

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS -GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES SOB PEQUENAS CARGAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
GLEDSNELI MARIA DE LIMA LINS**

**CAMPINA GRANDE, PARAÍBA  
NOVEMBRO - 1981**

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES  
SOB PEQUENAS CARGAS

por  
Gledsneli Maria de Lima Lins

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA  
NOVEMBRO - 1981

*Dis.  
1-7506  
1981/11/01/13*



L759e Lins, Gledsneli Maria de Lima.  
Estudo hidráulico de gotejadores sob pequenas cargas /  
Gledsneli Maria de Lima Lins. - Campina Grande, 1981.  
63 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e  
Tecnologia, 1981.  
"Orientação : Prof. Vajapeyan Srirangachar Srinivasan".  
Referências.

1. Irrigação - Gotejamento - Engenharia Civil. 2.  
Pequenas Cargas - Estudo Hidráulico. 3. Gotejador -  
Comportamento Hidráulico. 4. Dissertação - Engenharia  
Civil. I. Srinivasan, Vajapeyam Srirangachar. II.  
Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III.  
Título

CDU 624:631.674.6(043)

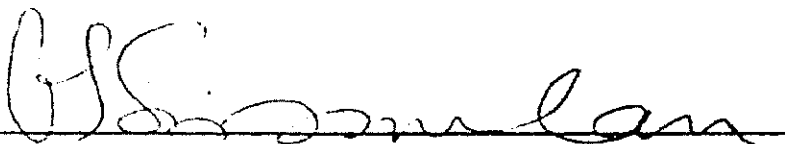
ESTUDO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES  
SOB PEQUENAS CARGAS

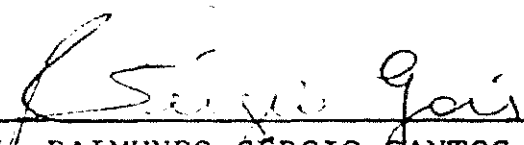
GLEDSNELI MARIA DE LIMA LINS  
- Engenheira Civil -


TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:

COMISSÃO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN  
- Presidente -

  
\_\_\_\_\_  
PROF. RAIMUNDO SÉRGIO SANTOS GÓIS  
- Examinador -

  
\_\_\_\_\_  
PROF. FRANCISCO MONTE ALVERNE S. SAMPAIO  
- Examinador -

CAMPINA GRANDE - PB  
NOVEMBRO - 1981

**A Benita e Luiz,  
meus pais**

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece:

Ao Professor Vajapeyari G. Srinivasan, Ph.D., pela valiosa orientação e ensinamentos durante a execução deste trabalho.

Ao Professor Ian Hendrix, cooperante holandês da Escola Técnica Redentorista, de cuja idéia originou-se o trabalho.

Ao Professor Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio, de quem o incentivo e o material bibliográfico foram de grande valia.

Ao Banco do Nordeste do Brasil S.A. e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, particularmente ao Departamento de Engenharia Civil, pelo apoio básico.

Aos Professores Raimundo Sérgio Santos Góis e Manoel Gilberto de Barros, pelo incentivo e apoio demonstrados.

Ao Centro de Pesquisas do Trópico Semi-Árido – CPATSA/EMBRAPA, pela valiosa colaboração no setor bibliográfico.

A Moacir, pelo apoio e compreensão em todas as fases deste trabalho.

A Eduardo Enéas de Figueiredo, Paulo Roberto Rodrigues Pessoa e Pedro Dantas, responsáveis pela apresentação gráfica.

Aos colegas e funcionários do Laboratório de Hidráulica e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta pesquisa.

## RESUMO

Este trabalho visa desenvolver o estudo do comportamento hidráulico de um gotejador não convencional trabalhando com cargas pequenas, abaixo de 10 metros de coluna de água. A finalidade principal do trabalho é possibilitar ao pequeno agricultor o uso da irrigação, fornecendo uma nova alternativa para os sistemas de gotejo.

Foram utilizados três tipos de gotejadores, sendo um tipo não convencional, vidrilhos, e dois outros tipos já comercializados. Esses gotejadores foram submetidos a uma carga hidráulica variável entre 0,50 m e 6,0 m, determinando-se para os três tipos a relação carga hidráulica - vazão e as perdas de carga na linha lateral. O gotejador não convencional apresentou vazões de 3,2 l/h, na carga hidráulica de 0,50 m, até 23,0 l/h, na carga de 6,0 m, sendo essas vazões compatíveis com as normalmente utilizadas no gotejo convencional.

Um projeto desenvolvido para 1 ha, utilizando o gotejador não convencional na cultura do milho, apresentou um custo inicial ao alcance do pequeno produtor.

Os gotejadores comerciais não apresentaram um bom desempenho quando trabalhando sob pequenas cargas, tendo o gotejador Cipla apresentado vazões altamente variáveis, ao passo que o gotejador Dangotas apresentou vazões muito pequenas.

## ABSTRACT

Efficient methods of irrigation is of particular relevance to the north eastern region of Brazil, where the limitation of water resources has impeded development.

Drip Irrigation in this context seems to be useful, but its usage has not been common.

This is due to the fact that conventional drip irrigation systems operate at heads more than 10 m and resulting in high cost of installation and operation.

The present study considers two hydraulic conditions of a simple non conventional type of dripper operating at low heads, less than 10 meters.

Such a system has the advantage of being applicable to small sized areas with a low capital cost coming within the reach of a small scale producer.



## SUMÁRIO

### CAPÍTULO I

<b>INTRODUÇÃO</b>	01
-------------------	----

### CAPÍTULO II

<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	03
2.1 – Generalidades	03
2.2 – Histórico	03
2.3 – Características Gerais do Método	04
2.4 – Componentes de um Sistema de Irrigação por Gotejamento	05
2.5 – Distribuição da Água no Solo	06
2.6 – Comportamento Hidráulico dos Gotejadores	08
2.6.1 – Tipos de Gotejadores	08
2.6.2 – Relação Pressão - Vazão	09
2.6.3 – Critério de Dimensionamento	10
2.7 – Determinação do Consumo de Água	11
2.8 – Funcionamento de Gotejadores sob Pequenas Cargas	13

### CAPÍTULO III

<b>OBJETIVOS, ORGANIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS</b>	15
3.1 – Objetivos	15
3.2 – Organização dos Ensaios	15
3.3 – Instalação Experimental e Metodologia	18

### CAPÍTULO IV

<b>ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	22
4.1 – Gotejador Tipo I	22
4.1.1 – Relação Carga Hidráulica - Vazão	22

4.1.2 – Comportamento da Pressão	25
4.1.3 – Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral	28
4.1.4 – Coeficiente de Descarga	32
4.2 – Gotejador Tipo II	34
4.2.1 – Relação Carga Hidráulica - Vazão	34
4.2.2 – Comportamento da Pressão	35
4.2.3 – Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral	35
4.3 – Gotejador Tipo III	36
4.3.1 – Relação Carga Hidráulica - Vazão	36
4.3.2 – Comportamento da Pressão	36
4.3.3 – Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral	37
4.4 – Considerações Finais	37
4.5 – Estudo da Influência de Bolhas de Ar na Linha Lateral	39

## **CAPÍTULO V**

### **PROJETO DE UM SISTEMA DE GOTEJAMENTO SOB PEQUENAS CARGAS**

<b>UTILIZANDO GOTEJADORES NÃO CONVENCIONAIS</b>	<b>44</b>
5.1 – Considerações Gerais	44
5.2 – Perda de Carga por Atrito nas Tubulações	44
5.3 – Perdas de Carga Localizadas	46
5.4 – Considerações para o Projeto das Linhas Principais e Laterais de Gotejo a Baixas Pressões	47
5.5 – Desenvolvimento do Projeto	47
5.5.1 – Cálculo do Consumo de Água	48
5.5.2 – Dimensionamento do Sistema	50
5.5.3 – Dimensionamento das Tubulações	51
5.5.4 – Orçamento	56
5.6 – Discussão do Projeto	57

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES**

59

#### 6.1 – Conclusões

59

#### 6.2 – Recomendações

60

### **BIBLIOGRAFIA**

61

### **APÊNDICES**

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A irrigação em todas as suas formas é um fator de relevância para a agricultura como um todo. A irrigação por gotejamento é um método de aplicação de água em forma de gotas, que proporciona melhores condições a cultura, com uma maior produção e uma maior eficiência.

A irrigação por gotejo se aplica a qualquer tipo de solo, cultura e qualidade da água, e vem obtendo ótimos resultados em muitos países. No Brasil, o gotejo vem se desenvolvendo, ainda, de forma lenta, notadamente em São Paulo e em alguns estados do Nordeste, na cultura de frutíferas.

No método do gotejo as vazões são pequenas, o que permite uma grande economia de água, que é fator de extrema importância para o Nordeste, região bastante comprometida em termos de recursos hídricos, e cuja agricultura ainda é subdesenvolvida, conseqüentemente, o gotejamento, pelas suas características, se adequaria bem ao Nordeste. Todavia, aliado às suas inúmeras vantagens, o gotejamento apresenta um alto custo inicial de implantação, dificultando sua utilização pelos pequenos agricultores de baixa renda.

Os sistemas atuais de irrigação por gotejamento funcionam, em geral, com cargas acima de 10 metros de coluna de água, encarecendo sua implantação pela necessidade de sistemas de bombeamento, como também de dispositivos sofisticados de controle e regulagem das vazões.

Na região Nordeste o desenvolvimento da agricultura é limitado por dois fatores básicos, quais sejam:

- A escassez de água, pelo fato de ser uma região de clima semi-árido.
- A carência de recursos financeiros por ser uma região não industrializada, cuja economia se baseia na agropecuária.

Somam-se a esses o fato de que o setor agrícola, na sua maioria, é composto de pequenas áreas cultiváveis onde o proprietário, carente de recursos financeiros, necessita recorrer ao financiamento dos órgãos públicos, tendo muitas vezes sua produção prejudicada devido aos entraves burocráticos. Por outro lado, a elevada mão-de-obra disponível na região, e consequentemente barata, é outro fator de extrema importância a ser considerado. Entretanto, a falta de planejamento e de recursos no setor agrícola, tem provocado o deslocamento maciço dessa mão-de-obra para os grandes centros urbanos, contribuindo ainda mais para o subdesenvolvimento da região.

Afora isso, o crescimento demográfico e a conseqüente carência de alimentos, tornam patente a necessidade de desenvolver, na região, sistemas de gotejamento baratos, de fácil instalação e manejo simplificado. A utilização de baixas cargas no gotejamento dispensa o uso de sistemas de bombeamento, favorecendo os pequenos agricultores da região, cujo poder aquisitivo é quase sempre bastante reduzido.

Além disso, essa nova alternativa procura maximizar o emprego da mão-de-obra regional, objetivando elevar o estágio sócio - econômico da população rural pela fixação do homem ao campo, e promovendo, em última análise, o desenvolvimento de toda uma região.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 – Generalidades

O método de irrigação por gotejamento vem, nestes últimos anos, despertando muito interesse devido ao fato de apresentar altos índices de produção aliados a uma grande economia de água. Esta característica faz do gotejo um método bastante adequado às regiões de clima quente e seco, com problemas de escassez de água.

O método consiste, basicamente, em levar às plantas, a quantidade de água mínima necessária ao seu desenvolvimento ótimo, numa frequência bastante elevada, através dos gotejadores. A irrigação por gotejamento é um dos métodos de maior eficiência de irrigação pelo fato de que as perdas por evaporação, durante a transmissão e aplicação da água, como também as perdas por escoamento superficial, são praticamente nulas, e as perdas por percolação profunda são muito reduzidas. A redução das perdas por percolação profunda se deve ao pequeno volume de solo molhado pelo gotejador.

O método do gotejo, devido as suas características, tem apresentado ótimos resultados na produção e qualidade das culturas em regiões áridas (2, 3, 17, 20, 21).

De um modo geral o gotejamento visa evitar o desperdício de água e suas conseqüências e permite obter, com um mínimo consumo de água, um rendimento máximo.

#### 2.2 – Histórico

A irrigação por gotejamento começou na Inglaterra, em 1800, no cultivo de plantas ornamentais (2, 4). O seu desenvolvimento inicial, no entanto, foi registrado em Israel, na década de 30, através de pesquisas desenvolvidas utilizando canalizações de aço

perfuradas. O primeiro sistema surgiu em 1940, na Inglaterra, na irrigação de culturas desenvolvidas em estufas, utilizando pequenos tubos delgados (20). Os primeiros gotejadores comerciais, entretanto, só começaram a aparecer na década de 60 (4, 14).

A partir de 1960 o método começou a se desenvolver, comercialmente, em muitos países, tendo sido introduzido na Califórnia em 1969 (2). Em fins de 1973 foram registrados em Israel cerca de 6.000 ha irrigados por gotejo, apresentando ainda um crescimento de 500 a 1.000 ha irrigados por ano. Na Europa registraram-se 15.000 ha, com um crescimento aproximado de 25% ao ano (20). Já em 1974, registraram-se, no Oeste dos Estados Unidos, cerca de 40.000 ha (11), enquanto na Austrália e no México, cerca de 10.000 ha e 6.400 ha, respectivamente (20), todos irrigados por gotejamento. Em muitos outros países como Alemanha, França, África do Sul, Índia, Egito, Itália, Havai, tem se estudado e pesquisado o método, contribuindo-se assim para o seu desenvolvimento (3, 4, 21).

No Brasil o método começou a se desenvolver, em 1972, com a implantação, pela CIPLA, de um sistema de gotejo para a irrigação de um pomar de ameixa e pêssego, na região de Atibaia – São Paulo (4, 10). O Nordeste, conquanto seja uma região com características ideais para o emprego do método, apresenta apenas alguns poucos experimentos em árvores frutíferas (4). Em alguns Estados do Nordeste foram implantados, recentemente, sistemas de irrigação por gotejamento em áreas industriais, na irrigação de frutíferas (mamão, melão, goiaba, caju, etc.), para a fabricação de doces e sucos.

### **2.3 – Características Gerais do Método**

Sendo a água fornecida com uma frequência relativamente alta, permite manter o conteúdo de umidade do solo à capacidade de campo, possibilitando dessa forma, às plantas, um melhor desempenho. O sucesso obtido, até então, pelo método, se deve as grandes vantagens apresentadas, quais sejam, a minimização das perdas de água, a grande economia de água, a possibilidade de manter o volume de solo da zona radicular em condições ótimas de umidade e a facilidade de aplicar nutrientes e fertilizantes na própria água de irrigação (2, 3, 4).

Como os gotejadores fornecem pequenas vazões, o volume de solo molhado é pequeno, sendo por isso, restrita, a distribuição das raízes, apresentando entretanto uma grande atividade de absorção de água, um fato bastante comprovado experimentalmente (3, 4, 5).

O método apresenta também a possibilidade de controlar o teor da umidade do solo e a forma do volume de solo molhado, ou bulbo molhado (2, 3), pela escolha adequada da vazão do gotejador. Isto se deve ao fato de que a vazão do gotejador se infiltra no solo a uma taxa igual a essa vazão menos a evaporação do solo. Considerando-se que a evaporação é bastante reduzida, a área de infiltração está diretamente relacionada com a vazão "q", do gotejador, e a condutividade saturada do solo, "k". Em suma, manipulando-se a vazão, controla-se a forma e o teor de umidade do volume de solo molhado pelo gotejador.

Uma das características básicas do método é o fornecimento da água em pequenas vazões, com os sistemas trabalhando a baixas pressões, razão pela qual há uma grande economia de energia e há possibilidade de se usar tubulações simples e de baixo custo.

Como para o gotejo a água é recolocada freqüentemente, o solo se mantém em altos valores de potencial matricial, permitindo, então, o uso de altos níveis de salinidade na água sem, no entanto, prejudicar o desenvolvimento normal das culturas.

#### 2.4 – Componentes de um Sistema de Irrigação por Gotejamento

Irrigar por gotejamento é levar água as plantas, em pequenas quantidades, através de estruturas especiais chamadas de gotejadores e inseridas nas tubulações. A função desses gotejadores é, em geral, dissipar a pressão do sistema, fazendo com que a água chegue às plantas em vazões da ordem de alguns litros por hora.

Um sistema completo de irrigação por gotejamento, funcionando sob cargas altas, se constitui das seguintes partes (2, 3, 4, 10):

- 1) CABEÇAL DE CONTROLE – Conectado a fonte principal de abastecimento de água, compreendendo o conjunto MOTOR-BOMBA, sistema de filtros,



injetores de fertilizantes e outros produtos químicos, válvulas, sistema regulador de pressão e vazão, e controle automático de operação.

2) TUBULAÇÕES DE POLIETILENO OU PVC FLEXÍVEL – Formam o conjunto de tubos necessários para abranger toda a área. Dividem-se em 3 (três) categorias, segundo sua finalidade:

- Linha Mestra
- Linha de Derivação
- Linha Lateral

3) GOTEJADORES – Inseridos nas laterais, podendo ter diversas formas. São idealizados para dissipar a pressão da água possibilitando assim, a saída da água de irrigação em pequenas vazões, em forma de gotas.

## 2.5 – Distribuição de Água no Solo

No gotejamento a forma do volume de solo molhado depende, principalmente, das forças de capilaridades e gravitacional (2, 5, 8). Segundo GOLBERG e SHMUELI (8), o movimento horizontal da água e o potencial mátrico do solo dependem do tipo de solo e da vazão dos gotejadores. Para os solos argiloso (finos), as forças de capilaridade são de grande intensidade ao passo que a força gravitacional é de baixa intensidade. Para esses solos o padrão de infiltração tem a forma de um bulbo, devido a maior movimentação lateral, como mostra a figura 01, apêndice II. Para os solos arenosos, no entanto, as forças de capilaridade são menores e a força gravitacional é predominante. Neste caso, o padrão de infiltração tem uma forma mais alongada como mostra a figura 02, apêndice II.

Na distribuição da água no solo, podem-se observar 3 (três) fases distintas (2, 21):

- 1) ZONA DE TRANSMISSÃO - Fica ao redor do gotejador e nela o solo é praticamente saturado. Em solos pesados se restringe a apenas uma pequena

- 2) camada em torno do gotejador. Em solos leves, de alta taxa de infiltração, esta zona tem uma forma alongada.
- 3) ZONA MOLHADA - Na qual a água se infiltra no solo. O conteúdo de umidade diminui proporcionalmente à distância da fonte de água, e consequentemente o conteúdo de ar do solo aumenta.
- 4) FRENTE DE MOLHAMENTO - Situada no limite extremo da zona molhada, sendo o conteúdo de água equivalente ao conteúdo da umidade original do solo.

A área molhada pelo gotejador depende do tipo de solo, da vazão do gotejador, do espaçamento entre os gotejadores e da duração da irrigação (3, 4, 20, 21). Embora a experiência mostre que não é necessário o molhamento de todo o volume das raízes para que haja um desenvolvimento ótimo das culturas, ainda não foi determinada experimentalmente a mínima percentagem de área molhada, "P", que garanta esse desenvolvimento (2, 3, 4, 20).

Keller e Karmeli (20) desenvolveram muitos experimentos nesse sentido e citam que um objetivo razoável de projeto seria uma percentagem de área molhada de, pelo menos 33% da área total, para regiões de clima árido. Dessa forma se poderia garantir uma produção ótima quando trabalhando com árvores frutíferas. Nos climas moderados, onde a irrigação adquire um caráter complementar, poderia se considerar a percentagem de área molhada, de 20% da área total, como razoável na irrigação de frutíferas.

Goldberg, Gornat e Rimon (3), salientaram que o espalhamento da água a partir de um gotejador, com a repetição das irrigações, deverá se manter constante desde que o conteúdo inicial de umidade e a vazão do gotejador permaneçam constantes.

O consumo de água pelas plantas, no gotejamento, é bastante diferente do até agora considerado nos outros métodos. Isto se deve ao fato de que somente uma pequena porção da superfície do solo permanece molhada e também porque o solo está sempre próximo à capacidade de campo devido à frequência das aplicações.

## 2.6 – Comportamento Hidráulico dos Gotejadores

### 2.6.1 – Tipos de Gotejadores

O gotejador é a peça principal de um sistema de gotejamento (4, 20). É uma estrutura mecânica idealizada para dissipar a pressão da água levando-a às plantas em pequenas quantidades, de acordo com o seu uso consuntivo. O gotejador, por se tratar de uma peça tão importante, deve preencher alguns requisitos básicos (2, 3, 4, 20), tais como:

- Ser bastante resistente e compacto
- Apresentar orifício de saída relativamente grande
- Fornecer pequenas vazões, constantes e uniformes

Existem diversos tipos de gotejadores comerciais, sendo 3 (três) os mais comumente usados (2, 3, 4, 20):

- 1 – Orifícios Gotejadores
- 2 – Gotejador com longo percurso de saída
- 3 – Gotejador com câmara de vórtice

#### 1) Orifícios Gotejadores

Neste tipo de gotejador a perda de carga é conseguida pela passagem da água através de um estrangulamento de seção, ou orifício, pelo qual a vazão é fornecida. O diâmetro desses orifícios varia de 0,4 mm a 0,6 mm. Funcionam com pressão de serviço em torno de 1 atm. (10 metros de coluna d'água). São pequenos, baratos e facilmente adaptados ao tubo de polietileno, tendo, no entanto, a desvantagem de entupir com muita facilidade.

Um modelo adaptado para culturas em linha foi desenvolvido a fim de minimizar o entupimento dos gotejadores. Trata-se do gotejador de parede dupla, o qual consiste em um tubo interno ou câmara de suprimento, trabalhando a altas pressões, e um tubo externo ou câmara de emissão, trabalhando a baixas pressões.

Um outro tipo que se apresenta como um tubo poroso, pode ser incluído nesta categoria. É mais utilizado na irrigação subterrânea (3, 4), mas pode ser usado na superfície do solo, proporcionando, ao longo do seu comprimento, uma faixa molhada.

## 2) Gotejador com longo percurso de saída

Neste tipo de gotejador a perda de carga é conseguida através de um estreito e longo percurso da água dentro do gotejador, pelo atrito durante este percurso. Neste caso, aberturas maiores que 1,0 mm podem produzir pequenas vazões trabalhando com pressões em torno de 1 atm.

Podem ser classificados em dois tipos:

### A) – Gotejador com longo percurso de saída retilínea.

Neste tipo se enquadram os microtubos, nos quais a resistência ao fluxo é considerada, aproximadamente, proporcional ao seu comprimento.

### B) – Gotejador com longo percurso de saída em espiral.

O princípio é o mesmo dos microtubos, apenas, neste caso, o percurso da água se processa dentro de uma peça compactada, através de uma espiral ou labirinto. Trabalham a uma pressão média de 10 metros de coluna de água, com vazões de 4,0 l/h, como é o caso do DANGOTAS (labirinto), AGROTEC (espiral) e outros.

## 3) Gotejador com câmara de vórtice

Uma outra forma de proporcionar a perda de carga no gotejador é criar um vórtice no fluxo da água. A vantagem deste método é proporcionar um maior orifício de saída, sendo portanto, menos sujeito a entupimento do que os demais gotejadores existentes. Apresentam-se com uma ou mais câmaras de vórtices.

### 2.6.2 – Relação Pressão – Vazão

A relação pressão – vazão, no gotejamento, depende da construção e do material do gotejador (2, 3, 4), ou seja, das suas características. Por isso, torna-se necessário o fornecimento das curvas características, as quais dão a relação entre a pressão e a vazão baseadas em dados experimentais.

A função que caracteriza o fluxo a partir do gotejador (2, 4, 11, 13, 20), pode ser dada por:

$$Q = K \cdot H^x \quad (2.1)$$

Onde:

Q = vazão do gotejador, em litros por hora

K = coeficiente de descarga que caracteriza cada gotejador, adimensional

H = pressão do gotejador, em metros

x = potência a qual H é elevado e que depende do tipo e regime de fluxo do gotejador

Para a determinação do K e do x, é necessário que se conheçam as vazões em duas pressões diferentes, sendo, então, os valores de K e x determinados, analiticamente, pela seguintes relações:

$$x = \frac{\log(q_1 / q_2)}{\log(H_1 / H_2)} \quad (2.2)$$

Sendo o valor de K encontrado ao se substituir este valor de x na equação 2.1.

Em geral, para orifícios gotejadores,  $x = 0,5$ ; para gotejadores com longo percurso de saída,  $0,5 < x \leq 1,0$ , e nos gotejadores que apresentam sistemas compensador de pressão, o valor de x é menor que 0,5, podendo chegar até a zero.

### 2.6.3 – Critério de Dimensionamento

No processo de dimensionamento do gotejo também são fixadas variações máximas da pressão para que se obtenha uma aplicação uniforme da água.

Segundo Keller e Karmeli (20), deve-se adotar um critério de permitir uma variação máxima de 10% na vazão dos gotejadores funcionando simultaneamente. A perda de carga permissível dependerá do tipo de gotejador e do seu regime de fluxo. Se o regime de fluxo for laminar, para produzir uma variação de 10% na vazão, a perda de carga máxima deverá ser da ordem de 10% da pressão de serviço. Se o regime de fluxo for turbulento, esta perda de carga máxima pode chegar a atingir valores de 20% da pressão de serviço (4).

Golberg, Gornat e Rimon (3), sugerem que se considere como admissível uma diferença de vazão entre os gotejadores extremos de uma lateral em torno de 20%, o que equivale a uma diferença de pressão admissível da ordem de 44%. Essa diferença, segundo eles,

proporcionaria condições ainda mais favoráveis do que os 20% de diferença de pressão utilizados na aspersão, permitindo assim maior flexibilidade nos cálculos.

Para o dimensionamento considera-se, em geral, o critério adotado por Keller e Karmeli (4, 20), e tem-se que a diferença de pressão devido a perda de carga ocorre entre os gotejadores extremos de uma área que funcionam simultaneamente. O diâmetro das canalizações laterais e de derivação são determinados através das perdas de carga, considerando as canalizações sem saídas de água e depois multiplicando-se este valor por uma fator F para canalizações com múltiplas saídas, (1, 2, 3, 4, 14, 20, 21).

A pressão de serviço, H, é considerada aquela que irá produzir a vazão típica do gotejador na lateral.

Segundo Keller e Karmeli (20), a perda de carga num sistema de gotejo, a nível, poderia ser dividida entre a linha lateral e a de distribuição, de acordo com a relação abaixo:

$$\Delta H_L = 0,55\Delta H \quad (2.3)$$

$$\Delta H_d = 0,45\Delta H \quad (2.4)$$

onde:  $\Delta H_L$  = perda de carga na linha lateral, em metros

$\Delta H_d$  = perda de carga na linha de distribuição, em metros

$\Delta H$  = perda de carga total admissível no sistema, em metros

## 2.7 – Determinação do Consumo de Água

Um projeto de irrigação por gotejamento deve assegurar uma aplicação correta de água, que seja compatível com as necessidades da cultura, considerando, sobretudo os custos do equipamento necessário do sistema.

Pelas próprias características do sistema, a determinação do consumo de água é consideravelmente diferente dos métodos tradicionais de irrigação, porque apenas uma parte do solo é molhado. Os métodos mais utilizados são o do fator de cobertura (K) e o método baseado no fator de molhamento (P). O método baseado no fator de cobertura (K), adota este fator K como sendo equivalente a parte da área total coberta pela cultura. O valor de K pode ser determinado analiticamente, através de algumas considerações práticas

ou ainda por medição direta no campo, no caso de frutíferas (4). Neste método se consideram também dados de evaporação a partir dos tanques classe A, através do cálculo de um fator de consumo  $f$ , que estabelece a correlação entre os valores de consumo de água pela planta e evaporação do tanque classe A. Diversos estudos têm sido realizados para determinar o valor de  $f$  para várias culturas, sendo que muitos autores recomendam para condições de projeto um valor médio de 0,70. A quantidade diária a ser aplicada pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$V = \frac{E_A \cdot f \cdot A \cdot K}{E_f} \quad (2.5)$$

onde:  $V$  = volume de água em l/árvore/dia

$E_A$  = evaporação do tanque classe A em mm/dia

$f$  = fator de consumo, adimensional

$A$  = área correspondente ao espaçamento da cultura, em  $m^2$

$K$  = fator de cobertura relacionando a percentagem da área coberta pela cultura

$E_f$  = eficiência do método

O método que se baseia no fator de molhamento  $P$ , é sugerido por Keller e Karmeli (20), e relaciona a percentagem de área molhada na irrigação. A determinação da quantidade de água a ser aplicada em cada ciclo de irrigação é dado por:

$$h = \frac{(CC - PMP)}{10} \cdot H \cdot da \cdot y \cdot \frac{P}{100} \quad (2.6)$$

onde:  $h$  = lâmina líquida em mm

$CC$  = capacidade de campo em % de peso

$PMP$  = ponto de mucha permanente em % de peso

$H$  = profundidade efetiva do sistema radicular em cm

$da$  = densidade aparente em  $g/c^3$

$y$  = percentagem de água disponível no solo

$P$  = percentagem da área molhada em relação a área total irrigada

O valor de  $y$  é de difícil avaliação porque envolve vários fatores tais como solo, clima, planta e aspectos econômicos. Em geral, adotam-se para culturas de alto rendimento econômico e sensível ao nível de umidade, pequenos valores de  $y$ , e para culturas resistentes a seca, valores maiores. Alguns valores práticos recomendados, são 20 a 40% do intervalo de água disponível no solo.

Para o caso do  $P$ , percentagem de área irrigada, seu valor depende de muitos fatores com tipo de solo, cultura, espaçamento da cultura e vazão dos gotejadores, devendo ser esse valor determinado experimentalmente, ou então estimado.

## 2.8 – Funcionamento de Gotejadores sob Pequenas Cargas

Os sistemas de gotejamento, em geral, não aplicam a água com uma perfeita uniformidade devido a fatores tais como: imperfeições de fabricação e facilidade de entupimento dos gotejadores. Para corrigir tais problemas seria bastante melhorar os processos de fabricação, a filtração da água e evitar a precipitação dos sais. O maior problema nos projetos de sistemas de gotejo são as perdas de carga por atrito nas linhas laterais. Por isso, vários tipos de gotejadores têm sido projetados com o intuito de reduzir a variação da vazão devido a essas perdas.

Um dos tipos mais comuns de gotejadores projetados para esse fim, é o gotejador de parede dupla que trabalha a pressões em torno de 2,1 metros de coluna de água (4, 6).

Myers e outros (6), idealizaram um sistema de gotejo com gotejadores de diâmetro variável, no intuito de uniformizar a vazão liberada. O sistema era constituído de uma tubulação em polietileno, de 76,0 m de comprimento, diâmetro  $D = 21\text{mm}$ , pressão de serviço de 1,43 m de água e os gotejadores, pequenos tubos de diâmetros iguais a 0,86 mm, 0,84 mm, 0,79 mm, 0,76 mm, e 0,74 mm, eram espaçados de 60 cm. O coeficiente de vazão dos gotejadores era 0,69.

Utilizando um método gráfico desenvolveram esse sistema comparando seu desenvolvimento com o de um outro sistema cujos gotejadores tinham diâmetros fixos. Concluíram, então, que as variações na vazão para o sistema de gotejadores de diâmetros



variáveis, foi bem inferior a variação para o sistema cujos gotejadores tinham diâmetros fixos, ou seja, para aquele sistema, uma marcante uniformidade de aplicação foi notada. A experiência leva a crer que um sistema de gotejadores de diâmetros variável, caso fosse viável econômica e operacionalmente, poderia proporcionar uma distribuição ideal de vazões, promovendo um desenvolvimento uniforme na cultura irrigada.

## CAPÍTULO III

### OBJETIVOS, ORGANIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

#### 3.1 – Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento hidráulico de sistemas de gotejamento operando sob pequenas cargas, abaixo de 10 metros de coluna de água, de manejo simplificado e baixo custo, através das seguintes etapas:

- A – Seleção de um grupo de gotejadores convencionais e não convencionais, disponíveis no mercado, para estudar seus comportamentos sob pequenas cargas;
- B – Determinação da relação carga - vazão para os gotejadores selecionados;
- C – Estudo da influência da entrada de bolhas de ar nas tubulações do sistema;
- D – Verificação da viabilidade econômica de um sistema de irrigação por gotejamento a pequenas cargas, para aproveitamento em pequenas áreas cultivadas.

#### 3.2 – Organização dos Ensaio

Para proceder a estruturação dos ensaios a serem desenvolvidos, fez-se inicialmente uma seleção dos tipos de gotejadores a serem utilizados. Para atingir os objetivos propostos os gotejadores deveriam apresentar três características básicas, quais sejam:

- 1 – Ser barato e de fácil aquisição;
- 2 – Ser simples para possibilitar sua instalação pelo homem do campo;
- 3 – Ter um comportamento hidráulico estável para permitir o dimensionamento do sistema de irrigação.

Embora a idéia inicial fosse a de selecionar alguns tipos de gotejadores convencionais, uma vez que a indústria nacional já dispõe de uma grande variedade, foram encontrados no

mercado da região apenas dois tipos, o da Cipla (vazão variável) e o da Dangotas (vazão fixa). Os gotejadores da Cipla e Dangotas são ambos de longo percurso de saída e trabalham, em geral, com pressões em torno de 10 metros de coluna de água (1 atm.).

Por outro lado, a completa ausência de informações a respeito do comportamento desses gotejadores, quando operando sob pequenas cargas, justificaria também uma análise detalhada das relações hidráulicas dos mesmos.

O gotejador da Cipla é um gotejador de vazão variável no qual a água, ao penetrar, percorre um longo caminho em espiral. É constituído de um sistema de rosca e parafuso que permite o ajuste da vazão quando necessário. A instalação desses gotejadores na linha é extremamente simples, no entanto, a sua utilização deve ser precedida de uma calibração, a fim de se obter vazões mais uniformes. Essa calibração se faz necessária devido a própria constituição desses gotejadores porque, naturalmente, esses parafusos não são exatamente iguais.

O gotejador da Dangotas é um gotejador de vazão fixa, e é caracterizado por ter um longo percurso de saída em labirinto. Apresenta uma vazão de 4,0 l/h quando trabalha com uma pressão de serviço de 1 atm. Pelo fato de apresentar uma vazão constante é bastante utilizado, entretanto, como este gotejador deve ser inserido na linha, a sua instalação demanda um certo manuseio técnico.

Para a escolha dos gotejadores não convencionais foram pesquisados no mercado local diversos materiais. Com base nos requisitos desejados, foram analisados tubos de madeira de pequeno diâmetro, mangueiras de borracha, como também microtubos, sendo enfim, selecionado, um pequeno tubo de vidro conhecido no mercado como vidrilho.

Estes vidrilhos tem um comprimento médio em torno de 8,0 mm e o diâmetro variável, atendendo, no entanto, a dois dos requisitos básicos necessários, quais sejam, simplicidade, baixo preço e fácil aquisição. A desvantagem desses vidrilhos, no momento, é que pelo fato de ser um material fabricado com outras finalidades, não tem controle de qualidade, por isso não é possível selecioná-los individualmente pelo diâmetro devido a sua grande variação. Apesar desta desvantagem e porque são extremamente baratos, simples e de fácil instalação, os vidrilhos foram o material mais adequado para gotejadores não.

convencionais, encontrado nas pesquisas preliminares. Entretanto, a sua utilização estaria sujeita a verificação de seu comportamento hidráulico.

Pelo fato de apresentarem essa variação nos diâmetros, os vidrilhos foram então, para efeito do estudo hidráulico, selecionados por classes. Observou-se que os vidrilhos encontradas no mercado apresentavam, em geral, diâmetros variando entre 0,63 mm e 1,01 mm. Na seleção em classes, feita com base nesse intervalo de variação, o critério adotado foi o de que dentro de cada classe a variação fosse bem pequena, sendo por isso selecionadas cinco classes, como segue:

- classe 1 → diâmetros de 0,63 mm a 0,76 mm
- classe 2 → diâmetros de 0,77 mm a 0,83 mm
- classe 3 → diâmetros de 0,84 mm a 0,90 mm
- classe 4 → diâmetros de 0,91 mm a 0,95 mm
- classe 5 → diâmetros de 0,96 mm a 1,01 mm

O processo de verificação do comportamento hidráulico dos gotejadores selecionados foi desenvolvido através de um estudo experimental realizado no laboratório de Hidráulica da UFPB –Campus II, submetendo-se esses gotejadores a uma carga hidráulica variável entre 0,5 m e 6,0 metros de coluna de água.

O estudo experimental abrangeu os seguintes aspectos:

- Determinação da relação carga - vazão, obtida através da coleta de dados de vazão e pressão, para os gotejadores selecionados. Os dados de vazão foram coletados utilizando-se um sistema experimental no qual a alimentação era feita através de um pequeno reservatório móvel. A vazão era medida, após fixada a carga desejada, através do volume de água liberado em cada gotejador. A pressão era medida através de um manômetro de mercúrio;
- Estimativa da perda de carga na linha lateral, obtida através da variação da energia total na linha lateral. Através dos dados de pressão e vazão coletados foi calculada a energia total em cada ponto. A linha lateral foi considerada a nível. A perda de carga foi também estimada através das equações teóricas disponíveis;

- Determinação dos coeficientes de descarga para o gotejador tipo I, obtidos através da equação de Torricelli. Neste caso consideram-se para os cálculos as áreas e vazões nas cinco classes selecionadas;

- Estudo da influência da entrada de bolhas de ar nas tubulações do sistema, cuja finalidade era verificar a real influência dessas bolhas de ar no comportamento da vazão dos gotejadores. Para esse estudo, a lateral foi substituída por uma tubulação de plástico transparente que permitia a visualização das bolhas de ar, sendo o ensaio desenvolvido segundo o mesmo procedimento utilizado nos ensaios anteriores.

Durante os ensaios os gotejadores foram identificados como gotejador tipo I (vidrilhos), gotejador tipo II (Cipla) e gotejador tipo III (Dangotas), realizando-se uma série de cinco ensaios com o tipo I, classes de 1 a 5, e um ensaio para cada um dos gotejadores comerciais (Cipla e Dangotas).

Os ensaios foram iniciados como o gotejador tipo I, sendo que para evitar possíveis erros sistemáticos, a seqüência dos ensaios para as classes deste gotejador foi aleatória. Os ensaios foram desenvolvidos obedecendo a seqüência abaixo:

- Gotejador tipo I (vidrilhos), sendo os cinco ensaios assim distribuídos:
  - Classe 2, classe 4, classe 3, classe 1 e classe 5;
- Gotejador tipo II (Cipla);
- Gotejador tipo III (Dangotas);
- Ensaios para verificação da influência das bolhas de ar nas tubulações do sistema.

### **3.3 - Instalação Experimental e Metodologia**

O sistema experimental, desenvolvido no próprio laboratório, era constituído de um reservatório móvel, da tubulação de alimentação em plástico transparente e de uma linha lateral em polietileno flexível, onde eram inseridos os gotejadores em número de cinco.

O reservatório de alimentação, movido por um sistema de roldanas e cabos de aço, possibilitava a variação das cargas hidráulicas utilizadas. O reservatório tinha uma forma cilíndrica e capacidade aproximada de 200 litros, sendo alimentado, continuamente, por uma mangueira de borracha ligada ao sistema de abastecimento de água do laboratório.

As cargas hidráulicas, variando de 0,50 m a 6,0 m, eram medidas com o auxílio de uma escala graduada e de uma escada de madeira e aço. A escala era afixada a uma parede próxima ao reservatório. Para verificar a posição exata do reservatório, em cada carga desejada, utilizou-se uma mangueira de plástico transparente, com diâmetro de 1/4", que funcionava como um piezômetro.

A tubulação de alimentação em plástico transparente, tinha um comprimento médio de 9,0 m e diâmetro de 3/4", sendo ligada à lateral através de uma peça de redução. A linha lateral em polietileno flexível, tinha 5,0 m de comprimento e diâmetro de 1/2", sendo nivelada e fixada a uma placa metálica. A placa metálica era colocada sobre 3 suportes de madeira, com 30 centímetros de altura cada, para permitir a medição da vazão dos gotejadores.

Os gotejadores, em números de cinco, eram instalados na linha espaçados de 1,0 metro, espaçamento comumente utilizado nas culturas da região, sendo substituídos à medida que se realizavam os ensaios.

Para a realização de um ensaio, procedia-se, inicialmente, a fixação da carga hidráulica desejada manipulando-se o reservatório. A carga hidráulica era medida através da escala métrica afixada à parede. Para as cargas acima de 1,0 metro de coluna de água, as leituras na escala eram feitas com o auxílio da escada de madeira e aço, sendo a posição correta do reservatório verificada através do piezômetro afixado ao reservatório. O nível da água no reservatório, que correspondia a carga desejada, era lido na escala graduada através do piezômetro, e dessa maneira, era feita a verificação da posição do reservatório.

Após a fixação da carga desejada, o sistema era ligado a fim de se proceder a estabilização da carga hidráulica fixada. Esta estabilização era conseguida deixando-se o sistema funcionar livremente durante um período mínimo de um quarto de hora (15 minutos), após o que fazia-se uma nova verificação da posição do reservatório. Dessa forma, constatava-se se o nível da água no reservatório permanecia constante ou não. Os ensaios eram então iniciados variando-se as cargas e mantendo o nível da água, no reservatório, constante.

A coleta de dados, feita em seguida, consistia da medição da pressão e vazão para os gotejadores selecionados. A pressão era obtida através da leitura no manômetro de mercúrio, sendo essa leitura efetuada com três repetições, obtendo-se assim, a pressão

média em cada ponto de tomada de pressão. Esses pontos de tomada de pressão, em número de três, foram escolhidos de modo a se obter uma visão geral do comportamento da pressão na linha lateral, como também verificar qual a pressão real de operação dos gotejadores, sendo indicados como segue:

- ponto 1 - antes do primeiro gotejador
- ponto 2 - antes do terceiro gotejador
- ponto 3 - antes do quinto gotejador

O manômetro de mercúrio era conectado a linha lateral através de uma mangueira plástica, sendo as leituras efetuadas em metros de coluna de água, através do desnível da coluna de mercúrio. As vazões eram obtidas através do volume de água liberado em cada gotejador num determinado tempo, sendo esse volume de água coletado num recipiente de vidro e medido numa proveta graduada. Esse volume era medido simultaneamente nos cinco gotejadores com a finalidade de se obter maior precisão nos resultados. As medições também eram feitas com três repetições, obtendo-se assim a vazão média para cada gotejador, em cada carga. Cada ensaio era realizado num período médio de quatro horas, a fim de permitir que os gotejadores selecionados fossem submetidos a todas as cargas hidráulicas.

No ensaio realizado com o gotejador da Cipla (tipo II), foi feita uma calibragem inicial colocando-se todos os gotejadores numa mesma posição. Para isso foi dada uma volta completa ( $360^\circ$ ) nos parafusos, observando-se, no entanto, que mesmo estando todos calibrados, os gotejadores apresentavam uma grande variação na vazão, sendo por isso necessário ajustá-los a novas posições sempre que se variava a carga. Observou-se que a simples variação da pressão na linha era suficiente para modificar a posição dos parafusos. Consequentemente, para uma mesma carga, cada um dos gotejadores era ajustado numa posição diferente de acordo com o volume de água liberado, procurando-se, assim, obter vazões mais uniformes.

No ensaio para verificação da influência das bolhas de ar no sistema, foi necessário substituir a linha lateral, em polietileno flexível, por uma mangueira de plástico transparente, de mesmo diâmetro e comprimento, a fim de se observar o comportamento das bolhas de ar na linha. Sabe-se que a presença do ar em tubulações sob pressão

prejudica o seu funcionamento reduzindo-lhes a vazão, sendo esse efeito melhor observado em gotejadores de pequena vazão, por isso foi utilizado o gotejador tipo III, que apresentou vazões bastante reduzidas.

O ensaio de influência das bolhas de ar foi dividido em duas etapas:

1ª etapa - O ensaio era realizado com a tubulação sem bolhas de ar, medindo-se as vazões e pressões na linha através dos mesmos procedimentos dos ensaios anteriores.

2ª etapa - Injetavam-se bolhas de ar na linha, procedendo-se as medições de vazão e pressão com a tubulação contendo bolhas. Durante esta etapa mediam-se os tamanhos (comprimento e profundidade) das bolhas, a fim de se ter uma idéia da real influência das mesmas, ou seja, observar seus comportamentos de acordo com a variação da pressão.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 4.1 - Gotejadores Tipo I

##### 4.1.1 - Relação Carga Hidráulica - Vazão

Os dados experimentais coletados foram organizados pelo tipo e classe do gotejador nas tabelas inseridas no apêndice I. Para o gotejador tipo I, por exemplo, foi observado um funcionamento regular com vazões desde 3,2 l/h (classe 1 e 2), na carga hidráulica de 0,50 m, até 23,0 l/h (classe 5), na carga de 6,0 m.

Na classe 1, por exemplo, a variação da vazão entre os cinco gotejadores foi relativamente pequena, sendo proporcional ao aumento da carga. Observou-se, no entanto, que os gotejadores 4 e 5 apresentaram nas cargas maiores, vazões bem mais altas do que as dos outros três gotejadores, conforme a tabela 1, apêndice I. Observou-se também, que para todas as cargas hidráulicas utilizadas, a vazão do quinto gotejador foi maior do que a do primeiro. Para a classe 2, a vazão se apresentou muito variável entre os cinco gotejadores, ora aumentando, ora diminuindo, ao longo da linha. Observou-se, no entanto, que as vazões do segundo gotejador foram praticamente iguais às do quinto, conforme a tabela 2, apêndice I. Observou-se também aqui, que a vazão do quinto gotejador foi maior do que a do primeiro, em todas as cargas hidráulicas.

Na classe 3, a vazão aumentou do primeiro para o segundo gotejador, apresentando, em seguida, uma variação semelhante a da classe 2, ou seja, aumentando e diminuindo ao longo da linha. Neste caso, também se verificou que a vazão do quinto gotejador foi maior do que a do primeiro, em todas as cargas hidráulicas utilizadas, como mostra a tabela 3, apêndice I.

No caso da classe 4, a vazão numa mesma classe se apresentou praticamente constante entre os cinco gotejadores. Observou-se que as vazões do primeiro gotejador foram iguais às do quinto, exceto na carga de 6,0 m, onde a vazão do primeiro foi maior, conforme a tabela 4, apêndice I.

Para a classe 5, observou-se que o comportamento da vazão foi semelhante ao da classe 2, tendo os gotejadores 1 e 3, em algumas cargas, apresentado a mesma vazão, como mostra a tabela 5, apêndice I. A vazão no quinto gotejador também se apresentou maior do que a do primeiro, em todas as cargas hidráulicas utilizadas.

A variabilidade observada entre as vazões dos gotejadores de uma mesma classe de vidrilhos poderia ser atribuída a variação de seus diâmetros dentro da própria classe, uma vez que a colocação dos vidrilhos na linha era aleatória. Dessa forma poderia ocorrer uma situação em que todos os cinco vidrilhos tivessem o mesmo diâmetro, ou todos tivessem diâmetros diferentes, ou ainda, apenas alguns gotejadores tivessem o mesmo diâmetro. Observando-se, por exemplo, os gotejadores 2 e 5 da classe 2, verifica-se que apresentam vazões semelhantes, devido certamente a igualdade de seus diâmetros. Na classe 4, onde se observaram vazões praticamente constantes para os cinco gotejadores, deve ter ocorrido que todos os gotejadores tinham o mesmo diâmetro, fato que foi observado também com os gotejadores 1 e 3 na classe 5.

Através dos dados coletados foram traçadas as curvas características, ou curvas  $Q \times H$ , mostradas no apêndice II, para as cinco classes dos vidrilhos. Para a classe 1, a figura 03, apêndice II, mostra as curvas  $Q \times H$ , onde se evidenciam a variação da vazão entre os cinco gotejadores, verificando-se, entretanto, que as vazões são coerentes. Na classe 2, as curvas  $Q \times H$  apresentaram vários pontos comuns devido a semelhança das vazões dos gotejadores, conforme a figura 04, apêndice II.

Para a classe 3, as curvas  $Q \times H$ , mostradas na figura 05, apêndice II, evidenciam também a semelhança entre as vazões de alguns gotejadores. Com relação a classe 4, no entanto, como as vazões foram praticamente iguais para quase todos os gotejadores, só duas curvas individuais resultaram, sendo uma curva do gotejador 1 e a outra do gotejador 2, como mostra a figura 06, apêndice II. Para a classe 5, observou-se um comportamento da vazão,

em relação às cargas hidráulicas, semelhante ao das classes 2 e 3, verificando-se alguns pontos comuns entre as curvas, conforme indicados na figura 07, apêndice II.

Observou-se que, de um modo geral, os gotejadores de uma mesma classe apresentavam, para uma mesma carga, variações relativamente pequenas entre as suas vazões, sendo por isso, possível, trabalhar com uma  $Q \times H$  média. Tomando-se, então, as vazões e pressões médias, em cada classe, para cada carga hidráulica, obtiveram-se as curvas características médias dos vidrilhos, curvas mostradas na figura 08, apêndice II.

Entretanto, para fins de dimensionamento de sistemas de gotejamento, utilizando o gotejador tipo I, com cargas hidráulicas diferentes das utilizadas, efetuou-se a linearização das curvas características médias desse gotejador, plotando-se esses dados em um papel log-log, conforme a figura 09, apêndice II. Esse procedimento possibilita a utilização dessas curvas nos dimensionamentos, trabalhando-se com certa margem de segurança.

A avaliação da estabilidade dos gotejadores pode ser desenvolvida usando-se a equação geral da vazão nos gotejadores, na forma:

$$Q = K \cdot H^x \quad (4.1)$$

na qual o expoente  $x$  é caracterizado pelo regime de fluxo, e o  $K$  caracteriza o tipo de gotejador. Esses valores são determinados analiticamente conhecendo-se as vazões em duas diferentes pressões de trabalho. Esse cálculo pode ser efetuado aplicando-se logaritmo à equação 4.1, obtendo-se então o valor de  $x$  através da seguinte expressão:

$$x = \frac{\log(q \cdot f_1 / q \cdot f_2)}{\log(H_1 / H_2)} \quad (4.2)$$

Para determinar o valor de  $K$ , substitui-se na equação 4.1, o valor do  $x$ . A estabilidade poderá ser avaliada sabendo-se que quanto menor o valor do  $x$ , menos a vazão será afetada pela variação da pressão, figura 09, apêndice II. No caso do gotejador tipo I, foram obtidos os valores para  $x$  e  $K$  nas cinco classes, observando-se que os vidrilhos apresentaram um comportamento semelhante ao dos gotejadores de longo percurso de saída, ou seja, o  $x$  variou entre 0,5 e 1,0 (4).

Os valores do  $x$  e  $K$  para o gotejador tipo I foram os seguintes:

classe 1 -  $x = 0,60$

$$K = 5,13$$

classe 2 -  $x = 0,57$

$$K = 6,20$$

classe 3 -  $x = 0,51$

$$K = 7,27$$

classe 4 -  $x = 0,56$

$$K = 7,75$$

classe 5 -  $x = 0,53$

$$K = 8,86$$

Observou-se, então, que os vidrilhos da classe 3 e 5 foram os que apresentaram maior estabilidade, seguindo-se os vidrilhos das classes 4, 2 e 1.

O fato da vazão ter se apresentado crescente em algumas das classes do gotejador tipo I, contraria a hidráulica dos condutos de multiplas saídas. No entanto, isto poderia ser atribuído a variação dos diâmetros desses vidrilhos.

Observou-se também que, em quase todas as classes, a vazão do último gotejador foi maior do que a do primeiro. Este fato poderá ser atribuído a dois fatores:

- variação dos diâmetros dos vidrilhos, já citado anteriormente;
- como o tubo era fechado no final, haveria nesta região um certo acúmulo de água pela recuperação da taquicarga, promovendo, dessa forma, o acréscimo da vazão.

#### **4.1.2 - Comportamento da Pressão**

Foram verificadas para as cinco classes do tipo I pequenas variações da pressão com relação às cargas indicativas, o que implica em pequenos valores da perda entre os gotejadores.

Na classe I, por exemplo, observou-se que a máxima variação da pressão em relação às cargas indicativas, foi da ordem de 2%, sendo que em algumas cargas não foi observada

nenhuma variação, possivelmente por ser muito pequena, conforme a tabela 9, constante no apêndice I.

Para algumas cargas, a pressão no quinto gotejador foi maior do que no primeiro, apesar das perdas de carga ao longo da linha lateral, indicando a possibilidade da transformação da energia cinética em pressão, no final do tubo. Para a avaliação deste comportamento realizou-se a análise da energia total em cada ponto de tomada de pressão.

O cálculo da energia total, feito através da equação da energia, foi desenvolvido considerando-se em cada ponto de tomada de pressão, a leitura no manômetro, a taquicarga em função da velocidade da água no tubo e a carga de posição ou cota do ponto, obtida com o auxílio de uma nível de topógrafo, nos pontos onde a linha se apresentou desnivelada, como se pode ver na figura 10, apêndice II.

Para a classe 1, por exemplo, na carga de 1,0 m, efetuou-se o cálculo da energia total utilizando-se os seguintes dados:

- diâmetro do tubo = 0,0127 m (1/2')

- cotas dos pontos 1, 2 e 3, considerando-se o datum passando no ponto 1:

$$Z_1 = 0$$

$$Z_2 = 0,35\text{cm}$$

$$Z_3 = 0,20\text{cm}$$

- vazão nos pontos 1, 2 e 3 (tabela 1, apêndice I):

$$q_1 = 0,715 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \text{ (vazão total)}$$

$$q_2 = 0,455 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \quad [Q_T - (q_1 + q_2)]$$

$$q_3 = 0,167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \text{ (vazão no último gotejador)}$$

- leitura das pressões em cada ponto, através do manômetro (tabela 9, apêndice I):

$$\text{ponto 1} = 0,989 \text{ m}$$

$$\text{ponto 2} = 0,979 \text{ m}$$

$$\text{ponto 3} = 0,973 \text{ m}$$

A energia total é a soma das cargas depressão, posição e velocidade, ou seja:

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z \quad (4.3)$$

Efetuada-se os cálculos obtiveram-se os seguintes valores para a energia total em cada ponto, na carga de 1,0 m:

$$H_1 = 0,989 \text{ m}$$

$$H_2 = 0,982 \text{ m}$$

$$H_3 = 0,975 \text{ m}$$

Verificou-se então, pelos resultados obtidos, que as cargas de posição e velocidade poderiam ser desprezadas, ficando toda a variação da energia total em função da variação da pressão. Neste caso, observou-se que a variação da pressão em relação às cargas indicativas, foi da ordem de 1,0% a 2,5%, como também nas demais cargas, onde também foram obtidas apenas pequenas variações (tabela 9, apêndice I).

Para a classe 2, os cálculos da energia total foram efetuados segundo o mesmo procedimento, observando-se um comportamento, para a energia total, idêntico ao anterior, ou seja, toda a variação da energia total, em função da variação da pressão, observando-se também, apenas pequenas variações com relação às cargas indicativas (tabela 10, Apêndice I).

No caso das classes 3, 4 e 5, a energia total também apresentou o mesmo comportamento descrito anteriormente para as classes 1 e 2.

A variação da pressão em relação as cargas indicativas foi muito pequena para as três classes, ficando na faixa de 0,1% a 3,4%. Contudo, no caso da classe 3, observou-se que na carga de 1,0 m, o ponto 2 apresentou uma variação de cerca de 5% (tabela 11, Apêndice I). Entretanto, apesar da pressão ter sido bem menor no ponto 2, a pressão no ponto 3 foi praticamente igual a do ponto 1, sendo maior que a do ponto 2. Este fato poderá ter ocorrido devido a fatores tais como erros de leitura, desnivelamento da lateral no ponto, ou ainda, pela presença de bolhas de ar no manômetro, durante as leituras.

Como a pressão foi medida num manômetro de mercúrio ( $d_{\text{Hg}} = 13,6$ ), para um erro de leitura da ordem de 1,0 mm, no manômetro, poderá corresponder um erro de mais ou menos 12,6 mm de água, para a pressão, uma vez que a diferença entre a densidade do mercúrio e da água, é exatamente 12,6. A presença de bolhas no manômetro, que poderiam ter ocorrido durante as leituras, seria de difícil constatação, porque a mangueira da tomada de pressão não era de plástico transparente, o que impossibilitava a visualização dessas

possíveis bolhas de ar. Por outro lado, o desnivelamento da linha que poderia levar a um erro de leitura, poderia ter concorrido indiretamente para o aparecimento do problema.

As tabelas 12 e 13, do Apêndice I, mostram o comportamento da pressão para as classes 4 e 5, respectivamente, verificando-se que na classe 5, na carga de 6,0 m, não foi possível se observar nenhuma variação, talvez por ser muito pequena, ou ainda pelo fato do manômetro não ser muito sensível.

Observou-se que, de um modo geral, para o gotejador tipo I, a pressão apresentou pequenas variações, satisfazendo aos critérios utilizados nos dimensionamentos da irrigação por gotejo. O fato de se ter se observado algumas exceções, poderia ser atribuído aos fatores já citados anteriormente, quais sejam: erros de leitura, pouca sensibilidade do manômetro, presença eventual de bolhas na mangueira do manômetro ou ainda desnivelamento da linha lateral.

#### **4.1.3 - Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral**

A perda de carga na linha lateral foi estimada a partir da diferença de pressão entre os pontos 1 e 3, correspondentes ao primeiro e último gotejadores da linha; as perdas foram também calculadas a partir das equações teóricas, com a finalidade de se verificar a confiabilidade das perdas obtidas, sendo registradas, para todas as classes do gotejador I, na tabela 17, constante do Apêndice I.

Observou-se, por exemplo, para a classe 1, que a perda obtida pela diferença de pressão entre os pontos inicial e final da linha, variou de 11,0 mm a 14,0 mm, com exceção da perda correspondente a carga de 2,0 m, que foi igual a 40 mm. Para a carga de 5,0 m não foi observada nenhuma variação.

Nas classes 2 e 3, a perda de carga variou entre 2,0 mm a 9,0 mm, enquanto para a classe 4, a perda variou entre 2,0 mm e 7,0 mm. Observou-se, também, que para essas três classes, houve casos em que não foi possível observar-se nenhuma variação.

Para a classe 5, a perda de carga variou entre 1,0 mm e 24,0 mm, não sendo observada para a carga de 6,0 m, nenhuma variação. Para esta classe não foi calculada a perda de carga

pela diferença de pressão entre os pontos extremos, na carga 0,50 m, porque o manômetro utilizado não tinha sensibilidade para medir cargas abaixo de 1,0 metro de coluna de água. Para as cinco classes do gotejador tipo I, as perdas variaram de 0,2% a 5%, da pressão de serviço na linha lateral, mostrando que, de um modo geral, o sistema funcionou dentro dos critérios estabelecidos para as perdas de carga em sistemas de gotejamento. Observou-se que a maior variação de pressão ocorreu na classe 3, na carga de 1,0 m, sendo igual a 5%, ou seja, essas perdas não chegaram aos 10% da pressão de serviço admitidos no funcionamento das linhas laterais.

Para se efetuar o cálculo das perdas de carga lineares na linha lateral, fizeram-se duas considerações:

- 1º - A perda de carga foi calculada considerando-se a vazão "Q" uniforme ao longo da linha, sendo a perda corrigida com um fator F que dependia do número de saídas no tubo;
- 2º - A perda de carga foi também calculada considerando-se a variação da vazão ao longo da lateral.

No primeiro caso, a perda foi calculada pela fórmula de Darcy - Weisbach para perdas lineares, ou seja:

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.4)$$

onde:

$h_p$  = perda de carga linear, em metros

$f$  = coeficiente de atrito, função do regime de escoamento, adimensional

$L$  = comprimento da linha lateral, em metros

$D$  = diâmetro da tubulação, em metros

$V$  = velocidade média da água, em metros por segundo

$g$  = aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado

sendo então a perda de carga na linha igual a:

$$h_{pT} = F \cdot h_p \quad (4.5)$$

onde  $F$  é o fator de correção da perda, que é função do número de saídas na lateral (2, 4).



No segundo caso a perda foi também calculada através da equação de Darcy - Weisbach, sendo neste caso, a perda total igual a soma das perdas em cada trecho da linha, ou seja:

$$h_{pT} = \sum h_{pi} \quad (4.6)$$

onde  $h_{pi}$  = perda de carga linear em cada trecho da linha, em metros.

Para o cálculo do coeficiente de atrito,  $f$ , em ambos os casos, o regime de escoamento foi identificado através do número de Reynolds (Re), sendo:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (4.7)$$

onde:

Re = número de Reynolds

V = velocidade média da tubulação, em metros por segundo

D = diâmetro da tubulação, em metros

$\nu$  = viscosidade cinemática da água a uma dada temperatura, em metros quadrado por segundo.

Tomando-se como exemplo o gotejador tipo I, classe I, tem-se como dados gerais para o cálculo da perda de carga:

$D = 0,0127m$  (1/2") - diâmetro do tubo (lateral)

$g = 9,81m/s$  - aceleração da gravidade

$\nu = 864 \cdot 10^{-9} m^2/s$  - viscosidade cinemática da água à temperatura média de 26,2°C.

Considerando uma carga hidráulica de 2,0 m, por exemplo, temos (considerando o caso 1):

$$h_{pT} = F \cdot h_p$$

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

sendo  $F = 0,44$  - fator de correção para cinco saídas (2).

$Q_{TOTAL} = 1,07 \cdot 10^{-5} m^3/s$  - tabela 1, apendice I

então:  $h_p = 5,867 \cdot 10^{-3} m$

$$h_{pT} = 0,44 \cdot 5,867 \cdot 10^{-3} \text{ ou } \boxed{h_{pT} = 2,58 \cdot 10^{-3} m}$$

Considerando o caso 2, ou seja, a variação da vazão na linha:

$$h_{pT} = \varepsilon \cdot h_{pT}, \text{ sendo}$$

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.4)$$

$$\text{com } L = 1,0 \text{ m}$$

V = função da vazão no trecho

$$h_{pT} = h_{p1-2}; h_{p2-3}; h_{p3-4}; h_{p4-5}$$

Calculando-se as perdas nos trechos tem-se:

$$h_{p1-2} = 1,22 \cdot 10^{-3} m$$

$$h_{p2-3} = 9,48 \cdot 10^{-3} m$$

$$h_{p3-4} = 6,64 \cdot 10^{-4} m$$

$$h_{p4-5} = 3,44 \cdot 10^{-4} m$$

Sendo então a perda de carga total, na lateral, igual a:

$$h_{pT} = 3,18 \cdot 10^{-3} m$$

Observou-se que quando se considerou a variação da vazão na linha, a perda de carga foi maior do que para o caso da vazão uniforme e o fator F de correção. Para a carga de 2,0 m, a diferença entre as perdas calculadas nos casos 1 e 2, foi da ordem de 20%. O cálculo da perda de carga, nas demais cargas, foi desenvolvido através do mesmo procedimento, tendo a perda variado de 1,23 mm a 5,01 mm, no caso 1, ao passo que no caso 2, as perdas variaram de 1,46 mm até 6,26 mm (Tabela 17, apêndice I).

Nas demais classes, o comportamento da perda de carga foi semelhante, ou seja, a perda de carga foi sempre maior quando se considerou a variação da vazão na linha, conforme a Tabela 17, apêndice I.

Observou-se, então, que a perda calculada por trechos fornece valores maiores do que a perda calculada pelo fator F, de correção, aplicado a uma vazão uniforme. Dessa forma, para se ter uma segurança na vazão projetada, no caso de dimensionamentos, não é aconselhável usar esse fator de correção para o cálculo da perda, e sim, calcular a perda por trechos e aplicar um fator de segurança.

Por outro lado, pelo fato de que um pequeno erro de leitura no manômetro, acarretaria grandes diferenças nos valores da pressão em coluna de água, verifica-se que a carga calculada através das vazões medidas fornece resultados mais confiáveis e coerentes.

#### 4.1.4 - Coefficiente de Descarga

Pelas características dos gotejadores utilizados, observou-se que, apenas no caso do gotejador tipo I, se poderia calcular os coeficientes de descarga, uma vez que o mesmo apresenta um comportamento semelhante ao de um simples bocal.

Como a vazão no caso de orifícios e bocais é dada pela equação de Torricelli, tem-se então:

$$Q = Cd \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.8)$$

da qual se obtém que:

$$Cd = \frac{Q}{A \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \quad (4.9)$$

onde:

Cd = coeficiente de descarga, adimensional

A = área da seção transversal, em metros quadrados

h = carga hidráulica, em metros

Q = vazão na tubulação, em metros cúbicos por segundo

g = aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado

Para o cálculo do coeficiente de descarga do gotejador tipo I, foram consideradas as vazões médias, as cargas médias e o diâmetro médio de cada classe. Observou-se que o "Cd" apresentou para as classes 1 e 2, nas cargas menores, valores bastante variáveis, sendo a

partir da carga de 4,0 m, praticamente constante (Tabela 20, apêndice I). No entanto, os valores foram muito altos e não se enquadram no intervalo de valores práticos recomendados para o coeficiente de descarga em bocais (27).

Com relação as classes 3, 4 e 5, pode-se observar que os coeficientes apresentaram valores menores, sendo praticamente constantes a partir da carga de 3,0 m, apresentando valores entre 0,77 e 0,79 (Tabela 20, apêndice I).

O fato dos vidrilhos apresentarem o coeficiente de descarga muito variável e com valores altos, poderia ser atribuído às variações da carga hidráulica e dos diâmetros desses vidrilhos. Em primeiro lugar, com relação a carga hidráulica, observou-se que a pressão não sofreu grandes variações na linha, sendo que para o cálculo do Cd, poder-se-ia considerar a carga hidráulica praticamente constante.

Em segundo lugar, como a vazão varia diretamente com a área do gotejador, e ainda, a área varia com o quadrado do diâmetro, tem-se para uma carga h:

$$Q = Cd \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot h} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.10)$$

ou ainda,

$$Q = Cd \cdot d^2 \cdot K \quad (4.11)$$

sendo:

$$K = \frac{\pi}{4 \cdot h} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \text{constante}$$

Considerando-se, por exemplo, que o diâmetro de um dos gotejadores de uma determinada classe fosse 10% maior do que o diâmetro médio da mesma, haveria um acréscimo de cerca de 20% no valor da vazão (equação 4.11). Isto acarretaria, conseqüentemente, um acréscimo semelhante no valor do Cd, que neste caso não estaria sendo computado, ou seja, o valor do Cd, neste caso, não seria o valor real.

Por outro lado, se o diâmetro de um dos gotejadores fosse menor do que o diâmetro médio da classe, o valor calculado para o Cd, considerando-se o diâmetro médio, seria maior do que o seu valor real. Dessa forma, os coeficientes de descarga calculados com o diâmetro

médio, poderiam ter apresentado valores diferentes de seus valores reais, dependendo da variação dos diâmetros na classe.

Se ocorresse, por exemplo, que numa determinada classe, um dos cinco gotejadores tivesse um diâmetro pequeno e os outros quatro tivessem diâmetros maiores, o diâmetro médio não seria representativo, podendo ocorrer uma distorção nos valores do Cd. No caso da classe 1, poderia ter ocorrido esse fato por que se observou que, além de ser muito variável, o Cd apresentou valores muito altos (Tabela 20, apêndice I).

Observou-se, também, que para o cálculo do Cd considerou-se apenas a carga manométrica média em cada classe. Se fosse considerada a energia total, somando à pressão o valor da taquicarga, com certeza os valores do Cd cairiam para valores menores do que os calculados, sendo inclusive, menores do que a unidade.

## 4.2 - Gotejador Tipo II

### 4.2.1 - Relação Carga Hidráulica - Vazão

Para esse gotejador, foram observadas variações bastante acentuadas entre as vazões dos cinco gotejadores, numa mesma carga, como se pode observar pela Tabela 6, apêndice I. Observou-se, por exemplo, que as vazões no quarto gotejador, em todas as cargas, foram bem maiores do que as vazões dos demais gotejadores. Observou-se também que a variação da vazão não foi proporcional a variação da carga hidráulica, ou seja, houve casos em que a um aumento na carga correspondeu um decréscimo na vazão. Por esta razão houve a necessidade de se fazer constantes ajustes na abertura do gotejador, conforme foi mencionado no capítulo anterior, com a finalidade de se obter vazões mais uniformes. Mesmo assim, as vazões obtidas apresentaram valores totalmente dispersos.

As curvas características, curvas  $Q \times H$ , indicadas na figura 11, apêndice II, mostram a disparidade dos dados coletados, evidenciando o comportamento irregular desse gotejador. Nesse caso não foi possível adotar uma curva característica média, porque se poderia ter grandes desvios da média em relação as vazões dos gotejadores.

Observou-se, então, através dos dados coletados, que a utilização do gotejador tipo II implicaria na necessidade de um certo manuseio técnico desses gotejadores, como também demandaria mais tempo para a aplicação da água, aumentando, conseqüentemente, os custos de implantação dos sistemas.

#### **4.2.2 - Comportamento da Pressão**

Os dados de pressão coletados indicaram ter havido, à semelhança do gotejador tipo I, pequenas variações da pressão em relação às cargas indicativas. Observou-se que apenas na carga de 3,0 m, o ponto 3 apresentou uma variação na pressão de cerca de 7% em relação a carga (Tabela 14, apêndice I). O cálculo da energia total mostrou que apesar da grande variação da vazão, a taquicarga poderia ser desprezada, ficando a variação da energia total em função da pressão (Tabela 14, apêndice I).

Em algumas cargas não foi possível observar nenhuma variação, porque a pressão no último gotejador (ponto 3) foi maior que a pressão no primeiro (ponto 1), devido com certeza, aos mesmos fatores ocorridos nos ensaios com o gotejador tipo I, citados anteriormente.

#### **4.2.3 - Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral**

A avaliação da perda de carga foi feita da mesma forma utilizada para o gotejador tipo I, ou seja, através da diferença de pressão entre os pontos extremos da linha lateral, e calculados pelas equações teóricas disponíveis.

Observou-se que para as cargas de 2,0 m e 6,0 m, a perda de carga variou de 20 mm a 30 mm, apresentando, no entanto, na carga de 3,0 m, um valor bastante alto, como mostra a Tabela 18, apêndice I. Para as cargas de 1,0 m, 4,0 m e 5,0 m, não foi possível observar nenhuma variação.

Para as perdas calculadas, observou-se que a perda de carga foi maior quando se considerou a vazão uniforme e o fator F de correção, sendo, no entanto, em ambos os

casos, a perda calculada pelas equações bem menor do que a diferença de pressão entre os pontos inicial e final da linha.

A disparidade apresentada nos valores da perda de carga dada pela diferença de pressão entre os extremos da lateral, deve-se aos mesmos fatores já citados anteriormente para os vidrilhos, sendo por isso, mais confiáveis, as perdas calculadas com as vazões obtidas.

### **4.3 - Gotejador Tipo III**

#### **4.3.1 - Relação Carga Hidráulica - Vazão**

O gotejador tipo III apresentou um funcionamento bastante regular e vazões fixas, na faixa de 1,2 l/h a 3,3 l/h, para as cargas hidráulicas de 1,0 m a 6,0 metros de coluna de água (Tabela 7, apêndice I). Observou-se que o comportamento da vazão para o gotejador Dangotas, quando trabalhando sob pequenas cargas, foi semelhante ao seu comportamento quando trabalhando sob cargas altas. Devido a esse fato, para o traçado da curva  $Q \times H$ , resultaram apenas duas curvas individuais, sendo uma para o gotejador 1, e outra para o gotejador 3, conforme a figura 12, apêndice II.

Para esse gotejador, a curva característica média ou curva  $\bar{Q} \times \bar{H}$ , mostrada na figura 13, apêndice II, é altamente representativa, devido as mínimas diferenças apresentadas nas vazões. Para o dimensionamento de sistemas utilizando quaisquer cargas, poder-se-ia usar a curva característica média linearizada, mostrada na figura 14, apêndice II, sabendo-se que as variações serão mínimas.

#### **4.3.2 - Comportamento da Pressão**

A variação da pressão na linha lateral, a exemplo dos gotejadores tipos I e II, também foi pequena. Observou-se que nas cargas de 1,0 m, 2,0 m e 3,0 m, a pressão variou em cerca de 0,5% a 2%, em relação as cargas hidráulicas utilizadas. Entretanto, nas demais cargas, não foi possível observar-se quase nenhuma variação (Tabela 15, apêndice I).

Com relação a energia total, o comportamento foi semelhante ao dos gotejadores tipos I e II, isto é, a energia total foi praticamente igual a pressão, observando-se que tanto a taquicarga, quanto a carga de posição, poderiam ser desprezadas.

#### **4.3.3 - Comportamento da Perda de Carga na Linha Lateral**

A perda de carga na linha lateral também foi estimada utilizando-se o mesmo tipo de análise já citado anteriormente para os gotejadores tipos I e II.

Observou-se que a diferença de pressão entre os pontos inicial e final da linha foi praticamente constante e igual a 10 mm, à exceção da carga de 1,0 m, onde não foi possível observar nenhuma variação ( Tabela 18, apêndice I).

Com relação às perdas calculadas pelas equações teóricas, verificou-se que a perda calculada por trecho, no caso da variação da vazão na linha, foi maior do que a perda calculada quando se considerou a vazão uniforme e o fator F de correção.

#### **4.4 - Considerações Finais**

No gotejamento convencional as vazões mais comumente utilizadas variam numa faixa de 2,0 l/h a 8,0 l/h, com os sistemas trabalhando sob cargas altas, ou seja, acima de 10 metros de coluna de água. Portanto, a utilização dos vidrilhos na irrigação poderia ser vantajosa, porque mesmo trabalhando com cargas pequenas, os vidrilhos apresentaram vazões compatíveis com as normalmente utilizadas no gotejo convencional. Dessa forma, pode-se constatar pelos dados, que os vidrilhos poderiam fornecer essas vazões trabalhando com cargas de apenas 1,0 m a 6, m de coluna de água.

Por outro lado, mesmo que a vazão dos vidrilhos tenha sido, em algumas classes, superior aos 8,0 l/h, ainda assim poderiam ser facilmente utilizados porque, nestes casos, se poderia proceder as irrigações, reduzindo o tempo de aplicação, o que implicaria, conseqüentemente, numa redução dos custos de operação do sistema.



Observou-se também, com relação aos vidrilhos, que a variação da vazão na linha foi pequena, à exceção de alguns casos isolados onde a vazão variou significativamente entre os gotejadores. No entanto, de um modo geral, poderia se considerar para efeitos de utilização no campo, que essas vazões foram até certo ponto uniformes.

Analisando-se o comportamento da vazão no gotejador tipo II (Cipla), observou-se que além de ser extremamente variável houve casos em que essa diferença chegou aos 20 l/h entre gotejadores, numa mesma carga. Além do mais, no gotejador tipo II, essas vazões apresentaram valores muito grandes, estando fora do intervalo de vazões geralmente utilizados no gotejo.

O gotejador tipo III, pelas suas próprias características, ou seja, gotejador de vazão uniforme, seria o mais adequado. Entretanto, apesar de apresentar uma vazão constante, quando trabalhando com cargas pequenas, o gotejador tipo III apresentou vazões bastante reduzidas, além de ser relativamente caro, por isso não seria aconselhável a sua utilização nesse tipo de sistemas.

De um modo geral, no que diz respeito ao comportamento das vazões, pôde-se constatar que os vidrilhos poderiam ser largamente utilizados no gotejamento a cargas pequenas, tendo em vista os resultados obtidos, como também a sua extrema simplicidade no manuseio e instalação.

Com relação ao comportamento da pressão na linha lateral, observou-se para os três tipos de gotejadores um comportamento semelhante, ou seja, pequena variação da pressão na linha. Além do mais, se observou também que, para algumas cargas, a pressão não apresentou variação entre o ponto inicial e final da linha. Esse tipo de comportamento, como foi mencionado anteriormente, poderia ser atribuído ao tipo de instrumento utilizado na medição de pressão, independentemente do tipo de gotejador utilizado. Senão, vejamos, mesmo no caso do gotejador tipo II, onde houve casos de grandes vazões, o cálculo da energia total mostrou que se poderia desprezar a taquicarga, sendo a energia total igual a carga de pressão. De qualquer modo, para os três tipos de gotejadores, a pressão apresentou variações em relação as cargas indicativas compatíveis com os critérios utilizados no gotejamento convencional.

Pelo fato de que o efeito dessas bolhas se faria notar na intensidade das vazões, esse ensaio foi desenvolvido com o gotejador tipo III, uma vez que o mesmo apresentou as menores vazões. Nesse caso, a influência das bolhas sobre a vazão poderia ser marcante e facilmente notada. Por outro lado, devido a sistemática dos ensaios, tornar-se-ia mais fácil a utilização desse gotejador. Além do mais, a própria constituição do gotejador tipo III permitia a instalação das bolhas de ar na linha, tendo em vista que esse gotejador é inserido na própria tubulação.

O ensaio foi desenvolvido segundo o mesmo procedimento dos ensaios anteriores, sendo dividido em duas etapas, ou seja, procediam-se as medições com a tubulação sem bolhas, e na segunda etapa, as medições eram efetuadas com a tubulação contendo as bolhas de ar.

Observou-se então, pelos dados coletados, que a vazão variou entre 1,28 l/h e 3,3 l/h, nas cargas de 1,0 m a 6,0 m, quando se considerou a tubulação sem bolhas de ar, enquanto que, com a presença das bolhas, a vazão apresentou uma variação de 1,26 l/h até 3,29 l/h, para as mesmas cargas, conforme a Tabela 8, apêndice I. Observou-se, então, que a variação da vazão, devido as bolhas, poderia ser expressa através de uma relação R, entre as vazões, na tubulação com bolhas e sem bolhas, para a mesma carga, ou seja:

$$R_s = \left( \frac{\bar{Q}_2 - \bar{Q}_1}{Q_2} \right) \cdot 100$$

onde:

$R_s$  = relação entre as vazões em percentagem

$Q_1$  = vazão média na tubulação com bolhas, para uma carga hidráulica dada

$Q_2$  = vazão média na tubulação sem bolhas para a mesma carga hidráulica considerada acima.

Tem-se, então, para a carga de 1,0 m, por exemplo, que a relação R, seria:

$$R_1 = \frac{(1,30 - 1,26)}{1,30} \cdot 100 = 30\%$$

Para a carga de 2,0 m, a relação ao R, seria:

$$R_2 = \frac{(1,87 - 1,85)}{1,87} \cdot 100 = 1,1\%$$

Observando-se que as relações variaram de 0,3% a 3%, nas diversas cargas, o que mostra que as pequenas diferenças entre as vazões poderiam ser desprezadas.

Verificou-se que no caso da medição sem bolhas de ar, a vazão do quinto gotejador foi, em geral, maior do que a do primeiro, sendo que no caso da medição com bolhas, a situação se repetiu, conforme indica a Tabela 8, apêndice I.

Para verificar se o próprio gotejador, ou a posição dele, tinha uma maior influência na variação da vazão foi realizado um ensaio especial, onde foram trocados entre si, o primeiro e o último gotejadores. No entanto, observou-se que o fenômeno se repetiu, concluindo-se, então, que a diferença se devia a posição do gotejador, talvez, repetindo-se aqui, o efeito da transformação da taquicarga, já citado anteriormente.

Pelo fato de que tanto na medição sem bolhas, quanto na medição com bolhas, as vazões dos gotejadores praticamente não variaram entre si, foram traçadas as curvas características médias para ambos os casos, conforme mostra a figura 15, apêndice II, observando-se pelo comportamento das curvas a estreita semelhança das vazões nos dois casos.

Para um melhor acompanhamento do comportamento dessas bolhas de ar, mediram-se o tamanho e a profundidade das mesmas, observando-se que à medida que a carga aumentava, diminuíam o tamanho e a quantidade das bolhas, verificando-se também o processo inverso (Tabela 8, apêndice I).

No que diz respeito ao comportamento da pressão, observou-se que no caso da tubulação sem bolhas, a pressão apresentou um comportamento semelhante ao dos outros ensaios anteriores, apresentando em relação as cargas indicativas, pequenas variações de cerca de 1%. Para a energia total, também determinada como nos outros casos anteriores, o comportamento foi idêntico ao dos outros gotejadores, como mostra a Tabela 16, (Apêndice I).

Para o caso da tubulação com bolhas, observou-se que as variações da pressão e energia total, em relação as cargas indicativas, foram mais acentuadas, notadamente nas cargas menores (Tabela 16, apêndice I).

Para o caso das perdas de carga aqui tratadas à semelhança das anteriores, para as tubulações com e sem bolhas, foram acrescentadas, apenas no caso da tubulação com bolhas, as perdas singulares devidas a essas bolhas. Observou-se que no caso da diferença

de energia entre os pontos inicial e final, em ambos os casos, a perda não chegou aos 10% da pressão de serviço, exceto, em alguns casos isolados, na tubulação com bolhas (Tabela 19, apêndice I).

No caso das perdas de carga calculadas, observou-se que no caso da tubulação sem bolhas de ar, as perdas foram maiores quando se considerou a vazão uniforme e os fatores F de correção (Tabela 19, apêndice I). Para a tubulação com bolhas de ar, foram acrescentadas às perdas lineares, as perdas singulares devidas as bolhas de ar. Essas perdas singulares foram tratadas como uma expansão brusca, pelo fato de que num ponto da tubulação, imediatamente após uma bolha de ar, verificava-se uma mudança de diâmetro, ocasionando então uma perda localizada. Essa perda era função do tamanho (comprimento e profundidade) das bolhas de ar.

O cálculo das perdas singulares foi, então, feito utilizando-se a fórmula de perda de carga por expansão brusca, ou seja:

$$h_{ps} = \left( \frac{(V_1 - V)^2}{2g} \right) \quad (4.13)$$

Onde:

$h_{ps}$  = perda por expansão brusca devido as bolhas de ar, em metros

$V_1$  = velocidade do fluxo, para o diâmetro menor (no ponto onde se localizava a bolha), em metros por segundo

$V$  = velocidade do fluxo na tubulação, em metros por segundo

$g$  = aceleração da gravidade em metros por segundo ao quadrado.

Observou-se então que as perdas de carga na tubulação com bolhas foram maiores quando se considerou a vazão uniforme e o fator F de correção; Com relação as perdas na tubulação com bolhas e sem bolhas, observou-se que no caso da tubulação contendo bolhas, a perda de carga foi acima de 50% maior, naturalmente devido ao efeito das bolhas de ar.

De um modo geral, pôde-se observar que, as vazões, quando a tubulação continha ou não bolhas, diferiam muito pouco em valor absoluto, mas, no caso das cargas menores, onde havia o aparecimento de um maior número de bolhas de ar, geralmente de maior tamanho, essas vazões chegaram a apresentar, para uma mesma carga, diferenças de até 5%, como se

vê na tabela 8, apêndice I). No entanto, para aplicações práticas isso não seria significativo, uma vez que segundo critérios de dimensionamento do gotejo, admite-se variações de até 20% nos valores das vazões na linha lateral.

Por outro lado, com os resultados obtidos verifica-se que a influência dessas bolhas seria maior no caso de se trabalhar com cargas menores, sendo que para cargas acima de 3,0 m, esses efeitos poderiam ser desprezados.

## CAPÍTULO V

### PROJETO DE UM SISTEMA DE GOTEJAMENTO SOB PEQUENAS CARGAS UTILIZANDO GOTEJADORES NAO CONVENCIONAIS

#### 5.1 - Considerações Gerais

Com o objetivo de verificar a viabilidade do uso de um sistema de gotejamento, trabalhando sob pequenas cargas, para sua utilização em pequenas propriedades, foi desenvolvido um projeto abrangendo uma área de 1,0 hectare.

A cultura escolhida foi o milho, bastante utilizada na região como cultura de subsistência, uma vez que o trabalho visa os pequenos agricultores.

Segundo pesquisas do DNOCS (28), a produção média do milho não irrigado, na região Nordeste, é de 800 Kg/ha, o que é uma das produções mais baixas do mundo. Lima e Carvalho (29), sugerem um plantio consorciado de milho e feijão não irrigados para obter certa garantia de produção. Utilizando diversos tratamentos (espaçamentos diferentes) e uma adubação de até 6800 Kg/ha, contra 4600 Kg/ha, sem adubação, rendimentos esses obtidos em parcelas experimentais altamente controladas.

No Nordeste da Bahia, num sistema de consórcio de milho e feijão com adubação controlada foi obtida, segundo a EMBRAPA (30), uma produção média de 1020 Kg/ha, para o milho. Segundo Silva (23), utilizando a irrigação por cápsulas porosas obteve-se uma produção de 6.150 Kg/ha, para o milho, na região de Petrolina - Pe.

#### 5.2 - Perda de Carga por Atrito nas Tubulações

Para que se obtenha uma irrigação uniforme, é necessário que todos os gotejadores tenham a mesma vazão, por isso torna-se indispensável analisar as perdas de carga lineares nas tubulações que formam o sistema (1, 2, 3, 4, 20, 21).

Como conseqüência da variação da pressão ao longo da lateral, há um decréscimo na vazão dos últimos gotejadores da linha. Entretanto, se a variação não for tão grande, pode-se considerar, para simplificação dos cálculos, que a vazão de cada gotejador é igual a vazão média das gotejadores (2), isto é,  $q_1 = q_2 = \dots = q_n = \bar{q}$ , onde:  $\bar{q}$  é a vazão média de todos Os gotejadores e,  $\bar{q} = Q_n/n$ , sendo  $Q_n$  a vazão total na lateral,  $n$  o número de gotejadores na lateral e  $q_1, q_2, \dots, q_n$  as vazões para o 1º, 2º, ..., e último gotejadores respectivamente.

Para avaliar as perdas de carga por atrito nas tubulações utilizam-se as fórmulas empíricas disponíveis, sendo em geral mais utilizada a fórmula de Darcy - Weisbach (1, 2, 3, 4, 20, 21), ou seja:

$$h_f = f \cdot (L/D) \cdot (V^2 / 2g)$$

onde,  $h_f$  = perda de carga por atrito, em metros

$f$  = coeficiente de atrito que depende da viscosidade do fluido e da rugosidade das paredes do tubo, adimensional

$L$  = comprimento do tubo, em metros

$D$  = diâmetro interno do tubo, em metros

$V$  = Velocidade do fluxo, em metros por segundo

$g$  = aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado

Para o caso das linhas laterais, deve-se considerar que a vazão é variável e decrescente, devido ao fato de que a água é descarregada gradualmente pelos gotejadores. Christiansen (2, 3, 4, 20) sugere, para as perdas por atrito nas laterais, que as mesmas sejam calculadas pelas fórmulas existentes e depois corrigidas por um fator "F" que depende do número de saídas na linha. O fator "F" foi desenvolvido a partir da equação abaixo:

$$F = (1/m - 1) + [(m - 1)^{1/2} / 6N^2] + 1/2N$$

onde,  $m$  = expoente de velocidade do fluxo

$N$  = número de saídas do tubo

O fator F pode ser considerado como um fator de correção para as perdas em um tubo com uma vazão Q e com saídas uniformes ao longo do seu comprimento, através dos

gotejadores (2, 3, 4, 20). Os valores de F podem ser determinados para qualquer número de gotejadores desejado, sendo fornecidos através da Tabela 21 (Apêndice I).

No caso das tubulações de distribuição e principal, o cálculo das perdas por atrito é feito de maneira análoga, sendo muito utilizadas as fórmulas de Darcy e Williams (2, 3, 4). O cálculo das perdas por atrito, tanto para as laterais como para as linhas de distribuição e principal, pode ser feito também através de nomogramas ou ábacos, porque em alguns casos, o cálculo pelas fórmulas torna-se impraticável (2, 3, 4).

### 5.3 - Perdas de Cargas Localizadas

As perdas localizadas ou singulares ocorrem nas peças especiais ou acessórios de uma tubulação, tais como mudanças de seção, adaptações, reduções, válvulas, registros, etc. Também nas laterais devem ser consideradas as perdas nas saídas devido ao tipo de gotejador usado, e a forma como ele é inserido na tubulação.

Para o cálculo, o método mais comumente usado é o da equação geral, ou seja:

$$hp_s = K \cdot (V^2 / 2g)$$

onde,  $hp_s$  = perda localizada, em metros

K = coeficiente que depende do tipo da peça, adimensional

V = velocidade do fluxo, em metros por segundo

g = aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado

No caso das laterais com gotejadores, costuma-se considerar a perda localizada entre o gotejador e o adjacente, como uma perda por expansão brusca (1), através da equação:

$$hp_s = (V_1 - V_2)^2 / 2g$$

onde,  $V_1$  = velocidade na seção menor, em metros por segundo

$V_2$  = velocidade do fluxo no tubo, em metros por segundo

g = aceleração da gravidade, em metros por segundo quadrado



#### **5.4 - Considerações para o Projeto das Linhas Principais e Laterais nos Sistemas de Gotejo a Baixas Pressões**

As linhas laterais são projetadas e dimensionadas para distribuir, o mais uniformemente possível, a água nas parcelas (2, 4, 6, 7, 10, 11). A linha secundária ou de distribuição funciona como elemento de contato e controle entre a principal e a lateral, ajustando a pressão na entrada de cada lateral. A linha principal é o veículo de ligação da fonte de abastecimento para o sistema. O projeto da linha principal se baseia nas condições topográficas do terreno, pressão de operação do sistema, distribuição das linhas secundárias e laterais e ainda da vazão requerida pelo sistema (7, 10).

O projeto das laterais engloba o desenvolvimento da irrigação, com uma dada uniformidade e através das características do sistema (7, 11). Entretanto, nas laterais, o maior problema é manter a uniformidade e a frequência na irrigação.

#### **5.5 - Desenvolvimento do Projeto**

Para o nosso exemplo considerou-se uma área de um hectare, pelo fato de que o objetivo da trabalho é desenvolver sistemas de gotejamento a pequenas cargas, a nível de pequenas propriedades.

A densidade geralmente utilizada para o milho é de 40.000 a 80.000 plantas por hectare (28). No entanto, Silva (23) trabalhando com o milho na região de Petrolina - Pe, utilizando o método das cápsulas porosas, sugere uma densidade de 7 a 10 plantas por cápsula, o que dá em média 50.000 plantas por hectare. Neste exemplo se utilizou uma densidade de 10 plantas para cada gotejador, perfazendo um total de 50.000 plantas por hectare. As plantas seriam dispostas ao redor de cada gotejador, sendo que o espaçamento utilizado entre os gotejadores foi de 1,0 metro, e entre as laterais, de 2,0 metros.

Segundo dados de Silva (22), usando uma densidade de 7 plantas por cápsulas e considerando que cada cápsula libera 5,40 l/dia, houve a necessidade de se utilizar cerca de 3.000 m<sup>3</sup>/ha de água para todo o ciclo do milho, obtendo-se uma produção em torno de 6.150 Kg/ha, o que daria um gasto médio diário de 40,5 m<sup>3</sup> de água por hectare, para um ciclo de 74 dias.

### 5.5.1 - Cálculo do Consumo de Água

A área considerada no exemplo tem uma topografia regular, declividade nula e está submetida as mesmas condições de solo, clima e cultura utilizados por Silva (23). O solo da área é um latossolo 37AB, e o clima é quente e árido.

O consumo de água foi calculado pelo processo do fator de molhamento utilizado no gotejo, determinando-se a lâmina líquida através da equação abaixo:

$$h_L = [(CC - PMP)/10] \cdot P_e \cdot d_a \cdot y \cdot P$$

onde,  $h_L$  = lâmina líquida, em milímetros

CC = capacidade de campo, em % de peso

PMP = ponto de murcha permanente, em % de peso

$P_e$  = profundidade efetiva do solo, em centímetros

$d_a$  = densidade aparente do solo em  $g/cm^3$

$y$  = porcentagem da água disponível no solo

$P$  = porcentagem da área molhada em relação a área total irrigada

Segundo Choudhury e outros (24), para o latossolo 37AB, utilizado, tem-se:

$$CC = 11,62\%$$

$$PMP = 5,25\%$$

$$d_a = 1,61 g/cm^3$$

$$P_e = 60,0 \text{ cm}$$

$$Y = 30 \%, \text{ na cultura do milho}$$

O valor de  $P$  pode ser estimado, segundo NIR citado por Ollita (4), através da fórmula:

$$P = 1,2 \text{ a } 1,3 (E_g / E_L) \times 100$$

sendo,  $E_g$  = espaçamento entre os gotejadores

$E_L$  = espaçamento entre as laterais

como se trata de regiões áridas e quentes, o valor de "P" deve ser inferior a 33 % (20), por isso tem-se que:

$$P = 1,3 \cdot (1,0 \cdot 2,0) \cdot 100 = 65\%$$

De posse dos dados obtém-se:

$$h_L = [(11,62 - 5,25)/10] \cdot 60 \cdot 1,61 \cdot 0,3 \cdot 0,65 \cong 12 \text{ mm}$$

como, segundo Choudhury e outros (25), a evapotranspiração diária do milho num solo 37AB é em média, 4,44 mm/dia, tem-se que turno de rega necessário é de:

$$T_r = 12/4,44 \cong 3 \text{ dias}$$

Como a lâmina de 12 mm corresponde a um volume de 120 m<sup>3</sup>/ha (5), a ser aplicado de 3 em 3 dias, pode-se concluir que para uma irrigação diária, pelo método do gotejo, é necessário aplicar-se um volume médio de 40 m<sup>3</sup>/ha, verificando-se que este valor concorda com o valor de 40,5 m<sup>3</sup>/ha, determinado por Silva (23).

Para aplicar este volume de água diariamente poderia se utilizar, apenas, um reservatório central, no entanto, seria necessário um grande reservatório, como também um sistema de bombeamento, o que encareceria o sistema. Além disso, haveria a necessidade de se utilizar tubulações mais extensas para cobrir toda a área.

Visando baratear os custos e alcançar ótimos resultados, dividiu-se a área em quatro pequenas áreas, tendo cada uma 50 m x 50 m, sendo cada uma delas, abastecida por um pequeno reservatório. Dessa forma, além de diminuir os custos de implantação, se promovia uma melhor uniformidade na distribuição porque colocando uma pequena caixa no centro de cada pequena área, se necessitaria de tubulações menos extensas, o que implicaria conseqüentemente, em menores perdas de carga e maior eficiência de aplicação. Para facilidade de construção usou-se 4 caixas de água de 2000 litros cada, colocada no centro dessas pequenas áreas, conforme mostra a figura 16, apêndice II. Considerando que a área foi dividida em 4 partes e sendo necessário fornecer 40 m<sup>3</sup>/ha/dia tem-se que cada parte deve receber diariamente 10 m<sup>3</sup>. Como as 4 partes são iguais, o dimensionamento do projeto pode ser feito apenas para uma dessas partes, servindo, o mesmo, para as outras partes.

Para fornecer em cada uma das quatro partes, os 10 m<sup>3</sup> de água, dispondo apenas de uma caixa de 2 m<sup>3</sup>, é necessário que a irrigação seja feita de uma forma intermitente, ou seja, cada caixa deve ser enchida 5 vezes durante o dia, efetuando-se a irrigação por faixas da cultura.

De posse dos dados obtidos nos ensaios, verificou-se que dentre os gotejadores não convencionais, vidrilhos, o que apresentou as menores vazões foi o gotejador da classe 1. Assim, pelos dados disponíveis, a carga de 2,0 metros foi utilizada nos cálculos a seguir, sendo a vazão média para essa carga, na classe 1, de cerca de 7,7 l/h.

### **5.5.2 - Dimensionamento do Sistema**

Um sistema de gotejo dimensionado para irrigar, simultaneamente, as quatro pequenas áreas, se torna oneroso devido a grande quantidade de material exigida, por isso o sistema foi dimensionado para funcionar alternadamente, visando o barateamento dos custos e sem prejuízo de seu funcionamento.

O sistema seria então constituído de duas partes, sendo uma fixa e outra móvel. Cada pequena área teria como parte fixa uma caixa d'água de 2000 litros e uma linha principal com 25 metros de comprimento, perfazendo um total de 4 caixas de água e 100 metros de tubulação principal, nas 4 áreas.

A parte móvel do sistema seria constituída da linha de derivação composta de 10 segmentos de 9,0 metros cada e funcionando 5 segmentos em cada pequena área, das laterais em número de 100 e dos gotejadores. Cada lateral tem 25 m de comprimento, e em cada pequena área, funcionariam 50 laterais. Os gotejadores eram em número de 2500, com 1250 unidades em cada grupo de 50 laterais.

Os materiais utilizados nas tubulações foram o plástico transparente flexível para a linha principal, o PVC rígido para a linha de derivação e o polietileno flexível para a linha lateral. As caixas d'água seriam construídas de alvenaria. O sistema funcionaria alternadamente, sendo a irrigação feita por partes. A cultura seria irrigada, em cada pequena área, por faixas, utilizando grupos de 10 laterais em cada faixa, num total de 05 faixas em cada área de 50 m x 50 m. Para irrigar cada pequena área a caixa seria enchida 5 vezes, irrigando de cada vez uma faixa de terreno, num intervalo de tempo de 1 hora para cada faixa.

Em seguida, a parte móvel do sistema seria transportada para outra pequena área, recomeçando então, todo o processo da irrigação. O sistema foi dimensionado para as

pequenas áreas serem irrigadas duas a duas, o que é possível devido a mão - de - obra disponível e relativamente barata da região. O tempo gasto para irrigar duas pequenas áreas é o mesmo, razão porque o tempo gasto na irrigação do toda a área é de cerca 20 horas, incluindo o tempo médio de 1/2 hora, para encher cada caixa.

Como a vazão do gotejador é de 7,7 l/h um grupo de 10 laterais, pode fornecer uma vazão de:

$$10 \cdot 25 \cdot 7,7 = 1.925 \text{ l/h}$$

Como as caixas têm uma capacidade de 2000 l, significa que, como foi dito anteriormente, em pouco mais de 1 hora, cada grupo desse irriga uma faixa de terreno, esvaziando a caixa. Reabastecida a caixa, nova faixa de terreno é irrigada e assim sucessivamente, até que a irrigação de uma dessas pequenas áreas é completada. Esse processo é repetido para as quatro pequenas áreas, sendo que o sistema tem capacidade de irrigar duas áreas de cada vez, podendo ser efetuada a irrigação em duas áreas no período da manhã e em duas outras pela tarde completando assim as 20 horas de funcionamento diário.

A caixa d'água trabalha com o nível variável, uma vez que, mesmo que o nível da água baixe para 1,5 m (valor mínimo possível), o abastecimento das laterais estará garantido. O comportamento da vazão em relação a pressão desses gotejadores, pode ser analisado através da curva  $\bar{Q} \times \bar{H}$ , linearizada (Figura 09, apêndice II) do gotejador tipo I - classe 1.

A curva mostra que para  $H = 1,5$  m, a vazão média dos gotejadores é de  $\bar{q} = 6,8$  l/h, o que garante pelo menos, para todos os gotejadores, o fornecimento de 34 m<sup>3</sup>/hora para 1,0 ha, quantidade diária suficiente para a irrigação desejada.

A irrigação será feita diariamente, à exceção dos dias chuvosos, onde dependendo da intensidade da chuva, ela poderá não ser necessária ou ser complementar.

### 5.5.3 - Dimensionamento das Tubulações

#### a) Linha Principal

Embora nos ensaios tenha se verificado que em um sistema com esse tipo de gotejador, trabalhando à nível, as perdas de carga apresentaram valores aceitáveis, mesmo

quando a tubulação trabalhava sob a influência de bolhas de ar, é necessário que este cálculo seja efetuado para um correto dimensionamento da linha lateral. Para este dimensionamento, os dados a considerar são:

comprimento da lateral = 25,0 m  
 espaçamento dos gotejadores = 1,0 m  
 número de gotejadores =  $25/1 = 25$  gotejadores  
 vazão média na lateral =  $25 \cdot 7,7 = 192,5$  l/h  
 vazão média do gotejador =  $\bar{q} = 7,7$  l/h  
 declividade - à nível  
 pressão de serviço = 2,0 m  
 perda de carga admissível no sistema = 20% da pressão de serviço = 0,40 m  
 perda de carga admissível na lateral = 55% da perda total admissível =  
 $0,55 \cdot 0,4 = 0,22$  m  
 valor de "F" (Tabela 2.1) para 25 saídas = 0,371

Segundo Ollita (4), utilizando-se o ábaco da figura 19, para tubulação de polietileno, encontram-se, para vários diâmetros, os seguintes valores de perda de carga.

$\phi$ mm	J m/100 m	$\Delta H$ (m)
15	0,8	0,07
12	3,4	0,31
10	8,0	0,74

sendo,  $\Delta H = FJL/100$

Pelos cálculos da tabela acima, verificou-se que o diâmetro indicado é de 15 mm ou 1/2", o qual proporciona perda de carga menor que a admissível.

Segundo Ollita (4), a pressão na entrada da linha lateral seria:  $2,0 - 0,07 \cdot 0,07 = 1,95$  m

e no último gotejador, seria:  $2,0 - 0,23 \cdot 0,07 = 1,98$  m

## b) Linha de Derivação

A linha de derivação era em PVC rígido, pela facilidade de acoplamento das laterais, sendo que, pelo funcionamento do sistema, teremos 5 linhas de derivação em cada área, cada uma correspondendo a um grupo de 10 laterais. Os dados a considerar são os seguintes:

comprimento da linha de derivação = 9,0 m

espaçamento das laterais = 2,0 m

número de laterais = 10

vazão por lateral = 0,053 l/s

vazão na linha de derivação = 0,53 l/s

declividade "F" (Tabela 2.1) para 10 saídas = 0,402

perda de carga admissível = 0,40 - 0,07 = 0,33 m

Como não é possível, devido a pequena vazão, requerida utilizar um ábaco para PVC rígido (4), a perda de carga será calculada utilizando-se a fórmula de Hazen - Williams com  $C = 145$ , para condutos de PVC rígidos.

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (5.7)$$

Tem-se que  $J = H/L = 0,33/9,0 \therefore J = 0,037 \text{ m/m}$ . Substituindo - se os valores na equação obtém-se:

$$0,53 \cdot 10^{-3} = 0,2785 \cdot 145 \cdot D^{2,63} \cdot (0,037)^{0,54} \therefore$$

$$D = 27 \text{ mm}$$

Como o diâmetro  $D = 27 \text{ mm}$  não é disponível no mercado, usa-se o diâmetro comercial disponível mais próximo, que no caso é o de 38 mm ou 1 1/2", cuja perda de carga é  $\Delta H = 0,07 \text{ m}$ , valor que está dentro do limite admissível.

Na linha de derivação a pressão será então:  $2,05 + 0,07 = 2,12 \text{ m}$

## c) Linha Mestra

Como a caixa d'água foi dimensionada para alimentar um grupo de 10 laterais de cada vez, a vazão na linha mestra é a mesma da linha de distribuição. Para a linha mestra o material escolhido foi o plástico transparente flexível devido ao seu baixo custo, como também devido ao fato de que a linha sai diretamente da caixa e é acoplada em uma linha de distribuição, sendo então a mangueira de plástico perfeitamente adaptável.

Como a vazão é a mesma, admite-se o mesmo diâmetro da linha de derivação, 38 mm. Como se trata de mangueira plástica flexível, o cálculo da perda pode ser feito pela equação de Darcy, considerando o coeficiente de atrito  $f$  para tubos lisos, e calculando-o pela fórmula de Blasius. Ainda por se tratar de plástico flexível, a perda de carga deve ser corrigida em 5% devido às possíveis curvas que a mangueira pode apresentar.

O dimensionamento da linha mestra deve levar em consideração as perdas de carga e o valor da velocidade do fluxo, que deve estar dentro dos limites admissíveis para canalizações de distribuição de água.

Para uma vazão  $Q = 0,53$  l/s, a velocidade será:

$$V = Q/A = 0,53 \cdot 10^{-3} / \pi \cdot (0,038)^2 \div 4 = 0,47 \text{ m/s}$$

A velocidade  $V = 0,47$  m/s está dentro dos valores admissíveis para canalizações de distribuição de água (25).

Para a linha mestra temos:

- comprimento = 25 m

- vazão = 0,53 l/s

- declividade - à nível



Pela equação de Darcy, a perda de carga é dada por:

$$\Delta H = f \cdot (F/L) \cdot (V^2/2 \cdot g) \quad (5.1)$$

O valor de  $f$  pela fórmula de Blasius é:

$$f = 0,316/N_R^{1/4}$$

sendo,  $N_R$  = número de Reynolds.

O número de Reynolds, considerando a temperatura da água em torno de 25°C, tendo a viscosidade da água, o valor de  $\nu_{25^\circ C} = 0,898 \cdot 10^{-6} m^2/s$ , será igual a:

$$N_R = (V \cdot d)/\nu = (0,47 \cdot 0,038)/0,898 \cdot 10^{-6} = 19.888$$

o valor de  $N_R$  acima calculado, implica num regime turbulento e, o valor de  $f$  será então:

$$f = 0,316/(19.888)^{1/4} = 0,027$$

tendo a perda de carga, o seguinte valor:

$$\Delta H = 0,027 \cdot (25/0,038) \cdot (0,47^2/2 \cdot 9,81) = 0,19m$$

a perda de carga corrigida será então:

$$\Delta H = 0,19 + 5\%(0,19) \cong 0,20m$$

## 5.5.4 - Orçamento

ESPECIE	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
			Cr\$	Cr\$
1. Caixa d'água em Alvenaria (2×2×0,5m)	Unid.	4	5.000,00	20.000,00
2. Tabulação principal em plástico transparente ( $\phi = 1\frac{1}{2}$ " )	m	100	140,00	14.000,00
3. Tubulação de Distribuição em PVC rígido ( $\phi = 1\frac{1}{2}$ " )	m	90	200,00	18.000,00
4. Tubulação lateral em Polietileno ( $\phi = 3/4$ " )	m	2500	35,00	87.500,00
5. Gotejador tipo I - classe I $0,63mm \leq \phi \leq 0,76mm$	Kg	1	3.000,00	3.000,00
6. Acessórios	Unid.	120	300,00	3.600,00
SUB - TOTAL				146.100,00
TOTAL				146.100,00

Observação: Os preços foram tomados no mercado local em principio de dezembro de 1980

## 5.6 - Discussão do Projeto

O projeto desenvolvido para 1 ha na cultura do milho mostra, de certa forma, resultados satisfatórios, podendo ser considerado até certo ponto viável para o pequeno agricultor.

O orçamento do projeto apresentou um custo de implantação da ordem de Cr\$ 150.000,00, excetuando-se a mão - de - obra que na região é geralmente composta de elementos pertencentes a própria família do agricultor. Essa disponibilidade de mão - de - obra possibilita, ainda, uma redução nos custos de manutenção e operação do sistema.

Considerando, segundo Silva e outros (23), que a produção esperada do milho, para 1 ha, é de 6000 Kg, incluindo adubação controlada e irrigação, poderia se chegar a um benefício líquido ou lucro líquido analisando-se dois pontos, quais sejam:

1 - Se o milho fosse cultivado na época das chuvas, sem irrigar e adubar, a produção esperada seria em torno de 1000 Kg/ha o que daria, em relação ao sistema implantado, um ganho de cerca de 5000 Kg/ha. A produção média no Nordeste é em torno de 800 Kg/ha.

2 - Como há necessidade de se utilizar adubos e fertilizantes, considerando também possíveis perdas, poderia se supor que para isso seriam necessários cerca de 20% da produção, o que daria agora uma média de 1000 Kg/ha.

Dessa forma se teria, então, um aumento de produção livre de cerca de 4000 Kg/ha, que vendidos ao preço de varejo do mercado local, Cr\$ 14,00 o quilo de milho, poderia auferir um lucro líquido, por hectare e por ano, de Cr\$ 56.000,00. O preço de Cr\$ 14,00 foi tomado no mercado local, em dezembro de 1980 e corresponde ao preço intermediário de venda em grosso e no varejo, Cr\$ 7,15 e Cr\$ 20,00, respectivamente.

Considerando para o sistema uma vida útil em torno de 8 a 10 anos, se poderia obter a partir do 4º ano, um lucro totalmente livre, pagando-se em pouco mais de 3 anos, todos os custos de implantação. Além disso, deve-se considerar que o milho é uma cultura de subsistência, sendo, em geral, uma parte da produção utilizada pelo agricultor, para consumo próprio.

O sistema apresenta então, uma série de vantagens, como sejam, baixo custo, bom nível de produção, simplicidade das instalações e uma boa eficiência do gotejamento.

O sistema foi desenvolvido com base numa área de 1 ha no entanto, para áreas maiores seria suficiente fazer um novo planeamento com base nessa nova área.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1 - Conclusões

1 - Os resultados obtidos mostraram que, de uma maneira geral, os vidrilhos apresentaram um comportamento hidráulico satisfatório, permitindo a sua utilização como um gotejador. O fato de apresentarem seus diâmetros variáveis não se constitui um impedimento, uma vez que eles podem ser facilmente controlados durante a fabricação, quando existir uma demanda adequada.

2 - Apesar dos dados terem sido obtidos considerando-se a linha lateral nivelada, o sistema poderá ser utilizado em qualquer tipo de relevo. Para isso seria necessário, apenas, fazer algumas correções nos valores da carga hidráulica na linha lateral.

3 - Os gotejadores tipos II e III, Cipla e Dangotas, não apresentaram boas condições de funcionamento quando operando sob pequenas cargas. O gotejador tipo II apresentou a vazão altamente variável, enquanto que o gotejador tipo III apresentou vazões fixas, porém bastante reduzidas.

4 - A influência de bolhas de ar, na tubulação lateral, parece ser mínima em função da relação carga - vazão, podendo ser considerada como um problema relativamente pequeno.

5 - Os cálculos iniciais mostraram que um sistema de irrigação por gotejamento, numa área de 1,0 ha, utilizando os vidrilhos, apresentaria um custo inicial ao alcance do pequeno produtor.

6 - Os estudos comparativos iniciais mostraram que o aumento da produção, pela instalação do sistema de gotejamento, produzem benefícios substanciais.

## **6.2 - Recomendações**

1 - Uma pesquisa detalhada observando-se o funcionamento do sistema no campo, na irrigação do milho, por exemplo, permitiria estabelecer normas mais precisas para o planejamento de sistemas de gotejamento utilizando os vidrilhos.

2 - A análise de outros materiais não convencionais poderia permitir a determinação de novas alternativas de projeto econômica e tecnicamente mais viáveis.

## BIBLIOGRAFIA

01. AGUILERA, Ing. T. Analisis hidráulico en una tubería con sa lidas múltiples e su aplicación a um sistema de riego por gotejo - Secretaria de Recursos Hidráulicos - Memorandum Técnico N° 311 - México, DF, Noviembre de 1972.
02. BAARS, Dr. Jr. C. Design of Trickle Irrigations Systems - Department of Irrigation and Civil Engineering - Agricultural University - Wageningen - The Netherlands - 1976.
03. GOLDBERG, S. DAN; GORNAT, Dr.; RIMON, Dr. D. - Drip Irrigation - Principles, design and Agricultural practices - Drip Irrigation Scientific publications, Kfar Shimaryahu Israel, 1976.
04. OLLITA, A. F. L. - Os Métodos de Irrigação - ESALQ, Universidade de São Paulo - L. Nobel, 1977.
05. DAKER, A. - A água na Agricultura - Vol. III - Livraria Freitas Bastos - S.A., 3ª Edição.
06. LLOYD e MYERS, F. ASCE e DALE A. B. - Uniform Irrigation with low pressure trickle systems - Journal of the Irrigation and Drainage Division - Vol. 98 - N° IR3, Sep., 1972.
07. WU, I-P. and HARRIS, M. G. - Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigations - Journal of the Irrigation and Drainage Division - Vol. 99, N° 122, June, 1973.
08. AHMED, H., ALFARO, J. F. & WILLARDSON, L. S. - Water Movement in Soil from trickle source. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 102, N° IR2, June, 1976.
09. WU, I-P. - Design of Drip Irrigation main lines. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 101 N° IR4, December, 1975.
10. SALES SAMPAIO, F. M. A., Distribuição da Água em Solos Irrigados por Gotejamento - Tese de Mestrado - Campina Grande, PB, Julho, 1976.
11. HOWELL, T. A. & HILER, E. A., Designing Trickle Irrigation Laterals for Uniformity - Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 100, N° IR4, Dec., 1974.

12. BOS, M. G. & NUGTEREN, J., On Irrigation Efficiencies - International Institute for Land Reclamation - Wageningen - The Netherlands - 1978.
13. SOLOMON et alii - Trickle Irrigation Uniformity and Efficiency - Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 104, N° IR3, September, 1978.
14. OLLITA, A. F. L., O Método de Irrigação por Gotejo - ESALQ, Universidade de São Paulo - Piracicaba, 1975.
15. DE RENER, E. D., A Simple Method of Drip Irrigation - Irrigation Journal Avondale, Arizona, May - June, 1972.
16. TIBAU, A. O., Técnicas Modernas de Irrigação - 2ª Edição Livraria Nobel S.A., São Paulo, 1977.
17. SINGH, S. D. et alii - Water Economy and Salines Water Uses by Drip Irrigation - Agronomy Journal N° 70, 1978.
18. SINGH, S. D. & PANJAB, S., Value of Drip Irrigation Compared with Conventional Irrigation for Vegetable Production in a Hot Arid Climate - Agronomy Journal, N° 70, 1978.
19. SINGH, S. D., Effects of Planting Configuration on Water Use and Economics of Drip Irrigation Systems - Agronomy Journal, 1978.
20. KELLER, J. & KAPMELI, D. - Trickle Irrigation Design - Rain bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California, U.S.A., 1975.
21. FAO - Trickle Irrigation - Roma, 1973.
22. GALEGAR, G. M. e COELHO, M. B., Algumas Considerações econômicas dos métodos de irrigação por gotejo e por sulco na cultura do melão - CPATSA/EMBRAPA - Petrolina, 1977.
23. SILVA, D. A., Irrigação por cápsulas porosas: características e avaliação do método sob pressão hidrostática - Tese de mestrado - Campina Grande, PB, 1980.
24. CHOUDHURY, E. N. e MILLAR, A. A., Características físico - hídricas de três latossolos irrigados do projeto Bebedouro - CPATSA/EMBRAPA - Petrolina, Pe.
25. SILVA et alii., Metodologia para determinar as necessidades de água para culturas irrigadas - CPATSA/EMBRAPA - CODEVASP e SUDENE - Petrolina, Pe.
26. NEVES, E. T., Curso de Hidráulica - Editora Globo, 1977.



27. BRASIL, DNOCS - 3ª Diretoria Regional - Milho : Contribuição do estudo das culturas irrigadas - Pesquisa Agropecuária Recife, 1972 - p. 43 - 7.
28. CARVALHO, H. W. L. e LIMA, A. N. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica do Sistema Consorciado Milho x feijão. Comunicado técnico N° 013, EMBRAPA - BARREIRAS, Ba, 1978.
29. EMBRAPA - EMATER - Sistemas de Produção para Milho e Feijão. Circular N° 94 - Caldas de Cipó - Ba, 1976.

## APÊNDICES

## APÉNDICE I

**Tabela 1 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo I - Classe 1**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	3,24	3,24	3,49	3,60	4,32
1,00	0,980	0,982	4,30	4,50	4,85	5,20	5,92
2,00	1,971	1,973	6,48	7,20	7,56	8,28	9,00
3,00	2,983	2,986	8,10	8,86	9,32	10,60	11,70
4,00	3,969	3,971	9,72	10,44	10,80	13,32	14,40
5,00	4,979	4,981	10,90	11,80	12,40	14,98	16,30
6,00	6,003	6,004	11,88	13,82	13,86	15,56	18,00

**Tabela 2 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo I - Classe 2**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	3,96	4,32	3,60	4,68	4,32
1,00	0,983	0,984	5,71	6,00	5,20	6,40	6,00
2,00	1,980	1,982	9,00	9,36	8,28	10,08	9,36
3,00	2,983	2,984	11,05	11,80	10,20	12,25	11,80
4,00	3,985	3,988	13,32	14,04	12,24	14,40	13,68
5,00	4,984	4,985	15,06	15,60	13,80	16,40	15,40
6,00	5,986	5,987	16,56	16,92	15,12	18,00	16,92

**Tabela 3 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo I- Classe 3**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	4,68	5,04	4,68	4,68	5,40
1,00	0,972	0,974	6,60	6,90	6,72	6,50	7,20
2,00	1,980	1,982	10,08	10,80	10,44	9,72	10,44
3,00	2,981	2,983	12,40	13,20	12,80	12,10	13,00
4,00	3,985	3,988	14,40	15,48	14,76	14,04	15,12
5,00	4,985	4,987	16,00	17,30	16,50	15,60	16,90
6,00	5,987	5,987	17,64	19,08	18,00	17,28	18,72

**Tabela 4 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo I- Classe 4**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	5,04	5,40	5,40	5,40	5,04
1,00	0,978	0,979	7,12	7,50	7,50	7,50	7,12
2,00	1,982	1,983	11,16	11,52	11,52	11,52	11,16
3,00	2,950	2,951	13,90	14,15	14,15	14,20	13,80
4,00	3,984	3,985	16,20	16,56	16,92	16,56	16,20
5,00	4,990	4,993	18,32	18,60	18,82	18,60	18,32
6,00	6,000	6,010	20,52	20,88	20,88	20,52	20,16

**Tabela 5 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo I - Classe 5**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	5,80	6,00	5,85	6,20	5,95
1,00	0,972	0,974	8,28	9,00	8,52	9,20	8,64
2,00	1,971	1,973	12,24	12,96	12,24	13,32	12,60
3,00	2,913	2,915	15,12	16,20	15,48	16,56	15,84
4,00	3,998	4,001	17,64	18,72	17,64	19,08	18,36
5,00	4,990	4,993	20,16	21,24	19,80	21,60	20,52
6,00	6,005	6,010	22,32	23,40	21,96	23,76	22,68

**Tabela 6 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo II**

Carga Indicativa	Carga Real Média	Energia Potencial Média	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
(m)	(m)	(m)	1	2	3	4	5
0,50	-	-	-	-	-	-	-
1,00	0,99	1,01	15,90	12,10	9,60	22,26	16,50
2,00	1,98	1,99	15,00	14,34	8,76	28,20	10,32
3,00	2,92	2,93	19,30	19,20	15,60	40,20	29,10
4,00	4,01	4,02	38,40	28,44	27,60	46,86	35,40
5,00	5,00	5,01	25,20	26,10	23,30	52,80	38,82
6,00	6,03	6,04	29,40	26,40	30,06	58,08	36,42

**Tabela 7 - Variação da Pressão e Vazão para o Gotejador Tipo III**

Carga Indicativa (m)	Carga Real Média (m)	Energia Potencial Média (m)	Vazão (l/h)				
			Gotejadores				
			1	2	3	4	5
0,50	-	-	-	-	-	-	-
1,00	0,99	0,99	1,26	1,30	1,26	1,26	1,26
2,00	1,97	1,97	1,86	1,86	1,82	1,86	1,80
3,00	2,99	2,99	2,27	2,27	2,22	2,22	2,27
4,00	3,99	3,99	2,64	2,64	2,58	2,58	2,63
5,00	5,01	5,03	2,94	2,94	2,93	2,88	2,93
6,00	6,02	6,02	3,30	3,24	3,20	3,20	3,23

**Tabela 8 – Variação da Pressão, Vazão e Tamanho das Bolhas – Estudo da Influência das Bolhas de Ar – Gotejador Tipo III**

Carga Indicativa (m)	Carga Real (m)	Energia Total (m)	Vazão (l/h)						Bolhas					
			Medição sem Bolhas de Ar			Medição com Bolhas de Ar			1		2		3	
			Gotejadores			Gotejadores			L	Y	L	Y	L	Y
			1	3	5	1	3	5	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	0,92	0,92	1,28	1,29	1,32	1,26	1,26	1,27	45,7	1,07	43,1	1,07	9,5	0,37
2,00	1,98	1,98	1,82	1,87	1,92	1,82	1,86	1,87	18,6	0,87	71,8	1,07	-	-
3,00	3,00	3,00	2,22	2,24	2,28	2,22	2,23	2,26	24,4	0,97	13,4	0,77	2,6	0,27
4,00	3,98	3,99	2,60	2,62	2,70	2,59	2,60	2,64	22,8	0,97	64,8	1,07	14,9	0,67
5,00	4,99	4,99	2,92	2,93	2,96	2,88	2,90	2,94	22,3	0,97	69,2	1,07	14,7	0,67
6,00	6,03	6,03	3,20	3,20	3,30	3,18	3,18	3,29	14,5	0,77	20,7	0,97	-	-

**Tabela 9-Varição da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo I-Classe 1**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,989	0,979	0,973	0,989	0,982	0,975
2,00	1,997	1,962	1,955	1,997	1,965	1,955
3,00	2,992	2,982	2,975	2,993	2,986	2,980
4,00	3,970	3,981	3,955	3,970	3,985	3,957
5,00	4,968	4,987	4,982	4,969	4,990	4,984
6,00	6,000	6,020	5,990	6,001	6,020	5,990

**Tabela 10-Varição da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo I-Classe 2**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,985	0,984	0,982	0,985	0,985	0,983
2,00	1,980	1,970	1,990	1,981	1,975	1,990
3,00	2,986	2,982	2,980	2,987	2,983	2,982
4,00	3,985	3,976	3,995	3,986	3,981	3,996
5,00	4,990	4,980	4,981	4,999	4,984	4,980
6,00	5,990	5,990	5,980	5,990	5,990	5,981



**Tabela 11-Varição da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo I-Classe 3**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,985	0,950	0,982	0,985	0,955	0,983
2,00	1,980	1,970	1,990	1,981	1,975	1,990
3,00	2,976	2,980	2,986	2,977	2,985	2,987
4,00	3,985	3,976	3,995	3,986	3,981	3,996
5,00	4,990	4,984	4,981	4,990	4,989	4,982
6,00	5,990	5,990	5,980	5,990	5,990	5,981

**Tabela 12-Varição da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo I-Classe 4**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,980	0,979	0,975	0,981	0,980	0,976
2,00	1,985	1,982	1,979	1,986	1,983	1,980
3,00	2,960	2,940	2,952	2,960	2,941	2,953
4,00	3,985	3,984	3,983	3,986	3,985	3,984
5,00	4,994	4,985	4,990	4,997	4,989	4,992
6,00	6,000	6,004	6,010	6,003	6,010	6,020

**Tabela 13-Variação da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo I-Classe 5**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,976	0,968	0,973	0,976	0,972	0,975
2,00	1,985	1,985	1,965	1,986	1,966	1,967
3,00	2,912	2,930	2,897	2,913	2,934	2,899
4,00	4,010	4,000	3,984	4,010	4,004	3,986
5,00	4,994	4,985	4,990	4,997	4,989	4,992
6,00	6,000	6,004	6,010	6,003	6,010	6,020

**Tabela 14-Variação da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo II**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	1,01	0,98	0,99	1,02	0,98	1,03
2,00	1,98	1,97	1,99	1,98	1,98	2,01
3,00	2,99	2,99	2,78	3,01	2,99	2,78
4,00	4,02	4,06	4,00	4,02	4,02	4,03
5,00	5,00	4,99	5,00	5,00	5,00	5,04
6,00	6,04	6,03	6,01	6,05	6,03	6,03

**Tabela 15-Varição da Pressão e Energia Total no Ponto-Gotejador Tipo III**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	1,00
2,00	1,98	1,96	1,97	1,98	1,96	1,97
3,00	2,99	2,99	2,98	3,00	2,99	2,99
4,00	4,00	3,98	3,98	4,00	3,99	3,99
5,00	5,02	5,00	5,02	5,04	5,03	5,03
6,00	6,04	6,01	6,03	6,04	6,01	6,03

**Tabela 16 - Variação da Pressão e Energia Total no Ponto - Estudo da Influência do Ar - Gotejador Tipo III - Tubulação sem Bolhas de Ar**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	1,01	0,99	0,99	1,01	0,99	0,99
2,00	2,01	2,00	2,01	2,01	2,00	2,01
3,00	3,01	2,99	3,01	3,01	2,99	3,01
4,00	4,02	4,01	4,00	4,02	4,01	4,00
5,00	5,03	5,01	5,00	5,03	5,01	5,00
6,00	6,05	6,03	6,02	6,05	6,03	6,02

**Tabela 16a - Variação da Pressão e Energia Total no Ponto - Estudo da Influência do Ar - Gotejador Tipo III - Tubulação Contendo Bolhas de Ar**

Tomada de Pressão	Pressão (m)			Energia Total (m)		
	1	2	3	1	2	3
H (m)						
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	0,99	0,89	0,88	0,99	0,89	0,88
2,00	2,01	2,00	1,93	2,01	2,00	1,93
3,00	3,01	3,00	2,99	3,01	3,00	2,99
4,00	4,02	4,00	3,94	4,02	4,00	3,94
5,00	5,03	4,99	4,96	5,03	4,99	4,96
6,00	6,05	6,03	6,02	6,05	6,03	6,02

**Tabela 17 - Perda de Carga em milímetros - Gotejador Tipo I**

Classes H(m)	1			2			3			4			5		
	hp <sub>1</sub> *	hp <sub>2</sub> **	hp <sub>3</sub> ** *	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>
0,50	-	1,23	1,46	-	1,32	1,64	-	1,77	1,88	-	1,83	2,02	-	1,99	2,32
1,00	14	1,67	2,04	2,00	1,97	2,29	2,0	2,28	2,63	5,0	2,44	2,80	1,00	3,06	3,16
2,00	40	2,58	3,18	-	2,91	3,59	-	3,70	4,19	6,0	3,98	4,33	19,0	4,40	5,10
3,00	13	3,25	4,05	5,00	3,84	4,42	-	4,37	4,86	7,0	4,74	5,32	14,0	5,54	6,38
4,00	13	3,97	4,49	-	4,45	5,20	-	5,00	6,00	2,0	5,56	6,31	24,0	6,45	7,37
5,00	-	4,45	5,99	8,0	5,13	5,85	8,0	5,56	6,27	5,0	6,25	7,09	5,00	7,25	8,28
6,00	11	5,01	6,26	9,0	5,63	6,47	9,0	6,16	7,03	-	6,98	7,84	-	8,00	9,12

(\*) hp<sub>1</sub> = Diferença de energia entre os pontos inicial e final da linha;

(\*\*) hp<sub>2</sub> = Perda de carga calculada considerando Q uniforme e fator F de correção;

(\*\*\*) hp<sub>3</sub> = Perda de carga considerando a variação da vazão ao longo da linha

**Tabela 18 - Perda de Carga em Milímetros - Gotejador Tipo II e III**

H (m)	Gotejador Tipo I			Gotejador Tipo II		
	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	-	9,3	6,6	-	0,43	0,48
2,00	30	9,78	6,37	10	0,62	0,70
3,00	230	22,3	22,1	10	0,76	0,86
4,00	-	41,4	33,8	10	0,88	1,00
5,00	-	37,6	36,5	10	0,99	1,12
6,00	20	43,0	40,6	10	1,09	1,23

**Tabela 19 - Perda de Carga em Milímetros - Estudo da Influência das Bolhas - Gotejador Tipo III**

H (m)	Tubulação sem Bolhas de Ar			Tubulação com Bolhas de Ar		
	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>	hp <sub>1</sub>	hp <sub>2</sub>	hp <sub>3</sub>
0,50	-	-	-	-	-	-
1,00	20	0,33	0,32	110	3,55	3,54
2,00	-	0,47	0,46	80	2,06	2,05
3,00	-	0,56	0,54	20	2,01	2,01
4,00	20	0,65	0,64	80	5,21	5,19
5,00	30	0,73	0,71	70	6,40	6,37
6,00	30	0,80	0,78	30	1,85	1,84

**Tabela 20 - Coeficientes de Descarga Médios - Gotejador Tipo I**

H (m)	Classes				
	1	2	3	4	5
0,50	0,87	0,75	0,74	0,69	0,74
1,00	0,87	0,77	0,76	0,71	0,74
2,00	0,94	0,82	0,78	0,76	0,75
3,00	0,97	0,85	0,79	0,77	0,77
4,00	1,00	0,86	0,79	0,77	0,77
5,00	1,00	0,86	0,79	0,77	0,77
6,00	1,00	0,86	0,79	0,77	0,77

APÉNDICE II

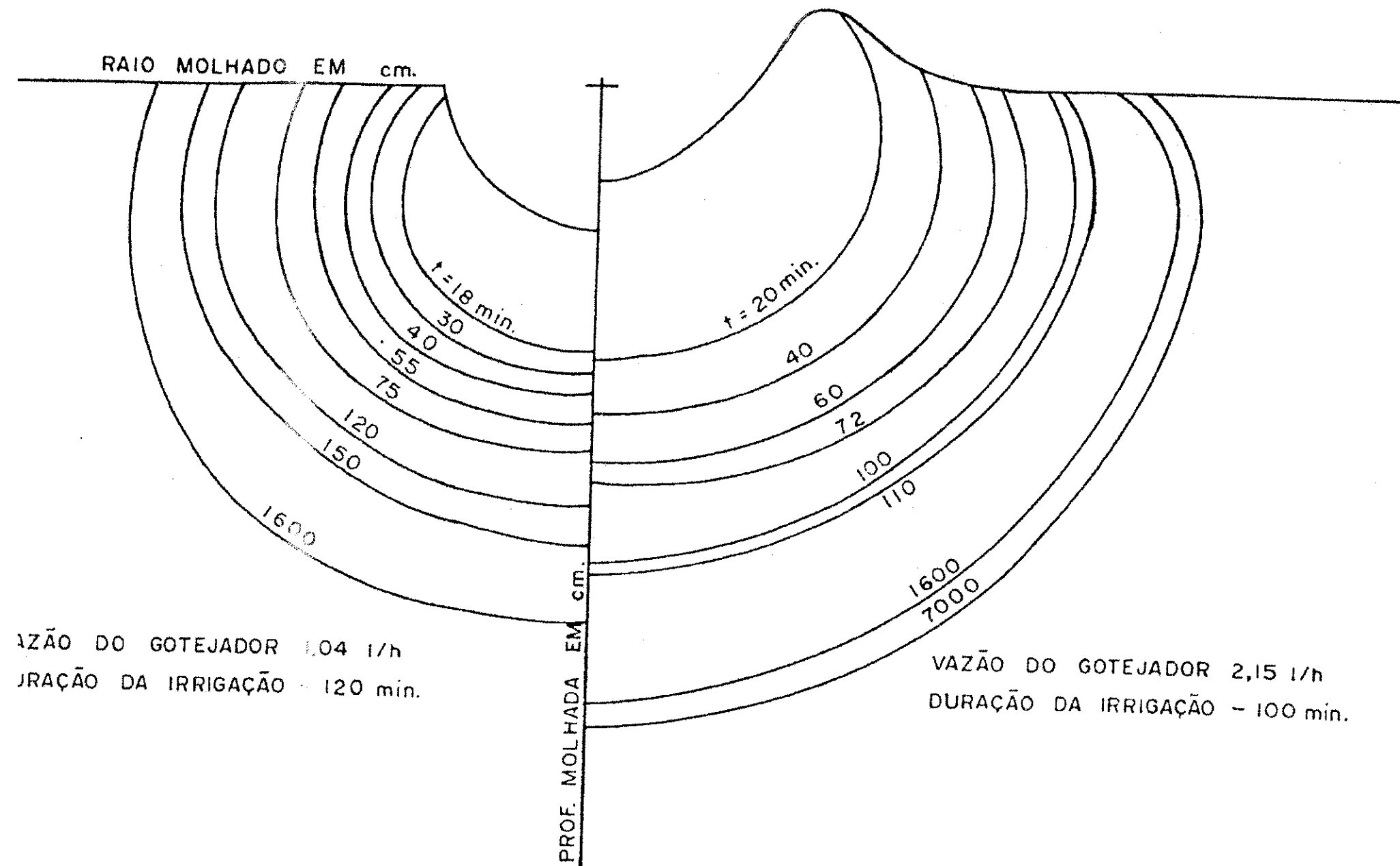


Figura: 01 - Padrão de infiltração para um solo argiloso em relação com a duração da infiltração ( $t$ ) e a vazão do gotejador.



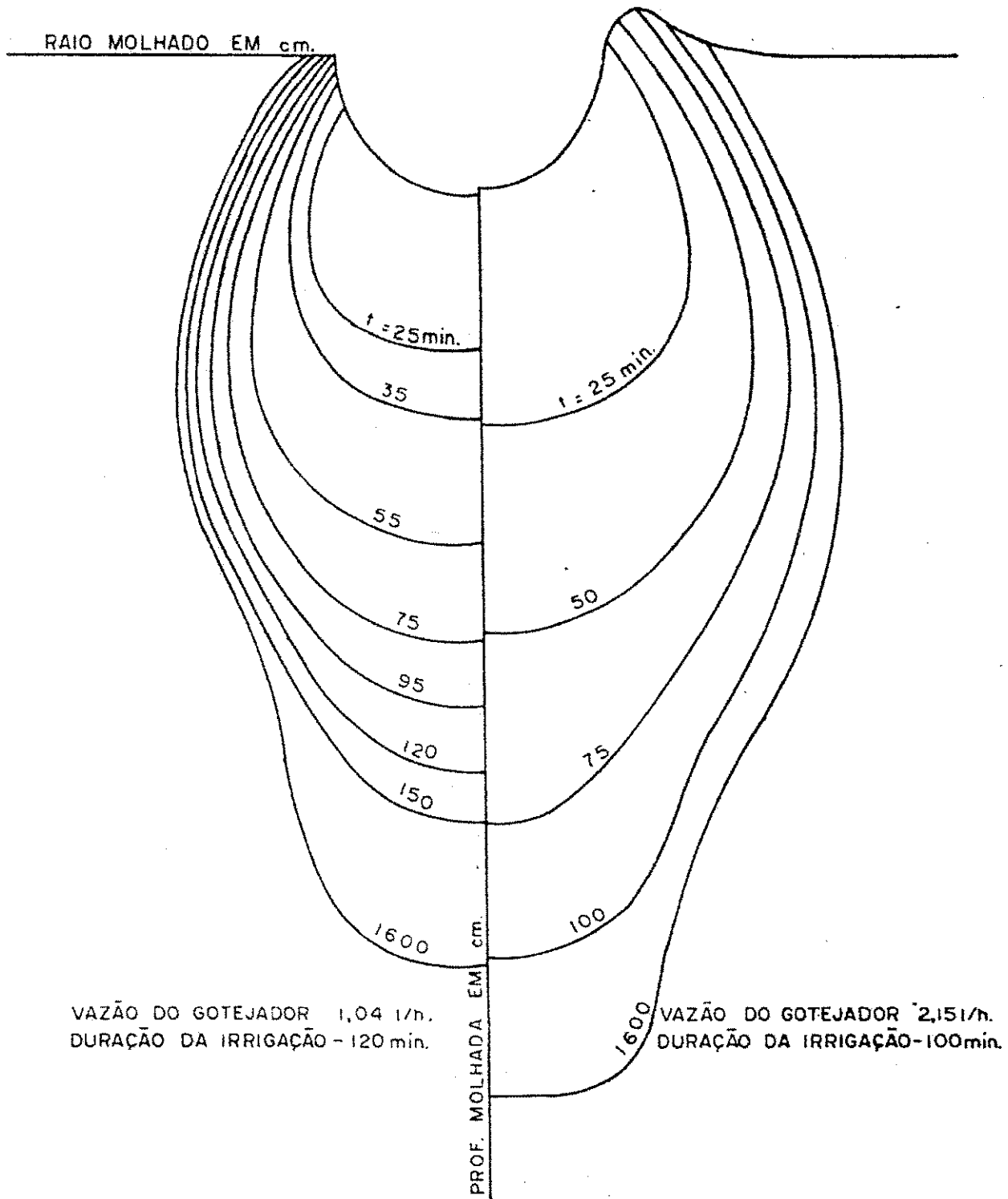


Figura: 02 - Padrão de infiltração para um solo arenoso em relação com a duração da infiltração ( $t$ ) e o vazão do gotejador.

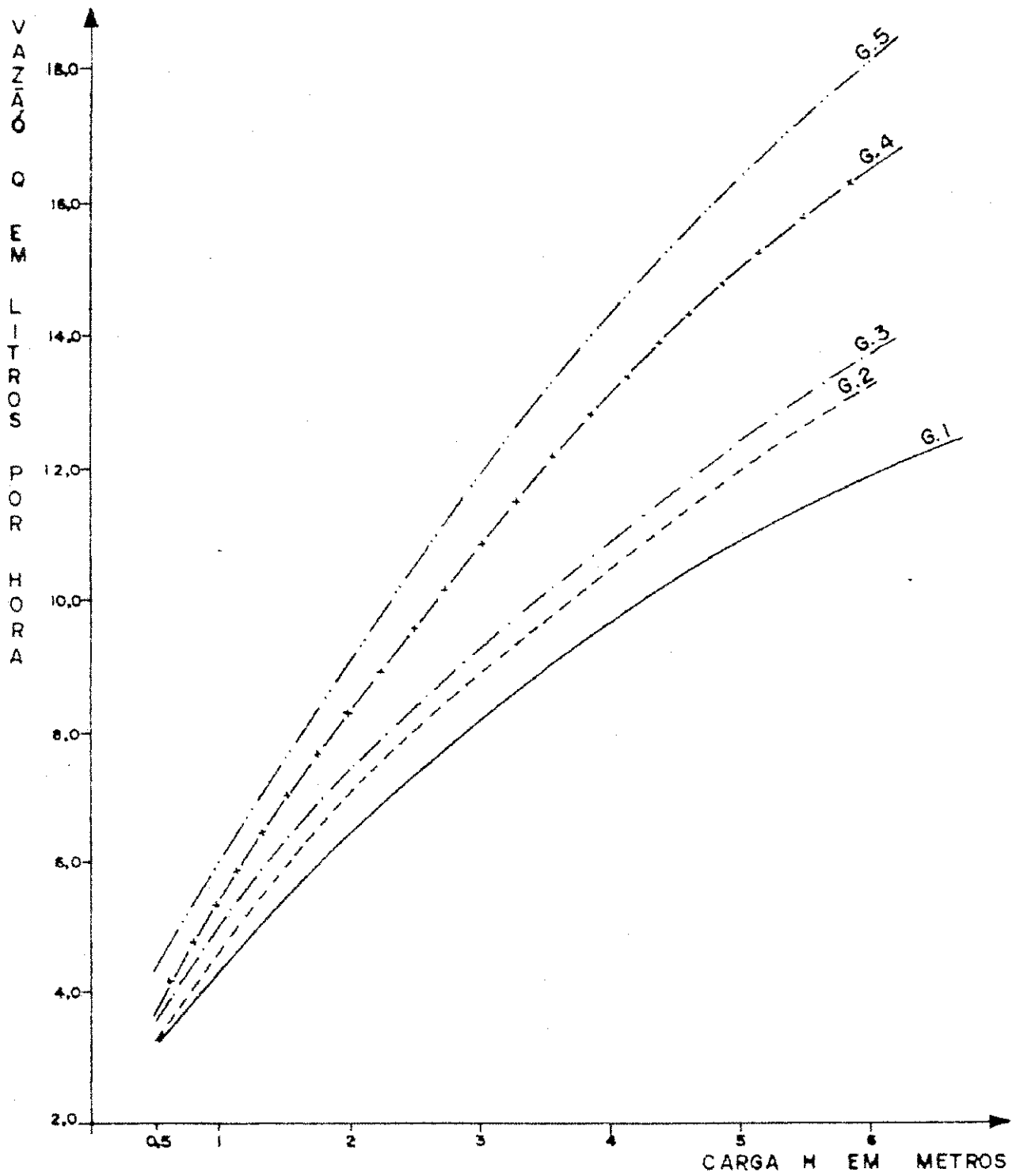


Figura:03 - Relação pressão-vezão para o gotejador tipo I - classe I.

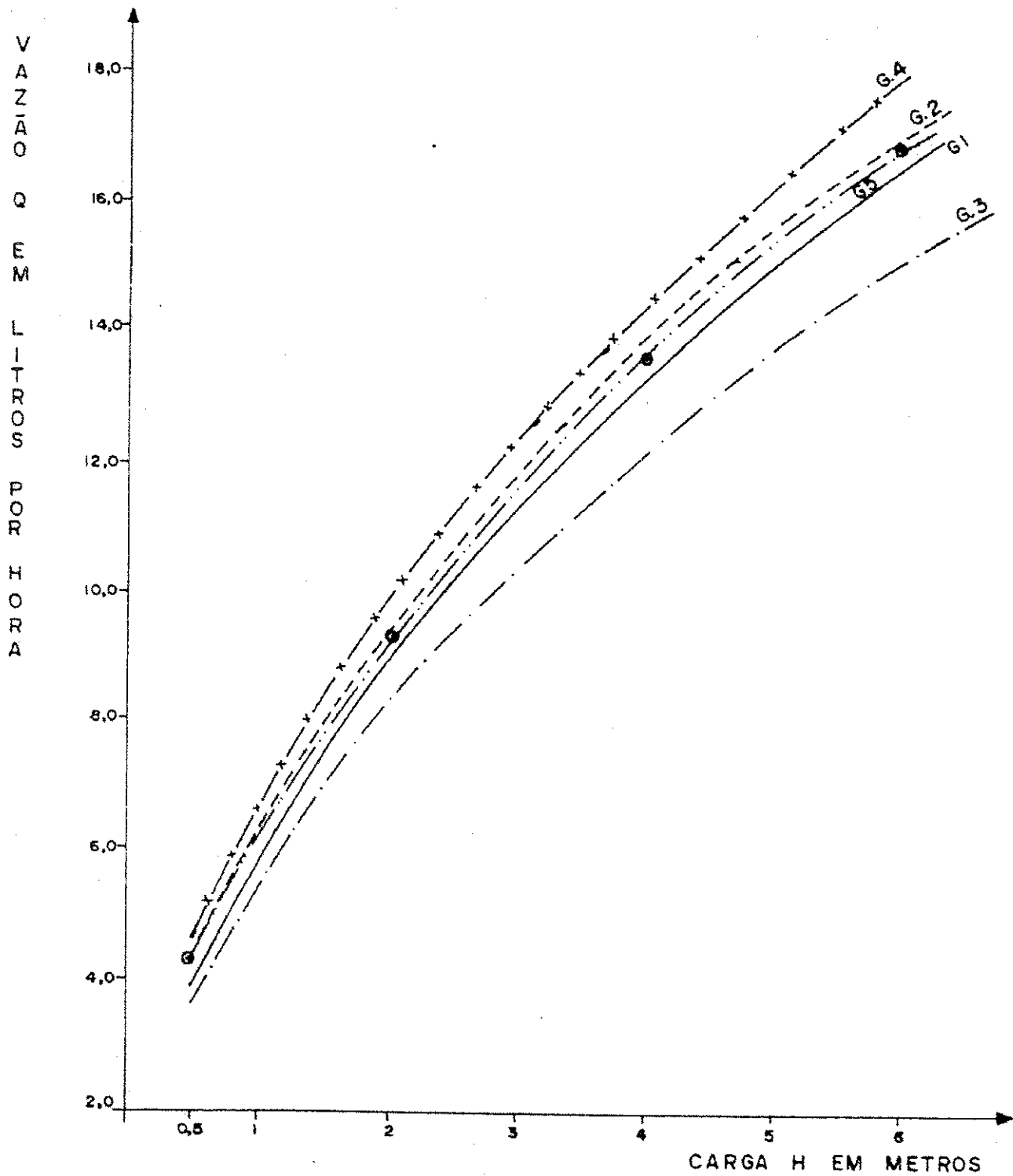


Figura: 04 - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo 1 - classe 2.

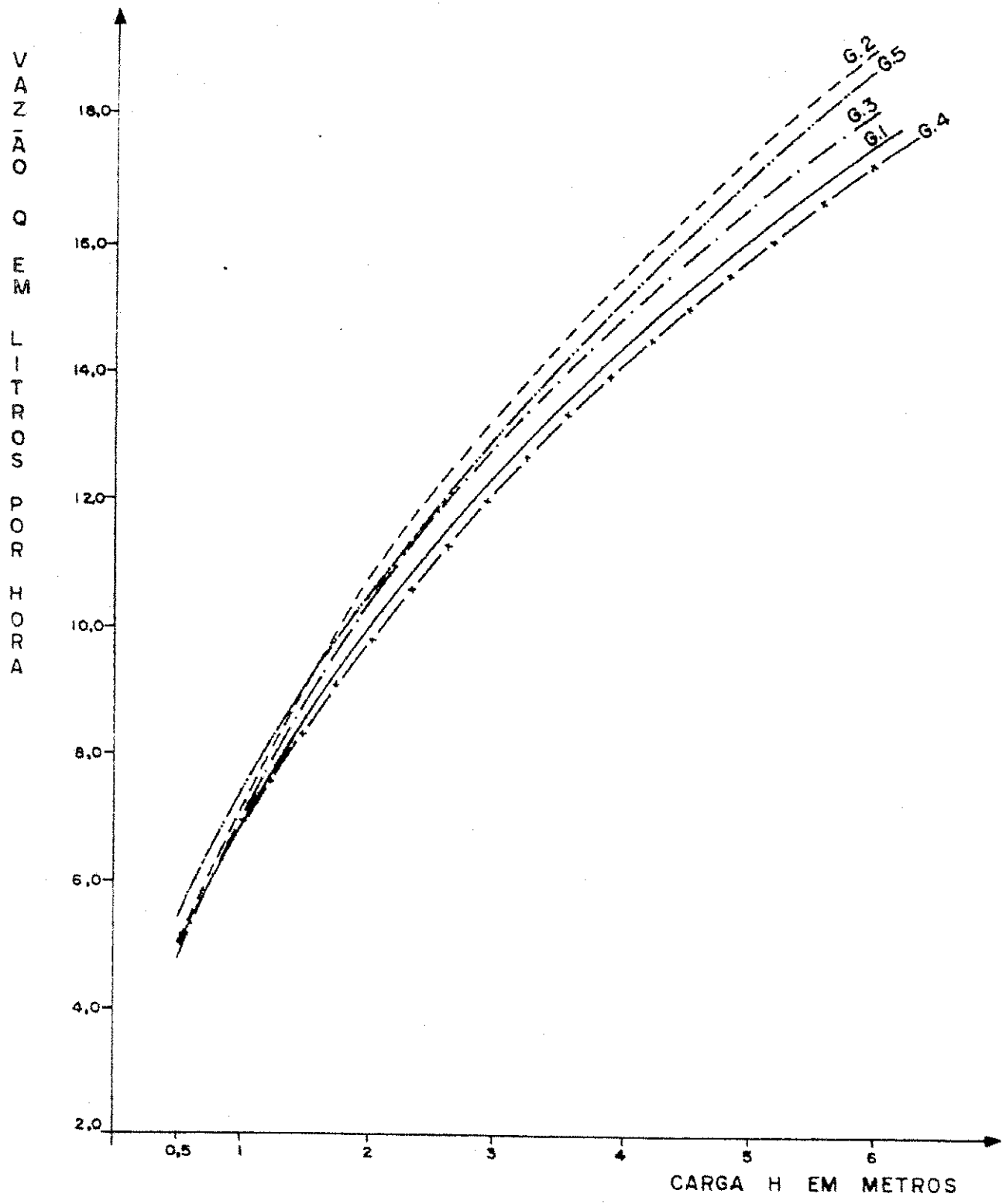


Figura:05 - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo I - classe 3.

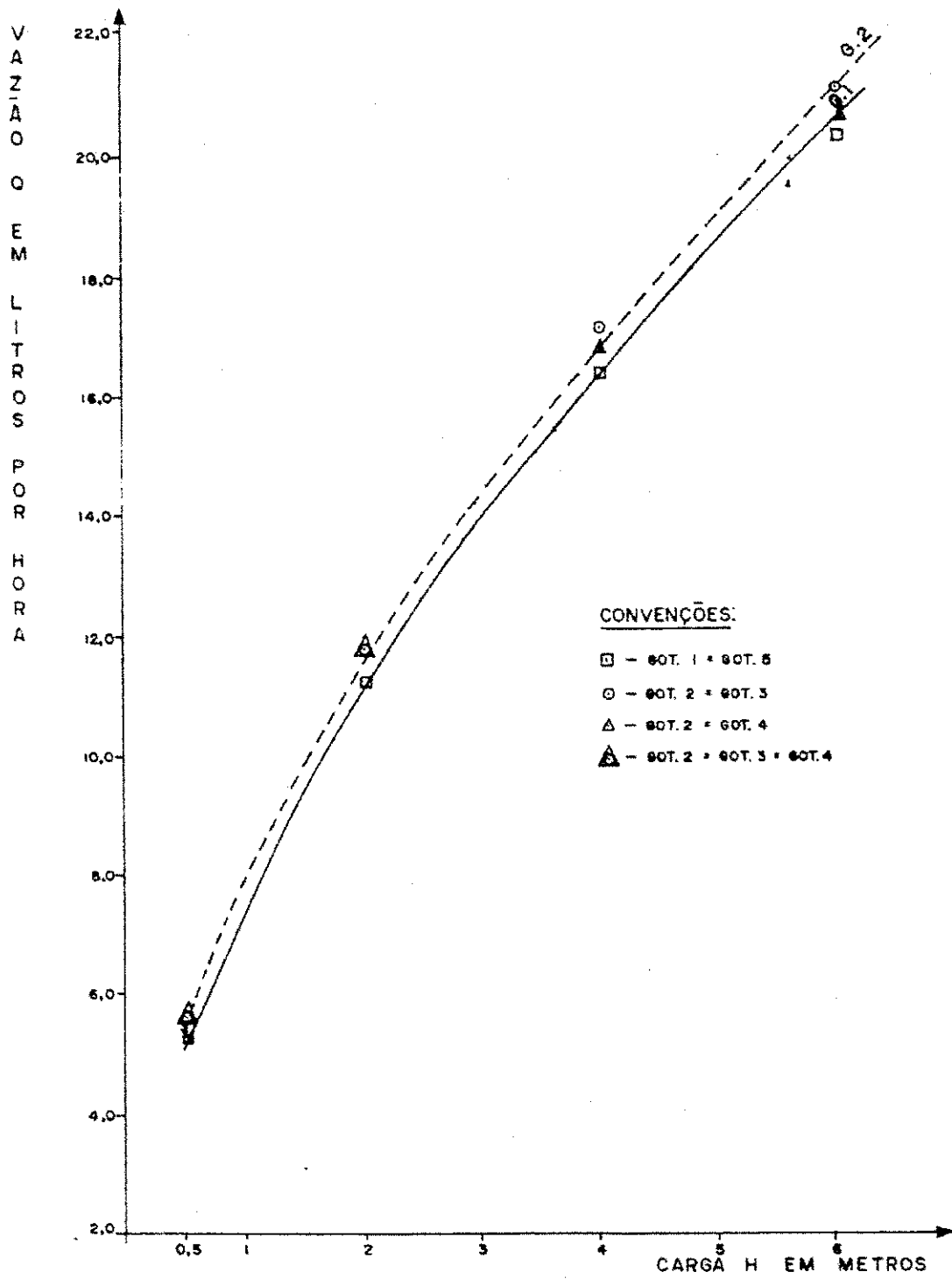


Figura: 06 - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo I - classe 4.

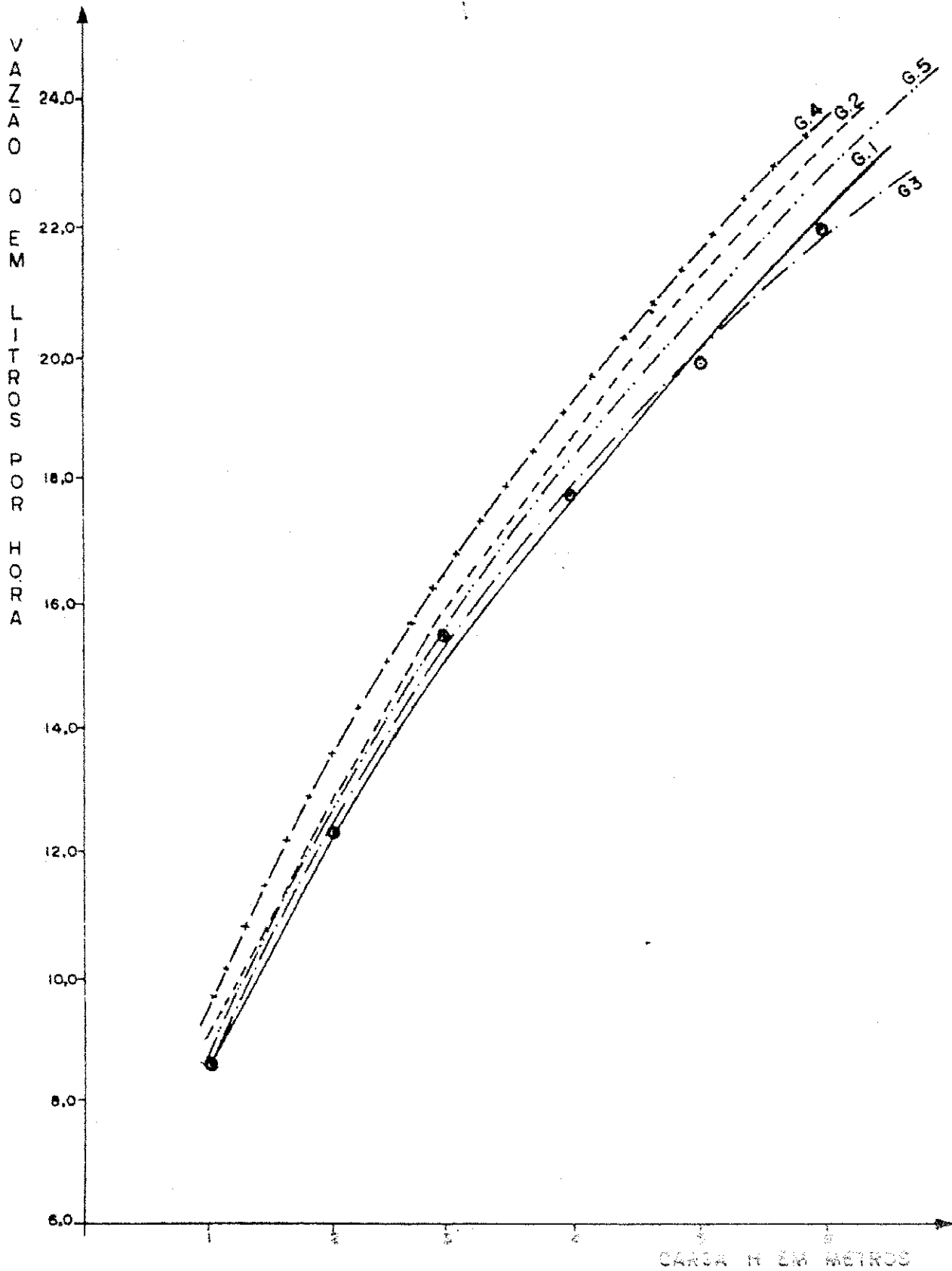
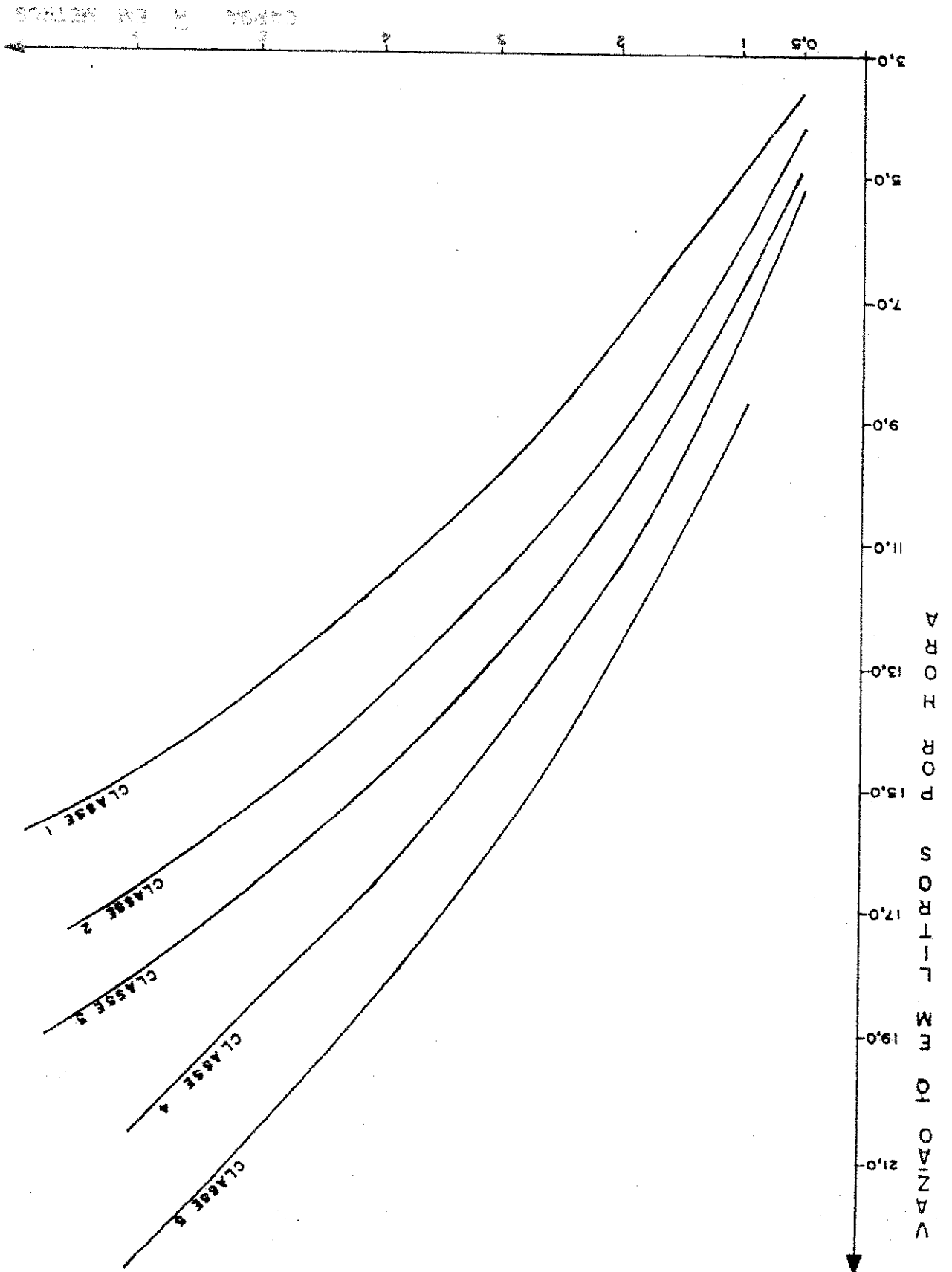


Figura: 0:7 - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo I - classe. 5.

Figura: 08-Relação pressão-vazão médias para o gotejador tipo I.



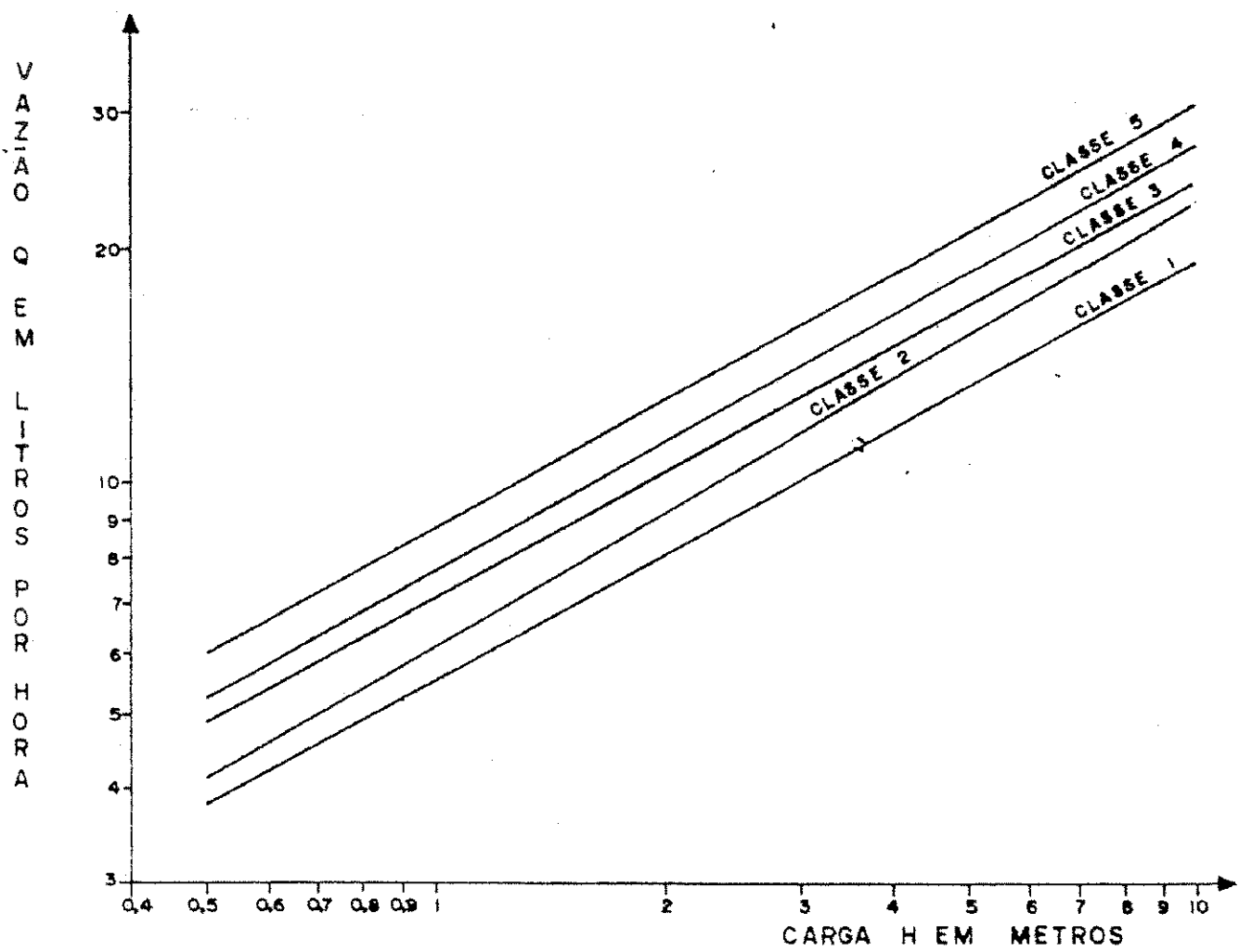


Figura: 09 - Linearização das curvas de pressão-vazão médias para o gotejador tipo I.



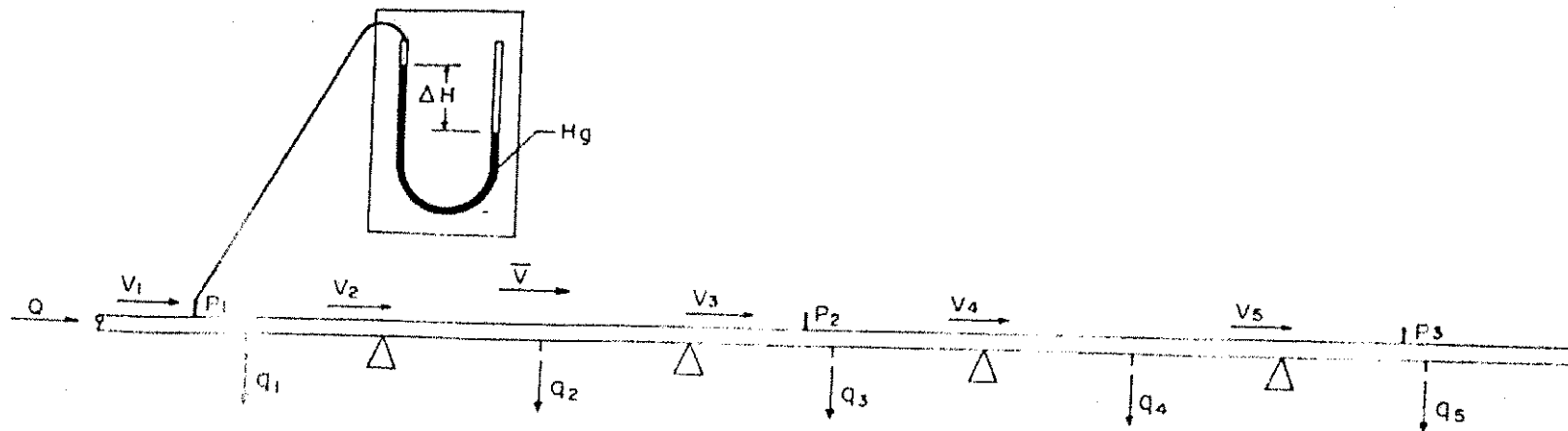


Figura: 10 - Diagrama esquemático dos pontos de tomada de pressão na linha lateral.

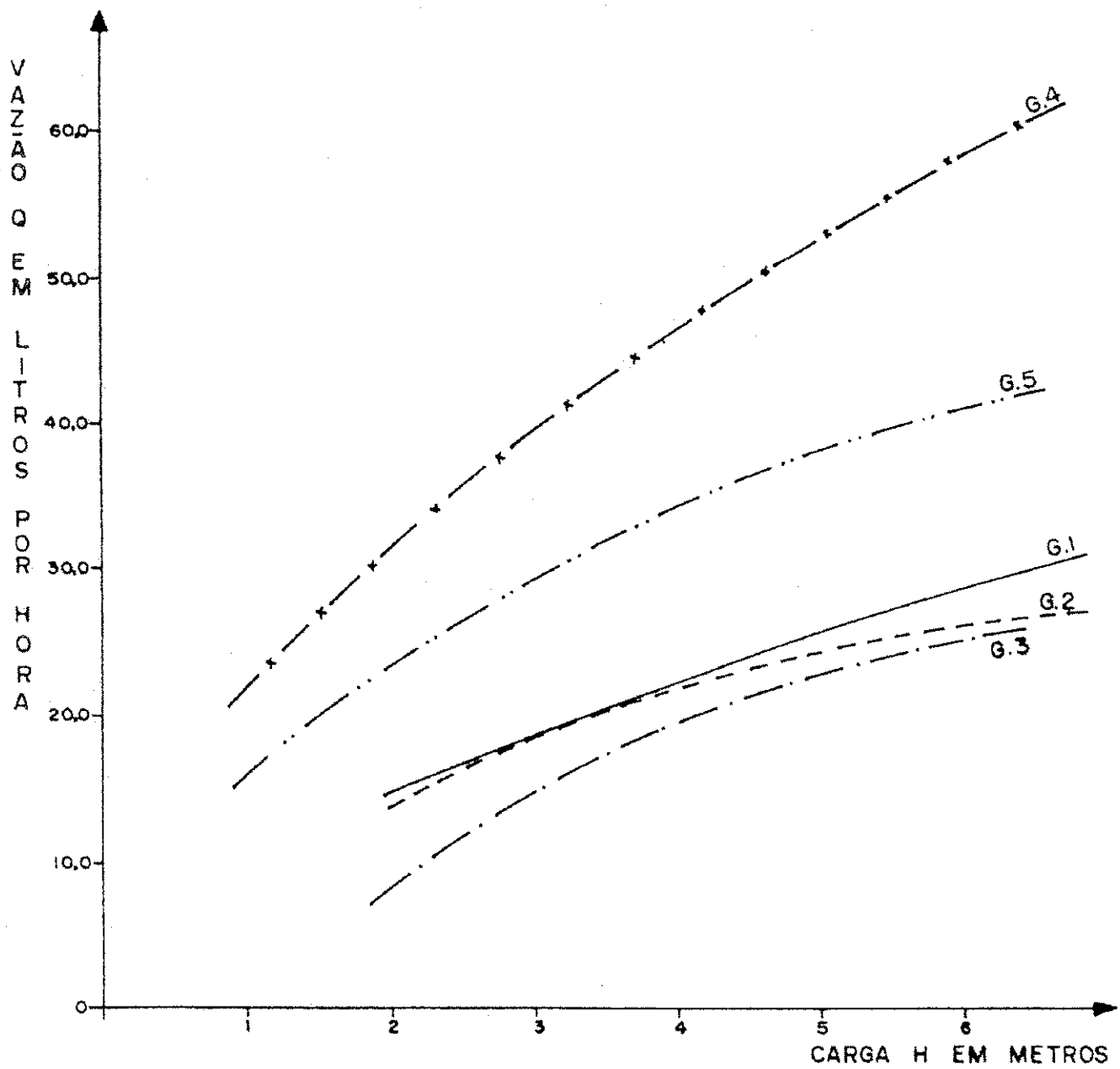


Figura:II - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo II - CIPLA.

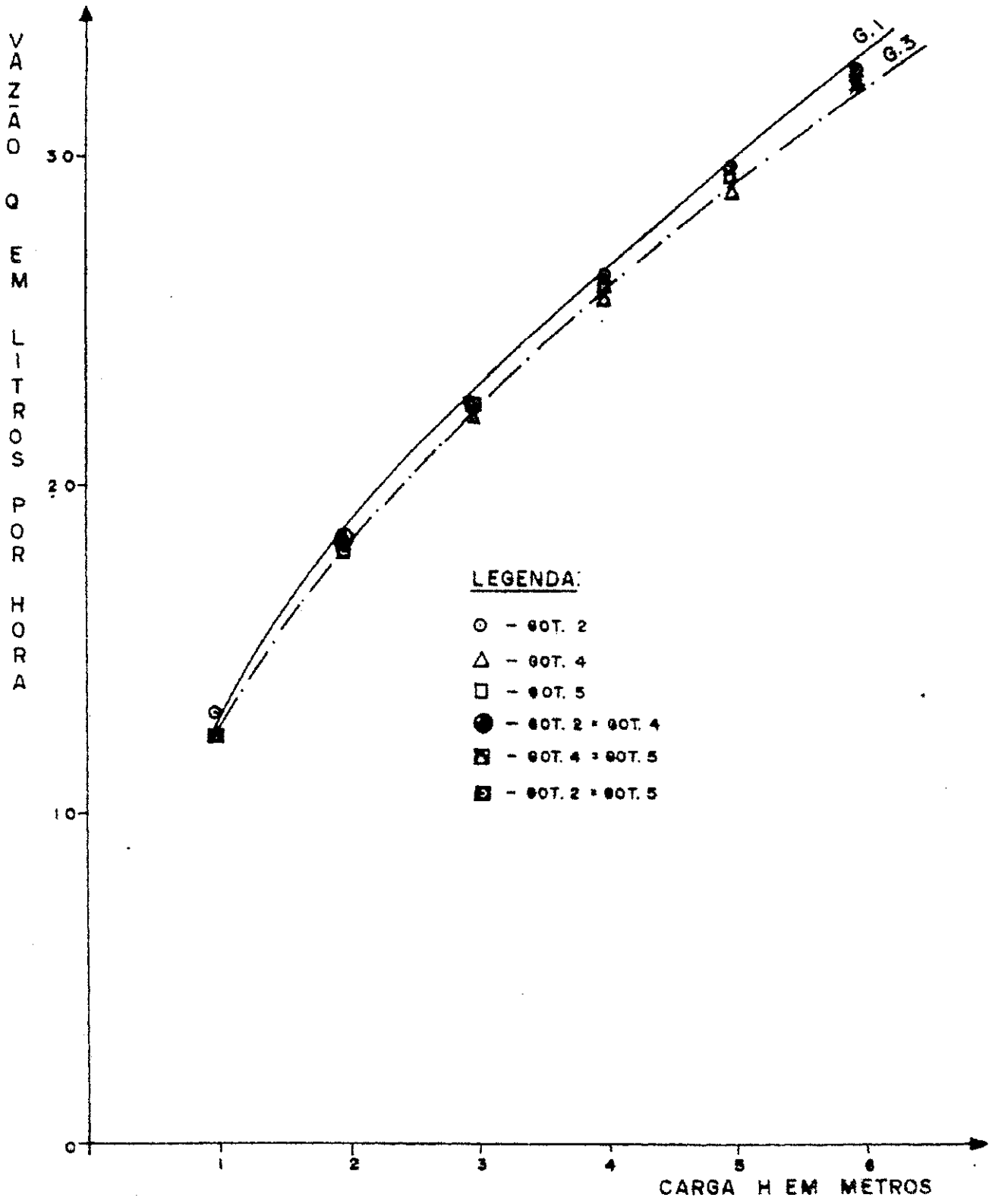


Figura. 12 - Relação pressão-vazão para o gotejador tipo III - DANGOTAS.

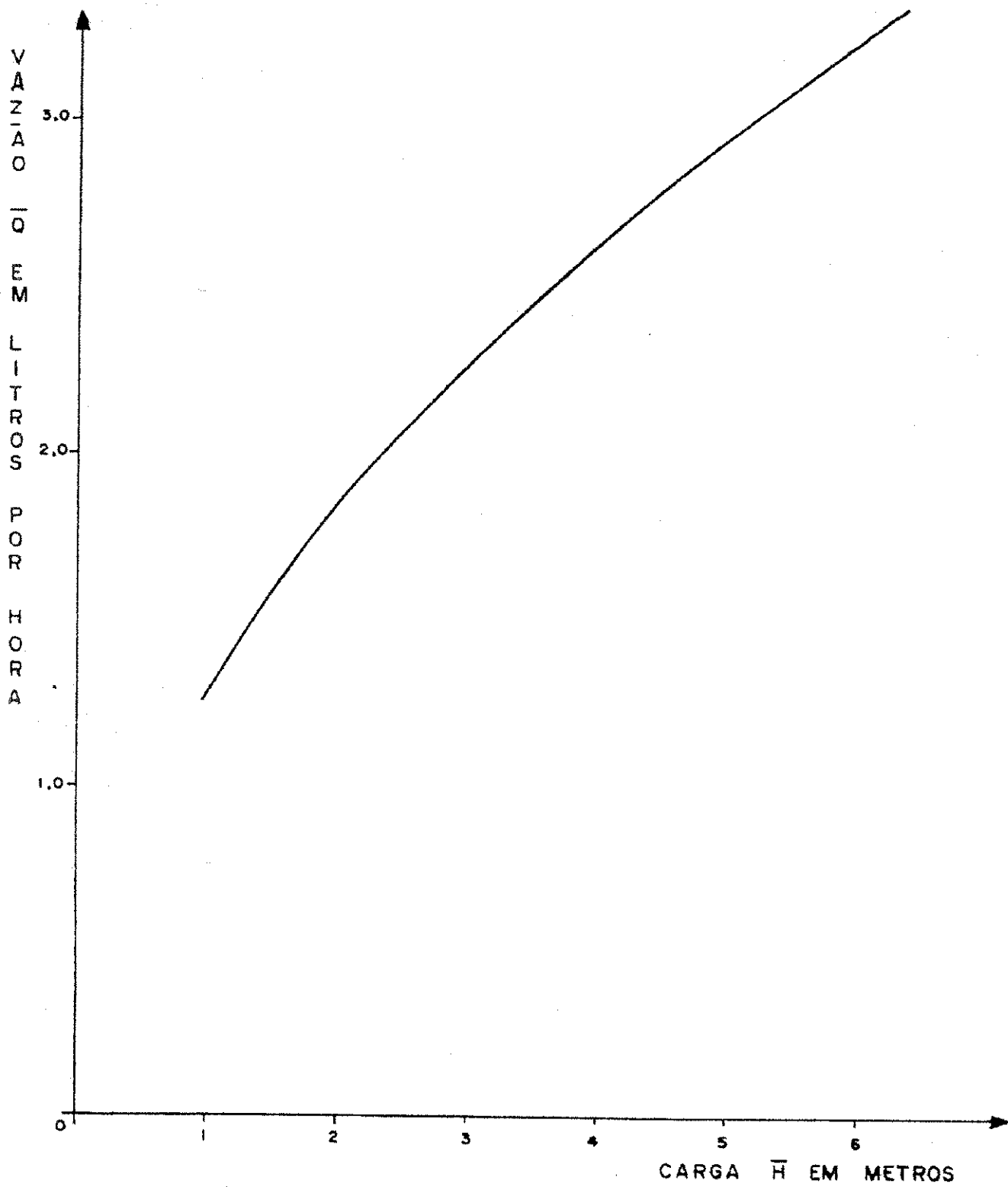


Figura: 13 - Relação pressão-vazão médias para o gotejador tipo III - Dargotas.

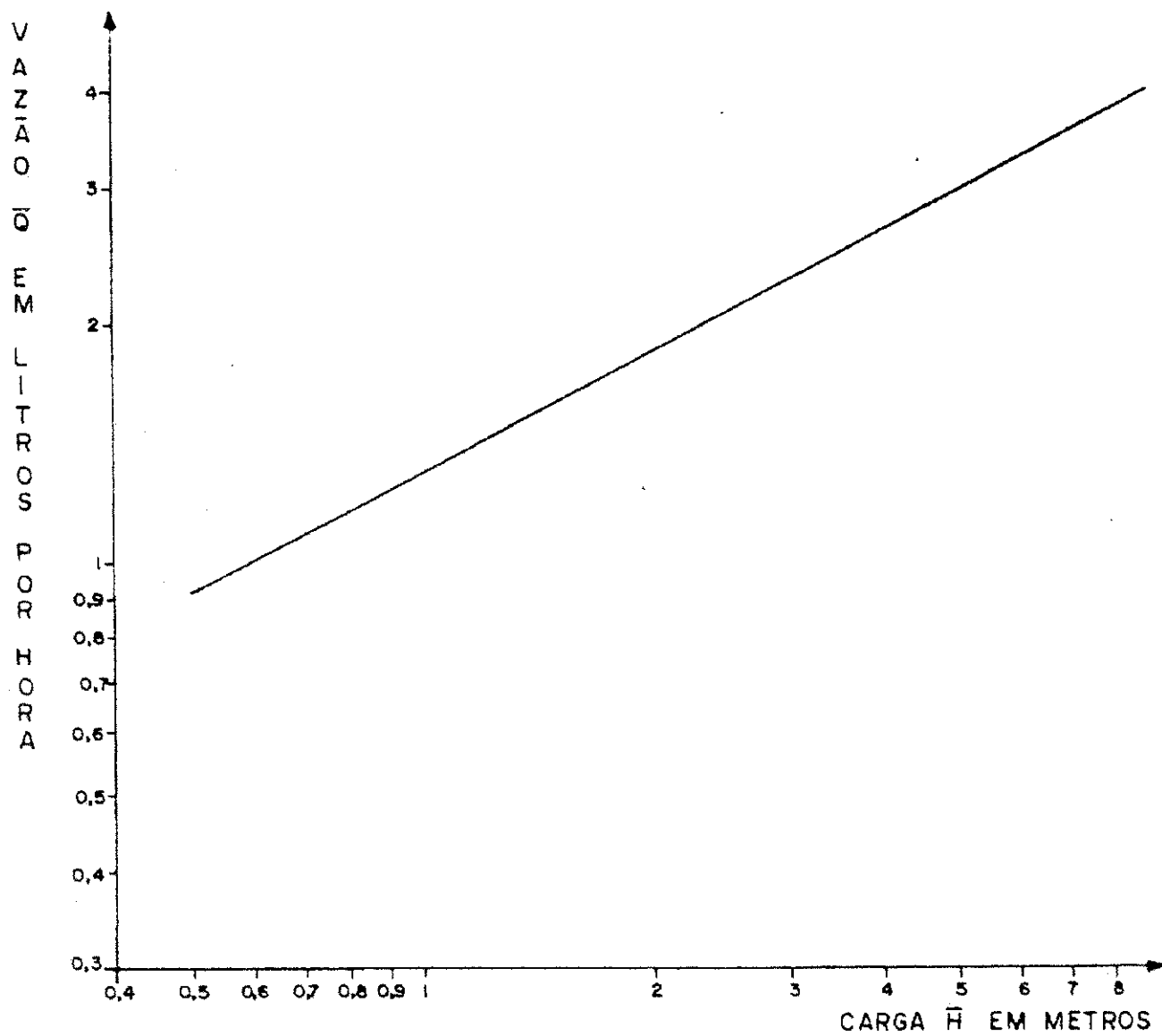


Figura: 14 - Linearização da curva pressão-vazão médias para o gotejador tipo III - Dangotas.

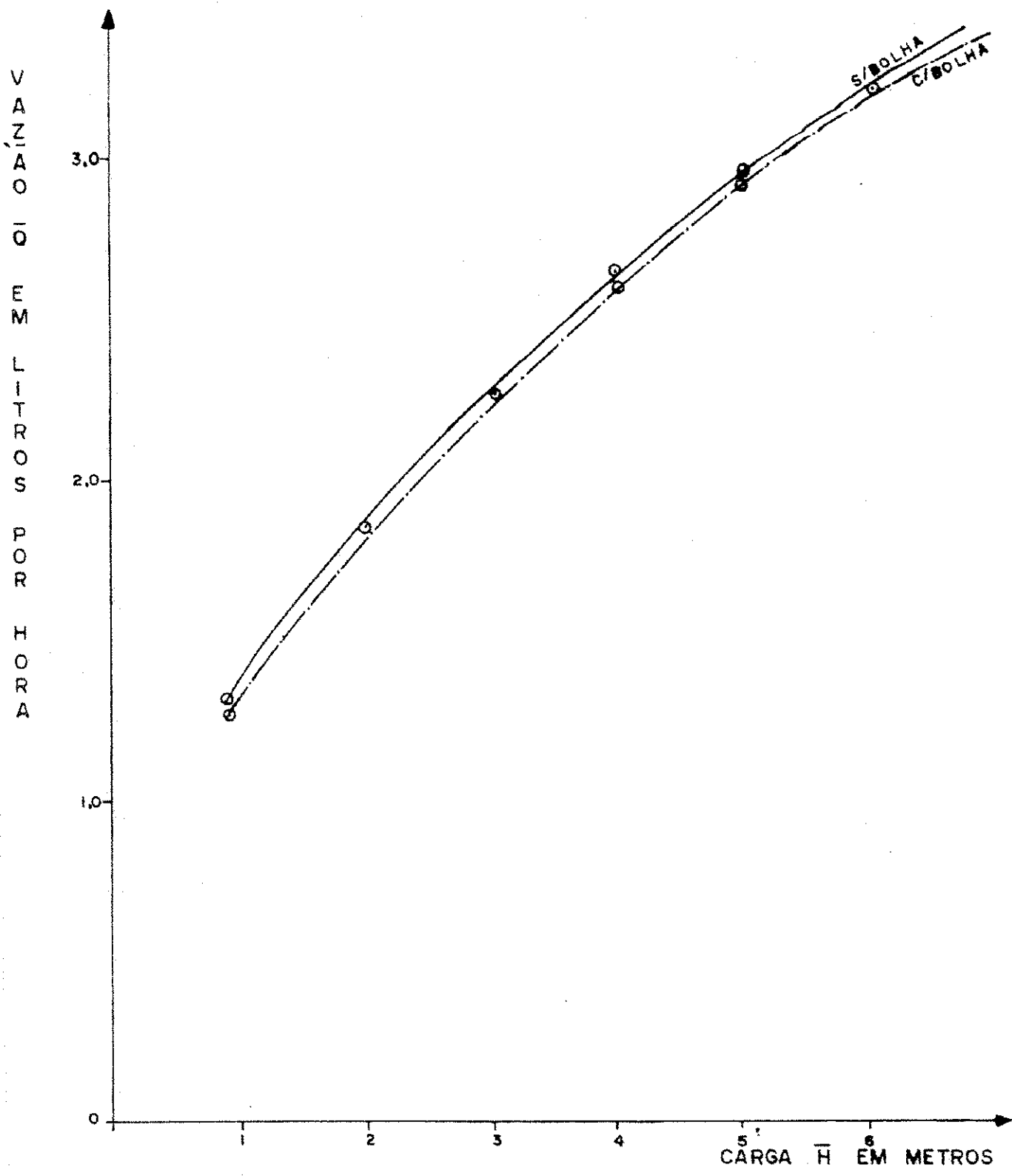


Figura: 15 - Relação pressão-vazão médias para o gotejador tipo III. Estudo da influência das bôlhas de ar.

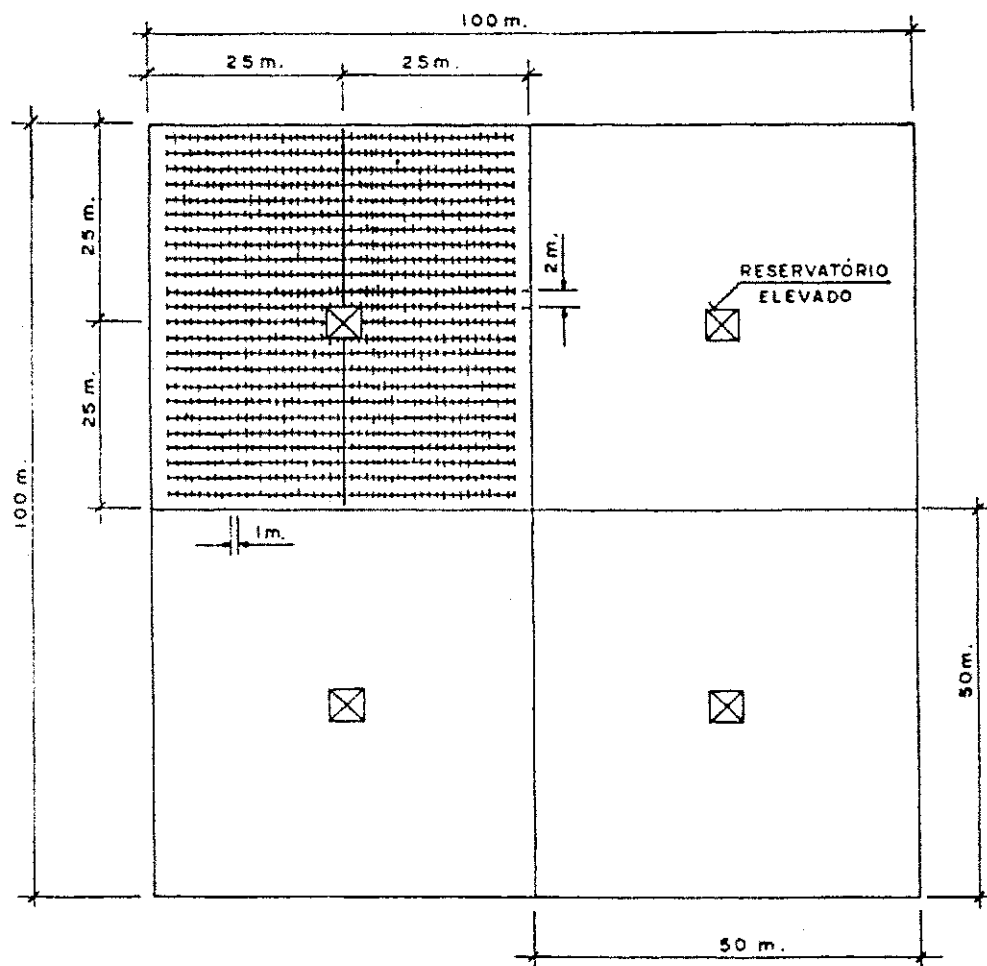


Figura: 16 - Esquema geral da disposição do sistema no campo.