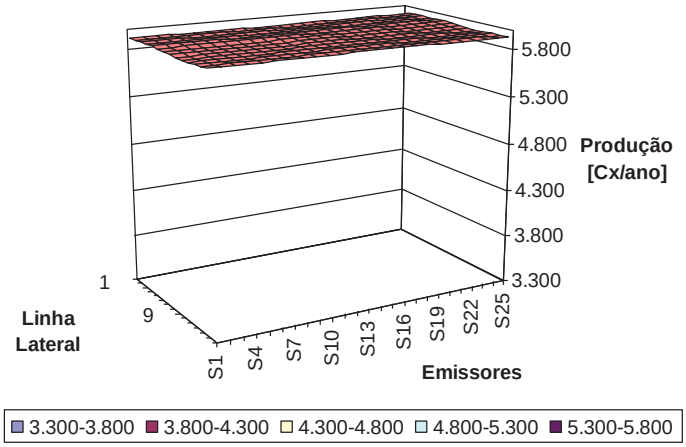



Produtividade 30 dias [U94% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

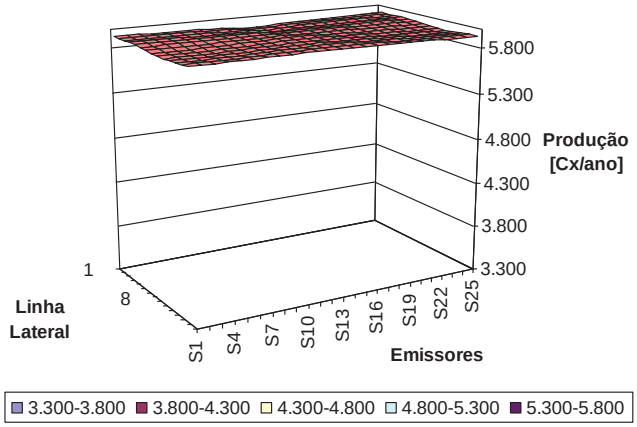

Produtividade 30 dias [U90% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80


Produtividade 30 dias [U70% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

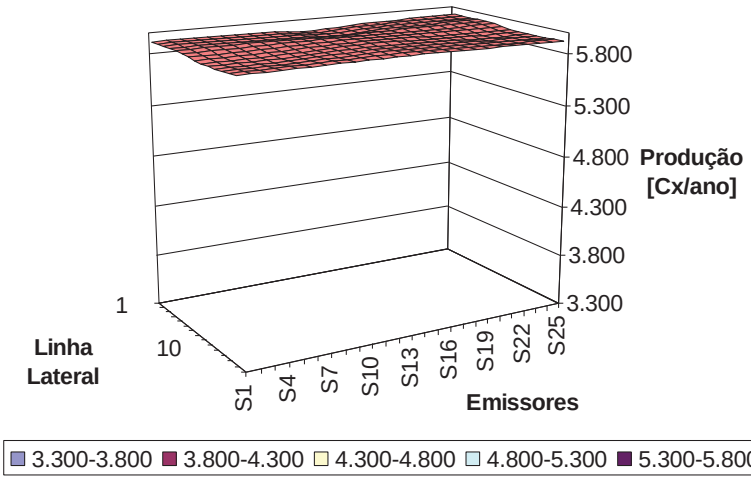
Produtividade 60 dias [U94% D6%]

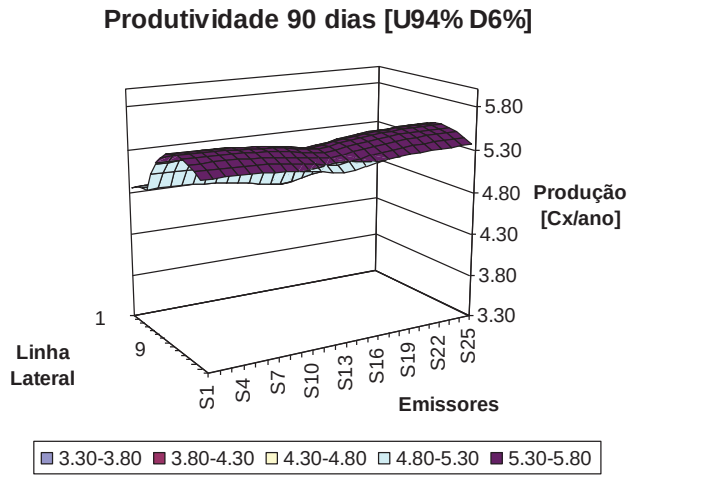


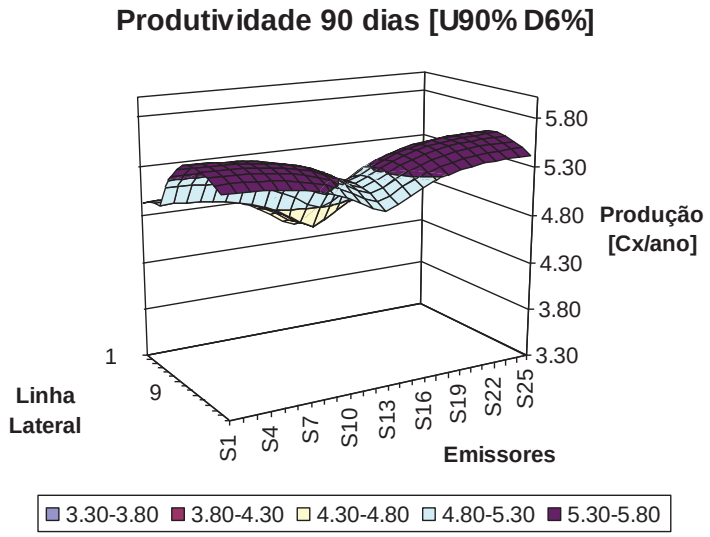
Produtividade 60 dias [U90% D6%]

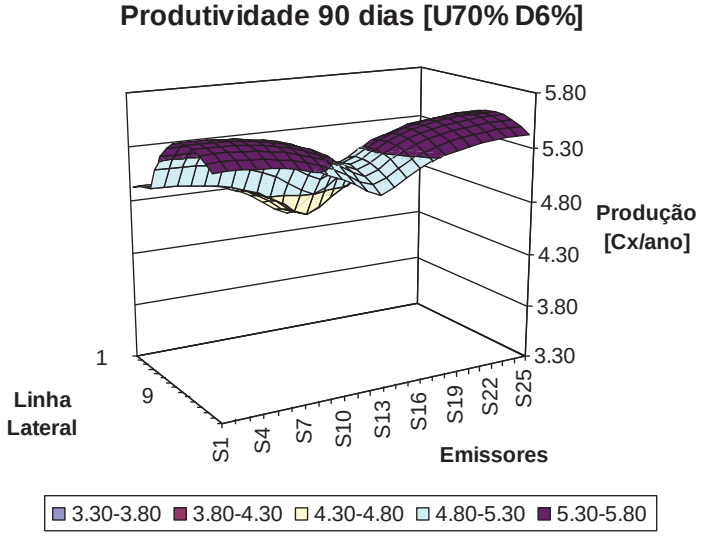


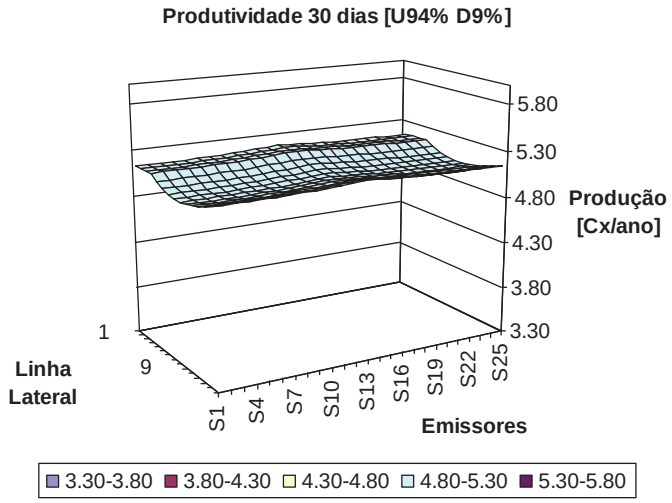
Produtividade 60 dias [U70% D6%]

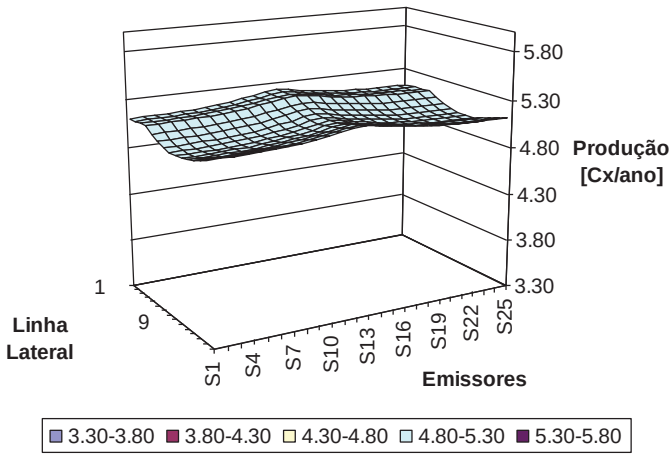


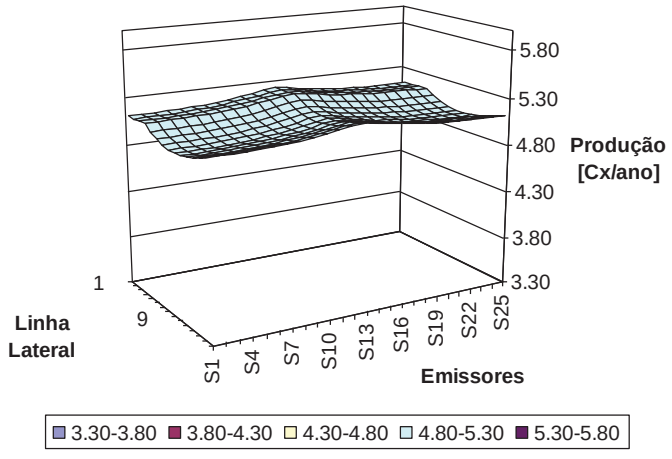

Produtividade 90 dias [U94% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

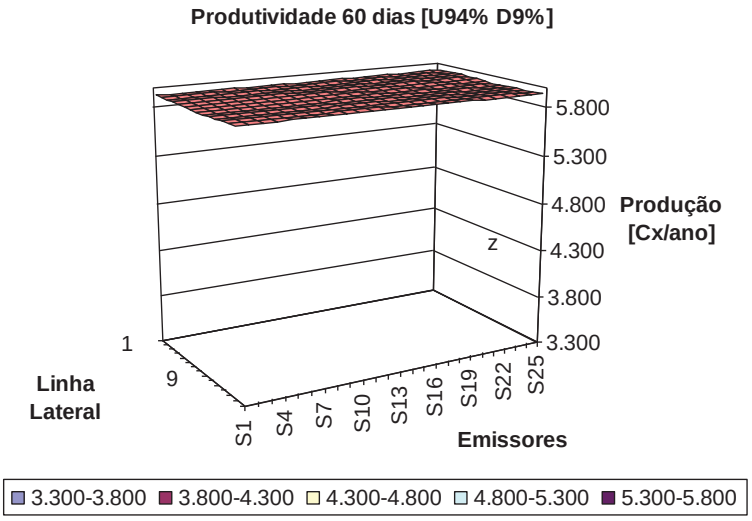

Produtividade 90 dias [U90% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

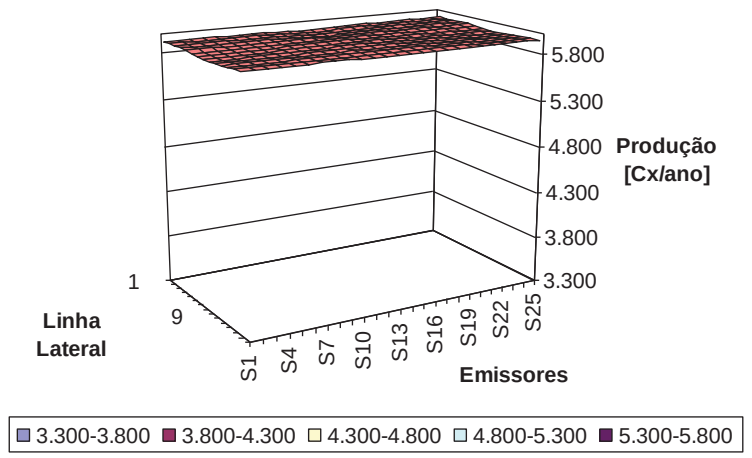

Produtividade 90 dias [U70% D6%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

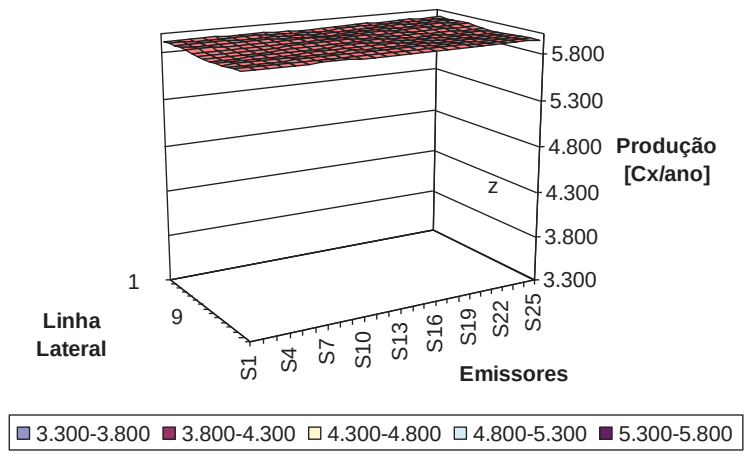

Produtividade 30 dias [U94% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

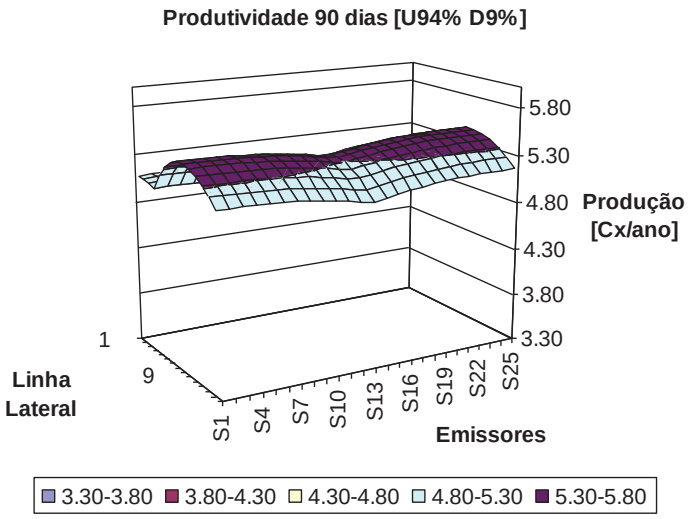

Produtividade 30 dias [U90% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

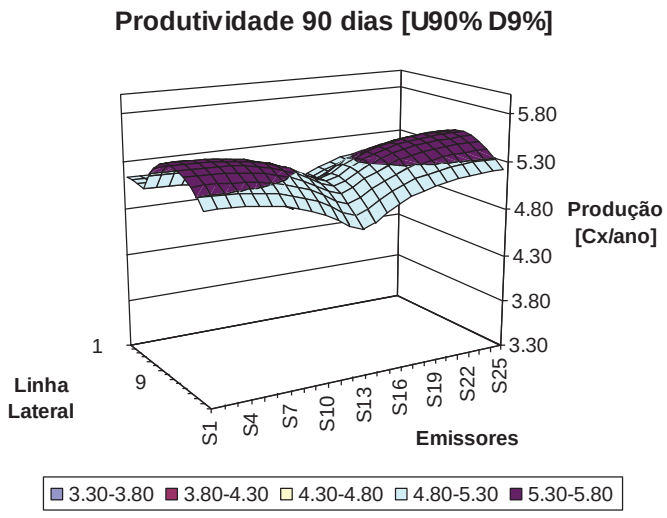

Produtividade 30 dias [U70% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

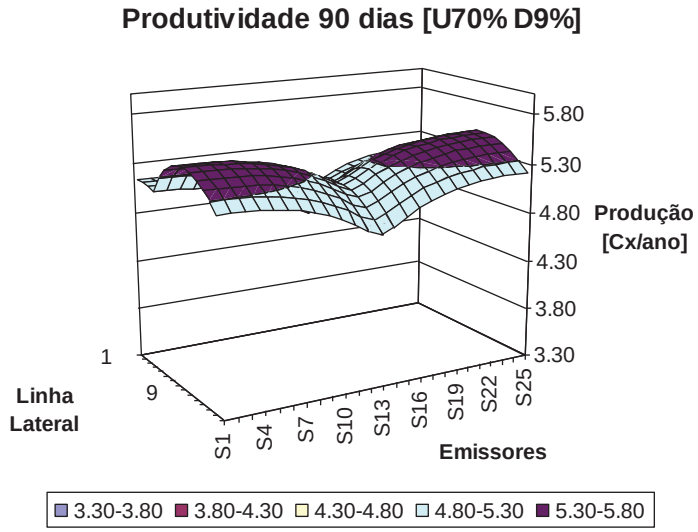

Produtividade 60 dias [U94% D9%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
z
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800

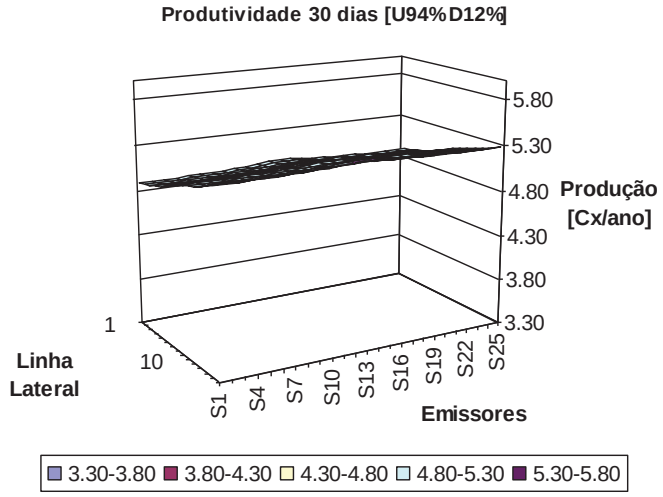

Produtividade 60 dias [U90% D9%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800

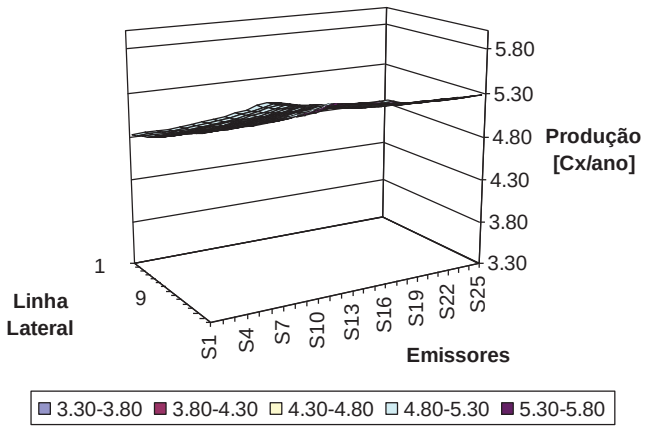

Produtividade 60 dias [U70% D9%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
z
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800

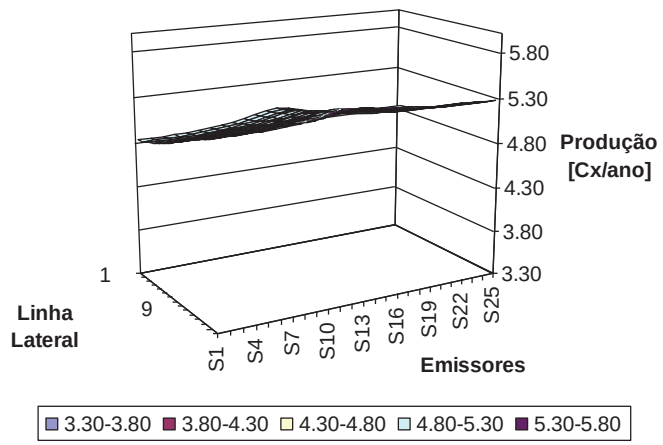

Produtividade 90 dias [U94% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

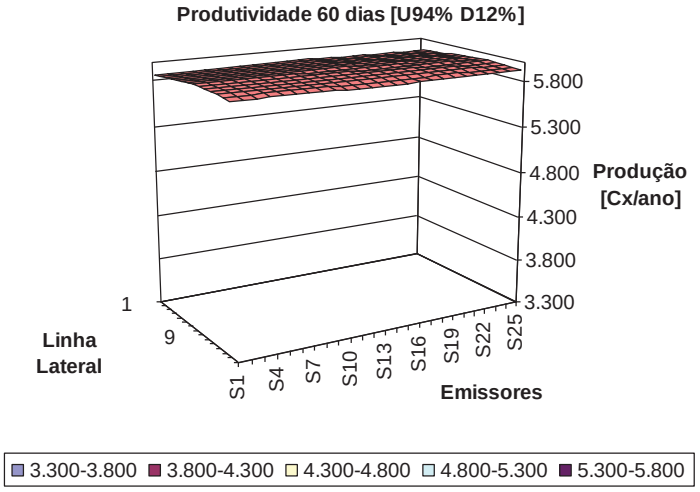

Produtividade 90 dias [U90% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

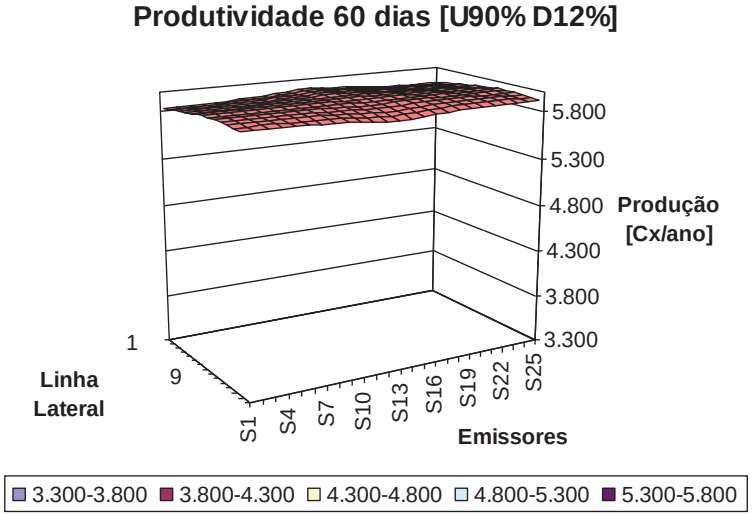

Produtividade 90 dias [U70% D9%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

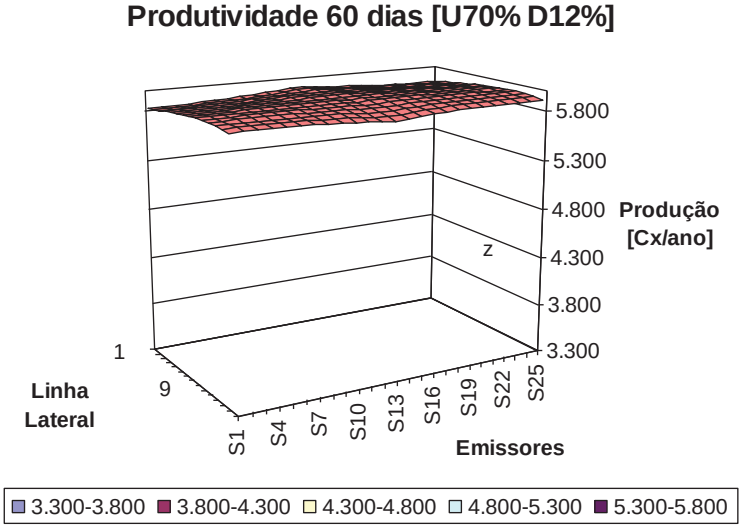

Produtividade 30 dias [U94% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
10
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

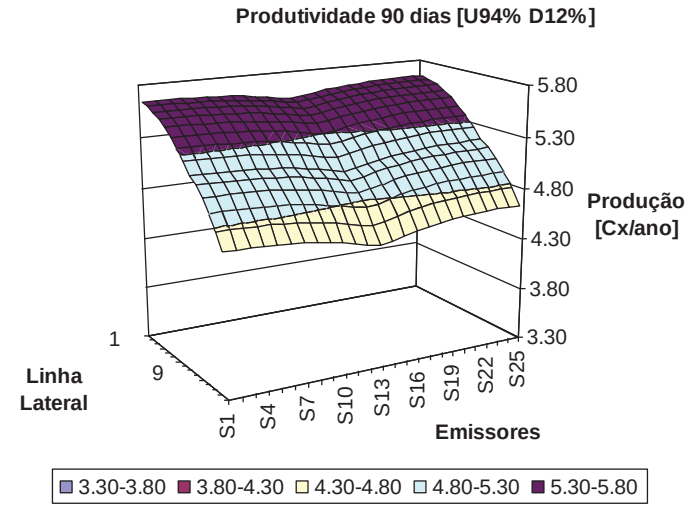

Produtividade 30 dias [U90% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

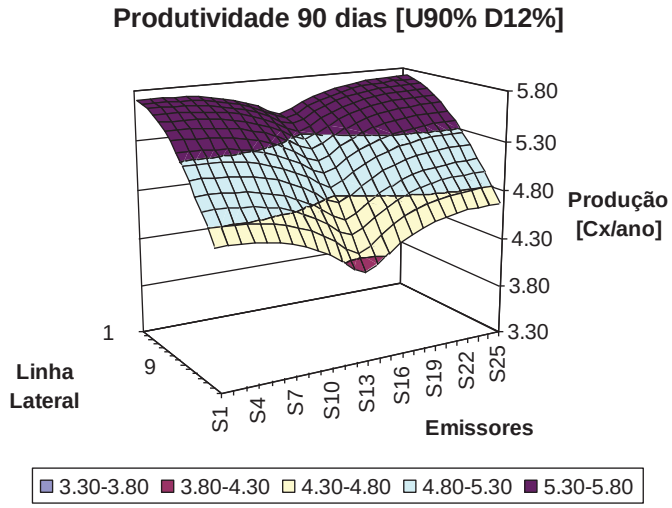

Produtividade 30 dias [U70% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

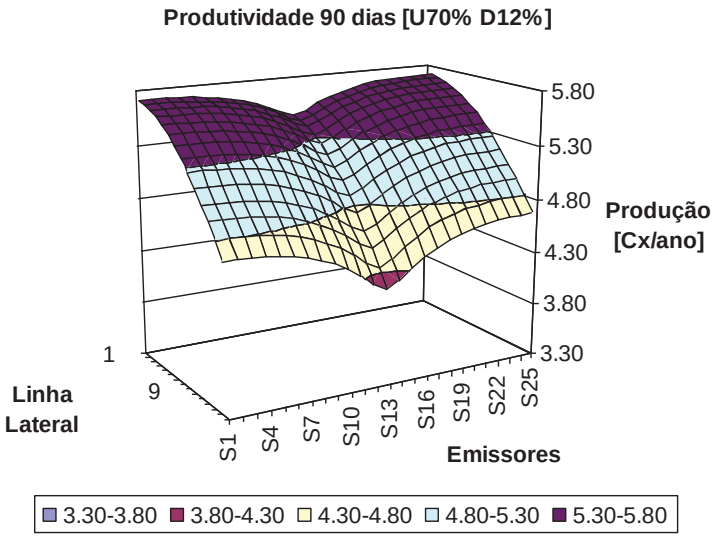

Produtividade 60 dias [U94% D12%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800


Produtividade 60 dias [U90% D12%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800


Produtividade 60 dias [U70% D12%]
5.800
5.300
4.800
4.300
3.800
3.300
Produção
[Cx/ano]
z
1
9
Linha
Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.300-3.800
3.800-4.300
4.300-4.800
4.800-5.300
5.300-5.800


Produtividade 90 dias [U94% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80


Produtividade 90 dias [U90% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80


Produtividade 90 dias [U70% D12%]
5.80
5.30
4.80
4.30
3.80
3.30
Produção [Cx/ano]
1
9
Linha Lateral
S1
S4
S7
S10
S13
S16
S19
S22
S25
Emissores
3.30-3.80
3.80-4.30
4.30-4.80
4.80-5.30
5.30-5.80

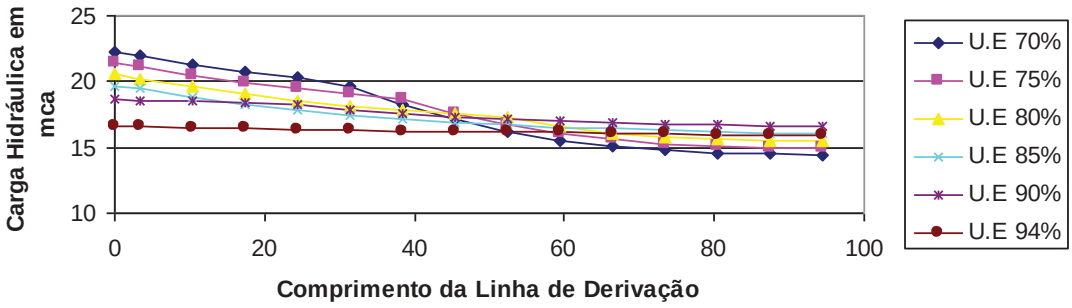
ANEXO 5

Distribuição da carga hidráulica (mca) ao longo da linha de derivação, para diferentes combinações de UE pré-estabelecida e declividade.

EM NÍVEL

Distância linha derivação (m)	Uniformidade de Emissão pré-estabelecida (%)					
	70	75	80	85	90	94
0,0	22,3	21,5	20,6	19,6	18,6	16,6
3,5	21,9	21,1	20,2	19,5	18,6	16,6
10,5	21,3	20,5	19,6	18,9	18,5	16,5
17,5	20,8	19,9	19,0	18,3	18,4	16,4
24,5	20,3	19,5	18,6	17,8	18,3	16,3
31,5	19,6	19,1	18,2	17,5	17,9	16,3
38,5	18,2	18,7	17,9	17,1	17,6	16,2
45,5	17,1	17,6	17,6	16,9	17,3	16,2
52,5	16,2	16,7	17,2	16,7	17,1	16,2
59,5	15,6	16,1	16,6	16,5	17,0	16,2
66,5	15,1	15,6	16,1	16,4	16,8	16,1
73,5	14,8	15,3	15,8	16,3	16,8	16,0
80,5	14,6	15,1	15,6	16,1	16,7	15,9
87,5	14,5	15,0	15,5	16,1	16,6	15,9
94,5	14,5	15,0	15,5	16,0	16,6	15,9

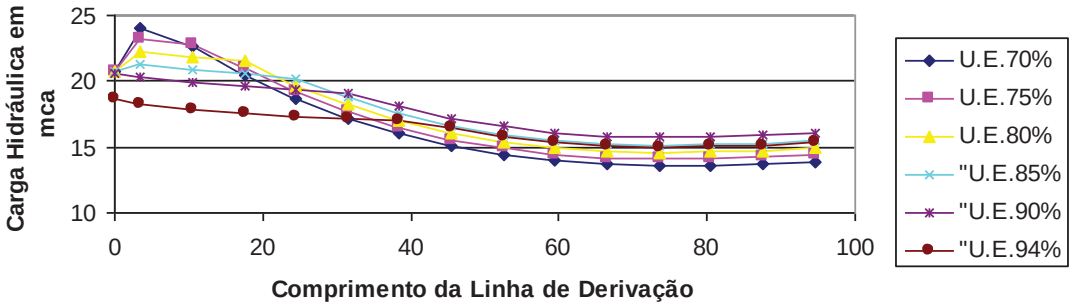
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição em nível com diferentes valores de uniformidades de emissão



DECLIVIDADE DE 3%

Distância linha derivação (m)	Uniformidade de Emissão pré-estabelecida (%)					
	70	75	80	85	90	94
0,0	20,7	20,7	20,7	20,7	20,6	18,7
3,5	24,0	23,2	22,3	21,3	20,3	18,3
10,5	22,7	22,7	21,8	20,9	19,9	17,9
17,5	20,5	21,0	21,5	20,6	19,6	17,6
24,5	18,7	19,2	19,7	20,2	19,3	17,3
31,5	17,2	17,7	18,2	18,8	19,1	17,1
38,5	16,0	16,5	17,0	17,6	18,1	17,0
45,5	15,1	15,6	16,1	16,6	17,2	16,5
52,5	14,4	14,9	15,4	16,0	16,6	15,8
59,5	14,0	14,4	15,0	15,5	16,1	15,4
66,5	13,7	14,2	14,7	15,3	15,8	15,1
73,5	13,6	14,1	14,6	15,1	15,7	15,0
80,5	13,6	14,1	14,6	15,2	15,7	15,0
87,5	13,7	14,2	14,7	15,3	15,9	15,2
94,5	13,9	14,4	14,9	15,5	16,0	15,3

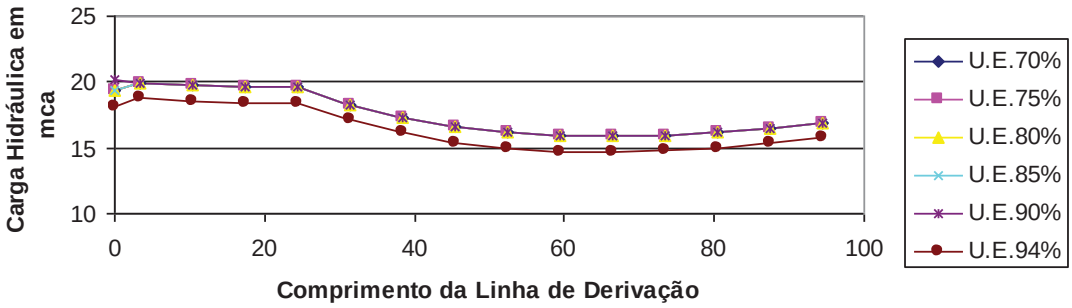
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição 3% de declividade com diferentes valores de uniformidades de emissão



DECLIVIDADE DE 6%

Distância linha derivação (m)	Uniformidade de Emissão pré-estabelecida (%)					
	70	75	80	85	90	94
0,0	19,3	19,3	19,3	19,3	20,1	18,1
3,5	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,8
10,5	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	18,6
17,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	18,4
24,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	18,4
31,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	17,1
38,5	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	16,1
45,5	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	15,4
52,5	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	15,0
59,5	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	14,7
66,5	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	14,7
73,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	14,8
80,5	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	15,0
87,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	15,3
94,5	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	15,7

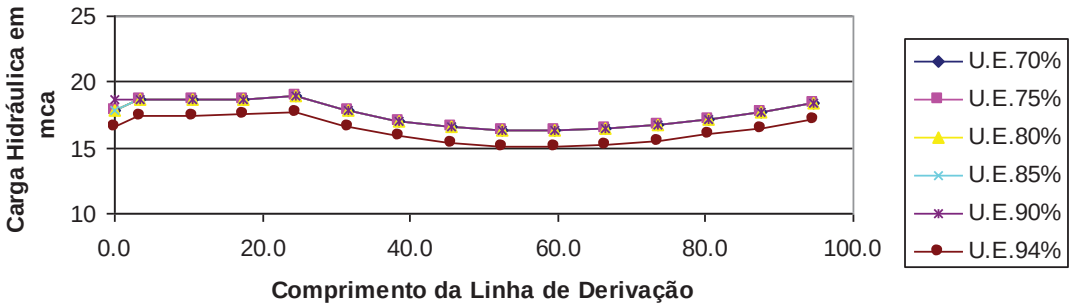
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição 6% de declividade com diferentes valores de uniformidades de emissão



DECLIVIDADE DE 9%

Distância linha derivação (m)	Uniformidade de Emissão pré-estabelecida (%)					
	70	75	80	85	90	94
0,0	17,9	17,9	17,9	17,9	18,7	16,7
3,5	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	17,5
10,5	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	17,5
17,5	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	17,5
24,5	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	17,7
31,5	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	16,6
38,5	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	15,9
45,5	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	15,4
52,5	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	15,1
59,5	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	15,1
66,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	15,2
73,5	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	15,5
80,5	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	16,0
87,5	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	16,5
94,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	17,1

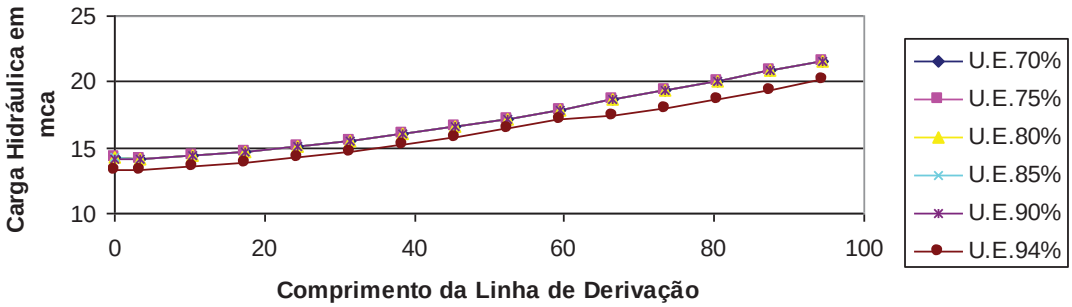
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição 9% de declividade com diferentes valores de uniformidades de emissão



DECLIVIDADE DE 12%

Distância linha derivação (m)	Uniformidade de Emissão pré-estabelecida (%)					
	70	75	80	85	90	94
0,0	14,2	14,2	14,2	14,2	14,1	13,3
3,5	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	13,3
10,5	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	13,5
17,5	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	13,8
24,5	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,2
31,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	14,7
38,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,2
45,5	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	15,8
52,5	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	16,4
59,5	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,1
66,5	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	17,5
73,5	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	18,0
80,5	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	18,6
87,5	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	19,4
94,5	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	20,2

Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição 12% de declividade com diferentes valores de uniformidades de emissão



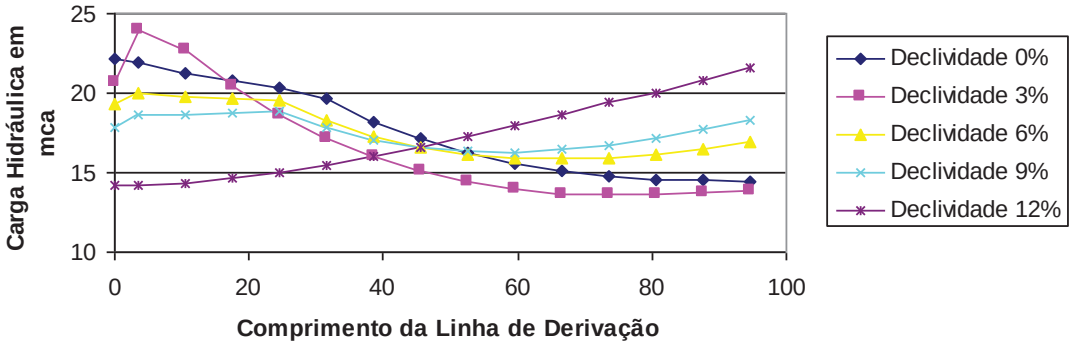
ANEXO 6

Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para condição em nível com diferentes valores de uniformidades de emissão

Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 70%, em diferentes declividades,

Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	22,1	20,7	19,3	17,9	14,2
3,5	21,9	24,0	20,0	18,7	14,2
10,5	21,3	22,7	19,8	18,7	14,4
17,5	20,8	20,5	19,6	18,7	14,7
24,5	20,3	18,7	19,6	18,9	15,0
31,5	19,6	17,2	18,3	17,8	15,5
38,5	18,2	16,0	17,3	17,1	16,0
45,5	17,1	15,1	16,6	16,6	16,6
52,5	16,2	14,4	16,2	16,3	17,2
59,5	15,6	14,0	15,9	16,3	17,9
66,5	15,1	13,7	15,9	16,4	18,6
73,5	14,8	13,6	16,0	16,7	19,4
80,5	14,6	13,6	16,2	17,2	20,1
87,5	14,5	13,7	16,5	17,7	20,8
94,5	14,5	13,9	16,9	18,3	21,6

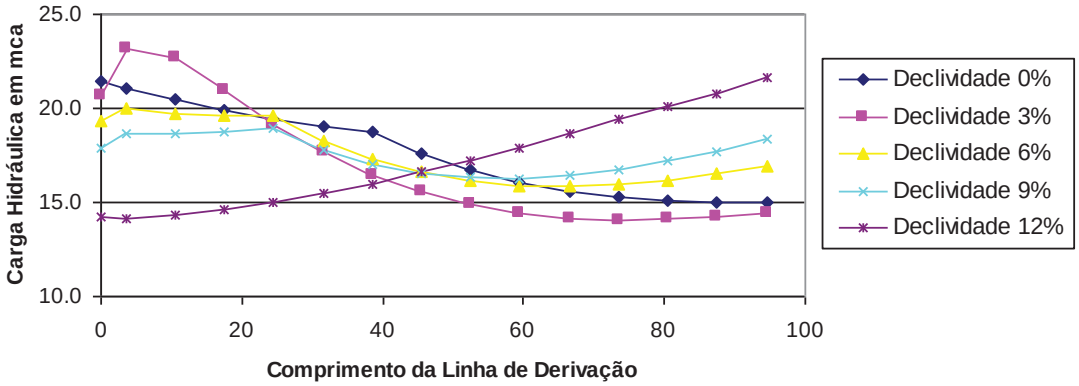
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para a uniformidade de emissão de 70 % em diferentes condições de declividade



Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 75%, em diferentes declividades,

Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	21,4	20,7	19,3	17,9	14,2
3,5	21,1	23,2	20,0	18,7	14,2
10,5	20,5	22,7	19,8	18,7	14,4
17,5	19,9	21,0	19,6	18,7	14,7
24,5	19,5	19,2	19,6	18,9	15,0
31,5	19,1	17,7	18,3	17,8	15,5
38,5	18,7	16,5	17,3	17,1	16,0
45,5	17,6	15,6	16,6	16,6	16,6
52,5	16,7	14,9	16,2	16,3	17,2
59,5	16,1	14,4	15,9	16,3	17,9
66,5	15,6	14,2	15,9	16,4	18,6
73,5	15,3	14,1	16,0	16,7	19,4
80,5	15,1	14,1	16,2	17,2	20,1
87,5	15,0	14,2	16,5	17,7	20,8
94,5	15,0	14,4	16,9	18,3	21,6

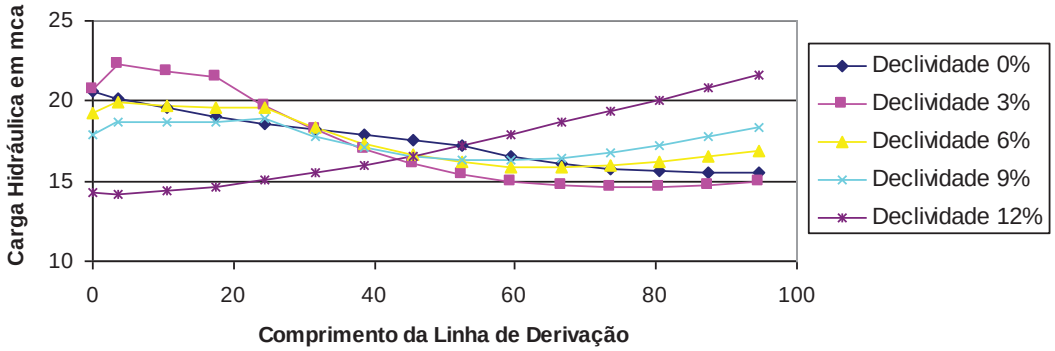
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para a uniformidade de emissão de 75 % em diferentes condições de declividade



Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 80%, em diferentes declividades,

Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	20,6	20,7	19,3	17,9	14,2
3,5	20,2	22,3	20,0	18,7	14,2
10,5	19,6	21,8	19,8	18,7	14,4
17,5	19,0	21,5	19,6	18,7	14,7
24,5	18,6	19,7	19,6	18,9	15,0
31,5	18,2	18,2	18,3	17,8	15,5
38,5	17,9	17,0	17,3	17,1	16,0
45,5	17,6	16,1	16,6	16,6	16,6
52,5	17,2	15,4	16,2	16,3	17,2
59,5	16,6	15,0	15,9	16,3	17,9
66,5	16,1	14,7	15,9	16,4	18,6
73,5	15,8	14,6	16,0	16,7	19,4
80,5	15,6	14,6	16,2	17,2	20,1
87,5	15,5	14,7	16,5	17,7	20,8
94,5	15,5	14,9	16,9	18,3	21,6

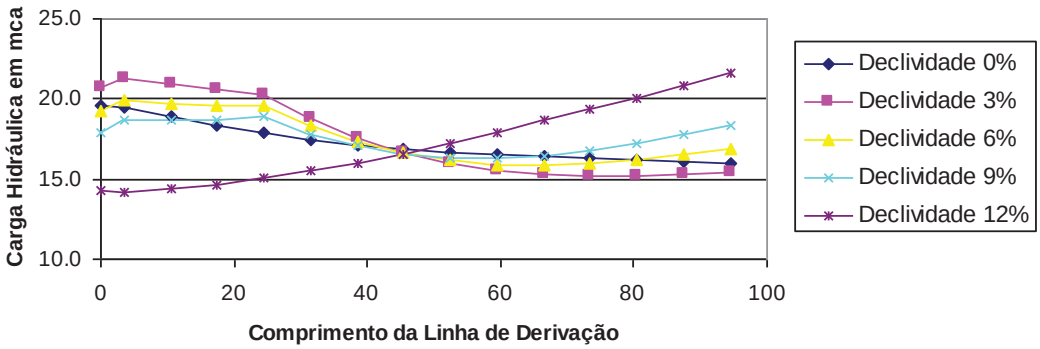
Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para a uniformidade de emissão de 80 % em diferentes condições de declividade



Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 85%, em diferentes declividades,

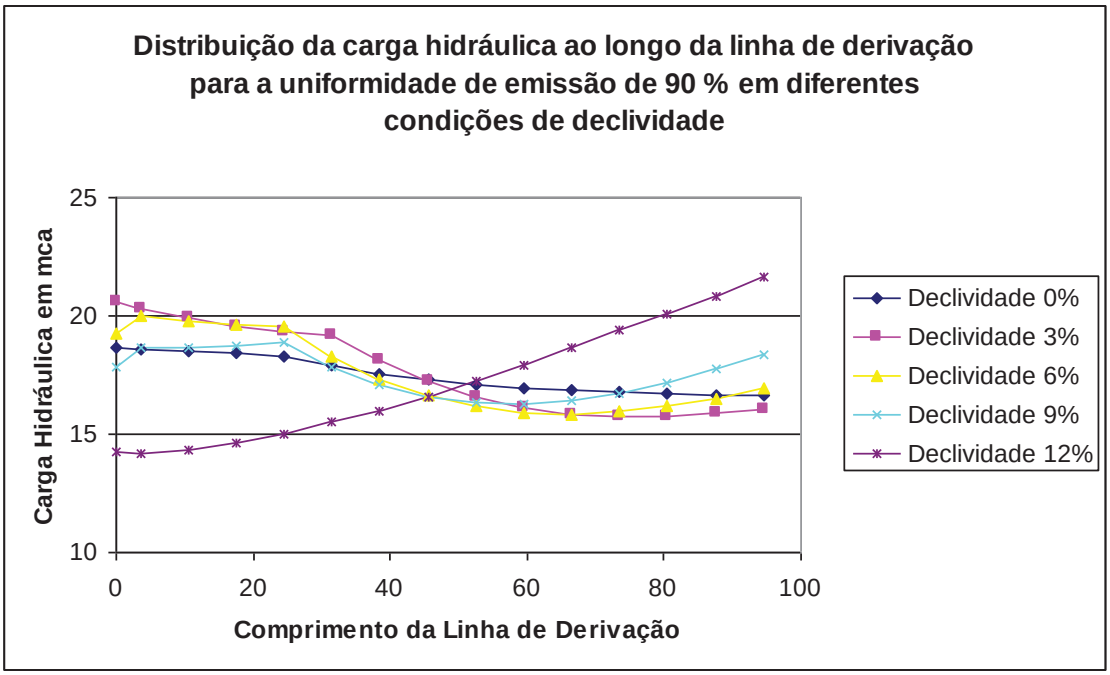
Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	19,6	20,7	19,3	17,9	14,2
3,5	19,5	21,3	20,0	18,7	14,2
10,5	18,9	20,9	19,8	18,7	14,4
17,5	18,3	20,6	19,6	18,7	14,7
24,5	17,8	20,2	19,6	18,9	15,0
31,5	17,5	18,8	18,3	17,8	15,5
38,5	17,1	17,6	17,3	17,1	16,0
45,5	16,9	16,6	16,6	16,6	16,6
52,5	16,7	16,0	16,2	16,3	17,2
59,5	16,5	15,5	15,9	16,3	17,9
66,5	16,4	15,3	15,9	16,4	18,6
73,5	16,3	15,1	16,0	16,7	19,4
80,5	16,1	15,2	16,2	17,2	20,1
87,5	16,1	15,3	16,5	17,7	20,8
94,5	16,0	15,5	16,9	18,3	21,6

Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para a uniformidade de emissão de 85 % em diferentes condições de declividade



Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 90%, em diferentes declividades,

Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	18,6	20,6	19,3	17,9	14,2
3,5	18,6	20,3	20,0	18,7	14,2
10,5	18,5	19,9	19,8	18,7	14,4
17,5	18,4	19,6	19,6	18,7	14,7
24,5	18,3	19,3	19,6	18,9	15,0
31,5	17,9	19,1	18,3	17,8	15,5
38,5	17,6	18,1	17,3	17,1	16,0
45,5	17,3	17,2	16,6	16,6	16,6
52,5	17,1	16,6	16,2	16,3	17,2
59,5	17,0	16,1	15,9	16,3	17,9
66,5	16,8	15,8	15,9	16,4	18,6
73,5	16,8	15,7	16,0	16,7	19,4
80,5	16,7	15,7	16,2	17,2	20,1
87,5	16,6	15,9	16,5	17,7	20,8
94,5	16,6	16,0	16,9	18,3	21,6



Distribuição da carga hidráulica na linha de derivação para a UE pré-estabelecida de 94%, em diferentes declividades,

Distância linha derivação (m)	Declividade na direção da linha de derivação				
	0%	3%	6%	9%	12%
0,0	16,6	18,7	18,1	16,7	13,3
3,5	16,6	18,3	18,8	17,5	13,3
10,5	16,5	17,9	18,6	17,5	13,5
17,5	16,4	17,6	18,4	17,5	13,8
24,5	16,3	17,3	18,4	17,7	14,2
31,5	16,3	17,1	17,1	16,6	14,7
38,5	16,2	17,0	16,1	15,9	15,2
45,5	16,2	16,5	15,4	15,4	15,8
52,5	16,2	15,8	15,0	15,1	16,4
59,5	16,2	15,4	14,7	15,1	17,1
66,5	16,1	15,1	14,7	15,2	17,5
73,5	16,0	15,0	14,8	15,5	18,0
80,5	15,9	15,0	15,0	16,0	18,6
87,5	15,9	15,2	15,3	16,5	19,4
94,5	15,9	15,3	15,7	17,1	20,2

Distribuição da carga hidráulica ao longo da linha de derivação para a uniformidade de emissão de 94 % em diferentes condições de declividade

