UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE TUBOS DE EMISSÃO EM MÓDULOS DE IRRIGAÇÃO SOB ADUÇÃO POR GRAVIDADE

SEBASTIÃO AVELINO NETO

CAMPINAS – SP JANEIRO DE 2000

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE TUBOS DE EMISSÃO EM MÓDULOS DE IRRIGAÇÃO SOB ADUÇÃO POR GRAVIDADE

Dissertação submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na Área de Concentração de Água e Solo.

SEBASTIÃO AVELINO NETO Orientador: Prof. Dr. Roberto Testezlaf

> CAMPINAS – SP JANEIRO DE 2000

Aos meus pais e irmãos dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor, força, esperança em todos os momentos.

Ao professor Roberto Testezlaf pela orientação, ensinamentos, estimulo e sugestões.

Aos professores Júlio Satto e Edson E. Matsura, pelas sugestões e conselhos.

À Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, pela oportunidade oferecida, através do Departamento de Água e Solo para poder participar do curso de pós-graduação.

À FAPESP – Fundação de Ampara à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro que permitiu o desenvolvimento da pesquisa.

À Empresa Netafim, pelo fornecimento de equipamentos para realização dos ensaios.

Aos técnicos de Laboratório Túlio A. P. Ribeiro e Gelson, pelo auxílio na montagem do experimento em laboratório e sugestões dadas.

Aos participantes do Grupo de Estudo em Hidráulica Irrigação e Drenagem (GEHIDRE) pela amizade e importante troca de conhecimentos.

Aos colegas do curso de pós-graduação João Carlos, Délvio, Ana Carolina, Christiane, Fernanda, Marcelus, Maurício Calháu, Maurício Comar, Claudinei e demais colegas pela demonstração de amizade.

Em especial, os meus pais Sebastião de Oliveira e Maria da Aparecida Oliveira pela vida, aos meus irmãos Ana, Andréa, Alessandro e Wagner pelo estimulo, incentivo amparo em todos os momentos difíceis.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pagir
SUMÁRIO	<i>iv</i>
LISTAS DE TABELAS	vii
LISTAS DE FIGURAS	viii
RESUMO	<i>x</i>
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Irrigação por Gotejamento	4
3.1.1. Vantagens	4
3.1.2. Limitações	5
3.2. Hidráulica do Sistema	6
3.2.1. Hidráulica da Linha Lateral	7
3.2.2. Hidráulica da Linha de Derivação	10
3.2.3. Hidráulica dos Gotejadores	11
3.2.3.1. Curva característica de emissores	11
3.2.3.2. Coeficiente de variação de fabricação	12
3.3. Parâmetros de Avaliação	14
3.3.1. Coeficiente de Uniformidade	15
3.3.2. Uniformidade de Distribuição Estatística	16

3.4. Tubos de Emissão	18
3.4.1. Classificação de Tubos de Emissão	18
3.4.2. Hidráulica dos Tubos de Emissão	20
3.4.2.1. Perda de carga	20
3.4.2.2. Equação característica do tubo de emissão	22
3.4.2.3. Pressão de ruptura	23
3.4.3. Alternativa de Baixo Custo	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. Local	27
4.2. Levantamento e Caracterização Hidráulica dos Tubos de Emissão	27
4.2.1. Levantamento dos Tubos de Emissão	27
4.2.2. Tubos de Emissão Ensaiados	27
4.2.3. Curva Característica dos Tubos de Emissão	28
4.2.4. Coeficiente de Variação de Fabricação	29
4.2.5. Uniformidade de Emissão	29
4.3. Desenvolvimento do Módulo de Irrigação	30
4.3.1. Caracterização Experimental das Curvas Operacionais do Módulo	31
4.3.2. Simulação do Comportamento Hidráulico do Módulo de Irrigação	32
4.4. Simulação Hidráulica de Linhas Laterais	36
4.5. Desempenho do Módulo de Irrigação	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. Levantamento e Caracterização Hidráulica de Tubos de Emissão	39
5.1.1. Levantamento de Tubos de Emissão	39
5.1.2. Equação Característica dos Tubos de Emissão	40
5.1.2.1. Tubo de Emissão Tiger Tape	40
5.1.2.2. Tubo de Emissão T-Tape	41
5.1.2.3. Tubo de Emissão Streamline 80	42
5.1.3. Coeficiente de Variação de Fabricação	43
5.1.4. Uniformidade de Emissão	45

5.2. Caracterização Hidráulica do Módulo de Irrigação	46
5.2.1. Avaliação Experimental do Módulo de Irrigação	46
5.2.2. Simulação do Comportamento Hidráulico do Módulo de Irrigação	47
5.3. Simulação Hidráulica de Linha Lateral	47
5.4. Desempenho do Módulo de Irrigação	51
6. CONCLUSÕES	53
7. RECOMENDAÇÕES	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
9. ANEXOS	60

LISTAS DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Classificação da uniformidade de fabricação, segundo SOLO	MON (1979) para fonte
pontual.	14
Tabela 2. Uniformidade do sistema de irrigação localizada (Us).	17
Tabela 3. Características dos tubos de emissão ensaiados.	28
Tabela 4. Tubos de emissão disponíveis no Brasil.	39
Tabela 5. Valores médios do coeficiente de variação de fabricação (CV	f) para os tubos de
emissão avaliados.	43
Tabela 6. Valores de vazão para diferentes posições dos emissores, para	a os tubos de emissão
ensaiados	45
Tabela 7. Valores de vazão e pressão experimentais e calculados, para o	diferentes alturas do
módulo de irrigação.	48
Tabela 8. Valores de vazão calculado para diferentes posições dos emis	ssores, para os tubos de
emissão ensaiados.	50

LISTAS DE FIGURAS

Figura Página	a
Figura 1. Tubo de emissão de câmara dupla com controle de vazão por orifício1	9
Figura 2. Tubo de emissão de câmara dupla com controle de vazão por capilar1	9
Figura 3. Tubo de emissão com câmara simples e controle de vazão por labirinto20	0
Figura 4. Tubo de emissão com gotejador fundido na parede interna20	0
Figura 5. Sistema proposto por Gilead (1996). 2:	5
Figura 6. Esquema da bancada de avaliação2	8
Figura 7. Esquema da instalação dos tubos de emissão no campo30	0
Figura 8. Fotografia do reservatório do módulo de irrigação3	1
Figura 9. Fotografia do painel de controle do módulo de irrigação3	1
Figura 10. Esquema do módulo de irrigação. 33	3
Figura 11. Fluxograma do programa para simular o comportamento hidráulico do módulo de	
irrigação3'	7
Figura 12. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão Tiger Tape. 40	0
Figura 13. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão T-Tape4	1
Figura 14. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão Streamline 80.	
42	2
Figura 15. Valores médios do coeficiente de variação de fabricação versus pressão para os	
tubos de emissão avaliados4	4
Figura 16. Curvas experimentais de vazão versus pressão para as diferentes alturas4	5

Figura 17. Curva calculada de vazão versus pressão, e dados experimentais de vazão e p	ressão
para a altura de 6,80 metros.	49
Figura 18. Curva calculada de vazão versus pressão, e dados experimentais de vazão e p	ressão
para a altura de 5,80 metros.	49
Figura 19. Valores de vazão experimental e simulado para diferentes posições dos goteja	idores,
para os tubos de emissão Streamline 80, T-Tape.	50
Figura 20. Curvas simuladas do módulo e valores calculados de pressão e vazão para	
diferentes comprimentos e números de linhas.	51

RESUMO

O alto custo de implantação do sistema de irrigação por gotejamento, tornou-se um empecilho para o emprego desta técnica por pequenos agricultores. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de tubos de emissão como uma alternativa tecnológica para agricultores de baixa capacidade econômica, impossibilitados de altos investimentos em tecnologia.

Realizou-se uma pesquisa de mercado para se obter a relação de tubos de emissão disponíveis no mercado nacional, e as respectivas empresas distribuidoras. Foram ensaiados os tubos de emissão Tigre Tape, T-Tape e Streamline 80 no Laboratório de Hidráulica Irrigação e no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, procurando avaliar o desempenho hidráulico e a uniformidade de distribuição destes modelos. Procurando disponibilizar o método de irrigação por gotejamento para agricultores de baixo poder econômico, foi instalado no campo experimental um módulo de irrigação operando por gravidade, sendo obtido as curvas de operação deste módulo para diferentes vazões e pressões de saída. Desenvolveu-se programas computacionais que permitissem simular o comportamento hidráulico dos tubos de emissão, para diferentes comprimentos de linha lateral, e o módulo de irrigação construído.

Analisando os resultados dos ensaios, pode-se verificar que o tubo Tiger Tape apresentou má qualidade de fabricação e de baixa uniformidade de distribuição, não sendo recomendado para ser utilizado por agricultores. Os outros tubos de emissão ensaiados apresentaram excelente qualidade de fabricação e uniformidade de distribuição. O módulo de irrigação desenvolvido apresentou um desempenho hidráulico satisfatório, demonstrando a viabilidade de se utilizar a gravidade como forma de operar o sistema de irrigação por gotejamento que utilizam tubos de emissão. Obteve-se pelos programas computacionais uma simulação com boa precisão para o comportamento da vazão ao longo da linha para os tubos de emissão em diferentes pressões. A simulação do desempenho do módulo de irrigação desenvolvido permitiu avaliar o seu ponto de funcionamento para diferentes números e comprimentos de linhas laterais instaladas na linha secundária.

ABSTRACT

One of the main reasons why drip irrigation is not used by small farmers is the high cost of the system initial investment. Therefore, the objective of this research is to evaluate the use of driptubes as a technological alternative for farmers with low economic capacity.

A market research was done to get the relation of available driptubes in the national market, and the respective manufacturing companies. The hydraulical performance and the uniformity of distribution of Tiger Tape, T-Tape and Streamline 80 driptubes models were evaluated at the Irrigation and Hydraulical Laboratory and in the experimental field of the College of Agricultural Engineering of the UNICAMP. Trying to develop a drip irrigation system for small farms, an irrigation module was installed in the experimental field operating through gravity. The operation curves of this module for different outflows and working pressures were obtained. Two softwares were developed to simulate the hydraulical behavior of the emission tubes, for different lengths of lateral lines, and to simulate the operation curves of the irrigation module.

Through the results, it can be verified that the Tiger Tape driptube presented poor manufacturing quality and low distribution uniformity, showing that this model is not recommended to be used by farmers. The other tested driptubes presented excellent manufacturing quality and a good uniformity of distribution. The developed irrigation module presented a satisfactory hydraulical performance, showing the viability of using the gravity as form to operate the drip irrigation system using driptubes. A simulation with good accuracy for the behavior of driptubes lateral lines was obtained using the developed software. The simulation of the operation curves of the irrigation module allowed to evaluate its working points for different numbers and lengths of lateral lines installed in the secondary line.

1. INTRODUÇÃO

Na atual situação da economia nacional que se caracteriza pela abertura de novos mercados consumidores, como por exemplo MERCOSUL, aliado a uma política do uso das terras, se faz necessário não só ao grande mas também ao pequeno agricultor, obter formas de aumentar sua produtividade, melhorar a qualidade do produto e reduzir custos, de modo a incrementar a lucratividade desta atividade.

Dentre as tecnologias utilizadas por agricultores para tecnificar a produção de alimentos, a irrigação assume papel de destaque, pois a água é um dos principais elementos no desenvolvimento da planta e na garantia da produção agrícola.

Em algumas regiões do Brasil, o uso múltiplo da água alterou tanto a qualidade como a quantidade dos recursos hídricos, levando as autoridades a implantarem políticas de recursos hídricos, que visem a cobrar pelo uso da água. Com a necessidade de economizar água, existe atualmente no meio agrícola, uma forte tendência na utilização de sistemas que apresentem maior eficiência no uso da água, como o método de irrigação localizada, o qual permite a redução da pressão de operação dos sistemas de irrigação, procurando diminuir o consumo de energia. A irrigação localizada, do tipo gotejamento, caracteriza-se por aplicar pequenas vazões de água com alta freqüência diretamente sobre a zona radicular mantendo a umidade do solo próxima a capacidade de campo e, diminuindo a evaporação direta da água do solo para a atmosfera. Desta forma, pode-se ter um menor consumo de água quando comparado com os outros sistemas de irrigação e não requerendo, portanto, o uso de sistemas de bombeamento com alta potência. Permite também a prática da fertirrigação, em razão de concentrar a região radicular da cultura junto ao bulbo molhado, facilitando assim sua aplicação. Mesmo com estas vantagens, este sistema não é muito utilizado, principalmente por pequenos agricultores, devido ao alto custo de investimento na sua implantação, ficando restrito a culturas de alto valor comercial.

No sistema de irrigação por gotejamento a aplicação de água é feita por tubos perfurados com orifícios de diâmetro reduzido ou por gotejadores, que são peças, conectadas a tubulações flexíveis de polietileno, trabalhando a baixas pressões. Em projetos de irrigação por gotejamento, os emissores contribuem com uma porcentagem significativa no custo de implantação deste sistema.

Visando reduzir os custos de implantação desses sistemas, foi desenvolvido o tubo de emissão, que é uma tubulação de polietileno de baixa densidade, com parede delgadas, onde os emissores já vêm fundidos na própria tubulação à espaçamentos regulares. Os tubos de emissão passaram a ser, desta forma, uma alternativa de baixo custo para implantação da irrigação por gotejamento. Este processo além de reduzir o custo de fabricação, facilita o seu transporte e a sua instalação no campo.

O tubo de emissão é uma tecnologia nova a disposição do agricultor brasileiro, existindo no mercado nacional importadores de diferentes marcas e modelos estrangeiros, cujas informações técnicas não constam na maioria dos catálogos traduzidos para o português, informações essas, fundamentais para o dimensionamento do sistema de irrigação.

Para a implantação do sistema de irrigação por gotejamento por pequenos agricultores, é necessário desenvolver formas na qual a técnica de gotejamento seja disponibilizada a um baixo custo de implantação, e seu principio de operação seja de fácil entendimento para o agricultor, mantendo as mesmas características de uniformidade e eficiência na aplicação da água.

2. OBJETIVOS

Para atender as necessidades do pequeno agricultor, foi desenvolvido o presente trabalho, tendo os seguintes objetivos:

- Realizar um levantamento dos tubos de emissão disponíveis no mercado brasileiro;
- Caracterizar hidraulicamente os modelos comercializados no mercado nacional, mediante levantamentos bibliográficos ou através de ensaios laboratoriais e de campo;
- Desenvolver um módulo de irrigação de baixo custo e caracterizá-lo hidraulicamente;
- Propor uma metodologia de projeto hidráulico para o módulo de irrigação;
- Avaliar o desempenho hidráulico do módulo de irrigação, utilizando tubos de emissão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Irrigação por Gotejamento

Com o emprego da irrigação, o agricultor pode conseguir diversos beneficios; entretanto, o sistema de irrigação por gotejamento, por aplicar água de forma localizada, é o sistema de irrigação com a qual se pode obter um maior conjunto de benefícios (OLITTA, 1987).

3.1.1. Vantagens

O emprego do sistema de irrigação por gotejamento permite controlar determinados parâmetros de projeto e operação de modo a se obter efeitos significativos na produção por área e por água consumida, bem como, na época da colheita e na qualidade do produto. Esses efeitos, são devidos às seguintes vantagens conseguidas com o emprego desse sistema:

a) *Maior eficiência no uso da água*: devido ao melhor controle da lâmina d'água, pois irriga apenas a área ao redor da planta, diminuindo assim, as perdas por evaporação, por percolação profunda, por escoamento superficial e pelo vento (BERNARDO, 1995).

b) *Maior produtividade*: segundo VIEIRA (1983), o metabolismo das plantas se adapta melhor quando se utiliza a técnica de gotejamento, podendo desta forma obter uma maior produção que os demais sistemas de irrigação, que podem atingir até 50% em frutíferas e 100% nos demais vegetais.

c) *Permite o uso de águas salinas ou solos salinos*: DASBERG & BRESLER (1985), constataram que devido o teor de água no solo permanecer sempre na capacidade de campo, a irrigação por gotejamento possibilita a utilização de água com teores elevados de sais.

Segundo VERMEIREN & JOBLING (1980), o movimento de distribuição da água de irrigação no solo, se faz da planta para a periferia do bulbo molhado tendendo os sais se concentrarem nos extremos.

d) *Propicia aproveitamento de pequenos mananciais*: foi observado por VIEIRA (1983), um melhor aproveitamento de pequenos mananciais conseguido devido a alta eficiência do sistema de irrigação por gotejamento, o qual aplica pequenas vazões a intervalos reduzidos.

e) *Maior eficiência no controle fitossanitário*: como não molha toda área plantada e a parte aérea dos vegetais, este sistema facilita o controle de ervas daninhas, insetos e fungos, obtendo-se uma maior eficiência no uso de defensivos, e uma substancial economia de mãode-obra para capinas ou de herbicidas (BERNARDO, 1995).

f) *Economia de mão-de-obra:* conseguida porque o sistema de irrigação por gotejamento é fixo e com alto potencial para ser automatizado (HILLEL, 1982).

g) *Permite a fertirrigação*: de acordo com DASBERG & BRESLER (1985), a fertirrigação proporciona melhor aproveitamento do fertilizante, pois é aplicado no solo diretamente sobre a região radicular obtendo menores perdas por lixiviação, podendo também ocorrer o parcelamento em tantas vezes quantas forem as irrigações. Desta forma, segundo DAVIS & BUCKS (1986), tem-se uma maior economia de mão de obra, combustível e máquina hora para a operação de adubação.

h) *Não interfere nos tratos culturais:* com o emprego da técnica de gotejamento, apenas a zona radicular da cultura é irrigada, permitindo desta forma o tráfego de máquinas e implementos, mesmo durante as irrigações (VERMEIREN & JOBLING, 1980).

i) *Adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia*: para KELLER & BLIESNER (1990), a irrigação por gotejamento se adapta melhor que os outros sistemas de irrigação a diferentes tipos de solo e topografia (irregular ou acidentada).

3.1.2. Limitações

Como toda tecnologia empregada para os devidos fins, o emprego do sistema de irrigação por gotejamento, também apresenta suas limitações, as quais estão relacionadas com os emissores, acessórios utilizados em sua implantação e a forma de aplicação da água.

a) *Entupimento dos gotejadores*: segundo DASBERG & BRESLER (1985), este é o principal problema associado com a irrigação por gotejamento. Devido ao uso de emissores com diâmetros pequenos de saída, há sempre o risco de entupimento da peça, comprometendo a eficiência e a uniformidade da irrigação. As causas mais comuns de entupimento são partículas de areia, partículas insolúveis de fertilizantes, algas, bactérias, óxido de ferro e formação de precipitados químicos.

b) *Acúmulo de sais no solo*: de acordo com HILLEL (1982), a água caminha no solo verticalmente e horizontalmente, formando na superfície um disco molhado cujo centro é ponto de queda do líquido. Nesse movimento os sais presentes no solo são carregados para a periferia do bulbo molhado onde tendem a se acumular. BERNSTEIN & FRANÇOIS (1973), afirmam que em regiões áridas, a água da chuva pode carregar estes sais acumulados para a zona das raízes da planta, causando choque osmótico na planta.

c) *Restrição ao desenvolvimento das raízes da planta*: NAKAYAMA & BUCKS (1986) afirmam que no gotejamento a água é aplicada em uma parte do volume total do solo, com isso as raízes tendem a se limitarem ao volume ou bulbo molhado, próximo ao emissor ou ao longo de cada linha lateral. A restrição excessiva do desenvolvimento das raízes pode acarretar um decréscimo no crescimento e rendimento das plantas.

d) *Elevado custo de implantação*: conforme observaram NAKAYAMA & BUCKS (1986) os equipamentos auxiliares requeridos na irrigação por gotejamento encarecem o custo inicial do sistema. Entretanto o custo pode variar consideravelmente dependendo do tipo de cultura, sistema de gotejadores, equipamentos de filtragem, automação, etc.

Pode-se observar, que as vantagens conseguidas com a implantação do sistema de irrigação por gotejamento, suplantam em muito suas limitações. Entretanto, estas limitações dificultam o emprego da técnica de gotejamento por pequenos agricultores, sendo de fundamental importância, obter formas para reduzi-las, para que este agricultor tenha esta técnica disponível como uma forma de auxiliá-lo no aumento da produtividade.

3.2. Hidráulica do Sistema

As características hidráulicas de um sistema de irrigação é parte fundamental em seu dimensionamento, desta forma procurou-se neste item descrever o princípio hidráulico da

operação das linhas laterais, distribuição e dos gotejadores, definindo-se os parâmetros mais importantes a serem determinados no presente trabalho e na montagem do módulo de irrigação.

3.2.1. Hidráulica da Linha Lateral

Em uma linha lateral desde que ocorra fluxo de água, haverá perda de carga ao longo da mesma, ocorrendo um variação de pressão. O transporte da água através de condutos forçados está regido basicamente por duas equações fundamentais: equação da continuidade e equação da energia.

A água que escoa em tubulações contém energia em diversas formas. Sendo que, a maior parte da energia está contida na forma de energia cinética, potencial e de pressão. A equação da energia, também conhecida como equação de Bernoulli, é expressa através da Equação 1.

$$E = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2.g} + Z$$
....(1)

onde: E - energia total (m); $\frac{V^2}{2.g}$ - energia cinética (m); Z - energia potencial ou de elevação (m);

 $\overline{\gamma}$

Segundo GOMES (1997), a equação da energia aplicada a fluidos incompreensíveis estabelece que em um escoamento permanente, entre duas seções de um conduto (A e B), a soma das energias de pressão, potencial e cinética na seção A, é igual à soma destas mesmas energias na seção B, mais as perdas de energia produzidas entre as duas seções.

 $\mathsf{E}_{\mathsf{A}} = \mathsf{E}_{\mathsf{B}} + \mathsf{h}_{\mathsf{f}} \quad(2)$

onde:

 E_A - energia total no ponto A (m);

 E_B - energia total no ponto B (m);

 h_f - perda de carga entre as seções (m).

Existem diversas equações para se calcular a perda de carga contínua numa linha lateral com tubulação de polietileno, podendo ser citadas as equações de Darcy-Weisbarch, fórmula de Scobey, Cruciani-Margazitona e Hazen-Willians, a mais utilizada.

BEZDEK & SOLOMON (1978), citam estudos realizados por Urbina (1977) e Paraqueima (1977), os quais mostram que a equação de Darcy-Weisbarch é mais precisa do que a equação de Hazen-Willians, para calcular a perda de carga em tubos de plásticos com pequeno diâmetro, usados como linhas laterais de sistemas de irrigação por gotejamento.

A fórmula de Darcy-Weisbarch, assim como as demais, foi desenvolvida para condição de vazão constante ao longo de toda a tubulação, o que não ocorre na linha lateral, na qual a vazão varia, devido aos emissores. Para fazer esta correção trabalha-se com uma perda de carga fictícia, que é a perda que ocorreria caso a vazão fosse constante ao longo da linha lateral (Equação 3).

$$h_{f} = \frac{8.f.L.Q^{2}}{D^{5}.\pi^{2}.g} \dots (3)$$

onde:

h_f - perda de carga fictícia (m);

f - coeficiente de fricção (adm);

- L comprimento do tubo (m);
- D diâmetro interno da tubulação (m);

Q - vazão na tubulação (m³/s);

g - aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

 π - constante 3,1415.

A perda de carga fictícia é função da perda de carga real ao longo da linha lateral (H_f) e de um parâmetro desenvolvido por Christiansen (1942), para determinar a perda de carga ou de pressão por atrito em tubulações com múltiplas saídas, este parâmetro é denominado de fator de redução de perda de carga (F) (KELLER & BLEISNER, 1990).

$$H_{f} = h_{f}.F \qquad (4)$$

onde:

H_f - perda de carga real (m);

F - fator de redução de perda de carga (adm).

O fator de redução de perda de carga depende do expoente da vazão (m) da equação de perda de carga, do número de emissores na linha lateral e da distância do início da linha ao primeiro emissor. O coeficiente de F de Christiansen, foi obtido assumindo-se que a primeira derivação está localizada a uma distância do ponto de derivação, igual à distância uniforme existente entre as múltiplas saídas, podendo ser calculado pela Equação 5.

onde:

m - expoente da vazão (adm);

N - número de emissores na linha (adm).

Em condições normais de operação, porém, nem sempre é possível instalar tubulações com múltiplas saídas, de maneira que a primeira derivação localiza-se a uma distância igual ou metade do espaçamento regular entre as derivações, relativamente ao ponto de derivação no início da tubulação. SCALOPPI (1986), propôs um coeficiente ajustado (Fa) para o cálculo da perda de pressão por atrito em tubulações eqüidistantes, para qualquer distância entre o início da tubulação e a primeira derivação.

Fa =
$$\frac{N.F + x - 1}{N + x - 1}$$
....(6)

onde:

x - razão entre a distância da primeira derivação ao início da tubulação e o espaçamento regular entre derivações ($0 \le x \le 1$).

KELLER & BLEISNER (1990) afirmam que a variação máxima de 20 % da pressão entre os emissores de uma linha lateral provoca uma variação máxima da vazão de 10% entre o primeiro e o último emissor de uma linha lateral, sendo a variação da vazão função do expoente da pressão na equação característica do emissor.

3.2.2. Hidráulica da Linha de Derivação

As linhas de distribuição são tubulações enterradas, normalmente de polietileno, e que promovem o abastecimento das linhas laterais, sendo conectadas às mesmas por peças especiais e braçadeiras. A variação da pressão permissível nesta linha depende da topografia, perda de pressão na lateral e a variação da pressão nos emissores (KELLER & BLIESNER, 1990). A perda de pressão, segundo JAMES (1988), pode ser estimada utilizando procedimento similar para o dimensionamento das linhas laterais. A equação de Hanzen-Willians, é geralmente utilizada para o dimensionamento de linhas de distribuição e principal, pois a mesma é recomendada para tubulações com diâmetro interno superior ou igual a 50 mm.

$$h_{f} = \frac{10,463.L}{D^{4,87}}. \frac{Q}{C}^{-1,852}$$
....(7)

onde:

h_f - perda de carga fictícia (m);

L - comprimento do tubo (m);

D - diâmetro interno da tubulação (m);

A relação que descreve a vazão em um gotejador segundo KELLER & KARMELI (1974), depende do percurso ao longo do gotejador, diâmetro do gotejador, pressão de serviço e viscosidade do fluído. Segundo estes autores, dentro de um limite de vazão, a característica de fluxo do gotejamento pode ser caracterizado pela Equação 8. Nesta equação, o valor de x caracteriza o regime de fluxo e a relação da vazão com a pressão de serviço do gotejador, ou seja, quanto menor o valor de x, menor o efeito da variação da pressão sobre a vazão.

Para KELLER & KARMELI (1975), os gotejadores de longo percurso de saída apresentam regime laminar, podendo apresentar o expoente x variando de 0,5 a 1,0. Isto significa que, nos gotejadores de fluxo laminar, a relação entre vazão e pressão é linear. Os gotejadores com orifício, em geral têm regime de fluxo turbulento, sendo a vazão proporcional à raiz quadrada da pressão, isto é, o valor de x é igual a 0,5. Nos gotejadores que apresentam sistema auto-compesante, o valor de x é menor que 0,5, tendendo teoricamente a zero, em seu melhor funcionamento.

Segundo BRALTS et al. (1981), o fator de proporcionalidade da equação de fluxo do emissor (K), inclui no seu valor os fatores relacionados com a fabricação do emissor, como por exemplo o coeficiente de descarga e a área da seção transversal dos emissores tipo orifício. Portanto, quando se considera a variação de vazão do emissor devido a fabricação, deve sempre se referir ao valor de K.

3.2.3.2. Coeficiente de variação de fabricação

Os emissores de irrigação por gotejamento, geralmente possuem dimensões muito reduzidas, o que dificulta a precisão na fabricação, tornando o coeficiente de variação de fabricação um parâmetro importante a ser considerado no dimensionamento de um projeto. A variabilidade de fabricação depende do projeto do emissor, do material utilizado em sua fabricação e dos cuidados e tolerâncias usados no controle de qualidade do processo de fabricação.

O coeficiente de variação de fabricação segundo KELLER & BLIESNER (1990), pode ser determinado através da Equação 9.

$$CVf = \frac{s}{q}.100$$
(9)

onde:

CVf - coeficiente de variação de fabricação (%);

s - desvio padrão da vazão média do emissor (l/h);

 \overline{q} - vazão média a uma pressão e temperatura padrão (l/h).

O desvio padrão é uma medida estatística, que indica a variação de vazão em relação aos diversos emissores (Equação 10).

$$s = \sqrt{\frac{\sum q_i - n.\overline{q}^2}{(n-1)}}$$
(10)

onde:

n - número de emissores ensaiados;

q_i - vazão de cada emissor (l/h).

Para a obtenção do coeficiente de variação de fabricação dos tubos de emissão ou gotejadores, os mesmos são ensaiados em laboratório, com uma quantidade mínima de emissores já pré-determinados por normas internacional e nacional. Existem diferentes normas para se realizar os ensaios de tubos de emissão. As normas ISO 9260 e 9261 (1991) são as mais recentes, as quais são específicas para ensaios de emissores e tubos de emissão respectivamente.

Através do valor do coeficiente de variação de fabricação obtido em laboratório, pode-se determinar a qualidade de fabricação do emissores testados utilizando-se, por exemplo, a classificação proposta por SOLOMON (1979) que é baseada na uniformidade de vazão dos emissores (Tabela 1).

Q - vazão na tubulação (m^3/s) ;

C - coeficiente que depende da natureza da parede do tubo (material e estado).

3.2.3. Hidráulica dos Gotejadores

O gotejador é a peça principal da irrigação por gotejamento, possuindo uma estrutura mecânica idealizada para dissipar a pressão disponível na linha lateral. von BERNUTH & SOLOMON (1986) definem os gotejadores como sendo peças pequenas, que podem ou não possuir parte móvel, sendo inseridos na linha lateral a intervalos pré-determinados, ou de acordo com o espaçamento entre plantas. As características hidráulicas e os tipos de gotejadores são devidos as características de acabamento das partes internas, o projeto do gotejador, o material utilizado na fabricação e o método de instalação.

Para a escolha dos gotejadores a serem utilizados no projeto de irrigação, as principais características segundo KELLER & KARMELI (1975) e ABREU et al. (1987) são: vazão relativamente baixa, constante e uniforme; orifício de saída do fluxo relativamente grande, evitando desta forma problemas de entupimento; devem ser baratos, resistentes e compactos.

3.2.3.1. Curva característica de emissores

A equação geral de emissores, também definida como curva característica do emissor (Equação 8), descreve o comportamento da vazão em função da pressão.

onde :

q - vazão $(1. h^{-1});$

K - coeficiente de proporcionalidade;

H - pressão de serviço (kPa);

x - expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adm).

CVf (%)	Uniformidade de fabricação
Até 3	excelente
4 a 7	média
8 a 10	marginal
11 a 14	pobre
Acima de 15	ruim

Tabela 1. Classificação da uniformidade de fabricação, segundo SOLOMON (1979) para fonte pontual.

SOARES (1981), propõe que os ensaios realizados para a obter a equação característica dos emissores e coeficiente de variação de fabricação devem ser determinados em laboratório, e estar sempre disponíveis aos projetistas e usuários deste sistema de irrigação.

TESTEZLAF & CAMPIONI (1993) encontraram para o tubo de emissão "Queen Gil", com sistema de emissores tipo labirinto, espaçados de 0,30 m, CVf médio de 2,8% indicando uma boa qualidade de fabricação. Estudando o tubo de emissão "Queen Gil", com sistema de emissores tipo labirinto, espaçados de 0,30 m SCHMIDT (1995), obteve para uma pressão de 66,7 kPa um CVf igual a 3,11%. VIEIRA (1996), estudando a característica hidráulica do tubo de emissão "Rain Tape TPC", com espaçamento entre emissores de 0,30 m e variando a pressão de 20 a 98 kPa, encontrou um valor médio de CVf igual a 1,97%.

3.3. Parâmetros de Avaliação

Os parâmetros que permitem determinar a uniformidade de distribuição em um sistema de irrigação, são de grande importância, pois podem indicar eventuais problemas que estão ocorrendo no sistema de irrigação no campo. A uniformidade de distribuição de água é uma medida freqüentemente utilizada como indicador de problemas de distribuição de água para os diferentes métodos de irrigação.

A avaliação da uniformidade de distribuição em um sistema de irrigação por gotejamento é afetado pela hidráulica na tubulação, como por exemplo a perda de carga, declividade do solo e as características hidráulicas dos emissores usados para distribuição de água. Dentre as características hidráulicas dos emissores incluem os efeitos de pressão, temperatura, qualidade da água e outros fatores relacionados a vazão dos emissores. Com o tempo de uso também aparecerá os efeitos de entupimento dos emissores.

Para WU & GITLIN (1974), a uniformidade de aplicação de água na linha lateral está relacionada com a variação na vazão do emissores, que é uma função do comprimento da linha e pressão de entrada, espaçamento dos gotejadores e da vazão total. HOWELL & HILLER (1974), afirmam que essa variação também é devida a perdas de carga por atrito ao longo da tubulação e nas inserções dos gotejadores, à ganhos e perdas de energia de posição, à qualidade da matéria prima e dos processos de fabricação, às obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e à geometria do gotejador.

3.3.1. Coeficiente de Uniformidade

É comum expressar a uniformidade de distribuição de água em uma área por um coeficiente de uniformidade. Quando este coeficiente é menor ou igual a um certo valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável.

As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma forma usual de obtê-las é por medidas de dispersão, expressando-as de forma admensional, pela comparação com o valor médio.

A uniformidade de distribuição da água é um importante parâmetro a ser determinado, para se analisar a eficiência de aplicação e a determinação do melhor espaçamento entre as linha laterais (MERRIAM & KELLER, 1978). Segundo esses autores, diversos fatores podem contribuir para uma desuniformidade do sistema: variabilidade das características devido ao controle de qualidade nos processos de fabricação, falha no manejo do sistema, mudanças físicas no sistema com o envelhecimento e entupimento dos emissores.

Existem diferentes métodos para a determinação da uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento. PINTO et al. (1988) compararam os diferentes métodos para se determinar a uniformidade de distribuição, obtendo que o método denominado de novo coeficiente de uniformidade (Equação 11) foi o que melhor se adaptou para avaliação em sistemas de irrigação por gotejamento.

15

$$CU = \frac{q}{q}.100$$
(11)

onde:

CU - Coeficiente de uniformidade (%);

q - média das duas menores vazões dos emissores (l/h);

 \overline{q} - vazão média total dos emissores (l/h).

O novo método para a determinação do coeficiente de uniformidade, é uma simplificação do método de "Pattern-Efficience". A avaliação do sistema de irrigação é realizado através de testes de campo, onde a coleta de dados de cada lateral é feita nos seguintes emissores: primeiro emissor, emissores situados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 ao longo do comprimento da linha lateral e o último emissor da linha, assim como a primeira linha lateral e as linhas laterais situadas a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e última linha lateral da unidade de irrigação. Através dos dados obtidos em campo, utiliza-se a Equação 12, para se determinar o coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento avaliado.

3.3.2. Uniformidade de Distribuição Estatística

A uniformidade de distribuição pode ser também obtida por métodos estatísticos. Segundo SMAJSTRIA et al. (1990), a uniformidade de distribuição pode ser estimada através de distribuição estatística de vazão dos emissores, calculada utilizando a Equação 12.

Us = 100.(1 - CV)

e no final da linha na qual está inserido os emissores a serem ensaiados, fato que não ocorrerá no campo. Na Equação 13, o CV inclui os efeitos da variabilidade na vazão dos emissores devido a todas causas, incluindo os efeitos da tubulação e das propriedades hidráulicas dos emissores no qual inclui o entupimento.

onde:

s - desvio padrão (l/h);

 \overline{q} - vazão média total (l/h).

A Equação 12, demonstra que quanto maior a variação da vazão dos emissores, menor será a uniformidade de aplicação. A Tabela 2, mostra a classificação dos sistemas de irrigação localizada de acordo com o valor de uniformidade de distribuição estatística (Us) proposta pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (ASAE, 1989).

Tabela 2. Uniformidade do sistema de irrigação localizada (Us).

Classe	Uniformidade, Us (%)
Excelente	Acima de 90
Bom	90 - 80
Razoável	80 - 70
Ruim	70 - 60
Inaceitável	Abaixo de 60

(Fonte: ASAE, 1989).

A uniformidade de distribuição, em um sistema de irrigação por gotejamento, é de grande importância, pois o mesmo aplica água de forma pontual, e uma uniformidade de distribuição ruim (inadequada) causa uma redução na eficiência de aplicação de água do sistema e, consequentemente, um redução na produtividade. Entre os diversos fatores causadores de uma uniformidade de distribuição inadequada, estão os efeitos relacionados ao

processo de fabricação, mudanças físicas do material devido a ação do tempo e manejo. Quanto aos fatores ocasionados pelo processo de fabricação e ação do tempo, a maneira de reduzi-los é escolher materiais de boa qualidade de fabricação. Quanto ao manejo, deve-se obter formas em que o agricultor interfira o mínimo possível na técnica de irrigação.

3.4. Tubos de Emissão

Consiste em um sistema integrado de gotejadores, no qual os emissores fazem parte da linha lateral, ou seja, são tubos fabricados de polietileno de baixa densidade, com parede delgada ou não, onde os emissores são fundidos na própria tubulação da linha lateral durante o processo de fabricação, a espaçamentos regulares. O tipo de matéria prima, diâmetro e espessura da parede do tubo de emissão, são parâmetros que reduzem o preço de aquisição do material, que aliado ao processo de fabricação de inserção do emissor ao tubo torna o equipamento de fácil instalação no campo e transporte. TELLES (1986) definiu este tipo de lateral como *tubo de emissão*, que será o termo utilizado neste trabalho. Neste sistema, os gotejadores ficam uniformemente espaçados, geralmente com vazões inferiores a 4 l/h (ABREU et al., 1987).

3.4.1. Classificação de Tubos de Emissão

Em função de ser um desenvolvimento tecnológico recente dentro da irrigação por gotejamento, não foi possível encontrar na literatura uma classificação já definida para os tubos de emissão existentes no mercado. Em função dos tipos disponíveis propõe-se neste trabalho, classificá-los devido ao número de seções de fluxo (câmaras simples ou duplas), e com relação ao tipo de sistema de controle de vazão (orifício, labirinto e capilar). Baseado nestas características definiu-se a seguinte classificação:

a) Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício: BOSWELL (1985) informa que nesses sistemas os orifícios são fabricados com uma alta precisão na perfuração, obtidos com um minúsculo furador, ou a laser, dependendo da vazão desejada no projeto, da tolerância a pressão e do diâmetro da tubulação. Geralmente os orifícios de ambas câmaras,

principal e secundária, têm o mesmo diâmetro, e são perfurados de 3 a 6 orifícios secundários para um principal (Figura 1).



Figura 1. Tubo de emissão de câmara dupla com controle de vazão por orifício.

b) Tubo de emissão de câmara dupla com capilar: utilizam pequenos tubos ou capilares para controlar a vazão (Figura 2). Estes capilares são formados por sobreposição de duas extremidades da membrana plástica, possuindo orifícios de saída com diâmetro de 0,10 à 0,20 mm, orifícios de entrada com 0,70 à 2,50 mm, e a distância entre capilares na câmara principal dependendo da vazão desejada (BOSWELL, 1985).



Figura 2. Tubo de emissão de câmara dupla com controle de vazão por capilar.

c) Tubo de emissão de câmara simples com controle por labirinto: possui apenas uma seção principal de fluxo, utilizando-se de um sistema de labirinto, o qual pode ser simples ou duplo labirinto, para reduzir a pressão interna da tubulação até a pressão atmosférica no ponto onde a água será aplicada (Figura 3).



Figura 3. Tubo de emissão com câmara simples e controle de vazão por labirinto.

d) Tubo de emissão de câmara simples com gotejadores de labirinto: é uma variação no processo de fabricação tanto de emissores como de tubos. Os tubos de polietileno são confeccionados com parede delgada, juntamente com os emissores, os quais são fundidos internamente à tubulação, como por exemplo: o tubo de emissão tipo Bob de cabelo (Figura 4).



Figura 4. Tubo de emissão com gotejador fundido na parede interna.

3.4.2. Hidráulica dos Tubos de Emissão

3.4.2.1. Perda de carga

Segundo WU & FANGMEIER (1984), a câmara principal do tubo de emissão pode ser considerada como uma tubulação de água, podendo a análise hidráulica de uma câmara simples ser realizada utilizando a equação de Darcy-Weisbach, para cálculo de perda de carga.

Na equação de Darcy-Weisbach, o coeficiente de atrito (f) é função do número de Reynolds e da rugosidade relativa (ξ / D), onde ξ é a rugosidade absoluta das paredes internas da tubulação e, D diâmetro interno da tubulação. Como em irrigação por gotejamento são usados tubos lisos (polietileno, PVC, etc.), a rugosidade relativa pode ser desprezada, considerando-se apenas o número de Reynolds (Re).

onde:

Re - número de Reynolds;

V - velocidade da água (m/s);

D - diâmetro interno da tubulação (m);

v - viscosidade cinemática (m^2/s).

Em um escoamento dentro de uma tubulação, pode ocorrer três regimes de escoamento, ou seja, regime de escoamento laminar, regime de transição e regime de escoamento turbulento. Para cada regime de escoamento o coeficiente de atrito f, é calculado por equações, relacionado-o com a rugosidade da parede e com as propriedades do líquido e as dimensões do conduto, através do número de Reynolds (Re). Para WU & FAGMEIER (1984) pode-se utilizar a equação de Hange-Poiseuille que define f como uma função do número de Reynolds, para fluxo laminar (Equação 15).

Regime Laminar $(\text{Re} \le 2000)$

$$f = \frac{64}{Re}$$
.....(15)

Regime de Transição

 $(2000 < \text{Re} \le 4000)$

$$f = 3,42.10^{-5}.Re^{0.85}$$
....(16)

KELLER & BLIESNER (1990) recomendam a utilização da equação de Blasius para estimativa do coeficiente de atrito (*f*) no regime de escoamento turbulento.

Regime Turbulento
$$(4000 < \text{Re} \le 10^5)$$

Segundo PARCHOMCHUK (1976), as mudanças na viscosidade em função da temperatura da água podem causar variações na vazão dos emissores acima do limite máximo de 10%, caso o regime de escoamento no emissor seja laminar.

Estudos realizados por SCHMIDT (1995), determinou para tubo de emissão "Queen Gil" o raio hidráulico entre as pressões de 20,1 e 110,2 kPa, concluindo que a variação do diâmetro nesta faixa de pressão foi inferior a 1% e, para efeito de dimensionamento, o mesmo pode ser considerado constante.

3.4.2.2. Equação característica do tubo de emissão

Conforme afirmam KELLER & BLIESNER (1990) a maior componente da perda de pressão no tubo de emissão de câmara dupla ocorre no orifício de entrada. Sendo portanto a vazão proveniente do orifício de entrada calculada pela Equação 18.

q = K.a.Kq.
$$\sqrt{\frac{2.g.H.n_o^2}{(1+n_o)}}$$
(18)

onde:

q - vazão do emissor (l/h);

K - coeficiente de conversão de unidades (3,6);

a - área da seção transversal do orifício (mm²);

 K_q - coeficiente de descarga que depende da característica do orifício (0,6 - 1,0);

g - aceleração da gravidade $(9,81 \text{ m/s}^2)$;

H - pressão de serviço (m.c.a);

 n_o - número de orifício (s) secundário (s) para cada orifício principal.

Embora exista uma equação característica (Equação 18) específica para tubos de emissão com câmara dupla, vários pesquisadores ainda utilizam a Equação 8, como a equação característica de tubos de emissão, obtendo para a mesma os parâmetros K e x.

SCHMIDT (1995) estudando os parâmetros da Equação 8, para o tubo de emissão "Queen Gil" (classificado como câmara simples com controle por labirinto) encontrou um valor para o expoente x igual a 0,6616, e caracterizou o regime de escoamento como turbulento. TESTEZLAF & CAMPIONI (1993), avaliando o mesmo tubo de emissão, encontraram um expoente x de 0,625, e concluíram que o valor deste coeficiente demonstra que o regime de escoamento do gotejador é turbulento ou está da região de transição. KUWABARA & MATSURA (1996), analisando o comportamento hidráulico de tubo de emissão "Queen Gil" com espessura da parede de 300 µm e espaçamento entre emissores de 0,20 e 0,30 m, encontraram valores para o expoente x igual a 0,520 e 0,6462 respectivamente, demonstrando desta forma que o regime de escoamento dos gotejadores ou é turbulento ou está próximo a região de transição como mencionado por outros autores.

As características hidráulicas do tubo de emissão "Rain - Tape TPC" foram obtidas por VIEIRA (1996), o qual encontrou para o expoente x da Equação 8, valor igual a 0,4563, caracterizando assim o regime de escoamento do emissor como turbulento.

3.4.2.3. Pressão de ruptura

Devido as características conferidas para o tubo de emissão durante seu processo de fabricação, os mesmos geralmente trabalham a baixa pressão, tornando de grande importância a determinação da pressão máxima suportada pelo mesmo, durante o funcionamento do sistema de irrigação.

As pressões de ruptura foram estudadas por TESTEZLAF & CAMPIONI (1993), utilizando o tubo de emissão "Queen Gil" com diferentes comprimentos e números de emissores, encontraram uma pressão média de ruptura de 382 kPa chegando a conclusão que

23
o número de emissores por comprimento linear não afeta a pressão de ruptura. De acordo com KUWABARA & MATSURA (1996), para o tubo de emissão ensaiado pelo mesmos, foi encontrado uma pressão de ruptura de 420,6 e 601,10 kPa, para os espaçamentos de 0,20 e 0,30 m respectivamente. VIEIRA (1996) determinou através de estudos realizados com o tubo de emissão "Rain - Tape TPC" que sua pressão de ruptura é de 206,5 kPa, o qual geralmente rompe em locais distintos ao longo do tubo de emissão, entretanto nunca nos emissores.

3.4.3. Alternativa de Baixo Custo

Uma técnica simplificada de irrigação por gotejamento, denominada de sistema GIDF (Gilead Drip Furrow Irrigation System) foi apresentada por GILEAD (1996). Esta técnica tinha o objetivo de diminuir os custos de instalação, manutenção e propiciar o uso de sistema de irrigação por gotejamento por agricultores de pequeno porte de países em desenvolvimento.

Segundo o mesmo autor, no uso desta alternativa, os agricultores não precisariam saber trabalhar com reguladores de pressão, válvulas hidráulicas e elétricas, filtros autolimpantes ou bombas injetoras de fertilizantes, como também não precisariam aprender como programar e operar a irrigação por computadores. O GIDF seria adaptável para qualquer agricultor instruído, ou não. Os seguintes equipamentos são necessários para sua operação: água e energia para ativar o sistema de irrigação, torre para elevar o reservatório, cabeçal de controle, filtro e injetor de fertilizantes, tubos de distribuição e tubos de emissão como linhas laterais, conforme demonstrado na Figura 5.

POLAK et al. (1997), propôs um sistema de irrigação por gotejamento de baixo custo para pequenos agricultores denominado IDE (International Development Enterprises), o mesmo reduz o custo de implantação através da utilização de linhas laterais móveis. No sistema IDE uma linha lateral móvel irriga 10 fileiras de plantas. Os emissores são substituídos por orifícios confeccionados na tubulação de polietileno com um diâmetro de 0,70 mm através de um furador com formato semelhante a uma agulha. Um suporte com comprimento de 6 cm, o qual possui uma fenda horizontal é instalado externamente ao orifício, para evitar que o mesmo funcione como um aspersor devido a imprecisão no processo de fabricação. O sistema de filtragem do IDE é constituído por um reservatório de



Figura 5. Sistema proposto por Gilead (1996).

plástico com capacidade de 20 litros, elevado a uma altura de dois metros acima da área cultivada, por onde a água passa antes de irrigar a cultura, na entrada do reservatório é instalado um tecido de nylon o qual funciona como um filtro.

As mudanças realizadas, reduzem o custo do sistema de U\$ 2.500 para US\$ 250 por hectare. O sistema de IDE é fabricado no Nepal, onde nas áreas em que foi implantado tem funcionado satisfatoriamente, se tornando uma opção de utilização da técnica de irrigação por gotejamento para os agricultores de menor porte. Estudos realizados com o sistema IDE no Nepal, para produção de hortaliças em áreas montanhosas, encontrou-se uma uniformidade de vazão variando de 73 % a 84 %. Os agricultores observaram uma redução pela metade da necessidade de trabalho conseguindo duplicar a área irrigada com o mesmo volume de água.

Existe atualmente por parte de pesquisadores a preocupação de se encontrar soluções para a aplicação da irrigação por gotejamento a baixo custo, que proporcione todas as vantagens deste método de irrigação para agricultores com baixo poder aquisitivo, através do desenvolvimento de uma metodologia e/ou uma técnica que tornem o método de gotejamento acessível ao pequeno agricultor. Os sistemas propostos por GILEAD (1996) e POLAK (1997), desenvolvidos como alternativas de baixo custo, possuem um bom potencial para a redução de custo de implantação do sistema de irrigação por gotejamento, pois utilizando sistemas de distribuição de água por gravidade, economizam mão-de-obra, permitindo utilizar

pequenos manacias de água, e sendo um sistema de fácil operação para o agricultor. Entretanto, pode-se observar algumas limitações nos sistemas propostos; no sistema IDE geralmente ocorrem imprecisão na confecção dos orifícios das linhas laterais, causando variação de vazão nos mesmos; no sistema proposto por GILEAD, a altura do reservatório é um fator limitante bem como a injeção de fertilizantes no reservatório.

Procurando disponibilizar o método de gotejamento para o pequeno agricultor, é que se propos avaliar um módulo de irrigação que opere por gravidade, estudando-se as suas características hidráulicas, e buscando simplificar para o agricultor o princípio de operação do sistema.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação e Drenagem e no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

4.2. Levantamento e Caracterização Hidráulica dos Tubos de Emissão

4.2.1. Levantamento dos Tubos de Emissão

Realizou-se uma pesquisa de mercado junto às empresas que comercializam equipamentos de irrigação, obtendo a relação dos modelos de tubos de emissão disponíveis no mercado nacional e as respectivas empresas distribuidoras e informações técnicas dos produtos.

4.2.2. Tubos de Emissão Ensaiados

Selecionou-se dentro de cada tipo de tubos de emissão, de acordo com a classificação proposta, um modelo para ser caracterizado hidraulicamente. Foram ensaiados os tubos de emissão Tiger Tape, T-Tape e Streamline 80, pois os mesmos são comercializados no Brasil e não possuem informações técnicas e científicas disponíveis nos catálogos fornecidos pelos distribuidores. A amostragem, foi obtida de uma bobina enviada pela empresa fabricante dos

respectivos tubos de emissão, sendo escolhido aletoriamente uma seção da bobina para realizar ensaio. A Tabela 3 apresenta as características dos tubos de emissão ensaiados.

Tuberu 5. Curueteristicus dos tubes de emissuo ensurudos.				
Canatorísticas	MARCAS			
Características	Tiger Tape T-Tape		Streamline 80	
	Câmara dupla com	Câmara dupla com	Câmara simples com	
Classificação	controle de vazão	controle de vazão por	o por Gotejadores de	
	por orifício	capilar	labirinto	
Matéria Prima	polietileno	polietileno	polietileno	
&i (mm)	16,5	16,5	16,0	
E.e (cm)	32	30	30	
E.p (mm)	0,20	0,15	0,20	

Tabela 3. Características dos tubos de emissão ensaiados.

Obs: &i - diâmetro interno; E. e - espaçamento entre emissores; E. p - espessura da parede

4.2.3. Curva Característica dos Tubos de Emissão

No laboratório foi montada uma bancada, conforme Figura 6, para realização dos ensaios. A bancada é constituída de mesa de avaliação, reservatório, registros, motobomba, filtro, regulador de pressão, manômetros, coletores, balança e tubos de emissão.



Figura 6. Esquema da bancada de avaliação.

Nos ensaios realizados em laboratório, regulou-se a pressão através da válvula reguladora, deixando-a estabilizar por 10 minutos. Através de manômetros de Bourdon, instalados no início e final do sistema, a pressão era monitorada durante todo o ensaio. Após a pressão regulada e estabilizada, os coletores de água eram distribuídos na gaveta da mesa de avaliação e os volumes de água eram coletados por um tempo cronometrado de quatro

minutos para as pressões de 27,6 kPa (4 psi), 41,4 kPa (6 psi), 55,2 kPa (8 psi), 69,0 kPa (10 psi), 82,7 kPa (12 psi), 96,5 kPa (14 psi). A cada pressão ensaiada monitorou-se a temperatura da água no reservatório.

Foram ensaiadas ao mesmo tempo três linhas de tubo emissão, com três metros de comprimento, contendo em média 10 emissores cada linha, o quê totalizava 30 emissores ensaiados. Esta quantidade de gotejadores ensaiados foi definida pela norma ISO-9260. O volume de água coletado nas três linhas de tubos de emissão, correspondente a cada pressão, era determinado gravimetricamente através da balança digital com precisão de 0,01 g. Na determinação da vazão média realizou-se três repetições para cada pressão que foi submetido os tubos. Após os dados coletados, foram determinados os parâmetros da equação característica dos tubos de emissão, utilizando-se a Equação 9.

4.2.4. Coeficiente de Variação de Fabricação

Para a determinação do coeficiente de variação de fabricação, utilizou-se os valores de vazão e pressão, obtidos em laboratório para determinar a equação característica dos tubos de emissão. Obteve-se o coeficiente de variação de fabricação para cada pressão do tubo de emissão ensaiado, com base na Equação 9.

4.2.5. Uniformidade de Emissão

A uniformidade de distribuição da água ao longo das linhas de tubos de emissão para os três modelos selecionados, foi determinada através de ensaios de campo. Nesses ensaios, os tubos de emissão foram conectados ao módulo de ensaio, conforme Figura 7. O módulo era composto por um conjunto motobomba, reservatórios, tubulação de PVC, registro de gaveta e manômetro.

Instalou-se uma linha de tubo de emissão, com comprimento de 100 metros posicionada em nível na área experimental, sendo a pressão monitorada através do manômetro de Bourdon. Deixava-se estabilizar a pressão do sistema por 15 minutos antes de iniciar os ensaios. Para as linhas de tubo de emissão ensaiadas no campo experimental, utilizou-se a



Figura 7. Esquema da instalação dos tubos de emissão no campo.

pressão de 50 kPa para o tubo Streamline 80 e 55,2 kPa para os tubos Tiger Tape e T-Tape, as pressões de ensaios são diferentes devido as informações obtidas de catálogo.

Os coletores foram colocados a distância de 0 m, 20 m, 40 m, 60 m, 80 m e 100 m do início da linha de tubo de emissão. Em cada posição era coletado o volume aplicado em dois gotejadores adjacentes. Através de uma proveta de 100 ml com precisão de 1 ml, foi determinado o volume de água coletado, após transcorrido um período de quatro minutos; realizando-se duas repetições para cada gotejador ensaiado.

Através dos volumes coletados, realizou-se a análise de uniformidade de distribuição determinando-se a uniformidade distribuição estatística (Us) proposta por SMAJSTRIA (1990) e calculado através da Equação 12, e a uniformidade de emissão (CU) definido pela Equação 11.

4.3. Desenvolvimento do Módulo de Irrigação

Com base na proposta de GILEAD (1996) foi montado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP um módulo de irrigação. O módulo de irrigação é constituído de um reservatório de fibra de vidro, com capacidade para 3 m³ (Figura 8), elevado por uma torre a uma altura de 4 metros, cuja base estava situada a 1,40 metros acima da área experimental, localizada uma distância de 22 metros da linha secundária. Para abastecer o reservatório foi utilizado um conjunto motobomba que retirava água de uma caixa de cimento amianto de 250 litros (Figura 9). Quando o reservatório elevado atingia o seu nível de água máximo, a bomba era desligada automaticamente através da informação enviada por uma bóia de mercúrio instalada no interior do reservatório.



Figura 8. Fotografia do reservatório do módulo de irrigação.



Figura 9. Fotografia do painel de controle do módulo de irrigação.

4.3.1. Caracterização Experimental das Curvas Operacionais do Módulo

Para a avaliação hidráulica do módulo de irrigação, determinou-se a relação entre a vazão e pressão fornecida pelo sistema, variando-se o nível da água no interior do reservatório a cada 25 cm a partir da sua base, ou seja, foram adotadas as seguintes alturas: 5,80; 6,05; 6,30; 6,55; 6,80 metros. Os respectivos níveis d'água dentro do reservatório foram monitorados com o auxílio de uma régua de madeira graduada, onde em sua extremidade foi colocada uma bóia, para manter o nível da água constante na altura em que estava sendo realizado os ensaios, foi instalado no interior do reservatório uma bóia de mercúrio, que ligava

e desligava a bomba automaticamente. Para cada altura do nível da água, a velocidade de escoamento foi medida por um equipamento da marca Dopple Flowmeter com a precisão de 0,1 m/s, instalado na linha principal. Variou-se a velocidade do escoamento através do registro de gaveta que foi aberto gradativamente nas seguintes regulagens: um volta, duas voltas, três voltas, quatro voltas, seis voltas e totalmente aberto. Para cada posição do registro, realizou-se quatro repetições para a determinação da velocidade e da pressão. A pressão era monitorada a jusante do registro, por um manômetro de Bourdon, com uma intervalo de funcionamento na faixa de 0 a 100 kPa (0 a 10 mca e precisão de 0,20 mca), calibrado previamente.

A partir dos resultados obtidos construiu-se as curvas experimentais de vazão versus pressão para as diferentes alturas ensaiadas, obtendo-se assim as curvas de operação do módulo.

4.3.2. Simulação do Comportamento Hidráulico do Módulo de Irrigação

Desenvolveu-se um programa computacional para simular o comportamento hidráulico do módulo de irrigação. A partir do esquema apresentado na Figura 10, realizou-se o equacionamento utilizando a expressão do teorema de Bernoulli, aplicado nas seções A e C do módulo de irrigação (Equação 19).

$$\frac{P_{A}}{\gamma} + \frac{V_{A}^{2}}{2.g} + Z_{A} = \frac{P_{C}}{\gamma} + \frac{V_{C}^{2}}{2.g} + Z_{C} + H_{f}....(19)$$

Deduzindo a Equação 19, encontra-se que a pressão que atua no ponto A é igual a atmosférica e a velocidade pode ser considerada desprezível, ou seja, igual a zero. Assumindo o plano de referência no ponto C, tem-se que $Z_A = H$ e $Z_C = 0$, e definindo $\frac{P_C}{\gamma} = H_C$, ou seja, como a pressão disponível no ponto C do módulo de irrigação, obtém-se a Equação 20.



Figura 10. Esquema do módulo de irrigação.

O cálculo da perda de carga total do módulo de irrigação, é obtido pela soma das perdas ocorridas entre os pontos A e C conforme a Equação 21.

O cálculo da perda de carga entre os pontos A e B do módulo, é o somatório das perdas de carga localizadas (acessórios) e da perda de carga na tubulação obtida através da equação de Darcy-Weisbach (Equação 3), resultando a Equação 22.

onde:

 h_{feE} - perda de carga na entrada do reservatório;

 h_{fec} - perda de carga equivalente da curva;

h_f - perda de carga na tubulação entre o ponto de entrada e o ponto B (Equação 3).

A Equação 23 é utilizada para determinar a perda de carga equivalente (perdas nos acessórios), onde o parâmetro Ki em nosso caso foi considerado valor constante para os acessórios (entrada, curvas e registros) utilizados no módulo de irrigação da Figura 10.

Desenvolvendo a Equação 22, com a substituição da Equação 23, obtém-se a Equação 24 utilizada para calcular a perda de carga entre os pontos A e B.

$$h_{AB} = \frac{Ke.V_{e}^{2}}{2.g} + \frac{Kc.V_{c}^{2}}{2.g} + \frac{f.ht.V_{B}^{2}}{D.2.g}....(24)$$

onde:

Ke - coeficiente de entrada (0,5-0,83);

Kc - coeficiente da curva (0,18 - 0,50);

Ve - velocidade da água na entrada da tubulação;

V_c - velocidade da água na curva;

V_B - velocidade do escoamento no ponto B;

ht - altura da torre do reservatório.

Para o cálculo da perda de carga entre os pontos B e C do módulo, soma-se a perda equivalente ocorrida no registro e a perda por atrito da tubulação (Equação 3), obtendo a Equação 25.

$$h_{BC} = \frac{Kr.V_{C}^{2}}{2.g} + \frac{f.L.V_{C}^{2}}{D.2.g}....(25)$$

onde:

Kr - coeficiente do registro (0,04 - 0,15);

V_C - velocidade da água no ponto C.

Substituindo as Equações 24 e 25 na Equação 21 encontra-se a Equação 26.

A equação da perda de carga total pode ser simplificada considerando, as velocidades do escoamento iguais na entrada da tubulação e ao longo da mesma, ou seja, entre os pontos B e C da seguinte forma: $V_e - V_c - V_B - V_C - V$, isolando a energia cinética tem-se a Equação 27.

$$H_{fAC} = \frac{V^2}{2.g} \left[Ke + Nc.Kc + Nr.Kr + \frac{f.ht}{D} + \frac{f.L}{D} \right] \dots (27)$$

onde:

Nc - número de curvas no sistema;

Nr - número de registros.

Para se obter a altura do módulo de irrigação, soma-se a altura do reservatório e a altura do nível da água dentro do mesmo conforme a Equação 28.

$$H = ha + ht$$
.....(28)

onde:

ha - altura do nível da água no reservatório.

Evidenciando a pressão disponível (H_C) e substituindo a Equação 28 na Equação 20, encontra-se a Equação 29.

$$H_{c} = ha + ht - \left(\frac{V_{c}^{2}}{2.g} + H_{fAC}\right)$$
....(29)

Utilizando o algoritmo do equacionamento do módulo de irrigação, elaborou-se um macro em planilha EXCELTM. Para a validação do programa, simulou-se o comportamento hidráulico do módulo de irrigação adotando-se como valores de entrada do programa, os dados experimentais de velocidade, altura do reservatório, diâmetro da tubulação, obtendo-se a pressão disponível do sistema (ponto C). O programa permite também simular a altura do reservatório partindo dos mesmos dados de entrada já citados, para a pressão desejada.

O fluxograma desenvolvido do Macro em EXCELTM é apresentado na Figura 11, sendo mostrado toda a seqüência de cálculos realizada pelo programa para a obtenção dos dados de saída, como por exemplo, a pressão disponível, vazão do sistema e altura do reservatório.

4.4. Simulação Hidráulica de Linhas Laterais

Foi desenvolvido um programa na linguagem Visual Basic, o qual simula a variação de vazão e pressão para diferentes comprimentos da linha lateral. O programa foi desenvolvido permitindo a utilização das equações de Darcy-Weisbach e Hazen-Willians, para o cálculo da perda de carga contínua de uma linha lateral. O programa fonte elaborado está apresentado no Anexo 1. Adotando-se uma pressão final e entrando com valores x e K da equação geral dos emissores no programa, o mesmo calcula a vazão e a pressão de cada gotejador ao longo de toda linha lateral, para diferentes valores de comprimento e pressão de entrada na linha.

Utilizando este programa, validou-se o uso da equação de Darcy-Weisbach no cálculo da perda de carga de linhas laterais para tubos de emissão.

Como dados de entrada do programa, utilizou-se as pressões de 50 e 55,2 kPa para os tubos de emissão Stramline 80 e T-Tape respectivamente, e os parâmetros da equação característica (x e K), os quais foram obtidos em laboratório para os referidos tubos de emissão para o comprimento de 100 metros. Os valores simulados de pressão e vazão foram comparados com os dados obtidos nos ensaios de campo.



Figura 11. Fluxograma do programa para simular o comportamento hidráulico do módulo de irrigação.

4.5. Desempenho do Módulo de Irrigação

Simulou-se o desempenho do módulo desenvolvido, determinando-se o ponto de operação do módulo (vazão e pressão) para diferentes números de linhas laterais (10, 20, 40 e 60) instaladas na linha secundária, com comprimento de 20, 50 e 100 metros. Utilizando-se do programa na linguagem Visual Basic, obteve-se a vazão da linha lateral para os diferentes comprimentos com a pressão variando de 16 a 70 kPa a cada 2 kPa.

Para a obtenção da vazão total na secundária, multiplicou-se a vazão da linha lateral (Q_L) por diferentes números de linhas (20, 40 e 60).

$$Q_T = Q_L.NL$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Levantamento e Caracterização Hidráulica de Tubos de Emissão

5.1.1. Levantamento de Tubos de Emissão

Realizou-se um levantamento dos modelos de tubos de emissão comercializados no Brasil assim como as respectivas empresas distribuidoras, sendo o resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Tubos de emissão disponíveis no Brasil.			
TUBOS DE EMISSÃO	EMPRESAS		
Chaplin	Scarcelli		
Eurodrip	Carborundum		
Naan Paz	Asbrasil e Hortishop		
Queen Gil	Irrigotec		
Rain Tape	Regatec e Rain Bird		
Ro Drip	Hortec		
Streamline	Netafim Brasil		
Tiger Tape	Irrigaplan e Hortishop		
T-Tape	Gianni Bombas		

As características hidráulicas dos modelos de tubos de emissão citados, estão dispostas nas tabelas apresentadas no Anexo 2.

5.1.2. Equação Característica dos Tubos de Emissão

5.1.2.1. Tubo de Emissão Tiger Tape

Os dados de vazão versus pressão para o tubo de emissão Tiger Tape foram plotados em um gráfico conforme a Figura 12, sendo também traçada a curva característica para o referido tubo de emissão.



Figura 12. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão Tiger Tape.

Através da Figura 12, pode-se observar uma alta variabilidade dos valores de vazão para cada pressão de ensaio. Nota-se, nesta figura, que a variabilidade dos valores de vazão aumentou com o acréscimo da pressão.

A equação característica do tubo de emissão Tiger Tape (Equação 31), foi obtida através da análise de regressão linear utilizando todos os valores de vazão coletadas, ou seja, 90 pontos por pressão ensaiada, como apresentado na Figura 12.

$$q = 0,0895.H^{0,5743}....r^2 = 0,3597....(31)$$

Pode-se afirmar que o tubo de emissão Tiger Tape possui um regime de escoamento turbulento, caracterizado pelo valor do expoente x igual a 0,5743 da equação potencial.

Encontrou-se, para a Equação 31, um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,3597 o que confirma a alta variabilidade dos dados para este modelo de tubo.

5.1.2.2. Tubo de Emissão T-Tape

Em laboratório foram obtidos valores de vazão versus pressão os quais se encontram dispostos no gráfico da Figura 13, assim como a curva característica para o tubo de emissão T-Tape.



Figura 13. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão T-Tape.

Através do dados de vazão versus pressão plotados na Figura 13, pode-se constatar que o tubo de emissão T-Tape possui uma baixa variabilidade de vazão para cada pressão de ensaio, apresentando baixa dispersão dos dados em torno da média, como pode ser observado pela curva característica traçada e os dados obtidos.

Através de ensaios de laboratório obteve-se 90 pares de vazão versus pressão, como mostrado na Figura 13, obtendo com os mesmos a equação característica do tubo de emissão T-Tape (Equação 32).

$$q = 0,1417.H^{0,4859}....r^2 = 0,9609....(32)$$

Através do parâmetro x da equação potencial, constatou-se que o tubo de emissão T-Tape, possui um regime de escoamento turbulento. Obteve-se um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,9609, confirmando a baixa variabilidade dos dados conforme mostrado na Figura 13, e o bom desempenho deste modelo de tubo de emissão.

5.1.2.3. Tubo de Emissão Streamline 80

A Figura 14 apresenta o gráfico de dispersão para os dados de vazão e pressão obtido com o ensaio do tubo de emissão Streamline 80, e acompanhado da curva característica.



Figura 14. Curva característica da vazão versus pressão para o tubo de emissão Streamline 80.

Através da Figura 14 pode-se observar a baixa variabilidade dos valores de vazão para as diferentes pressões de ensaio. O acréscimo da pressão não causou um aumento da dispersão dos valores de vazão em torno da média.

A equação caraterística para o tubo de emissão Streamline 80 foi obtida a partir da análise de regressão utilizando todos os dados obtidos nos ensaios os quais se encontram plotados na Figura 14.

O tubo Streamline 80 possui um regime de escoamento turbulento, determinado pelo expoente x igual a 0,457 da equação potencial. Para a Equação 33, encontrou-se um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,9767, indicando um bom ajuste do modelo potencial para descrever a relação vazão versus pressão para o referido tubo de emissão.

5.1.3. Coeficiente de Variação de Fabricação

A Tabela 5 apresenta os valores médios do coeficiente de variação de fabricação dos três tubos de emissão ensaiados, para as diferentes pressões.

Pressão	CVf (%)			
(kPa)	Tiger Tape	T-Tape	Streamline 80	
27,6	25,80	2,10	2,40	
41,4	24,00	2,00	2,70	
55,2	24,50	1,80	1,80	
69,0	23,40	2,00	2,40	
82,7	24,40	2,30	2,70	
96,5	24,80	1,70	2,30	

Tabela 5. Valores médios do coeficiente de variação de fabricação (CVf) para os tubos de emissão avaliados.

O efeito do processo construtivo para o tubo de emissão Tiger Tape, expresso pelo coeficiente de variação de fabricação variam de 23,37 % a 25,82 %, apresentando um valor médio de 24,4 % para todas as pressões. O tubo de emissão Tiger Tape pode ser classificado, pelo critério proposto por SOLOMON (1979), com uniformidade de fabricação ruim, ou seja, impróprio para ser utilizado por agricultores como emissores em sistemas de irrigação por gotejamento.

Durante a realização dos ensaios com o tubo de emissão Tiger Tape, pode-se observar algumas falhas de fabricação do material, o que contribui para a ocorrência da variabilidade nos valores de vazão. Acredita-se que o principal fator que contribui para este efeito foi o tipo do orifício de saída de água do emissor, o qual tem o formato de um x, e estão dispostos em pares. Ao longo da linha apareceram emissores oclusos pelo processo de

fabricação, causando uma baixa uniformidade de distribuição de vazão no mesmo. Este comportamento provocou a obtenção de valores de CVf elevados, ou seja acima de 15%.

O tubo de emissão T-Tape, apresentou valores do coeficiente de variação de fabricação variando de 1,7 % a 2,3 %, e um valor médio de 1,98 %, valor este que o classifica segundo SOLOMON (1979), como tubo de emissão com uniformidade de fabricação excelente.

O tubo de emissão Streamline 80 apresentou valores de CVf que variam de 2,7% sobre uma pressão de 82,7 kPa à 1,8% com pressão de 55,2 kPa, sendo obtido um coeficiente de variação de fabricação médio de 2,4%, classificado por SOLOMON (1979), como de uniformidade de fabricação excelente.

Os dados de pressão versus CVf dispostos na Tabela 5, estão apresentados na Figura 15.



Figura 15. Valores médios do coeficiente de variação de fabricação versus pressão para os tubos de emissão avaliados.

Analisando a Figura 15, observa-se que para os tubos de emissão ensaiados, o aumento da pressão não resultou em um acréscimo no coeficiente de variação de fabricação. Os valores do coeficiente de variação de fabricação obtidos para os tubos de emissão T-Tape e Streamline 80 são próximos para todas as pressões de ensaio confirmando a pequena variabilidade dos dado apresentados nas Figuras 13 e 14. O alto valor do coeficiente de variação de fabricação obtido para o tubo de emissão Tiger Tape confirma a variabilidade dos dados de vazão versus pressão plotados na Figura 12.

Posição do Gotejador (m)	Streamline 80		T-Tape	
	Pressão (kPa)	Vazão (l/h)	Pressão (kPa)	Vazão (l/h)
0	50,00	0,787	55,20	1,00
20	49,78	0,783	54,92	1,00
40	49,62	0,783	54,71	0,99
60	49,55	0,782	54,60	0,99
80	49,53	0,782	54,57	0,99
100	49,52	0,780	54,56	0,99

Tabela 8. Valores de vazão calculado para diferentes posições dos emissores, para os tubos de emissão ensaiados.

Através dos dados obtidos com o programa desenvolvido, pode-se observar na Tabela 8, que a variação de pressão não resultou em uma variação acentuada da vazão ao longo do comprimento dos tubos de emissão T-Tape e Streamline 80.

O gráfico da Figura 19 apresenta valores experimentais e simulados de vazão para diferentes posições do gotejador, para dois tubos de emissão ensaiados com um comprimento de 100 metros da linha lateral sobre as pressões de 50 e 55,2 kPa.



Figura 19. Valores de vazão experimental e simulado para diferentes posições dos gotejadores, para os tubos de emissão Streamline 80, T-Tape.

Através da Figura 19, pode-se verificar que os tubos de emissão Streamline 80 e T-Tape apresentaram uma baixa variabilidade da vazão ao longo da linha lateral com

5.1.4. Uniformidade de Emissão

Os valores do coeficiente de uniformidade de emissão para os tubos de emissão ensaiados em campo para o comprimento de 100 metros e pressões de 50 kPa para o tubo Streamline 80 e 55,2 kPa para os tubos Tiger Tape e T-Tape, são apresentados na Tabela 6, obtida dos dados dispostos no Anexo 3.

Posição do Gotejador (m)	Streamline 80	Tiger Tape	T-Tape
0	0,743	1,413	1,065
20	0,731	1,129	1,035
40	0,716	0,754	0,998
60	0,705	0,752	0,986
80	0,713	0,643	0,945
100	0,724	1,114	1,018
Qm (l/h)	0,722	0,967	1,008
s (l/h)	0,014	0,298	0,042
C.V	0,019	0,308	0,041
Qvar (%)	0,026	0,212	0,044
CU (%)	98,22	72,10	95,80
Us (%)	98,12	69,23	98,88

Tabela 6. Valores de vazão para diferentes posições dos emissores, para os tubos de emissão ensaiados.

Obteve-se valores para os coeficientes de uniformidade iguais a 98,22 % para o tubo de emissão Streamline 80 e 95,80 % para o tubo de emissão T-Tape, podendo-se afirmar que o comportamento da variação da vazão está dentro dos padrões aceitáveis para a utilização no campo. De acordo com a classificação proposta por ASAE (1989), estes tubos de emissão podem ser considerados como tendo um desempenho de funcionamento excelente. O tubo de emissão Tiger Tape, conforme ensaio de campo, apresentou coeficiente de uniformidade de emissão igual a 72,10 % sendo classificado como tendo um desempenho de funcionamento razoável.

Os tubos de emissão Streamline 80 e T-Tape apresentaram valores do coeficiente de uniformidade estatística proposta por SMAJSTRIA (1990) iguais a 98,12 % e 95,80 respectivamente, os quais são classificados pelo critério ASAE (1989) como tubos de

funcionamento excelente. O tubo de emissão Tiger Tape pode ser classificado como de funcionamento ruim, devido o valor da uniformidade estatística obtida igual a 69,23 %.

5.2. Caracterização Hidráulica do Módulo de Irrigação

5.2.1. Avaliação Experimental do Módulo de Irrigação

Os dados experimentais de vazão e pressão para diferentes alturas do reservatório estão apresentados no Anexo 4. A partir das médias destes valores construiu-se a Figura 16.



Figura 16. Curvas experimentais de vazão versus pressão para as diferentes alturas.

Analisando a Figura 16, verifica-se que para as diferentes alturas do nível da água dentro do reservatório, a vazão é inversamente proporcional à pressão disponível na saída do módulo para a linha secundária.

Observa-se que para diferentes alturas do nível da água há uma tendência das curvas convergirem para um mesmo valor de vazão e pressão, este fato pode ser explicado devido ao aumento da velocidade da água com o registro totalmente aberto, reduzindo-se a pressão com o aumento da perda de carga. Nesta condição de registro totalmente aberto, a pressão e velocidade da água no sistema praticamente independe do nível de água no reservatório.

5.2.2. Simulação do Comportamento Hidráulico do Módulo de Irrigação

Através da aplicação do macro desenvolvido em Excel obteve-se a Tabela 7, a qual mostra os valores experimentais de vazão e pressão, e os valores de pressão calculados através dos dados de velocidades médias determinadas experimentalmente.

Analisando os dados apresentados na Tabela 7, pode-se afirmar que para praticamente todos os valores de vazão o programa subestimou o valor da pressão disponível, sendo encontrado em apenas um ponto, a diferença negativa, ou seja, a pressão calculada foi superior a experimental. Para os menores valores de vazão (registro fechado) encontrou-se as maiores diferenças entre as pressões.

Na Figura 17, é apresentada a curva de vazão versus pressão, e os valores de pressão obtidos experimentalmente para a altura do reservatório de 6,80 metros.

Pode-se observar que há uma diferença significativa entre os valores de pressão experimentais e os calculados pelo programa, utilizando baixas vazões. Entretanto, a diferença entre as pressões calculada e a experimental reduzem a medida em que se aumenta a vazão.

A Figura 18 apresenta os valores de curva calculada de vazão versus pressão, e dados experimentais de vazão e pressão para a altura de 5,80 metros.

Os valores de pressão obtidos através dos ensaios experimentais não apresenta praticamente diferença quando comparado com valores de pressão calculados pelo programa, para a altura de 5,80 metros do reservatório do módulo de irrigação.

5.3. Simulação Hidráulica de Linha Lateral

A Tabela 8, mostra os dados de vazão obtidos através do programa desenvolvido para simular a variação da pressão e vazão, ao longo da linha lateral com o comprimento de 100 metros sobre a pressão de 50 e 55,2 kPa para os tubos de emissão Streamline 80 e T-Tape respectivamente.

Decidiu-se por não simular o comportamento do tubo de emissão Tiger Tape em função da alta variabilidade de vazão que o mesmo demonstrou nos ensaios realizados em campo.

Altura	Vazão	Pressão (kPa)		∆Pressão
(m)	(m³/h)	Experimental	Calculado	kPa
	20,5	22,0	21,1	0,9
	19,8	28,0	23,9	4,1
C 90	18,9	30,0	27,3	2,7
0,00	18,4	38,0	29,4	8,6
	16,8	50,0	35,1	14,9
	13,3	67,0	46,4	20,6
	19,8	22,0	21,4	0,6
	19,6	26,0	22,0	4,0
6 55	18,7	2,90	25,6	3,4
0,55	17,7	37,0	29,6	7,4
	15,7	49,0	36,2	12,8
	11,0	64,0	50,2	13,8
	19,8	21,0	18,9	2,1
	19,1	24,0	21,7	2,3
6 20	18,4	28,0	24,4	3,6
0,50	16,8	36,0	30,1	5,9
	13,4	48,0	41,0	7,0
	7,4	62,0	55,4	6,6
	19,6	20,5	17,0	3,5
	18,9	23,0	19,8	3,2
6,05	17,7	26,0	24,6	1,4
	16,3	34,0	29,5	4,5
	12,9	46,0	40,0	6,0
	5,5	60,0	56,0	4,0
5,80	19,1	20,0	16,7	3,3
	18,2	22,0	20,0	2,0
	16,8	25,0	25,1	-0,1
	15,9	33,0	28,2	4,8
	11,3	43,0	41,9	1,1
	3,7	58,0	55,8	2,2

Tabela 7. Valores de vazão e pressão experimentais e calculados, para diferentes alturas do módulo de irrigação.



Figura 17. Curva calculada de vazão versus pressão, e dados experimentais de vazão e pressão para a altura de 6,80 metros.



Figura 18. Curva calculada de vazão versus pressão, e dados experimentais de vazão e pressão para a altura de 5,80 metros.

comprimento de 100 metros. Os dados obtidos através do programa não demonstram alta variabilidade quando comparados com os valores obtidos através dos ensaios de campo, constatando que a equação de Darcy-Weisbach simulou com boa precisão o comportamento da vazão ao longo da linha lateral para os tubos de emissão em diferentes pressões. Para o tubo de emissão Streamline 80 o programa superestimou os valores de vazão nas diferentes posições dos gotejadores.

5.4. Desempenho do Módulo de Irrigação

A Figura 20 apresenta as curvas de vazão versus pressão simuladas para o módulo de irrigação, obtidas através do programa desenvolvido, e os valores de vazão e pressão para diferentes números de linhas e comprimentos. Os valores utilizados na Figura 20 estão apresentados em Tabelas no Anexo 5.



Figura 20. Curvas simuladas do módulo e valores calculados de pressão e vazão para diferentes comprimentos e números de linhas.

Através da Figura 20 visualiza-se a mudança do ponto de operação do módulo para diferentes número de linhas e comprimentos, em função do esvaziamento do reservatório, ou seja, quando a altura variava de 6,80 m até 5,80 m. Verifica-se que, com o aumento do número

de linhas, para um mesmo comprimento, ocorre uma variação maior da vazão e uma redução na variação de pressão quando comparado com um número menor de linhas.

Aumentando o número de linhas laterais e os seus respectivos comprimentos menor será o tempo de irrigação sem que haja necessidade do reenchimento do reservatório.

Pode-se observar que quanto maior a altura do nível da água dentro do reservatório maior a diferença entre as curvas e portanto maior a variação entre as vazões correspondente ao reservatório cheio (6,80) e o reservatório vazio (5,80).

6. CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados e das discussões realizadas no presente trabalho, foi possível chegar às seguintes conclusões:

• Observa-se a existência de diferentes modelos de tubos de emissão no mercado nacional, sendo que poucos deles apresentam nos catálogos traduzidos para o português, informações técnicas comprovadas cientificamente.

Através dos ensaios realizados com três tubos de emissão verificou-se que um dos tubos de emissão apresentou má qualidade de fabricação e baixa uniformidade distribuição, não sendo recomendado sua utilização por agricultores.

• O módulo de irrigação construído apresentou bom desempenho hidráulico, demonstrando a viabilidade de se utilizar a gravidade como forma de operar o sistema de irrigação por gotejamento que utilizam tubos de emissão.

• O programa de dimensionamento do módulo de irrigação mostrou resultados satisfatórios, possibilitando a simulação do comportamento hidráulico para sistemas com diferentes dimensões e dados de projeto.

 O reservatório do módulo de irrigação deverá possuir altura reduzida, pois a medida em que se aumenta a altura do reservatório consequentemente ocorre um acréscimo na diferença entre os pontos de operação com o reservatório cheio e vazio.

53

7. RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu uma serie de reflexões que seriam importantes de serem deixadas como recomendações para futuros trabalhos.

Deve-se procurar construir a torre de elevação do reservatório, com outro material mais barato, e também desenvolver uma forma que permita sempre que desejado subir até o reservatório.

É necessário estudar o real comportamento hidráulico do módulo de irrigação para diferentes números e comprimentos de linhas laterais, através de ensaios de campo. Estudando também, o desempenho hidráulico das linhas laterais, quando se enche o reservatório e se processa a irrigação para determinada lâmina até que o mesmo esvazie, verificando o comportamento de uma determinada cultura quando se utiliza este manejo.

 Pesquisar para outros tipos de gotejadores a possibilidade de sua utilização no módulo de irrigação.

Estudar a possibilidade de se utilizar a fertirrigação com o módulo de irrigação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. M. H., LOPEZ, J. R., REGALADO, A. P., HERNANDEZ, J. F. El Riego localizado. Madri, Espanha. Instituto Nacional de Investigações Agrárias, 1987.

ASAE. Field evaluation of micro irrigation systems. ASAE Standards, 1989.

BEZDEK, J. C., SOLOMON, K. Approximating friction factors for trickle tubing. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 104(4): 351 - 9, dec., 1978.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa, UFV. Imprensa Univ., 1995.

BERNSTEIN, L., FRANÇOIS, L. E. Comparation of drip, furrow and sprinkler irrigation. Soil Sci, (115): p 73 - 86. 1973.

BOSWELL, M. J. Micro-irrigation design manual. 6 ed. El Cajon, California, 1985.

- BRALTS, V. F., WU, I., GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **TRANSACTIONS OF THE ASAE**. 24(1): 113 9, jan feb., 1981.
- CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley, California: Agricultural Experiment Station, 1942. 124p. (Bulletion, 670).

DASBERG, S, BRESLER, E. Drip irrigation manual. Israel. IIC. (9). p. 95. 1985.

- DAVIS, S., BUCKS, D. A. Historical development. In: NAKAYAMA, F. S., BUCKS, D. A. **Trickle Irrigation for Crop Production**. Amsterdam, Elsevier, p 1-27, 1986.
- GILEAD, GIDEON. Simple drip irrigation for developing countries. 7 th International Conference on Water and Irrigation. Telaviv. Israel. 1996.
- GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento. 2ª ed., Campina Grande, UFPB. 1997.

HILLEL, D. Advances in irrigation. New York, Academic Press, Inc. 1982.

- HOWELL, T. A., HILLER, E. A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. J. IRRIG. DRAIN. DIV., New York. 100 (1R4): 443 54. 1974.
- INTERNATIONAL STANDARD. Agricultural irrigation equipament emitting systems specification and test methods. Geneve, Switzerland, 1991.
- JAMES, L. G. Principles of farm irrigation system design. New York, John Wiley, Sans, 1988.
- KELLER, J, KARMELI, D.. Trickle irrigation design parameters. **TRANSACTIONS OF THE ASAE**. 17 (4): 678 - 84. 1974.
- KELLER, J, KARMELI, D. Trickle irrigation design. Glendora, California, Rain Bird Sprinkle Manufacturing Corporation, 1975.
- KELLER, J., BLEISNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York, Van Nostrand Reinhold. 1990.

- KUWABARA, G, MATSURA, E.E. Avaliação do comportamento hidráulico de linhas laterais de tubo-gotejadores. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Campinas - SP. p 275-87, 1996.
- MERRIAM, J. L., KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan, Utah State University, 1978.
- NAKAYAMA, F. S., BUCKS, D. A. Trickle irrigation of crop. Production design, operation and management. Amsterdam, Elsevier, 1986.
- OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1987.
- PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. TRANSACTIONS OF THE ASAE, 19 (2): 690 92. 1976.
- PARAQUEIMA. J. Study of some frictional characteristics of small diameter tubing for trickle irrigation lateral. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Utah Satate University. Logan, 1977.
- PINTO, J. M., SOARES, J. M., TARCÍSIO, N. Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 8, 1988, Florianópolis - SC. Anais... Florianópolis. p. 309-26. 1988.
- POLAK, P., N, B., D. A low cost drip irrigation system for small farmers in developing coutries. Journal of American Water Resources Association. 33 (1): 119 24.1997.
- SCALOPPI, E. J. Coeficiente para cálculo da perda de pressão em tubulações com múltiplas derivações. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 7, 1986, Brasília – DF. Anais... Brasília. p. 1037-49. 1986.

- SCHMIDT, M. V. V. **Características hidráulicas do tubo-gotejador "QUEEN GIL".** 43 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1995.
- SMAJSTRIA, A. G., BOMAN, B. J., CLARK, G. A., HAMAN, D. Z., PITTS. D. J., ZAZUETA, F. S. Field evaluation of micro irrigation water application uniformity. 265 p. Boletim Técnico - University of Florida, Institute of Food na Agricultural Sciences, 1990.
- SOARES, A. Características hidráulicas de microtubos Cipla e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1981
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **TRANSACTIONS OF THE ASAE**. 22 (5): 1034 - 38. 1979.
- TELLES, D. D. Equipamentos: Características, operação e manutenção. In: Programa Nacional de Irrigação, Curso de Elaboração de projetos de irrigação. 1986, Brasília, PNI/Fundação CTH. Anais... Brasília. T4. 1 – 162, 1986.
- TESTEZLAF, R., CAMPIONI, E. C. Comportamento hidráulico do tubo-gotejador "QUEEN GIL". Revista de Engenharia Agrícola- SBEA, Campinas.v.13, p.29 - 38. 1993.
- VERMEIREN, L., JOBLING, G. A. Localized irrigation. Irrigation and Drainage, paper,36. FAO Rome. 1980.
- VIEIRA, A. T. Caracterização hidráulica de um tubo-gotejador. 56 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz USP. Piracicaba, 1996.
- VIEIRA, D. B. Engenharia de Irrigação. 433 p. Apostila Faculdade de Engenharia de Limeira, 1983.

- VON BERNUTHN, R. D., SOLOMON, K. Design principles: Emitter construction. In: NAKAYAMA, F. S., BUCKS, D. A. Trickle Irrigation for Crop Production. Amsterdam, Elsevier, p27 – 52. 1986.
- URBINA. J. Head loss characteristics of trickle hose with emitters. 54p. Dissertação (Mestrado) Utah State University. Logan, 1977.
- WU, I. P., FAGMEIER, D. D. Hydraulic design of twin chamber trickle irrigation laterals. In: Agricultural Experiment Station. University Arizona. Tucson, Arizona. 1984.
- WU, I. P., GITLIN, H. M. Design charts for drip irrigation system. In: International Drip Irrigation Congress, 2, 1974, Riverside. Proceedings. Riverside, p. 293 – 98, 1974.
9. ANEXOS

ANEXO 1: Código fonte e fluxograma do programa desenvolvido em Visual Basic 5.0 para cálculo da variação da pressão e vazão ao longo da linha lateral.

Public Sub universal() Dim ngot As Integer Dim counter As Integer Open nome For Append As numreg $qd = k * (pe^{\wedge} x)$ Qft = qd * n $rey = 3.92 * 10^{2} (Qft / di)$ If rey ≤ 2000 Then f = 64 / reyEnd If If rey > 2000 And rey <= 4000 Then $f = 3.42 * 10^{-5} * rey^{0.85}$ End If If rey > 4000 Then $f = 0.316 * rey^{-0.25}$ End If $hfl = 6.377 * f * l * (di^{-5}) * (Qft^{2})$ $FC = 0.333 + (1 / (2 * n)) + (1 / (6 * (n ^ 2)))$ hs(0) = pe - (hfl * FC) + ((decl * 100) / l)counter = 0

Do

```
hst = 0
counter = counter + 1
QT = 0
If hs(n) < pe Then
hs(0) = hs(0) + 0.01
Q(0) = k * (hs(0) ^ x)
  End If
If hs(n) > pe Then
hs(0) = hs(0) - 0.01
Q(0) = k * (hs(0) ^ x)
  End If
For i = 1 To n
QT = (Q(i - 1) + QT)
rey = 3.92 * 10^{2} (QT / di)
       If rey \leq 2000 Then
       f = 64 / rey
       End If
  If rey > 2000 And rey <= 4000 Then
  f = 3.42 * 10^{-5} * rey^{0.85}
  End If
If rey > 4000 Then
f = 0.316 * rey^{-0.25}
End If
hfuni(i) = 6.377 * f * sp * di ^ -5 * (QT ^ 2)
hs(i) = hs(i - 1) + hfuni(i) - ((decl / 100) * sp)
hst = hst + hs(i)
Q(i) = k * (hs(i) \land x)
Next i
Loop While pe - hs(n) > prec
For i = 0 To n
Print #numreg, Format(i, "#"); " "; Format(hs(i), "#0.00"); " "; Format(Q(i), "#0.00")
Next i
Close #numreg
frmeupc.Hide
frmfim.Show
```

End Sub Public Sub hazenwillians() Dim counter As Integer

'===início do looping==='

On Error GoTo calcerror

```
Open nome For Append As numreg
qd = k * (pe^{\wedge} x)
Qft = qd * n
hfl = 0.628 * 1 * (di ^ (-4.865)) * (((100 * Qft) / C) ^ 1.852)
FC = 0.333 + (1 / (2 * n)) + (1 / (6 * (n ^ 2)))
h(0) = pe - (hfl * FC) + ((decl * 100) / l)
Do
counter = 0
QT = 0
hft = 0
If h(n) < pe Then
h(0) = h(0) + 0.01
Q(0) = k * (h(0) ^ x)
   End If
If h(n) > pe Then
h(0) = h(0) - 0.01
Q(0) = k * (h(0) ^ x)
   End If
For i = 1 To n
counter = counter + 1
QT = Q(i - 1) + QT
hf(i) = 0.628 * sp * (di ^ (-4.865)) * (((100 * QT) / C) ^ 1.852)
h(i) = h(i - 1) + hf(i) - ((decl / 100) * sp)
hft = hft + hf(i)
Q(i) = k * (h(i) ^ x)
Next i
Loop While pe - h(n) > prec
```

For i = counter - n To counter Print #numreg, Format(i, "#"); " "; Format(h(i), "#0.00"); " "; Format(Q(i), "#0.00") Next i Close #numreg frmacalculo.Hide frmfim.Show End Sub





ANEXO 2: Tabelas de caracterização hidráulica de tubos de emissão com dados obtidos através de catálogos, levantamentos bibliográficos, ensaios de laboratório e campo.

MARCA CHAPLIN

- Distribuidor: Scarcelli

- Classificação: Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício.

Taucia	9. Dau	is ut tala	ilogo uo i			партт				
D	IMENSÕ	ES	CARA	CTERÍSTIC.	AS HIDRÁ	ULICAS	UNI	FORMIDA	DE	Lmax
Ø	Е	е	K	x Ps CVf CV C.U UE						
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
15.00	30	0.20	nd	nd	3 - 11	3.0	nd	nd	95.0	122.0
15.00	0.38								nd	nd

Tabela 9. Dados de catálogo do tubo de emissão Chaplin

MARCA EURODRIP

- Distribuidor: Carborundum

- Classificação: Tubo com emissores inseridos.

Tabela 10. Dados de catálogo do tubo de emissão Eurodrip

DI	MENSÕ	ES	CARA	CTERÍST	ICAS HIDRÁU	JLICAS	UN	IFORMID	ADE	Lmax
Ø	Е	e	K	х	Ps	CVf	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
16.1	33	0.40	nd	nd	14.0	1.30	5.0	nd	nd	122

nd = nada consta

MARCA NAAN PAZ

- Distribuidor: Asbrasil e Hortishop

- Classificação: . Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício.

DI	MENSÕI	ES	CARA	CTERÍSTIC	CAS HIDRÁ	ULICAS	UN	Lmax		
Ø	Е	е	K	х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
15.50	30	0.250	nd	nd	4 – 25	nd	12.5	nd	nd	107*
15.70	30	0.100	nd	nd	4 - 10	nd	nd	nd	nd	107*

Tabela 9. Dados de catálogo do tubo de emissão Naan Paz

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão, declividade de 0%, pressão 5 mca.

MARCA QUEEN GIL

- Distribuidor: Irrigotec

- Classificação: Tubo de emissão de câmara simples com controle por labirinto.

	0. Dauos	ue catalo	go uo tubi	Jue enniss	ao Queen	UII				
D	IMENSÕE	S	CARAC	TERÍSTIC.	AS HIDRÁI	ULICAS	UN	IFORMIDA	DE	Lmax
Ø	Е	е	K	х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
	10	0.200			3 – 10	40	10			143*
16 50		0.300	nd	nd		60	Nd	nd	nd	nd
10.50	30	0.200			3 – 10	40	Nd			nd
	20	0.300				60	nd			nd

Tabela 10. Dados de catálogo do tubo de emissão Queen Gil

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão, declividade de 0%, pressão 6 mca.

DI	MENSÕI	ES	CA	RACTERÍS	STICAS HII	DRÁULICA	S	UNI	FORMID	ADE	L
Ø	Е	e	K	X	Ps	Pr	CVf	CV	C.U	U.E	max
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
		0.20	0.452 ¹	0.592	3 – 11	42.8	0.91	9	92.8	91.6	135*
16.5	20	0.20	0.417²	0.629	3 –13	39.0	2.80	Nd	nd	Nd	nd
16.5	30	0.20	0.336 ¹	0.646	3 – 11	61.1	0.73	8	94.1	92.3	165*
		0.30	0.365 ³	0.662	2 – 13	nd	3.11	10	97.9	98.2	86*

Tabela 11. Dados científicos do tubo de emissão Queen Gil

* Comprimento máximo de tubo de emissão sobre a pressão de 7 mca e declividade 0%.

MARCA RAIN TAPE

- Distribuidor: Regatec

- Classificação: Tubo de emissão de câmara dupla com controle por capilar.

Tabela 12. Dados de ca	tálogo do tubo o	de emissão Rain Tape
------------------------	------------------	----------------------

I	DIMENSÕ	ES	CARAC	TERÍSTIC	AS HIDRÁU	LICAS	UN	Lmax		
Ø	Е	e	K	Х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
	20		nd	nd		nd	nd	nd		116*
16.0	30	0.225	nd	nd	4 – 10.5	nd	nd	nd	90	152*
	40		nd	nd		nd	nd	nd		186*

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão, declividade de 0%, pressão 7 mca.

Tabela 13. Dados científicos do tubo de emissão Rain Tape

D	DIMENSĈ	ĎES	CAF	RÁULICAS	ÁULICAS UNIF		ORMIDA	Lmax			
ø	Е	e	K	х	Ps	Pr	CVf	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
16.0	30	0.225	0.465 ⁴	0.456	4 - 10.5	21.0	1.97	10	ns	nd	105.6*

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão para a declividade 0% e pressão de 7.0 mca.

MARCA RO-DRIP

- Distribuidor: Hortec

- Classificação: Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício.

D	IMENSÕ	DES	CARAC	CTERÍSTICA	AS HIDRÁI	ULICAS	UN	JIFORMID	ADE	Lma
Ø	Е	e	K	Х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	х
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
18.0	20	0.165	nd	nd	3 - 5.5	nd	nd	nd	nd	nd

Tabela 14. Dados de catálogo do tubo de emissão Ro Drip

MARCA STREAMLINE 80

- Distribuidor: Netafim do Brasil

- Classificação: Tubo de emissão de câmara simples com controle por labirinto.

]	DIMENSÕ	ES	CARAC	TERÍSTIC	AS HIDRÁU	JLICAS	UNI	DE	Lmax	
Ø	Е	e	K	х	Ps	CVf	CV C.U UI		UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
16.10	30	0.150	0.373	0.45	5.0	3.0	10.0	nd	90	137.0*
16.00	•••	0.200			8.5		1000		20	138.0**

Tabela 15. Dados de catálogo do tubo de emissão Streamline 80

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão, declividade de 0%, pressão 6.5 mca.

** Comprimento máximo da linha de tubo de emissão, declividade de 0%, pressão 8.5 mca.

MARCA TIGER TAPE

- Distribuidor: Irrigaplan

- Classificação: Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício.

D	IMENSÕE	S	CARAC	TERÍST	TCAS HI	DRÁULICAS	UN	IFORMIDA	ADE	Lmax
Ø	E	е	K	Х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
	11									70*
16.5	22	0.200	nd	nd	3 - 8	nd	nd	nd	90	155*
	32									207*

Tabela 16. Dados de catálogo do tubo de emissão Tiger Tape

* Comprimentos máximos linha de tubo de emissão em declividade 0%, e pressão de 5.5 mca.

Tabela 17. Dados científicos do tubo de emissão Tiger Tape*

DI	MENSÕ	ES	C	CARACTER	ÍSTICAS H	UNI	Lmax				
Ø	Е	е	K	x Ps Pr CVf CV Us UE							
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)
16.5	32	0.200	0.082	0.082 0.595 3 - 10 nd 23.5 nd nd nd							nd

* Dados ensaiados

MARCA T - TAPE

- Distribuidor: Ginni Bombas

- Classificação: Tubo de emissão de câmara dupla com controle por orifício.

DIMENSÕES			CARA	CTERÍST	ICAS HIDR	ÁULICAS	UNI	FORMIDA	Lmax	
Ø	E	e	K	Х	Ps	Pr	CV	C.U	UE	
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(m)
16.5	30	0.150	nd	nd	3 – 12	nd	nd	nd	nd	nd

Tabela 18. Dados de catálogo do tubo de emissão T-Tape

Tabela 19. Dados científicos do	tubo de emissão	T-Tape*
---------------------------------	-----------------	---------

DI	MENSÕE	S	CARA	CTERÍSTI	CAS HIDF	RÁULICAS	UN	Lmax				
Ø	Е	e	K	Х	Ps	CVf	CV	Us	UE			
(mm)	(cm)	(mm)	(adm)	(adm)	(mca)	(%)	(%)	(%)	(%)	(m)		
16.5	30	0.150	0.142	0.486	3 - 10	2.0	7.0	92.77	90.67	120*		

* Comprimento máximo da linha de tubo de emissão para a pressão de 5.5 mca.

* dados ensaiados

onde:

 \emptyset = Diâmetro interno (mm)

E = Espaçamento entre saídas (cm)

e = Espessura da parede (mm)

K = Coeficiente de proporcionalidade

x = Expoente da pressão que caracteriza o regime do fluxo do emissor

Ps = Pressão de Serviço (mca)

Pr = Pressão de Ruptura (mca)

CVf = Coeficiente de Variação de Fabricação (%)

CV = Coeficiente de Variação da vazão (%)

CU = Coeficiente de Uniformidade (%)

UE = Uniformidade do Emissor (%)

Us = Uniformidade de Smajstria (%)

Lmax = Comprimento máximo da linha lateral, em nível (0%)

Item não fornecido.

* Dados ensaiados pelo bolsista durante o projeto de pesquisa.

¹ de acordo com KUWABARA & MATSURA (1996).

² de acordo com TESTEZLAF & CAMPIONI (1993).

³ segundo SCHMIDT (1995).

⁴ de acordo com VIEIRA (1996).

ANEXO 3: Tabelas dos ensaios de uniformidade de distribuição para os tubos de emissão T-Tape TSX 506, Tiger Tape e Streamline 80 para linha lateral com 100 metros de comprimento.

Posição do Gotejador (m)	Gotejador	Volume I do gotejador (ml)	Volume II do gotejador (ml)	Volume Médio (ml)	Vazão Média (l/h)	Coeficiente de Variação	
0	1	95,00	94,80	04.20	1 / 1	0,018	
0	2	94,00	93,00	94,20	1,41		
20	1	76,00	76,00 75,00 75.25		1 1 2	0.023	
20	2	74,00	76,00	75,25	1,13	0,023	
40	1	48,00	48,00	50.25	0.75	0.034	
	2	53,00	52,00	50,25	0,75	0,004	
60	1	49,00	49,00	50 15	0.75	0,035	
00	2	52,00	50,60	50,15	0,75		
80	1	44,00	41,00	12.99	0.64	0.040	
50	2	43,00	43,50	42,00	0,04	0,040	
100	1	73,00	74,00	74.25	1 11	0.023	
100	2	75,00	75,00	74,20	1,11	0,023	
			Média	38,698	0,967		
				19,846	0,298		
			C. V	0,513	0,308		

Tabela 20. Valores de volume, vazão média (Q), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV), para o tubo de emissão Tiger Tape com comprimento de 100 m sobre a pressão de 55,2 kPa.

Tabela 21. Valores de volu	me, vazão média (Q), desvio	padrão (s), coefic	iente de variação (CV), para
o tubo de emissão T-Tape	TSX560 com 100 m de com	primento sobre a p	ressão de 55,2 kPa	l.

Posição do Gotejador (m)	Gotejador	Volume I do gotejador (ml)	Volume II do gotejador (ml)	Volume Médio (ml)	Vazão Média (I/h)	Coeficiente de Variação	
0	1	72,00	72,00	71.00	1.07	0,024	
0	2	70,00	70,00	71,00	1,07		
20	1	69,00	69,00	60.00	1.04	0,025	
20	2	69,00	69,00	09,00	1,04		
40	1	66,00	67,00	66 50	1.00	0.026	
	2	66,00	67,00	00,50	1,00	0,020	
60	1	65,00	65,00	65 75	0.00	0,026	
00	2	66,00	67,00	05,75	0,99		
00	1	64,00	63,00	62.00	0.05	0.029	
80	2	62,00	63,00	03,00	0,95	0,020	
100	1	67,00	68,00	67.86	1.02	0.026	
100	2	68,00	68,50	07,00	1,02	0,026	
			Média	40,313	1,008		
			S	2,770	0,042		
			C. V	0,069	0,041	J	

Posição do Gotejador (m)	Gotejador	Volume I do gotejador (ml)	Volume II do gotejador (ml)	Volume Médio (ml)	Vazão Média (I/h)	Coeficiente de Variação	
0	1	50,00	49,00	40.50	0.74	0.035	
0	2	50,00	49,00	49,50	0,74	0,035	
20	1	49,00	49,50	10 75	0.72	0,036	
20	2	48,00	48,50	40,75	0,73		
40	1	48,00	48,00	47.75	0.72	0.026	
	2	47,00	48,00	47,75	0,72	0,000	
60	1	47,00	47,00	47.00	0.71	0,037	
00	2	47,00	47,00	47,00	0,71		
00	1	48,00	48,00	47.50	0.71	0.026	
00	2	47,00	47,00	47,50	0,71	0,030	
100	1	48,00	48,00	19.25	0.72	0.026	
100	2	48,00	49,00	40,25	0,72	0,030	
			Média	28,875	0,722		
			S	0,905	0,014		
			C. V	0,031	0,019]	

Tabela 22. Valores de volume, vazão média (Q), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV), para o tubo de emissão Streamline 80 com 100 m de comprimento sobre a pressão de 55,2 kPa.

ANEXO 4: Dados de vazão e pressão experimentais e calculados para o módulo de irrigação, e valores da simulação do número de linhas laterais para o módulo.

Pressão	Com	primento	o de 20 m	etros	Com	primento	de 50 m	etros	Comprimento de 100 metros			
(kPa)	10	20	40	60	10	10 20 40 60 10 20			20	40	60	
16	0,31	0,62	1,25	1,87	0,77	1,54	3,09	4,63	1,55	3,10	6,20	9,29
18	0,33	0,66	1,32	1,97	0,82	1,63	3,26	4,89	1,63	3,27	6,54	9,81
20	0,35	0,69	1,38	2,07	0,86	1,71	3,42	5,13	1,72	3,43	6,86	10,29
22	0,36	0,72	1,442	2,16	0,89	1,79	3,57	5,37	1,79	3,58	7,17	10,75
24	0,38	0,75	1,50	2,25	0,93	1,86	3,72	5,58	1,86	3,73	7,46	11,19
26	0,39	0,78	1,56	2,33	0,96	1,93	3,86	5,78	1,93	3,87	7,73	11,60
28	0,40	0,81	1,61	2,42	1,00	1,99	3,99	5,98	2,00	4,00	8,00	12,00
30	0,435	0,83	1,66	2,49	1,03	2,06	4,12	6,17	2,06	4,13	8,26	12,39
32	0,428	0,86	1,71	2,57	1,06	2,12	4,24	6,36	2,13	4,25	8,50	12,76
34	0,44	0,88	1,76	2,64	1,09	2,18	4,36	6,54	2,19	4,37	8,74	13,12
36	0,45	0,90	1,81	2,71	1,12	2,24	4,47	6,71	2,24	4,49	8,97	13,46
38	0,46	0,93	1,85	2,78	1,15	2,29	4,59	6,88	2,30	4,60	9,20	13,80
40	0,47	0,95	1,90	2,84	1,17	2,35	4,69	7,04	2,35	4,71	9,42	14,13
42	0,48	0,97	1,94	2,91	1,20	2,40	4,80	7,20	2,41	4,82	9,63	14,44
44	0,50	0,99	1,98	2,97	1,23	2,45	4,90	7,36	2,46	4,92	9,84	14,76
46	0,51	1,01	2,02	3,03	1,25	2,50	5,00	7,51	2,51	5,02	10,04	15,06
48	0,52	1,03	2,06	3,09	1,28	2,55	5,10	7,65	2,56	5,12	10,24	15,35
50	0,53	1,05	2,10	3,15	1,30	2,60	5,20	7,80	2,61	5,21	10,43	15,64
52	0,53	1,07	2,14	3,20	1,32	2,65	5,29	7,94	2,65	5,31	10,62	15,93
54	0,54	1,09	2,17	3,26	1,35	2,69	5,38	8,08	2,70	5,40	10,80	16,20
56	0,55	1,11	2,21	3,32	1,37	2,74	5,48	8,21	2,75	5,49	10,98	16,47
58	0,56	1,12	2,25	3,37	1,39	2,78	5,56	8,35	2,79	5,58	11,16	16,74
60	0,57	1,14	2,28	3,42	1,41	2,83	5,65	8,48	2,83	5,67	11,33	17,00
62	0,58	1,16	2,32	3,47	1,43	2,87	5,74	8,60	2,88	5,75	11,51	17,26
64	0,59	1,17	2,35	3,52	1,46	2,91	5,82	8,73	2,92	5,84	11,67	17,51
66	0,60	1,19	2,38	3,57	1,48	2,95	5,90	8,85	2,96	5,92	11,83	17,76
68	0,60	1,21	2,42	3,62	1,50	2,99	5,98	8,97	3,00	6,00	12,00	18,00
70	0,61	1,22	2,45	3,67	1,52	3,03	6,06	9,09	3,04	6,08	12,16	18,24

Tabela 23. Valores de pressão e vazão calculado para diferentes comprimentos da linha lateral e número de linhas laterais

	ALTURAS DO RESERVATÓRIO (m)										
Abertura	6,	80	6,	55	6,	30	6,	05	5,	80	
Registro	Pressão (mca)	Vazão (m³/h)	Pressão (mca)	Vazão (m³/h)	Pressão (mca)	Vazão (m ³ /h)	Pressão (mca)	Vazão (m³/h)	Pressão (mca)	Vazão (m³/h)	
	2,20	13,43	2,20	10,60	2,10	7,1\07	2,05	5,65	2,00	3,53	
1 volto	2,20	13,43	2,20	10,60	2,10	7,78	2,05	5,65	2,00	3,53	
i voita	2,20	13,43	2,20	11,31	2,10	7,78	2,05	4,95	2,00	3,53	
	2,20	12,72	2,20	11,31	2,10	7,07	2,05	5,65	2,00	4,24	
	2,80	16,96	2,60	16,26	2,40	13,43	2,30	12,72	2,20	11,31	
2 voltas	2,80	16,96	2,60	15,55	2,40	13,43	2,30	13,43	2,20	11,31	
2 VUILAS	2,80	16,26	2,60	15,55	2,40	13,43	2,30	12,72	2,20	11,31	
	2,80	16,96	2,60	15,55	2,40	13,43	2,30	12,72	2,20	11,31	
Qualtas	3,00	18,38	2,90	17,67	2,80	16,96	2,60	16,26	2,50	16,26	
	3,00	18,38	2,90	17,67	2,80	16,26	2,60	16,26	2,50	16,26	
5 VUILAS	3,00	18,38	2,90	17,67	2,80	16,96	2,60	16,26	2,50	15,55	
	3,00	18,38	2,90	17,67	2,80	16,96	2,60	16,26	2,50	15,55	
	3,80	18,38	3,70	19,09	3,60	18,38	3,40	17,67	3,30	16,26	
4 Voltas	3,80	19,09	3,70	19,09	3,60	18,38	3,40	17,67	3,30	16,96	
4 101105	3,80	19,09	3,70	18,38	3,60	18,38	3,40	17,67	3,30	16,96	
	3,80	19,23	3,70	18,38	3,60	18,38	3,40	17,67	3,30	16,96	
	5,00	19,79	4,90	19,79	4,80	19,09	4,60	19,09	4,30	18,38	
6 Voltas	5,00	19,79	4,90	19,79	4,80	19,09	4,60	19,09	4,30	17,67	
0 101105	5,00	19,79	4,90	19,79	4,80	19,09	4,60	19,09	4,30	18,38	
	5,00	19,79	4,90	19,09	4,80	19,09	4,60	18,38	4,30	18,38	
	6,70	20,50	6,40	19,79	6,20	19,79	6,00	19,79	5,80	19,09	
Todo	6,70	20,50	6,40	19,79	6,20	19,79	6,00	19,79	5,80	19,09	
Aberto	6,70	20,50	6,40	19,79	6,20	19,79	6,00	19,09	5,80	19,09	
	6,70	20,50	6,40	19,79	6,20	19,79	6,00	19,79	5,80	19,09	

Tabela 24. Valores de velocidade e pressão experimental para diferentes alturas do reservatório.

	ALTURAS DO RESERVATÓRIO (metros)												
6,	80	6,	55	6,	30	6,	05	5,	80				
Vazão	Pressão	Vazão	Pressão	Vazão	Pressão	Vazão	Pressão	Vazão	Pressão				
(m ³ /h)	(kPa)	(m ³ /h)	(kPa)	(m ³ /h)	(kPa)	(m ³ /h)	(kPa)	(m³/h)	(kPa)				
20,50	21,10	19,79	21,40	19,79	18,90	19,65	17,00	19,09	16,70				
19,79	23,90	19,65	22,00	19,09	21,70	18,94	19,80	18,24	20,00				
18,94	27,30	18,73	25,60	18,38	24,40	17,67	24,60	16,82	25,10				
18,38	29,40	17,67	29,60	16,82	30,10	16,26	29,50	15,90	28,20				
16,82	35,10	15,76	36,20	13,43	41,00	12,94	40,00	11,31	41,90				
13,29	46,4	10,96	50,20	7,42	55,40	5,51	56,00	3,75	55,80				
12,37	49,00	10,60	51,10	7,07	56,00	5,30	56,30	3,53	56,00				
8,84	57,60	7,07	58,50	5,30	58,80	3,53	58,50	2,83	56,60				
5,30	63,80	3,53	63,50	3,53	61,00	1,77	59,90	2,12	57,20				
1,77	67,40	1,77	64,90	1,77	62,40	0,71	60,40	1,41	57,60				
0,35	68,00	0,35	65,50	0,35	63,00	0,35	60,50	0,35	58,00				

Tabela 25. Dados calculados de pressão e vazão para as diferentes alturas do reservatório.