

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

"CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBULAÇÕES LATERAIS DE  
MICROASPERSÃO, UTILIZANDO MICROTUBOS COMO DISSIPADORES DE  
ENERGIA".

Vera Lúcia Antunes de Lima  
Engenheira Agrícola

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MARÇO - 1991

VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA

"CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBULAÇÕES LATERAIS DE MICROASPERSÃO, UTILIZANDO MICROTUBOS COMO DISSIPADORES DE ENERGIA".

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS  
SUB-ÁREA: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO  
ORIENTADORES: HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO E  
FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES  
SAMPAIO - DEAg/UFPb

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MARÇO - 1991



L732c Lima, Vera Lucia Antunes de  
Caracterizacao hidraulica de tubulacoes laterais de  
microaspersao, utilizando microtubos como dissipadores de  
energia / Vera Lucia Antunes de Lima. - Campina Grande,  
1991.  
111 f.

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

1. Irrigacao por Aspersao 2. Hidraulica Agricola 3.  
Irrigacao Agricola 4. Microaspersao - 5. Dissertacao I.  
Azevedo, Hamilton Medeiros de, M.Sc. II. Sampaio, Francisco  
Monte Alverne de Sales, M.Sc. III. Universidade Federal da  
Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Titulo

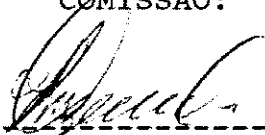
CDU 626.845(043)

"CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBULAÇÕES LATERAIS DE MICROASPERSÃO, UTILIZANDO MICROTUBOS COMO DISSIPADORES DE ENERGIA".

VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA  
ENGENHEIRA AGRÍCOLA

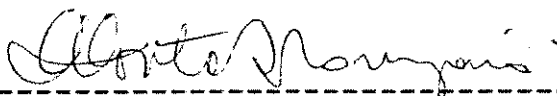
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26 / 03 / 91

COMISSÃO:



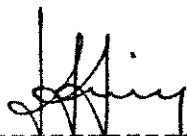
-----  
HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - M.Sc.

PRESIDENTE



-----  
FRANCISCO MONTE ALVERNE DE S. SAMPAIO - M.Sc.

EXAMINADOR



-----  
LUIZ ANTONIO LIMA - Ph.D.

EXAMINADOR

CAMPINA GRANDE - PB

Aos meus pais SEVERINO e MARGARIDA,  
incansáveis na luta pelo Desenvolvimento  
Cultural e Moral de seus filhos.

MINHA HOMENAGEM.

A BIANCA, pelo apoio recebido durante  
a execução deste trabalho.

E a minha filha NAIARA.

DEDICO.

**AGRADECIMENTOS**

Ao professor HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO, que orientou este trabalho de forma objetiva, dedicada e solidária.

Aos professores FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES SAMPAIO e NORMA CESAR DE AZEVEDO e ao pesquisador LUIZ ANTONIO LIMA - CANDE, pelo apoio, sugestão e revisão final deste trabalho.

A sociedade brasileira, através do PRONI/CNPq, pelo suporte financeiro.

Ao Empresário EDMILSON MARCONDES DOS SANTOS, pela doação dos microaspersores "Jatíssimo".

A ABDON SILVA MEIRA FILHO, MARIO SÉRGIO DE ARAÚJO e THOMÁS HENRIQUE DE A. ALMEIDA, pela valiosa contribuição, na fase de testes de laboratório.

A todos os funcionários do Laboratório de Engenharia de Irrigação (DEAg/UFPB) pelo incentivo e colaboração.

A coordenação e professores do curso de Pós-graduação, pela valiosa colaboração na formação profissional e científica.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, pela amizade e companheirismo.

Enfim, aos amigos, colegas, professores e funcionários, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# ÍNDICE

PÁGINA

LISTA DE TABELAS .....	ii
LISTA DE FIGURAS .....	iii
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA .....	3
1 - HISTÓRICO .....	3
2 - GENERALIDADES .....	4
3 - MICROASPERSÃO .....	7
4 - MOVIMENTO DOS FLUIDOS EM TUBULAÇÕES .....	9
5 - PERDAS MENORES EM CONDUTOS FECHADOS .....	21
6 - EMISSORES .....	24
7 - UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO .....	33
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
1 - EMISSORES .....	38
1.1- Classificação do emissor quanto ao regime de fluxo .....	41
1.2- Equação de vazão .....	43
1.3- Coeficiente de variação de	

fabricação .....	44
1.4- Raio efetivo .....	45
1.5- Coeficiente de uniformidade de Christiansen .....	45
1.6- Determinação do diâmetro interno do microtubo .....	47
 2 - LATERAIS .....	 49
2.1- Projeto hidráulico .....	49
2.2- Perda de carga .....	50
2.3- Distribuição das pressões na lateral .....	53
2.4- Comprimento do microtubo .....	55
2.5- Aferição dos resultados obtidos no dimensionamento das laterais pela metodologia proposta .....	57
 <b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	 58
 1 - EMISSORES .....	 58
1.1- Diâmetro do microtubo .....	58
1.2- Regime de fluxo .....	58
1.3- Curva vazão versus pressão .....	60
1.4- Coeficiente de variação de fabricação .....	64
1.5- Raio efetivo médio molhado .....	66
1.6- Coeficiente de uniformidade de Christiansen .....	66



2 - LATERAIS .....	67
2.1- Dimensionamento hidráulico das laterais .....	67
2.2- Aferição dos resultados obtidos no dimensionamento das laterais pela metodologia proposta .....	70
<b>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>96</b>

LISTA DE TABELAS

TABELAS	PÁGINA
4.1 - Determinação de diâmetros dos microtubos pesquisados no mercado .....	59
4.2 - Valores do expoente "x" e do parâmetro "Kd" da relação vazão versus pressão e equação característica para o emissor com microtubos de 1,0; 0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 m de comprimento e para o microaspersor original .....	64
4.3 - Raio efetivo médio molhado e espaçamento com 8 % de recobrimento e sem recobrimento para os microaspersores operando às pressões de 25, 20 e 15 mca .....	66
4.4 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para o microaspersor operando a diferentes pressões e percentagem de recobrimento da lateral .....	67
4.5 - Comprimento e perdas de carga de laterais dimensionadas para operar com emissor tipo microaspersor e emissor tipo microaspersor/microtubo .....	69

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURAS	PÁGINA
2.1 - Padrão típico de umidade do solo sob Irrigação Localizada - Bulbo Úmido .....	6
2.2 - Sistema típico de Irrigação Localizada .....	8
2.3 - Alturas de energia e perda de carga no escoamento em um tubo .....	11
2.4 - Distribuição de vazão e pressão ao longo de uma linha de Irrigação Localizada .....	12
2.5 - Linha do gradiente de pressão para tubulações com múltiplas saídas .....	14
2.6 - Variação de pressão ao longo de uma linha lateral .....	16
2.7 - Diagrama de MOODY para coeficiente de resistência com escoamento uniforme em tubos circulares .....	22
2.8 - Relação entre a variação de vazão e mudanças de pressão para emissores com vários expoentes de descarga .....	28
2.9 - Bulbos úmidos formados em solo arenoso homogêneo por emissor comum e por emissor do tipo aerosol .....	32
3.1 - Croqui do sistema hidráulico com capacidade	

manométrica de 30mca, usado nos testes realizados em ambiente fechado ..... 39

3.2 - Croqui do sistema hidráulico com capacidade manométrica de 80mca, usado nos testes realizados na parte externa do laboratório ..... 40

3.3 - Emissores - a)Microaspersor "Jatíssimo" com haste original e b)Microaspersor/ microtubo ..... 42

3.4 - Distribuição dos pluviômetros para obtenção do raio efetivo molhado do emissor ..... 46

3.5 - Disposição e dimensões dos pluviômetros, peças e acessórios usados nos testes para determinação de uniformidade de distribuição do emissor ..... 48

3.6 - Perda de carga localizada provocada pela inserção do emissor, medida em comprimento equivalente de lateral ..... 52

4.1 - Representação no diagrama de MOODY do coeficiente de atrito do emissor ( microaspersor/microtubo ) para os comprimentos de microtubo de 0,6 e 1,0 m ..... 61

4.2 - Representação no diagrama de MOODY do coeficiente de atrito do emissor ( microaspersor/microtubo ) para os comprimentos de microtubo de 0,4; 0,5 e 0,8 m ..... 62

4.3 - Comprimento do microtubo por trecho da lateral A .....	72
4.4 - Comprimento do microtubo por trecho da lateral B .....	73
4.5 - Distribuição da pressão por trecho da lateral A .....	75
4.6 - Distribuição da pressão por trecho da lateral B .....	76

**RESUMO**

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de utilizar microtubos como condutos de ligação do microaspersor "Jatíssimo" à lateral e como mecanismo dissipador de energia. O controle da variação de pressão teve como base a compensação das perdas de carga na lateral, com a variação dos comprimentos dos microtubos distribuídos na lateral em trechos. Tomou-se como critério para definição desses trechos, uma variação de pressão igual a 20 %, entre seus extremos. Foram realizados testes com o microaspersor e com o emissor formado pelo conjunto "microaspersor/microtubo", operando isoladamente; e com o emissor instalado em laterais. Os testes permitiram concluir que os emissores tem regime de escoamento, variando na faixa de turbulento a totalmente turbulento; são excelentes do ponto de vista do processo de fabricação; e o coeficiente de distribuição de Christiansen determinado sobre a superfície não é um bom parâmetro para avaliar a distribuição de água do microaspersor.

O uso do microtubo proporcionou boa uniformidade de distribuição de vazão dos microaspersores e possibilitou um aumento de 48% no comprimento da tubulação lateral, com os emissores espaçados de 1,5 m e de 50% com os emissores espaçados de 2,0 e 2,5 m.

**ABSTRACT**

This study was conducted to investigate the use of tubes of small diameter as energy dissipators for controlling flow rate through microsprinklers. The length of microtube varied accordingly to its position along the lateral. As commonly used by Irrigation Engineers, The pressure variation allowed on lateral was at most 20% .

The flow rate of microsprinklers was analyzed using either 4 mm microtubes of equal length or 1.75 mm diameter microtubes of different lengths. The results obtained allowed to conclude that the regime through tubes of small diameter is turbulent; the coefficient of variation of microsprinklers tested was low (3% and 0,5 %), being classified according to ASAE guidelines as excellent; the use of Christiansen coefficient is not appropriate for this microsprinklers since in practice there is no overlap of watter distribution in the field; and finally, dissipators was highly improved, allowing the increase on lateral of as much as 50 % . Such finding can be extremely important for cost reduction of irrigation projects.

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A tecnologia da Irrigação Localizada tem provocado grandes mudanças no desenvolvimento da irrigação nos últimos anos, devido, sobretudo, ao aperfeiçoamento do material utilizado e aos resultados das pesquisas realizadas.

Ainda que desenvolvida, inicialmente, como um sistema de alto custo e tecnologia sofisticada para ser aplicada na irrigação de culturas altamente rentáveis, principalmente, em países desenvolvidos, a Irrigação Localizada vem despontando como uma técnica capaz de conservar e maximizar o uso de reservas de água em países, onde a escassez de recursos hídricos é acentuada.

Os sistemas de Irrigação Localizada são fixos e requerem um extenso reticulado de tubulações: principais, secundárias, terciárias e laterais. O sistema ideal deverá irrigar uniformemente, isto é, a vazão dos emissores deverá ser a mesma ao longo de toda área.

O projeto hidráulico das tubulações dos sistemas de Irrigação Localizada é baseado na variação de pressão da água determinada pela energia perdida por fricção e pela energia ganha ou perdida devido ao desnível das tubulações. Essas variações influenciam diretamente a vazão dos emissores.

Muitos emissores têm sido, especialmente, projetados para



minimizar os efeitos da variação de pressão, entretanto, os custos do processo de fabricação e/ou instalação desses emissores são elevados. Por outro lado, o emprego de microtubos constitui-se numa alternativa de baixo custo, como também capaz de minimizar os efeitos das variações de pressão de serviço dos emissores. Para tanto, segundo as equações de perda de carga por fricção, dois itens são importantes: o diâmetro e o comprimento do microtubo, cujo dimensionamento apropriado provocará uma perda de carga capaz de alterar a vazão de cada emissor.

Pesquisas realizadas por KENWORTHY (1972), usando microtubos de comprimento variado como emissores e MYERS & BUCKS(1974), usando o mesmo tipo de emissor com comprimento e diâmetro variados apresentaram bons resultados de uniformidade de vazão ao longo da lateral.

Os objetivos desta pesquisa foram: utilizar microtubos como condutos de ligação de microaspersores à lateral, para dissipar a energia, possibilitando, portanto, o controle da variação de pressão na lateral, variando o comprimento do microtubo; permitir maior perda de carga admissível ao longo da lateral, e com isto aumentar o comprimento de lateral para cada diâmetro, diminuindo, conseqüentemente, o número de terciárias nos projetos.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1 - HISTÓRICO

A Irrigação Localizada, de acordo com KELLER & KARMELI (1975), foi desenvolvida originalmente como irrigação subsuperficial. O primeiro experimento, conduzido na Alemanha em 1860, combinou irrigação com um sistema de drenagem usando tubos de argila.

Em 1920, com a introdução do tubo perfurado na Alemanha e dos tubos porosos nos EUA, conforme citam BUCKS & DAVIS (1986), os experimentos evoluíram no desenvolvimento de sistemas de tubos perfurados de vários materiais e no comportamento do fluxo d'água destes tubos para o solo.

KELLER & KARMELI (1975), reportam que o desenvolvimento dos tubos de plástico perfurados são os responsáveis pelos sistemas de Irrigação Localizada em uso na atualidade.

De acordo com BAAR (1976), a Inglaterra introduziu o primeiro sistema de Irrigação Localizada em 1940. KELLER & KARMELI (1975), informam que este sistema foi desenvolvido especialmente para uso em casas de vegetação, a fim de prover a água de irrigação e fertilização em um mesmo sistema.

Em 1950, conforme KELLER & KARMELI (1975), um passo significativo

na evolução da Irrigação Localizada ocorreu em Israel, com o desenvolvimento dos emissores de longo percurso. Desde os anos 60 a Irrigação Localizada vem se desenvolvendo em todos os aspectos, e usada, extensivamente, em vários países do mundo tais como: África do Sul, Austrália, Israel, Japão e vários países da Europa. Segundo TELLES (1985), no Brasil, a Irrigação Localizada vem sendo aplicada em ritmo crescente, com maior destaque para o gotejamento seguido da microaspersão.

## 2 - GENERALIDADES

A Irrigação Localizada compreende um grupo de sistemas de irrigação caracterizados pela aplicação da água a intervalos frequentes, e por longo período de tempo, na superfície do solo ou abaixo dele, molhando apenas parte do volume ocupado pelo sistema radicular da cultura.

Consoante com KENWORTHY (1972), a Irrigação Localizada baseia-se no princípio de que o melhor uso dos recursos hídricos disponíveis e o melhor desempenho das culturas poderão ser obtidos em se evitando qualquer déficit de água, mantendo sempre condições favoráveis de umidade no volume de solo ocupado pela porção mais ativa do sistema radicular das culturas.

Rawlins & Raats (1975), citados por SCALLOPI (1986), reportam que a manutenção de elevados níveis de água no solo, decorrente de um regime de alta frequência de irrigação, contribui para um melhor desempenho das culturas, particularmente, àquelas mais sensíveis à

deficiências hídricas, e às condições de solo e água salinos.

A Irrigação Localizada abrange, em princípio, um conjunto de métodos que promovem o umedecimento de uma parte do solo, particularmente ao pé da planta, na região das raízes. BUCKS & DAVIS (1986), apresentam seis tipos básicos de sistemas de Irrigação Localizada (definidos em termos de método de instalação, vazão do emissor, área superficial do solo molhada ou modo de operação ), SUPERFICIAL, SUBSUPERFICIAL, BORBULHAMENTO, SPRAY, MOVIMENTO MECANICO E PULSANTE.

Nestes sistemas, a água é conduzida ao solo, filtrada e " ocasionalmente ", fertilizada, através de peças especiais denominadas emissores ou aplicadores. SCALOPPI (1986), distingue quatro grupos de emissores: GOTEJADORES, JATOS PULSANTES, MICROASPERORES E TUBULAÇÕES PERFURADAS OU POROSAS, operando à pressão que varia de 5 a 30 mca. O processo de aplicação da água ao solo é lento a vazões em torno de 4 l/h, por um período de tempo suficiente para manter um alto teor de umidade, próximo a capacidade de campo, em um volume de solo umedecido, denominado bulbo úmido, Figura 2.1. CABELLO (1986) e SCHWARTZMAN (1987), concordam que a geometria do bulbo úmido é influenciada pelas propriedades do solo, vazão do emissor, tempo de irrigação e quantidade total de água no volume de solo umedecido.

KELLER & KARMELI (1975), reportam que os sistemas de Irrigação Localizada requerem mais cuidados com filtragem, fertilização e práticas de manutenção do que os outros sistemas de irrigação. Para HOLZAPFEL et al (1990), os sistemas de Irrigação Localizada

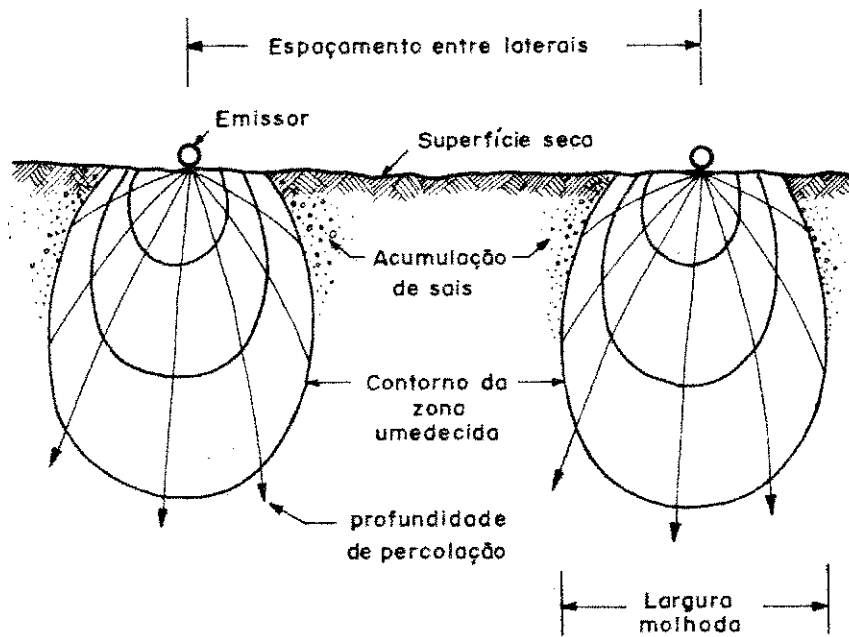


FIGURA 2.1: Padrão típico de umidade do solo sob Irrigação Localizada - Bulbo úmido ( KELLER & KARMELI - 1975 )

foram originariamente introduzidos para irrigar culturas altamente produtivas, ou pomares em áreas onde a água era escassa e cara. Atualmente, estes sistemas estão sendo usados também para irrigar uma quantidade extensa de culturas onde há abundância de água. Apesar disso, a utilização desses sistemas continua sendo mais proveitosa quando usados em áreas de topografia acidentada, solos pobres e/ou escassez de água.

Os componentes básicos dos sistemas de Irrigação Localizada incluem : bomba, injetor de fertilizante, filtros, tubulações, emissores e outros equipamentos de controle e monitoramento, Figura 2.2.

As tubulações ou linhas são divididas em três tipos: principal, terciária e lateral. A principal faz a conexão e transferência de água do cabeçal de controle à terciária. A terciária conecta e abastece a lateral, onde são instalados os emissores, em um ou dois lados. O conjunto formado por uma terciária e laterais definem uma unidade de área que é irrigada simultaneamente.

### 3 - MICROASPERSÃO

A Microaspersão, de acordo com TELLES (1985), é um sistema de irrigação onde a água é aspergida localmente por microaspersores em pequenos círculos ou setores junto ao pé da planta. Para OLLITA (1986), a microaspersão tem a grande vantagem da visualização fácil do funcionamento do sistema, além de cobrir uma área molhada maior que o gotejamento, indicada portanto, para solos de textura grosseira e /ou plantas mais desenvolvidas.

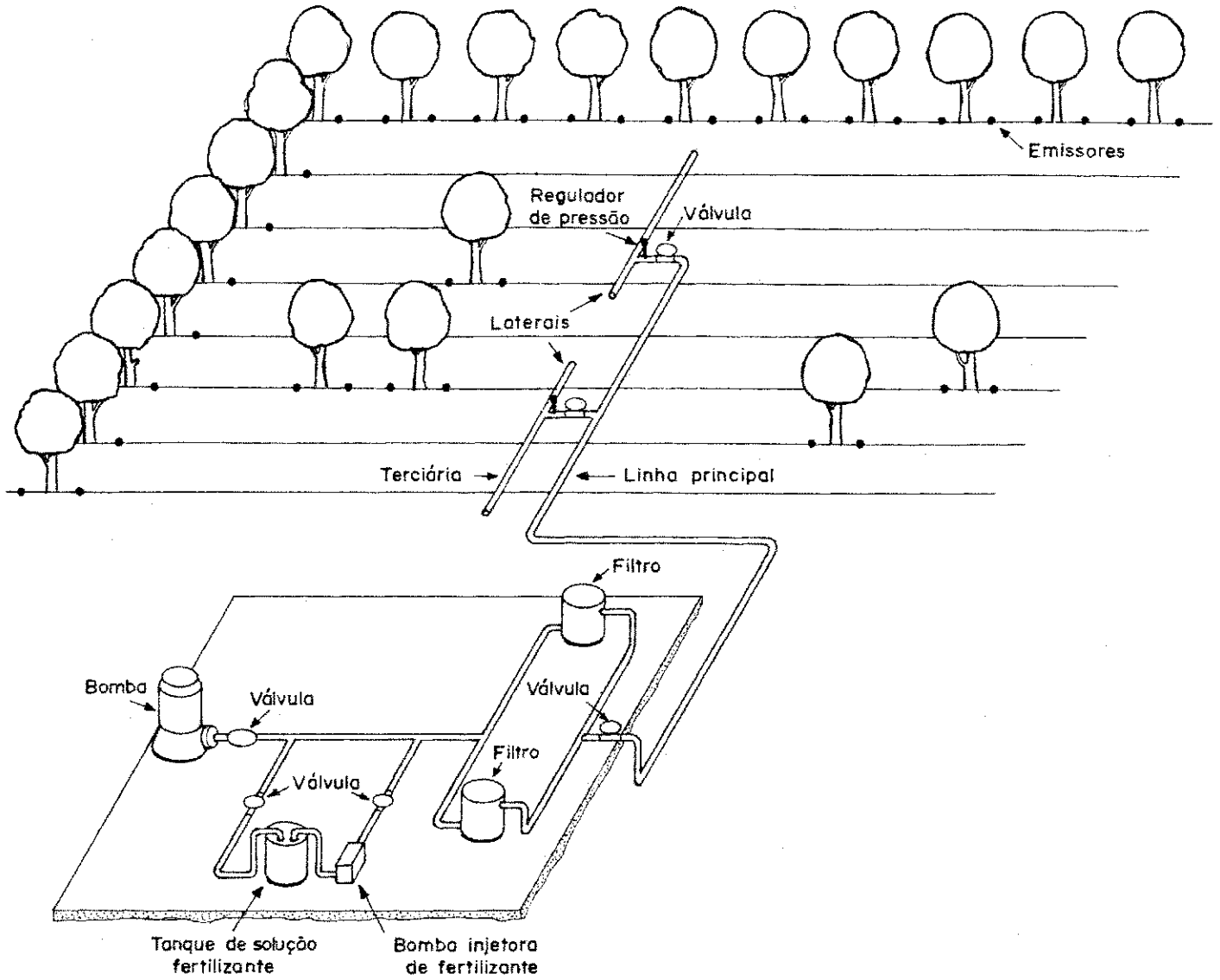


FIGURA 2.2: Sistema típico de Irrigação Localizada ( HOWELL et al 1981 ).

Na opinião de SCALOPPI (1986), as vazões obtidas com a microaspersão são altas, quando comparadas com outros sistemas de Irrigação Localizada e variam entre 20 e 200 l/h, com valores modais de 70 e 120 l/h. Para ABREU et al (1987), este sistema de irrigação que utiliza o ar como meio de distribuição da água, apesar de trabalhar com emissores de pequenos diâmetros, exige menos rigor na filtragem da água e noutros tipos de manutenção.

#### 4 - MOVIMENTO DOS FLUIDOS EM TUBULAÇÕES

O escoamento de líquidos em tubulações de acordo com NEVES (1960), GANZER NETO (1978) e HWANG (1984) se apresenta com energia sob três formas básicas: energia cinética, de pressão e potencial.

Os termos  $v^2/2g$ ,  $P/w$  ou  $h$  e  $z$  representam por unidade de peso do líquido, respectivamente a energia devida a sua velocidade (energia cinética), energia devida a pressão dinâmica (energia de pressão); e a energia devida à sua posição acima de um plano de referência (energia potencial).

Estas formas de energia, cuja grandeza tem dimensão linear, são denominadas carga. A soma das cargas chama-se carga total ou energia total

$$H = v^2/2g + P/w + z \quad \text{Eq 2.1}$$

e define a altura " H " acima do plano de referência, denominado



plano de carga total.

A Equação 2.1 da energia total escrita para o fluxo de um líquido ideal entre duas seções de uma tubulação é

$$H = v_1^2 / 2g + P_1/w + z_1 = v_2^2 / 2g + P_2/w + z_2 + h_p \quad \text{Eq 2.2}$$

Conhecida como equação de BERNOULLI. O termo "  $h_p$ " da Equação 2.1 é denominado perda de carga, e representa a energia perdida pelo líquido entre as duas seções consideradas, para vencer a resistência ao movimento.

Para o fluxo de um líquido ideal, a energia total na seção 01 é igual à energia total na seção 02 mais a perda de energia, devido à fricção entre as duas seções Fig 03. Define-se como linha piezométrica ou linha de gradiente hidráulico, a linha que une os extremos das alturas  $(z + P/w)$  e linha de energia total, a linha que une os extremos das alturas  $(z + P/w + v^2/2g)$ .  $h_p$  representa o abaixamento da linha de energia total ao longo da trajetória Figura 2.3.

O movimento de um fluido em tubulações com múltiplas saídas, característica dos sistemas de Irrigação Localizada, é, concorde com WU & GITLIN ( 1973,1974), WU et al (1986) e WARRICK & YITAYEW (1988), uniforme e variado, especialmente, com as vazões distribuídas pelos emissores ao longo das laterais. Figura 2.4. O fluxo nas linhas lateral, terciária e principal decresce na direção do escoamento do fluido.

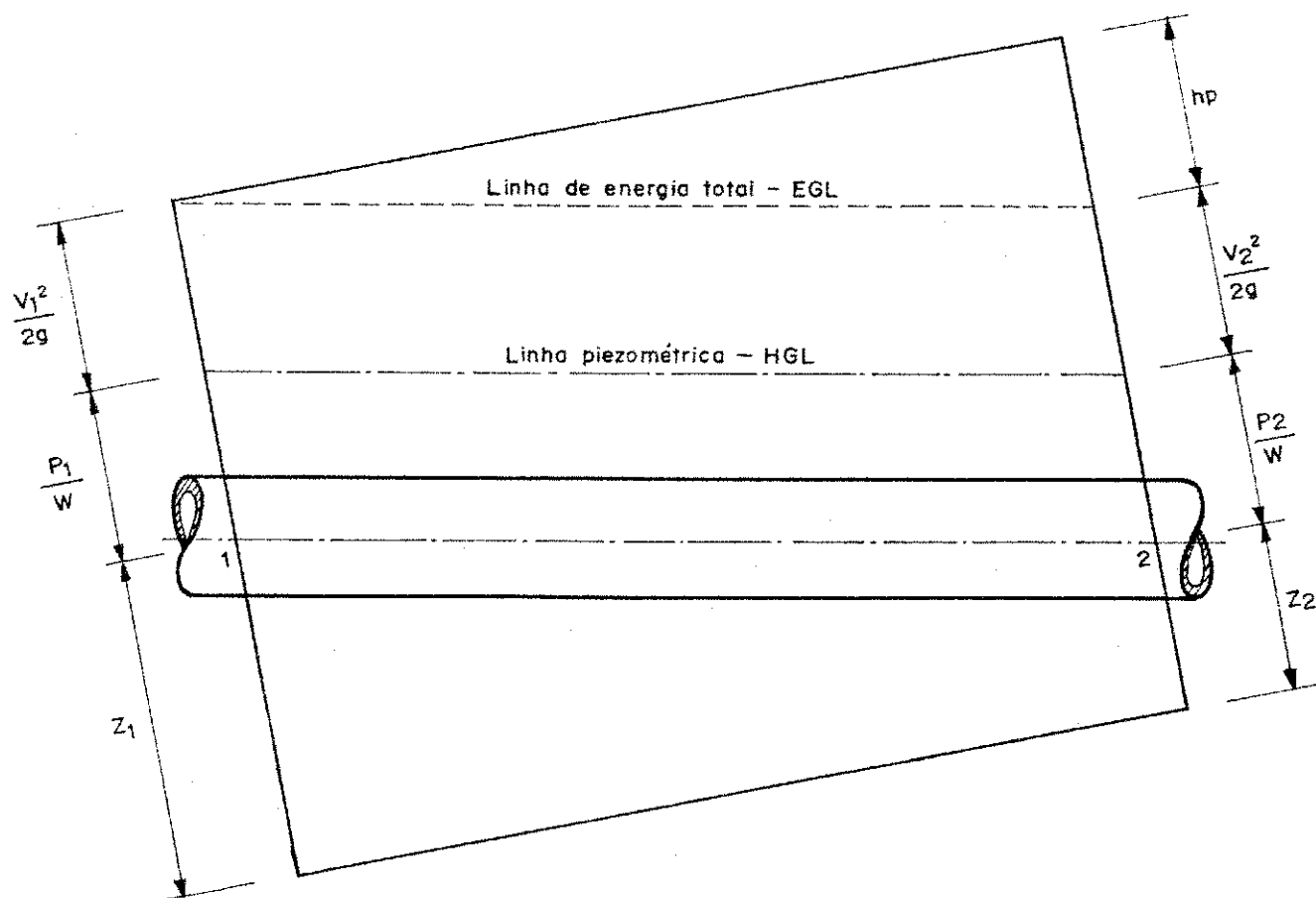


FIGURA 2.3: Alturas de energia e perda de carga no escoamento em um tubo ( HWANG - 1984 ).

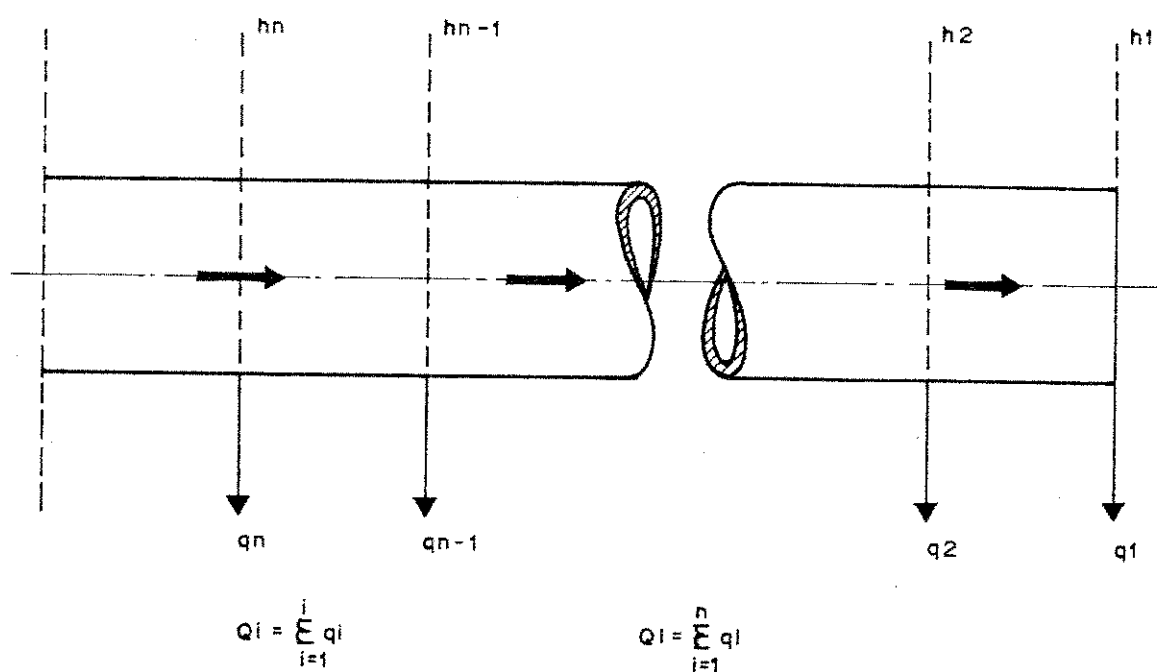


FIGURA 2.4: Distribuição de vazão e pressão ao longo de uma linha de Irrigação Localizada (WU & GITLIN - 1973 ).

Devido à variação das vazões nas tubulações, a linha do gradiente de energia não será uma linha reta como na Figura 2.3, mas uma curva do tipo exponencial como mostra a Figura 2.5.

De acordo com WU & GITLIN (1974), obtem-se a variação da energia ao longo das tubulações derivando-se a equação da energia total, Equação 2.1, em relação ao comprimento " l " das linhas.

$$dH/dl = d ( v^2/2g)/dl + dh/dl + dz/dl \quad \text{Eq 2.3}$$

Considerando que a vazão dos emissores é baixa, a variação da energia de velocidade em relação ao comprimento é pequena e negligenciável. Portanto, a equação da energia pode ser reduzida para

$$dH/dl = dh/dl + dz/dl \quad \text{Eq 2.4}$$

ou

$$dh/dl = dH/dl - dz/dl \quad \text{Eq 2.5}$$

A Equação 2.4 mostra que a variação de pressão ao longo das tubulações é uma combinação linear da curva do gradiente de energia "dH/dl" e a linha de declividade "dz/dl", isto é, a distribuição da pressão ao longo de uma tubulação dos sistemas de Irrigação Localizada é controlada pela energia perdida por fricção e pelo ganho ou perda de energia devido à declividade. A distribuição das pressões, conforme WU & GITLIN ( 1973,1974 ),

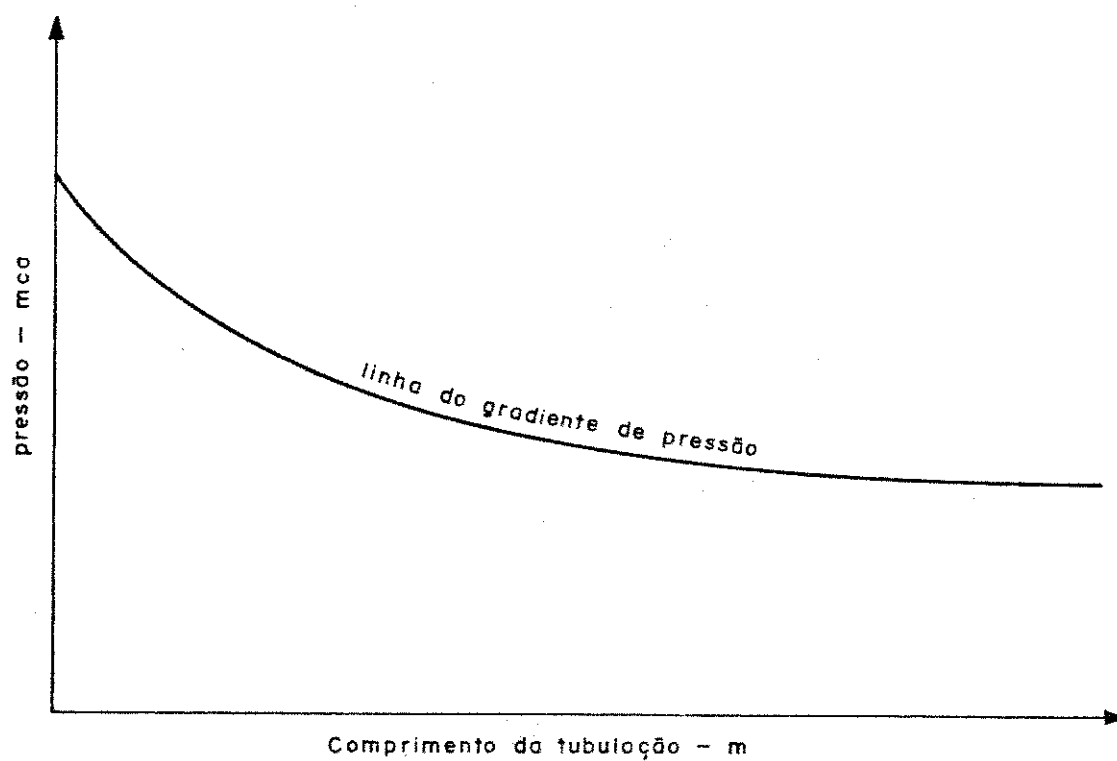


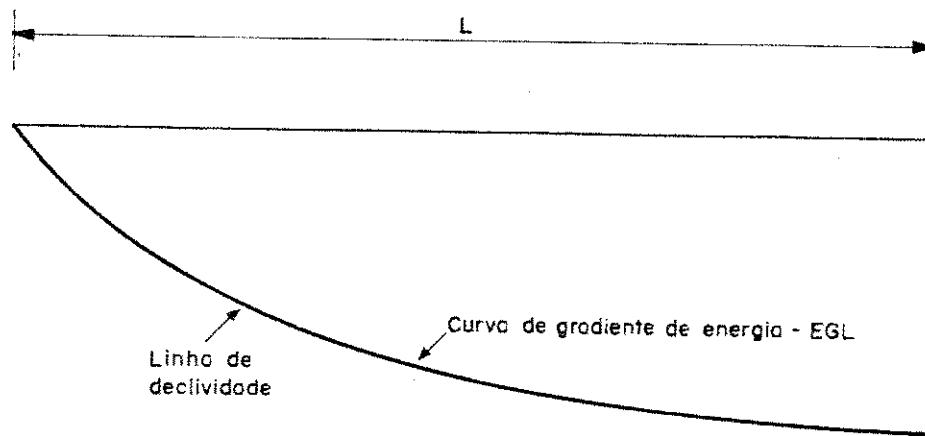
FIGURA 2.5: Linha do gradiente de pressão para tubulações com múltiplas saídas (WU & GITLIN - 1973).

influenciará o fluxo das terciárias para as laterais e destas para os emissores.

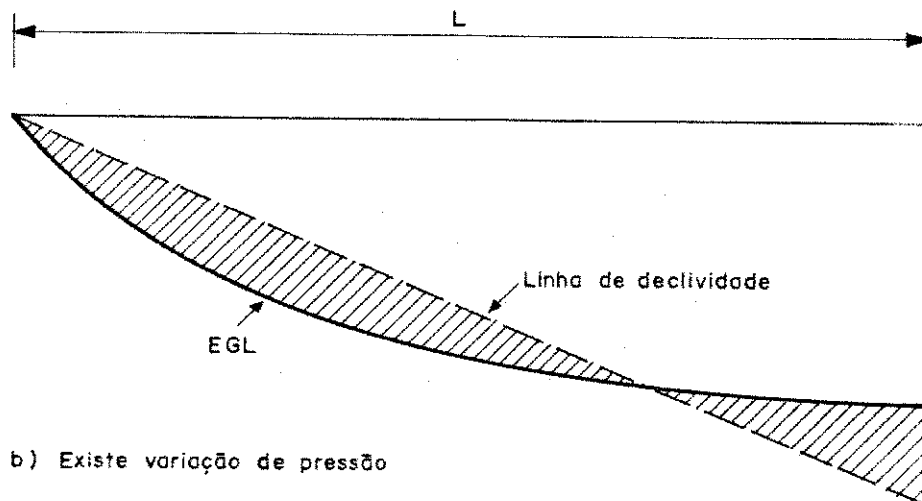
A Figura 2.6, de WU (1983), mostra que se a linha do gradiente de energia "EGL" coincide com a linha de declividade (Fig 06 - a), não existirá variação de pressão ao longo da tubulação, se estas duas linhas não coincidem haverá variação (Fig 06 - b). A área formada entre "EGL" e a linha de declividade representa a variação de energia da pressão operante. Quando a área está acima da "EGL", a perda de energia por fricção é maior que o ganho devido à declividade, havendo decréscimo de pressão. Quando a área está abaixo da "EGL", a perda de energia por fricção é menor que o ganho devido à declividade, havendo um aumento de pressão.

A luz de SILVA (1987), vários pesquisadores desenvolveram modelos matemáticos que estimam o perfil da linha de distribuição de pressão para tubulações laterais, como Wu & Gitlin (1974), cujo modelo se baseia numa vazão uniforme para cada emissor; Watters & Keller (1978), que apresentam um modelo onde a variação de pressão incorpora o efeito das perdas provocadas pela inserção dos emissores, e Gilliespie et al (1979) que determinaram o perfil das curvas de distribuição de pressão em função das perdas de carga por atrito e das variações nas declividades do terreno.

Embora existam várias equações que podem ser usadas para avaliar as perdas de carga "  $h_p$  ", a fórmula mais usada no cálculo das perdas de pressão devido à fricção dos fluidos no escoamento em tubos é a Equação 2.6, de DARCY-WEISBACH, recomendada por WATTERS & KELLER (1978), que pode ser escrita da seguinte forma:



a) Não existe variação de pressão



b) Existe variação de pressão

FIGURA 2.6: Variação de pressão ao longo de uma linha lateral (WU - 1983).

$$h_p = f(l/d) * (v^2/2g) \quad \text{Eq 2.6}$$

Onde:

- f- fator de fricção;
- l- comprimento da passagem do fluxo;
- d- diâmetro da passagem do fluxo;
- v- velocidade do fluxo;
- g- aceleração da gravidade.

O fator de fricção " f ", da equação de DARCY-WEISBACH, é adimensional e segundo KAMAND (1988), varia de acordo com as condições de fluxo e com a rugosidade do tubo.

Reynolds em 1883, conforme informa GARCEZ (1970), observando os caracteres do movimento dos fluidos em condutos, indicou a existência de dois tipos distintos de movimento: LAMINAR e TURBULENTO.

Na concepção de STREETER (1974), no escoamento laminar, o fluido se move em camadas, havendo somente troca de quantidade de movimento molecular, enquanto, no escoamento turbulento, as partículas fluidas têm movimento errático, com uma grande quantidade de movimento transversal.

O violento intercâmbio das partículas de fluido na turbulência tende a eliminar quaisquer desigualdades de concentração dentro do fluido, tais como: salinidade, temperatura, tinta corante ou concentração de sedimentos.



A natureza de um escoamento, se é LAMINAR ou TURBULENTO, e sua posição relativa numa escala de turbulência, é indicada pelo número de Reynolds " Re ", Equação 2.7. GARCEZ (1970), reporta que Reynolds em 1883 demonstrou que, nas mesmas circunstâncias qualitativas pode ocorrer um ou outro regime, desde que elementos característicos do movimento (velocidade, viscosidade, diâmetro do conduto) estejam acima ou abaixo de alguns valores críticos.

$$Re = VD/v$$

Eq 2.7

Onde:

Re- número de Reynolds;

D- diâmetro do conduto;

V- velocidade de translação da massa líquida;

v- coeficiente de viscosidade.

Pode-se distinguir os dois regimes. Para Re variando no intervalo de:

Re < 2000 o regime é sempre laminar;

Re > 12000 o regime é sempre turbulento;

2000 < Re < 12000 é possível a existência de um ou outro regime na dependência de certas peculiaridades do escoamento.

KELLER & KARMELI (1975), apresentam uma equação simplificada para

determinar o número de Reynolds em função da vazão e da seção transversal do fluxo de tubulações laterais.

$$Re = K q / d \quad \text{Eq 2.8}$$

Onde:

K- é uma constante igual a  $1,26 * 10^6$  para unidades métricas;

q- vazão do emissor, l/s;

d- diâmetro da seção transversal ao fluxo, mm.

e definem quatro regimes de fluxo como função de Re.

$Re < 2000$  regime de fluxo laminar;

$2000 < Re < 4000$  regime de fluxo instável;

$4000 < Re < 10000$  regime de fluxo parcialmente turbulento;

$Re > 10000$  regime de fluxo totalmente turbulento.

Quanto ao fator " f " da equação de DARCY-WEISBACH, os autores tecem as seguintes considerações:

- quando o regime é laminar, "f" é proporcional a  $1/Re$  e diminui com o aumento de Re, essa relação independe da rugosidade da superfície do tubo. O Re é muito sensível a mudanças de temperatura, que causam diferenças significativas no fluxo, enquanto atravessam laterais e terciárias;

- no regime instável, ambos coeficiente de fricção e vazão, são instáveis, nesta faixa de Re, "f" é imprevisível;
- no regime de fluxo parcialmente turbulento o coeficiente de atrito depende, primariamente, da rugosidade relativa do tubo, variando muito pouco com as mudanças de Re, e é quase independente da temperatura. No regime de fluxo totalmente turbulento, o coeficiente de fricção tem um valor constante relacionado somente com a rugosidade relativa do tubo de abastecimento, independente de Re.

NEVES (1960), WATTERS & KELLER (1978), HOWELL et al(1981), VON BERNUTH & SOLOMON (1987) e outros autores apresentam as seguintes equações para determinar o fator de atrito "f" em função do Número de Reynolds "Re".

Para " Re " menor que 2000, o valor de " f " é calculado pela Equação e para valores de " Re " entre 4000 e 10000, " f " é calculado através da Equação 2.10.

$$f = 64 / Re \quad \text{Eq 2.9}$$

$$f = 0,316 Re^{-0.25} \quad \text{Eq 2.10}$$

A Equação 2.10, acima, é conhecida como equação de BLAUSIUS, e só se aplica a tubos lisos. De acordo com HWANG (1984) e GANZER NETO (1978), próximo à parede do tubo existe uma camada limite muito fina de escoamento em regime laminar, de espessura "S", isto ocorre mesmo que o regime de escoamento no tubo como um todo, seja

turbulento. No tubo hidraulicamente liso a rugosidade relativa " $e/D$ " é inferior à espessura da camada laminar " $\delta$ ", onde " $e$ ", representa o valor da rugosidade média da parede do tubo, e " $D$ ", o diâmetro do tubo. A Figura 2.7, conhecida como diagrama de MOODY, apresenta os valores de " $f$ ", como uma função de " $Re$ " e da rugosidade relativa " $e/D$ ".

Conforme GANZER NETO (1978) e WU et al (1987), as tubulações usadas na Irrigação Localizada tais como PVC e polietileno podem ser considerados tubos hidraulicamente lisos. Estudos realizados na UTAH STATE UNIVERSITY por WATTERS & KELLER (1987), apresentam resultados mostrando que a linha de tubos lisos no diagrama de MOODY, Figura 2.7, reflete exatamente as características de fricção destes tipos de condutos.

## 5 - PERDAS MENORES EM CONDUTOS FECHADOS

As tubulações usadas nos sistemas de Irrigação Localizada contêm conexões como joelhos, tês, válvulas, reduções, emissores (entradas e acessórios), que provocam certa turbulência local. GANZER NETO (1978) e KHATRI et al (1979), referem-se à dissipação do fluxo nas tubulações provocadas por estas turbulências locais como perda de carga ou dissipação de energia menor. Estas perdas de carga são normalmente inferiores às perdas de energia causadas pela fricção do fluido nas tubulações. Entretanto, se a tubulação considerada é relativamente pequena como um microtubo dissipador de energia, usado nos sistemas de Irrigação Localizada, estas perdas "menores" podem tornar-se "maiores" nas

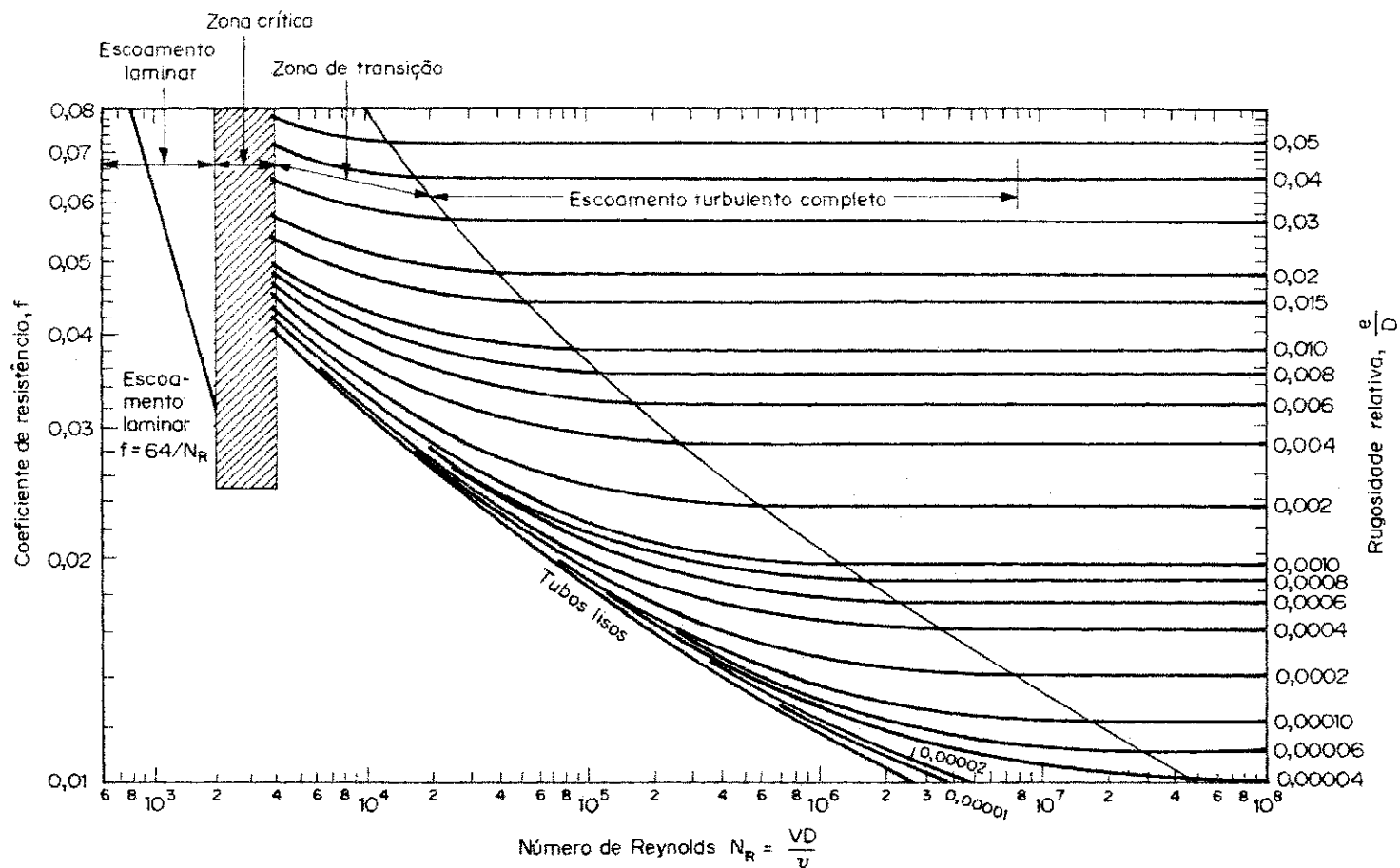


FIGURA 2.7: Diagrama de MOODY para coeficiente de resistência com escoamento uniforme em tubos circulares (HWANG - 1984).

tubulações. Para KHATRI et al (1979), estas perdas devem ser avaliadas isoladamente, quando se trabalha com microtubos dissipadores de energia, sobretudo para os regimes de transição e turbulento.

Geralmente, as perdas menores são resultantes de mudanças na direção e / ou magnitude da velocidade. Estas mudanças geram turbulência na qual a energia é dissipada como perda de carga.

O SOIL CONSERVATION SERVICE (1978), informa que as perdas provocadas pelos emissores resultantes de sua configuração e "design", ocorrem através de orifícios de pequenos diâmetros, série de orifícios, vórtex, tubos longos e curtos.

Conforme GANZER NETO (1978) e KHATRI et al (1979), as perdas de carga menores variam, aproximadamente, com a energia da velocidade do fluxo e são expressas na forma:

$$H_m = K_m v^2 / 2g \quad \text{Eq 2.11}$$

Onde:

$H_m$  - perda de carga menor, m

$K_m$  - coeficiente de perda menor, m

$v$  - velocidade média, m/s.

GANZER NETO (1978), expressando as perdas menores em termos de comprimento equivalente a uma linha reta sem obstruções, na qual a perda de carga poderia ocorrer, reescreveu a equação acima na forma:

$$K_m v^2/2g = f L_e v^2/D 2g \quad \text{Eq 2.12}$$

Onde:

$L_e$  - representa o comprimento equivalente. O valor de  $L_e$  depende do valor de "f" e, portanto, do valor de "Re" e da rugosidade do tubo.

Para as linhas laterais WATTERS & KELLER (1978), recomendam o uso da Equação 2.13, abaixo, para computar as perdas, devido à inserção de emissores na forma de comprimento equivalente.

$$L_1 = L(Se + Fe)/Se \quad \text{Eq 2.13}$$

Onde:

$L_1$  - o comprimento equivalente da lateral com emissores, m;

L - comprimento da lateral, m;

Se - espaçamento entre emissores conectados à lateral, m

Fe - fator de acréscimo na perda de carga, em comprimento equivalente, devido à inserção do emissor, m.

## 6 - EMISSORES

Os emissores são estruturas que permitem o fluxo da água do sistema para o solo, sob a forma de gotas, filetes de água, pequenos jatos ou borrifos em um ponto denominado ponto de

emissão.

Segundo KELLER & KARMELI (1975), os emissores devem ser projetados e manufaturados de forma que o produto final seja compacto, de baixo custo, pouco sensível a problemas de entupimento e forneça uma vazão baixa, constante e uniforme.

Na opinião de ABREU et al (1987), elevada uniformidade de fabricação, resistência à agressividade química e ambiental, estabilidade, da relação vazão versus pressão ao longo do tempo, pouca sensibilidade a mudanças de temperatura e reduzida perda de carga no sistema de conexão, são características básicas do emissor.

Segundo SCALOPPI (1986), os emissores operam a uma faixa de pressão, variando entre 5 e 30 mca, e para a maioria dos emissores a água flui à pressão atmosférica. BUCKS & DAVIS (1986), reportam que os emissores devem ter uma configuração ou desenho, possibilitando dissipar a diferença entre a pressão interna da lateral e a pressão atmosférica e, desta forma, distribuir uma vazão baixa e uniforme.

VON BERNUTH & SOLOMON (1986), afirmam que a energia é dissipada no emissor, como perda de carga num processo podendo ser explicado através da Equação 2.6 de DARCY-WEISBACH.

HOWELL et al (1981), classifica os emissores em cinco tipos: longo percurso, orifício, vortex, autocompensante, e tubos porosos. Enquanto WU et al (1986), apresentam a mesma classificação disposta em três tipos: longo percurso, orifício e



emissores especiais, tais como vortex, autocompensantes e tubos porosos.

O desempenho hidráulico do emissor segundo ABREU et al (1987), e VON BERNUTH & SOLOMON (1986), é determinado pelo expoente de emissão "x", que é uma medida da variação do fluxo de um emissor devido às mudanças de pressão; pelo coeficiente de variação de fabricação CV, que é uma medida da variação do fluxo causada pela variação no processo de fabricação, ou mesmo, pelo envelhecimento diferenciado de um emissor; e pela sensibilidade à temperatura, que é a dependência do fluxo do emissor à temperatura da água, mas especificamente a viscosidade cinemática da água.

O SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) e ABREU et al(1987), apresentam a Equação que relaciona a vazão do emissor com a pressão hidráulica.

$$q = kd h^x \quad \text{Eq 2.14}$$

Onde:

q - vazão do emissor, l/h;

kd- constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

h - pressão hidráulica à entrada da água no emissor, mca

x - expoente de emissão, parâmetro que caracteriza o fluxo de um emissor como uma função da pressão de operação.

KELLER & KARMELI (1975), reportam que o expoente "x" caracteriza

o regime de fluxo e a relação vazão versus pressão do emissor, de modo que :

$0 < x < 0,5$  o regime de escoamento varia de turbulento a totalmente turbulento. Para "x" nesta faixa a vazão será menos afetada pela variação de pressão (emissores autocompensantes  $x = 0$ , emissores ou sprayers vortex "x" em torno de 0,4 SOIL CONSERVATION SERVICE (1978));

$0,5 < x < 1,0$  o regime de escoamento varia de instável a laminar, verificando-se maior influência das variações de pressão sobre a vazão.

A Figura 2.8 mostra a variação de vazão resultante de mudanças de pressão para emissores com diferentes expoentes de descarga.

O coeficiente de variação de fabricação é um parâmetro estatístico expressado como :

$$CV = s/qm \qquad \text{Eq 2.15}$$

Onde:

CV- coeficiente de variação de fabricação;

s- desvio médio padrão do fluxo;

qm- fluxo médio de uma amostra de emissores do mesmo tipo testados a uma pressão e temperatura (20 C) fixos.

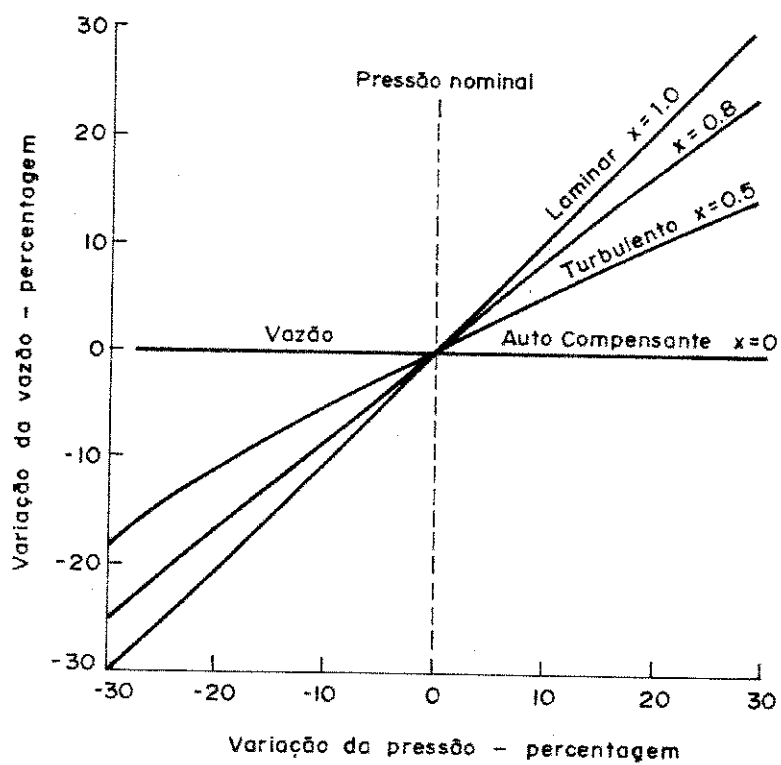


FIGURA 2.8: Relação entre a variação de vazão e mudanças de pressão para emissores com vários expoentes de descarga (BRALTS - 1986).

De acordo com SOLOMON (1979), o significado físico do coeficiente de variação de fabricação pode ser explicado, assumindo-se que a distribuição da vazão de um emissor operando à pressão de serviço normal é uma distribuição estatística do tipo normal, desta forma todas as vazões caem, essencialmente, dentro de três desvios padrões da vazão média, de maneira que 68% da vazão esperada encontra-se no intervalo  $(1 \pm CV)q_m$ , 95% caem no intervalo  $(1 \pm 2CV)q_m$  e finalmente todas as vazões esperadas estão se encontrando no intervalo de  $(1 \pm 3CV)q_m$ .

VON BERNUTH & SOLOMON (1986), O SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) e SOLOMON (1979), apresentam uma classificação de emissores em função do coeficiente de variação de fabricação.

$CV < 0,04$	emissor excelente
$0,04 < CV < 0,07$	médio
$0,07 < CV < 0,11$	marginal
$0,11 < CV < 0,15$	pobre
$0,15 < CV$	inaceitável.

Para KELLER & KARMELI (1975), e SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) os emissores influenciam diretamente na qualidade e segurança dos sistemas de Irrigação Localizada. Portanto, a escolha de um emissor em particular, deveria seguir uma avaliação detalhada de suas características, custos e riscos do sistema. Os autores consideram, como os mais importantes itens na seleção do emissor; a percentagem de área molhada e a confiabilidade contra entupimentos.

FORD & GILBERT (1986) esclarecem que o entupimento de emissores é diretamente afetado pela qualidade da água de irrigação, isto é, partículas em suspensão, composição química e atividade microbiana constituem o maior problema associado à operação dos sistemas de Irrigação Localizada. Conforme os autores, medidas de prevenção que incluam filtragem da água, inspeção no campo, tubos auto limpantes e tratamento químico, continuam sendo a melhor solução para reduzir ou eliminar o entupimento de emissores.

Conforme SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) e ABREU et al(1987), a sensibilidade dos emissores a entupimento, depende fundamentalmente de sua seção mínima de passagem, da velocidade da água ao passar por esta seção e da configuração ou design do emissor. Velocidades maiores que 4,5 m/s reduzem muito os problemas de entupimentos. A relação entre o diâmetro de passagem e sensibilidade a entupimentos é a seguinte:

$d < 0,7 \text{ mm}$	muito sensível;
$0,7 < d < 1,5 \text{ mm}$	sensíveis;
$d > 1,5 \text{ mm}$	pouco sensíveis.

ABREU et al (1987), informam que os emissores aerosol, conhecidos como - difusores e microaspersores - estão sendo cada vez mais usados na Irrigação Localizada em todo o mundo. Sua principal característica reside na fato da água ter um percurso aéreo antes de entrar em contato com a superfície do solo. TELLES (1986), define os difusores como dispositivos de formas geométricas

especiais sem peças móveis que dissipam energia e distribuem a água de forma circular e uniforme, e, os microaspersores como dispositivos com mesma finalidade dos difusores só que dispõem de peças móveis. Para CABELLO (1986), a distinção entre microaspersores e difusores não é relevante seja do ponto de vista agrônomo seja do ponto de vista hidráulico. Ele reporta que estes emissores chamados de alta vazão molham uma área superficial maior e frequentemente apresentam vazão maior que os emissores comuns (16-150 l/h). Para KARMELI & SMITH (1978), o uso desses emissores ocasiona uma configuração diferente no volume do solo molhado na superfície. A Figura 2.9 mostra uma seção transversal do solo (imaginada) umedecido por um emissor comum e por um emissor aerosol (difusor, microaspersor, etc), assumindo que as vazões de ambos são iguais. As condições de saturação, provavelmente, ocorrerão com o emissor comum, onde o sistema radicular deverá ser inibido devido à deterioração da aeração. Esta condição de saturação é improvável em sistemas, utilizando emissores do tipo aerosol.

Segundo BUCKS & DAVIS (1987), os emissores tipo aerosol podem ser vulneráveis a presença de fortes ventos e a perdas por evaporação, particularmente, quando as plantas são jovens, apresentando uma copa limitada. SCALOPPI (1986) recomenda o uso de microaspersores para plantas mais desenvolvidas, uma vez que a utilização desses emissores resulta em áreas de molhamento circulares ou setoriais, sensivelmente, maiores que os demais emissores usados na Irrigação Localizada.

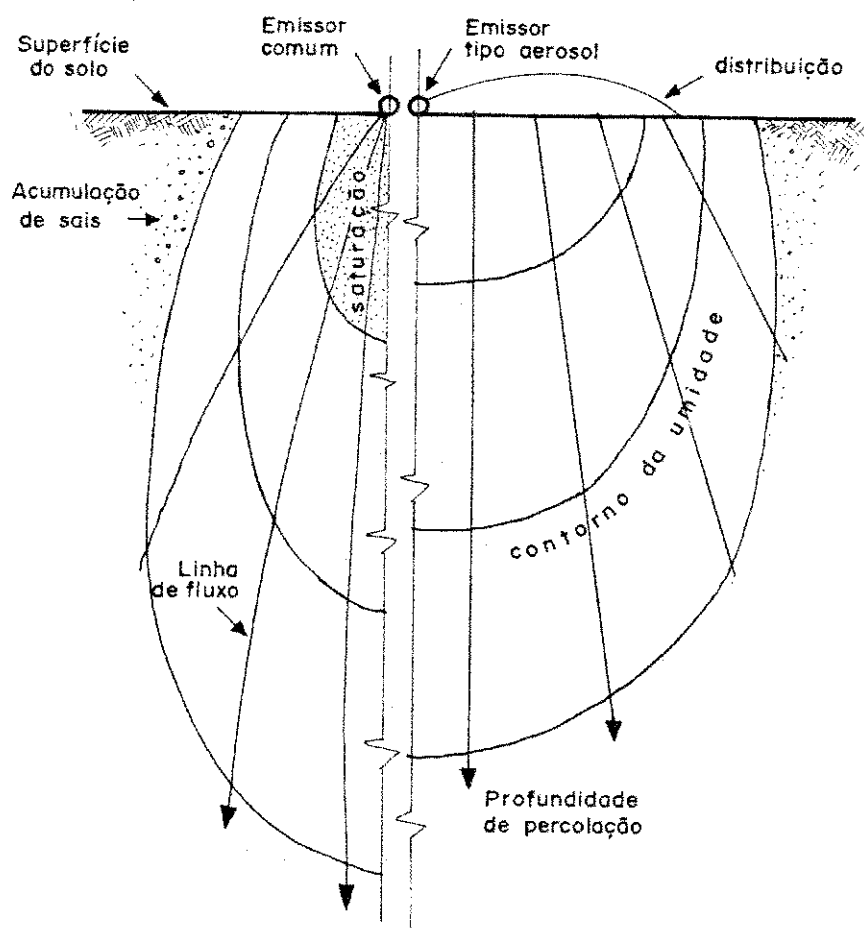


FIGURA 2.9: Bulbos úmidos formados em solo arenoso homogêneo por emissor comum e por emissor do tipo aerossol (ABREU et al - 1987).

KARPELLI & SMITH (1978), apontam para algumas considerações econômicas e de engenharia na seleção de um sistema de Irrigação Localizada que utilize emissores tipo aerossol:

- a manutenção do sistema é simplificada porque é de fácil visualização;
- os emissores tipo aerossol são indesejáveis, em situações que requerem o uso de uma cobertura impermeável (espalhada sobre as raízes para reter umidade), tal como plástico polietileno;
- alta eficiência de aplicação são possíveis, mas a eficiência pode ser menor que as encontradas com emissores comuns;
- geralmente, tubulações de maiores diâmetros são requeridas, porém o número de laterais deve ser menor porque a área molhada é maior;
- a necessidade de filtragem deve ser reduzida pois a área da seção transversal ao fluxo é potencialmente maior.

## 7 - UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO

Os recursos utilizados na irrigação devem ser otimizados. SOLOMON (1982), informa que os engenheiros de irrigação são, sobretudo, interessados no uso eficiente da água e de recursos financeiros. O processo de irrigação, entretanto, pode ter, múltiplas propostas - Irrigação, Controle Ambiental, Manejo de Salinidade, todos envolvendo vários recursos. Dessa forma cada decisão no processo de Irrigação é na verdade uma tentativa para



satisfazer múltiplas metas. O autor sugere que se deve generalizar os estudos de eficiência de uso da água e recursos econômicos, devendo-se desenvolver conceitos de eficiência que sejam amplamente aplicáveis, e que possam tratar todos os recursos relacionados com a irrigação tais como : água, mão-de-obra, infra-estrutura, energia, produtos químicos (fertilizantes, inseticidas, herbicidas), maquinário, etc.

De acordo com Lopes (1983), citado por MEDEIROS (1987), nos sistemas de Irrigação Localizada, as perdas na rede de distribuição são praticamente nulas. Dentro da unidade de irrigação, a água que sai dos emissores é a mesma que chega à parcela. Portanto, a eficiência de irrigação é definida como a percentagem de água aplicada e armazenada na zona radicular que está à disposição das plantas, expressa através da Equação:

$$Ea = K CU, \quad \text{quando } K > (1 - LR) \quad \text{Eq 2.16;}$$

$$Ea = (1 - LR) CU, \quad \text{quando } K < (1 - LR) \quad \text{Eq 2.17.}$$

Onde:

Ea - eficiência de aplicação;

K - perdas inevitáveis por percolação;

LR - requerimento de lavagem;

CU - coeficiente de uniformidade.

Para SOLOMON (1979), a eficiência dos sistemas de Irrigação Localizada depende diretamente da uniformidade com a qual a água

é descarregada do sistema através do emissor. Os fatores que mais afetam a uniformidade da vazão do emissor, são: suas características hidráulicas, diferenças de pressão no sistema devido às perdas por fricção, diferencial de elevações e às variações decorrentes do processo de fabricação.

Na visão de WARRICK (1988), o grau de uniformidade é uma consequência do sistema de irrigação e variabilidade do solo. Para Aspersão e Irrigação Localizada, a variação é primordialmente devido às aplicações irregulares da água.

Dois índices são usados na descrição da uniformidade dos sistemas de Irrigação Localizada - Coeficiente de uniformidade de CRHISTIANSEN "CUC" e coeficiente de uniformidade de distribuição "CU".

$$CUC = 100 ( 1 - q/q_m ) \quad \text{Eq 2.18}$$

Onde:

CUC - coeficiente de uniformidade, %;

q - desvio médio da média, l/h;

q<sub>m</sub> - média das vazões medidas, l/h.

$$CU = 100 ( q_m/q_a ) \quad \text{Eq 2.19}$$

Onde:

CU - coeficiente de uniformidade, % ;

q<sub>m</sub> - média das 1/4 menores vazões coletadas, l/h;

qa - vazão média do sistema, l/h.

De acordo com Corry (1958), citado por OLITTA (1987), o valor do "CUC" igual a 80 % é o mínimo aceitável para o desempenho normal de um aspersor. Os valores de "CU", recomendado pelo SOIL CONSERVATION SERVICE (1978), para Irrigação Localizada dependendo da topografia e do espaçamento entre os emissores, encontra-se na faixa de 70 a 94 %. Segundo BAAR (1976), em um bom design, as perdas por evaporação e vazamento podem ser negligenciadas; e somente as perdas que temos a considerar, são as perdas por percolação, resultante da distribuição irregular da água. Supondo que todos os emissores tenham a mesma vazão, a uma certa pressão, ainda assim, a distribuição será irregular, devido às variações de pressão nas linhas laterais, as quais são inevitáveis. Como consequência das perdas de pressão nas laterais a vazão do primeiro emissor será maior do que a vazão do último. Segundo WU & GITLIN (1974) e GILLIESPIE et al (1979), a variação da vazão do emissor é controlada pela variação de pressão ao longo da linha lateral, resultante de um efeito combinado de perdas por fricção e declividade da linha.

Na concepção de BUCKS & MYERS (1973), a uniformidade de aplicação depende primordialmente da uniformidade geométrica dos emissores, que influenciam diretamente suas vazões; em seguida, a vazão não deve ser influenciada por materiais ou depósitos químicos contidos na água, e finalmente, os sistemas de Irrigação Localizada devem ser projetados para compensar perdas de pressão ao longo da lateral, entre laterais; e entre sub-

unidades. Para KENWHORTY (1972) e WU & GITLIN (1973,1974), a compensação de perdas de pressão ao longo das laterais pode ser obtida pela variação do comprimento de microtubos, diâmetro de emissores, e do espaçamento entre emissores.

HOWELL & HILLER(1974), enfatizam a importância de se projetar as laterais dos sistemas de Irrigação Localizada, usando o máximo de precisão, uma vez que as perdas de pressão dentro das quais estes sistemas operam são muito pequenas quando comparadas às perdas de pressão dos sistemas de irrigação por aspersão convencional. Os autores desenvolveram modelo computacional para projetar laterais em sistemas de Irrigação Localizada. Além da determinação das perdas de carga e vazão do emissor, o modelo pode ser usado para determinar comprimento e diâmetro de microtubos, diâmetros de emissores, orifícios e espaçamento de emissores requeridos para manter a mesma vazão ao longo da lateral.

SILVA (1987), desenvolveu modelo adaptado para computador, para dimensionamento e para caracterização hidráulica de tubulações laterais, em sistemas de Irrigação Localizada, utilizando microtubos de tamanho variados como emissores. A variação de comprimento dos emissores teve por fim a compensação das perdas de carga e provocar uma vazão uniforme ao longo das laterais.

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia de Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba. Os ensaios para determinação da relação vazão versus pressão, coeficiente de variação de fabricação, determinação do raio efetivo médio, coeficiente de uniformidade de Christiansen do microaspersor e diâmetro do microtubo, foram realizados em ambiente fechado utilizando-se um sistema hidráulico com capacidade manométrica de 35 mca, filtro de tela, painel de controle e medição de vazão e pressão, Figura 3.1. Os ensaios para classificação do regime de fluxo, relação vazão versus pressão, coeficiente de variação de fabricação, determinação do fator de fricção para o emissor com microtubo dissipador de energia e aferição dos resultados de laterais dimensionadas através de metodologia descrita no item Laterais, foram realizados na parte externa do laboratório utilizando-se um sistema hidráulico com deflexões manométricas de até 80 mca, filtro de tela e manômetro de Bourdon para medição de pressão, Figura 3.2.

#### 1 - EMISSORES

O emissor objeto deste estudo foi confeccionado a partir do microaspersor "Jatíssimo", substituindo-se sua haste por um

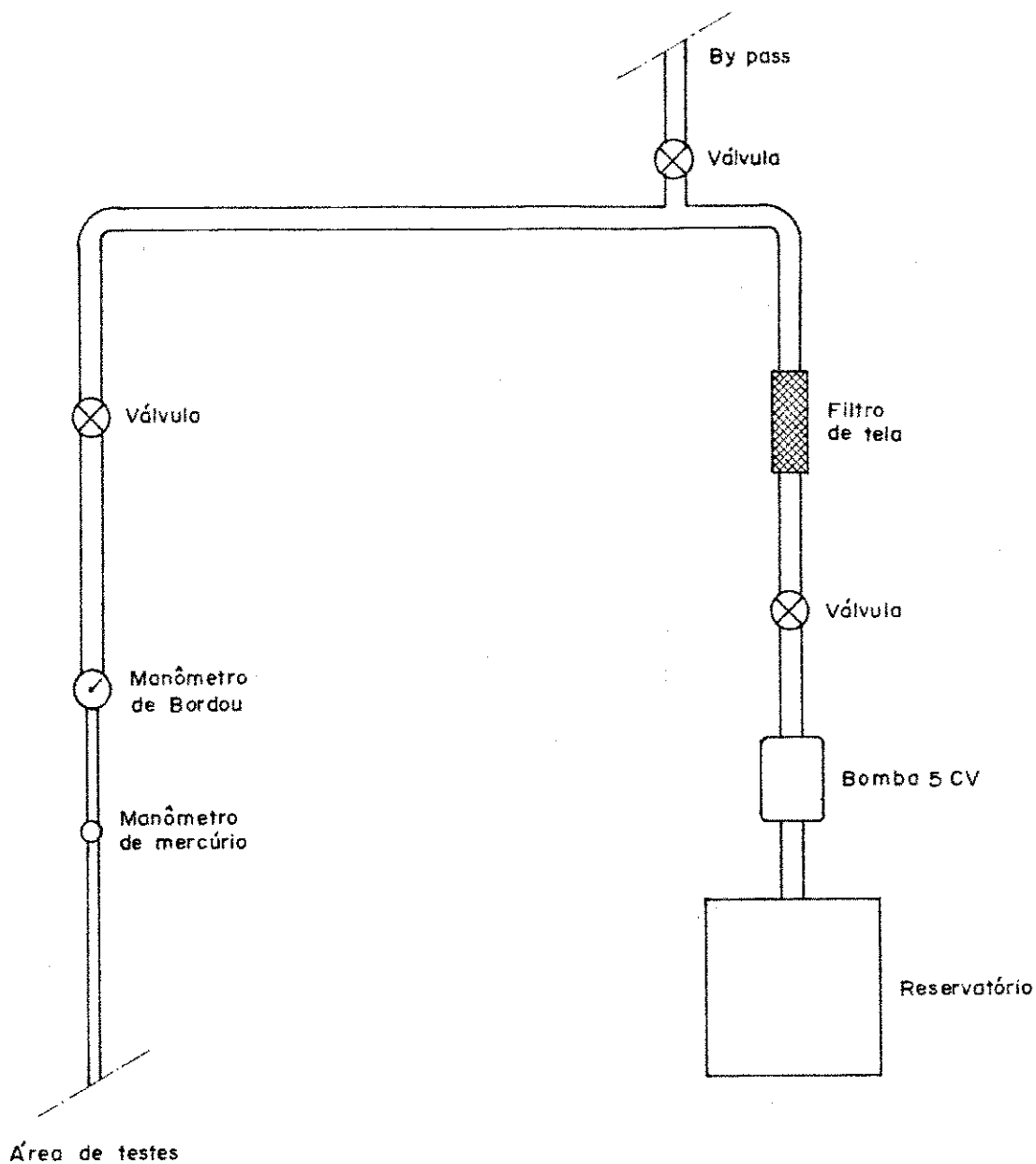


FIGURA 3.1: Croqui do sistema hidráulico com capacidade manométrica de 30 mca, usado nos testes realizados em ambiente fechado.

IBR/ARQUITECTA/RAI

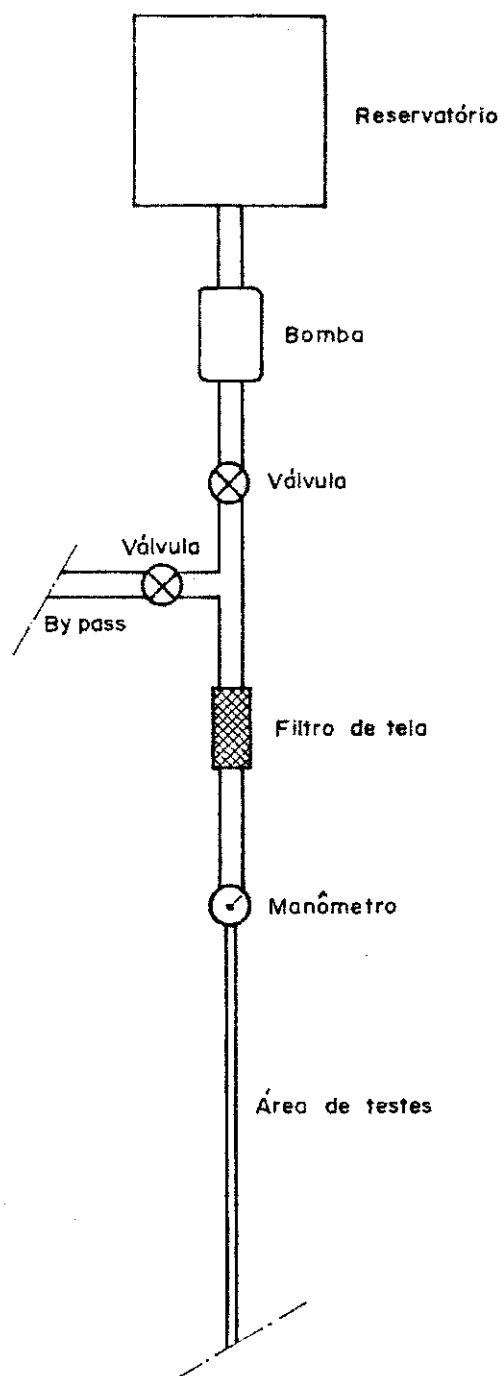


FIGURA 3.2: Croqui do sistema hidráulico com capacidade manométrica de 80 mca, usado nos testes realizados na parte externa do laboratório.

microtubo, Figura 3.3-b para dissipar a energia de pressão entre o microaspersor e a lateral. A principal característica deste emissor é manter constante a vazão de 41 l/h em toda extensão da lateral, operando a uma faixa de pressão entre 25 e 40 mca, através da variação do comprimento do microtubo. O microtubo utilizado foi selecionado entre os existentes no mercado destinados à confecção de cadeiras populares. O microaspersor "Jatíssimo", Figura 3.3-a é fixo, constituído de quatro peças : **a base** que é introduzida diretamente na lateral de polietileno; **a haste** inserida na base com 41 cm de comprimento; **o adaptador** com orifício de 0,8 mm que é colocado na parte superior da haste; e a **cápsula** com vários orifícios de saída, igualmente espaçados, que é inserida no adaptador. O microaspersor tem distribuição circular com configuração em forma de rosácea.

### 1.1 - Classificação do emissor quanto ao regime de fluxo

O regime de fluxo do emissor foi determinado através do número de Reynolds "Re" e classificado, conforme proposta apresentada por KELLER & KARMELI (1975). Para o cálculo de "Re", mediu-se as vazões a 20, 25, 30, 35, e 40 mca com três repetições, substituindo-se os dados na Equação 3.1:

$$Re = K * Q / D \qquad \text{Eq 3.1}$$

Onde:

Re - número de Reynolds;



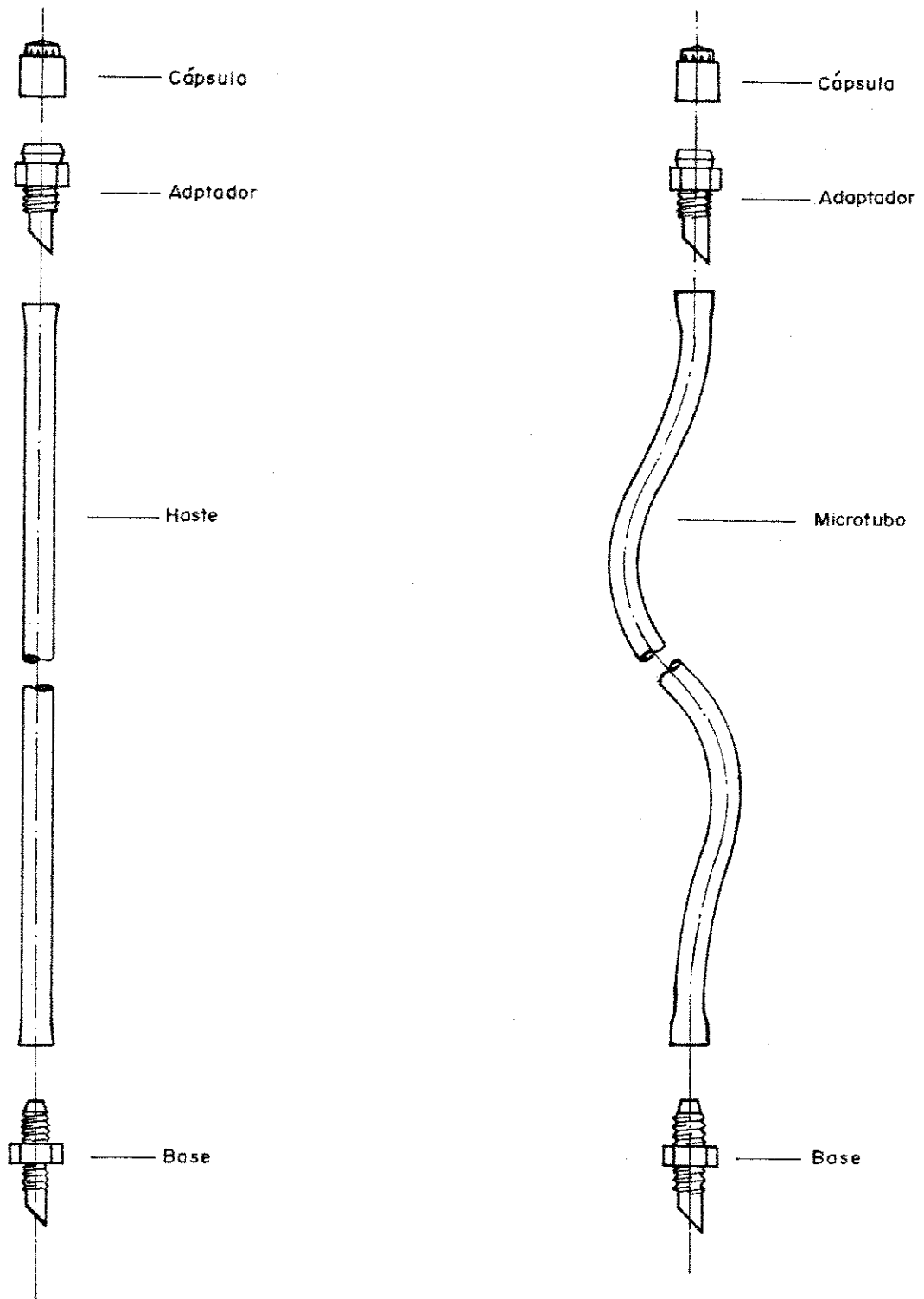


FIGURA 3.3: Emissores - a) Microaspersor "Jatíssimo" com haste original e b) Microaspersor/microtubo.

K - constante de valor igual a  $1,26 * 10^6$  para sistema métrico;

Q - vazão, l/s

D - diâmetro, mm

## 1.2 - Equação de vazão

Para estimar a relação entre a vazão e a pressão hidráulica, tomou-se uma amostra de 31 unidades escolhidas ao acaso, determinou-se experimentalmente a vazão média da amostra para uma pressão de 25 mca e selecionou-se os 10 microaspersores com vazões mais próximas da média.

Os emissores selecionados foram submetidos a diferentes pressões, medindo-se as vazões respectivas. Inicialmente, submeteu-se os microaspersores sem microtubos as pressões de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 mca, e posteriormente, 10 conjuntos de microaspersores/microtubos, foram submetidos às pressões de 20, 25, 30, 35 e 40 mca.

A Equação 3.2 foi adotada para expressar a relação vazão/pressão do emissor e os parâmetros "Kd" e "x" foram determinados com base nos dados experimentais através de regressão linear.

$$q = Kd H^x \quad \dots\dots\dots \quad \text{Eq 3.2}$$

Onde:

q - vazão do emissor, em l/h;

Kd- coeficiente de descarga do emissor;

H - pressão hidráulica, em mca;

x - expoente de descarga que é caracterizado pelo regime de fluxo do emissor.

### 1.3 - Coeficiente de variação de fabricação

Para avaliar a variação de fabricação dos emissores, foi instalada uma lateral de 15 mm de diâmetro e 6,0 m de comprimento. Cada emissor era inserido na lateral e testado individualmente, submetendo-o a determinada carga hidráulica e, realizando-se as medições das vazões com três repetições.

Para os microaspersores, tomou-se uma amostra de 31 emissores submetidos à pressão de 25 mca, indicada pelo fabricante como a de melhor performance do microaspersor, e que proporciona uma vazão de 38 l/h. Os emissores com microtubos de comprimentos iguais a 1,0; 0,8; 0,6 e 0,4 m, foram testados à pressão de 30 mca. A amostra foi composta de 04 conjuntos de 10 emissores, cada conjunto correspondendo a um comprimento do microtubo. O coeficiente de variação de fabricação, foi determinado para os dois tipos de emissores, pela Equação 3.3.

$$CV = \frac{s}{q_m} \dots\dots \text{Eq 3.3}$$

Onde:

s - desvio padrão da amostra;

qm - média das vazões da amostra.

#### 1.4 - Raio efetivo

Na determinação do raio efetivo médio molhado pelo microaspersor, usou-se o método recomendado por ABREU et al (1987), que consiste em operar o microaspersor por um período de 1,30 h, medindo-se, em seguida, os volumes coletados em pluviômetros distribuídos a cada 35 cm em diâmetros perpendiculares entre si, Figura 3.4. Com os valores obtidos, calculou-se a pluviometria média.

Conforme ABREU et al (1987), o raio efetivo é a distância entre o emissor e o pluviômetro que contenha 10 % da pluviometria média. O raio efetivo foi determinado para as pressões de 25, 20 e 15 mca.

#### 1.5 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen

O método utilizado para avaliar a uniformidade de distribuição de água do microaspersor, foi o que emprega o modelo de distribuição de um único aspersor, operando isoladamente, proposto por CHRISTIANSEN (1942), citado e usado por REGO (1985), cujo cálculo pode ser obtido através da Equação 3.4.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{(q_i - q_m)}{n q_m} \right) \dots \dots \dots \text{Eq 3.4}$$

Onde:

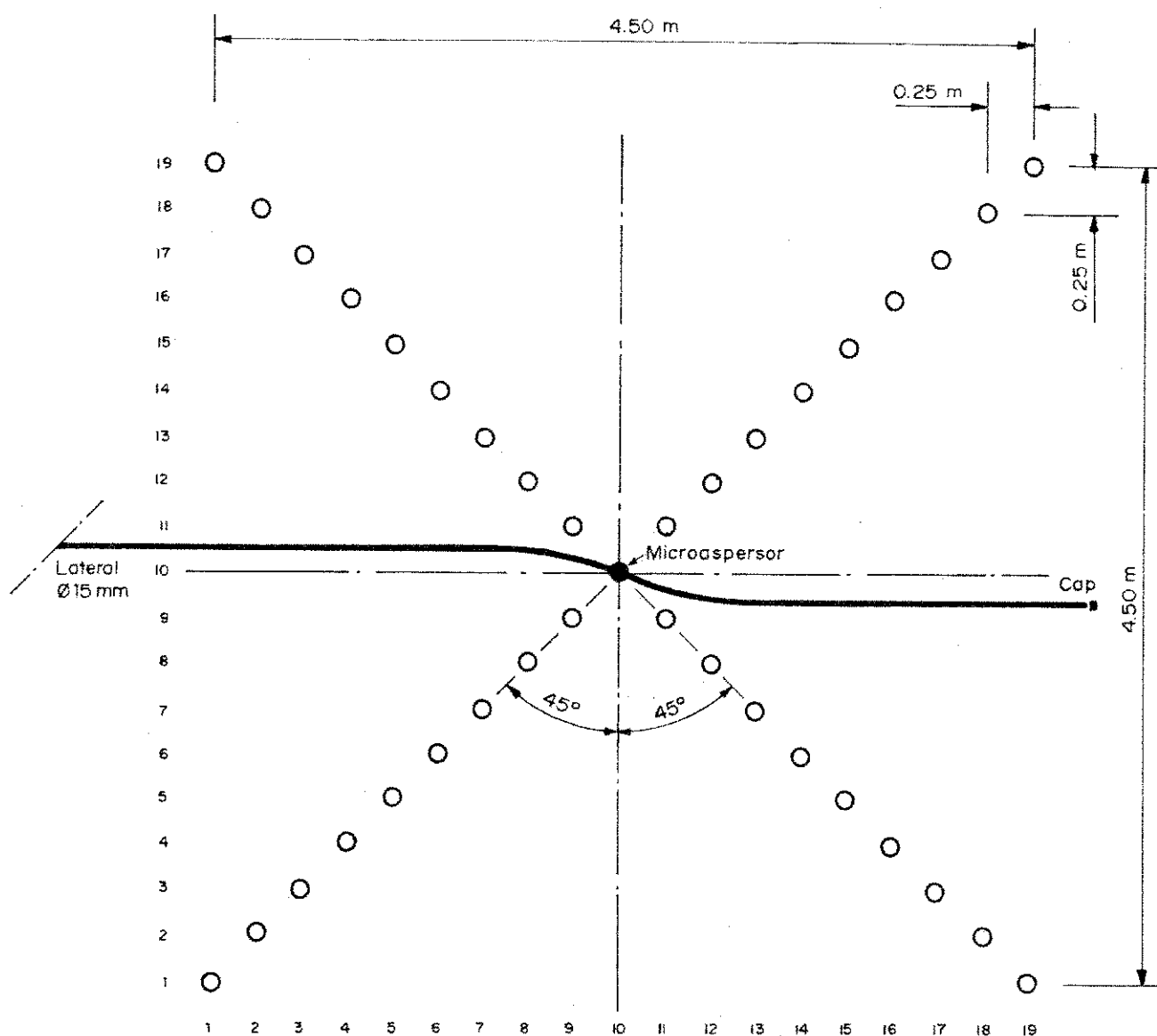


FIGURA 3.4: Distribuição dos pluviômetros para obtenção do raio efetivo molhado do emissor.

- CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen;  
qi - volume coletado de cada pluviômetro, em ml;  
qm - média dos volumes coletados, em ml;  
n - número de pluviômetros.

O método consistiu em operar o microaspersor por um período de 1,30 h, a 15, 20 e 25 mca e medir o volume coletado durante o teste em pluviômetros de tamanho, volume e área de captação iguais, dispostos sobre o piso em forma de malha quadrada de 0,25 m de lado, conforme recomendação das NORMAS INTERNACIONAIS, ISO ( 8026 ), Figura 3.5. No cálculo do coeficiente de uniformidade, efetuou-se a superposição dos dados de volume de um único microaspersor, para quatro espaçamentos entre microaspersores ( 92, 75, 67 e 42% do diâmetro efetivo médio ), fazendo-se a superposição somente na direção da tubulação lateral, considerando uma faixa molhada de largura igual ao diâmetro efetivo médio molhado.

#### 1.6 - Determinação do diâmetro interno do microtubo

Foi realizado, no mercado, um levantamento dos microtubos existentes que pudessem ser utilizados como condutos de ligação dos microaspersores " Jatíssimo" à lateral, e, como dissipadores de energia. O diâmetro interno médio do microtubo foi estimado experimentalmente preenchendo-o com água e drenando-o diretamente em um cilindro graduado. A Equação 3.5 foi usada para computar o diâmetro médio baseado no volume interior do



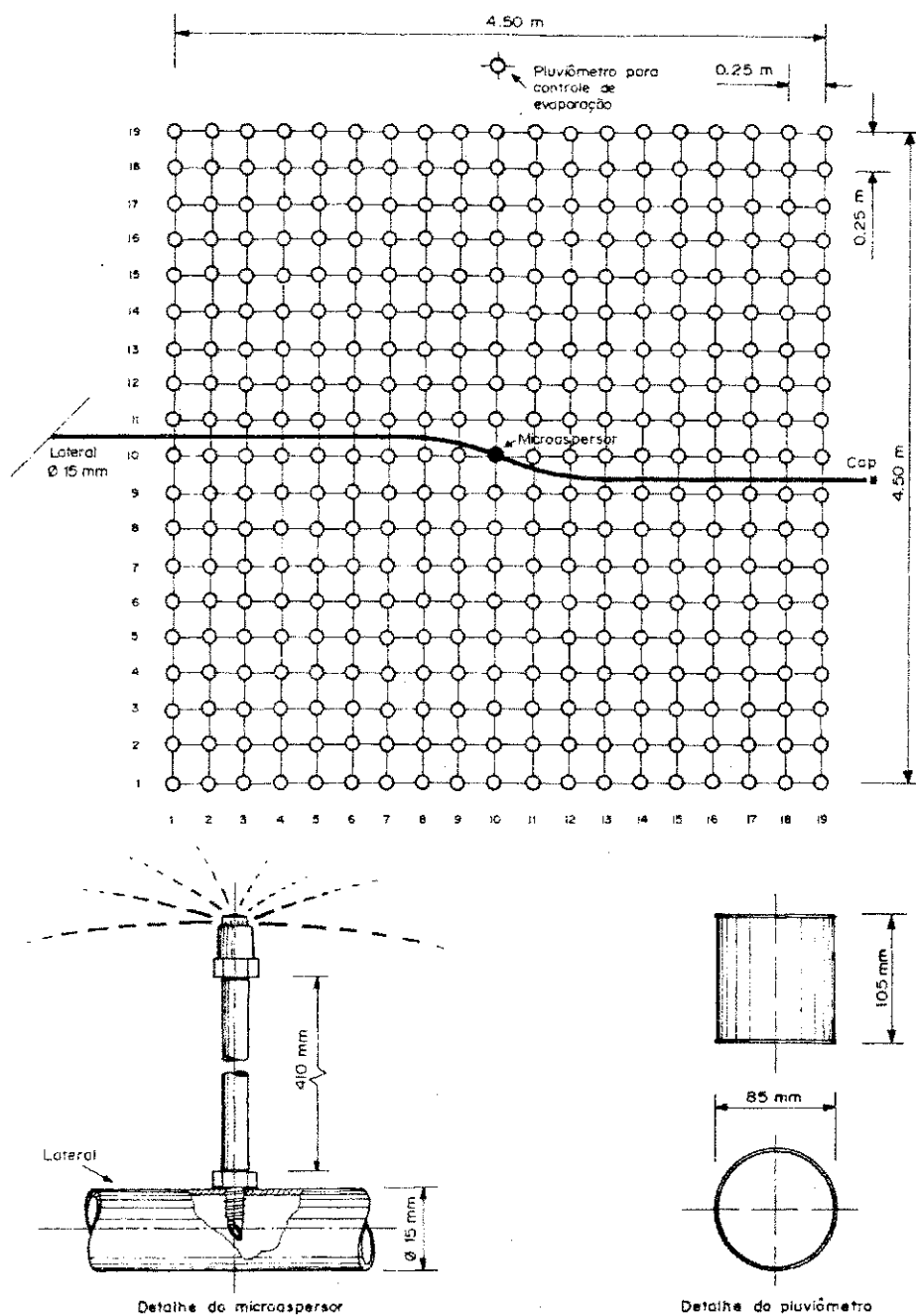


FIGURA 3.5: Disposição e dimensões dos pluviômetros, peças e acessórios usados nos testes para determinação de uniformidade de distribuição do emissor.

microtubo.

$$D = ( 4 * V / L * PI ) \quad \text{Eq 3.5}$$

Onde:

- D - Diâmetro interno médio do microtubo, mm;
- V - Volume de água contido no comprimento L, m<sup>3</sup>;
- L - Comprimento do microtubo, m.

A temperatura da água durante os ensaios foi de 24 graus centígrados.

## 2 - LATERAIS

### 2.1 - Projeto hidráulico

As linhas laterais foram projetadas para um diâmetro interno de 15 mm, adotando-se os critérios:

- velocidade máxima de 3 m/s;
- pressão hidráulica máxima de 40 mca e mínima de 25 mca, distribuídas em trechos onde a variação entre seus extremos foi de 20 %;
- pré-seleção de uma vazão de 41 l/h, assumindo-se uma variação, de mais ou menos 10%, ao longo da lateral;
- preestabelecimento de uma perda de carga máxima capaz de ser dissipada por um comprimento de microtubo de



no máximo 1,2m;

- no cálculo das perdas de carga por fricção foi considerado o coeficiente de redução, F de CRHISTIANSEN para compensar a diminuição de vazão ao longo da lateral, e um comprimento equivalente às perdas devido à inserção dos emissores.

## 2.2 - Perda de carga

As perdas de carga por fricção foram calculadas através da Equação 3.6, de Darcy- Weisbach na forma apresentada por NEVES (1960), e recomendada por WATTERS et al (1977) e ABREU et al (1987), para tubulações usadas em Irrigação Localizada.

$$J = 0,0826 * f * Q^2 / D^5 \quad \text{Eq 3.6}$$

Onde:

J - gradiente de perda de carga, m / m;

D - diâmetro interno da lateral, m;

Q - vazão, m<sup>3</sup>/s;

f - fator de atrito calculado em função do número de Reynolds "Re", onde para Re menor que 2000 e Re variando de 4000 a 10000, f é calculado pelas Equações 3.7 e 3.8, respectivamente.

$$f = 64 / Re \quad \text{Eq 3.7}$$

$$f = 0,316 / Re^{0,25} \quad \text{Eq 3.8}$$

As perdas de carga causadas pela inserção do emissor foram adicionadas às perdas de carga por fricção, mediante o comprimento equivalente da lateral. A Equação 3.9 representa as perdas de carga na lateral em m/m, considerando a inserção do emissor.

$$J_1 = J (se + fe)/se \quad \text{Eq 3.9}$$

Onde:

$J_1$  - gradiente da perda de carga equivalente na lateral com emissores, m/m;

se - espaçamento entre emissores, m;

fe - fator de acréscimo na perda de carga, em comprimento equivalente da lateral, determinado a partir da Figura 3.6 WATERS & KELLER (1978);

J - gradiente de perda de carga, m/m.

As perdas de carga totais, na lateral com emissores foram calculadas através da Equação 3.10, sugerida por CHRISTIANSEN (1942) e recomendada por WATERS & KELLER (1978).

$$HF = J_1 * F * L \quad \text{Eq 3.10}$$

Onde:

HF - perda de carga total na lateral, m;

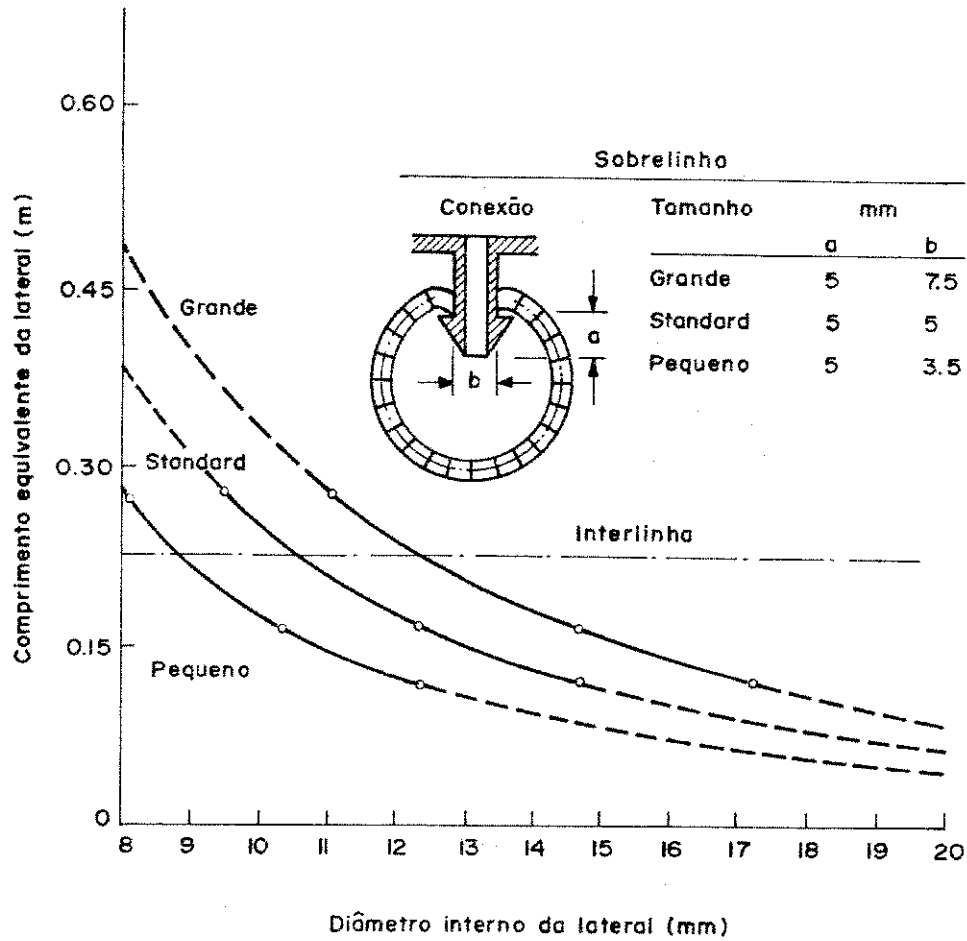


FIGURA 3.6: Perda de carga localizada provocada pela inserção do emissor, medida em comprimento equivalente de lateral.

F - coeficiente de redução da perda de carga em tubulação com múltiplas saídas, obtido da Equação 3.11;

$$F = 0,35063 + 0,5/N + 0,15384/N^2 \quad \text{Eq 3.11}$$

Onde:

N - número de emissores;

L - comprimento total, m.

### 2.3 - Distribuição das pressões na lateral

A distribuição das pressões ao longo das laterais e os comprimentos dos microtubos foram determinados através de metodologia sugerida por Bucks & Meyers (1972) e Wu & Gitlen (1973-1974), aperfeiçoada por Watters & Keller (1978), e apresentada por SILVA (1987) da seguinte forma: a linha do gradiente hidráulico foi dividida em segmentos, baseada numa variação de carga igual a 20 % da pressão hidráulica média entre seus extremos, a partir da pressão no final da lateral calculada pela Equação 3.12

$$X_1 = P_e - H_f \quad \text{Eq 3.12}$$

Onde:

$X_1$  - Pressão no final da lateral, m;

$P_e$  - Pressão na entrada da lateral, m;

Hf - Perda de carga, determinada através da Eq  
3.10

Segmento 1 - início  $X_2 = 1,2 * X_1$   
                  final         $X_1$

Segmento 2 - início  $X_3 = 1,2 * X_2$   
                  final         $X_2$

·  
·  
·

Segmento n - início  $X_n = 1,2 * X_{n-1}$        Eq 3.13  
                  final         $X_{n-1}$

O comprimento do trecho da lateral, correspondente a cada segmento da linha do gradiente de pressão, foi calculado em função do comprimento total da lateral e da relação entre a perda de pressão no segmento e a perda de carga total na linha lateral mediante a Equação 3.14 sugerida por Watters & Keller (1978) e apresentada por SILVA (1987).

$$L_x = (H_{Fx} / H_f) * L \quad \text{Eq 3.14}$$

Onde:

$L_x$  - comprimento do trecho da lateral onde ocorre a perda de carga  $H_{Fx}$ , m;

$H_{Fx}$  - Perda de carga que ocorre entre dois pontos da lateral, isto é, a diferença de pressão entre os extremos do segmento da linha do gradiente respectivo, m;

$$HF_{X1} = X_2 - X_1$$

$$HF_{X2} = X_3 - X_2$$

⋮

⋮

$$HF_{Xn} = X_n - X_{n-1}$$

Eq 3.15

Hf - Perda de carga determinada através da Equação 3.10, m;

L - Comprimento total da lateral, m

#### 2.4 - Comprimento do microtubo

O comprimento do microtubo, em cada trecho, foi determinado em função da pressão média do segmento da linha do gradiente hidráulico correspondente, calculado através da Equação 3.16 de Darcy-Weisbach, proposta por Keller & Karmeli (1975) e citada por OLIVEIRA et al (1979).

$$l_m = \frac{H_m * D^5 * \pi^2 * g}{617 * f_m * q^2}$$

Eq 3.16

Onde:

$l_m$  - comprimento do microtubo, m;

$H_m$  - pressão média no trecho, mca;

$D$  - diâmetro do microaspersor, mm;

$g$  - aceleração da gravidade igual a 9,81 m / s<sup>2</sup>;

$q$  - vazão do microaspersor, l/h;

$f_m$  - fator de atrito do emissor;

$\pi$  - constante igual a 3,1416.

Considerando que a vazão e diâmetro são constantes, e que os valores dos demais parâmetros são conhecidos, a Equação 3.16 pode ser escrita na forma simplificada apresentada na Equação 3.17.

$$l_m = C * H_m \quad \text{Eq 3.17}$$

Onde:

$$C = \frac{D^5 * \pi^2 * g}{617 * f_m * q^2} \quad \text{Eq 3.18}$$

O valor do fator "f<sub>m</sub>" foi estimado através da Equação 3.16, a partir de dados experimentais obtidos em testes para cada comprimento de microtubo, à pressão que proporcionava a vazão de 41 l/h. O valor da pressão média "H<sub>m</sub>" foi determinado através da Equação 3.19.

$$\begin{aligned} H_{m1} &= (X_2 + X_1) / 2 \\ H_{m2} &= (X_3 + X_2) / 2 \\ &\vdots \\ H_{m\ n-1} &= (X_n + X_{n-1}) / 2 \end{aligned} \quad \text{Eq 3.19}$$

Onde:

H<sub>m</sub> - pressão média no trecho da lateral, m.

O cálculo hidráulico das laterais e comprimento dos microtubos foram implementados, através de modelo computacional desenvolvido

no LEI/CCT/UFPB por SILVA (1987).

## 2.5 - Aferição dos resultados obtidos no dimensionamento das laterais pela metodologia proposta

Para aferir os resultados obtidos através do dimensionamento hidráulico das laterais pelo modelo proposto, realizaram-se testes de uniformidade de distribuição de água em duas linhas laterais dimensionadas pelo programa de computador para situação em nível, com microtubos de igual comprimento, conectando-se os microaspersores ao respectivo trecho pré-determinado da lateral.

A uniformidade de distribuição de vazão foi determinada, medindo-se a vazão de cada emissor com três repetições. Com as vazões obtidas foi calculado o coeficiente de uniformidade através da Equação 3.20, recomendada pelo SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) para testes de campo.

$$CU = 100 (q_m / q_a) \quad \text{Eq 3.20}$$

Onde:

- CU - Coeficiente de Uniformidade, %;
- $q_m$  - Média da 1/4 menores vazões coletadas, l/h;
- $q_a$  - Vazão média da lateral, l/h.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 1 - EMISSORES

##### 1.1 - Diâmetro do microtubo

Os diâmetros internos médios dos microtubos encontrados no mercado, foram calculados e estão apresentados na Tabela 4.1. Embora, todos os microtubos testados fossem compatíveis com o "design" do microaspersor, foi selecionado para ser usado como dissipador de energia, o microtubo de 1,75mm de diâmetro, por ser capaz de dissipar a carga máxima de 15mca num comprimento de 1,0m, dentro dos valores preestabelecidos na concepção do emissor.

##### 1.2 - Regime de fluxo

Os valores de vazão média, número de Reynolds e fator de atrito, para os testes realizados com os três emissores m6, m12 e m18, com microtubos de 1,0; 0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 m de comprimento operando às pressões de 20, 25, 30, 35 e 40 mca; são apresentados na Tabela 01 do Apêndice A. Verifica-se que o Número de Reynolds, "Re", varia de 5.604,48 a 9.607,68 e segundo classificação proposta por KELLER & KARMELI (1975) nesta faixa de "Re", o regime de fluxo dos emissores é parcialmente turbulento.

TABELA 4.1: Determinação de diâmetros de microtubos pesquisados no mercado.

MICRO-TUBO	AMOSTRA	COMPRI-MENTO cm	VOLUME (ml)				DIAMETRO (mm)	
			v1	v2	v3	MÉDIO	-	MÉDIO
A	A1	50	1,8	1,9	1,8	1,83	2,16	
	A2	45	1,5	1,5	1,5	1,50	2,06	
	A3	40	0,8	0,9	0,9	0,87	1,66	
	A4	50	1,8	1,7	1,7	1,73	2,10	2,01
B	B1	40	1,5	1,4	1,5	1,47	2,16	
	B2	40	1,3	1,5	1,4	1,40	2,11	
	B3	40	1,5	1,4	1,5	1,47	2,16	
	B4	40	1,4	1,5	1,4	1,43	2,13	2,14
C	C1	40	1,1	0,9	0,9	0,97	1,75	
	C2	40	1,0	0,9	1,0	0,97	1,75	
	C3	40	1,0	1,0	1,0	1,0	1,78	1,76
D	D1	50	3,5	3,5	3,4	3,47	2,97	
	D2	50	3,4	3,5	3,5	3,47	2,97	
	D3	50	3,6	3,6	3,6	3,60	3,03	
	D4	50	3,4	3,4	3,4	3,40	2,94	2,98
E	E1	50	4,1	4,1	4,1	4,10	3,23	
	E2	50	4,0	4,0	4,1	4,03	3,20	
	E3	50	3,9	3,8	4,0	3,90	3,15	
	E4	50	3,9	3,9	3,8	3,87	3,14	3,18
F	F1	50	3,2	3,1	3,3	3,20	2,85	
	F2	50	3,2	3,2	3,2	3,20	2,85	
	F3	50	3,2	3,1	3,2	3,17	2,84	
	F4	50	3,2	3,2	3,3	3,23	2,84	2,85
G	G1	238	5,7	5,7	5,7	5,70	1,75	
	G2	200	4,9	4,9	5,0	4,90	1,75	
	G3	196,5	4,8	4,8	4,8	4,80	1,75	1,75

Esta característica é importante para o sistema de irrigação, uma vez que neste tipo de regime, segundo STREETER (1974), as concentrações de sais ou outros sedimentos são reduzidas.

O fator de atrito médio foi calculado e plotado como uma função do número de Reynolds "Re" no diagrama de MOODY, mostrado nas Figuras 4.1 e 4.2.

Para os comprimentos de microtubos iguais a 1,0 e 0,6 m e Re entre 5.000 e 7.000, os pontos se movem exatamente sobre a linha de "tubos hidraulicamente lisos"; e para Re entre 7.000 e 9.000, os valores do fator de atrito se encontram ligeiramente dispersos entre as linhas de rugosidade relativa  $e/D = 0,0004$  e a de "tubos hidraulicamente lisos", Figura 4.1.

Os valores do fator de atrito obtidos para os comprimentos de microtubos iguais a 0,8; 0,5 e 0,4 m, para a faixa de Re, variando entre 6.000 a 9.600, ajustaram-se sobre a linha de rugosidade relativa  $e/D = 0,0004$ , Figura 4.2. Portanto a equação de Darcy-Weisbach pode ser aplicada para determinar a perda de carga que ocorre no microtubo estudado.

### 1.3 - Curva vazão versus pressão

As Tabelas 02 e 03 do Apêndice A mostram as vazões obtidas para 10 microaspersores submetidos às pressões de 05, 10, 15, 20, 25 e 30 mca e para os emissores com microtubos dissipadores de energia de 1,0; 0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 m de comprimento, submetidos às pressões de 20, 25, 30, 35 e 40 mca,

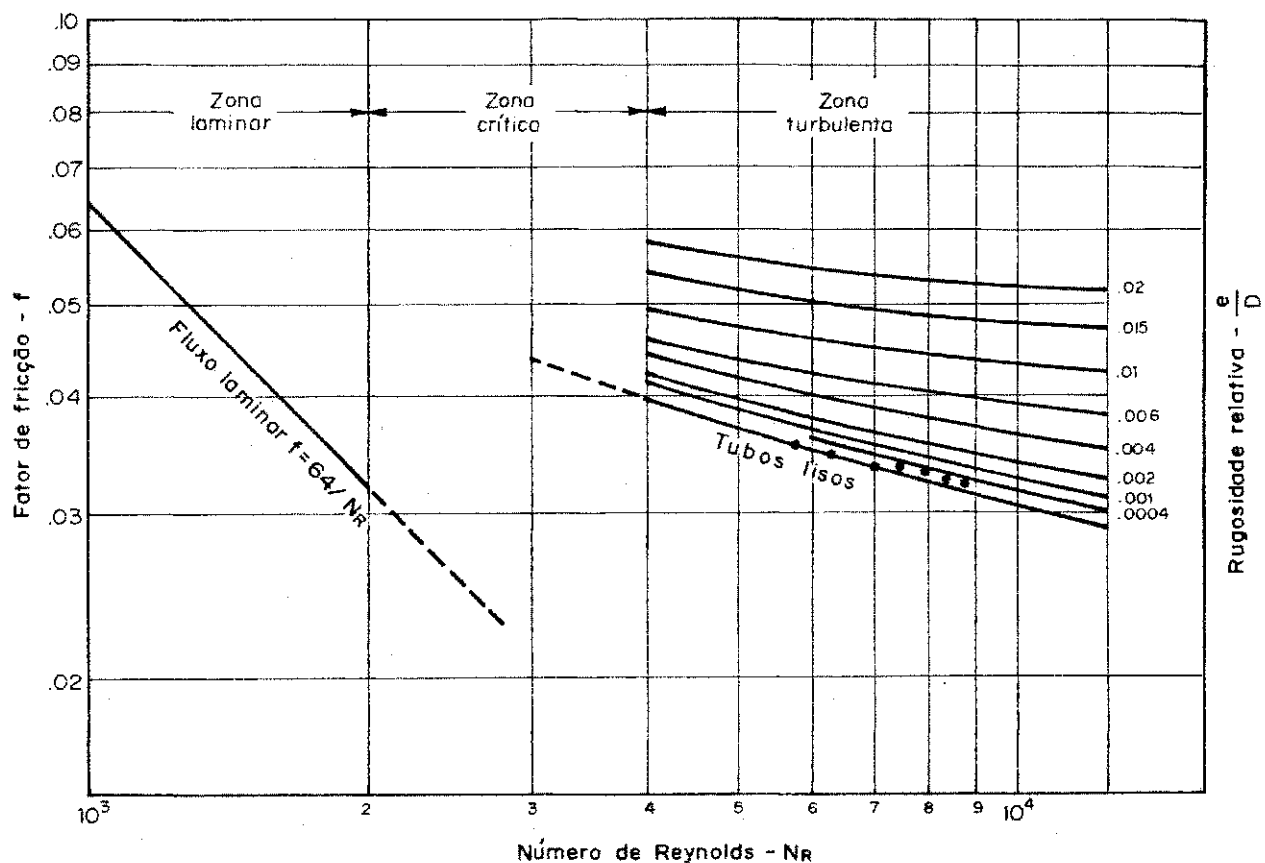


FIGURA 4.1: Representação no diagrama de MOODY do coeficiente de atrito do emissor (Microaspersor/Microtubo) para os comprimentos de microtubo de 0,6 e 1,0 m.

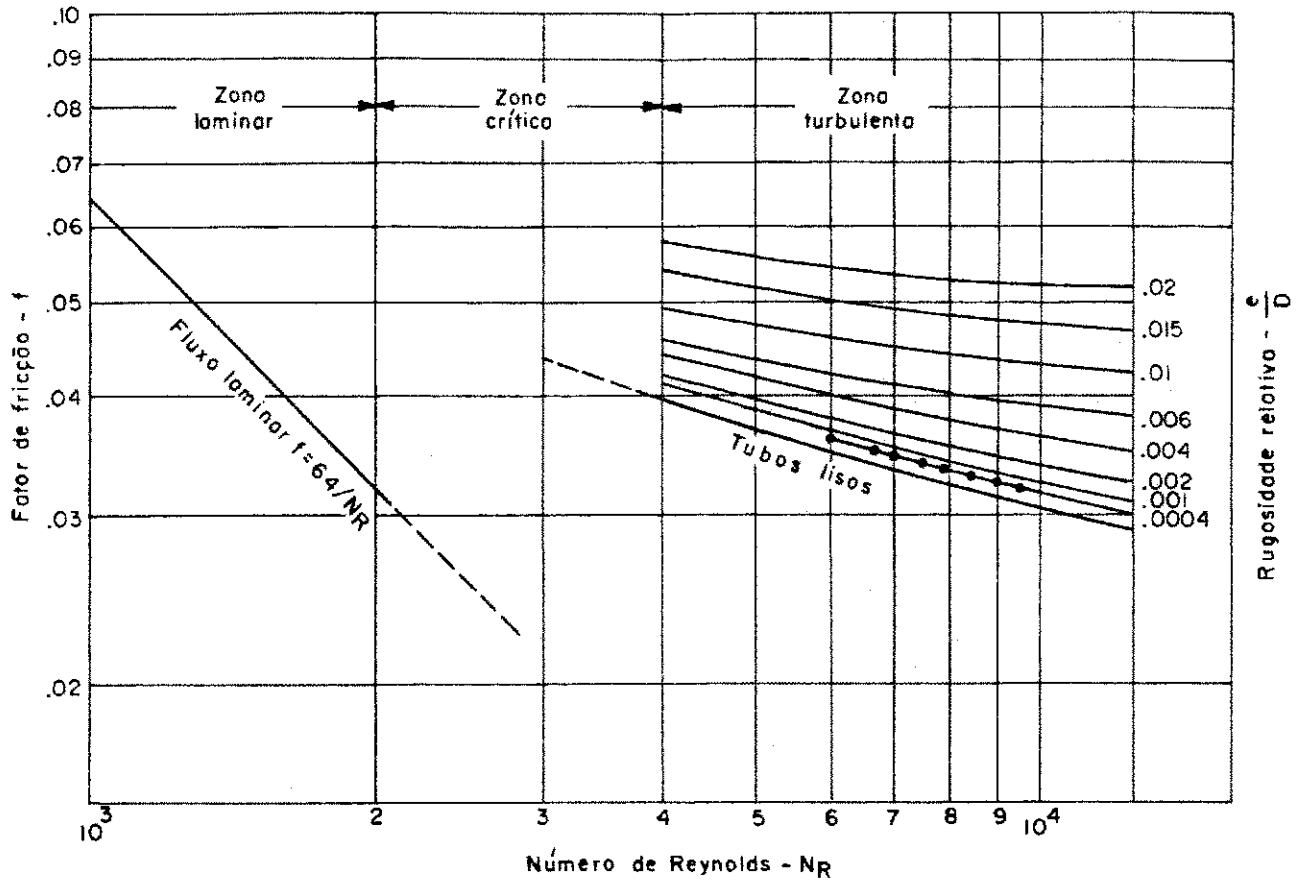


FIGURA 4.2: Representação no diagrama de MOODY do coeficiente de atrito do emissor (Microaspersor/Microtubo) para os comprimentos de microtubo de 0,4; 0,5 e 0,8 m.

respectivamente. Na Tabela 4.2 são apresentados os valores dos parâmetros "kd" e "x" para o emissor e o microaspersor e a equação característica.

Os valores médios do expoente "x" dos emissores, variaram entre 0,46 e 0,49, significando que as mudanças na vazão, relacionam-se com a raiz quadrada aproximada da pressão e conseqüentemente, uma variação na energia de pressão da ordem de 20 % permite que a vazão dos emissores varie de +/- 10 % da média desejada.

Para os valores de " x " encontrados, segundo classificação proposta por KELLER & KARMELI (1975), o regime de escoamento do microaspersor se encontra na faixa de turbulento a totalmente turbulento. Para o emissor com microtubo dissipador de energia, este fato confirma o que foi dito no sub-item, regime de escoamento do emissor, onde o Número de Reynolds para as mesmas condições de pressão e comprimento de microtubo varia de 5.605 a 9.608, estando estes valores na zona de escoamento parcialmente turbulento.

Embora os emissores de longo percurso operem geralmente sob regime de fluxo laminar, o uso de microtubos como dissipadores de energia conectados entre o microaspersor e a lateral não modificou as condições de fluxo do emissor original, em virtude das altas pressões aplicadas, com conseqüente aumento de vazão e velocidade do fluxo. Os valores de "x" encontrados para os emissores com microtubo apresentaram boa similaridade com os obtidos para o microaspersor original.

**TABELA 4.2 - Valores do expoente "x" e do parâmetro "kd" da relação vazão versus pressão e equação característica para o emissor com microtubos de 1,0; 0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 m de comprimento para o microaspersor sem microtubos.**

Emissor	Regressão linear		Equação característica
	X	Kd	
-----			
com microtubo			
1,0 m	0,48	6,8	$q = 6,8 h^{0,48}$
0,8 m	0,48	7,2	$q = 7,3 h^{0,47}$
0,6 m	0,47	7,8	$q = 7,8 h^{0,47}$
0,5 m	0,46	8,3	$q = 8,3 h^{0,46}$
0,4 m	0,47	8,4	$q = 8,5 h^{0,47}$
sem microtubo	0,49	8,6	$q = 8,7 h^{0,49}$
-----			

Observa-se um aumento nos valores de "Kd", à medida que o comprimento dos microtubos diminui. Como "Kd" é uma constante característica do emissor e equivale à vazão a uma pressão de 1 mca, isto significa que a vazão do emissor, para uma mesma pressão, diminui com o comprimento do microtubo.

#### 1.4 - Coeficiente de variação de fabricação

Os resultados dos testes realizados com o microaspersor submetidos à pressão de serviço de 25 mca e com o emissor com microtubo dissipador de energia de 1,0; 0,8; 0,6 e 0,4 m de comprimento a pressão de 30 mca são apresentados nas Tabelas 04 e 05 do Apêndice A.

Os dados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov e a

"Técnica Normal Probability Plot", pelo Laboratório de Matemática e Estatística - LME/CCT/UFPb, mostrando seguir uma distribuição Normal.

A partir destes dados e da Equação 07 obteve-se um coeficiente de variação de fabricação de 0,03 para o microaspersor, com a vazão de 70 % dos emissores na faixa de  $\pm 3\%$  da vazão média, e 95 % das vazões observadas, compreendidas no intervalo de  $\pm 6\%$  da vazão média.

Para o microaspersor com dissipador de energia o "cv" variou de 0,002 a 0,009, com a vazão de 70 % dos emissores na faixa de  $\pm 0,5\%$  da vazão média, e 95 % das vazões observadas em torno de  $\pm 1\%$  da média.

Esta discrepância entre os valores do coeficiente de variação de fabricação pode ser explicada pela maior aderência entre o microtubo e o corpo do microaspersor do que entre este e a haste do modelo original, eliminando-se perdas por vazamento, o que resultou numa medição mais acurada das vazões.

De acordo com a classificação apresentada pelo SOIL CONSERVATION SERVICE (1978) e BERNUTH & SOLOMON (1986), os emissores são excelentes do ponto de vista do processo de fabricação, e estão muito acima dos valores típicos encontrados nos emissores apresentados no mercado cuja variação está entre 0,02 e 1,0. Isto significa que, embora o emissor apresente dimensões críticas de diâmetro de passagem igual a 0,8 mm, a variação de emissor para emissor decorrente do processo de fabricação, não provocará



maiores influências na uniformidade do sistema de irrigação.

### 1.5 - Raio efetivo médio molhado

Os raios efetivos médios determinados do microaspersor foram 1,5; 1,4 e 1,3 para as pressões de 25, 20 e 15 mca, respectivamente. Estes raios efetivos permitem espaçar os emissores de até 2,75m com recobrimento mínimo de 8% e 3,0 m sem recobrimento, conforme mostra a Tabela 4.3

**TABELA 4.3 - Raio efetivo médio molhado e espaçamento com 8% de recobrimento e sem recobrimento, para os microaspersores operando as pressões de 25, 20 e 15 mca.**

PRESSÃO mca	RAIO EFETIVO MÉDIO MOLHADO m	ESPAÇAMENTO (m)	
		8% recobrim.	s/recobrim.
25	1,5	2,75	3,0
20	1,4	2,57	2,8
15	1,3	2,40	2,6

### 1.6 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen

Os coeficientes de uniformidade de distribuição obtidos a partir dos dados das Tabelas mostradas no Apêndice B e da equação 05, para as pressões de 25, 20 e 15 mca e largura de faixa molhada igual a 1,25 m para diversos espaçamentos, determinados como uma percentagem do raio efetivo, são

apresentados na Tabela 4.4.

Os valores do coeficiente de uniformidade estão muito abaixo do mínimo de 80 %, recomendado por Corry (1958), citado por OLITTA (1987), para irrigação por aspersão. Este fato deve-se à forma de distribuição do microaspersor e do recobrimento apenas no sentido da lateral.

**TABELA 4.4 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC, para o microaspersor operando a diferentes pressões e percentagem de recobrimento lateral.**

PRESSÃO mca	RECOBRIMENTO LATERAL (%)	ESPAÇAMENTO m	CUC %
25	17	2,50	52
	25	2,25	52
	33	2,00	53
20	29	2,00	42
	46	1,50	49
	55	1,25	50
15	20	2,00	40
	42	1,50	42
	52	1,25	47

## **2 - LATERAIS**

### **2.1 - Dimensionamento hidráulico das laterais**

O dimensionamento hidráulico das laterais para os espaçamentos de 1,5; 2,0 e 2,5 m entre emissores, adotando-se os métodos convencional, que considera a perda de carga máxima permissível igual a 20% da pressão de serviço para emissores de fluxo turbulento, e o proposto no sub-item Projeto hidráulico de Materiais e Métodos, onde a perda de carga máxima admissível foi preestabelecida em 15 mca, resultante da diferença entre a pressão de entrada na lateral de 40 mca e a pressão de serviço do microaspersor igual a 25 mca, são mostradas na Tabela 4.5.

De acordo com os dados obtidos verifica-se que há um aumento de 48% no comprimento da lateral para espaçamento de 1,5 m e de 50 % para os espaçamentos de 2,0 e de 2,5 m entre emissores.

### **2.2 - Aferição dos resultados obtidos no dimensionamento das laterais pela metodologia proposta.**

As laterais sorteadas para avaliação da uniformidade de vazão são apresentadas no Quadro 4.1

As Tabelas 06 e 07 do Apêndice A mostram os volumes coletados e as vazões médias, para as laterais A e B testadas. Os comprimentos dos trechos das laterais e comprimento dos microtubos correspondentes a cada trecho são apresentados nas figuras 4.3 e 4.4.

**TABELA 4.5- Comprimento e perdas de carga de laterais dimensionadas para operar com emissor tipo microaspersor e emissor tipo microaspersor/microtubo.**

Ql l/h	E m	NS -	Re -	XJ m/m	XJ1 m/m	LL m	F(NS) -	HFT m
-----								
Laterais com microaspersor								
1189	1,5	29	27765,53	0,2909	0,3103	43,5	0,3681	4,97
1066	2,0	26	24893,23	0,2403	0,2523	52,0	0,3701	4,85
984	2,5	24	22987,31	0,2090	0,2173	60,0	0,3717	4,84
-----								
Laterais com emissor tipo microaspersor/microtubo								
1763	1,5	43	41169,58	5,796	0,6185	64,5	0,3623	14,45
1599	2,0	39	37339,85	4,886	0,5130	78,0	0,3636	14,55
1476	2,5	36	34467,55	4,247	0,4417	90,0	0,3646	14,49
-----								

**CONVENÇÕES:**

Ql = vazão da lateral;

E = espaçamento do emissor;

NS = número de emissores ou saídas;

Re = número de Reynolds;

XJ = perda de carga por atrito;

XJ1 = perda de carga considerando a inserção dos emissores

LT = comprimento da lateral;

F(NS) = coeficiente de redução de Christiansen;

HFT = perda de carga total.

Quadro 4.1 - Características das laterais sorteadas para avaliação da uniformidade de vazão.

Lateral	LL	Q	E	N	LM (m)		
					T1	T2	T3
-	m	l/h	m	-			
A	78,0	1599	2,0	03	0,7	0,6	0,5
B	77,5	1271	2,5	02	0,7	0,6	-

CONVENÇÕES:

LL = comprimento da lateral;

Q = vazão da lateral;

E = espaçamento entre emissores;

N = número de trechos (T) em que a lateral foi dividida;

LM1, LM2 e LM3 = comprimentos dos microtubos dos trechos T1

T2 e T3 da lateral, respectivamente.

A lateral A, com emissores espaçados a cada 2,0 m , distribuídos em três trechos 01, 02 e 03, e a lateral B, com emissores espaçados a cada 2,5 m, distribuídos em dois trechos 01 e 02 apresentaram coeficientes de distribuição de vazão iguais a 96,47% e 97,7%, respectivamente. Estes valores, estão acima do limite de 94 %, recomendado pelo SOIL CONSERVATION SERVICE(1978).

As vazões médias obtidas foram de 39,7 l/h para a lateral A e 40,8 l/h para a lateral B. Os coeficientes de variação de fabricação encontrados foram iguais a 0,037 e 0,02 para as laterais A e B, respectivamente.

Verifica-se que as vazões médias observadas de 39,7 l/h, para a lateral A e de 40,8 l/h, para a lateral B são inferiores à vazão esperada de 41 l/h, SILVA (1987) chegou a resultados idênticos, explicando que o fato pode ser devido a duas causas: primeiro, o valor do fator de atrito "fm" usado na equação 3.16 de materiais e métodos, pode ter sido subestimado, conseqüentemente os valores do comprimento dos microtubos foram superestimados, desequilibrando a relação ideal entre a carga hidráulica e o comprimento dos emissores; e segundo o modelo utiliza para o cálculo do comprimento dos microtubos, o valor médio das cargas hidráulicas dos extremos desses trechos, assumindo assim uma linearização da distribuição das pressões dentro do trecho, fato que não ocorre na prática.

As figuras 4.5 e 4.6, mostram a distribuição das pressões nas duas laterais testadas, com as linhas do gradiente de energia linearizadas e conforme WU & GITLIN (1973,1974), a linha do

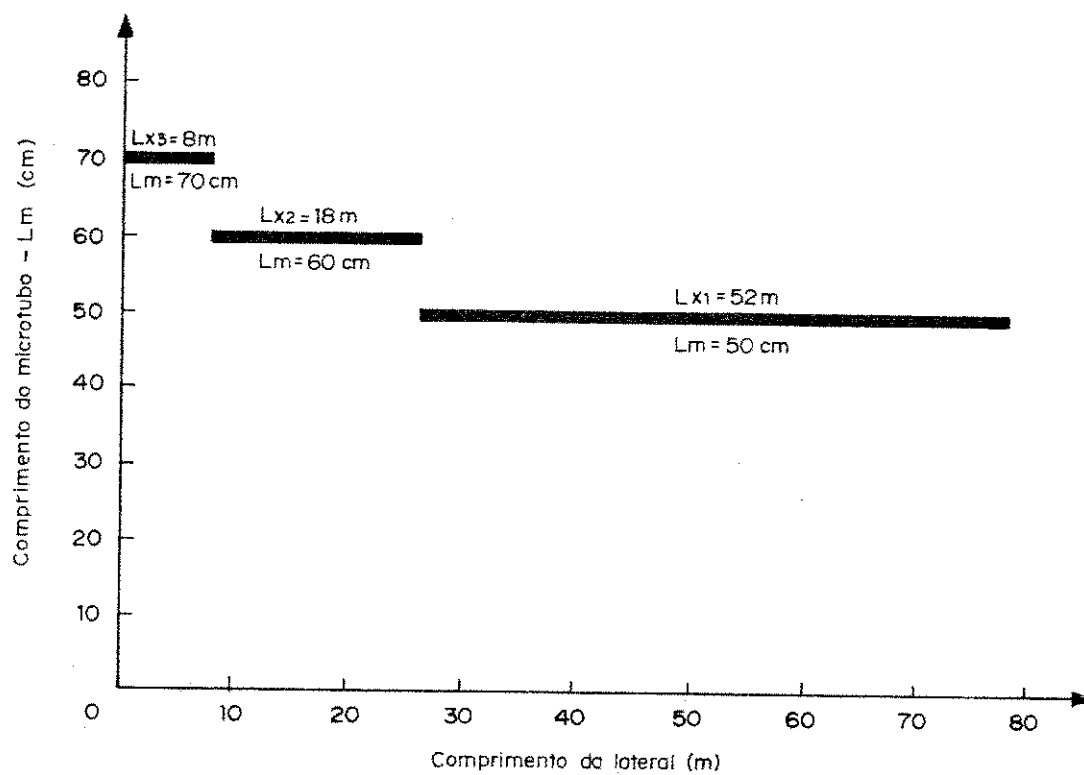


FIGURA 4.3: Comprimento do microtubo por trecho da lateral " A ".

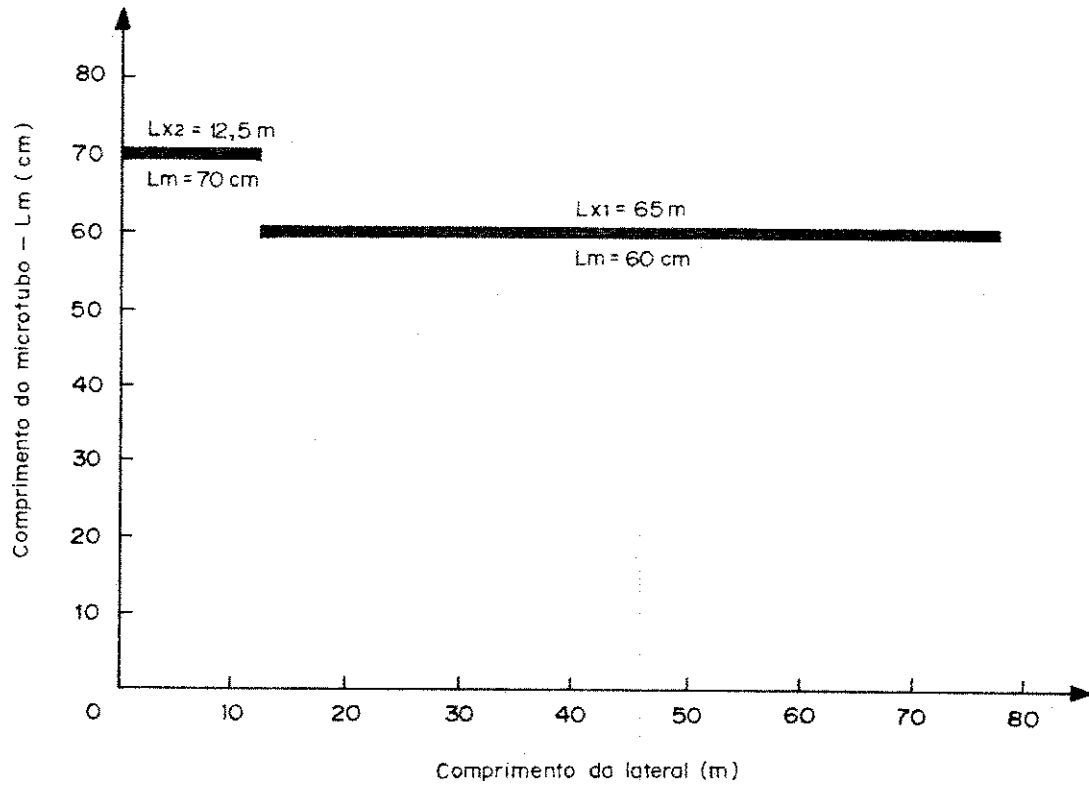


FIGURA 4.4: Comprimento do microtubo por trecho da lateral " B ".



gradiente de energia para tubulações com múltiplas saídas, não será uma linha reta mas, uma curva do tipo exponencial. Portanto a linearização das pressões nos trechos pode ser considerada como um fator de erro.

Entretanto no momento da concepção da metodologia para dimensionamento das laterais, foi previsto uma variação de +/- 10% da vazão média e conforme pode ser observado nas Tabelas 06 e 07 do Apêndice A, todas as vazões observadas, bem como os valores médios obtidos, tiveram variação inferior a +/- 10%, em relação à média esperada de 41 l/h. Portanto, a linearização da curva vazão versus pressão como metodologia para determinação da vazão nos trechos considerados é válida.

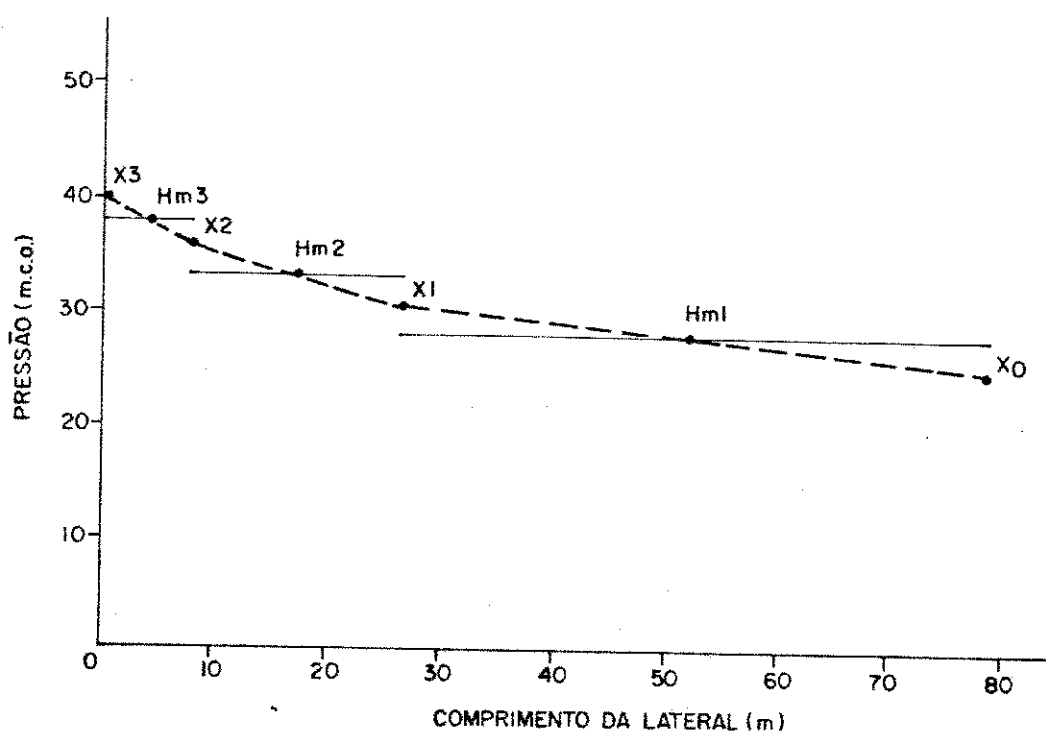


FIGURA 4.5: Distribuição da pressão por trecho da lateral " A ".

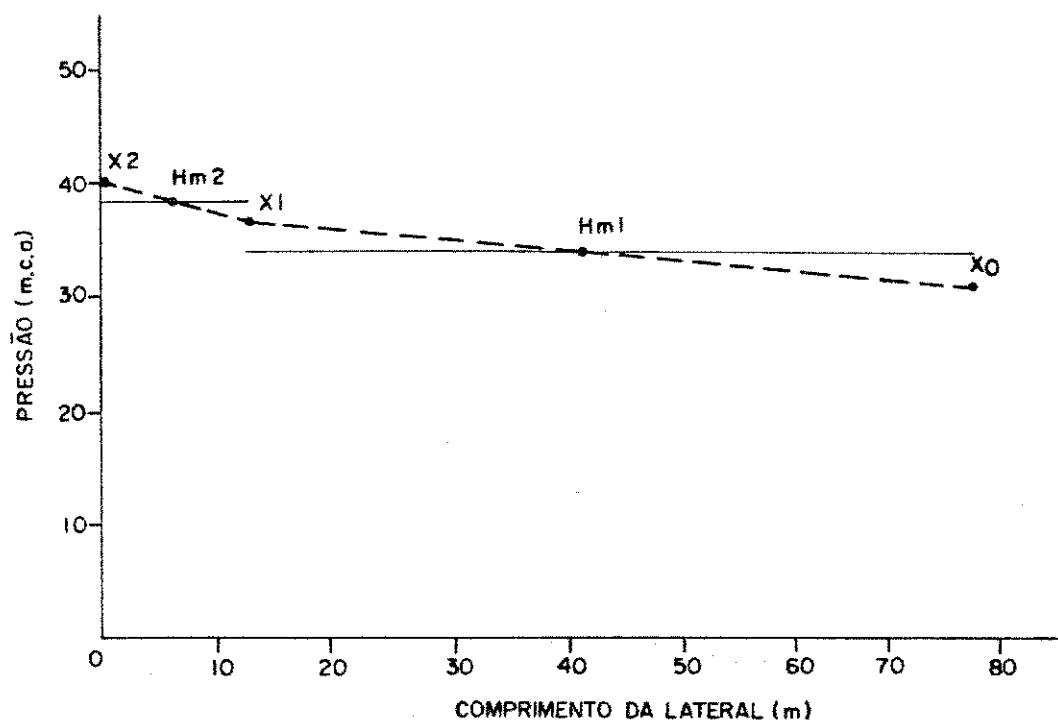


FIGURA 4.6: Distribuição da pressão por trecho da lateral " B ".

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado nos resultados apresentados foi possível chegar às seguintes conclusões e recomendações :

O regime de escoamento do emissor, em estudo, encontra-se na faixa de turbulento a totalmente turbulento, fato que favorece o sistema como um todo por reduzir os problemas de entupimento dos emissores.

O microaspersor original e o microaspersor com dissipador de energia de pressão são considerados de excelente uniformidade em relação ao processo de fabricação, não interferindo na uniformidade de distribuição do sistema de irrigação.

Os coeficientes de uniformidade de distribuição d'água sobre a superfície encontrados com base nos dados do emissor operando isoladamente, variaram entre 50 e 60%, para larguras de faixas molhadas de 1,25 m e recobrimento apenas entre laterais. Este valor está muito abaixo dos mínimos indicados para sistema de irrigação por aspersão. Já o coeficiente de uniformidade de distribuição de vazão ao longo da lateral, determinado para as laterais dimensionadas

pelo modelo para situação em nível foram de 96,47 % e 97,70 % para emissores espaçados de 2,0 e 2,5 m, respectivamente, acima do limite superior da faixa de valores de 70 a 94 % , recomendado pelo SOIL CONSERVATION SERVICE.

As características de perda de carga por fricção dos microtubos estudados mostram uma excelente similaridade com a linha de " tubos hidraulicamente lisos " do diagrama de MOODY, portanto, a Equação de Darcy-Weisbach é recomendada para calcular as perdas de carga.

O uso da metodologia proposta permite para laterais de diâmetro interno igual a 15 mm, um aumento de comprimento de até 48% para espaçamento de 1,5 m e de 50% para os espaçamentos de 2,0 e de 2,5 m entre emissores.

O microtubo em estudo pode ser usado para dissipar o excesso da energia de pressão entre a lateral e o corpo do microaspersor, proporcionando uma boa uniformidade na distribuição de vazão ao longo de toda lateral.

A determinação da uniformidade de distribuição de água do microaspersor estudado seria mais representativa, se fosse realizada em condições de campo com base nos valores de umidade medidos após distribuição horizontal da água no solo.

Estudos mais abrangentes para a estimativa do fator de atrito " fm " devem ser efetuados isolando as perdas de carga localizada no corpo do microaspersor e na conexão usada para inserir o microtubo na lateral.

Considerando-se viável o uso de microtubos como dissipadores de energia de pressão, em sistemas que utilizam microaspersor como emissor, realizar testes com microtubos em outros tipos de microaspersores que operem à pressão de serviço menores, com vistas a minimizar o custo.

Proceder avaliação econômica de um sistema de irrigação que utilize o microaspersor original como emissor, microaspersores utilizando microtubos como dissipadores de pressão, e autocompensantes disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ABREU, J.M.H.; LOPES, J.R.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J.F.G.; "El riego localizado". Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. Madrid. 1987. 317 p.
- 2 - BAAR, I.C.; "Design of trickle irrigation systems". Depto. of Irrigation and Civil Engineering. Agricultural University. Wageningen. The Netherlands, 1976. 106 p.
- 3 - BRALTS, V.F.; "Field performance and evaluation". In: Trickle irrigation for crop production (Nakayama, F.S.; Bucks, D.A.). Phoenix, Arizona, 1986. Chapter 3, pp 216-240.
- 4 - BUCKS, D.A.; DAVIS, S.; "Historical developement". In: Trickle irrigation for crop production (Nakayama, F.S.; Bucks, D.A.). Phoenix, Arizona, 1986. Chapter 1.
- 5 - BUCKS, D.A.; MYERS, L.E. ;" Trickle irrigation-application uniformity from simple emitters". Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol 16, nº6, 1973. pp 1108-1116.
- 6 - CABELLO, F.P.; "Riegos localizados de alta frecuencia". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 1986, 460 p.
- 7 - GANZER NETO, F.; "Small diameter tubing hydraulics for trickle irrigation design". UTAH STATE UNIVERSITY. Logan Utah, 1978. 123 p. (Tese Msc).
- 8 - GARCEZ, L.N.; "Elementos de mecânica dos fluidos - Hidráulica". 2ª Ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1970. 449p.
- 9 - GILBERT, R.G.; FORD, H.W.; " Emitter clogging ". In: Trickle irrigation for crop production (Nakayama, F.S.; Bucks, D.A.).



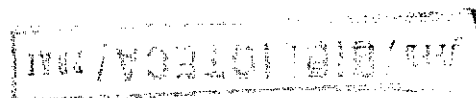
Phoenix, Arizona, 1986. Chapter 3, pp 142-163.

- 10 -GILLESPIE, V.A.; PHILLIPS, A.L.; WU, I.P.; " Drip irrigation design equation ". Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol. 105 IR3. 1979 pp 247-257.
- 11 -HOLZAPFEL, E.A.; MARINO, M.A.; VALENZUELA, A.; "Drip irrigation non linear optimization model". Journal of irrigation and Drainage Engineering. ASCE, vol 116 , nº4. 1990. pp 479-496.
- 12 -HOWELL, T.A.; HILLER, E.A.; " Trickle irrigation lateral design " . Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol 17, nº5, 1973. pp 1108-1116.
- 13 -HOWELL, T.A.; STEVESON, D.S.; ALJIBURY, F.K.; GITLIN, H.M.; WU, I.P.; WARRICK, A.W.; RAATS, P.A.C.; " Desing and operation of farm irrigation systems. (Jensen, M.E.). ASAE Monograph nº3. Saint Joseph, Michigan, 1981. Chapter 16, pp 663-714.
- 14 -HWANG, N.H.C.; " Fundamentos de sistemas de engenharia hidráulica ". Editora Prentice-Hall do Brasil. Rio de Janeiro, 1984, 315 p.
- 15 -KAMAND, F.Z.; " Hydraulic friction factors for pipe flow ". Journal of irrigation and Drainage Engineering. ASCE, vol 114, nº2. 1988. pp 311-323.
- 16 -KARMELI, D.; SMITH, S.W.; " Irrigation with aerosol emitters ". Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol 21 , nº 5, 1978. pp 878-880.
- 17 -KELLER, J.; KARMELI, D.; " Trickle irrigation design ". Rain Bird Sprinkles Manufacturing Corp. Glendora, California, 1<sup>st</sup> ed. 1975, 133p.
- 18 -KENWORTHY, A.L.; " Trickle irrigation-the concept and guidelines for use ". Michigan Agriculture Experiment

Station. Michigan State University, Research Report 165, Farm Science, 1972, 20 p.

- 19 -KHATRI, K.C.; WU, I.P.; GITLIN, H.M.; PHILLIPS, A.L.; "Hydraulics of microtube emitters". Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol.105 IR2. 1979 pp 163-173.
- 20 -MEDEIROS, J.D.F.; "Distribuição de água do microaspersor ED2, em solo com barreira impermeável no perfil". UFPB. Campina Grande, 1987. 129 p (Tese MSc).
- 21 -MYERS, L.E.; BUCKS, D.A.; "Uniform irrigation with low-pressure trickle systems". Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol.98 IR3. 1972 pp 341-346.
- 22 -NEVES, E.T.; "Curso de hidráulica". 8ª Ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1986, 577 p.
- 23 -NORME INTERNATIONALE ISO - Organization Internationale de Normalisation -8026. "Matériel d'irrigation - Diffuseurs - Exigences générales et méthodes l'essai". Première édition. 1985. Suisse. 8p.
- 24 -OLITTA, A.F.L.; "Os métodos de irrigação". Editora Nobel. 1986. 267 p.
- 25 -OLIVEIRA, C.A.S.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P.A.; VIEIRA, M.; "Características hidráulicas de gotejadores". Revista Ceres, Universidade Federal de Viçosa, Vol 26 nº146. 1979. pp 341-346.
- 26 -REGO, G.M.A.M.; "Desenvolvimento de um microaspersor fixo de baixa pressão e distribuição setorial para irrigação localizada". UFPB. Campina Grande, 1985. 287p (Tese Msc).
- 27 -SCALOPPI, E.J.; "Características dos principais sistemas de

- irrigação ". Revista Item-Irrigação e Tecnologia Moderna da Assoc. Bras. de Irrigação e Drenagem, nº 25. Brasília-DF. junho, 1986 pp 22-27.
- 28 -SCHWARTZMAN,M.;ZUR,B.;"Emitter spacing and geometry of wetted soil volume".Journal of irrigation and Drainage Engineering. ASCE,vol 112 ,nº3. 1986. pp 242-253.
- 29 -SILVA,P.J.C.;" Caracterização hidráulica de linhas laterais, em sistemas localizados que utilizam microtubos de tamanho variado como emissores". UFPB. Campina Grande, 1987. 173 p (Tese MSc).
- 30 -SOIL CONSERVATION SERVICE-USDA. "Trickle irrigation".National Engineering Handbook.Section 15.Chapter 7,1978.
- 31 -SOLOMON,K.;"Manufacturing variation of trickle emitters". Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol 22, nº 5, 1979. pp 1034-1038.
- 32 -SOLOMON,K,H.;"Resource utilization efficiency ". Transactions of the American Society of Agricultural Engineers.Vol, nº , 1982. pp 93-95.
- 33 -STREETER,V.L.;"Mecânica dos fluídos". Editora McGraw-Hill do Brasil,Ltda,São Paulo, 1974. 736 p.
- 34 -TELLES,D.D.;" Irrigação localizada ".Revista Item-Irrigação e Tecnologia Moderna da Assoc. Bras. de Irrigação e Drenagem, nº 23 Brasília-DF. Dezembro, 1985 pp 29-30.
- 35 -TELLES,D.D.;"Métodos de irrigação".In: Elaboração de Projetos de Irrigação.Brasília-DF.PNI/Fundação CTH.1986. T3.76-T3.100.
- 36 -VON BERNUTH,R.D.;SOLOMON,K.H. " Emitter construction ". In: Trickle irrigation for crop production(Nakayama,F.S.;



- Bucks,D.A.).Phoenix, Arizona, 1986. Chapter 2, pp 27-52.
- 37 -WATTERS,G.Z.;KELLER,J.;"Trickle irrigation tubing hydraulics"  
American Society of Agricultural Engineers.Paper nº 78-  
2015. Saint Joseph, Michigan, 1978. 19 p.
- 38 -WARRICK,A.W.; YITAYEW,M.;" Trickle lateral hydraulics. I:  
Analitical Solution ". Journal of Irrigation and Drainage  
Division. ASCE, Vol.114, IR3. 1988 pp 281-288.
- 39 -WU,I.P.; GITLIN,H.M.; " Hydraulics and uniformity for drip  
irrigation".Journal of Irrigation and Drainage Division.  
ASCE Vol.99 IR2. 1973 pp 157-168.
- 40 -WU,I.P.;GITLIN,H.M.; " Drip irrigation design based on  
Uniformity ". Transactions of the American Society of  
Agricultural Engineers. Vol17, nº3 , 1974. pp 429-432.
- 41 -WU,I.P.;" A uniplot for drip irrigation lateral and submain  
design". American Society of Agricultural Engineers.  
Paper nº 83-2595. Saint Joseph,Michigan, 1983. 27 p.
- 42 -WU,I.P.; GITLIN,H.M.; SOLOMON,K.H.; SARUWATARI,C.A.; " System  
design".In: Trickle irrigation for crop production (  
Nakayama, F.S.; Bucks,D.A.).Phoenix, Arizona,1986.Chapter  
2,pp 53-92.

**APÉNDICE "A"**

TABELA 01- Vazão para o microaspersor com microtubos de 1,0;0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 mca. Operando as pressões de 20 a 40 mca.

micro-tubo(m)	emis-sor	p mca	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	qm ml	Re l/h	f
1,0	m6	20	235	235	235	235	28	5604,48	0,036
		25	265	265	265	265	32	6405,12	0,035
		30	290	290	290	290	35	7005,60	0,034
		35	310	310	315	312	37	7405,92	0,034
		40	330	335	335	333	40	8006,40	0,033
	m12	20	240	240	235	238	29	5804,64	0,036
		25	265	265	265	265	32	6405,12	0,035
		30	290	290	290	290	35	7005,60	0,034
		35	310	315	315	313	38	7606,08	0,034
		40	335	335	340	337	40	8006,40	0,033
	m18	20	240	240	235	238	29	5804,64	0,036
		25	265	265	265	265	32	6405,12	0,035
		30	295	290	290	292	35	7005,60	0,034
		35	315	315	315	315	38	7606,08	0,034
		40	330	335	335	333	40	8006,40	0,033
0,8	m6	20	250	255	255	253	30	6004,80	0,036
		25	290	285	290	288	35	7005,60	0,034
		30	305	305	310	307	37	7405,92	0,034
		35	325	330	330	328	39	7806,24	0,034
		40	350	350	350	350	42	8406,72	0,033
	m12	20	250	250	255	252	30	6004,80	0,036
		25	290	290	285	288	35	7005,60	0,034
		30	310	310	310	310	37	7405,92	0,034
		35	330	330	330	330	40	8006,40	0,033
		40	350	355	350	352	42	8406,72	0,033
	m18	20	250	250	255	252	30	6004,80	0,036
		25	280	280	280	280	34	6805,44	0,035
		30	305	305	305	305	37	7405,92	0,034
		35	330	330	325	328	39	7806,24	0,034
		40	350	345	355	350	42	8406,72	0,033
0,6	m6	20	265	270	265	267	32	6405,12	0,035
		25	285	290	290	288	35	7005,60	0,034
		30	310	315	320	315	38	7606,08	0,034
		35	340	345	345	343	41	8206,56	0,033
		40	370	370	370	370	44	8807,04	0,033
	m12	20	260	260	260	260	31	6204,96	0,036
		25	285	290	290	288	35	7005,60	0,034
		30	315	320	315	317	38	7606,08	0,034
		35	340	345	345	343	41	8206,56	0,033
		40	365	370	375	370	44	8807,04	0,033

TABELA 01- Vazão para o microaspersor com microtubos de 1,0;0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 mca. Operando as pressões de 20 a 40 mca. Cont.

micro-tubo(m)	emis-sor	p mca	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	qm ml	Re l/h	f
0,6	m18	20	265	265	265	265	32	6005,12	0,035
		25	290	290	295	292	35	7005,60	0,034
		30	315	320	325	320	38	7606,08	0,034
		35	350	350	350	350	42	8406,72	0,033
		40	370	365	360	365	44	8807,04	0,033
	m6	20	275	275	275	275	33	6605,28	0,035
		25	305	305	310	306	37	7405,92	0,034
		30	330	325	330	328	39	7806,24	0,033
		35	355	360	360	355	43	8606,88	0,033
		40	375	380	380	378	45	9007,20	0,032
0,5	m12	20	270	270	275	272	33	6605,28	0,035
		25	305	315	305	308	37	7405,92	0,034
		30	330	335	335	333	40	8006,40	0,033
		35	350	355	360	355	43	8606,88	0,033
		40	380	380	380	380	46	9207,36	0,032
	m18	20	280	270	275	275	33	6605,28	0,035
		25	305	305	305	305	37	7405,92	0,034
		30	330	330	325	328	39	7806,24	0,033
		35	355	360	350	355	43	8606,88	0,033
		40	380	390	380	383	46	9207,36	0,032
	m6	20	280	280	285	282	34	6805,44	0,035
		25	320	310	310	313	38	7606,28	0,034
		30	340	340	340	340	41	8206,56	0,033
		35	370	365	370	368	44	8807,04	0,033
		40	400	395	395	397	48	9607,68	0,032
0,4	m12	20	280	280	285	282	34	6805,44	0,036
		25	320	315	315	317	38	7405,92	0,034
		30	345	340	345	343	41	8206,56	0,033
		35	370	370	365	368	44	8807,04	0,033
		40	395	400	395	397	48	9607,68	0,032
	m18	20	280	280	285	282	34	6805,44	0,035
		25	310	310	315	312	38	7606,28	0,034
		30	345	345	340	343	41	8206,56	0,033
		35	370	365	370	368	44	8807,04	0,033
		40	400	395	395	397	48	9607,68	0,032

TABELA 02- Dados de volumes e vazões transformadas de 10 microaspersores, operando as pressões de 05, 10, 15, 20, 25 e 30 mca.

P mca	Micro	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	q1 l/h	q2 l/h	q3 l/h	qm l/h
05	03	160	155	160	158,3	19,2	18,6	19,2	19,0
	05	155	155	155	155,0	18,6	18,6	18,6	18,6
	06	155	155	160	156,6	18,6	18,6	19,2	18,8
	08	155	160	155	156,6	18,6	19,2	18,6	18,8
	10	160	160	160	160,0	19,2	19,2	19,2	19,2
	12	160	155	155	156,6	19,2	18,6	18,6	18,8
	18	165	155	155	158,3	19,8	18,6	18,6	19,0
	20	160	165	155	160,0	19,2	19,8	18,6	19,2
	24	155	155	155	155,0	18,6	18,6	18,6	18,6
	29	160	155	155	156,6	19,2	18,6	18,6	18,8
10	03	215	215	215	215,0	25,8	25,8	25,8	25,8
	05	210	210	215	211,6	25,2	25,2	25,8	25,4
	06	210	210	210	210,0	25,2	25,2	25,2	25,2
	08	220	215	215	216,6	26,4	25,8	25,8	26,0
	10	215	215	215	215,0	25,8	25,8	25,8	25,8
	12	215	215	215	215,0	25,8	25,8	25,8	25,8
	18	215	210	215	213,3	25,8	25,2	25,8	25,6
	20	220	215	220	218,3	26,4	25,8	26,4	26,2
	24	210	210	210	210,0	25,2	25,2	25,2	25,2
	29	215	220	220	218,3	25,8	26,4	26,4	26,2
15	03	260	260	265	261,6	31,2	31,2	31,8	31,4
	05	260	260	265	261,6	31,2	31,2	31,8	31,4
	06	260	260	260	260,0	31,2	31,2	31,2	31,2
	08	265	260	265	263,3	31,8	31,2	31,8	31,6
	10	265	265	265	265,0	31,8	31,8	31,8	31,8
	12	265	265	265	265,0	31,8	31,8	31,8	31,8
	18	265	260	265	263,3	31,8	31,2	31,8	31,6
	20	265	265	260	263,3	31,8	31,8	31,2	31,6
	24	260	260	260	260,0	31,2	31,2	31,2	31,2
	29	265	265	260	263,3	31,8	31,8	31,2	31,6



TABELA 02- Dados de volumes e vazões transformadas de 10 microaspersores, operando as pressões de 05, 10, 15, 20, 25 e 30 mca. Continuação.

P mca	Micro	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	q1 l/h	q2 l/h	q3 l/h	qm l/h
20	03	305	305	305	305,0	36,6	36,6	36,6	36,6
	05	300	300	300	300,0	36,0	36,0	36,0	36,0
	06	300	300	295	298,3	36,0	36,0	35,4	35,8
	08	300	305	305	303,3	36,0	36,6	36,6	36,4
	10	310	310	310	310,0	37,2	37,2	37,2	37,2
	12	305	310	310	308,3	36,6	37,2	37,2	37,0
	18	300	305	305	303,3	36,0	36,6	36,6	36,4
	20	310	310	310	310,0	37,2	37,2	37,2	37,2
	24	300	300	295	298,3	36,0	36,0	35,4	35,8
	29	305	305	305	305,0	36,6	36,6	36,6	36,6
25	03	340	340	340	340,0	40,8	40,8	40,8	40,8
	05	340	340	340	340,0	40,8	40,8	40,8	40,8
	06	345	340	335	340,0	41,4	40,8	40,2	40,8
	08	350	345	345	346,6	42,0	41,4	41,4	41,6
	10	345	345	345	345,0	41,4	41,4	41,4	41,4
	12	340	345	350	345,0	40,8	41,4	42,0	41,4
	18	340	345	340	341,6	40,8	41,4	40,8	41,0
	20	345	345	345	345,0	41,4	41,4	41,4	41,4
	24	340	345	350	345,0	40,8	41,4	42,0	41,4
	29	340	340	335	338,3	40,8	40,8	40,2	40,6
30	03	375	375	375	375,0	45,0	45,0	45,0	45,0
	05	370	370	375	371,6	44,4	44,4	45,0	44,6
	06	365	365	365	365,0	43,8	43,8	43,8	43,8
	08	375	375	370	373,3	45,0	45,0	44,4	44,8
	10	380	380	375	378,3	45,6	45,6	45,0	45,4
	12	380	375	380	378,3	45,6	45,0	45,6	45,4
	18	375	375	375	375,0	45,0	45,0	45,0	45,0
	20	375	375	375	375,0	45,0	45,0	45,0	45,0
	24	365	370	370	368,3	43,8	44,4	44,4	44,2
	29	375	375	375	375,0	45,0	45,0	45,0	45,0

TABELA 03- Vazões médias, número de Reynolds e fator de atrito do emissor com microtubos de 1,0; 0,8; 0,6; 0,5 e 0,4 m de comprimento para pressões variando de 20 a 40 mca.

l m	p mca	qm l/h	Re	f
1,0	20	28,7	5744,59	0,036
	25	32,0	6405,12	0,035
	30	35,0	7005,60	0,034
	35	37,7	7546,03	0,034
	40	40,0	8006,40	0,033
0,8	20	30,0	6004,80	0,036
	25	34,7	6945,55	0,034
	30	37,0	7405,92	0,034
	35	39,3	7866,29	0,034
	40	42,0	8406,72	0,033
0,6	20	31,7	6345,07	0,035
	25	35,0	7005,60	0,034
	30	38,0	7606,08	0,034
	35	41,3	8266,61	0,033
	40	44,0	8807,04	0,033
0,5	20	33,0	6605,28	0,035
	25	37,0	7405,92	0,034
	30	39,3	7866,29	0,033
	35	43,0	8606,88	0,033
	40	45,7	9147,31	0,032
0,4	20	34,0	6805,44	0,035
	25	37,7	7546,03	0,034
	30	41,0	8206,56	0,033
	35	44,0	8807,04	0,033
	40	48,0	9607,68	0,032

**TABELA 04: Vazão média de 31 microaspersores, escolhidos ao acaso, submetidos a pressão de 25mca recomendada pelo fabricante e obtida com três repetições.**

Micro	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	q1 l/h	q2 l/h	q3 l/h	qm l/h
01	335	335	330	333,3	40,2	40,2	39,6	40,0
02	350	350	345	348,3	42,0	42,0	41,4	41,8
03	340	340	340	340,0	40,8	40,8	40,8	40,8
04	355	355	360	356,6	42,6	42,6	43,2	42,8
05	340	340	340	340,0	40,8	40,8	40,8	40,8
06	345	340	335	340,0	41,4	40,8	40,2	40,8
07	360	355	355	356,6	43,2	42,6	42,6	42,8
08	350	345	345	346,6	42,0	41,4	41,4	41,6
09	355	355	355	355,0	42,6	42,6	42,6	42,6
10	345	345	345	345,0	41,4	41,4	41,4	41,4
11	355	355	355	355,0	42,6	42,6	42,6	42,6
12	340	345	350	345,0	40,8	41,4	42,0	41,4
13	325	325	325	325,0	39,0	39,0	39,0	39,0
14	350	355	350	351,6	42,0	42,6	42,0	42,2
15	325	325	320	323,3	39,0	39,0	38,4	38,8
16	350	355	340	348,3	42,0	42,6	40,8	41,8
17	355	340	350	348,3	42,6	40,8	42,0	41,8
18	340	345	340	341,6	40,8	41,4	40,8	41,0
19	330	325	325	326,5	39,6	39,0	39,0	39,2
20	345	345	345	345,0	41,4	41,4	41,4	41,4
21	350	355	355	353,3	42,0	42,6	42,6	42,4
22	330	330	335	331,6	39,6	39,6	40,2	39,8
23	345	355	355	351,6	41,4	42,6	42,6	42,2
24	340	345	350	345,0	40,8	41,4	42,0	41,4
25	350	350	345	348,3	42,0	42,0	41,4	41,8
26	350	350	350	350,0	42,0	42,0	42,0	42,0
27	325	330	330	328,3	39,0	39,6	39,6	39,4
28	320	320	320	323,3	38,4	38,4	38,4	38,4
29	340	340	335	338,3	40,8	40,8	40,2	40,6
30	315	315	315	315,0	37,8	37,8	37,8	37,8
31	350	350	355	351,6	42,0	42,0	42,6	42,2

TABELA 05: Vazão média para 04 conjuntos de emissores, a pressão de 30 mca. Cada conjunto é composto de 10 microaspersores e um comprimento de microtubo. Os comprimentos testados foram 1,0; 0,8; 0,6 e 0,4 m.

l m	Micro	v1 ml	v2 ml	v3 ml	vm ml	q1 l/h	q2 l/h	q3 l/h	qm l/h
	03	290	290	290	290	34,8	34,8	34,8	34,8
	05	295	295	295	295	35,4	35,4	35,4	35,4
	06	290	290	290	290	34,8	34,8	34,8	34,8
	12	290	290	290	290	34,8	34,8	34,8	34,8
1,0	16	295	295	290	293	35,4	35,4	34,8	35,2
	18	295	290	290	292	35,4	34,8	34,8	35,0
	20	295	295	290	293	35,4	35,4	34,8	35,2
	24	295	295	295	295	35,4	35,4	35,4	35,4
	25	295	295	295	295	35,4	35,4	35,4	35,4
	26	300	300	295	298	36,0	36,0	35,4	35,8
	03	305	305	305	305	36,6	36,6	36,6	36,6
	05	310	310	305	308	37,2	37,2	36,6	37,0
	06	305	305	310	307	36,6	36,6	37,2	36,8
	12	310	310	310	310	37,2	37,2	37,2	37,2
0,8	16	310	310	310	310	37,2	37,2	37,2	37,2
	18	305	305	305	305	36,6	36,6	36,6	36,6
	20	310	310	310	310	37,2	37,2	37,2	37,2
	24	310	310	310	310	37,2	37,2	37,2	37,2
	25	310	310	310	310	37,2	37,2	37,2	37,2
	26	310	310	315	312	37,2	37,2	37,8	37,4
	03	325	320	325	323	39,0	38,4	39,0	38,8
	05	320	325	325	323	38,4	39,0	39,0	38,8
	06	325	325	320	323	39,0	39,0	38,4	38,8
	12	325	320	325	323	39,0	38,4	39,0	38,8
0,6	16	320	325	325	323	38,4	39,0	39,0	38,8
	18	325	320	325	323	39,0	38,4	39,0	38,8
	20	325	325	325	325	39,0	39,0	39,0	39,0
	24	320	325	325	323	38,4	39,0	39,0	38,8
	25	325	325	325	325	39,0	39,0	39,0	39,0
	26	325	325	325	325	39,0	39,0	39,0	39,0
	03	340	340	340	340	41,0	41,0	41,0	41,0
	05	345	345	340	343	41,4	41,4	41,0	41,2
	06	340	340	340	340	41,0	41,0	41,0	41,0
	12	345	340	345	343	41,4	41,0	41,4	41,2
0,4	16	345	345	345	345	41,4	41,4	41,4	41,4
	18	345	345	340	343	41,4	41,4	41,0	41,2
	20	345	345	345	345	41,4	41,4	41,4	41,4
	24	345	340	350	345	41,4	41,0	42,0	41,4
	25	345	345	340	343	41,4	41,4	41,0	41,2
	26	345	345	345	345	41,4	41,4	41,4	41,4

**TABELA 06: Resultados do teste com a Lateral A: vazão total igual a 1599 l/h; espaçamento entre emissores igual a 2,0 m, Número de saídas igual a 39, número de trechos igual a 3 e pressão inicial igual a 40 mca.**

Emissor	comprimento do microtubo - m	volume - ml				vazão média - l/h
		V1	V2	V3	Vm	
01	0,7	365	360	365	365	43,8
02		360	365	360	365	43,8
03		350	350	345	348	42,0
04		350	350	345	348	42,0
05	0,6	355	355	355	355	42,0
06		340	340	340	340	40,8
07		350	345	350	348	42,0
08		345	350	345	347	41,6
09		340	340	340	340	40,8
10		325	325	325	325	39,0
11		340	340	340	340	40,8
12		335	330	330	332	40,0
13		310	315	320	315	39,0
14	0,5	330	330	335	332	40,0
15		330	330	335	332	40,0
16		330	330	325	327	39,6
17		335	330	335	333	40,0
18		330	330	330	330	39,6
19		325	325	325	325	39,0
20		325	325	325	325	39,0
21		325	325	325	325	39,0
22		325	330	325	327	39,4
23		320	320	320	320	38,4
24		325	325	325	325	39,0
25		325	325	320	323	38,8
26		325	320	325	323	38,8
27		320	320	320	320	38,4
28		320	320	320	320	38,4
29		320	320	320	320	38,4
30		320	320	320	320	38,4
31		320	320	320	320	38,4
32		320	320	325	322	38,8
33		320	320	320	320	38,4
34		320	320	320	320	38,4
35		320	320	325	322	38,8
36		325	325	320	323	38,8
37		320	320	320	320	38,4
38		320	320	320	320	38,4
39		325	325	325	325	39,0

TABELA 07: Resultados do teste com a Lateral B: vazão total igual a 1271 l/h; espaçamento entre emissores igual a 2,5 m, Número de saídas igual a 31, número de trechos igual a 2 e pressão inicial igual a 40 mca.

Emissor	comprimento do microtubo - m	volume - ml				vazão média - l/h
		V1	V2	V3	Vm	
01	0,7	355	355	355	355	42,6
02		355	355	355	355	42,6
03		345	345	345	345	41,4
04		350	355	355	353	42,4
05		350	350	345	348	41,8
06	0,6	355	350	345	350	42,0
07		355	350	340	348	41,8
08		345	350	355	350	42,0
09		335	330	335	333	40,0
10		335	330	335	333	40,0
11		350	345	345	346	41,6
12		340	335	340	338	40,6
13		335	345	340	340	40,8
14		335	345	340	340	40,8
15		340	335	345	340	40,8
16		340	335	345	340	40,8
17		330	330	330	330	39,6
18		335	340	340	338	40,6
19		340	340	340	340	40,8
20		340	340	340	340	40,8
21		330	330	335	333	40,0
22		335	335	340	337	40,4
23		335	335	340	337	40,4
24		335	335	340	337	40,4
25		335	330	330	332	39,8
26		330	335	335	333	40,0
27		335	335	340	337	40,0
28		340	340	340	340	40,8
29		340	340	340	340	40,8
30		335	335	330	333	40,0
31		325	330	330	328	39,4

APÉNDICE "B"

## DADOS DO TESTE DE AVALIAÇÃO DO MICROASPERSONOR

MICROASPERSONOR	M <sub>3</sub>	TESTE	01
ALTURA EM REL. SOLO	42	PRESSÃO	25
EV DURANTE O TESTE	0	VAZÃO	41
VEL DO VENTO	0	DURAÇÃO DO TESTE	1:30
	cm		mca
	ml		l/h
	m/s		h

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	5,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	17,4	0,0	0,0	5,7	1,8	0,0	0,0	0,0
04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	20,0	0,0	15,8	19,2	3,1	0,0	0,0	0,0
05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	50,0	3,9	6,3	52,0	10,2	0,0	1,5	5,5	1,5
06	0,0	0,0	0,0	2,1	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	110,0	67,0	1,1	79,0	21,0	0,0	14,8	29,0	16,4	3,5
07	0,0	0,0	0,0	2,9	31,5	31,0	0,7	0,0	0,0	192,0	65,0	36,0	58,0	1,9	38,5	58,0	22,5	5,0	0,0
08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	74,0	9,0	20,0	152,0	35,5	48,5	29,0	98,0	25,0	1,9	0,0	0,0	0,0
09	0,0	0,0	0,0	2,1	9,5	13,6	17,2	60,0	48,0	89,0	30,0	35,0	17,0	0,8	0,7	1,8	6,8	6,7	4,70
10	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	13,0	36,0	92,0	47,0	-----	26,0	30,0	68,0	89,0	83,0	66,0	50,0	32,0	13,6
11	0,0	0,0	0,0	1,9	11,4	27,5	39,0	80,0	68,0	31,0	36,0	48,0	26,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,6	3,8
12	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	40,0	76,0	32,0	21,0	40,0	35,0	43,0	56,0	69,0	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	8,7	27,0	9,2	9,4	61,0	7,8	12,8	76,0	22,0	37,0	6,4	70,0	43,0	6,3	0,0	0,0
14	0,0	0,0	1,0	3,8	1,2	5,9	48,0	0,0	46,0	3,1	73,0	2,3	79,0	10,8	0,7	29,0	27,0	6,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	22,5	3,5	0,0	52,0	1,0	38,5	2,2	12,6	65,0	4,0	0,0	7,5	3,4	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	5,4	0,0	2,4	32,0	0,0	19,0	23,0	0,0	36,0	36,0	0,3	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	11,0	0,0	8,2	39,0	1,0	4,5	25,5	5,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,8	0,0	3,4	23,2	4,10	0,0	2,2	3,4	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





## DADOS DO TESTE DE AVALIAÇÃO DO MICROASPERSONOR

MICROASPERSONOR	M <sub>6</sub>	TESTE	03
ALTURA EM REL. SOLO	42	PRESSÃO	25
	----- cm		----- mca
EV DURANTE O TESTE	0	VAZÃO	41
	----- ml		----- l/h
VEL DO VENTO	0	DURAÇÃO DO TESTE	1:30
	----- m/s		----- h

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04	0,0	0,0	0,0	0,5	3,2	0,0	13,8	0,0	0,0	0,5	2,5	4,3	0,0	3,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
05	0,0	0,0	0,0	0,5	15,6	21,8	19,4	27,0	0,0	19,0	40,0	3,4	6,0	23,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	42,0	21,0	67,0	1,2	65,0	82,0	0,7	104,0	6,0	0,0	7,4	14,2	2,0	0,0
07	0,0	0,0	0,0	7,2	13,0	4,5	49,0	20,0	3,8	50,0	45,0	116,0	6,4	7,0	128,0	116,0	5,0	0,0	0,0
08	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	47,0	44,0	54,0	22,0	39,0	55,0	12,5	56,0	39,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
09	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	16,0	27,0	70,0	59,0	38,0	42,0	8,0	8,6	3,5	23,0	17,8	1,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	24,6	100,0	132,0	48,0	*	34,0	5,0	10,2	32,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	17,4	21,0	92,0	28,0	25,0	78,0	110,0	58,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	88,0	31,0	47,0	40,0	30,0	34,0	30,0	99,0	35,5	3,6	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	33,0	12,5	72,5	12,0	57,0	5,2	41,5	19,5	0,8	31,0	27,0	5,8	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,5	4,6	3,8	14,0	88,0	13,2	51,0	9,0	3,2	42,0	9,2	0,0	3,0	1,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	43,0	42,0	1,0	42,0	29,0	0,0	11,0	53,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	34,0	11,0	0,0	31,0	53,0	0,8	2,8	43,0	43,0	14,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	11,0	1,2	0,0	24,8	57,0	5,8	0,0	16,8	40,0	22,0	4,4	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2	0,0	0,0	16,0	44,0	8,0	0,0	0,4	13,2	15,8	5,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	21,2	6,0	0,0	0,0	2,5	4,5	2,8	0,0	0,0







## DADOS DO TESTE DE AVALIAÇÃO DO MICROASPERSONOR

MICROASPERSONOR	M <sub>5</sub>	TESTE	07
ALTURA EM REL. SOLO	42	PRESSÃO	20
	----- cm		----- mca
EV DURANTE O TESTE	0	VAZÃO	41
	----- ml		----- l/h
VEL DO VENTO	0	DURAÇÃO DO TESTE	1:30
	----- m/s		----- h

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	0,0	1,8	5,5	0,0	2,1	5,3	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04	0,0	0,0	0,0	3,2	10,0	0,6	1,8	19,8	2,0	10,8	15,0	1,5	8,3	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05	0,0	0,0	0,0	3,2	20,6	31,0	0,0	28,0	13,6	21,2	11,6	11,8	24,6	3,6	7,4	0,3	0,0	0,0	0,0
06	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	42,0	22,0	9,4	42,5	25,0	12,0	41,5	16,0	36,5	8,7	0,0	0,6	0,5	0,0
07	1,0	7,3	10,6	0,5	0,0	1,0	47,0	6,6	73,0	28,0	14,6	54,0	42,0	17,8	0,0	8,8	13,8	2,8	0,0
08	1,8	13,6	41,0	61,0	29,0	1,6	0,5	49,0	18,2	34,0	47,0	71,0	10,6	9,3	52,0	37,0	7,3	0,0	0,0
09	0,0	0,0	1,9	9,8	33,0	70,0	72,0	21,8	24,6	30,0	44,5	25,5	64,0	21,8	7,8	2,1	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	11,0	49,0	99,0	132,0	98,0	43,0	*	26,5	49,0	64,5	47,0	53,0	44,0	17,0	3,6	0,0
11	0,0	0,0	0,0	5,4	11,0	9,9	2,3	44,0	39,5	26,5	36,0	47,0	39,0	3,8	1,1	4,6	5,5	1,7	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	30,0	67,0	12,2	5,0	34,0	62,0	65,0	5,3	47,0	53,0	12,6	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	7,8	28,0	19,4	1,0	0,0	80,0	25,0	72,0	3,5	56,5	3,3	8,8	11,6	2,2	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	2,2	2,7	0,0	0,0	22,0	59,0	39,0	27,0	19,2	6,7	64,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	5,3	41,0	15,4	61,0	0,7	19,2	28,5	2,4	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	30,0	0,0	49,0	14,2	52,0	16,2	0,6	5,5	1,1	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	7,1	0,0	29,0	15,0	19,8	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,2	0,5	0,0	8,5	5,6	7,0	11,40	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,9	1,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0







## DADOS DO TESTE DE AVALIAÇÃO DO MICROASPERSONOR

MICROASPERSONOR	M <sub>18</sub>	TESTE	10
ALTURA EM REL. SOLO	42	PRESSÃO	20
	----- cm		----- mca
EV DURANTE O TESTE	0	VAZÃO	41
	----- ml		----- l/h
VEL DO VENTO	0	DURAÇÃO DO TESTE	1:30
	----- m/s		----- h

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	3,8	5,4	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	21,0	10,6	24,8	7,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	22,0	35,0	32,0	5,7	3,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	7,0	45,0	50,0	72,0	3,0	29,0	1,3	0,0	5,2	1,8	0,0	0,0
07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0	45,1	52,0	63,0	63,0	55,0	6,6	4,4	32,0	16,0	2,2	0,5	0,0
08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	92,0	33,0	65,0	47,0	20,0	42,0	56,0	13,0	1,6	0,0	0,0	0,0
09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,1	62,0	37,0	35,0	35,0	11,0	3,0	13,0	23,0	39,0	23,0	8,0
10	3,2	12,6	28,0	47,0	59,0	70,0	70,0	83,0	50,0	*	26,0	22,0	15,0	29,0	19,0	12,0	20,0	12,0	3,0
11	3,3	9,4	9,4	8,0	3,8	10,6	50,0	35,0	28,00	11,0	33,0	16,0	73,0	28,0	2,3	0,0	0,0	1,2	0,0
12	0,0	0,8	10,0	40,0	70,0	47,0	12,0	60,0	19,0	14,0	15,0	64,0	3,0	12,0	68,0	42,0	10,0	0,0	0,0
13	0,0	3,4	13,6	20,0	7,0	2,4	63,0	17,0	59,0	5,2	26,0	9,0	49,0	0,0	3,0	21,0	23,0	7,4	0,6
14	0,0	0,8	1,1	0,0	2,8	60,0	26,0	11,0	62,0	1,4	38,0	0,0	50,0	32,0	0,0	0,0	3,5	3,4	0,0
15	0,0	0,0	0,0	2,1	34,0	33,0	1,9	19,0	48,5	0,9	48,0	0,0	2,5	60,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	6,0	13,0	7,0	2,0	33,0	0,0	35,0	47,0	9,2	0,0	11,6	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	5,4	36,0	28,0	0,0	29,0	26,0	0,0	0,0	5,2	1,6	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	19,0	14,2	0,0	16,8	54,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	6,5	6,2	0,0	7,3	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0









