

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRICOLA

PERFORMANCE HIDRAULICA DE  
MICROGOTEJADORES KATIF NOVOS E USADOS

*KENNEDY FLAVIO MEIRA DE LUCENA*  
Engenheiro Agrícola

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

NOVEMBRO - 1993

-----

PERFORMANCE HIDRAULICA DE  
MICROGOTEJADORES KATIF NOVOS E USADOS

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento às exigências para obten-  
ção do grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADOR:

CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO

CO-ORIENTADOR:

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

NOVEMBRO - 1993



L935p Lucena, Kennedy Flavio Meira de  
Performance hidraulica da microgotejadores katif novos e usados / Kennedy Flavio Meira de Lucena. - Campina Grande, 1993.  
128 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Hidraulica Agricola 2. Irrigacao Agricola 3. Microaspersores - 4. Processos de Irrigacao 5. Dissertacao I. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de, Dr. II. Azevedo, Hamilton Medeiros de, M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 626.8(043)

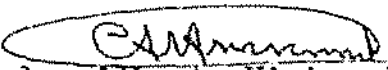
PERFORMANCE HIDRAULICA DE  
MICROGOTEJADORES KATIF NOVOS E USADOS

por

KENNEDY FLAVIO MEIRA DE LUCENA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04 DE NOVEMBRO DE 1993.

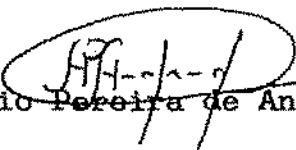
COMISSÃO:

  
Prof. Carlos Alberto Vieira de Azevêdo (Phd)

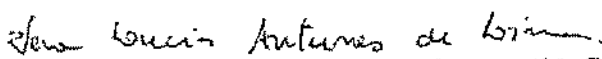
PRESIDENTE

  
Prof. Hamilton Medeiros de Azevêdo (M.Sc.)

EXAMINADOR

  
Prof. Alberício Pereira de Andrade (Phd)

EXAMINADOR

  
Profa. Vera Lúcia Antunes de Lima (M.Sc.)

EXAMINADORA

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

NOVEMBRO - 1993

À minha família

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus por dar-me saúde e força para buscar novas conquistas.

À Empresa IRRICAMP - Irrigação Campina Grande Ltda, pelo apoio técnico e financeiro que possibilitaram o desenvolvimento deste estudo.

À amiga Engenheira Agrícola Sohad Arruda Rached, pela importante ajuda na coleta do material de campo e pelos seus preciosos esclarecimentos.

Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevêdo por sua dedicação, paciência, incentivos e fundamental orientação neste trabalho.

Ao professor Hamilton Medeiros de Azevêdo pela sua colaboração como co-orientador e pela constante atenção e incentivo.

Aos professores, coordenadores do Núcleo de tecnologia em Armazenagem da UFPb, Josivanda Palmeira Gomes e Alexandre José por sua amizade e apoio que possibilitaram a utilização das instalações do núcleo para confecção desta dissertação.

A Ana Cláudia que sempre esteve ao meu lado e carinhosamente soube incentivar-me nos momentos mais difíceis.

Aos meus familiares e amigos que sempre me incentivaram.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPb, Campus II, pela formação acadêmica do mestrado.

Aos colegas do Curso de Pós-graduação pelo companheirismo, convivência e amizade.

Enfim, a todos os professores do Curso de Pós-graduação, funcionários do Laboratório de Engenharia de Irrigação (LEI) e amigos que, direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

PERFORMANCE HIDRAULICA DE  
MICROGOTEJADORES KATIF NOVOS E USADOS



## CONTEUDO

LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
CAPITULO I	
INTRODUÇÃO .....	1
OBJETIVOS .....	3
CAPITULO II	
REVISAO BIBLIOGRAFICA .....	4
Emissores .....	4
Coeficiente de variação de fabricação .....	9
Coeficiente de variação do sistema .....	10
Sensibilidade à temperatura .....	10
Sensibilidade às obstruções .....	12
Seleção de emissores .....	13
Uniformidade de aplicação .....	14
Entupimento dos emissores .....	21
Manutenção de sistemas de irrigação localizada .....	27
Dimensionamento de linhas laterais .....	29
CAPITULO III	
MATERIAIS E METODOS .....	33

Area experimental .....	33
Procedimento de coleta dos microgotejadores .....	38
Coefficiente de variaçao de fabricaçao .....	40
Coefficiente de uso .....	43
Relaçao vazao-pressao dos microgotejadores .....	43
Coefficiente de uniformidade de aplicaçao .....	45
Comprimentos máximos de laterais .....	47
CAPITULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSAO .....	51
Coefficiente de variaçao de fabricaçao .....	51
Coefficiente de uso .....	54
Relaçao vazao-pressao de microgotejadores novos .....	56
Relaçao vazao-pressao de microgotejadores usados .....	67
Variaçoes de funcionamento do emissor .....	73
Coefficiente de uniformidade de aplicaçao .....	81
Comprimentos máximos de laterais recomendados .....	84
CAPITULO V	
CONCLUSOES E RECOMENDAÇOES .....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	93
APENDICES .....	98

## LISTA DE TABELAS

TABELA		PAGINA
1	Coefficientes de variação de fabricação de diferentes emissores (PITTS <i>et al.</i> , 1986) ....	53
2	Vazões médias (l/h) dos microgotejadores para diferentes posições das laterais e dos emissores .....	56
3	Valores de vazões (l/h) dos microgotejadores novos para diferentes pressões .....	57
4	Equações dos microgotejadores novos obtidas através do Soft Curvefit para o intervalo de 3 a 36 mca .....	62
5	Dimensionamento de tubulações laterais a partir das equações apresentadas na Tabela 4 ....	64
6	Valores de vazões (l/h) dos microgotejadores usados para diferentes pressões .....	69
7	Equações dos microgotejadores novos obtidas através do Soft Curvefit para o intervalo de 3 a 36 mca .....	71
8	Valores de vazões do microgotejador G6 com mal funcionamento .....	78
9	Vazões (l/h) dos microgotejadores novos obtidas a partir da determinação do coeficiente de variação de fabricação e da relação vazão-pressão sob 18 mca .....	79
10	Vazões (l/h) dos microgotejadores usados obtidas a partir da determinação do coeficiente de uso e da relação vazão-pressão sob 18 mca ....	80

11	Estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação através da equação de KARMELI & KELLER (1975) .....	81
12	Estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação através da equação de BRALTS <i>et al.</i> (1981a, 1981b) .....	82
13	Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 12,5 mm e diâmetro interno de 10,3 mm .....	86
14	Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 17,0 mm e diâmetro interno de 13,0 mm .....	87
15	Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 20,0 mm e diâmetro interno de 17,0 mm .....	88
A-1	Qualidade da água de irrigação em novembro de 1992 .....	99
A-2	Vazões obtidas na determinação do coeficiente de variação de fabricação .....	100
A-3	Vazões obtidas na determinação do coeficiente de uso .....	105
A-4	Determinação da relação vazão-pressão dos microgotejadores novos .....	113
A-5	Determinação da relação vazão-pressão dos microgotejadores usados .....	120
A-6	Resultados da determinação de perda de carga na lateral .....	127

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Relação entre as variações de vazão e de pressão para vários tipos de emissores (BRALTS, 1986) .....	6
2	Curva característica de um emissor autocompensante ideal (BORDIGNON & TESTEZLAF, 1993) ....	8
3	Ilustração do microgotejador Katif estudado ..	35
4	Layout do sistema de irrigação .....	37
5	Esquema do procedimento de coleta dos microgotejadores com detalhe dos microgotejadores distribuídos por planta .....	39
6	Croqui da área de testes .....	41
7	Perda de carga localizada provocada pela conexão do emissor, medida em comprimento equivalente de lateral (WATTERS & KELLER, 1978) ....	49
8	Curvas características dos microgotejadores novos e fenômeno de histerese .....	59
9	Curvas de vazão-pressão dos microgotejadores novos, obtidas através de regressões .....	66
10	Curvas características dos microgotejadores usados e fenômeno de histerese .....	68
11	Curvas de vazão-pressão dos microgotejadores usados, obtidas através de regressões .....	72

12	Comparação entre as curvas características dos microgotejadores novos e usados e do fabricante .....	75
13	Relação entre as vazões dos microgotejadores novos e usados sob pressões crescentes .....	76
14	Relação entre as vazões dos microgotejadores novos e usados sob pressões decrescentes .....	77

## RESUMO

A performance hidráulica de microgotejadores Katif (3,75 l/h), novos e com 2,5 anos de uso, foi avaliada neste estudo. A análise baseou-se nos coeficientes de variação de fabricação e de uso, na relação vazão-pressão e na uniformidade de aplicação. Várias relações matemáticas foram testadas no ajuste de dados medidos de vazão versus pressão. Tanto para os microgotejadores novos como para os usados, o melhor ajuste foi proporcionado pela função módulo de Hoerl ( $r^2$  para os microgotejadores novos e usados foram, respectivamente, 0,9744 e 0,9899), enquanto que a função potencial resultou no pior ajuste dentre os considerados ( $r^2$  para microgotejadores novos e usados foram, respectivamente, 0,2324 e 0,1087). Os microgotejadores novos apresentaram uma melhor uniformidade de aplicação e uma menor sensibilidade às variações de pressão. Isso mostra que a capacidade autocompensante desse microgotejador se degenera ao longo do tempo. Verificou-se que o fenômeno de histerese ocorre na hidráulica desse tipo de emissor autocompensante. Outrossim, este estudo demonstrou evidências de um novo tipo de variação na hidráulica dos microgotejadores, relacionada ao funcionamento do mecanismo de autocompensação, que pode, também, comprometer a uniformidade de aplicação do sistema.

## ABSTRACT

The hydraulic performance of new and 2,5 years used katif emitter type (3,75 l/h) was evaluated in this study. The analysis was based on the coefficients of manufacturing variation and use, the discharge and pressure relationship, and the application uniformity. Several mathematical relationships were tested on measured discharge and pressure data fitting. For both used and new emitters, the best fitting was given by the Hoerl module function ( $r^2$  for new and used emitters were, respectively, 0.9744 and 0.9899), while the potential function resulted on the worst fitting ( $r^2$  for new and used emitters were, respectively, 0.2324 and 0.1087). The new emitters presented a better application uniformity and less sensitivity to pressure variations. This shows that the self-compensating pressure ability of this kind of emitter degenerates with time. The hysteresis phenomenon was verified on the hydraulics of these emitters. In addition, this study shows evidences of a new kind of variation on the emitter hydraulics, related to the working mechanism of the self-compensation, which may, also, compromise the application uniformity of the system.



## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO

A utilização dos métodos de irrigação localizada tem aumentado muito nos últimos anos tendo em vista as vantagens que esses oferecem, dentre as quais alta eficiência de aplicação. O que se consegue através de uma densa rede de tubulções, emissores e equipamentos de controle da qualidade e da quantidade de água aplicada. No entanto, o dimensionamento hidráulico tem que ser adequado para se garantir vazões satisfatoriamente uniformes em todos os emissores da área irrigada, condição indispensável para se atingir uma elevada uniformidade de aplicação.

Dentre as principais variáveis num dimensionamento hidráulico de uma lateral nos sistemas de irrigação localizada podem-se citar: comprimento da lateral, número de emissores, vazão da lateral, perda de carga, desníveis do terreno, etc.

Um dimensionamento adequado requer do projetista um bom conhecimento do material que será utilizado. Nos sistemas de irrigação localizada os emissores são um dos componentes mais importantes. Os emissores devem ser capazes de fornecer vazões pequenas e uniformes, sendo desejável que tenham um percurso de fluxo com área da seção transversal suficientemente grande para minimizar o entupimento. Entretanto, seções demasiadamente grandes elevam a vazão dos emissores que pode, além do mais, ser afetada pelas variações devido as diferenças de níveis do terre-

no, perdas por atrito, fabricação, temperatura e obstruções.

Os emissores autocompensantes, hoje bastante difundidos, foram desenvolvidos para compensar as diferenças de pressão provocadas pelos desníveis e perdas por atrito, inevitáveis em qualquer sistema de irrigação pressurizado. Dentro dos limites de variação de pressão recomendados, os emissores autocompensantes têm pouca ou nenhuma variação de vazão. Esses, porém, apresentam elevados coeficientes de variação de fabricação e são mais caros que outros tipos de emissores.

Tanto no dimensionamento como no manejo do sistema, é fundamental que os projetistas disponham das principais características de um emissor tais quais: regime de fluxo, relação vazão-pressão, vazão nominal, pressão de serviço, coeficiente de variação de fabricação, grau de sensibilidade à obstrução, perda de carga na conexão e vida útil. Essas características deverão ser fornecidas pelos fabricantes de equipamentos de irrigação, o que nem sempre ocorre, e avaliadas através da pesquisa, tendo em vista a influência que os emissores exercem sobre a performance dos sistemas e sobre os custos. Considerando-se o elevado custo dos emissores, principalmente dos autocompensantes, sua vida útil, tendo em vista o sucesso do investimento, é um fator de grande importância. Desse modo a avaliação das características hidráulicas dos emissores após sua instalação pode fornecer informações úteis tanto para a seleção do emissor como para o manejo do sistema de irrigação.

**OBJETIVO GERAL:**

Este estudo tem o propósito de avaliar a performance hidráulica de microgotejadores autocompensantes Katif (3,75 l/h) novos e após 2,5 anos de uso.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- 1 - Determinar o coeficiente de variação de fabricação e de uso.
- 2 - Testar diferentes relações matemáticas no ajuste de dados medidos de vazão versus pressão.
- 3 - Analisar a uniformidade de aplicação dos microgotejadores.
- 4 - Observar o fenômeno de histerese na hidráulica dos autocompensantes.
- 5 - Verificar a existência de variações de vazão devido a variações no funcionamento dos microgotejadores.
- 6 - Determinar os comprimentos máximos de laterais recomendados.

## CAPITULO II

### REVISAO BIBLIOGRAFICA

#### Emissores

Os emissores são classificados quanto sua forma de operação e dissipação da pressão diferencial em: longo percurso; orifício; labirinto; vórtice; autocompensante; autolimpante e com sistemas integrados (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986) e ABREU *et al.* (1987). As características hidráulicas de um emissor são determinadas pelos comprimentos, configurações e seções pelas quais a água atravessa (ABREU *et al.*, 1987).

Os emissores com percurso de escoamento grande e muito curto são denominados, respectivamente, de emissores longo percurso e do tipo orifício. O fluxo no emissor pode ser controlado pela alteração do comprimento do percurso de fluxo e do diâmetro da seção de escoamento. Mudanças na direção do fluxo podem provocar perdas de energia significantes. Esse é o caso de emissores com percurso tipo labirinto.

Existem expressões matemáticas que foram teoricamente desenvolvidas para estimar a vazão de emissores em função do comprimento e seção de fluxo, e da pressão e viscosidade da água. No entanto, uma forma mais simplificada e universal de caracterizar esse fluxo tem sido através de uma função potencial que relaciona a vazão em função apenas da pressão (KELLER & KARMELI, 1974; ZUR & TAL, 1981; VON BERNUTH & SOLOMON, 1986). O valor do

expoente  $x$  dessa equação é de grande importância para o dimensionamento dos sistemas localizados uma vez que ele indica o tipo de regime de fluxo do emissor. No fluxo turbulento  $x$  é igual a 0,5. Nos fluxos parcialmente turbulento e instável, os valores de  $x$  encontram-se, respectivamente, nos intervalos de 0,5 a 0,7 e de 0,7 a 1,0. Para o fluxo laminar  $x$  é igual a 1,0. O fluxo em emissores tipo orifício é sempre completamente turbulento. Os emissores de longo percurso têm expoentes que variam de 0,6 a 1,0. O expoente  $x$  em emissores autocompensantes varia de 0,0 a 0,5 (KELLER & KARMELI, 1974). Os valores típicos de  $x$  encontram-se entre 0,1 e 1,0, dependendo da configuração do emissor (Figura 1). Porém, valores maiores que 1,0 ou menores que 0,0 podem ocorrer em emissores com seções compostas de peças elásticas ou móveis (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986).

Embora o emissor ideal não exista, Pitchford (1979) é otimista quanto ao desenvolvimento de um emissor com alto grau de compensação, ou seja, apresentando um expoente  $x$  igual a zero (BRAUD & SOOM, 1981).

ZUR & TAL (1981) encontraram valores de  $x$ , para emissores tipo helicoidal, variando de 0,66 a 0,86, do tipo labirinto de 0,50 a 0,53 e do tipo vórtice igual a 0,43.

Segundo BALOGH & GERGELY (1985) os emissores autolimpantes são construídos de forma que, com um rápido aumento ou redução da pressão no emissor, a seção de escoamento abra suficientemente para permitir a passagem de sedimentos ou outros mate-

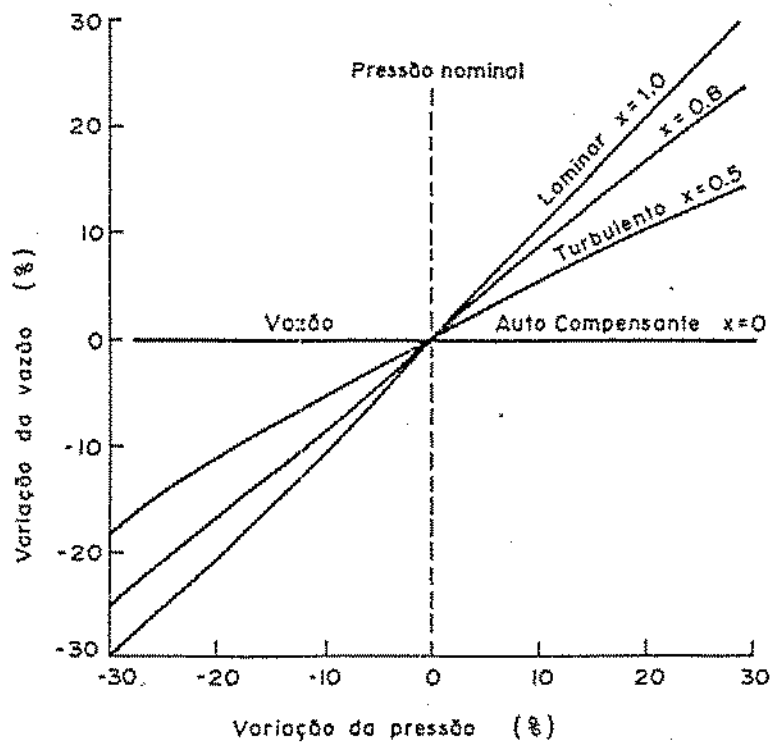


FIGURA 1. Relação entre as variações de vazão e de pressão para vários tipos de emissores (BRALTS, 1986).

riais obstruidores. Esse fenômeno é possível graças às peças elásticas ou móveis existentes nesse tipo de emissor.

Os emissores autocompensantes têm fluxo turbulento ou transitório, e sua principal função é promover, ao longo da tubulação, uma vazão constante independentemente da pressão. A autorregulação da vazão é conseguida, normalmente, através de uma peça móvel e flexível que se deforma sob o efeito da pressão, diminuindo ou aumentando a seção de escoamento da água. Essa autorregulação contudo, só é obtida a partir de uma determinada pressão que é indicada pelo fabricante. Existe também uma pressão máxima acima da qual o emissor perde suas características de autocompensation.

Segundo BORDIGNON & TESTEZLAF (1993), os emissores são caracterizados por uma pressão nominal e uma vazão nominal relativa a essa pressão. Alguns autocompensantes apresentam a característica de autolimpante visto que sob pressões próximas a zero sua vazão atinge valores 30% a 70% superiores à vazão nominal.

Farbman (1990) citado por BORDIGNON & TESTEZLAF (1993), define a curva característica de um emissor autocompensante ideal tal como ilustrado na Figura 2. Observa-se nessa figura três situações de funcionamento do emissor definidas por intervalos de pressões distintos: (1) um intervalo de auto-limpeza para pressões menores que  $P_f$ ; (2) um intervalo de transição de  $P_f$  a  $P_r$  e (3) o de autorregulação de  $P_r$  a  $P_{max}$ .

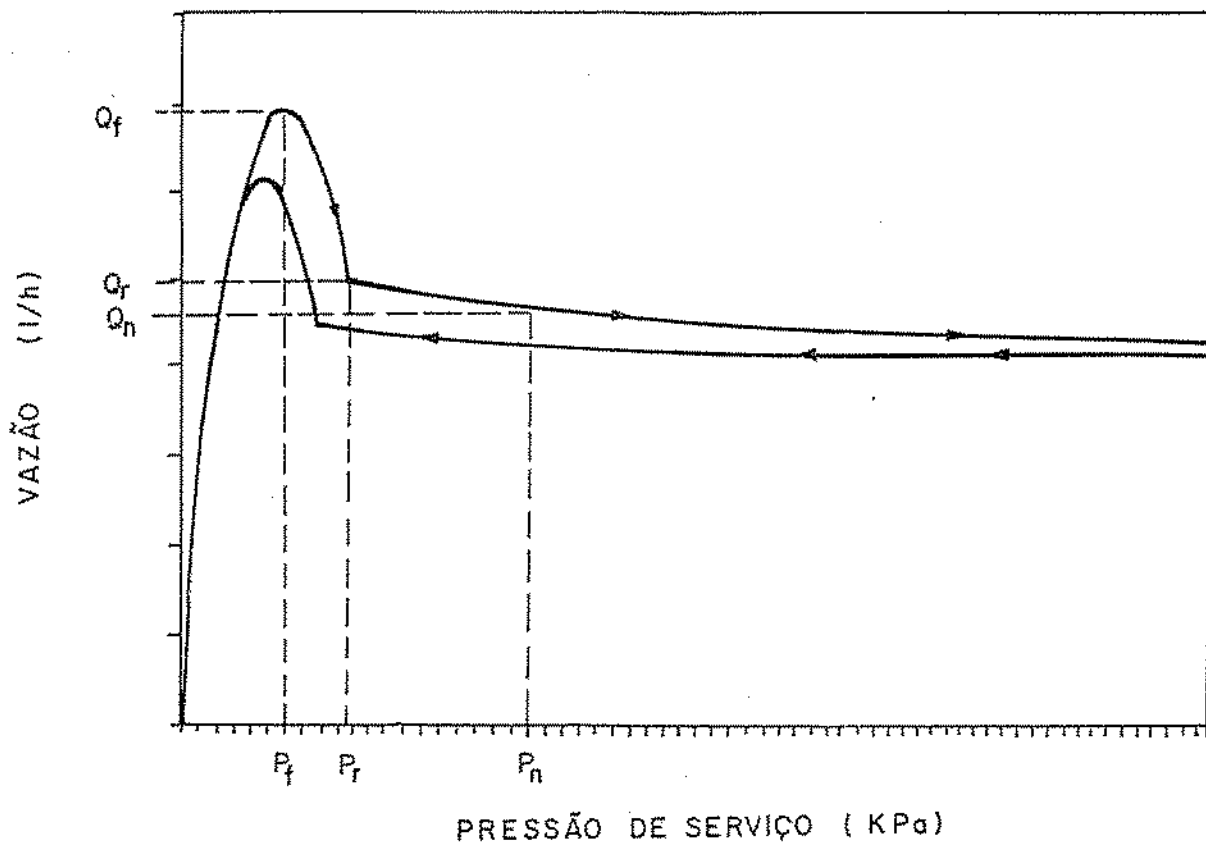


FIGURA 2. Curva característica de um emissor autocompensante ideal (BORDIGNON & TESTEZLAF, 1993).



### Coefficiente de variação de fabricação

Segundo SOLOMON & KELLER (1978) é impossível fabricar-se um conjunto de emissores com um mesmo coeficiente de descarga,  $K_d$ , da função potencial. As variações que ocorrem nas dimensões dos emissores são devidas a temperatura e pressão de moldagem, variações no material utilizado, velocidade de soldagem e cola-gem, desgaste do molde e outros fatores. A dimensão mais difícil de se ter controle é o diâmetro da seção de fluxo. Assim sendo, as variações no processo de fabricação não dependem apenas do controle de qualidade dos materiais, mas também da configuração do emissor (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986).

Sendo os emissores desenvolvidos para fornecerem pequenas vazões, suas dimensões são então muito pequenas, dificultando assim a precisão de fabricação (SOLOMON, 1979). As variações nessas dimensões, embora pequenas em valor absoluto, podem representar uma variação percentual na vazão relativamente alta.

Segundo ABREU *et al.* (1987), por mais sofisticados que sejam os processos de fabricação, é impossível obter-se os emissores com o mesmo coeficiente  $K_d$  e expoente  $x$  da função potencial. E dentre os diversos tipos de emissores desenvolvidos os emissores desmontáveis e/ou autocompensantes apresentam altos coeficientes de variação de fabricação. As variações de fabricação nos emissores podem ter grande influência na uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação localizada, não devendo, portanto, ser negligenciadas. (SOLOMON, 1979).

As variações nos diversos processos de fabricação tendem a ser distribuídas normalmente com relação à média. Para quantificar variações na vazão do emissor devido os processos de fabricação SOLOMON (1979) recomenda o coeficiente de variação de fabricação ( $V_m$ ) desenvolvido por Keller & Karmeli (1974). Esse coeficiente é um parâmetro estatístico dado pela razão entre o desvio padrão e a média de uma população. Os valores típicos de  $V_m$  variam de 0,02 a 0,10 para emissores não autocompensantes e acima de 0,10 para alguns emissores autocompensantes.

#### Coeficiente de variação do sistema

Geralmente mais de um emissor é usado por planta. Em tais condições, existe uma tendência das variações entre os emissores localizados numa planta se compensarem. Isso resulta numa variação de vazão entre plantas menor que quando tem-se apenas um emissor por planta (SOLOMON & KELLER, 1978; SOLOMON, 1979; ABREU *et al.*, 1987). A variabilidade na vazão entre plantas deve ser caracterizada pelo coeficiente de variação do sistema. Esse pode ser encontrado pela razão entre o coeficiente de variação de fabricação  $V_m$  do emissor e a raiz quadrada do número de emissores por planta.

#### Sensibilidade à temperatura

Um fator adicional na variação de vazão dos emissores são as variações na temperatura da água. Temperaturas da água de até 70 °C em laterais têm sido observadas por PARCHOMCHUK (1976). Mudanças na viscosidade da água, devido as mudanças de temperatu-

ra, causam variações na vazão dos emissores maiores que o limite máximo recomendável de  $\pm 10\%$  quando o emissor trabalha sob condições de regime laminar. Segundo PARCHOMCHUK (1976) emissores com fluxo turbulento não são afetados pelas mudanças de viscosidade da água.

→ Dependendo do tipo de emissor, variações na vazão resultantes das mudanças de temperatura da água podem comprometer a uniformidade na aplicação de água. Esse efeito é mais pronunciado para microtubos e emissores com passagem em forma de espiral. Emissores do tipo vórtice e orifício não são afetados significativamente. ZUR & TAL (1981) encontraram que a sensibilidade da vazão às variações de temperatura aumenta para emissores helicoidais de longo-percurso e diminui para emissores tipo vórtice. As alterações de vazão nos emissores tipo labirinto foram insignificantes. Geralmente, a sensibilidade da vazão à temperatura aumenta com a pressão. Os resultados experimentais desses autores sugerem uma relação linear entre a vazão e a temperatura.

→ A sensibilidade da vazão à temperatura depende, segundo ABREU *et al.* (1987), fundamentalmente dos seguintes fatores: grau de turbulência do fluxo dentro do emissor, onde quanto maior a turbulência menor será a influência da viscosidade na vazão, e da configuração do emissor tanto quanto sua forma como composição.

VON BERNUTH & SOLOMON (1986) afirmam que as variações na vazão do emissor, provocadas pelas variações na temperatura da água, não ocorrem apenas em função da viscosidade da mesma, mas

também pelas variações nas dimensões do emissor.

### Sensibilidade às obstruções

A sensibilidade do emissor ao entupimento depende, fundamentalmente, de sua menor seção de fluxo, configuração e velocidade da água (ABREU *et al.*, 1987). Os diâmetros dos emissores variam normalmente de 0,3 a 1,0 mm e quanto maiores os diâmetros menores serão os problemas de obstrução. No entanto, aumentos nos diâmetros podem resultar em vazões elevadas, fora da faixa utilizada nos sistemas localizados. Nesse aspecto uma grande variedade de emissores tem sido desenvolvida procurando obter-se uma melhor combinação entre vazão e sensibilidade às obstruções. Os emissores autocompensantes são muito susceptíveis às obstruções devido a grande redução da seção de fluxo. Velocidades da água superiores a 4,5 m/s amenizam bastante o problema (ABREU *et al.*, 1987).

→ KELLER & BLIESNER (1990) levando em consideração a menor seção de fluxo classificam os emissores, quanto a sua susceptibilidade ao entupimento, da seguinte forma:

emissores muito sensíveis	$d \leq 0,7 \text{ mm}$
emissores sensíveis	$0,7 < d \leq 1,5 \text{ mm}$
emissores pouco sensíveis	$d > 1,5 \text{ mm}$

Os fabricantes de emissores têm desenvolvido diferentes configurações procurando obter um emissor que permita, satisfatoriamente, a passagem de material estranho. Nesse propósito, são

utilizados nos emissores peças móveis, materiais elásticos e vibratórios.

### Seleção de emissores

A eficiência de um sistema de irrigação localizada depende de um dimensionamento e manejo adequados. A seleção do emissor é um dos fatores importantes do dimensionamento. Segundo KELLER & BLIESNER (1990) e ABREU *et al.* (1987), deve-se levar em consideração, na seleção do emissor, as seguintes características: elevada uniformidade de fabricação; relação vazão-pressão próxima das especificações do fabricante; expoente de vazão do emissor próximo a zero; faixa de operação permissível do emissor; perda de carga provocada pela conexão dos emissores na lateral; sensibilidade às obstruções; estabilidade da relação vazão-pressão ao longo do tempo; baixo custo; resistência à agressividade química e ambiental, assim como às operações agrícolas.

As características acima mencionadas dependem fundamentalmente do processo de fabricação do emissor. Os plásticos apresentam-se como os materiais mais adequados para confecção dos emissores, e o processo de modelagem destes depende do material escolhido entre os diversos tipos de plásticos existentes. Os processos básicos para modelagem de termoplásticos são a injeção e a compressão. Os materiais utilizados devem manter suas características iniciais ao longo do tempo, tendo em vista que os emissores estarão sujeitos às condições ambientais extremas, tais

como a luz e temperatura, produtos químicos e agressão física. Caso contrário, a vazão e a vida útil dos emissores serão afetados, sobretudo naqueles com peças elásticas cuja performance depende da manutenção das propriedades e dimensões.

Os três tipos de materiais mais frequentemente utilizados para o molde do corpo ou partes rígidas dos emissores são os acetais ( $C_3H_6O_3$ ), polietilenos ( $C_2H_4$ ) e polipropilenos ( $C_3H_6$ ). Os materiais elásticos têm sido utilizados principalmente em peças que se deformam sob pressão para reduzir a seção de passagem do fluxo e contribuir para um certo grau de compensação da pressão. Muitos fabricantes estão utilizando o silicone principalmente devido a sua resistência química (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986).

#### Uniformidade de aplicação

A eficiência de aplicação, definida por Hansen et al. (1979) como a razão entre a água requerida na zona radicular e a quantidade total aplicada, depende da uniformidade de aplicação do emissor, do requerimento de água e do déficit permitido (WU & GITLIN, 1983).

Segundo CLEMMENS (1991) todos os métodos de irrigação são inerentemente desuniformes em sua aplicação de água. Havendo abundância e disponibilidade d'água, a solução usual é aplicar em determinadas partes do terreno mais água que a necessária, para assegurar com isso, que em outras tenha-se a quantidade adequada. Em alguns casos, isso pode provocar a queda de plantas, problemas de salinidade, ou problemas relacionados à qualidade de

água para os irrigantes à montante. Porém, onde a água é escassa uma quantidade reduzida de água deve ser aplicada, implicando conseqüentemente em déficits em alguns setores da área.

Quando a duração da irrigação está baseada numa vazão média, algumas plantas receberão mais e outras menos água. Com um aumento no número de emissores por planta a uniformidade de aplicação pode ser melhorada amenizando esse problema (NAKAYAMA *et al.*, 1979).

Segundo SAN JUAN (1985) os sistemas de irrigação localizada fornecem água às plantas em pequenas quantidades, de acordo com suas necessidades. As perdas d'água nesses sistemas, apesar de serem mínimas, são porém inevitáveis e influenciam na eficiência de irrigação.

Os sistemas de irrigação bem dimensionados e com estratégias de manejo adequadas, contribuem para um aumento na produtividade das culturas, tornando assim, os investimentos na irrigação mais rentáveis. Modelos de otimização podem auxiliar os projetistas em situações onde o dimensionamento de sistemas de irrigação localizada torna-se complexo. O custo inicial desses sistemas é sua principal desvantagem. Porém, existem alguns dimensionamentos alternativos que podem diminuir o custo inicial do projeto como é o caso dos desenvolvidos por Goehring (1976), Oron & Karmeli (1979), Oron (1982) e Bustos (1988), segundo HOLZAPFEL *et al.* (1990).

Oron (1982) sugere que áreas a serem irrigadas com

sistemas pressurizados devem ser divididas em subunidades e que essas sejam irrigadas individualmente. Essa estratégia de dimensionamento tem alguns benefícios tais como: pode-se ter vazões de projetos menores ou iguais à vazão disponível; obtém-se, provavelmente, uma maior uniformidade de descarga dos emissores ao longo das tubulações; aumenta-se a flexibilidade nas práticas culturais, inclusive as de irrigação; possibilita-se a seleção de menores diâmetros de tubulações; viabiliza-se uma estratégia de vazão variável através de um crescente número de emissores (HOLZAPFEL *et al.*, 1990).

A vazão dos emissores varia de acordo com os seguintes fatores: a variabilidade na fabricação e deterioração com o tempo dos emissores; número de emissores total e parcialmente obstruídos no sistema; variação na temperatura da água e variações na pressão devido ao atrito e os desníveis do terreno (SOLOMON & KELLER, 1978).

Segundo WU & GITLIN (1973) o sistema de irrigação localizada ideal seria aquele que pudesse irrigar uniformemente, isto é, cada emissor tivesse a mesma vazão. Vários fabricantes segundo MYERS & BUCKS (1972) têm tentado desenvolver emissores que sejam capazes de amenizar a variação de descarga provocada pelas variações de pressão na lateral. Essas tentativas incluem emissores com seções de escoamento reguláveis, linhas laterais com paredes duplas e emissores que produzem elevada perda de carga. Uma uniformidade adequada pode ser obtida com emissores de alta pressão, entretanto, esses apresentam desvantagens tais como entupimento e



altos custos de fabricação e energia.

KENWORTHY (1972) propôs variar, ao longo da lateral, o comprimento de um microtubo emissor a fim de obter uma descarga uniforme em cada ponto de emissão. Seus resultados mostraram que pode-se obter uma uniformidade de aplicação razoável quando tem-se um controle da distribuição de pressão. Segundo MYERS & BUCKS (1972) uma uniformidade de descarga satisfatória pode ser obtida, em sistemas de irrigação localizada, quando utilizam-se emissores de diferentes diâmetros para compensar as variações de pressão ao longo da lateral.

WU & GITLIN (1973) encontraram que a distribuição de pressão ao longo da lateral pode ser caracterizada através do desnível do terreno e da perda de energia por atrito calculada a partir de uma vazão média de três ou quatro seções. Esse procedimento resulta em erros 2% menores que se fosse determinada a linha do gradiente de energia utilizando-se a vazão média de apenas um segmento.

Segundo WU & GITLIN (1973) se a distribuição de pressão for determinada ao longo da lateral para emissores com uma mesma vazão, então, a uniformidade de aplicação pode ser melhorada com a utilização de diferentes tamanhos de emissores, diferentes comprimentos ou diâmetros de microtubos e diferentes espaçamentos entre emissores.

Sob o aspecto técnico, o critério fundamental, no dimensionamento de sistemas localizados, é uma variação admissível

de vazão ao longo das tubulações laterais e terciárias. Os cálculos de dimensionamento objetivam encontrar um comprimento de tubulação para um determinado diâmetro e pressão de operação que resulte nessa variação admissível (GILLESPIE *et al.*, 1979). Quanto ao aspecto econômico ALLEN & BROCKWAY (1984) enfatizam que o principal critério a ser considerado no dimensionamento, manejo e operação do sistema é a relação benefício/custo.

Sistemas que trabalham sob baixa pressão utilizando emissores do tipo orifício podem ter as vantagens de menor custo de fabricação e operação. Além do mais quando utilizam-se emissores com orifícios maiores os problemas de entupimento são reduzidos (MYERS & BUCKS, 1972).

NAKAYAMA *et al.* (1979) desenvolveram um método para estimar a uniformidade de aplicação d'água baseado no coeficiente de variação de fabricação dos emissores. O número de emissores por planta pode ser definido a partir da interrelação entre esse número, e os coeficientes de uniformidade e de variação de fabricação. Esses autores relacionaram também o coeficiente de uniformidade de campo e o coeficiente de variação de vazão dos emissores em operação, à fração de plantas adequadamente irrigadas.

Um coeficiente de variação de vazão dos emissores, estimado a partir de dados de campo, reflete as propriedades inerentes do emissor, variação de pressão e mudanças na vazão provocada pelo aumento ou redução da vazão com o tempo (NAKAYAMA *et al.*, 1979).

Vários métodos têm sido propostos para estimar a uniformidade de aplicação dos sistemas localizados. Keller & Karmeli (1974) propuseram uma modificação na equação do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, conhecida como uniformidade de emissão absoluta. A principal desvantagem desse método é a falta de base estatística. O método de Wu & Gitlin (1974, 1979), baseado em procedimentos de dimensionamento, consiste na estimativa da variação de vazão dos emissores. Esse procedimento apresenta a limitação de não incluir as variações devido a fabricação e ao entupimento dos emissores (BRALTS & EDWARDS, 1983).

Segundo SAN JUAN (1985) a utilização do coeficiente de uniformidade proposto por Christiansen, na avaliação de sistemas de irrigação localizada, apresenta o inconveniente de dar a mesma importância às variações acima e abaixo da vazão média. Esse procedimento, na irrigação localizada, pode ser desastroso porque enquanto as variações acima da média implicam apenas em perdas excessivas d'água, afetando a eficiência de irrigação, as variações abaixo da média indicam que a planta está recebendo menos água do que necessita o que pode comprometer a produtividade das culturas.

Esse raciocínio estará correto apenas quando o sistema for dimensionado para uma vazão média que corresponda à necessidade da cultura. Uma solução seria dimensionar o sistema de tal forma que as vazões abaixo da média satisfaçam os requerimentos d'água pelas plantas. Em tais condições, o tratamento que o método de Christiansen dá às variações de vazão teria menores conse-

quências para a cultura.

BRALTS *et al.* (1982) verificaram que, em laterais de parede única, as alterações percentuais de vazão na lateral, em relação ao valor dimensionado, são quase proporcionais às porcentagens de entupimento dos emissores. Entretanto, para laterais com paredes duplas a relação mostrou-se dependente da proporção entre os orifícios internos e externos.

BRALTS & KESNER (1983) propuseram um tamanho de amostragem de 18 emissores para a avaliação de subunidades de irrigação localizada, baseando-se na determinação do coeficiente de uniformidade estatístico, definido como um menos o coeficiente de variação de vazão dos emissores, utilizando a média dos três maiores e dos três menores valores de vazão em vez de usar todos os pontos no cálculo. As vantagens desse método estão na simplicidade das determinações em campo e os limites de confiança dos coeficientes de uniformidade estimados.

WU & IRUDAYARAJ (1989) desenvolveram um modelo de simulação para prognosticar a uniformidade de aplicação a partir de estimativas da vazão dos emissores, ao longo de uma lateral ou subunidade, considerando-se as variações de pressão e de fabricação.

NUMAN & KRUSE (1989) desenvolveram um modelo computacional para analisar a performance de sistemas de irrigação localizada. O modelo faz prognósticos da redução de vazão dos emissores provocada pelo entupimento e outras deteriorações do sistema.

BRALTS *et al.* (1981a) mostraram que qualquer tipo de variação hidráulica do sistema pode ser estatisticamente incluída nas equações de uniformidade. Assim como também podem ser incluídos a temperatura da água e o espaçamento entre emissores.

O entupimento de emissores em sistemas de irrigação localizada resulta em alterações na uniformidade de aplicação dos emissores e na hidráulica das laterais. O entupimento de alguns emissores reduz a vazão da lateral e, conseqüentemente, as perdas por atrito nessa. Essa redução de perda de carga implica em maior vazão naqueles emissores não obstruídos (BRALTS *et al.*, 1982).

BRALTS *et al.* (1981b) verificaram que o entupimento pode ser estatisticamente considerado nos cálculos de uniformidade de aplicação de laterais com paredes únicas ou duplas. O número de emissores por planta mostrou-se importante quando o cálculo da uniformidade inclui o entupimento dos emissores.

#### **Entupimento dos emissores**

O entupimento de emissores ainda é o principal problema em sistemas de irrigação localizada. Apesar do conhecimento das causas de obstruções, as medidas empregadas para contornar esse problema nem sempre têm apresentado resultados satisfatórios. Entretanto, tendo em vista o elevado custo de implantação que esses sistemas representam, a vida útil deles deve, então, ser maximizada. Além do mais, a recuperação de emissores obstruídos implica em custos adicionais (GILBERT & FORD, 1986).

A intensidade de ocorrência e gravidade do problema de entupimento de emissores nos sistemas localizados tem levado muitos irrigantes a desistirem da utilização desses sistemas, retornando, inclusive, a métodos de irrigação menos eficientes (NAKAYAMA *et al.*, 1978; GILBERT & FORD, 1986).

O entupimento ocorre de forma mais acentuada nos sistemas por gotejamento, tendo em vista que a seção de escoamento e a velocidade de fluxo nos gotejadores são menores que em microaspersores. O nível de obstrução pode ser tal que a redução de vazão dos emissores impossibilita a aplicação das necessidades hídricas dos cultivos, ainda que se opere o sistema sob pressões elevadas. Mesmo que as obstruções não atinjam esse nível, quando associadas as variações de vazão dos emissores, devido as variações de fabricação do equipamento e às variações de pressão ao longo da tubulação lateral previstas no dimensionamento hidráulico do sistema, diminuem o coeficiente de uniformidade de aplicação afetando o desempenho global do sistema e, conseqüentemente, a produção dos cultivos (ABREU *et al.*, 1987).

→ As causas do entupimento estão diretamente relacionadas à qualidade da água de irrigação e são atribuídas, principalmente, à existência de materiais em suspensão e de elementos quimicamente precipitáveis, e ao desenvolvimento de micróbios (ADIN & SACKS, 1991).

→ O entupimento físico pode ser provocado por partículas inorgânicas suspensas (areia, silte, argila, plástico, etc.) e

material orgânico (fragmentos de plantas e de microorganismos, resíduos animais, etc.). Uma filtragem adequada e uma lavagem periódica das linhas poderá controlar esse tipo de entupimento. No entanto, alguns materiais quando combinados com lodos bacteriais podem criar condições de entupimento que são incontornáveis mediante a utilização apenas do processo de filtragem (GILBERT & FORD, 1986).

Um fator importante na qualidade da água de irrigação é seu teor de sais, mas estes não contribuem para o entupimento, a menos que ions dissolvidos interajam com outros para formar precipitados ou promover o desenvolvimento de lodos. As precipitações mais frequentes são de carbonatos e sulfatos de cálcio, e de ferro e manganês. Precipitação de carbonato de cálcio é comum em regiões áridas com águas ricas em cálcio e bicarbonatos. Através da fertirrigação os ions das águas naturais podem reagir com os componentes dos agroquímicos gerando elementos precipitáveis (ABREU *et al.*, 1987).

Os riscos de entupimento por precipitação química podem ser previstos mediante análise química da água de irrigação. No entanto, a pontencialidade desses riscos depende substancialmente da geometria dos diferentes emissores (ABREU *et al.*, 1987).

O entupimento químico tem sido considerado como o problema mais difícil de ser controlado. Uma recomendação geral para prevenção desse tipo de entupimento seria reduzir o pH da água, através de injeção de ácido, a valores que inibam a precipita-

ção. Os fatores que contribuem para uma precipitação química são altas concentrações de íons de cálcio, magnésio e bicarbonatos, e um pH relativamente alto. A temperatura também contribue nesse processo uma vez que a solubilidade do carbonato de cálcio diminui com o aumento de temperatura. Os dois primeiros fatores são inerentes à qualidade da água de irrigação, enquanto o fator temperatura depende do layout do sistema e das condições climáticas (HILLS *et al.*, 1989).

Objetivando amenizar os problemas de entupimento químico em mangueiras porosas, HILLS *et al.* (1989) testaram as seguintes estratégias de manejo: irrigações (1) diurnas e (2) noturnas ambas com mangueira a céu aberto (aplicação d'água superficial), e enterrada (aplicação d'água subsuperficial), e (3) redução do pH da água de irrigação. Eles constataram que o processo de entupimento é gradual e não instantâneo. A diminuição do pH da água aliviou o entupimento. A irrigação noturna e subsuperficial não previniu significativamente a precipitação química.

→ O entupimento biológico não se torna um problema grave quando a água está livre de carbono orgânico. Entretanto, em águas contendo sedimentos orgânicos associados ao ferro ou ao sulfato de hidrogênio, o grau de obstrução biológica pode tornar-se bastante acentuado. Vários organismos podem contribuir para o entupimento, particularmente quando na presença de  $Fe^{2+}$  e  $H_2S$ . Filamentos de algas podem entupir emissores. O principal dano desses organismos é na formação de uma matriz gelatinosa, na tubulação e nos emissores, que serve como base para o desenvolvi-



mento de lodos bacteriais. A bactéria do ferro nas tubulações podem precipitar o complexo de ferro solúvel (GILBERT & FORD, 1986).

Atualmente, inexistente um método direto que quantifique com confiabilidade o perigo de entupimento, no entanto, esse pode ser estimado através de uma análise da água. Como a qualidade da água pode alterar-se durante o período sazonal de cultivo, várias análises são necessárias ao longo do ano. Cada um dos fatores físico, químico e biológico, podem contribuir isoladamente no processo de entupimento. Entretanto, quando existe uma combinação desses, o problema pode se agravar ao ponto de haver um sinergismo. Como esses fatores estão intimamente relacionados, o controle de um deles provavelmente amenizará os problemas causados pelos demais (NAKAYAMA *et al.*, 1978).

Segundo SADOVSKI *et al.* (1978) os efluentes de águas residuárias estão frequentemente sendo utilizados em sistemas de irrigação localizada. Nesse aspecto, a irrigação localizada tem a vantagem de eliminar o perigo do transporte de patógenos via aerossóis que ocorre na irrigação por aspersão.

ADIN & SACKS (1991) estudando as causas de entupimento em três emissores, utilizando águas residuárias, concluíram que: (1) o entupimento é causado principalmente pelos sólidos em suspensão, no entanto o processo de entupimento é iniciado por material orgânico; (2) o grau de entupimento é mais afetado pelo tamanho das partículas sólidas que pela densidade dessas na água;

(3) o armazenamento de sedimentos nos emissores inicia-se com a deposição de lodos amorfos aos quais outras partículas se aderem; (4) a composição química do sedimento no emissor modifica-se com a estação do ano; (5) o potencial de entupimento pode diminuir através de modificações na configuração interna do emissor e por um tratamento químico da água com oxidantes e floculantes.

A configuração interna do emissor pode ser melhorado através de: (1) encurtamento e/ou alargamento do percurso de fluxo; (2) eliminação das extremidades angulosas que se projetam no percurso; (3) remoção dos espaços supérfluos; (4) fabricação de emissores sem emendas, principalmente, dentro do percurso da água (ADIN & SACKS, 1991).

ORON *et al.* (1979), em experimentos com emissores tipo labirinto, utilizando quatro tipos de águas residuárias verificaram que houve uma redução significativa na vazão dos emissores ao longo da lateral. Essa redução foi mais acentuada nos emissores do início da lateral e, em quase todos os casos, diminuiu linearmente na direção do fluxo. O aumento do tempo de operação do sistema resultou num aumento da redução de vazão. No entanto, as observações de ADIN & SACKS (1991) indicaram um maior percentual de entupimento em emissores situados no final das laterais. ORON *et al.* (1979) observaram também que o emissor de longo percurso (960 mm) apresentou maior grau de entupimento. Quando utilizaram-se águas residuárias filtradas, o único emissor que não mostrou evidência de entupimento foi o autocompensante com um percurso de 25 mm. Outrossim, verificou-se que a variação de pressão não

influiu significativamente na vazão do emissor. As flutuações nas vazões podem ter ocorrido devido o fenômeno de entupimento e auto-limpeza que acontece sempre que o sistema é posto em funcionamento.

KAFSHGIRI (1979) observou, num estudo utilizando efluentes de águas residuárias, que a redução na vazão do emissor variou não linearmente com o grau de entupimento. Seus dados indicaram que graus de entupimento de 10% e de 50% corresponderam, respectivamente, à redução na vazão de 20% e 75%. Acredita-se que a geometria da obstrução tenha efeito nas variações de vazão.

Shannon *et al.* (1982) verificaram que a equação de Durand do transporte de sedimentos é aplicável às condições de fluxo em laterais, predizendo zonas de acumulação de sedimentos. Segundo suas observações os depósitos começaram a ocorrer a uma distância, a partir do início da tubulação, de aproximadamente 60% de seu comprimento, em zonas discretas de 3 a 8 cm de comprimento separadas de 30 a 60 cm entre si. A acumulação máxima de depósitos ocorreu no trecho de 90 a 100% de seu comprimento (ABREU *et al.*, 1987).

#### Manutenção dos sistemas de irrigação localizada

A performance de um sistema de irrigação localizada depende em parte de uma manutenção adequada do sistema. O controle da qualidade da água é um dos aspectos mais importantes dessa manutenção. BUCKS *et al.* (1979) desenvolveram um método para clas-

sificação da qualidade da água, quanto ao perigo de entupimento, que arbitra valores para os fatores físico, químico e biológicos.

A manutenção deve ser baseada em práticas de prevenção que incluam a filtragem da água, inspeção no campo, limpeza das tubulações e tratamento químico. A filtragem e inspeção de campo são absolutamente necessárias. Segundo ABREU *et al.* (1987) apenas com águas cristalinas, livres de sólidos em suspensão e sem riscos de contaminação, é que não seriam necessários os filtros, mas esta condição não se encontra na prática.

Características do sistema de filtragem dependem da qualidade da água de irrigação e da geometria interna do emissor. Quando não se dispõe de recomendações técnicas do fabricante, em via de regra, a filtragem deve ocorrer para partículas de tamanho inferior ou igual a um décimo da menor seção de escoamento do emissor. Quando os fatores físicos são graves dois ou mais tipos de filtros em série são necessários (GILBERT & FORD, 1986).

A remoção de partículas sólidas da água de irrigação depende da qualidade dessa água e dos parâmetros físicos do sistema de filtragem. Quando utilizam-se águas residuárias, a performance dos sistemas de filtragem é, normalmente, avaliada baseando-se na taxa de remoção de sólidos totais suspensos e/ou na turbidez da água. Através de uma análise da distribuição do tamanho das partículas pode-se definir uma melhor opção de filtros e suas condições de operação (ADIN & ELIMELECH, 1989).

A taxa de remoção de um sistema de filtragem aumenta

com o tamanho do grão do filtro de areia e com a espessura da camada de filtração, e diminui com a velocidade de fluxo. Os filtros de tela entopem com muita rapidez e, segundo os autores acima, removem apenas de 1 a 2% dos sólidos totais suspensos.

A filtração granular tem papel importante na prevenção do entupimento em virtude dela promover a remoção de partículas com diferentes formas. Porém, medidas adicionais para a redução do entupimento devem ser tomadas, tais como: eficiente retrolavagem dos filtros: limpeza periódica das linhas e instalação de longas laterais quando a topografia permitir (ADIN & SACKS, 1991).

GILBERT *et al.* (1979) estudaram durante dois anos o entupimento em oito tipos de emissores para diferentes tratamentos de água, incluindo filtração com filtros de tela e de areia com adição de hipoclorito e ácido. Cinco dos oito emissores requereram filtros de tela (200 mesh) e de areia, mais tratamento químico para prevenir o entupimento físico e manter vazões superiores a 70% da vazão de projeto. Três emissores continuaram a operar com vazões superiores a 80% da vazão de projeto apenas com filtro de tela (50 mesh).

#### Dimensionamento de linhas laterais

Um dimensionamento adequado de laterais nos sistemas de irrigação localizada consiste na determinação da melhor combinação entre seu comprimento, diâmetro, tipo de emissor e espaçamento entre esses, tendo como objetivo principal uma elevada unifor-

midade de aplicação.

A determinação das perdas de carga por atrito nas tubulações é um fator de grande importância no dimensionamento pois este afeta diretamente o custo total e o balanço hidráulico do sistema. Segundo KAMAND (1988) muitos projetistas utilizam as equações empíricas, tais como a de Hazen-Williams, Manning e Scobey para determinar as perdas de carga por atrito, devido a sua simplicidade matemática. Entretanto, a equação de Darcy-Weisbach tem um maior fundamento teórico. A principal limitação dessas equações empíricas é que um único coeficiente de rugosidade é, normalmente, considerado para todos os diâmetros de tubo e velocidade de fluxo. Desta forma, a perda de carga calculada pela equação de Darcy-Weisbach deve diferir significativamente das demais equações.

O Comitê de Especificações para Tubulações da ASCE concluiu que as várias fórmulas com seus respectivos coeficientes de rugosidade estão na mesma faixa de precisão para diâmetros variando de 152 a 1829 mm e velocidades de fluxo acima de 1,524 m/s. Assim, um valor constante de C e n nas equações de Hazen-Williams e Manning, respectivamente, resultariam em um mesmo valor de perda de carga apenas para certas condições de fluxo e diâmetro (KAMAND, 1988).

Urbina & Paraqueima citados por BEZDEK & SOLOMON (1978) e WATTERS & KELLER (1978), mostraram que em tubos lisos de pequeno diâmetro, como os utilizados em laterais de irrigação

localizada, a equação de Darcy-Weisbach dá uma maior precisão na determinação da perda de carga por atrito. VON BERNUTH & WILSON (1989) verificaram que para Números de Reynolds menores que 100.000, a equação de Blasius resulta numa melhor estimativa do coeficiente de atrito  $f$  da equação de Darcy-Weisbach para tubos plásticos lisos de pequeno diâmetro. Além do mais KATHRI *et al.* (1979) concluíram que a equação de Blasius para tubos plásticos lisos pode ser utilizada com razoável precisão em todos diâmetros de tubulação de irrigação localizada sob fluxo turbulento.

Segundo WU & GITLIN (1973) a equação de Blasius pode produzir erros provocados pela ocorrência de fluxo laminar em seções finais da lateral e pela inserção dos emissores na tubulação gerando mais atrito.

Um outro tipo de perda de carga nas tubulações é provocada pela resistência ao fluxo oferecida pelas conexões dos emissores. Essa é mais pronunciada nos diâmetros menores de lateral e nos casos de conexões tipo sobrelinha (NIR, 1982).

KELLER & KARMELI (1974) e HOWELL & HILER (1974) sugerem que as perdas de carga localizadas sejam também consideradas no dimensionamento da lateral. Segundo HOWELL & BARINAS (1980) o procedimento usual para se considerar tais perdas é através da velocidade de fluxo, de comprimento equivalente de tubulação e dos coeficientes de rugosidade das equações de perda de carga.

Vários pesquisadores têm determinado as perdas de carga provocadas pelas conexões dos emissores. Hanson (1973) citado por

FARIA *et al.*, (1982b) obteve valores para C variando entre 98 e 136 para tubos com diferentes tipos de gotejadores espaçados de 1,5 m. Devido a presença dos emissores na lateral KELLER & KARMELI (1974) afirmam que o valor de C pode variar de 80 a 140. OLIVEIRA (1978) e FARIA *et al.* (1982b) obtiveram equações de perda de carga localizada para diferentes tipos de emissores. HOWELL & BARINAS (1980) determinaram equações de comprimento equivalente de tubulação em função da vazão da lateral para seis tipos de conexões sobrelinha em tubos de polietileno de 14,73 mm. PITTS *et al.* (1986), baseados nos resultados de WATTERS & KELLER (1978), obtiveram uma equação do comprimento equivalente de tubulação em função do diâmetro da conexão do emissor e do diâmetro da lateral.

É importante salientar, porém, que o procedimento de determinação das perdas de carga localizadas é bastante específico para determinadas combinações entre tipo de conexão, espaçamento dos emissores, diâmetro da tubulação e velocidade de fluxo. Assim sendo, um procedimento não apropriado às condições hidráulicas em questão pode levar a erros grosseiros nas estimativas das perdas localizadas.



## CAPITULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo consistiu de uma seleção e coleta de microgotejadores no campo, medições em laboratório e análise dos resultados.

#### Area experimental

Os trabalhos em laboratório foram desenvolvidos no Laboratório de Engenharia de Irrigação (LEI) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAg), Campus II - UFPb, Campina Grande - Pb.

O sistema de irrigação em estudo foi projetado pela Empresa de Projetos de Irrigação IRRICAMP, localizada em Campina Grande - PB. A IRRICAMP demonstrou interesse por este trabalho uma vez que havia a necessidade de procurar-se solucionar possíveis problemas no dimensionamento e que estariam afetando a uniformidade de distribuição em algumas subunidades do sistema, e pela necessidade de melhor conhecer o microgotejador Katif, utilizado em seus projetos.

A seguir é feita uma descrição das principais características desse sistema:

#### A. Propriedade

Nome: FLORA - Floresta Agrícola S.A.

Localização: Touros - RN, a 350 Km de Campina Grande - PB.

## B. Projeto

Tempo de funcionamento do sistema: 2,5 anos

Área total: 49,82 ha

Unidade operacional (UO):

Número: 2

Área/UO: 24,91 ha

Subunidade/UO: 2

Área/Subunidade: 12,46 ha

Subunidade avaliada: Número 01 (Figura 3)

Terciária:

Tubulações: PVC

Comprimentos (m)	Diâmetros (mm)		Pressão nominal (Kpa)
	Nominal	Interno	
198	150	144	400
192	100	97,6	400
192	75	72,5	400

Laterais:

Tubulações: Polietileno baixa densidade

Comprimento: 120 m

Diâmetro interno: 10,3 mm

Espaçamento: 8,0 m

Número de laterais: 73 / lado

Espaçamento entre emissores/planta: 0,8 m

Número de emissores/planta: 06

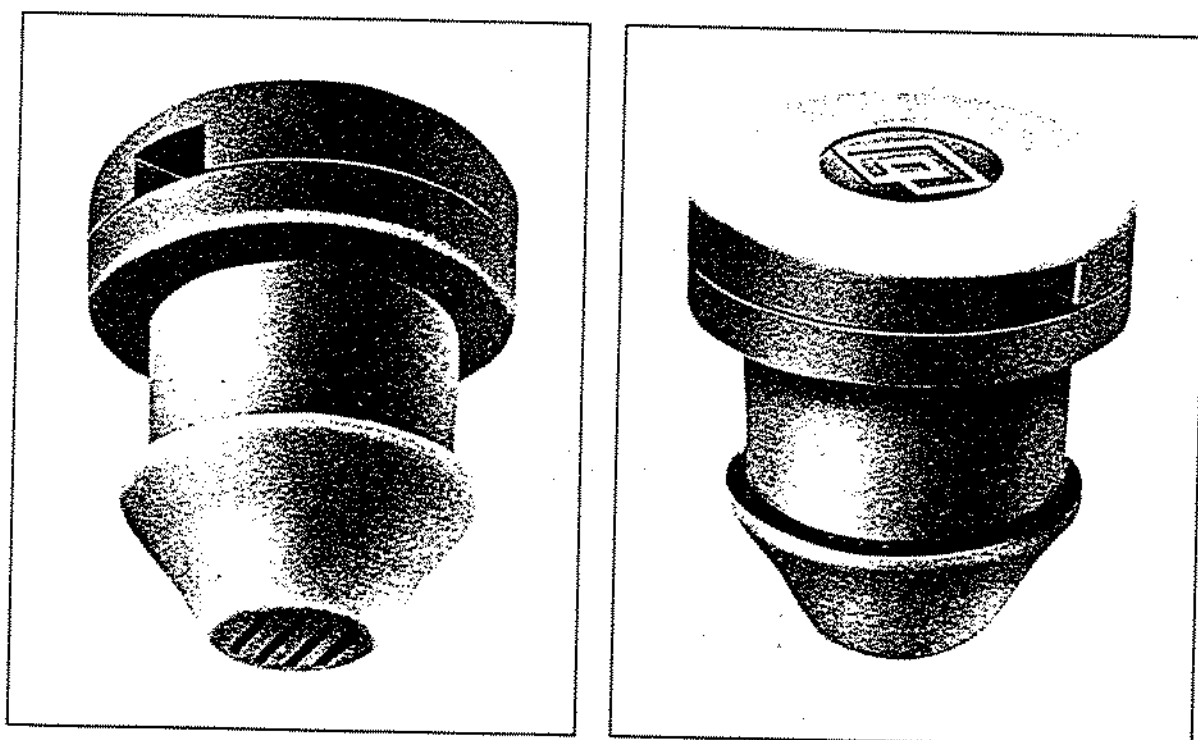


FIGURA 3. Ilustração do microgotejador katif estudado.

Número de emissores/subunidade: 5256/lado

Emissores: (Figura 4)

Fabricante: Plastro Gvat

Nome: Microgotejador Katif

Tipo: autocompensante

Vazão nominal 3,75 l/h

Conexão: sobrelinha

Dimensões médias aproximadas:

diâmetro externo: 9,1 mm

conexão:

diâmetro: 5,4 mm

profundidade: 2,7 mm

orifícios:

externos (2): 1,9 mm

interno: 1,5 mm

membrana de silicone:

diâmetro: 4,5 mm

espessura: 0,6 mm

ranhuras da base: 0,2 mm

C. Sistema de filtragem:

Composto por 4 filtros de areia em paralelo com 4  
filtros de tela para uma unidade operacional:

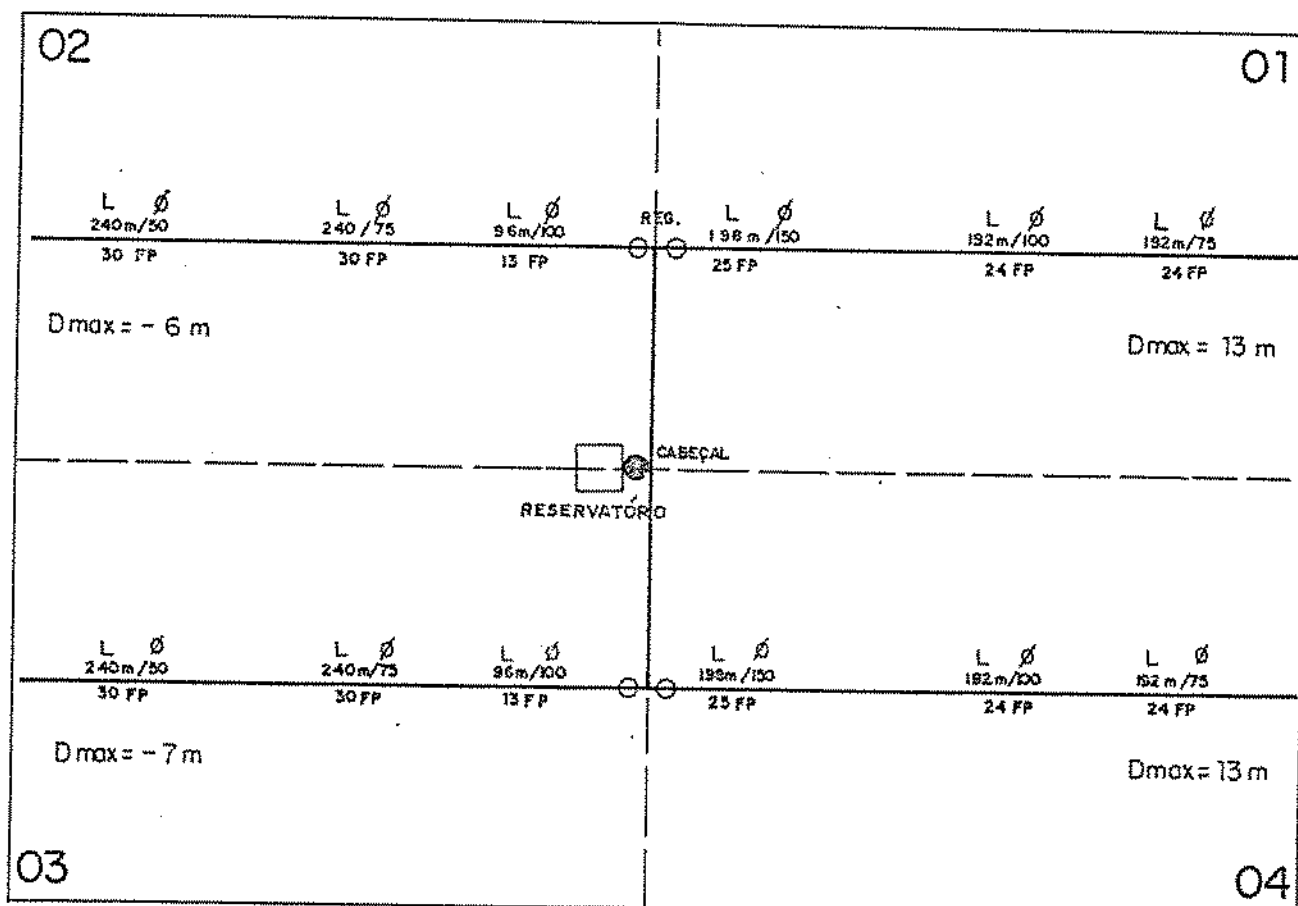
filtros de areia:

- 900 mm de diâmetro

- porosidade 80 mesh (0,177 mm)

filtros de tela: 120 mesh (0,125 mm)

50ha



FUGURA 4. Layout do sistema de irrigação.

- D. Sistema de bombeamento: conjunto motobomba de 30 CV
- E. Vazão do projeto: 39,42 m<sup>3</sup>/h
- F. Tempo de aplicação: 4 h/dia
- G. Turno de rega: 1 dia
- H. Cultura:
  - coco
  - espaçamento: 9 x 9 x 7,9 m
- I. Solo: arenoso
- J. Fonte de água: rio
- K. Qualidade da água de irrigação (Tabela A-1, apêndices)
- L. Topografia: (Figura 3)

#### Procedimento de coleta

A partir da metodologia recomendada por MERRIAN & KELLER (1978) para avaliação de sistemas de irrigação localizada foi feita a coleta dos microgotejadores em campo. Essa metodologia é descrita a seguir:

Dentre as quatro subunidades, que compunham o sistema, selecionou-se uma ao acaso. Nessa subunidade foram selecionadas as quatro laterais que se posicionavam no início, a um terço, a dois terços e no final da terciária, em apenas um lado da mesma. Dentro de cada lateral foi feita a coleta dos microgotejadores das plantas que se localizavam no início, a um terço, a dois terços e no final da lateral. Todos os microgotejadores/planta(seis), em cada uma dessas posições, foram etiquetados e substituídos por novos totalizando 96 microgotejadores (4 laterais x 4 posições x 6 microgotejadores) analisados (Figura 5).

## SUBUNIDADE

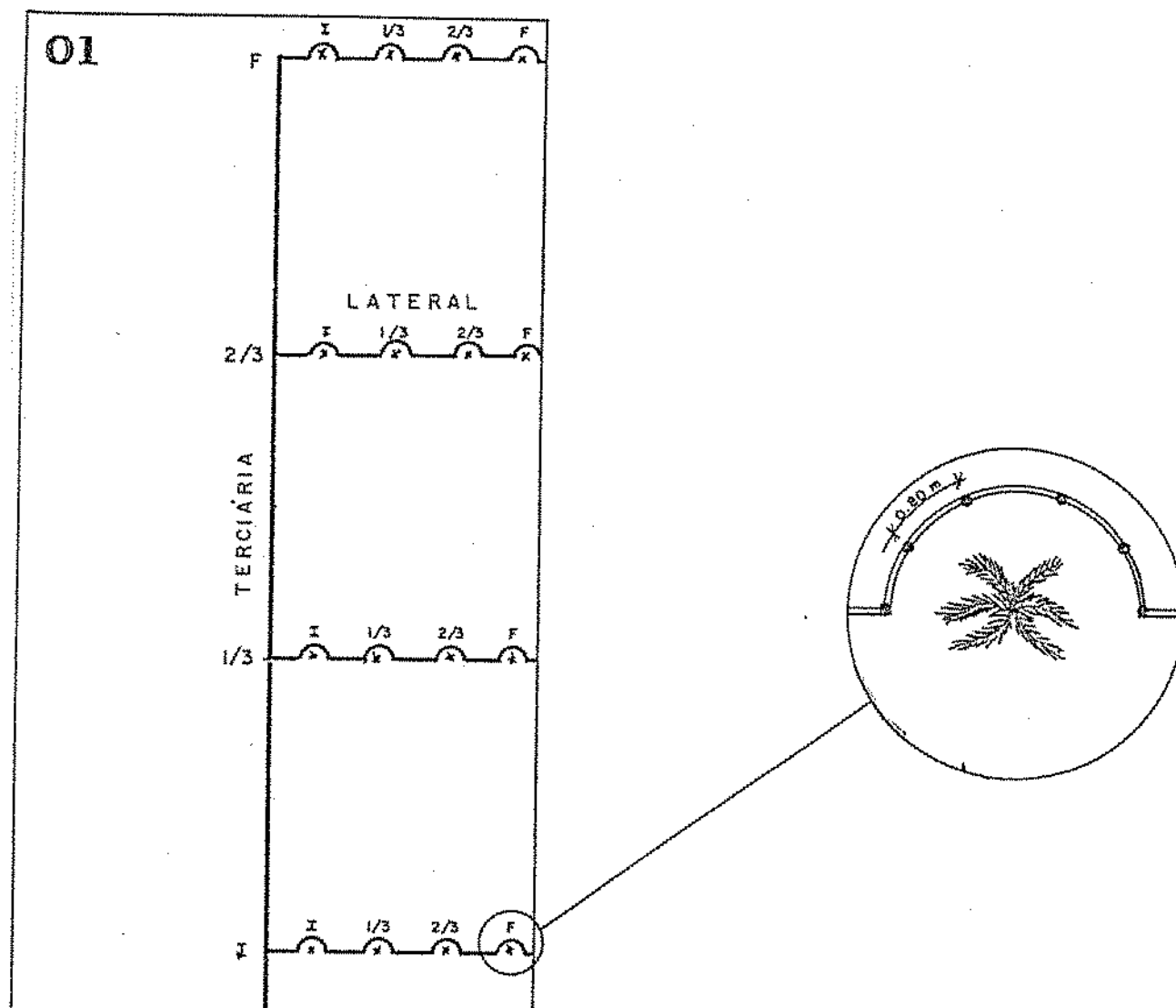


FIGURA 5. Esquema do procedimento de coleta dos microgotejadores, com detalhe dos microgotejadores distribuídos por planta.

### Coefficiente de variação de fabricação

Foram selecionados ao acaso 54 microgotejadores novos de um lote de 10.000, de acordo com SOLOMON (1979) que recomenda um número mínimo de 50 emissores. Os emissores foram instalados em laterais de polietileno de baixa densidade com 2,8 m de comprimento e diâmetro interno de 10,3 mm, espaçados entre si a uma distância de 0,4 m. Assim sendo, cada lateral conteve seis microgotejadores, resultando em nove laterais que foram utilizadas individualmente nas medições de vazão dos emissores.

Todas as laterais foram submetidas a uma pressão de 18 mca que corresponde a uma pressão intermediária da faixa de operação do Katif. Essa pressão era fornecida por um conjunto moto-bomba de 5 CV e controlada por um sistema de by-pass, manômetros de mercúrio e do tipo Bourdon, com precisão de  $\pm 2$  mca. A água utilizada nos testes foi a do abastecimento público que era armazenada numa cisterna e posteriormente filtrada por um filtro de disco de 150 mesh.

A medição de vazão dos microgotejadores foi feita pelo método direto, tendo-se utilizado em cada ponto de emissão recipientes com capacidade de 500 ml para coleta do volume d'água correspondente a cinco minutos. Esses volumes foram medidos em provetas com capacidade de 500 ml e precisão de  $\pm 5$  ml. Em cada lateral foram feitas três repetições de leitura do volume coletado (Figura 6).



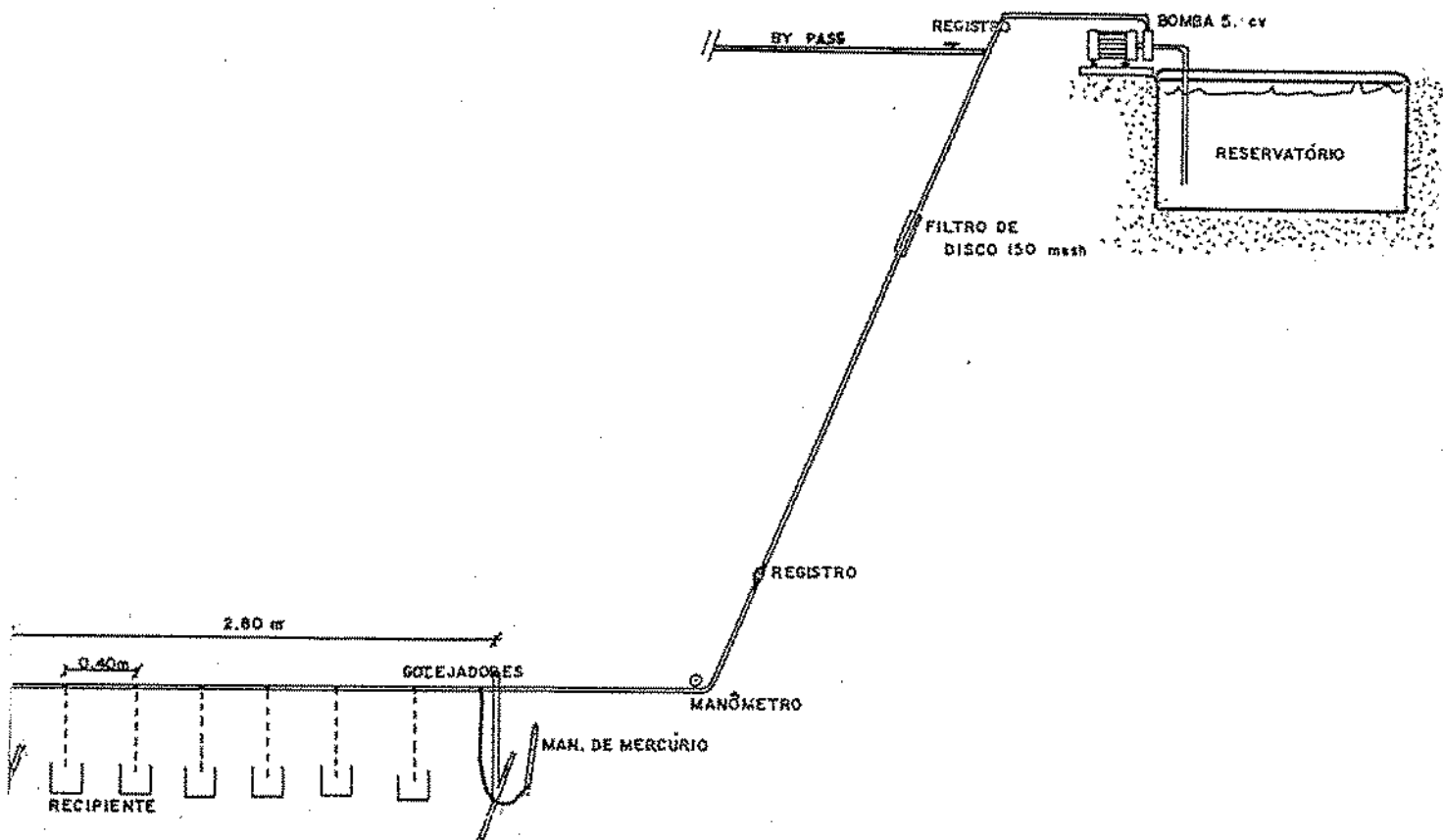


FIGURA 6. Croqui da área de testes.

As vazões individuais de cada microgotejador ( $q_i$ ) e a vazão média dos microgotejadores ( $q_m$ ) foram calculadas como segue:

$$q_i = \left( \sum \text{Vol} / 3 \right) \times 0.012 \quad \text{em l/h} \quad (1)$$

Onde:

Vol é o volume coletado (ml) e 0,012 o fator de conversão para l/h

$$q_m = \sum q_i / 54 \quad \text{em l/h} \quad (2)$$

O coeficiente de variação de fabricação foi determinado pela equação abaixo para uma dada pressão (SOLOMON, 1979).

$$V_m = S_m / q_m \quad (3)$$

Onde:

$S_m$  é o desvio padrão das vazões (l/h) à pressão de 18 mca e  $q_m$  é a vazão média dos emissores (l/h).

A classificação dos microgotejadores quanto ao coeficiente de variação de fabricação foi feita segundo a recomendação da ASAE (1988):

$V_m \leq 0,05$	excelente
$0,05 < V_m \leq 0,07$	médio
$0,07 < V_m \leq 0,11$	marginal
$0,11 < V_m \leq 0,15$	deficiente
$V_m > 0,15$	inaceitável

### Coefficiente de uso

Para determinação do coeficiente de variação dos emissores coletados no campo seguiu-se a mesma metodologia citada anteriormente. Foram testados 96 microgotejadores em 16 laterais, cada uma contendo 6 emissores, considerando a posição que cada conjunto de 6 microgotejadores ocupava no sistema, ou seja, a posição das laterais na terciária e dos emissores na lateral. A posição de cada microgotejador dentro do trecho não foi considerada.

O coeficiente de uso foi determinado por:

$$Vu = Su/qm \quad (4)$$

Onde:

Su é o desvio padrão das vazões (l/h) à pressão de 18 mca e qm a vazão média (l/h) dos emissores usados.

As vazões (l/h) médias dos microgotejadores por trecho de lateral foram determinadas pela equação abaixo:

$$\begin{aligned} &\text{Vazão (l/h) média por trecho de lateral } qm(t) \\ qm(t) &= \sum q_i / 6 \quad (5) \end{aligned}$$

### Relação vazão-pressão dos microgotejadores

Utilizaram-se na determinação da equação característica dos emissores dados de vazões coletadas em três laterais, selecionadas ao acaso dentre as 9 laterais utilizadas na determinação

do coeficiente de variação de fabricação, para as pressões de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 e 36 mca. Essas pressões abrangem a faixa na qual, segundo o fabricante, o emissor é auto-compensante, sendo esta de 6 a 35 mca. As medições de vazões também foram efetuadas pelo método direto tal como descritas anteriormente sem, entretanto, repetições. Foram, então, testados 18 emissores e obtida uma vazão média das três laterais para cada pressão.

Objetivando-se verificar o fenômeno de histerese na relação vazão-pressão foram feitas medições de vazões para pressões crescentes (3 a 36 mca) e depois para pressões decrescentes de (36 a 3 mca). Assim sendo, obteve-se a vazão (l/h) do micro-gotejador a uma determinada pressão  $h$  dada por:

$$q_i(h) = Vol \times 0,012 \quad (6)$$

A vazão (l/h) média a uma pressão  $h$  foi obtida como segue:

$$q_m(h) = \sum q_i(h) / 18 \quad (7)$$

De posse dos valores médios das vazões e de suas respectivas pressões foram determinadas, através do Software CURVEFIT, as equações que relacionam vazão e pressão para as pressões crescentes apenas. Esse Software faz o ajuste dos dados para 25 equações fornecendo para cada uma delas o valor do coeficiente de correlação ( $R^2$ ). Foi feita uma seleção de equações levando-se em consideração seus respectivos coeficientes de correlação e o grau de complexidade matemática, e um estudo compara-

tivo entre essas e a equação potencial que, segundo HOWELL & HILER (1974), KELLER & KARMELI (1974), YITAYEW & WARRICK (1988), é a equação que geralmente melhor caracteriza os emissores.

Antes das coletas dos volumes, em todas as determinações, as laterais foram submetidas por 3 minutos, às pressões máxima (36 mca) e mínima (3 mca) alternadamente por 3 vezes. Para cada mudança de pressão na determinação da relação vazão-pressão, esperaram-se três minutos antes de iniciarem-se as coletas dos volumes.

#### Coefficiente de uniformidade de aplicação

Assumindo que os efeitos da temperatura são normalmente negligenciáveis, considerou-se que as variações de vazão dos emissores serão devidas apenas às variações de pressão, fabricação e condição de uso. O coeficiente de uniformidade de aplicação foi estimado pelos métodos de KARMELI & KELLER (1975) e de BRALTS *et al.* (1981a e 1981b). O método de KARMELI & KELLER (1975) é descrito a seguir:

$$CU = 100(1 - 1,27Ve^{-0.5}) q_{min}/q_m \quad (8)$$

Onde  $V$  é o coeficiente de variação de fabricação ( $V_m$ ) ou de uso ( $V_u$ ) do emissor; e corresponde ao número de emissores por planta;  $q_{min}$  é a vazão do microgotejador que funciona mais desfavoravelmente;  $q_m$  é vazão média dos microgotejadores.

O método de BRALTS *et al.* (1981a e 1981b) considera que as variações de vazão dos emissores devido à pressão, fabricação e uso têm distribuição normal. Além do mais são independentes e podem ser combinadas linearmente. O coeficiente de uniformidade ( $U_s$ ) por esse método é estimado pelo conjunto das seguintes equações:

$$U_s = 1 - V_t \quad (9)$$

$$V_t = (V + V_h)^{0,5} \quad (10)$$

$$V_{sn} = V_m/e^{0,5} \quad (11)$$

$$V_{su} = V_u/e^{0,5} \quad (12)$$

$$V_h = S_h/q_m \quad (13)$$

Onde  $U_s$  é o coeficiente de uniformidade de aplicação;  $V_t$  o coeficiente de variação total;  $V$  pode assumir o coeficiente de variação de fabricação ( $V_m$ ) ou de uso ( $V_u$ ) ou do sistema ( $V_s$ ),  $V_{sn}$  e  $V_{su}$  são, respectivamente, os coeficientes de variação do sistema para emissores novos e usados;  $V_h$  é o coeficiente de variação hidráulica;  $S_h$  é o desvio padrão das vazões; e  $q_m$  é a vazão média.

As vazões média e mínima dos microgotejadores novos e usados com os respectivos desvios padrões foram obtidos para a faixa de pressão de 6 a 36 mca com intervalos de 1 mca, utilizando-se as equações características que apresentaram melhor correlação. As equações dos coeficientes de uniformidade de aplicação foram adaptadas para que se incluíssem as variações devido ao

uso.

### Comprimentos máximos de laterais

Foram determinados os comprimentos máximos de laterais baseando-se em alguns parâmetros utilizados pelo fabricante na recomendação de comprimentos de laterais. Esses parâmetros foram o diâmetro interno do tubo de polietileno, o espaçamento entre emissores e a pressão no início da lateral. O cálculo dos comprimentos máximos de laterais foram feitos considerando-se a vazão dos emissores constante, a máxima perda de carga admissível na qual o microgotejador funciona como autocompensante e a velocidade máxima na lateral de 2,0 m/s.

A perda de carga por atrito na lateral foi determinada através da equação de Darcy-Weisbach com um fator de atrito  $f$  determinado pela equação de Blasius para condutos lisos. Para corrigir-se a perda de carga devido às múltiplas saídas utilizou-se o fator  $F$  de Christiansen (1942). As perdas de carga provocadas pelas conexões dos microgotejadores foram consideradas em termos de comprimento linear de tubulação obtido pela equação desenvolvida por PITTS *et al.* (1986) baseada (Figura 7) nos resultados de WATTERS & KELLER (1978). Assim, foram utilizadas as seguintes equações:

$$H = 0,000789 (L + N \cdot L_e) Q^{1.75} D^{-4.75} F \quad (14)$$

Onde  $H$  é a perda de carga admissível na lateral em m;  $L$  é o comprimento linear de tubulação em m;  $N$  é o número

de emissores na lateral;  $L_e$  é o comprimento equivalente de tubulação devido à conexão do microgotejador;  $Q$  é a vazão da lateral em  $m^3/s$ ;  $D$  é o diâmetro interno do tubo em m e  $F$  é o fator de correção para múltiplas saídas.

$$L_e = 0,25 d_c (19 D^{-1,90}) \quad (15)$$

Onde  $d_c$  é o diâmetro médio da conexão do microgotejador em mm e  $D$  é o diâmetro interno da lateral em mm (Figura 7).

$$N = L/s \quad (16)$$

Onde  $s$  é o espaçamento entre emissores em m.

$$Q = 0,2778 \cdot 10^{-6} (N q) \quad (17)$$

Onde  $q$  é a vazão média ( $l/h$ ) no intervalo de pressões no qual o microgotejador mostrou-se autocompensante.

$$F = 1/(m + 1) + 1/2N + (m - 1)^{0,5}/N^2 \quad (18)$$

Onde  $F$  é o fator de Christiansen,  $m$  é o expoente da velocidade na equação de perda de carga e  $N$  o número de saídas.

O procedimento matemático acima descrito foi implementado no Software QUATTRO PRO (planilha de cálculo) para viabilizar a determinação dos comprimentos máximos de laterais através de um processo iterativo, uma vez que a variável  $L$  da equação de



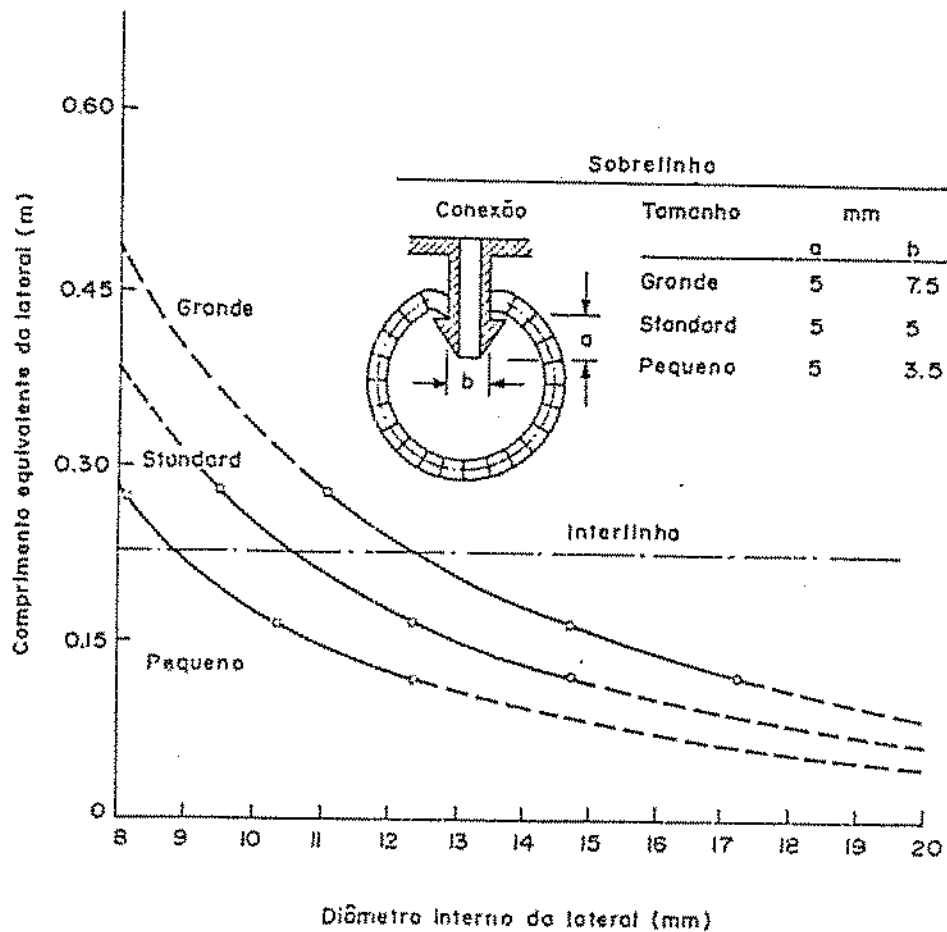


FIGURA 7. Perda de carga localizada provocada pela conexão dos emissores, medida em comprimento equivalente de lateral (WATTERS & KELLER, 1978).

Darcy-Weisbach é uma variável implícita. Os valores de  $L$  foram incrementados de forma que os limites máximos de perda de carga e velocidade de fluxo não fossem ultrapassados.

Para verificação dos cálculos de comprimentos máximos determinou-se em laboratório a perda de carga numa lateral com 20 m de comprimento e diâmetro interno de 10,3 mm com emissores espaçados de 1,0 m. A perda de carga foi obtida para as pressões no início de 10, 15, 20, 25 e 30 mca. através da diferença de pressões entre dois manômetros de mercúrio instalados no início e no final da lateral. Foram coletadas as vazões dos emissores localizados no início, a  $1/3$  do início, a  $2/3$  do início e no final da lateral. Em cada um desses trechos mediu-se a vazão de três emissores adjacentes, obtendo-se as vazões de 12 microgotejadores dos 20 instalados na lateral.

## CAPITULO IV

## RESULTADOS E DISCUSSAO

## Coeficiente de variação de fabricação

Os valores de vazões dos 54 microgotejadores ensaiados, para o cálculo do coeficiente de variação de fabricação, são apresentados na Tabela A-2. Obteve-se uma vazão média dos microgotejadores, à pressão de 18 mca, igual a 4,33 l/h com um desvio padrão de 0,2062 l/h e um coeficiente de variação de fabricação ( $V_m$ ) de 0,048.

A vazão média dos microgotejadores mostrou-se superior à vazão nominal (3,75 l/h) em 15,47%. Pôde-se observar que as vazões máxima (4,80 l/h) e mínima (3,89 l/h) foram, respectivamente, superiores à vazão nominal em 28% e 3,73%.

Os microgotejadores apresentaram um coeficiente de variação de fabricação considerado excelente segundo a classificação da ASAE (1988), apesar da complexidade de sua configuração com seções de escoamento de aproximadamente 0,2 mm e do mecanismo de autorregulagem da vazão com peças móveis e elásticas, que têm sido responsáveis por valores altos de coeficientes de variação de fabricação, insatisfatórios, nos autocompensantes até então desenvolvidos (ABREU et al., 1987).

Sob as condições de laboratório nas quais foram ensaiados os microgotejadores as diferenças observadas entre as vazões

podem ser atribuídas a dois fatores principais, quais sejam, as variações devido o processo de fabricação e as variações de temperatura da água. No entanto, de acordo com alguns estudos, o efeito da temperatura da água em emissores com regime de fluxo turbulento ou transitório não é significativo. Isso foi constatado por PARCHOMCHUCK (1976) que verificou um aumento de apenas 1% na vazão para uma variação de temperatura de 7 a 38°C, em emissores tipo orifício. FARIA *et al.* (1982a) observaram também que para uma variação de 25°C a vazão do microgotejador autocompensante IRTEC com membrana de silicone, semelhante ao Katif, aumentou em apenas 1,24%. Assim sendo, neste estudo, as variações de vazões entre emissores foram atribuídas apenas ao processo de fabricação, ou seja, às rebarbas de plástico nas seções de escoamento, às variações nas dimensões das seções de escoamento e às alterações nas propriedades elásticas das membranas de silicone.

Comparando o coeficiente de variação de fabricação do microgotejador Katif com o de outros emissores (Tabela 1) verifica-se que o Katif apresenta uma melhor uniformidade de fabricação que vários emissores autocompensantes e não autocompensantes. Entre os quatorze emissores apresentados na Tabela 1, apenas quatro possuem uniformidades de fabricação melhores que o Katif em questão. Ademais, esses emissores, por serem não autocompensantes, são de fácil manufaturamento favorecendo, então, uniformidades de fabricação excelentes. Três dos cinco emissores autocompensantes (Tabela 1) possuem coeficientes de variação de fabricação marginais enquanto para o restante os coeficientes são

um deficiente e outro médio.

TABELA 1. Coeficientes de variação de fabricação de vários emissores segundo PITTS *et al.* (1986).

Fabricante	Nome	Vazão(l/h)	Tipo	Vm
Rainbird	Rainbug	4	Autocompensante	0,076
Defco	Rainmate	4	Autocompensante	0,112
Spot Systems	Vortex	4	Vórtice	0,111
Global		4	Autocompensante	0,115
RIS	Turbo-Key	4	Fluxo turbulento	0,075
Netafim	Button	4	Labirinto	0,023
Bowsmith	S-10	4	Orif. flexíveis	0,077
Tirosh		4	Vórtice	0,045
Reed	E-2	4	Fluxo laminar	0,051
Plastro Gvat	<u>Katif</u>	2	Autocompensante	0,053
Global	Micflapper	2	Autocompensante	0,141
Lake	1000	4	Fluxo laminar	0,092
Lake	1500	4	Labirinto	0,040
Lake	In-line	4	Labirinto	0,014

Considerando que os emissores autocompensantes, devido a sua complexidade de fabricação, apresentam altos coeficientes de variação de fabricação, este estudo constatou, no caso do Katif (coeficiente de variação de fabricação excelente) um grande progresso tecnológico no manufaturamento de emissores desse tipo. A Tabela 1 ilustra, ainda, os diferentes níveis de tecnologia

empregados pelos fabricantes no manufaturamento de emissores. Isso observa-se tanto nos emissores autocompensantes (já comentados) como nos emissores tipo vórtice (não autocompensantes). Conforme a Tabela 1, com certeza o fabricante "Tirosh" utiliza uma tecnologia mais avançada que o fabricante "Spot Systems" na produção de emissores tipo vórtice.

#### Coefficiente de uso

A Tabela A-3 apresenta as vazões dos microgotejadores usados para uma pressão de 18 mca. A vazão média dos 96 microgotejadores testados foi de 4,26 l/h com um desvio padrão de 0,3949 l/h. Obteve-se, então, um coeficiente de variação para os emissores usados ( $V_u$ ) igual a 0,093, o qual foi denominado de coeficiente de uso.

A vazão média dos microgotejadores usados foi inferior à dos novos em 1,64% e superior em 13,60% à vazão nominal do emissor. As vazões máxima e mínima foram, respectivamente, 5,28 l/h e 1,66 l/h. Essa pequena redução na vazão média, com relação aos emissores novos, para efeitos práticos, não é significativa, mas mostra indícios de entupimento.

Observa-se que os microgotejadores usados apresentaram uma maior desuniformidade nas vazões com relação aos novos. De acordo com a classificação anteriormente citada esses tornam-se marginais após 2,5 anos de utilização resultando, assim, numa degeneração da performance do sistema de irrigação. As variações detectadas, além de incorporarem o efeito do processo de fabrica-

ção, podem incluir alterações nas seções de escoamento provocadas pelo entupimento parcial e por modificações na rugosidade e nas propriedades físicas das membranas.

Conforme SOLOMON & KELLER (1978), ABREU *et al.* (1987) é impossível que todos os emissores de uma amostragem tenham o mesmo coeficiente de descarga,  $K_d$ . No entanto, essa afirmação, a princípio não se aplica aos microgotejadores autocompensantes porque nestes a variação de pressão faz com que a seção de escoamento também varie. Assim sendo, para cada pressão tem-se uma nova seção e conseqüentemente um coeficiente de descarga diferente. A afirmação desses autores tem validade, no caso dos autocompensantes, para uma determinada pressão apenas.

Analisando as vazões médias dos microgotejadores por trechos de laterais (Tabela 2) verifica-se uma redução significativa do coeficiente de variação que passou de 0,093, considerando-se os emissores individualmente, para 0,038 considerando-os operando em conjunto. Havendo, conseqüentemente, melhora importante na uniformidade de aplicação.

Observa-se na Tabela 2 que não houve uma tendência de redução de vazão, dentro das laterais, numa direção definida como foi verificado por ADIN & SACKS (1991) e ORON *et al.* (1979). A vazão máxima (4,54 l/h) mostrou-se 6,57% superior à vazão média (4,26 l/h) e a vazão mínima (3,93 l/h) 8,40% inferior à vazão média.

Importante se faz salientar que as partículas estranhas

no interior do microgotejador Katif podem alterar o seu funcionamento tanto reduzindo como aumentando a vazão. Verificaram-se no projeto visitado, microgotejadores com vazões alteradas em função do mal funcionamento da membrana. Em alguns casos, a solução encontrada pelos irrigantes era golpear o microgotejador até que a membrana retornasse ao seu funcionamento normal.

TABELA 2. Vazões médias (l/h) dos microgotejadores para diferentes posições das laterais e dos emissores.

POSIÇÃO DOS EMISSORES	POSIÇÃO DA LATERAL			
	L I	L 1/3	L 2/3	L F
I	4,36	4,24	4,28	4,34
1/3	4,00	4,32	4,38	4,47
2/3	3,93	4,03	4,30	4,54
F	4,17	4,21	4,21	4,38

L I - lateral localizada no início da terciária  
 L 1/3 - lateral localizada a um terço da terciária  
 L 2/3 - lateral localizada a dois terços da terciária  
 L F - lateral localizada no final da terciária

I - microgotejadores localizados no início da lateral  
 1/3 - microgotejadores localizados a um terço da lateral  
 2/3 - microgotejadores localizados a dois terços da lateral  
 F - microgotejadores localizados no final da lateral

#### Relação vazão-pressão de microgotejadores novos

A relação entre a vazão e a pressão para os microgotejadores novos foi obtida a partir dos dados contidos na Tabela A-



4. A Tabela 3 apresenta valores de vazões (l/h) para as pressões estudadas.

TABELA 3. Valores de vazões (l/h) dos microgotejadores novos para diferentes pressões.

P (mca)	Lateral 1		Lateral 2		Lateral 3		Média	
	(C)	(D)	(C)	(D)	(C)	(D)	(C)	(D)
3	5,36	5,17	5,25	5,07	5,19	4,80	5,27	5,01
6	4,51	4,24	4,29	4,07	4,16	3,87	4,32	4,06
9	4,24	4,05	4,10	3,91	4,01	3,82	4,12	3,93
12	4,36	4,13	4,21	4,04	4,13	3,90	4,23	4,02
15	4,22	4,05	4,22	4,01	4,12	3,90	4,19	3,99
18	4,29	4,06	4,11	3,98	4,09	3,91	4,16	3,98
21	4,24	4,10	4,15	4,03	4,08	3,93	4,16	4,02
24	4,35	4,19	4,22	4,11	4,14	4,01	4,24	4,10
27	4,41	4,28	4,29	4,21	4,20	4,09	4,30	4,19
30	4,48	4,40	4,39	4,27	4,25	4,18	4,37	4,28
33	4,56	4,48	4,45	4,28	4,32	4,27	4,44	4,34
36	4,60	4,60	4,47	4,47	4,36	4,36	4,48	4,48

P - pressão  
 (C) - pressões crescentes  
 (D) - pressões decrescentes

A Figura 8 apresenta a curva característica do microgotejador Katif fornecida pelo fabricante e duas outras obtidas a partir de testes. Verifica-se que o microgotejador Katif tem um

comportamento hidráulico diferenciado quando o sistema começa a funcionar com uma pressão baixa e vai adquirindo pressão e vice-versa. O Katif forneceu vazões maiores quando as medições de vazão, para diferentes pressões, foram feitas a começar por uma pressão baixa e seguindo-se por pressões mais altas (pressões crescentes). Isso caracteriza o fenômeno de histerese que ocorre nos materiais elásticos e em outros equipamentos como reguladores de vazão e de pressão. No caso dos microgotejadores Katif esse fenômeno é proporcionado pela membrana de silicone.

A implicação prática do fenômeno de histerese na hidráulica dos microgotejadores autocompensantes está associada tanto ao dimensionamento das tubulações quanto à quantidade de água aplicada às plantas. No entanto, os sistemas de irrigação pressurizados funcionam, normalmente, adquirindo pressão, ou seja, o sistema é ligado e levado a uma pressão de funcionamento desejada. Assim sendo, um sistema de irrigação projetado a partir de uma curva vazão-pressão determinada por um procedimento de perda de pressão pelo sistema (pressão decrescente), na prática, terá os comprimentos das tubulações e o tempo de aplicação superdimensionados. Essa situação pode resultar em pressões, em trechos finais das laterais, que estejam fora do intervalo de auto-compensação, comprometendo, então, a uniformidade de distribuição d'água do sistema. Outrossim, o tempo de irrigação pode ser tal que reduza a eficiência de aplicação d'água.

NOGUEIRA & GORNAT (1990) e BORDIGNON & TESTEZLAF (1993) observaram, também, o fenômeno de histerese em gotejadores auto-

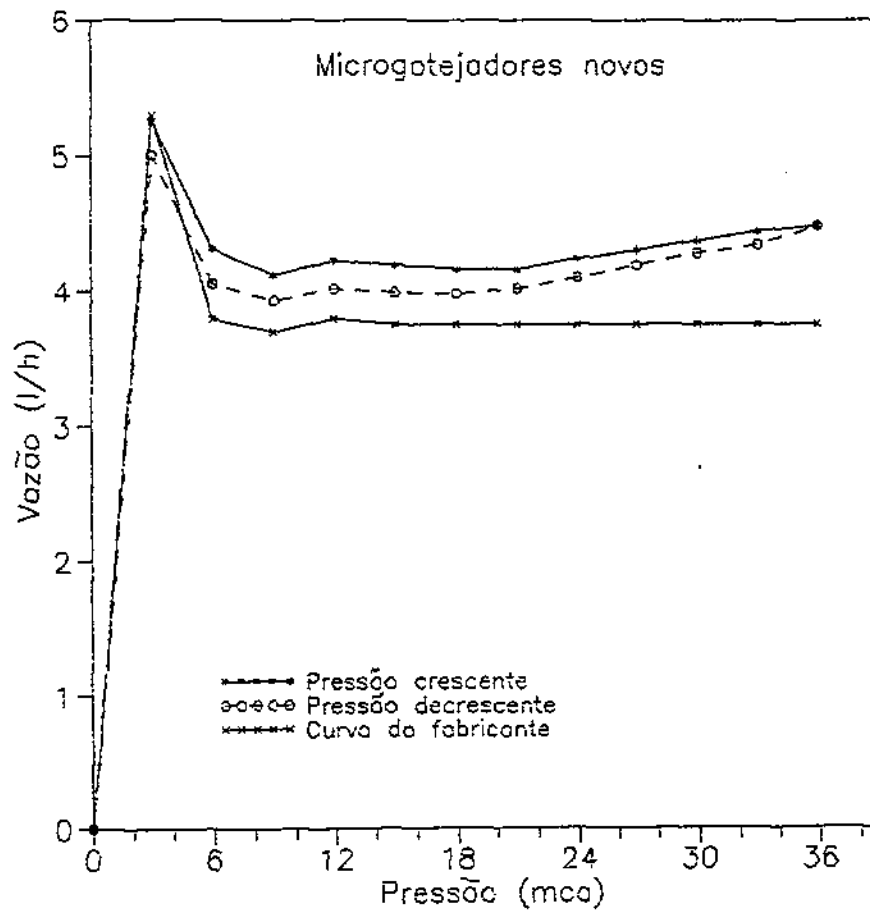


FIGURA 8. Curvas características dos microgotejadores novos e fenômeno de histerese.

compensantes, no entanto, o efeito desse fenômeno no microgotejador Katif (em estudo) foi mais acentuado que nos emissores estudados por esses pesquisadores.

Observa-se na Figura 8 que existem 3 regiões distintas na curva vazão-pressão dos microgotejadores. A primeira, denominada de região de auto-limpeza, compreende às pressões abaixo de 6 mca, que está de acordo com o fabricante, onde a vazão máxima chegou a 5,27 l/h. A segunda que vai de 6 a 18 mca onde ocorre uma transição, e a terceira de 18 a 36 mca onde se observa um aumento gradativo da vazão com a pressão. Esse aumento, porém, foi um comportamento inesperado visto que, teoricamente, com o aumento da pressão no emissor se esperaria uma maior compressão da membrana sobre o orifício de saída reduzindo-se, então, a seção de escoamento e, conseqüentemente, mantendo a vazão constante ou reduzindo-a. Nas três laterais testadas verificou-se esse comportamento (Tabela 3). Prováveis explicações para esse fato seriam a limitação na flexibilidade da membrana que a partir de 21 mca não reduziria mais a seção de saída resultando-se, então, num aumento da vazão com a pressão, e/ou o tempo a que foram submetidos os microgotejadores em cada pressão ter sido insuficiente para total estabilização da membrana de silicone. Esse mesmo comportamento foi observado por BORDIGNON & TESTEZLAF (1993) em microgotejadores Katif com vazão nominal de 2,3 l/h.

A característica de autolimpante do microgotejador pode ser observada no momento do desligamento e religamento do sistema, sendo ela de grande importância na prevenção do entupimento.

Acredita-se que até o presente não se tem um procedimento que estime a eficiência desse mecanismo de auto-limpeza, mas se sabe que ele pode ser causador de problemas. Embora seja trabalhosa e difícil a detecção destes problemas é fundamental a inspeção rotineira das laterais para detectá-los, já que não se tem total segurança quanto a essa capacidade de auto-limpeza do sistema.

Sob pressões crescentes, numa variação de pressão de 6 a 36 mca, as vazões máxima e mínima foram de 4,48 l/h a 36 mca e 4,12 l/h a 9 mca, respectivamente, correspondendo a uma variação de vazão de 8,74%. Essa variação, para a ampla faixa de pressão estudada, caracteriza o microgotejador como autocompensante, uma vez que variações de até 10% são consideradas aceitáveis pela maioria dos estudiosos em irrigação localizada (BERNARDO, 1987; OLITTA, 1986; NIR, 1982). Observa-se, no entanto, que o emissor não é perfeitamente autocompensante (na faixa de pressão estudada) tal como é mostrado pelo fabricante (Figura 8).

A vazão média do microgotejador para as pressões crescentes no intervalo de autocompensação (6 a 36 mca) foi de 4,27 l/h, a qual é superior à vazão nominal em 13,87%. As vazões apresentaram um coeficiente de variação de 0,027.

Observa-se na Figura 8 que a curva de vazão referente às pressões decrescentes se aproxima mais da curva do fabricante. Sob pressões decrescentes os microgotejadores apresentaram, no intervalo de autocompensação, uma vazão média de 4,13 l/h e um coeficiente de variação de 0,040. A variação de vazão nesse in-

tervalo foi de 12,56%. Os resultados indicam, portanto, que as vazões obtidas com pressões crescentes apresentam-se mais uniformes.

A Tabela 4 apresenta cinco equações para os microgotejadores novos funcionando sob pressões crescentes. Essas equações foram selecionadas dentre 25 equações obtidas através do Software CURVEFIT. Utilizaram-se, na determinação dessas equações, dados de vazão referentes às três faixas de funcionamento do emissor.

TABELA 4. Equações dos microgotejadores novos obtidas através do Soft Curvefit para o intervalo de 3 a 36 mca.

N°	COEFICIENTES			EQUAÇÕES	R <sup>2</sup>
	A	B	C		
1	2,3780	6,4249	0,1603	$Q = A \cdot B^{(1/H)} \cdot H^C$	0,9744
2	6,4327	1,0155	-0,2501	$Q = A \cdot B^H \cdot H^C$	0,8943
3	4,1231	2,7091		$Q = A + B/H$	0,5911
4	4,1403	1,7624		$Q = A \cdot B^{(1/H)}$	0,5659
5	4,8849	-0,0422		$Q = A \cdot H^B$	0,2324

Verifica-se na Tabela 4 que a equação potencial (5), usualmente utilizada para caracterizar um emissor, apresenta um coeficiente de correlação muito baixo (0,2324). O coeficiente de descarga (4,8849) é o fator preponderante uma vez que o expoente da equação (-0,0422) aproxima-se de zero. O expoente negativo implica que a vazão diminui quando a pressão aumenta. No entanto

os dados medidos mostram que isso só ocorre na faixa de auto-limpeza e de transição. PITTS *et al.* (1986) encontraram para o KATIF 2,3 l/h um expoente para equação potencial igual a - 0,018 e um  $R^2 \approx 0,2916$ . Esses autores atribuem o baixo coeficiente de correlação ao comportamento hidráulico irregular do emissor. NOGUEIRA & GORNAT (1990) também encontraram baixos valores de  $R^2$  para equação potencial correlacionando vazão-pressão em gotejadores autocompensantes.

Matematicamente a equação potencial é insuficiente para explicar as três faixas de funcionamento do emissor, isso porque a curva característica não tem um comportamento do tipo potencial em todo o intervalo (3 a 36 mca). O expoente negativo da equação pode ser uma consequência do trecho de auto-limpeza que apresenta as maiores vazões. A sofisticação da Equação (1), denominada módulo de Hoerl, lhe propicia uma grande habilidade matemática para descrever o comportamento hidráulico das três faixas de funcionamento do microgotejador.

A validação das equações (Tabela 4), para fins práticos, foi verificada através de uma análise do dimensionamento de tubulações laterais. Nessa análise, utilizou-se a equação de Darcy-Weisbach e consideraram-se as vazões médias, referentes ao intervalo de pressão de 6 a 36 mca, estimadas a partir dessas equações. A análise foi feita para duas diferentes condições de dimensionamento no que diz respeito ao comprimento da lateral, espaçamento entre emissores e perda de carga admissível. A Tabela 5 mostra os resultados dessa análise.

TABELA 5. Dimensionamento de tubulações laterais a partir das equações apresentadas na Tabela 4.

EQUAÇÃO	VAZAO (l/h)	DIAMETRO CALCULADO (mm)	DIAMETRO COMERCIAL (mm)
Comprimento da lateral 100 m, espaçamento entre emissores 1,0 m e perda de carga admissível de 15 m.			
1	4,27	9,41	10,3
2	4,28	9,42	10,3
3	4,29	9,43	10,3
4	4,29	9,43	10,3
5	4,32	9,45	10,3
Comprimento da lateral 200 m, espaçamento entre emissores 1,25 m e perda de carga admissível de 24m.			
1	4,27	11,71	13,0
2	4,28	11,72	13,0
3	4,29	11,73	13,0
4	4,29	11,73	13,0
5	4,32	11,76	13,0

De acordo com esse tipo de análise, verifica-se que, do ponto de vista do dimensionamento hidráulico, não há diferenças na utilização de qualquer uma das equações analisadas pois o diâ-



metro comercial a ser selecionado será o mesmo. Na verdade, isso ocorreu porque as vazões médias estimadas, no caso em estudo, não apresentaram diferenças que possam afetar o dimensionamento.

Sob o aspecto do manejo d'água, no entanto, a equação potencial superestima a vazão do microgotejador nas pressões de 6 a 24 mca em até 8,0% (0,33 l/h) e a subestima no intervalo de 24 a 36 mca em até 6,7% (0,28 l/h), o que resulta em cálculos de lâmina de irrigação com déficits ou com perdas por percolação provavelmente indesejáveis (Figura 9). As vazões estimadas pela função módulo de Hoerl (Equação 1) apresentam um coeficiente de variação de 0,0241 enquanto que a função potencial resulta num coeficiente igual a 0,0231.

Fazendo-se, isoladamente, o ajuste apenas da faixa de autocompensação (6 a 36 mca), foram obtidas as seguintes equações:

$$Q = 5,098 \cdot 1,009 H \cdot H^{-0,1248} \quad (19)$$

$$Q = 3,9603 \cdot H^{0,026} \quad (20)$$

Os valores de  $R^2$  referentes a esses ajustes foram, 0,8859 (melhor ajuste das 25 equações obtidas com o CURVEFIT) e 0,2864, para a função potencial.

Analisando os intervalos de 3 a 18 mca e 18 a 36 mca obteveram-se as seguintes equações:

Para pressões de 3 a 18 mca:

$$Q = 2,3969 \cdot 6,2655(1/H) \cdot H^{0,1593}, R^2 = 0,9847 \quad (21)$$

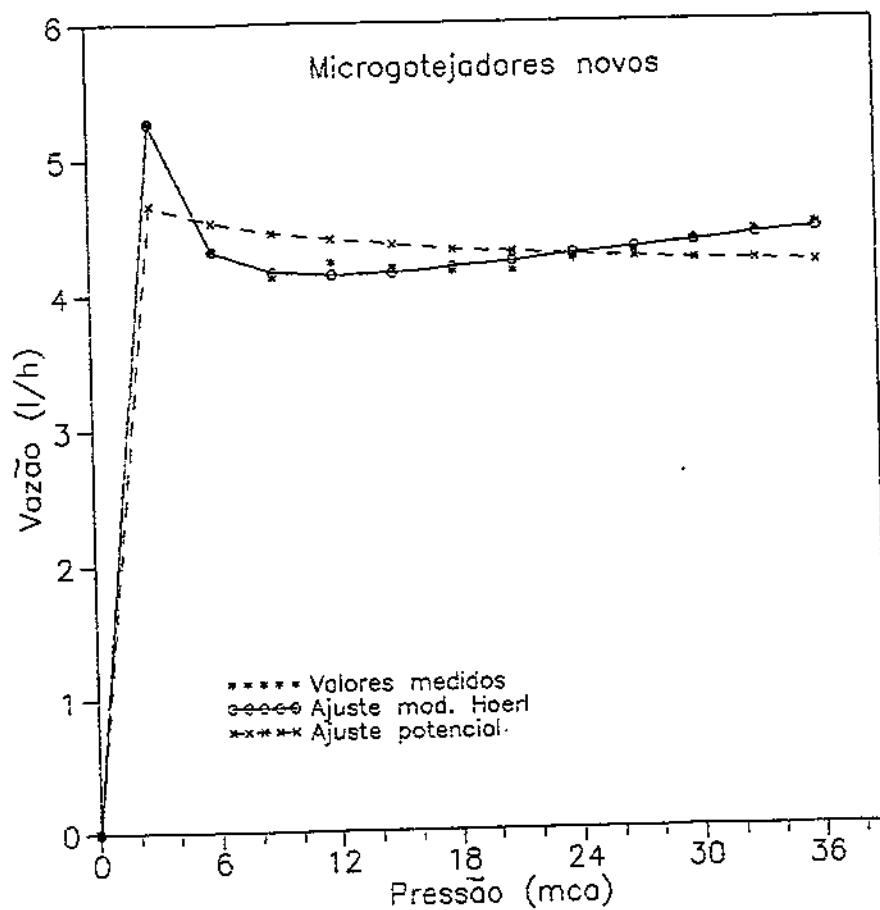


FIGURA 9. Curvas de vazão-pressão dos microgotejadores novos, obtidas através de regressões.

$$Q = 5,6952 \cdot H^{-0,1212}, R^2 = 0,7342 \quad (22)$$

Para pressões de 18 a 36 mca:

$$Q = 1,2026 \cdot 194,4701(1/H) \cdot H^{0,3271}, R^2 = 0,9875 \quad (23)$$

$$Q = 2,9326 \cdot H^{0,1174}, R^2 = 0,9567 \quad (24)$$

Pode-se constatar novamente que o sinal negativo da equação potencial é gerado pela região de auto-limpeza do emissor. Para o intervalo de 18 a 36 mca a equação potencial mostra uma correlação muito boa, isso porque ocorre nesse um aumento gradual da vazão com a pressão, o que pode ser confirmado pela forma da curva nesse intervalo (FIGURA 8). A função módulo de Hoerl apresenta-se como a de melhor correlação em quase todos os intervalos estudados. Assim sendo essa equação é a que melhor descreve o comportamento hidráulico do microgotejador Katif estudado.

#### Relação vazão-pressão de microgotejadores usados

A Tabela 6 apresenta os dados de vazão-pressão dos microgotejadores usados obtidos a partir da Tabela A-5.

Observa-se na Figura 10 que os microgotejadores usados têm um comportamento hidráulico semelhante ao dos microgotejadores novos, verificando-se as mesmas regiões de funcionamento, inclusive, com os mesmos intervalos de pressão. Para pressões crescentes a máxima variação de vazão, no intervalo de 6 a 36 mca, foi de 11,98%, correspondendo a 37,07% superior à dos emissores novos. Essa variação ultrapassa o limite máximo recomendado

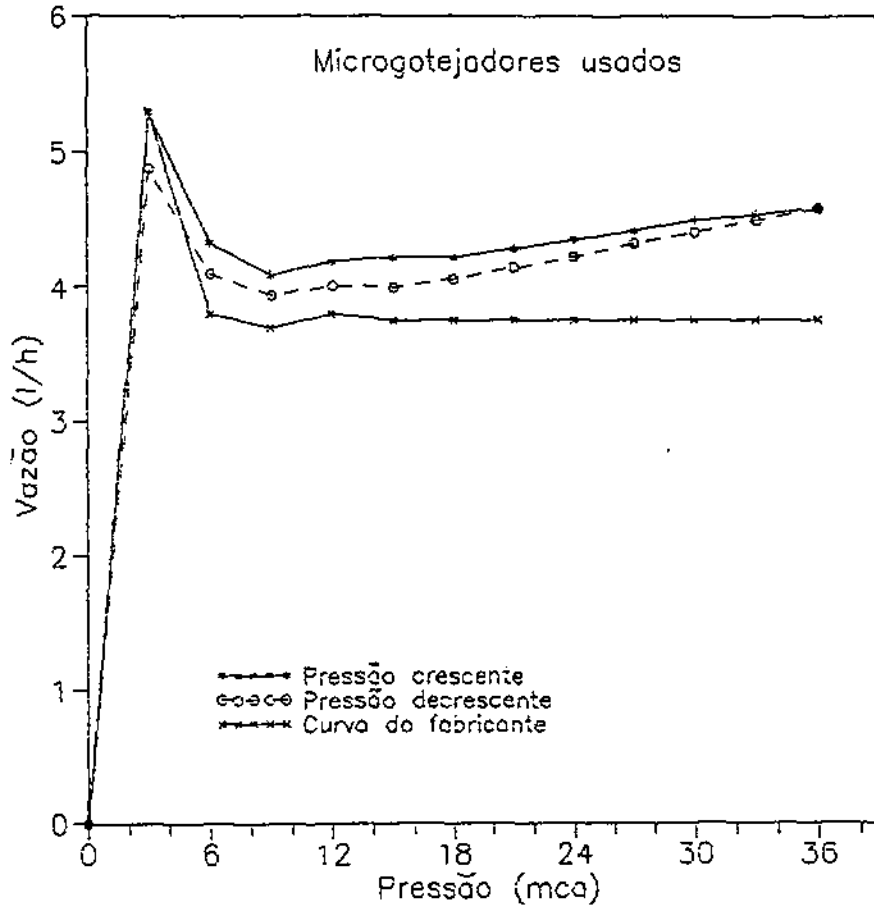


FIGURA 10. Curvas características dos microgotejadores usados e fenômeno de histerese.

de 10% . As vazões máxima e mínima, no intervalo de 6 a 36 mca, foram 4,58 l/h e 4,09 l/h, respectivamente, nas pressões de 36 e 9 mca. Vale lembrar que os valores extremos de vazão nos microgotejadores novos ocorreram também nessas pressões. A vazão média do microgotejador foi de 4,34 l/h, o que corresponde a 1,64% su-

TABELA 6. Valores de vazão (l/h) dos microgotejadores usados para diferentes pressões.

P (mca)	L 1/3: I		L 2/3: I		L F: I		Média	
	(C)	(D)	(C)	(D)	(C)	(D)	(C)	(D)
3	5,25	4,36	5,28	5,11	5,34	5,16	5,29	4,88
6	4,31	4,11	4,14	3,90	4,54	4,29	4,33	4,10
9	4,09	3,97	3,99	3,85	4,18	3,99	4,09	3,94
12	4,21	4,00	4,15	3,98	4,21	4,05	4,19	4,01
15	4,21	3,95	4,21	4,03	4,24	4,03	4,22	4,00
18	4,17	4,00	4,22	4,08	4,26	4,11	4,22	4,06
21	4,21	4,06	4,36	4,18	4,27	4,18	4,28	4,14
24	4,30	4,17	4,38	4,26	4,37	4,24	4,35	4,22
27	4,35	4,23	4,45	4,38	4,43	4,34	4,41	4,32
30	4,42	4,33	4,54	4,46	4,52	4,42	4,49	4,40
33	4,47	4,41	4,57	4,56	4,55	4,50	4,53	4,49
36	4,49	4,49	4,62	4,62	4,62	4,62	4,58	4,58

P - Pressão

L 1/3: I - Lateral localizada a um terço da terciária, microgotejadores localizados no início da lateral

L 2/3: I - Lateral localizada a dois terços da terciária, microgotejadores localizados no início da lateral

L F: I - Lateral localizada no final da terciária, microgoteja-

- dores localizados no início da lateral
- (C) - Pressões crescentes
- (D) - Pressões decrescentes

perior à dos novos e 15,73% maior que a vazão nominal. As vazões obtidas a partir de pressões crescentes apresentaram um coeficiente de variação de 0,034.

A vazão média dos microgotejadores usados funcionando sob pressões decrescentes (no intervalo de 6 a 36 mca) foi de 4,20 l/h, com um coeficiente de variação de 0,049 e uma variação máxima de vazão de 16,24%. Da mesma forma que nos microgotejadores novos, verificou-se o fenômeno da histerese. As vazões sob pressões decrescentes aproximam-se mais da curva do fabricante, porém apresentam uma maior desuniformidade.

A Tabela 7 apresenta cinco equações que descrevem a hidráulica dos microgotejadores Katif funcionando sob pressões crescentes determinadas a partir do Software CURVEFIT. Pode-se verificar que a Equação (1), da mesma forma que para os emissores novos, apresentou melhor coeficiente de correlação e a equação potencial apresentou pouca correlação entre os dados (Figura 11).

Foram obtidas para o intervalo de 6 a 36 mca as seguintes equações para a função módulo de Hoerl e para a função potencial:

$$Q = 2,1148 \cdot 8,4301(1/H) H^{0,1994} \quad (25)$$

$$Q = 3,7916 H^{0,0458} \quad (26)$$

TABELA 7. Equações dos microgotejadores usados obtidas através do Soft Curvefit para o intervalo de 3 a 36 mca.

N°	COEFICIENTES			EQUAÇÕES	R <sup>2</sup>
	A	B	C		
1	2,1603	7,7660	0,1939	$Q = A \cdot B^{(1/H)} \cdot H^C$	0,9899
2	6,4251	1,0167	-0,2533	$Q = A \cdot B^H \cdot H^C$	0,8611
3	4,2115	2,3613		$Q = A + B/H$	0,4400
4	4,2253	1,6239		$Q = A \cdot B^{(1/H)}$	0,4051
5	4,7755	-0,0292		$Q = A \cdot H^B$	0,1087

Os coeficientes de correlação para as Equações 25 e 26 foram, respectivamente, iguais a 0,9614 e 0,5397. De maneira análoga aos microgotejadores novos a equação que melhor caracteriza o comportamento hidráulico dos microgotejadores usados é, portanto, a função módulo de Hoerl. Constatou-se novamente, que as faixas de auto-limpeza e de transição prejudicam o ajuste através da função potencial.

Analisando os intervalos de 3 a 18 mca e de 18 a 36 mca foram obtidas as seguintes equações:

$$Q = 2,1476 \cdot 7,8421^{(1/H)} \cdot H^{0,1962} \quad (27)$$

$$Q = 5,6727 \cdot H^{-0,1186} \quad (28)$$

$$Q = 2,3522 \cdot 3,9149^{(1/H)} \cdot H^{0,1767} \quad (29)$$

$$Q = 2,9630 \cdot H^{0,1214} \quad (30)$$

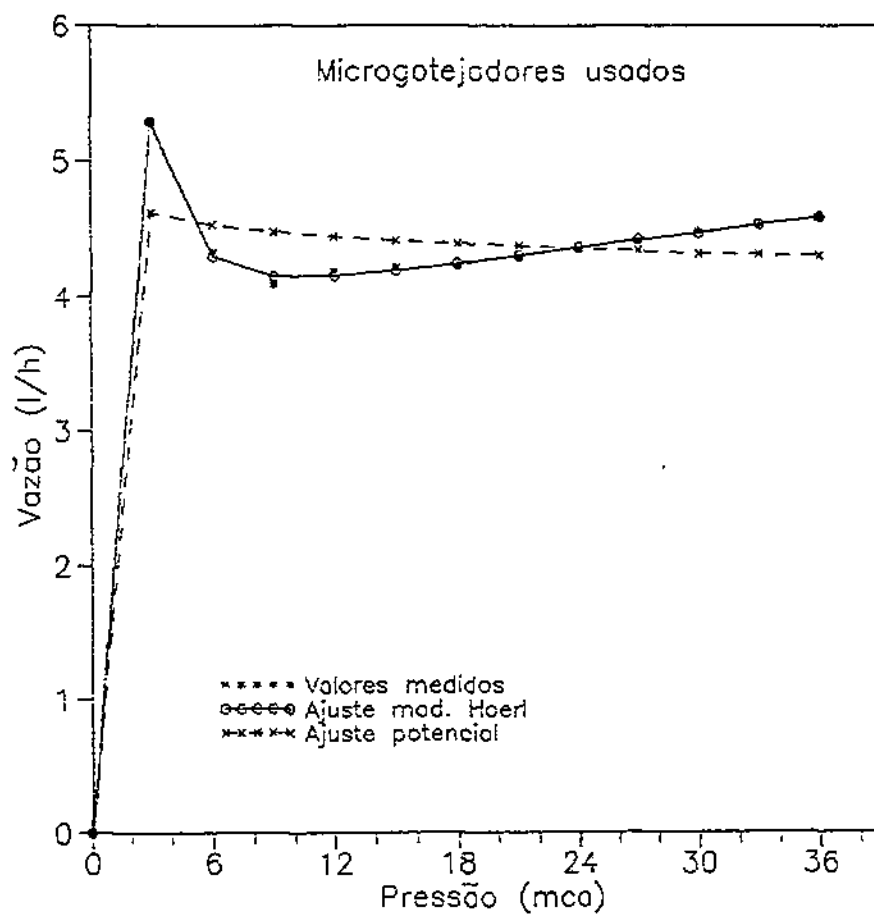


FIGURA 11. Curvas de vazão-pressão dos microgotejadores usados, obtidas através de regressões.



As Equações 27 e 28 correspondem ao intervalo de 3 a 18 mca, e as Equações 29 e 30 referem-se ao intervalo de 18 a 36 mca. Os coeficientes de correlação para as Equações 27, 28, 29 e 30 foram, respectivamente, 0,9888, 0,6832, 0,9969 e 0,9949.

Verifica-se, novamente, que as equações potenciais apresentaram uma melhor correlação quando não se utilizou no ajuste toda a faixa de pressão estudada. A função módulo de Hoerl é, então, a que melhor descreve todas as faixas de funcionamento do microgotejador Katif. No entanto, tal como foi constatado, o uso da equação potencial não resulta em erros que comprometam o dimensionamento hidráulico do sistema.

Constatou-se neste estudo que a vazão nominal do microgotejador está subestimada tanto com relação aos novos como aos usados (Figuras 8 e 10). Portanto, um dimensionamento do sistema baseado nas especificações do fabricante pode levar às seguintes implicações práticas: a capacidade do sistema de bombeamento poderá ser insuficiente para atender ao requerimento total d'água ou então passará a ter rendimentos menores, podendo ocorrer áreas dentro do sistema com déficits hídricos, o que foi observado no projeto visitado; assim como poderão haver perdas excessivas por percolação uma vez que a quantidade d'água aplicada é dependente, também, do tempo de aplicação.

#### Variações de funcionamento do emissor

Comparando as curvas características dos microgotejadores novos e usados, constatou-se que as vazões dos microgotejado-

res usados foram superiores em quase toda faixa de pressões tanto para as pressões crescentes como decrescentes. Esse fato demonstra que, com o tempo, ocorrem alterações no funcionamento do microgotejador provocadas pelas condições às quais estejam submetidos (FIGURAS 12, 13 e 14).

O microgotejador G6 localizado na lateral F: I apresentou defeito de funcionamento alterando drasticamente sua vazão a valores de até 13,92 l/h, chegando inclusive a formar um pequeno jato d'água tal como um difusor. Os resultados apresentados na Tabela 8 ilustram esse fenômeno. Embora as causas dessa alteração não possam ser explicadas, pode-se observar quanto é importante o perfeito funcionamento do microgotejador no sistema.

Os resultados deste estudo mostraram que, além dos fatores relacionados diretamente ao processo de fabricação propriamente dito, o mecanismo de autorregulação da vazão contribui também para as variações entre os emissores, principalmente devido ao funcionamento da membrana de silicone que pode comportar-se diferentemente em cada operação.

Comparando as vazões ( Tabelas 9 e 10) dos microgotejadores novos das laterais 1, 2 e 3, e dos usados das laterais 1/3:I, 2/3:I e F:I obtidas a partir da determinação do coeficiente de variação de fabricação e do coeficiente de uso, com as vazões obtidas a partir da relação vazão-pressão sob a pressão de 18 mca, observa-se que há diferenças entre as mesmas. Isso demonstra que o funcionamento pode ser um fator de variação das

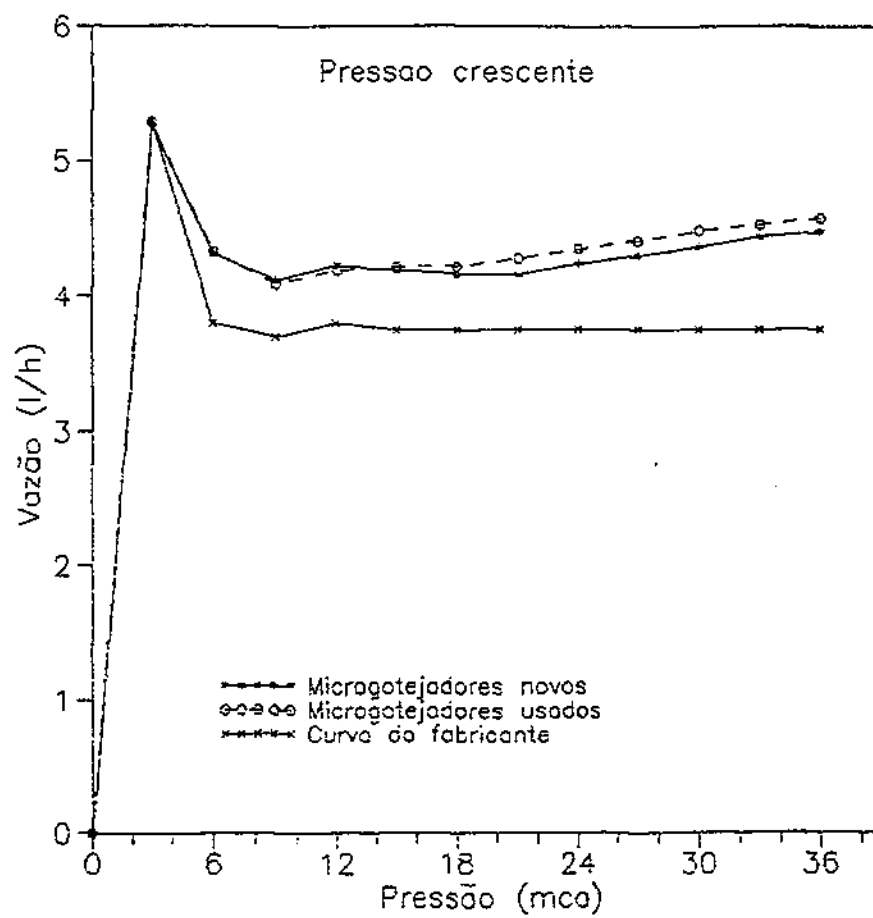


FIGURA 12. Comparação entre as curvas características dos microgotejadores novos e usados e do fabricante.

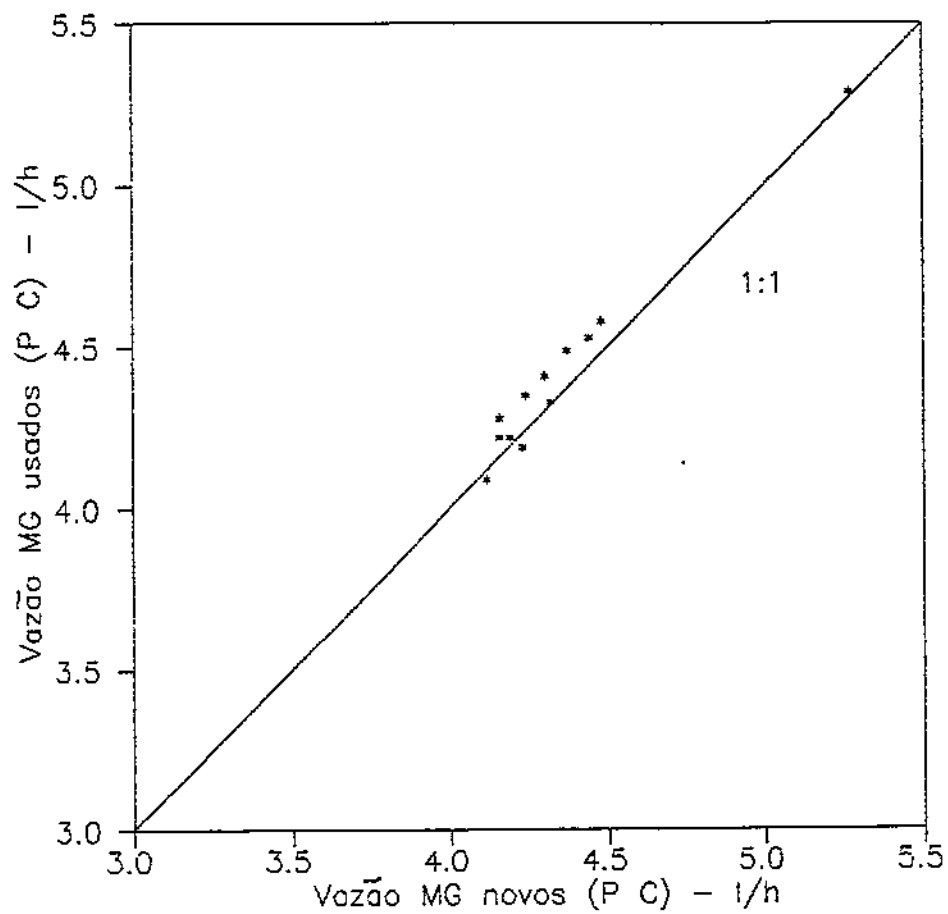


FIGURA 13. Relação entre as vazões dos microgotejadores novos e usados sob pressões crescentes.

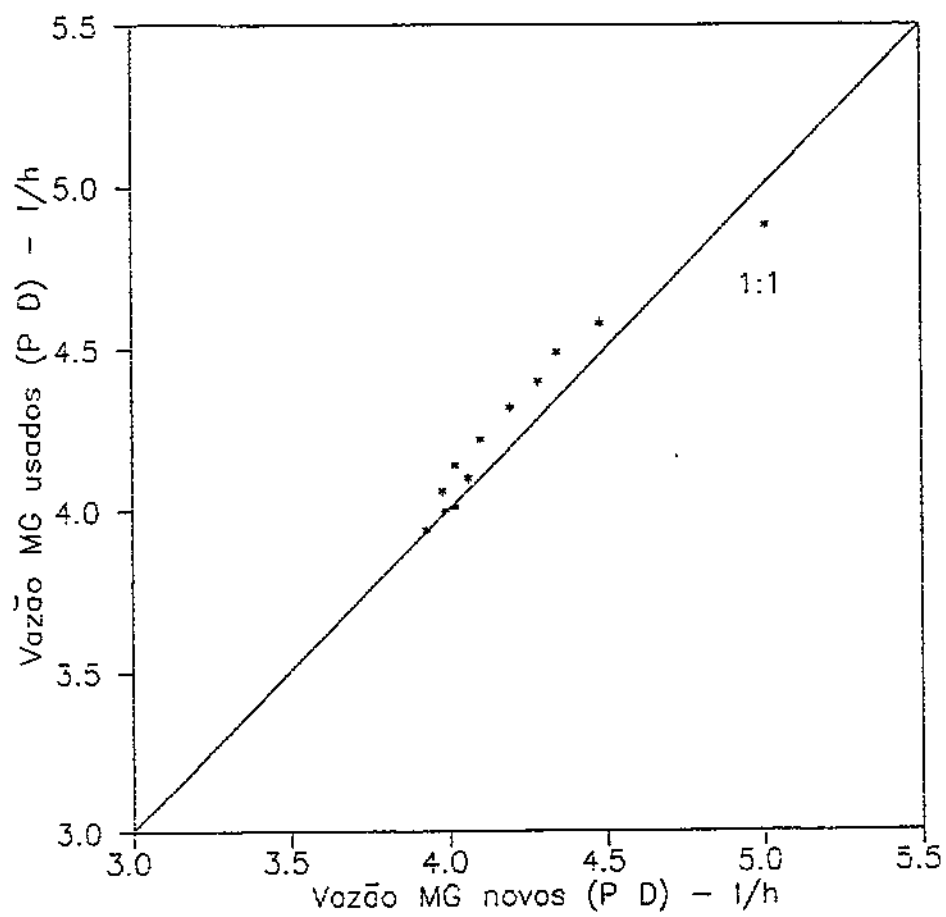


FIGURA 14. Relação entre as vazões dos microgotejadores novos e usados sob pressões decrescentes.

vazões.

TABELA 8. Valores de vazão do microgotejador G6 com mal funcionamento.

PRESSAO (mca)	VAZAO (l/h)	
	(C)	(D)
3	13,92	13,44
6	14,94	12,96
9	11,86	9,80
12	9,24	7,36
15	7,14	5,58
18	5,63	4,69
21	4,79	4,26
24	4,50	4,38
27	4,56	4,48
30	4,67	4,55
33	4,68	4,62
36	4,80	4,80

(C) - Pressões crescentes

(D) - Pressões decrescentes

TABELA 9. Vazões (l/h) dos microgotejadores novos obtidas a partir da determinação do coeficiente de variação de fabricação e da relação vazão-pressão sob 18 mca.

MICROGOTEJADORES						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
LATERAL 1						
Vm	4,20	4,33	4,02	4,38	4,46	4,38
VP	4,26	4,14	4,08	4,60	4,20	4,44
LATERAL 2						
Vm	4,48	4,15	4,62	3,98	4,09	4,33
VP	4,40	4,08	4,14	4,00	3,90	4,16
LATERAL 3						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Vm	4,56	4,36	4,51	4,37	4,38	4,01
VP	3,96	4,02	4,38	4,19	3,96	4,02

Vm - Coeficiente de variação de fabricação

VP - Relação vazão-pressão (pressão crescente igual a 18 mca)

TABELA 10. Vazões (l/h) dos microgotejadores usados obtidas a partir da determinação do coeficiente de uso e da relação vazão-pressão sob 18 mca.

MICROGOTEJADORES						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
LATERAL 1/3 : I						
VU	4,08	4,37	4,04	4,38	4,20	4,39
VP	4,10	4,08	4,02	4,26	4,20	4,38
LATERAL 2/3 : I						
VU	4,41	4,05	4,45	3,96	4,26	4,52
VP	4,26	4,02	4,19	4,08	4,26	4,50
LATERAL F : I						
VU	4,56	4,02	4,20	4,56	4,32	4,38
VP	4,50	3,90	4,14	4,50	4,26	Defeito

Vu - Coeficiente de uso

Lateral I = Lateral localizada no início da terciária

Lateral 1/3 = Lateral localizada a um terço da terciária

Lateral 2/3 = Lateral localizada a dois terços da terciária

Lateral F = Lateral localizada no final da terciária

I = Microgotejadores localizados no início da lateral

1/3 = Microgotejadores localizados a um terço da lateral

2/3 = Microgotejadores localizados a dois terços da lateral

F = Microgotejadores localizados no final da lateral

O próprio fenômeno de histerese observado tanto nos



microgotejadores novos como nos usados é um indicativo muito forte de que existem variações de vazão devido a variações no mecanismo de autorregulação do microgotejador. Outrossim, o fato do microgotejador Katif não ter se mostrado perfeitamente auto-compensante (Figuras 8 e 10) pode ser, também, um indício de variações de funcionamento. Assim sendo, além das variações comumente observadas entre os emissores não autocompensantes, a variação devido ao funcionamento do microgotejador deve, também, ser levada em consideração, podendo ser inclusive estimada por um coeficiente de funcionamento, que deve ser estudado em pesquisas vindouras.

#### Coeficiente de uniformidade de aplicação

A Tabela 11 apresenta a estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação a partir da equação de KARMELI & KELLER (1975).

TABELA 11. Estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação através da equação de KARMELI & KELLER (1975).

	Microgotejadores novos	Microgotejadores usados
$q_{min}$	4,14 l/h	4,14 l/h
$q_m$	4,26 l/h	4,32 l/h
$V_m$	0,048	
$V_u$		0,093
$CU^1$	91,26%	84,51%
$CU^2$	94,76%	91,21%

CU<sup>1</sup> = coeficiente de uniformidade estimado para um emissor por planta  
 CU<sup>2</sup> = coeficiente de uniformidade estimado para 6 emissores por planta

A estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação a partir da equação de BRALTS *et al.*, (1981a, 1981b) encontra-se na Tabela 12.

TABELA 12. Estimativa do coeficiente de uniformidade de aplicação através da equação de BRALTS *et al.*, (1981a, 1981b).

	Microgotejadores novos	Microgotejadores usados
Vm	0,048	
Vu		0,093
Vh	0,023	0,033
Vsn	0,020	
Vsu		0,038
Us <sup>1</sup>	94,68%	90,13%
Us <sup>2</sup>	96,98%	94,97%

Us<sup>1</sup> = coeficiente de uniformidade estimado para um emissor por planta

Us<sup>2</sup> = coeficiente de uniformidade estimado para 6 emissores por planta

Observa-se que o método de BRALTS *et al.*, (1981a, 1981b) resulta em coeficientes de uniformidade superiores, no entanto ele é menos preciso tendo em vista a consideração de normalidade das vazões e o número de dados utilizados na determinação do coeficiente de variação devido a pressão.

Verifica-se que o microgotejador Katif tem o potencial para permitir uma maior flexibilidade no dimensionamento hidráulico e garantir uma elevada uniformidade de aplicação, o que é uma das principais características desejáveis num emissor. Observa-se que para uma variação de pressão de 30 mca os coeficientes de uniformidade foram superiores a 90% sendo, então, um resultado excelente segundo BRALTS *et al.* (1986). Caso variações de pressão inferiores a 30 mca sejam utilizadas melhores coeficientes podem ser obtidos, mesmo que a variação de pressão seja o fator de menor efeito nas variações de vazão.

Observa-se que, com a sua utilização, os microgotejadores tiveram sua performance inicial reduzida, tanto no que se refere ao coeficiente de fabricação quanto ao coeficiente de variação devido a pressão. Como consequência houve uma sensível redução no coeficiente de uniformidade passando a valores considerados bons para sistemas de irrigação localizada (BRALTS *et al.*, 1986).

Determinando o coeficiente de variação do sistema ( $V_{su}$ ) confirmou-se a redução do coeficiente de uso ( $V_u$ ) de 0,093 para 0,038, valor esse também obtido através do coeficiente de variação das vazões médias dos trechos de laterais (Tabela 2).

As Tabelas 11 e 12 mostram que o número de microgotejadores por planta influe significativamente no coeficiente de uniformidade, sendo então importante o uso de mais de um emissor por planta para se garantir uma melhor uniformidade de aplicação.

Porém esse número deve ser bem dimensionado para que não hajam perdas excessivas d'água e encarecimento do sistema.

#### Comprimentos máximos de laterais recomendados

Nas Tabelas 13, 14 e 15 encontram-se os valores de comprimentos máximos de laterais calculados e os recomendados pelo fabricante.

Verifica-se que os comprimentos máximos de laterais calculados apresentam-se sempre superiores aos recomendados pelo fabricante, embora tenha-se utilizado no cálculo uma vazão média de 4,27 l/h (13,87% superior à vazão nominal) e uma velocidade máxima admissível de 2,0 m/s, resultando numa perda de carga 25,87% superior à perda de carga calculada com a vazão nominal, de acordo com as equações utilizadas no dimensionamento. Essas diferenças entre comprimentos podem ser atribuídas a vários fatores: (1) a utilização de parâmetros diferentes dos utilizados pelo fabricante tais quais perda de carga e velocidade máximas admissíveis. Nesse estudo foi utilizada toda a faixa de pressão na qual o microgotejador torna-se autorregulável; (2) erros de imprecisão das equações utilizadas no dimensionamento, tais como: (a) a existência de fluxo laminar ou transitório nas seções finais da lateral que produz erros na equação de Blasius. Isso ocorreu nos trechos de lateral com número de emissores menores que 21, 26 e 34 para os diâmetros de 10,3, 13,0 e 17,0 mm, respectivamente. No entanto aumentando a pressão no início da lateral, ou seja, a perda de carga admissível, o erro percentual

provocado pelo trecho com regime não turbulento diminui; (b) as perdas de carga localizadas podem estar subestimadas pela equação utilizada; (c) o aspecto de que o fator  $F$ , para correção de perda de carga é considerado função apenas do expoente da velocidade da equação de perda de carga e do número de saídas. No entanto, sabe-se que, a rigor,  $F$  depende do espaçamento entre emissores utilizado e que a vazão dos emissores não é constante ao longo da lateral.

Observa-se que as diferenças entre os comprimentos aumentam com o espaçamento entre emissores e diminuem com o aumento da perda de carga admissível em todos os diâmetros de lateral com exceção no de 13,0 mm onde as diferenças mantiveram-se constantes com o aumento de perda de carga. Os espaços em branco nas Tabelas 13, 14 e 15 significam que, para aquelas condições de dimensionamento, a velocidade máxima de fluxo admissível seria ultrapassada caso se aumentasse ainda mais o comprimento da lateral obtido para pressão anterior. Nesses casos, os comprimentos máximos estimados serão os anteriormente calculados.

A perda de carga média medida numa lateral com 20 m foi de aproximadamente 0,41 m. Isso demonstra que as perdas reais numa lateral são maiores que as estimadas através das equações utilizadas neste estudo e, possivelmente, inferiores às empregadas pelo fabricante (Tabela A-6). No entanto, as perdas medidas podem não ser suficientemente confiáveis para esse tipo de análise devido tratar-se de um comprimento de lateral pequeno e além do mais o equipamento utilizado não fornecer o grau de confiabi-

Tabela 13. Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 12,5 mm e diâmetro interno de 10,3 mm.

		Pressão no início da lateral (mca)											
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
		Perda de carga admissível (mca)											
E <sup>a</sup> (m)		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0,4	25 <sup>b</sup>	32	37	42	45	48	51	54	56				
	03 <sup>c</sup>	20	26	30	33	36	38	40	41	43	44	46	
0,5	30	38	45	50	54	58	61	64	67	70			
	04	25	32	37	41	45	46	48	50	52	54	56	
0,6	34	44	51	57	62	66	70	74	77	80	83	84	
	05	29	38	43	48	52	54	57	60	62	64	66	
0,75	40	52	61	68	73	78	83	87	91	95	98	101	
	06	36	46	53	58	63	67	70	73	77	79	81	
1,00	50	65	75	83	91	97	103	108	112	117	121	125	
	08	45	58	67	74	81	85	89	93	96	100	104	
1,25	59	76	88	98	106	114	120	126	132	137	142	147	
	10	54	70	80	90	97	104	108	112	116	119	125	
1,50	67	86	100	111	121	129	137	144	150	156	161	167	
	12	63	82	93	104	112	119	122	129	135	140	145	

a - Espaçamento entre microgotejadores

b - Comprimentos máximos de laterais estimados

c - Comprimentos máximos de laterais recomendados pelo fabricante

Tabela 14. Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 17,0 mm e diâmetro interno de 13,0 mm.

Ea (m)	Pressão no início da lateral (mca)											
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	Perda de carga admissível (mca)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0,4	40 <sup>b</sup>	51	60	66	72	77	82	86	89			
	10 <sup>c</sup>	38	48	57	62	67	71	74	77	79	82	85
0,5	47	61	71	79	85	91	97	101	106	110	112	112
	12	45	57	67	74	81	85	90	93	96	100	103
0,6	54	70	81	90	98	104	110	116	121	126	130	134
	12	52	67	77	86	93	97	104	108	112	115	119
0,75	63	82	95	106	115	122	130	136	142	148	153	158
	12	62	79	93	104	112	118	124	129	133	137	143
1,00	78	100	116	129	140	150	159	167	174	181	187	193
	16	78	100	116	128	139	147	155	161	167	172	179
1,25	91	117	136	151	164	175	185	195	203	211	219	226
	20	90	119	137	152	164	174	183	190	197	204	211
1,50	103	133	154	171	185	198	210	220	230	239	248	256
	24	104	135	156	173	186	200	209	218	226	234	241

a - Espaçamento entre microgotejadoras

b - Comprimentos máximos de laterais estimados

c - Comprimentos máximos de laterais recomendados pelo fabricante

Tabela 15. Comprimentos máximos de laterais, estimados e recomendados pelo fabricante, para laterais em nível com diâmetro externo de 20,0 mm e diâmetro interno de 17,0 mm.

		Pressão no início da lateral (mca)											
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
		Perda de carga admissível (mca)											
Ea (m)		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0,4		67 <sup>b</sup>	87	101	112	121	130	137	144	150	153		
		16 <sup>c</sup>	67	86	99	110	119	126	132	137	142	146	151
0,5		79	102	118	131	142	152	161	169	176	183	190	191
		20	80	102	118	130	141	150	157	163	168	174	180
0,6		90	116	134	149	162	173	183	192	200	208	215	222
		24	91	117	134	149	163	172	180	187	194	200	207
0,75		105	135	156	174	189	202	213	224	234	243	251	260
		24	108	138	160	177	191	204	213	221	229	237	245
1,00		127	164	190	211	229	245	259	272	284	295	306	316
		32	132	169	196	217	235	251	263	273	282	292	302
1,25		148	191	221	246	266	285	301	316	330	343	355	367
		32	152	199	230	254	276	294	308	320	331	342	353
1,50		167	215	250	277	301	321	340	357	373	387	401	414
		36	174	224	260	288	313	333	349	363	375	387	402

a - Espaçamento entre microgetejadores

b - Comprimentos máximos de laterais estimados

c - Comprimentos máximos de laterais recomendados pelo fabricante



lidade desejável.

Apesar do exposto, acredita-se que os comprimentos recomendados pelo fabricante estejam subestimados, pois não se pode explicar, por exemplo, uma perda de carga de 2 m numa lateral com 8 m de comprimento, emissores espaçados de 1 m e um diâmetro de 10,3 mm (Tabela 13).

## CAPITULO V

## CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos sobre a performance hidráulica do microgotejador Katif, para as condições em que foi desenvolvido esse trabalho, pode-se concluir que:

O microgotejador Katif apresenta uma excelente uniformidade de fabricação com um coeficiente de variação de fabricação igual a 0,048.

A sensibilidade às variações de pressão entre 6 e 36 mca foi de 8,74% que o caracteriza como autocompensante, porém não completamente. O microgotejador apresenta potencial para permitir ótimos coeficientes de uniformidade de aplicação, superiores a 90% nesse intervalo de pressões e maior flexibilidade no dimensionamento hidráulico.

A uniformidade de vazão nos microgotejadores usados foi reduzida em função do coeficiente de variação de vazões que passou de 0,048 para 0,093 e das variações de vazão, no intervalo de pressões de 6 a 36 mca, que aumentaram para 11,98% .

Houve uma redução na uniformidade de aplicação, dos microgotejadores usados e, conseqüentemente, da performance inicial do microgotejador, mas ainda propiciando coeficientes de uniformidade acima de 80% , valores aceitáveis na irrigação localizada.

Os coeficientes de variação de fabricação e de uso foram os principais fatores que influenciaram na uniformidade de aplicação dos microgotejadores novos e usados, respectivamente.

A vazão nominal do microgotejador está subestimada pelo fabricante em 13,87% e em 15,73% com relação aos valores medidos em laboratórios para os microgotejadores novos (4,27 l/h) e usados (4,34 l/h), respectivamente.

As equações que melhor caracterizam o comportamento hidráulico dos microgotejadores novos e usados no intervalo de 3 a 36 mca são do tipo função MÓDULO DE HOERL ( $Q = A.B(1/H).H^C$ ) e não do tipo potencial como está sugerido pela maioria dos pesquisadores.

Os comprimentos máximos de laterais sugeridos pelo fabricante estão subestimados, principalmente para as pressões no início da lateral inferiores a 10 mca, e os comprimentos máximos calculados provavelmente estão superestimados.

As variações relacionadas ao mecanismo de funcionamento de autorregulação da vazão também interferem na uniformidade de aplicação do microgotejador.

#### RECOMENDAÇÕES:

- 1 - Determinem-se as variações de vazão de microgotejadores Katif provocadas pelo mecanismo de autocompensação.
- 2 - Avalie-se a performance de microgotejadores Katif com maior

tempo de uso.

- 3 - Estude-se o efeito do tempo na determinação da vazão do microgotejador Katif.
- 4 - Estudem-se detalhadamente os fatores responsáveis pelas variações de vazão dos microgotejadores usados.
- 5 - Avalie-se a eficiência do mecanismo de auto-limpeza do microgotejador Katif.
- 6 - Analise-se a possível existência de um coeficiente de funcionamento relacionado à estabilidade funcional da membrana para diferentes pressões.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABREU, J. M. H.; LOPES, J.R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G.; El riego localizado. Instituto Naional de Investigaciones Agrárias. Madrid. 1987. 317p.
- ADIN, A.; ELIMELECH, M. Particle filtration for wastewater irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*. v. 115, n. 3, p 475 - 487. 1989.
- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*. v. 117, n. 6, p. 813 - 827. 1991.
- ALLEN, R. G.; BROCKWAY, C. E. Concepts for energy-efficiente irrigation system design. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. v. 110, n. 2, p. 99 - 106. 1984.
- ASAE. Design and installation of microirrigation systems. ASAE Engineering Practice 405.1. St. Joseph, MI: ASAE. 1988.
- BALOGH, J.; GERGELEY, I. Basic aspects of trickling irrigation. Budapest. 1985. 280p.
- BERNARDO. S. Manual de irrigação. Imprensa Universitária. UFV, 4a. ed., Viçosa, Minas Gerais, p. 395 - 439. 1987.
- BEZDEK. J. C. SOLOMON, E. Aproximating friction factors for trickle tubing. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 104, n. IR4, p. 351 - 359. 1978.
- BORDIGNON, W. D.; TESTEZLAF, R. Normas de ensaio para gotejadores auto-compensantes. ANAIS XII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. v. V. Ilhéus, Bahia, p. 3071 - 3085. 1993.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: *Trickle irrigation for crop production* (Nakayama, F. S.; Bucks, D. A.). Phoenix, Arizona, Chapter 3, p. 216 - 240. 1986.
- BRALTS, V. F. EDWARDS, D. M. Field evaluation of drip irrigation submain units. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 29, n. 6, p. 1659 - 1664. 1986.
- BRALTS, V. F. KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 26, n. 5, p. 1369 - 1374. 1983.
- BRALTS, V. F. WU, I. P.; GILTILIN, H. M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 24, n. 5, p. 1234 - 1240. 1981b.

- BRALTS, V. F. WU, I. P.; GILTLIN, H. M. Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. p. 1274 - 1281. 1982.
- BRALTS, V. F. WU, I. P.; GILTLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 24, n. 1, p. 113 - 119. 1981a.
- BRAUD, H. J.; SOOM, A. M. Trickle irrigation lateral design on sloping fields. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. p. 941 - 944. 1980.
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management* v. 2, n. 2, p. 142 - 162. 1979.
- CLEMMENS, A. J. Irrigation uniformity relationships for irrigation system management. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*. v. 117, n. 5, p. 682 - 699. 1991.
- FARIA, M. A.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P. A.; LOUREIRO, B. T. Irrigação por gotejamento. I - Características hidráulicas do microgotejador Irtec. *Revista Ceres*, Universidade Federal de Viçosa, v. 29, n. 165, p. 471 - 478. 1982a.
- FARIA, M. A.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P. A.; LOUREIRO, B. T. Irrigação por gotejamento. II - Características hidráulicas das linhas laterais de irrigação com microgotejador Irtec. *Revista Ceres*, Universidade Federal de Viçosa, v. 29, n. 165, p. 479 - 488. 1982b.
- GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Emitter clogging. In: *Trickle irrigation for crop production* (Nakayama, F. S.; Bucks, D. A). Phoenix, Arizona, Chapter 3., p. 142 - 163. 1986.
- GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: Prevention at clogging. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. p. 514 - 519. 1979.
- GILLESPIE, V. A.; PHILLIPS, A. L.; WU, I. P.; Drip irrigation design equations. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 105, IR3, p. 247 - 257. 1979.
- HILLS, D. J.; TAJRISHY, M. A. M.; GU, Y. Hydraulic considerations for compressed subsurface drip-tape. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 32, n. 4, p. 1197 - 1201. 1989.
- HOWELL, T. A.; HILLER, E. A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 100, IR4, p. 443 - 454. 1974.

- HOLZAPFEL, E. A.; MARINO, M. A.; VALENZUELA, A.; Drip irrigation non linear optimization model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE., v. 116, n. 4, p. 479 - 496. 1990.
- HOLWELL, T. A.; BARINAS, F. A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. p. 928 - 933. 1980.
- KAFSHGIRI, M. V. R. The effects of partial plugging on the hydraulics of drip irrigation systems. M. S. thesis, Department of Agricultural Engineering, University of Hawaii, Honolulu. 1979.
- KAMAND, F. Z.; Hydraulic friction factors for pipe flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, v. 114, n. 2, p. 311 - 323. 1988.
- KARMELI, D.; KELLER, J. Trickle irrigation design. Rain Bird sprinkles manufacturing corp. Glendora, California, 1a. ed. 1975, 133p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York. USA. p. 427 - 582. 1990.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 17, n. 4, p. 678 - 684. 1974.
- KENWORTHY, A. L.; Trickle irrigation-the concept and guidelines for use. Michigan Agriculture Experiment Station. Michigan State university. Research Report 165, Farm Science, 1972. 20p.
- KHATRI, K. C.; WU, I. P. GITLIN, H. M.; PHILIPS, A. L. Hydraulics of microtube emitters. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 105, IR2, p. 163 - 173. 1979.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation. A guid for management. Agric. and Irrig. Eng. Dept., Utah State University, Logan, Utah. 1978. 271p.
- MYERS, L. E.; BUCKS, D. A.; Union irrigation with lowpressure trickle systems. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 98, IR3. p. 341 - 346. 1972.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; CLEMMENS, A. J. Assessing trickle emitter application uniformity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 22, n. 4, p. 816 - 821. 1979.
- NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G.; BUCKS, D. A. Water treatments in trickle irrigation systems. *Journal of the Irrigation Division*. ASCE. v. 104, n. IR1, p. 23 - 34. 1978.

- NIR, D. Drip irrigation. In: Handbook of Irrigation Technology. (FINKEL, H. J.). Boca Raton, Florida. v. I., p. 247 - 298. 1982.
- NOGUEIRA, L. C.; GORNAT, B. Desempenho de gotejador autocompensante. Revista ITEM. Brasília. v. 42, 1990. p. 22 - 28.
- NUMAN, M.; KRUSE, E. G. Emitter discharge evaluation of subsurface trickle irrigation systems. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. v. 32, n. 4, p.1223 - 1228. 1989.
- OLITTA, A. F. C. Os métodos de irrigação. Editora Nobel. 1986. 267p.
- OLIVEIRA, C. A. S.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P.A.; VIEIRA, M.; Características hidráulicas de gotejadores. Revista Ceres, Universidade Federal de Viçosa, v. 26, n. 146, p. 341 - 346. 1979.
- ORON, G.; SHELEF, G.; TURZYNSKI, B. Trickle irrigation using treated wastewaters. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE. v. 105, n. IR2, p. 175 - 187. 1979.
- PARCHOMCHUCK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. v. 19, n. 4, p. 690 - 692. 1976.
- PITTS, D. J. FERGUSON, J. A.; WRIGTH, R. E. Trickle irrigation lateral line design by computer analysis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. v. 29, n. 5, p. 1320 - 1324. 1986.
- SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method. Journal Food Protection v. 41, n. 5, p. 336 - 340. 1978.
- SAN JUAN, A. M. Riego por goteo teoría y práctica. Ediciones Mundi-prensa, 2a. ed., Madrid, 1985. 216p.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. p. 1034 - 1038. 1979.
- SOLOMON, K. H.; KELER, J. Trickle irrigation uniformity and efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division v. 104, n. IR3, p. 293 - 306. 1978.
- VON BERMUTH, R. D.; SOLOMON, K. H. Emitter construction. In: Trickle irrigation for crop production (Nakayama, F. S.; Bucks, D. A.). Phoenix, Arizona, Chapter 2, p. 27 - 52. 1986.



- VON BERMUTH, R. D.; WILSON, T. Friction factors for small diameter plastics pipes. *Journal of hydraulic Engineering*. v. 115, n. 2, p. 183 - 192. 1989.
- WATTERS, G. Z.; KELLER, J.; Trickle irrigation tubing hydraulics. American Society of Agricultural Engineers. Paper n. 78 - 2015. Saint Joseph, Michigan, 1978. 19p.
- WU, I. P.; IRUDAYARAJ, J. M. Sample size determination for evaluating drip irrigation systems. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 32, n. 6, p.1961 - 1965. 1989.
- WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 26, n. 1, p. 92 - 99. 1983.
- WU, I. P.; GITLIN, H. M.; Hidraulics and uniformity for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, v. 99, IR2, p. 429 - 432. 1973.
- YITAYEW, M.; WARRICK, A. W. Trickle lateral hydraulics. II: Design and examples. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*. v. 114, n. 2, p. 289 - 300. 1988.
- ZEIER, K. R.; HILLS, D. J. Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. v. 30, n. 3, p. 735 - 739. 1987.
- ZUR, B.; TAL, S. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE. v. 107, n. IR1, p. 1 - 9. 1981.

**APÊNDICES**

Tabela A-1. Qualidade da água de irrigação em novembro de 1992.

---

Análise física

---

Sólidos suspensos totais (SST): 130 mg/l

Sólidos totais fixos (STF): 77 mg/l

Sólidos totais voláteis (STV): 53 mg/l

---

Análise química

---

Condutividade elétrica (CE): 0,028 mmho/cm

pH: 7,8

Ca<sup>++</sup>: 2,75 meq/l

Mg<sup>++</sup>: 0,30 meq/l

Na<sup>+</sup>: 0,50 meq/l

K<sup>+</sup>: 0,10 meq/l

Cl<sup>-</sup>: 0,50 meq/l

SO<sub>4</sub><sup>-</sup>: ausente

CO<sub>3</sub><sup>..</sup>: 0,17 meq/l

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 2,0 meq/l

Tabela A-2. Vazões obtidas na determinação do coeficiente de variação de fabricação.

Temperatura da água: 24,6 °C

Lateral 1

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	349	360	335	365	372	365
2	351	362	335	366	370	365
3	350	360	335	365	373	365
Média(ml)	350,00	360,67	335,33	365,33	371,67	365,00
q (l/h)	4,20	4,33	4,02	4,38	4,46	4,38

Temperatura da água: 24.6 °C

Lateral 2

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	373	347	385	330	340	361
2	373	345	385	331	343	360
3	373	345	386	333	340	362
Média(ml)	373,00	345,67	385,33	331,33	341,00	361,00
q (l/h)	4,48	4,15	4,62	3,98	4,09	4,33

Temperatura da água: 25,0 °C

Lateral 3

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	380	361	377	364	365	335
2	380	363	375	364	365	335
3	380	360	375	364	365	333
Média(ml)	380,00	361,33	375,67	364,00	365,00	334,33
q (l/h)	4,56	4,36	4,51	4,37	4,38	4,01

Temperatura da água: 25,5 °C

Lateral 4

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	367	365	354	370	334	385
2	365	370	357	370	335	380
3	365	370	355	370	335	384
Média(ml)	365,67	368,33	355,33	370,00	339,67	383,00
q (l/h)	4,39	4,42	4,26	4,44	4,02	4,60

Temperatura da água: 25,6 °C

Lateral 5

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	367	340	394	364	372	330
2	365	340	390	365	375	330
3	365	340	391	365	374	333
Média(ml)	365,67	340,00	391,67	364,67	373,67	331,00
q (l/h)	4,39	4,08	4,70	4,38	4,48	3,97

Temperatura da água: 26,0 °C

Lateral 6

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	343	386	380	355	366	357
2	345	380	377	355	360	355
3	345	380	377	358	365	355
Média(ml)	344,33	382,00	378,00	356,00	363,67	355,67
q (l/h)	4,13	4,58	4,54	4,27	4,36	4,27

Temperatura da água: 26,5 °C

Lateral 7

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	353	385	375	380	400	340
2	355	380	377	377	400	340
3	355	380	375	378	400	340
Média(ml)	354,33	381,67	375,67	378,33	400,00	340,00
q (l/h)	4,25	4,58	4,51	4,54	4,80	4,08

Temperatura da água: 24.0 °C

Lateral 8

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	370	326	382	350	347	350
2	370	325	380	353	345	350
3	368	327	377	353	345	350
Média(ml)	369,33	324,00	379,67	352,00	345,67	350,00
q (l/h)	4,43	3,89	4,56	4,22	4,15	4,20

Temperatura da água: 24,0 °C

Lateral 9

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	345	340	370	380	345	366
2	345	342	368	380	345	364
3	345	342	370	385	345	367
Média(ml)	345,00	341,33	369,33	380,00	345,00	365,67
q (l/h)	4,14	4,10	4,43	4,56	4,14	4,39



Tabela A-3. Vazões obtidas na determinação do coeficiente de uso do microgotejador.

1) Lateral localizada no INICIO da terciária

Posição dos gotejadores na lateral: Início

Temperatura da água: 24,4 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	369	368	345	368	364	366
2	369	367	345	370	363	365
3	369	370	346	370	365	365
Média(ml)	369,00	368,33	345,33	369,33	364,00	365,33
q (l/h)	4,43	4,42	4,14	4,43	4,37	4,38

Posição dos gotejadores na lateral: Um terço do início

Temperatura da água: 24,5 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	367	275	365	260	377	353
2	365	279	360	265	382	349
3	365	273	364	260	380	350
Média(ml)	366,00	275,67	363,00	261,67	379,67	350,67
q (l/h)	4,39	3,31	4,36	3,14	4,56	4,21

Posição dos gotejadores na lateral: Dois terços do início

Temperatura da água: 24,6 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	365	340	140	375	384	360
2	365	340	139	370	385	362
3	365	340	135	373	389	360
Média(ml)	365,00	340,00	138,00	372,67	386,00	360,67
q (l/h)	4,38	4,08	1,66	4,47	4,63	4,33

Posição dos gotejadores na lateral: Final

Temperatura da água: 25,0 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	353	360	355	310	338	370
2	354	362	354	310	335	370
3	353	360	355	310	337	370
Média(ml)	353,33	360,67	354,67	310,00	336,67	370,00
q (l/h)	4,24	4,33	4,26	3,72	4,04	4,44

## 2) Lateral localizada a UM TERÇO da terciária

Posição dos gotejadores na lateral: Início

Temperatura da água: 25,2 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	340	363	336	365	350	365
2	340	365	337	364	350	367
3	340	365	336	365	350	365
Média(ml)	340,00	364,33	336,33	364,67	350,00	365,67
q (l/h)	4,08	4,37	4,04	4,38	4,20	4,39

Posição dos gotejadores na lateral: Um terço do início

Temperatura da água: 25,2 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	343	347	374	365	360	370
2	343	346	374	365	358	370
3	343	347	374	365	358	373
Média(ml)	343,00	346,67	374,00	365,00	358,67	371,00
q (l/h)	4,12	4,16	4,49	4,38	4,30	4,45

Posição dos gotejadores na lateral: Dois terços do início

Temperatura da água: 25,4 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	338	315	345	327	358	335
2	335	315	343	325	355	340
3	335	315	343	325	355	335
Média(ml)	336,00	315,00	343,67	325,67	356,00	336,67
q (l/h)	4,03	3,78	4,12	3,91	4,27	4,04

Posição dos gotejadores na lateral: Final

Temperatura da água: 25,6 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	350	327	365	380	305	375
2	345	327	370	380	305	377
3	345	330	365	383	305	375
Média(ml)	346,67	328,00	366,67	381,00	305,00	375,67
q (l/h)	4,16	3,94	4,40	4,57	3,66	4,51

## 3) Lateral localizada a DOIS TERÇOS da terciária

Posição dos gotejadores na lateral: Início

Temperatura da água: 25,0 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	365	338	370	330	355	373
2	368	335	373	330	355	376
3	370	340	370	330	356	380
Média(ml)	367,67	337,67	371,00	330,00	355,33	376,33
q (l/h)	4,41	4,05	4,45	3,96	4,26	4,52

Posição dos gotejadores na lateral: Um terço do início

Temperatura da água: 25,2 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	370	390	360	370	325	375
2	370	385	357	375	328	375
3	370	385	357	370	327	380
Média(ml)	370,00	386,67	358,00	371,67	326,67	376,67
q (l/h)	4,44	4,64	4,30	4,46	3,92	4,52

Posição dos gotejadores na lateral: Dois terços do início

Temperatura da água: 25,4 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	340	356	353	395	349	360
2	340	356	353	390	345	360
3	345	360	355	390	345	356
Média(ml)	341,67	357,33	353,67	391,67	346,33	358,67
q (l/h)	4,10	4,29	4,24	4,70	4,16	4,30

Posição dos gotejadores na lateral: Final

Temperatura da água: 25,4 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	343	365	293	380	368	360
2	345	368	295	378	365	355
3	345	365	295	378	365	355
Média(ml)	344,33	366,00	294,33	378,67	366,00	356,67
q (l/h)	4,13	4,39	3,53	4,54	4,39	4,28

## 4) Lateral localizada no FINAL da terciária

Posição dos gotejadores na lateral: Início

Temperatura da água: 25,6 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	380	335	350	380	360	365
2	380	335	350	380	360	365
3	380	335	350	380	360	365
Média(ml)	380,00	335,00	350,00	380,00	360,00	365,00
q (l/h)	4,56	4,02	4,20	4,56	4,32	4,38

Posição dos gotejadores na lateral: Um terço do início

Temperatura da água: 25,8 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	380	380	350	360	393	370
2	375	375	356	360	390	374
3	380	383	350	365	395	375
Média(ml)	378,33	379,33	352,00	361,67	392,67	373,00
q (l/h)	4,54	4,55	4,22	4,34	4,71	4,48

Posição dos gotejadores na lateral: Dois terços do início

Temperatura da água: 26,0 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	363	380	340	375	370	440
2	360	385	340	380	374	440
3	360	380	335	375	375	440
Média(ml)	361,00	381,67	338,33	376,67	373,00	440,00
q (l/h)	4,33	4,58	4,06	4,52	4,48	5,28

Posição dos gotejadores na lateral: Final

Temperatura da água: 26.0 °C

OBSERV	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	350	360	345	385	380	370
2	350	365	345	380	380	367
3	347	365	345	384	385	367
Média(ml)	349,00	363,33	345,00	383,00	381,63	368,00
q (l/h)	4,19	4,36	4,14	4,60	4,58	4,42



Tabela A-4. Determinação da relação vazão-pressão dos microgotejadores novos.

Lateral 1

Tc = 24,0 °C

Td = 25,0 °C

Pressão = 3 mca

Volume d'água medido (ml)							
Gotejadores	1	2	3	4	5	6	Qm(l/h)
Pc	475	415	465	470	380	475	5,36
Pd	455	410	445	450	365	460	5,17

Tc = 24,0 °C

Td = 25,0 °C

Pressão = 6 mca

Pc	385	350	380	400	327	415	4,51
Pd	370	327	360	365	315	385	4,24

Tc = 24,0 °C

Td = 25,0 °C

Pressão = 9 mca

Pc	355	340	345	357	335	390	4,24
Pd	345	325	330	335	325	363	4,05

Tc - Temperatura da água com pressões crescentes

Td - Temperatura da água com pressões decrescentes

Pc - Pressões crescentes

Pd - Pressões decrescentes

Tc = 24,0 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 12 mca		
Pc	360	355	355	370	355	385	4,36
Pd	337	340	335	355	332	365	4,13

Tc = 24,0 °C		Td = 25,0 °C			Pressão = 15 mca		
Pc	353	350	345	355	350	355	4,22
Pd	335	330	330	343	330	355	4,05

Tc = 24,0 °C		Td = 25,2 °C			Pressão = 18 mca		
Pc	355	345	340	383	350	370	4,29
Pd	335	325	325	365	330	350	4,06

Tc = 24,0 °C		Td = 25,0 °C			Pressão = 21 mca		
Pc	350	340	340	377	350	365	4,24
Pd	340	330	330	370	332	350	4,10

Tc = 24,0 °C		Td = 25,1 °C			Pressão = 24 mca		
Pc	357	345	350	390	360	373	4,35
Pd	345	335	338	377	340	360	4,19

Tc = 24,4 °C		Td = 25,0 °C			Pressão = 27 mca		
Pc	360	352	355	400	367	373	4,41
Pd	350	342	345	385	353	367	4,28

Tc = 24,5 °C

Td = 24,8 °C

Pressão = 30 mca

Pc	367	355	360	402	375	382	4,48
Pd	360	350	353	395	365	375	4,40

Tc = 24,5 °C

Td = 24,8 °C

Pressão = 33 mca

Pc	375	360	367	409	381	388	4,56
Pd	366	355	360	403	375	380	4,48

Tc = 24,8 °C

Td = 24,8 °C

Pressão = 36 mca

Pc	375	364	370	411	390	390	4,60
Pd	375	363	370	410	390	390	4,60

**Lateral 2**

Tc = 23,2 °C

Td = 25,0 °C

Pressão = 3 mca

Pc	485	400	475	430	420	415	5,25
Pd	470	385	460	415	425	400	5,07

Tc = 23,2 °C

Td = 25,0 °C

Pressão = 6 mca

Pc	410	320	390	350	330	347	4,29
Pd	385	305	375	335	310	325	4,07

$T_c = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 25,0 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 9 \text{ mca}$		
Pc	380	320	365	330	315	340	4,10
Pd	365	305	345	315	300	325	3,91

$T_c = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 25,0 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 12 \text{ mca}$		
Pc	380	335	368	340	328	355	4,21
Pd	363	325	355	328	315	335	4,04

$T_c = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 24,6 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 15 \text{ mca}$		
Pc	375	345	365	342	330	355	4,22
Pd	355	325	350	325	314	335	4,01

$T_c = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 24,5 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 18 \text{ mca}$		
Pc	367	340	345	333	325	347	4,11
Pd	350	325	348	320	313	335	3,98

$T_c = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 24,5 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 21 \text{ mca}$		
Pc	365	345	350	335	330	350	4,15
Pd	350	330	350	325	320	339	4,03

$T_c = 23,4 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_d = 24,4 \text{ } ^\circ\text{C}$			$\text{Press\~ao} = 24 \text{ mca}$		
Pc	370	355	350	343	335	357	4,22
Pd	355	340	355	330	328	347	4,11

$T_c = 23,4 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_d = 24,4 \text{ } ^\circ\text{C}$				Pressão = 27 mca
Pc	370	357	360	350	345	365	4,29	
Pd	360	349	365	340	335	355	4,21	

$T_c = 23,6 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_d = 24,2 \text{ } ^\circ\text{C}$				Pressão = 30 mca
Pc	375	363	360	355	350	370	4,39	
Pd	365	355	370	345	340	360	4,27	

$T_c = 24,0 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_d = 24,0 \text{ } ^\circ\text{C}$				Pressão = 33 mca
Pc	380	369	365	360	355	375	4,4b	
Pd	374	367	380	355	350	345	4,28	

$T_c = 24,0 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_d = 24,0 \text{ } ^\circ\text{C}$				Pressão = 36 mca
Pc	380	370	386	365	357	378	4,47	
Pd	380	370	386	365	357	378	4,47	

### Lateral 3

$T_c = 23,0 \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_d = 24,3 \text{ } ^\circ\text{C}$				Pressão = 3 mca
Pc	381	440	450	475	423	425	5,19	
Pd	355	405	430	445	381	382	4,80	

Tc = 23,0 °C		Td = 24,3 °C			Pressão = 6 mca		
Pc	305	346	410	365	312	340	4,16
Pd	290	330	360	340	295	321	3,87

Tc = 23,0 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 9 mca		
Pc	298	340	385	344	305	335	4,01
Pd	288	325	353	328	296	320	3,82

Tc = 23,0 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 12 mca		
Pc	319	350	378	350	325	343	4,13
Pd	305	330	358	334	310	315	3,90

Tc = 23,0 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 15 mca		
Pc	325	345	375	350	330	336	4,12
Pd	310	324	350	335	315	315	3,90

Tc = 23,2 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 18 mca		
Pc	330	335	365	349	330	335	4,09
Pd	319	320	349	330	320	318	3,91

Tc = 23,2 °C		Td = 24,3 °C			Pressão = 21 mca		
Pc	330	335	365	345	333	335	4,08
Pd	320	320	350	330	323	320	3,93

Tc = 23,4 °C		Td = 24,3 °C			Pressão = 24 mca		
Pc	335	340	370	350	335	340	4,14
Pd	325	330	359	336	328	328	4,01
Tc = 23,6 °C		Td = 24,3 °C			Pressão = 27 mca		
Pc	340	345	375	353	340	345	4,20
Pd	330	335	365	343	335	335	4,09
Tc = 23,6 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 30 mca		
Pc	344	350	380	356	347	350	4,25
Pd	338	344	375	349	343	343	4,18
Tc = 23,9 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 33 mca		
Pc	350	355	387	360	354	355	4,32
Pd	349	350	383	355	350	349	4,27
Tc = 24,2 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 36 mca		
Pc	354	357	393	360	359	358	4,36
Pd	354	357	393	360	359	358	4,36

Tabela A-5. Determinação da relação vazão-pressão dos microgotejadores usados.

Lateral 1/3: I

Tc = 23,0 °C

Td = 24,0 °C

Pressão = 3 mca

Pc	445	420	440	420	435	465	5,25
Pd	445	425	435	420	435	455	4,36

Tc = 23,0 °C

Td = 24,0 °C

Pressão = 6 mca

Pc	375	340	350	340	365	385	4,31
Pc	355	327	334	325	348	365	4,11

Tc = 23,0 °C

Td = 24,0 °C

Pressão = 9 mca

Pc	350	335	332	330	305	350	4,09
Pd	335	313	320	320	340	335	3,97

Tc = 23,0 °C

Td = 24,0 °C

Pressão = 12 mca

Pc	355	345	335	355	361	355	4,21
Pd	335	325	320	340	340	340	4,00

1/3: I - lateral localizada a um terço do início da terciária e microgotejadores localizados no início da lateral.



Tc = 23,0 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 15 mca		
Pc	355	345	335	355	361	355	4,21	
Pd	325	325	315	337	335	340	3,95	

Tc = 23,0 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 18 mca		
Pc	342	340	335	355	350	365	4,17	
Pd	325	325	325	340	335	350	4,00	

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 21 mca		
Pc	347	343	340	355	353	365	4,21	
Pd	330	333	330	345	340	350	4,06	

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 24 mca		
Pc	355	350	350	360	358	375	4,30	
Pd	345	340	340	350	345	365	4,17	

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 27 mca		
Pc	360	355	355	360	365	380	4,35	
Pd	350	345	345	355	350	370	4,23	

Tc = 23,7 °C		Td = 24,0 °C				Pressão = 30 mca		
Pc	370	360	360	370	365	383	4,42	
Pd	360	352	355	363	360	373	4,33	

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 33 mca		
Pc	372	365	365	375	370	387	4,47
Pd	367	360	363	370	365	380	4,41

Tc = 24,0 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 36 mca		
Pc	375	367	369	375	370	387	4,49
Pd	375	367	368	374	370	386	4,49

### Lateral 2/3: I

Tc = 23,2 °C		Td = 24,3 °C			Pressão = 3 mca		
Pc	510	370	480	435	409	435	5,28
Pd	500	350	469	420	393	425	5,11

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 6 mca		
Pc	400	280	376	349	320	345	4,14
Pd	374	270	350	329	300	325	3,90

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 9 mca		
Pc	370	287	356	333	315	335	3,99
Pd	349	284	340	323	305	325	3,85

2/3: I - lateral localizada a dois terços do início da terciária e microgotejadores localizados no início da lateral

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 12 mca		
Pc	367	320	357	340	335	357	4,15
Pd	349	313	340	322	323	345	3,98

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 15 mca		
Pc	363	330	355	340	349	368	4,21
Pd	343	320	335	325	335	355	4,03

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 18 mca		
Pc	355	335	349	340	355	375	4,22
Pd	341	323	339	328	343	365	4,08

Tc = 23,0 °C		Td = 23,8 °C			Pressão = 21 mca		
Pc	365	340	363	350	370	390	4,36
Pd	350	329	349	335	354	374	4,18

Tc = 23,0 °C		Td = 23,5 °C			Pressão = 24 mca		
Pc	365	344	364	353	371	391	4,38
Pd	355	335	355	343	365	379	4,26

Tc = 23,0 °C		Td = 23,0 °C			Pressão = 27 mca		
Pc	370	349	369	355	380	400	4,45
Pd	363	343	364	350	374	395	4,38

Tc = 23,2 °C		Td = 23,2 °C			Pressão = 30 mca		
Pc	375	355	375	364	390	410	4,54
Pd	370	350	370	355	381	403	4,46

Tc = 23,2 °C		Td = 23,2 °C			Pressão = 33 mca		
Pc	378	355	379	365	393	415	4,57
Pd	375	355	379	365	390	410	4,56

Tc = 23,2 °C		Td = 23,2 °C			Pressão = 36 mca		
Pc	382	360	381	370	399	420	4,62
Pd	382	360	381	370	399	420	4,62

#### Lateral F: I

Tc = 23,0 °C		Td = 24,4 °C			Pressão = 3 mca		
Pc	470	370	440	470	475		5,34
Pd	450	365	427	450	460		5,16

Tc = 23,2 °C		Td = 24,4 °C			Pressão = 6 mca		
Pc	415	303	375	390	407		4,54
Pd	385	290	360	368	385		4,29

F: I - lateral localizada no final da terciária e microgotejadores localizados no início da lateral

Tc = 23,2 °C		Td = 24,4 °C			Pressão = 9 mca	
Pc	375	290	353	358	365	4,18
Pd	355	277	338	342	350	3,99

Tc = 23,2 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 12 mca	
Pc	375	305	350	365	360	4,21
Pd	360	299	339	350	340	4,05

Tc = 23,2 °C		Td = 24,2 °C			Pressão = 15 mca	
Pc	375	315	350	370	355	4,24
Pd	355	305	332	350	339	4,03

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 18 mca	
Pc	375	325	345	375	355	4,26
Pd	369	315	335	355	340	4,11

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 21 mca	
Pc	370	330	350	375	355	4,27
Pd	362	328	341	364	345	4,18

Tc = 23,2 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 24 mca	
Pc	376	345	358	383	360	4,37
Pd	365	335	349	370	349	4,24

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 27 mca	
Pc	380	350	365	387	364	4,43
Pd	371	344	357	380	355	4,34

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 30 mca	
Pc	385	360	373	395	370	4,52
Pd	375	352	365	385	363	4,42

Tc = 23,5 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 33 mca	
Pc	385	362	375	399	374	4,55
Pd	381	359	372	395	369	4,50

Tc = 24,0 °C		Td = 24,0 °C			Pressão = 36 mca	
Pc	390	368	380	406	380	4,62
Pd	390	368	380	406	380	4,62

Tabela A-6. Resultados da determinação de perda de carga na lateral.

---

Comprimento da lateral: 20 m  
 Diâmetro interno: 10,3 mm  
 Espaçamento entre emissores: 1.0 m

---

$P_i = 10$  mca,  $P_f = 9,59$  mca,  $DH = 0,41$  m

Vazões (l/h): I = 4,14 / 3,84 / 4,22

1/3 = 3,84 / 4,32 / 3,84

2/3 = 3,78 / 4,08 / 3,84

F = 4,98 / 5,34 / 3,36

Vazão média (l/h) = 4,13

---

$P_i = 15$  mca,  $P_f = 14,61$  l/h,  $DH = 0,39$  m

Vazões (l/h): I = 4,26 / 4,02 / 4,26

1/3 = 3,96 / 4,56 / 4,02

2/3 = 4,08 / 4,22 / 4,14

F = 4,80 / 4,92 / 3,60

Vazão média (l/h) = 4,24

---

$P_i = 20$  mca,  $P_f = 19,56$  mca,  $DH = 0,44$  m

Vazões (l/h): I = 4,14 / 4,02 / 4,26

1/3 = 3,90 / 4,55 / 3,96

2/3 = 4,14 / 4,02 / 4,28

F = 4,68 / 5,10 / 3,72

Vazão média (l/h) = 4,23

---

cont.

---

$P_i = 25$  mca,  $P_f = 24,60$  mca,  $DH = 0,40$  m

Vazões (l/h): I = 4,20 / 4,14 / 4,32

1/3 = 4,14 / 4,44 / 4,26

2/3 = 4,08 / 4,44 / 4,26

F = 4,76 / 5,88 / 3,72

Vazão média (l/h) = 4,39

---

$P_i = 30$  mca,  $P_f = 29,60$  mca,  $DH = 0,40$  m

Vazões (l/h): I = 4,28 / 4,28 / 4,40

1/3 = 4,14 / 4,68 / 4,38

2/3 = 4,26 / 4,52 / 4,26

F = 4,92 / 5,46 / 3,90

Vazão média (l/h) = 4,46

---

$P_i$  - Pressão no início da lateral

$P_f$  - Pressão no final da lateral

DH - Perda de carga

I - microgotejadores localizados no início da lateral

1/3 - microgotejadores localizados a um terço da lateral

2/3 - microgotejadores localizados a dois terços da lateral

F - microgotejadores localizados no final da lateral