

ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO MICROASPELOR "CBI" E
AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPELOR EM CONDIÇÕES DE CAMPO

FRANCISCO BERGSON PARENTE FERNANDES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO
DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM,
COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1989

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos para o Grau de Mestre em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida desde que seja feita sob as normas da ética científica.

FRANCISCO BERGSON PARENTE FERNANDES

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 28/12/89.

Prof. Moisés Custódio Saraiva Leão, Ph.D.
Orientador da Dissertação

Prof. Luis Carlos Uchôa Saunders, Dr.
Conselheiro

Prof. Paulo Teodoro de Castro, M.S.
Conselheiro

Aos meus pais,
Isolda e Afrânio

À minha esposa
Fernanda
e aos meus irmãos
Thauser, Noemi, Murilo, Mônica
e Silvana.

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

. À EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO CEARÁ - EMATERCE, pela liberação e apoio necessários à realização do Curso de Pós-Graduação.

. Ao Programa Nacional de Irrigação-PRONIR e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida durante o Curso.

. Ao professor Moisés Custódio Saraiva Leão, pela orientação e constante desejo de aprimorar o conteúdo do presente trabalho.

. Aos professores Luis Carlos Uchôa Saunders e Paulo Teodoro de Castro pelas críticas e sugestões.

. À todos os professores do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

. Aos meus colegas de turma e a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1- <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2- <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1- <u>Considerações gerais</u>	3
2.2- <u>Hidráulica dos microaspersores</u>	4
2.3- <u>Avaliação dos sistemas de irrigação localizada</u> ..	8
3- <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	14
3.1- <u>Testes de vazão - pressão com os microaspersores.</u>	14
3.2- <u>Determinação da equação característica de vazão -</u> <u>pressão dos microaspersores</u>	23
3.3- <u>Testes de uniformidade de distribuição de água em</u> <u>condições de campo para o sistema de irrigação por</u> <u>microaspersão</u>	23
3.3.1- Método de Christiansen	25
3.3.2- Método Pattern-Efficiency	26
3.3.3- Método de Merriam, Keller e Alfaro	26
3.3.4- Método de Abreu e Lopes	27
4- <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	28
4.1- <u>Determinação da relação vazão-pressão e seus res-</u> <u>pectivos coeficientes de variação</u>	28
4.2- <u>Equação característica dos microaspersores</u>	31
4.3- <u>Avaliação da uniformidade de distribuição de água</u> <u>do sistema de irrigação por microaspersão em con-</u> <u>dições de campo</u>	33

5- <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	50
6- <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	52
7- <u>ANEXOS</u>	55

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro</u>		<u>Página</u>
1	Vazão média observada para o microaspersor rotativo "CBI", a diferentes pressões, e seus respectivos coeficientes de variação	29
2	Vazão média observada para o microaspersor rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, a diferentes pressões, e seus respectivos coeficientes de variação	30
3	Vazão média observada para o microaspersor rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão (após retirada da válvula), a diferentes pressões e seus respectivos coeficientes de variação	32
4	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade I	36
5	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade II	36
6	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade III	37
7	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade IV	37
8	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade V	38

9	Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da subunidade VI	38
10	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade I	39
11	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade II	40
12	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade III	41
13	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade IV	42
14	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade V	43
15	Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade VI	44
16	Coefficiente de uniformidade determinados para os quatro métodos das seis subunidades do sistema de irrigação por microaspersão	48
17	Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade determinados pelos quatro métodos para o sistema de irrigação por microaspersão	49
18	Estimativas das variâncias(s^2) dos coeficientes de uniformidade determinados pelos quatro métodos	49

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Relacionamento entre vazão e pressão para emissores tendo diferentes regimes de fluxo. (KELLER e KARMELI, 1975)	6
2	Microaspersor rotativo "CBI"	15
3	Detalhes do microaspersor rotativo "CBI"	15
4	Microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão	16
5	Detalhes do microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão	16
6	Esquema de montagem dos testes	18
7	Bancada de testes	19
8	Recipientes volumétricos transparentes	21
9	Detalhes do sistema de coleta de água	22
10	Esquema do sistema de irrigação por microaspersão no campo	24
11	Equação característica de Vazão-Pressão do microaspersor rotativo "CBI"	34
12	Equação característica de Vazão-Pressão do microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão	35

RESUMO

Este trabalho foi realizado no período de agosto/ 1988 à fevereiro/1989, em dois locais distintos: a determinação das relações vazão-pressão e coeficientes de variação de fabricação de dois modelos de microaspersores de fabricação local foi desenvolvida no laboratório de mecânica no CETREX - Caucaia e a avaliação do sistema de irrigação em condições de campo, na Fazenda Normal, de propriedade da EMATERCE, no município de Quixeramobim.

No laboratório foram analisados o microaspersor rotativo "CBI" e o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão. Utilizando-se das instruções e normas da ABNT, para avaliação de características operacionais de emissores para sistema de irrigação localizada, foi instalada uma bancada de testes com um criterioso controle de pressão e de vazão visando à determinação da equação vazão-pressão dos microaspersores com seus respectivos coeficientes de variação de fabricação.

Com os dados de vazão e pressão obtidos durante os testes e por meio de análise de regressão, ajustaram-se as respectivas equações características para o microaspersor rotativo "CBI" e o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão, ou seja:

$$q: 28,38 H^{0,48}$$

$$q: 36,06 H^{0,14}$$

Onde:

q: Vazão do microaspersor, em l/h

H: Pressão na entrada do microaspersor, em m.c.a.

Os coeficientes de variação de fabricação foram: 6,05% para o microaspersor rotativo "CBI" e 11,89% para o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão.

Os estudos sobre a uniformidade de distribuição de água em condições de campo para o sistema de irrigação localizada por microaspersão, foram efetuados através de cálculos comparativos, utilizando-se para isto as metodologias de CHRISTIANSEN, o PATTERN-EFFICIENCY, ABREU E LOPES e o método proposto por MERRIAM, KELLER e ALFARO.

Os resultados mostraram que as metodologias de CHRISTIANSEN e a do PATTERN-EFFICIENCY levam a uma determinação mais precisa do coeficiente de distribuição de água.

A metodologia de ABREU e LOPES além de apresentar resultados satisfatórios, quando comparados aos métodos mais precisos, apresenta a vantagem de uma maior simplicidade na coleta dos dados e cálculos do coeficiente de uniformidade de distribuição de água.

ABSTRACT

Field and Laboratory Studies were conducted at two different locations ("FAZENDA NORMAL" Quixeramobim, Ceará, Brazil and "CETREX", Caucaia, Ceará, Brazil) from august/1988 to february 1989, to determine hydraulic characteristics and manufacturing variations for two emitter models, and to make the field evaluation of a micro-sprinkler system.

Laboratory determinations were made for two models of emitters: the CBI micro-sprinkler and the CBI micro-sprinkler with pressure compensating valve. For both models, were determined equations relating pressure head and rate of discharge, and established the manufactures coefficient of emitter variations.

Through regression analysis, the equations

$$q = 28,38 H^{0,48} \quad \text{and}$$
$$q = 36,06 H^{0,14}$$

Where

q = emitter rate of discharge (liters per hour)

H = pressure head at the emitter (meters)

were adapted for the CBI micro-sprinkler and the CBI micro-sprinkler with compensating valve.

Manufactures coefficients of variation were 6,05% and 11,89 % for the CBI micro-sprinkler and for the CBI micro-sprinkler with compensating valve, respectively.

The field evaluation studies were done for water distribution uniformity, using the methodologies of CHRISTIANSEN,

MERRIAM, KELLER e ALFARO, ABREU E LOPES and the PATTERN-EFFICIENCY METHOD. The results have shown that a more precise determination of the water distribution coefficient can be obtained with the methods of CHRISTIANSEN and PATTERN-EFFICIENCY. However, the ABREU e LOPES methodology, when compared to the more precise methods, also shows a reasonable degree of precision, associated with much more simplicity in the process of data collection and determination of the coefficient of uniformity of water distribution.

1- INTRODUÇÃO

A irrigação localizada é uma técnica moderna de aplicação da água ao solo que vem se difundindo de uma maneira bastante acelerada em todo o mundo.

No Nordeste Brasileiro a ampliação da área irrigada, principalmente com a fruticultura, tem incrementado esta técnica de irrigação, por possibilitar altas produtividades com grande eficiência no uso de água e nutrientes.

A irrigação por microaspersão é um dos métodos de irrigação localizada e se caracteriza pela aplicação de água ao solo com pequena intensidade e alta frequência por meio dos microaspersores, com baixas perdas de água por condução e evaporação, quando comparado com os métodos convencionais.

Para o dimensionamento e utilização mais eficiente deste método de irrigação, e para que se possa projetar um sistema que venha propiciar uma melhor distribuição de água na área irrigada com um melhor aproveitamento da água pelas plantas, é indispensável o conhecimento das características hidráulicas dos seus componentes.

Além do conhecimento das características hidráulicas dos componentes, o uso de índices de eficiência adequados é também essencial a um bom dimensionamento de um sistema de irrigação. Os índices de eficiência potencial de irrigação localizada estão frequentemente muito acima dos valores de eficiência determinados após a instalação dos sistemas, ocasionando uma estimativa inadequada da água posto em disponibilidade às plantas.

Em função desses fatores, é imprescindível a realização, após a implantação dos sistemas de irrigação localizada,

de uma total avaliação no intuito de verificar a uniformidade de distribuição da água e a eficiência de irrigação do sistema, a fim de que sejam corrigidas as falhas porventura existentes.

A literatura especializada registra normas e metodologias várias tanto para testes de equipamentos de irrigação localizada, em condições de laboratório, como para avaliação de sistemas já instalados, em condições de campo.

Diante destes fatos, este trabalho tem como objetivo :

- 1- Testar e adaptar a metodologia mais adequada para teste de emissores de irrigação localizada, com determinação das relações pressão vazão e coeficientes de variação de fabricação, tomando-se como exemplos dois modelos de microaspersores de fabricação local.
- 2- Testar e adaptar a metodologia mais adequada para avaliação de sistemas de irrigação localizada em condições de campo, determinando-se uniformidade de distribuição d'água, tomando-se como exemplo um sistema de microaspersão já instalado e em uso.

2- REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Considerações gerais

O sistema de irrigação localizada usado hoje em todo o mundo foi, de acordo com KELLER e KARMELI (1975), introduzido por volta de 1940 na Inglaterra, desenvolvido especialmente para uso em estufas. Uma significativa evolução deste sistema de irrigação ocorreu na década de 1950 em Israel, mas somente se tornou conhecido como um novo método de irrigação a partir de 1960.

Segundo o SCS NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (1978), a irrigação localizada consiste de uma pequena aplicação de água sobre ou sob a superfície do solo, geralmente como discretas gotas, contínuas gotas ou pequenos jatos através de emissores ou aplicadores colocados ao longo da linha de distribuição de água.

BUCKS et alii (1974) citam que a irrigação localizada está ganhando prestígio e aceitação em locais em que a água é cara e /ou escassa e plantas de alto valor são cultivadas. As vantagens oferecidas por este método sobre outros métodos são inúmeras, entretanto, para assegurar sucesso com uma nova tecnologia, pesquisas de campo locais ou regionais devem ser feitas para que decisões adequadas possam ser tomadas.

SHANI (1974) considera a irrigação localizada como o mais novo de todos os métodos, tendo adquirido um rápido crescimento de experiências e novas técnicas. No entanto, com a existência atualmente de diferentes sistemas de irrigação localizada, adverte o autor que, uma criteriosa escolha dos emissores e dispositivos de segurança devem ser feitos no sentido de oferecer melhores respostas para os problemas de crescimento dos cultivos. Grande cuidado é necessário na seleção e

avaliação de um sistema para que se tenha o seu funcionamento adequado.

ALJIBURY et alii (1981), em trabalho como o manejo da irrigação por gotejamento relatam que as desvantagens deste sistema podem ser superadas, com o aumento da capacidade de fluxo usando pequenos emissores "spray" ou "microaspersores" muito mais que gotejadores. A maior taxa de fluxo por unidade de área permite a cultura ser irrigada em um menor espaço de tempo, reduzindo as necessidades de contínuo suprimento de água. O maior raio de distribuição dos emissores "spray" ou "microaspersores" diminui o número requerido e maiores orifícios reduzem a necessidade de filtração para prevenir entupimentos. Duas vantagens adicionais desses sistemas se constituem no aumento do volume molhado de solo quando comparado com sistemas de gotejamento e uma redução da demanda de trabalho para supervisionar a operação dos emissores.

BLAIR (1979) considera a irrigação por difusores ou miniaspersores como sistemas de irrigação que aplicam a água em doses superiores a 12 litros por hora e inferiores a 120 litros por hora.

BOTREL (1984) cita que entre os principais fatores que favorecem a aceitação da irrigação por microaspersão destacam-se: baixa precipitação pluvial, altas precipitações durante curto período, baixa disponibilidade de água, água com excesso de sais, culturas em locais com declividade acentuada, solos arenosos com pequena movimentação lateral de água, custo da água elevado ou mão-de-obra escassa.

2.2- Hidráulica dos microaspersores

Segundo GILAAD et alii (1974), a relação entre vazão e pressão, a perda de carga localizada na linha lateral e na inserção do emissor, a forma e o tamanho da secção da passagem de água nele existente, constituem as propriedades hidráulicas que influenciam diretamente na operação dos emissores. Estas

propriedades são determinadas de acordo com os princípios hidráulicos que governam o emissor e são também influenciadas pelo processo de fabricação, pelo material utilizado e montagem do emissor na linha lateral. BOTREL (1984), considera ainda o alcance e intensidade de precipitação como sendo propriedades hidráulicas do emissor.

O SCS NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (1978) cita que a relação entre as variações de vazão e de pressão é o mais importante dos parâmetros que caracterizam os emissores.

A relação entre vazão e pressão, de acordo com KELLER E KARMELO (1975), pode ser caracterizada pela seguinte equação:

$$Q = kd H^x \quad -(1)$$

Onde:

q = vazão do emissor. (l/h)

Kd = coeficiente de descarga que caracteriza cada emissor

H = pressão na entrada do emissor. (m)

x = expoente de descarga que caracteriza o regime de fluxo do emissor

Para orifícios fino e tipo esguicho $x = 0,5$ (fluxo túrbulo); para emissores de fluxo laminar x varia de 0,5 a 1,0 e para emissores compensadores de pressão x varia de 0,0 a 0,5. (Fig. 1).

HOWELL E HILLER (1974), em estudo com laterais di sistema de irrigação localizada, mostram a importância do conhecimento da função de vazão dos emissores, da determinação de uma uniformidade padrão na elaboração de projetos.

SOLOMON E KELLER (1978) e SOLOMON (1979) afirmam que é impossível fabricar um conjunto de emissores todos com os mesmos valores de kd. As variações resultantes de muitos processos de fabricação tendem a ser normalmente distribuídas ao redoor de seus valores medianos. Assim, é razoável considerar " a priori" as variações da vazão do emissor, para qualquer pressão dada, como reflexo de uma distribuição normal caracterizada por:

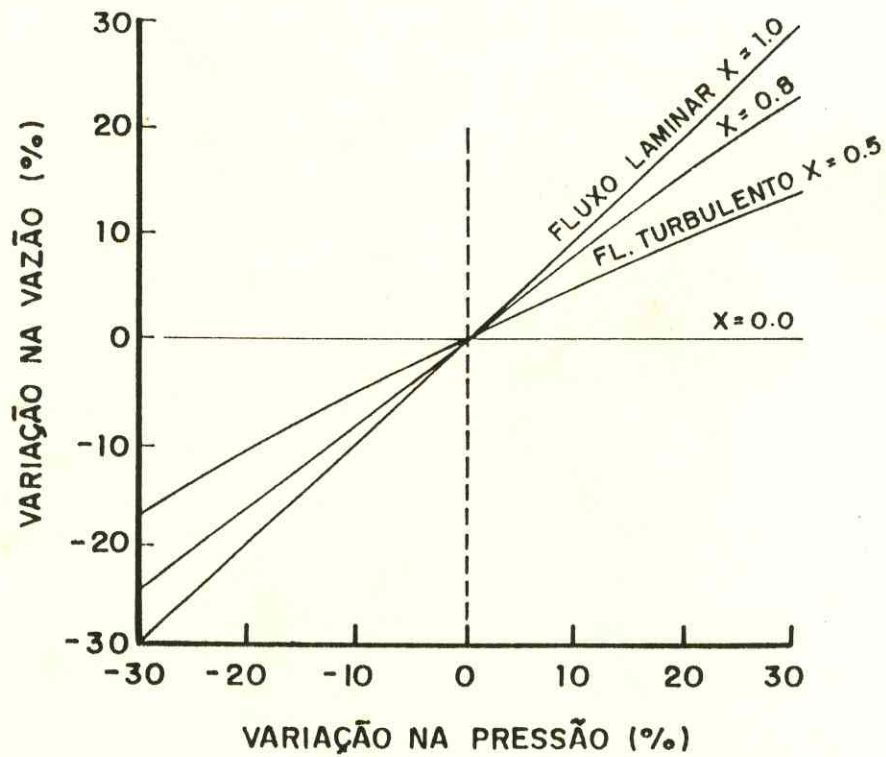


FIGURA 1 - Relacionamento entre vazão e pressão para emissores tendo diferentes regimes de fluxo. (KELLER E KARME-LI, 1975).

$$CVf = \frac{\delta f (q)}{\bar{q} f} \quad - (2)$$

Onde:

CVf = coeficiente de variação de fabricação

$\delta f(q)$ = desvio padrão da vazão a uma pressão de referência

$\bar{q} f$ = média da vazão dos distribuidores à pressão de referência.

O coeficiente de variação de fabricação é o parâmetro utilizado para medir a variação da vazão provocada pela desuniformidade entre os emissores. (BOTREL, 1984).

SOLOMON (1979), estudando as variações na fabricação dos emissores de gotejamento, mostra que esta é bastante significativa nos efeitos da eficiência do sistema de irrigação as quais são concedidas pelo diferencial de pressão dentro do sistema, e pela sensibilidade da taxa do fluxo do emissor à pressão.

Como norma geral o SCS NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (1978), sugere a seguinte classificação, para os emissores quanto à uniformidade de fabricação:

$CVf \leq 0,04 (4\%)$	Uniformidade excelente
$0,04 \leq CVf \leq 0,07 (7\%)$	Uniformidade média
$0,07 \leq CVf \leq 0,11 (11\%)$	Uniformidade marginal
$0,11 \leq CVf \leq 0,15 (15\%)$	Uniformidade pobre
$CVf > 0,15$	Uniformidade inaceitável

SOLOMON E KELLER (1978) consideram que as diferenças de vazão devido às variações de fabricação, em muitos casos, podem ser mais importantes do que as diferenças de vazão, devido às variações de pressão dentro da rede de tubulações.

VERMEIREN E JOBLING (1980) relatam que para se obter um eficiente sistema de irrigação localizada, os emissores de-

vem apresentar: vazão uniforme e constante; uma razoável abertura para prevenir entupimentos; baixo custo, robustez e homogeneidade.

PITTS et alii (1986), trabalhando com cálculos de linhas laterais em sistemas de irrigação localizada e suas análises por computação, desenvolveram um modelo que pode prever a taxa de fluxo por lateral e a variação individual das taxas de descargas dos emissores devido às mudanças de pressão na linha lateral se as constantes dos emissores, K e X, forem conhecidas.

AMIR E SEGIMER (1985), estudando a uniformidade do emissor como um fator econômico em projetos de sistema de irrigação por gotejamento, concluíram que o efeito da variação de fabricação é bem maior do que a variação hidráulica e que será mais lucrativo e justo investir em emissores aperfeiçoados do que na variação hidráulica do sistema.

2.3- Avaliação dos sistemas de irrigação localizada

Todo o planejamento de um projeto de irrigação, visando a máxima produção e boa qualidade do produto, requer o uso eficiente e uma distribuição uniforme da água às plantas, principalmente em regiões áridas, onde a água é o fator limitante. (BERNARDO, 1987).

VERMEIREN E JOBLING (1980) atribuem as ineficiências de aplicação da água pelo sistema a:

- . não uniformidade de emissão nos vários pontos, devido a variação de pressão dentro do sistema e a eficiência de fabricação do equipamento; e
- . perdas d'água no sistema devido a evaporação, vazamentos e percolação profunda.

KELLER E KARMELI (1975); BUCKS E HYERS (1973); SOLOMON (1979) citam como alguns fatores que afetam a uniformidade de aplicação da água em irrigação por gotejamento:

- . variações da pressão devido a perdas de carga ou variações topográficas no relevo do terreno;
- . variações de vazão entre emissores devido ao processo de fabricação; e
- . entupimento nos emissores.

Conforme WU E GITLIN (1974), as variações de vazão que ocorrem nos emissores ao longo da linha lateral são função do comprimento e pressão na entrada, espaçamento entre emissores e a taxa de fluxo total. WU E GITLIN (1973), citam ainda que conhecendo-se a pressão de distribuição ao longo da linha lateral para uma vazão constante de cada emissor, pode-se conseguir a uniformidade do sistema de irrigação usando-se diferentes tamanhos de emissores, diferentes comprimentos ou diferentes tamanho de microtubo e espaçamento entre os emissores.

SOLOMON E KELLER (1978), estudando a uniformidade e eficiência da irrigação por gotejamento, afirmam que as variações de pressão dentro de um sistema de irrigação por gotejamento são inevitáveis, devido a diferença de elevação e perdas de carga na tubulação.

Segundo OLIVEIRA (1982), a distribuição de pressão numa linha lateral é influenciada pelo ganho ou pela perda de energia potencial de posição, decorrentes das diferenças de altitudes do terreno na direção da linha, e pela perda de energia da água por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos gotejadores.

SOLOMON (1979), estudando as variações no processo de fabricação dos emissores, concluiu que a eficiência dos sistemas de irrigação localizada dependem completamente da uniformidade das taxas de descarga do sistema. Um importante fator que contribui para isto é a variação da vazão existente entre os emissores. O projeto de fabricação do emissor, os materiais com os quais são construídos, e o próprio processo de fabricação são os responsáveis pelas variações existentes nos emissores. Cita ainda o autor que a variação no processo de fabricação dos emissores deve ser considerada quando da seleção de

um emissor para um sistema, e quando no planejamento do sistema para conhecimento pré-determinado da sua eficiência.

Em razão da grande quantidade de equipamentos disponíveis hoje no mercado, o problema com a seleção destes componentes para um sistema de irrigação localizada torna-se um pouco complexa. A eficiência potencial do sistema de irrigação localizada depende grandemente das performances características dos emissores. (SOLOMON, 1977).

DAVIS (1974), trabalhando com uniformidade de vazão com gotejadores, através da medição de vazões de diferentes tipos de emissores durante o período de 1971 à 1974, concluiu que um número muito pequeno de gotejadores mostrou maiores variações do que a desejável para o preciso controle da água de irrigação por gotejamento.

SOLOMON (1977), estudando os critérios para avaliação de emissores em irrigação por gotejamento, sugere que se adotem alguns parâmetros para a seleção de emissores, comparando criticamente os diferentes tipos que serão avaliados. Dentre estes critérios citam-se: conformidade geral, relação pressão-vazão, variabilidade no processo de fabricação, sensibilidade nas variações do fluxo com a temperatura, sensibilidade ao entupimento, custos e riscos.

Conforme KELLER E KARMELI (1975), a temperatura e viscosidade da água exercem um pequeno efeito na vazão de emissores para fluxo turbulento, entretanto para emissores de fluxo laminar esta variação é mais acentuada.

OLIVEIRA (1982), trabalhando com a hidráulica de linhas laterais em irrigação por gotejamento verificou que a temperatura da água não influenciou na vazão dos gotejadores dangotas e irriga, mas alterou a vazão do microtubo.

VERMEIREN E JOBLING (1980) consideram que a não uniformidade pode ser causada por:

- . variabilidade nas características de distribuição devido o controle de qualidade no processo de fabricação;

- . pressão operacional do sistema;
- . falta de um bom manejo do sistema; e
- . mudanças físicas no sistema que podem ocorrer com o tempo.

OLITA (1987) recomenda que após a instalação do sistema de irrigação, seja feito um teste de campo, no intuito de verificar a adequação e a uniformidade da irrigação projetada.

HANDLEY et alii, citado por BOTREL (1984), avaliaram 112 sistemas de irrigação localizada, incluindo 15 diferentes tipos de emissores e concluíram que 62% dos sistemas foram de níveis bons e excelentes. O critério de classificação utilizado pelos autores foi o seguinte:

- . EU maior que 90%: excelente
- . EU entre 80 e 90%: bom
- . EU entre 70 e 80%: satisfatório
- . EU menor que 70%: pobre

Dos sistemas que apresentaram EU (Eficiência de Uniformidade) menor que 80% (satisfatório a pobre), metade apresentou problemas com pressão, sendo que 20% dos problemas de pressão se devem ao inadequado comprimento das linhas laterais.

KARMELI E KELLER (1974), trabalhando com avaliação em sistemas de irrigação localizada comentam que o principal objetivo para um bom dimensionamento e manejo desse sistema de irrigação é fornecer uma suficiente e adequada quantidade d'água às plantas. Para isto os autores definem uniformidade de aplicação (EU) como sendo a relação entre a vazão mínima e a vazão média do sistema e como uniformidade de emissão absoluta (EUa) a relação entre a vazão máxima e a vazão mínima.

PINTO et alii (1988), estudando comparativamente oito métodos de determinação do coeficiente da uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada, concluíram que as metodologias que apresentaram melhores relações com a metodologia de referência de CHRISTIANSEN e suas respectivas equações de regressão foram:

. Irrigação por gotejamento

- PATTERN-EFFICIENCE, CUC = $-157,351+5,069PE-0,025PE^2$
- NOVO COEFICIENTE, CUC = $1621,777-33,007NC+0,178NC^2$

. Irrigação por Microaspersão

- PATTERN-EFFICIENCE, CUC = $-558,230+15,218PE-0,085PE^2$
- MERRIAM, KELLER E ALFARO, CUC = $71,565+0,307CUMKA-0,0001CUMKA^2$

. Irrigação por Xique-Xique

- PATTERN-EFFICIENCE, CUC = $67,478-0,258PE+0,006PE^2$
- MERRIAM, KELLER E ALFARO, CUC = $83,006-0,452CUMKA-0,006CUMKA^2$
- NOVO COEFICIENTE, CUC = $182,838-3,453NC+0,028NC^2$

DENICULI et alii (1980), comparando quatro métodos de determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por gotejamento, concluíram que a metodologia proposta por CHRISTIANSEN é estatisticamente superior que as metodologias de MERRIAM, KELLER E ALFARO, PATTERN-EFFICIENCE e NOVO COEFICIENTE.

WALKES (1979) cita que é possível avaliar a uniformidade do sistema de gotejamento no estágio de projeto, computando-se a distribuição espacial da pressão e em seguida da vazão dos emissores usando-se a equação. $q = kd H^x$ Nesta análise, assume-se que a variabilidade dos emissores devido ao processo de fabricação, obstrução e outros é negligenciável.

SOLOMON (1985), trabalhando com a uniformidade global do sistema de irrigação por gotejamento cita que os estudos com a uniformidade da aplicação da água para plantio em sistemas de irrigação por gotejamento tem sido restrito e somente poucos fatores conhecidos são estudados simultaneamente. Para isto revela que as avaliações globais da uniformidade de irrigação por gotejamento iriam considerar todos os fatores que influenciam a uniformidade do emissor. Dentre estes fatores que afetam a uniformidade na subunidade, o autor cita: obstrução; número de emissor por planta; coeficiente de variação do

emissor; expoente do emissor; diferença nas pressões da subunidade; coeficiente de variação do regulador de pressão; proporcionalidade de múltiplas perdas de carga na lateral; e grau de múltiplas diminuições graduais.

3- MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em dois locais distintos: o estudo de características hidráulicas foi desenvolvido no laboratório de mecânica (Convênio Universidade Federal do Ceará-EMATERCE), localizado no CETREX (Centro de Treinamento de Extensão Rural), em CAPUAN-Caucaia-Ceará, e a avaliação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por microaspersão na Fazenda Normal, de propriedade da EMATERCE, no município de Quixeramobim-Ceará.

3.1- Testes de vazão-pressão com os microaspersores

Foram analisados dois modelos de microaspersores fabricados no Ceará: o microaspersor rotativo "CBI" e o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão. (Figuras 2, 3, 4 e 5).

MICROASPERSON ROTATIVO "CBI" - Neste microaspersor, a água flui através de duas aberturas, causando a rotação. Sua fixação à linha lateral se dá por meio de adaptadores, com a utilização de um tubo prolongador, de modo a permitir que a linha lateral possa ficar enterrada, e o microaspersor, através de uma haste de apoio, se situe acima do solo.

MICROASPERSON ROTATIVO "CBI" COM VÁLVULA COMPENSADORA DE PRESSÃO - Este microaspersor apresenta as mesmas características do anterior, acrescido internamente de uma válvula compensadora de pressão.

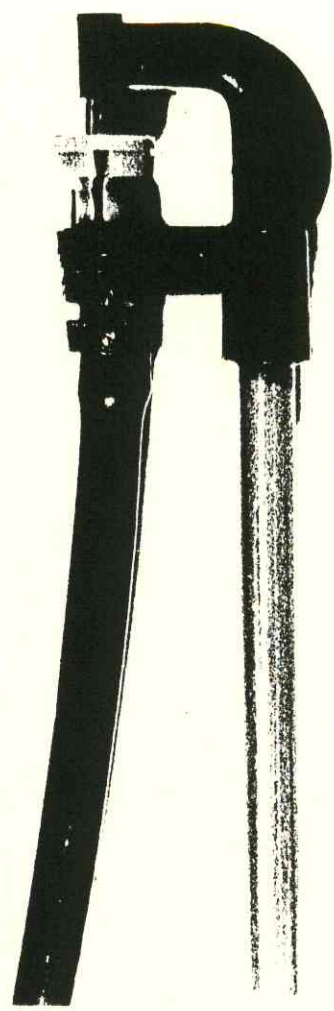


FIGURA 2 - Microas-
persor rotativo
"CBI"

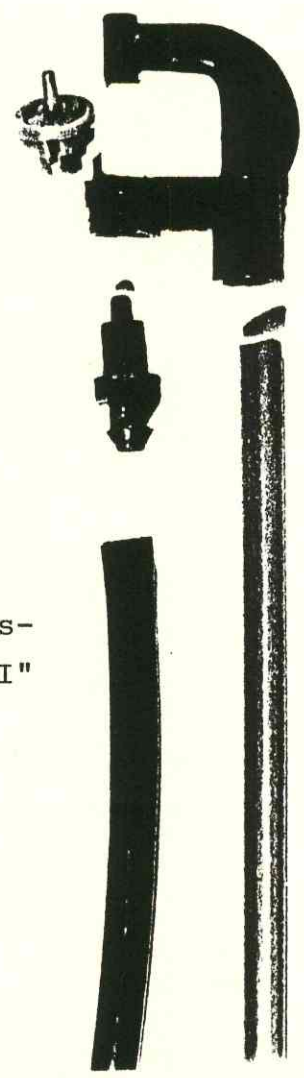


FIGURA 3 - Detalhes do Microas-
persor rotativo "CBI"

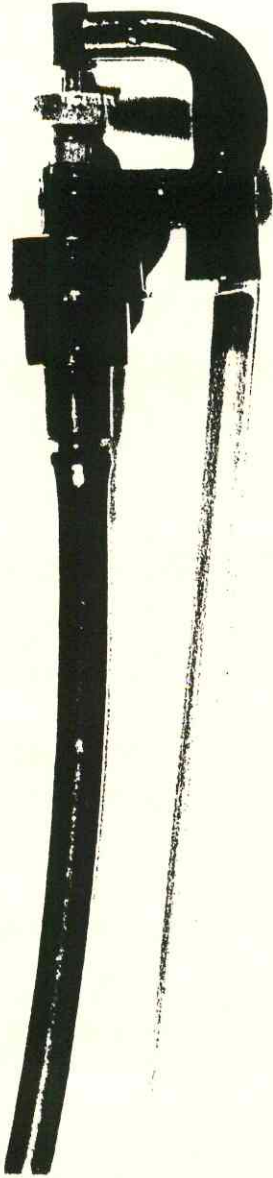


FIGURA 4 - Microaspirador rotativo "CBI"
com válvula compensadora de
pressão.

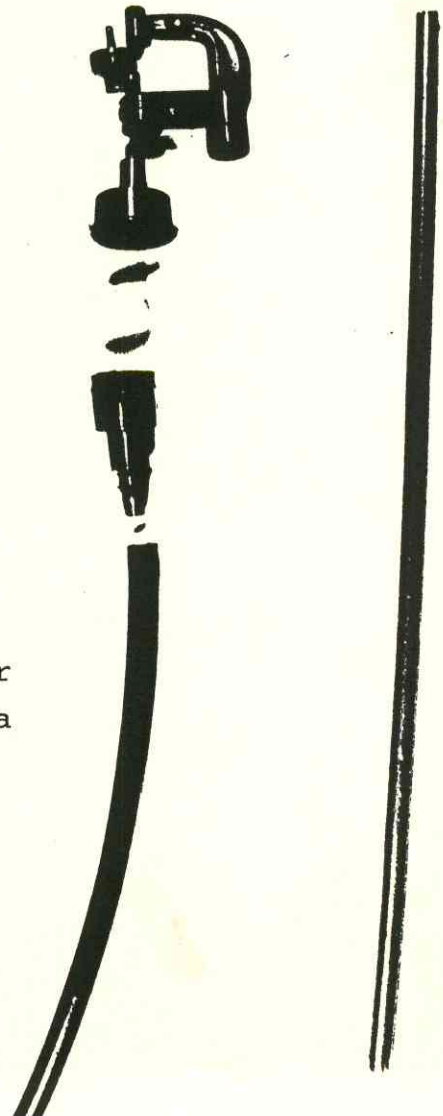


FIGURA 5 - Detalhes do microaspirador
rotativo "CBI" com válvula
compensadora de pressão.

Foram realizados dois tipos de testes com os microaspersores, em laboratório, visando:

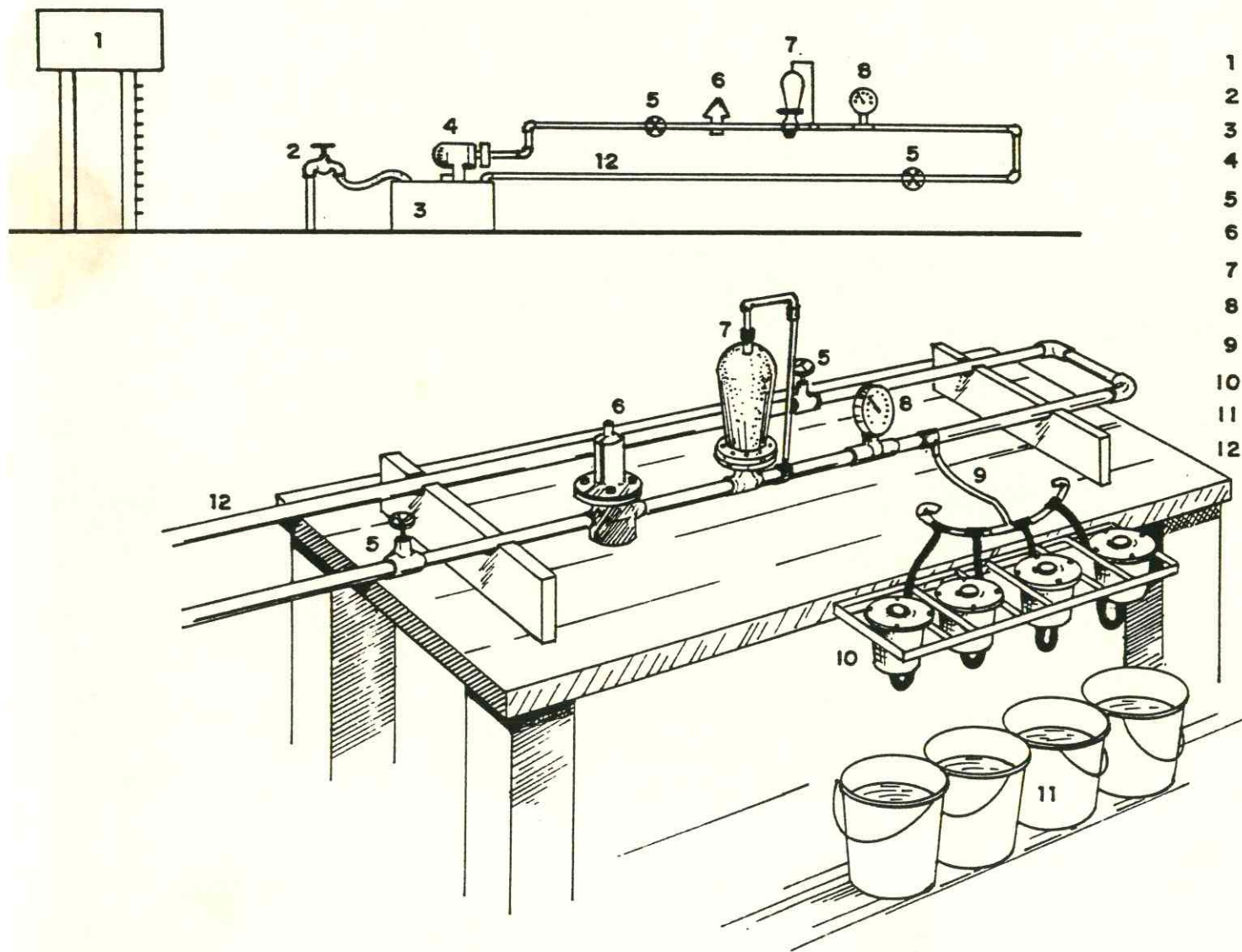
1. determinação da uniformidade de vazão; e
2. determinação da equação característica de vazão-pressão.

Para execução do trabalho, procedeu-se a instalação de uma bancada de testes (Figuras 6 e 7), obedecendo todas as normas da "ABNT" (Associação Brasileira de Normas Técnicas), constando de: um manômetro metálico, modelo padrão, com escala de $0,5\text{kgf cm}^{-2}$; um cronômetro com precisão de décimos de segundos; um dispositivo estabilizador de fluxo; um dispositivo regulador de pressão; e 4 (quatro) recipientes para coleta de água, com capacidade de 20 litros.

Além destes instrumentos, foram utilizados dois (2) registros de gaveta, sendo um situado no início da bancada de testes, responsável pela entrada da água, e o outro no final, funcionando semi-fechado com a finalidade de se obter, com maior rapidez, um aumento da pressão no interior da tubulação, quando em funcionamento o sistema.

O suprimento de água foi mantido por meio de dois reservatórios, um deles situado a 10 metros acima do piso da bancada de testes, com uma capacidade para armazenar 30.000 litros que, por gravidade, abastecia um outro reservatório com uma capacidade de 250 litros. O abastecimento de água deste reservatório para os testes realizou-se através de bombeamento, utilizando para isto uma eletro-bomba centrífuga. Com o intuito de um aproveitamento total da água excedente, que se perderia naturalmente durante a realização dos testes, idealizou-se um retorno com o uso de tubulação de pvc, para o reservatório menor.

Obtidos aleatoriamente 20 microaspersores de um conjunto de 100, foram instalados quatro a quatro, com espaçamento de 30cm, em um segmento de 1,80 metros de comprimento de tubo de polietileno preto, com bitola de 16mm de diâmetro interno. Desta maneira foram testados quatro microaspersores, simultaneamente.



LEGENDA

- 1 RESERVATÓRIO CAP. 30.000 l.
- 2 PONTO DE TOMADA DE ÁGUA
- 3 RESERVATÓRIO CAP. 250 l.
- 4 ELETRO-BOMBA CENTRÍFUGA
- 5 REGISTROS DE GAVETA
- 6 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO
- 7 CAMADA ESTABILIZADORA DE FLUXO
- 8 MANÔMETRO PADRÃO
- 9 MICROASPERSORES
- 10 RECIP. DE PLÁSTICOS TRANSPARENTES
- 11 RECIPIENTES COLETORES CAP. 20 l.
- 12 TUBULAÇÃO DE RETORNO DA ÁGUA (PVC)

FIGURA 6 - Esquema de montagem dos testes



FIGURA 7 - Bancada de testes

Para determinação da vazão, os microaspersores, previamente conectados ao sistema de alimentação e controle de pressão, foram colocados em recipientes volumétricos transparentes, para intercepção do jato.

A água era coletada em baldes de 20 litros, com graduação a cada 100ml, através de dois orifícios na parte inferior dos recipientes volumétricos transparentes. Os valores da vazão de cada microaspersor foram obtidos por meio da cronometragem de um tempo de cinco minutos. (Figura 8).

O teste consistiu na determinação das vazões a cada variação da pressão fornecida ao sistema.

O microaspersor rotativo "CBI" foi submetido às pressões de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5; 20,0 m.c.a. e o rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, às pressões de 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5; 20,0; 22,5; 25,0 m.c.a.

Os valores da vazão de cada microaspersor foram obtidos calculando-se a média aritmética de três repetições.

A pressão foi medida através do manômetro de precisão, com a escala de leitura não superior a 2kpa.

Com os dados obtidos, foram determinados, a vazão média dos microaspersores (\bar{q}), o desvio-padrão (s) e o coeficiente de variação (c.v.).

Procurou-se evitar qualquer entrada de água nos baldes coletores de 20 litros, após o funcionamento do sistema até se conseguir a pressão desejada de trabalho, bem como ao final do tempo de testes (5 minutos), (devido ao conteúdo de água ainda existente na tubulação). Para tanto utilizou-se de uma bancada móvel com quatro recipientes volumétricos, colocados abaixo dos recipientes volumétricos transparentes, onde estavam inseridos os microaspersores, e acima dos coletores de 20 litros. Desta maneira, pode-se realmente observar com precisão a leitura da vazão, a cada pressão a que os microaspersores foram submetidos. (Figura 9):

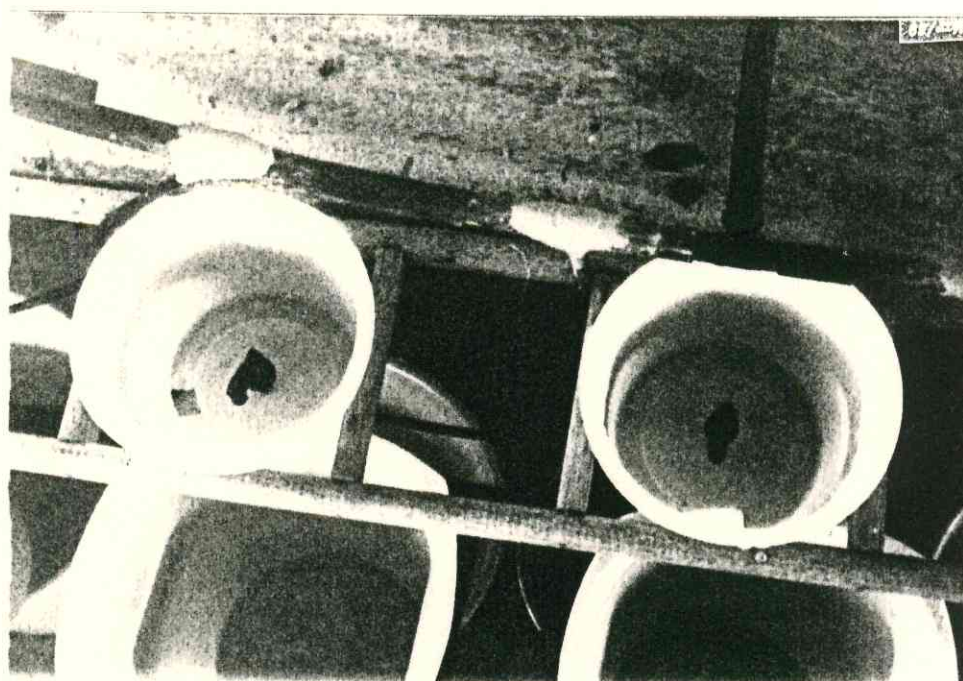


FIGURA 8 - Recipientes volumétricos transparentes



FIGURA 9 - Detalhes do sistema de coleta de água

3.2- Determinação da equação característica de vazão - pressão dos microaspersores

Com os dados de pressões aplicadas e vazões observadas, foi estabelecida, por meio da regressão, uma função de vazão do tipo potencial, como a apresenta por KELLER E KARMELI , ou seja:

$$q = b H^a$$

Em que:

q = vazão do emissor, l/h

H = pressão na entrada do emissor (m)

b = constante que caracteriza o emissor

a = constante que caracteriza o regime de escoamento

3.3- Testes de uniformidade de distribuição de água em condições de campo para o sistema de irrigação por microaspersão

Estes estudos foram realizados na Fazenda Normal, de propriedade da EMATERCE, localizada no município de Quixerambim, distando 180km de Fortaleza. Para isto foi utilizada uma área de 7.000m², recentemente implantados com a Cultura da Uva. O solo trabalhado foi identificado como um podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico, abruptico, A fraco, textura arenoso/argilosa, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado.

O conjunto para irrigação, foi recentemente adquirido, sendo o mesmo instalado de acordo com o esquema apresentado na Figura 10.

O sistema de irrigação por microaspersão consiste de 72 linhas laterais, cada uma com 20,0 metros de comprimento e espaçadas de 2,0 metros. Em cada linha lateral foram instalados 9 (nove) microaspersores, espaçados uniformemente de 2 em 2 metros, totalizando 620 microaspersores em todo o sistema.

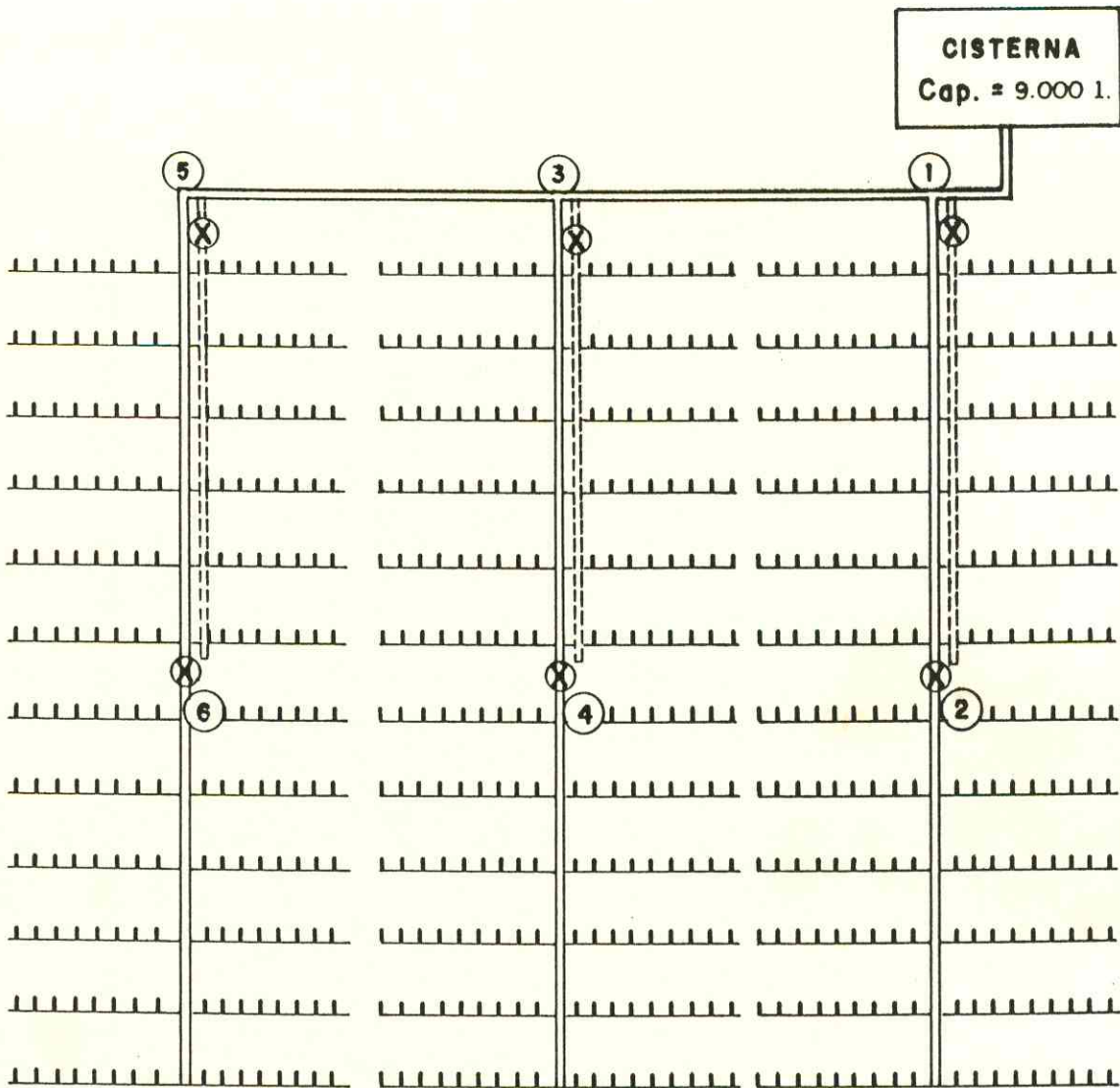


FIGURA 10 - Esquema do sistema de irrigação por microaspersão no campo.

LEGENDA

- ==== LINHA PRINCIPAL
- ==== LINHA DE DERIVAÇÃO
- LINHA LATERAL
- SUBUNIDADES
- I MICROASPERSORES
- ⊗ REGISTRO

Para se determinar o coeficiente de uniformidade do sistema, foi efetuada medição de vazão de todos os microaspersores, tomando-se o valor médio de 3(três) repetições.

Além da medição de vazão, foram ainda efetuadas medições de pressão em todas as laterais, obedecendo aos critérios propostos por KELLER E KARMELI, ou seja, em cada lateral, eram tomadas as pressões no início, no meio e no fim da linha.

As medições de vazão foram feitas em um tempo de 2 minutos, usando-se um cronômetro com precisão de décimos de segundo, uma proveta de 0l litro, graduada de 10 em 10 ml, e dois recipientes volumétricos de plástico.

Para as medições das pressões foi utilizado um manômetro marca WILLY de 0-7 kgf. cm⁻², previamente, aferido e tubo pitot, adaptado ao mesmo.

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade foram utilizados os métodos de CHRISTIANSEN, o PATTERN-EFFICIENCY, o método proposto por MERRIAM, KELLER E ALFARO e o de ABREU E LOPES.

3.3.1- Método de CHRISTIANSEN

O coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação pelo método de CHRISTIANSEN, efetuou-se mediante a medição de vazão de todos os microaspersores do sistema e as pressões do início, do meio e do fim de todas as laterais.

Conhecendo-se as vazões dos microaspersores de todo o sistema, pode-se calcular o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN, pela seguinte equação:

$$CUC = \frac{\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \right)}{n \bar{x}} \times 100$$

Onde:

- CUC = coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN em %
 x_i = volume obtido no coletor de ordem i , em ml
 \bar{x} = média dos volumes obtidos nos coletores, em ml
 n = número de coletores

3.3.2- Método de PATTERN-EFFICIENCE

Este é um método simplificado da equação de CHRISTIANSEN. Para isto foram escolhidos os 155 menores valores coletados dos 620 totais, ou seja os 25% dos menores valores coletados.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela expressão:

$$PE = \frac{100 \times x}{\bar{x}}$$

Onde:

- PE = coeficiente de uniformidade PATTERN-EFFICIENCE, em %
 x = média dos 25% menores valores coletados, em ml
 \bar{x} = média de todos os valores coletados, em ml

3.3.3- Método proposto por MERRIAM, KELLER E ALFARO

É um método que simplifica a equação do PATTERN-EFFICIENCE. A coleta de dados de cada lateral é feita em apenas quatro emissores distintos, ou seja: primeiro emissor, emissor situado a 1/3 do comprimento da lateral, emissor situado a 2/3 do comprimento da lateral e o último emissor da linha lateral; assim como na 1ª linha lateral, na linha situada a 1/3 e 2/3 e na última lateral de cada unidade de rega.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela expressão:

$$CUMKA = \frac{100 \text{ qm}}{Q}$$

Onde:

CUMKA = coeficiente de uniformidade de MERRIAM, KELLER E ALFARO, em %

qm = menor valor de vazão, em l/h

Q = média das vazões, em l/h.

3.3.4- Método de ABREU E LOPES

É um método semelhante ao proposto por MERRIAM, KELLER E ALFARO, porém a coleta de dados de cada lateral é feita em quatro plantas distintas, considerando o número de emissores por planta, assim distribuídas: primeira planta, plantas situadas a 1/3 e 2/3 do comprimento da linha lateral e última planta da linha lateral. Para todo o sistema coletou-se dados da 1ª linha lateral, nas linhas laterais situadas a 1/3 e 2/3 da linha de distribuição e última linha lateral de cada unidade de rega.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela seguinte equação:

$$CUAL = \frac{100 q_{\min}}{\bar{Q}}$$

Onde:

CUAL = coeficiente de uniformidade de ABREU E LOPES, em %

q min = vazão média dos 25% menores valores de vazão coletada, em l/h

\bar{Q} = média das vazões coletadas, em l/h.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Determinação da relação pressão-vazão e seus respectivos coeficientes de variação de vazão

Os resultados dos testes, com os dois modelos de microaspersores "CBI", apresentados nos Quadros 1 à 17 (Vide Anexo I), mostram que o modelo "CBI" rotativo, apresenta uma menor variabilidade em suas vazões, quando submetido a uma mesma pressão, e ao mesmo tempo uma maior amplitude de vazão, quando sujeito a várias pressões, do que o modelo do microaspersor "CBI" rotativo com válvula compensadora de pressão.

Estas diferenças nas vazões entre os dois modelos de microaspersores são atribuídos à válvula compensadora de pressão (Figura 3), presente no interior do microaspersor "CBI" com válvula compensadora de pressão, e ao processo de fabricação destes equipamentos.

Verifica-se que a válvula compensadora de pressão exerce a influência de diminuir a área de descarga, quando do aumento da pressão. Observa-se ainda uma maior variação nas vazões quando submetidas a uma mesma pressão, como consequência da válvula compensadora de pressão no interior do microaspersor.

Nos Quadros 1 e 2, são mostrados os valores médios das vazões dos 20 microaspersores, submetidos a uma mesma pressão, e os seus respectivos coeficientes de variação de vazão.

Os coeficientes de variação médio foram de 6,05% para o microaspersor "CBI" rotativo e de 11,89% para o microaspersor "CBI" com válvula compensadora de pressão.

O maior valor do coeficiente de variação de fabricação do microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de

QUADRO 1 - Vazão média observada para o microaspersor rotativo "CBI", a diferentes pressões, e seus respectivos coeficientes de variação.

PRESSÃO (mca)	VAZÃO (l/h)	C.V. (%)
2,5	44,07	5,97
5,0	60,87	5,95
7,5	73,85	5,69
10,0	85,23	5,70
12,5	95,91	5,82
15,0	104,13	5,62
17,5	111,25	6,24
20,0	117,45	7,41
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO MÉDIO =		6,05%

QUADRO 2 - Vazão média observada para o microaspersor rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, a diferentes pressões, e seus respectivos coeficientes de variação.

PRESSÃO (mca)	VAZÃO (l/h)	C.V. %
5,0	44,45	9,65
7,5	47,54	11,44
10,0	48,72	11,54
12,5	52,44	10,18
15,0	53,77	10,92
17,5	54,88	11,92
20,0	55,08	12,89
22,5	54,55	13,86
25,0	54,25	14,60
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO MÉDIO =		11,89%

pressão, pode ser atribuída à válvula compensadora de pressão, inserida no interior do mesmo.

SOLOMON E KELLER (1978), ao estudarem a eficiência e uniformidade de irrigação por gotejamento, verificaram que um coeficiente de variação de fabricação mais alto para emissores com compensação de pressão é frequentemente observado, o que é causado pelo fato de que materiais elásticos são usados com o fim de diminuir a área de descarga, enquanto a pressão aumenta, sendo mais difícil obter precisão na fabricação com tais materiais.

Objetivando conhecer o efeito da válvula compensadora de pressão no valor do coeficiente de variação deste microaspersor, foram realizados testes, utilizando-se dos mesmos procedimentos anteriores, mas com a retirada da referida válvula do interior do microaspersor. Estes resultados são mostrados no Quadro 3.

Os resultados dos testes mostrou uma redução do coeficiente de variação de 11,89% para 6,58%, comprovando assim as observações feitas por SOLOMON E KELLER (1978).

4.2- Equação característica do microaspersor

Com os dados de vazão e pressão apresentados nos Quadros 1 e 2, por meio de análise de regressão, ajustaram-se as equações características, respectivamente, para o microaspersor "CBI" rotativo e o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão:

$$q = 28,38 H^{0,48} \quad (3)$$

$$q = 36,07 H^{0,14} \quad (4)$$

Onde:

q = vazão do microaspersor, em l/h

H = pressão na entrada do microaspersor, em m.c.a.

QUADRO 3 - Quadro das vazões médias observadas para o microaspersor "CBI" rotativo com válvula compensadora de pressão (após retirada da válvula), para diferentes pressões e seus respectivos coeficientes de variação).

PRESSÃO (mca)	VAZÃO (l/h)	C.V. %
5,0	64,83	5,94
10,0	90,28	6,10
15,0	108,15	6,32
20,0	121,08	7,97
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO MÉDIO =		6,58

Os coeficientes de determinação (r^2) foram, respectivamente 0,9996 e 0,9154. As Figuras 11 e 12 mostram a representação gráfica das referidas equações.

A diferença nos expoentes das equações (3) e (4) é explicado pelo regime de fluxo de cada microaspersor.

Observa-se que esses expoentes encontrados aproximam-se daqueles estabelecidos por KELLER E KARMELI (1975). (Figura 1).

4.3- Avaliação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por microaspersão em condições de campo

A área em estudo pode ser melhor visualizada através da Figura 10, a qual é composta de seis subunidades. As quatro primeiras são constituídas de nove microaspersores por lateral, enquanto que as duas últimas apresentam oito microaspersores por lateral.

Os valores das pressões das seis subunidades encontram-se nos Quadros 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Observando os referidos Quadros, verifica-se que ocorrem variações de pressão ao longo da lateral em todas as subunidades e entre as laterais de uma mesma subunidade.

Estas variações de pressões são atribuídas às diferenças de altitude do terreno e à perda de carga por atrito ao longo das tubulações e inserções dos microaspersores.

Estas mesmas observações foram feitas por OLIVEIRA(1982), em seu trabalho com hidráulica de linhas laterais, para irrigação por gotejamento, e por SOLOMON E KELLER (1978), estudando a eficiência e uniformidade da irrigação por gotejamento.

Os maiores valores das pressões nas subunidades 5 e 6 são decorrentes da redução de nove para oito microaspersores em cada lateral.

Nos Quadros de 10 à 15, podem ser vistos os valores das

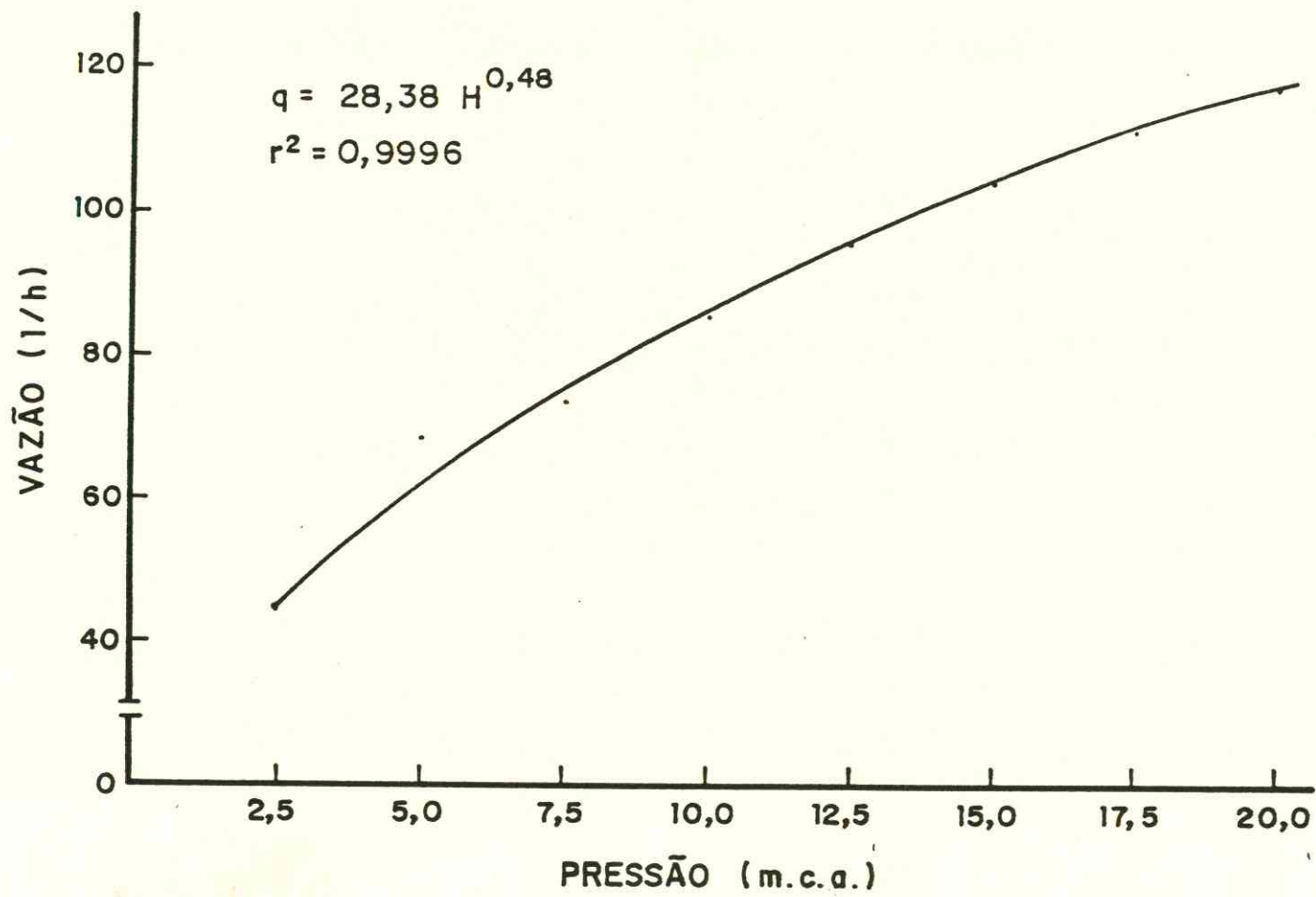


FIGURA 11 - Equação característica de Vazão-Pressão do microaspersor rotativo "CBI"

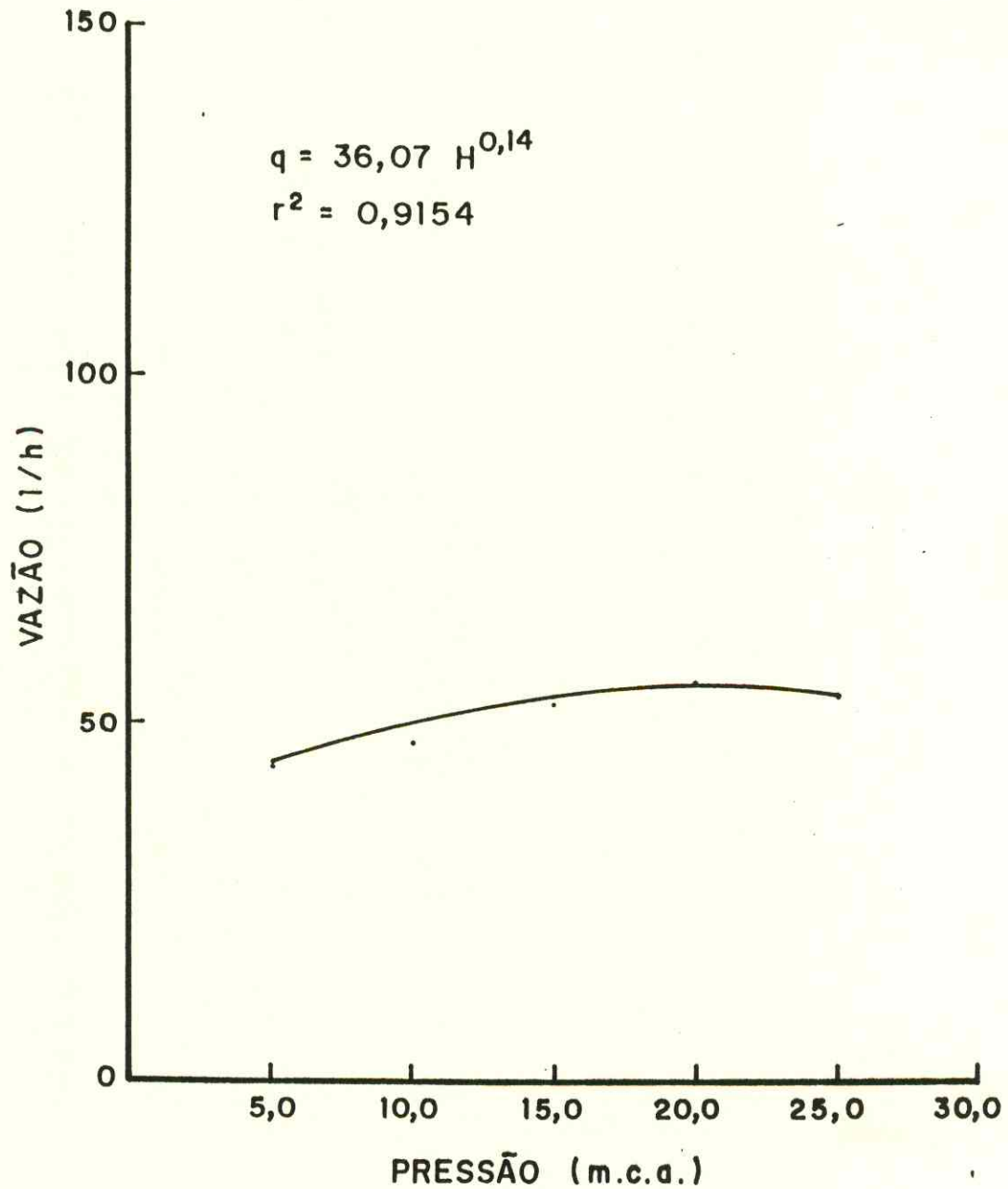
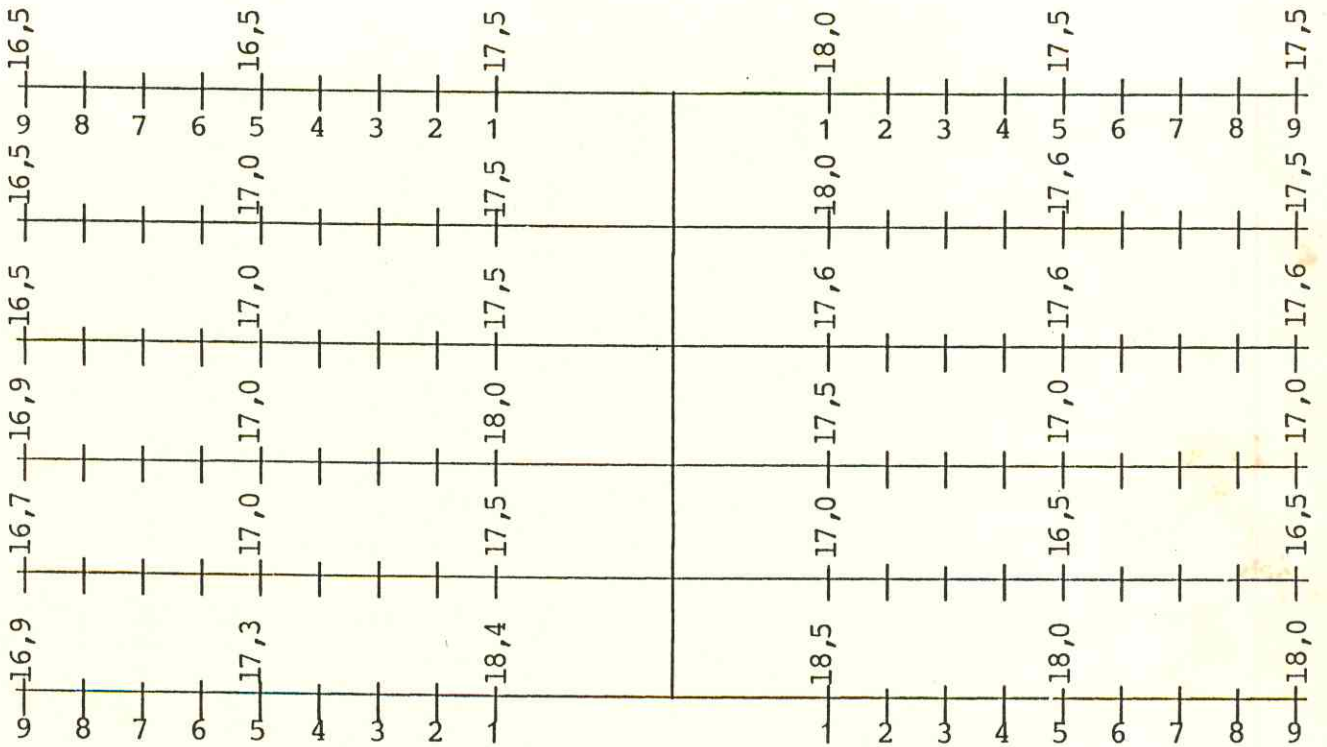
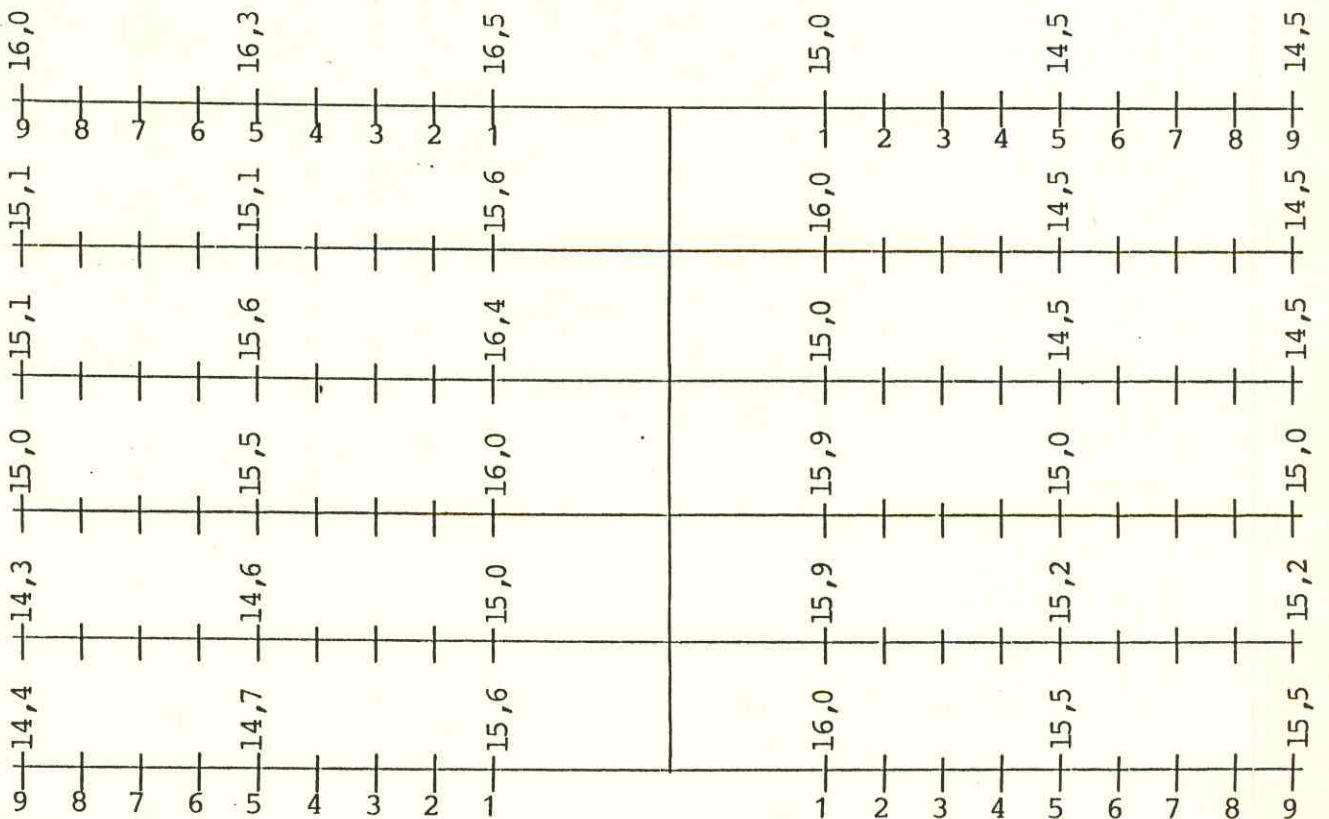


FIGURA 12 - Equação característica de Vazão-Pressão do micro-aspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão.

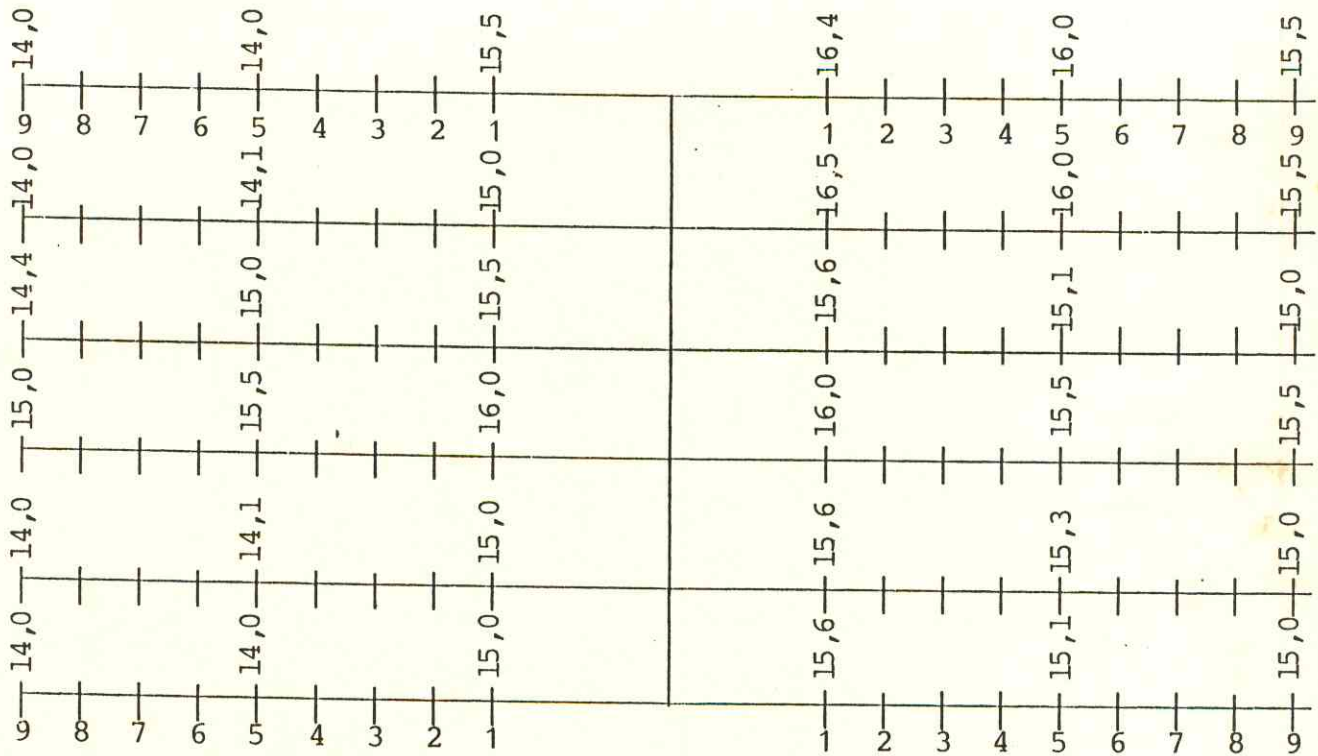
QUADRO 4 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade I.



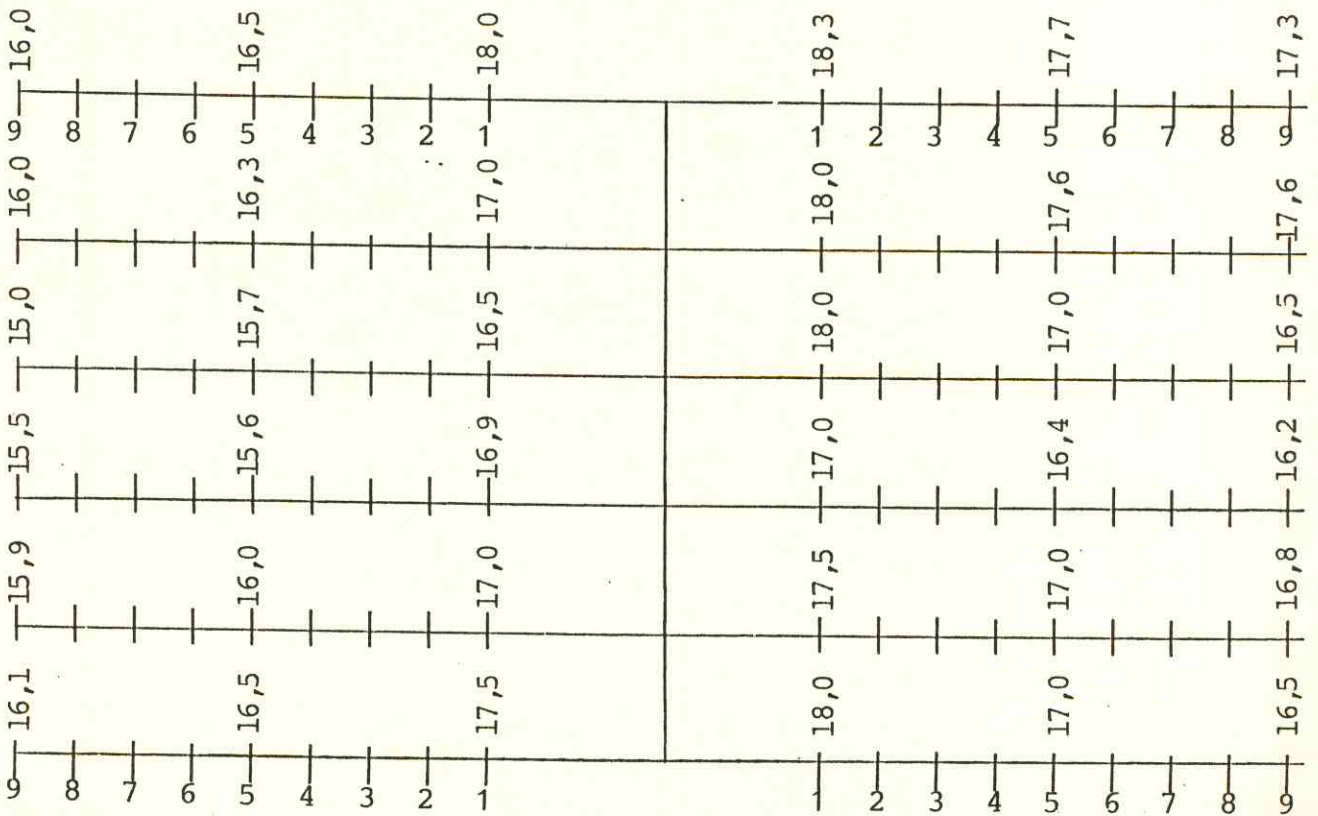
QUADRO 5 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade II.



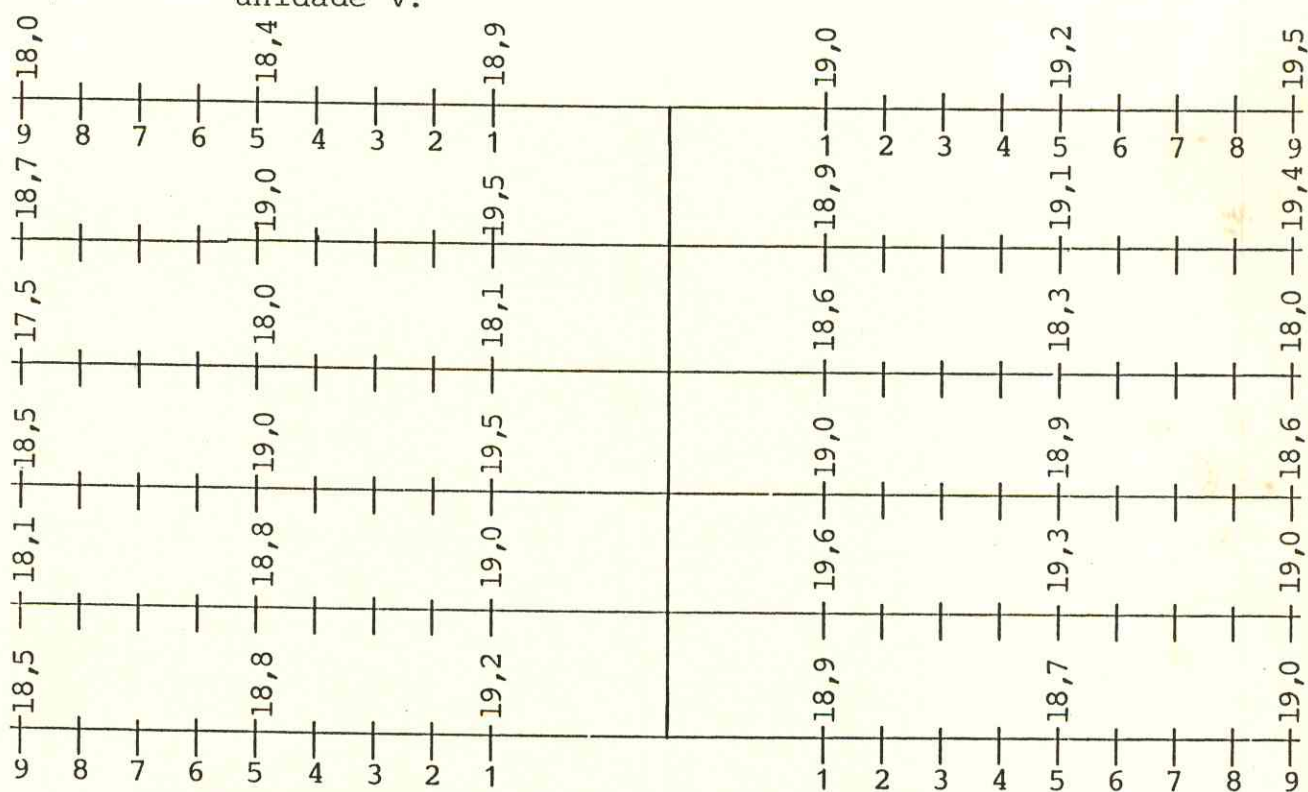
QUADRO 6 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade III.



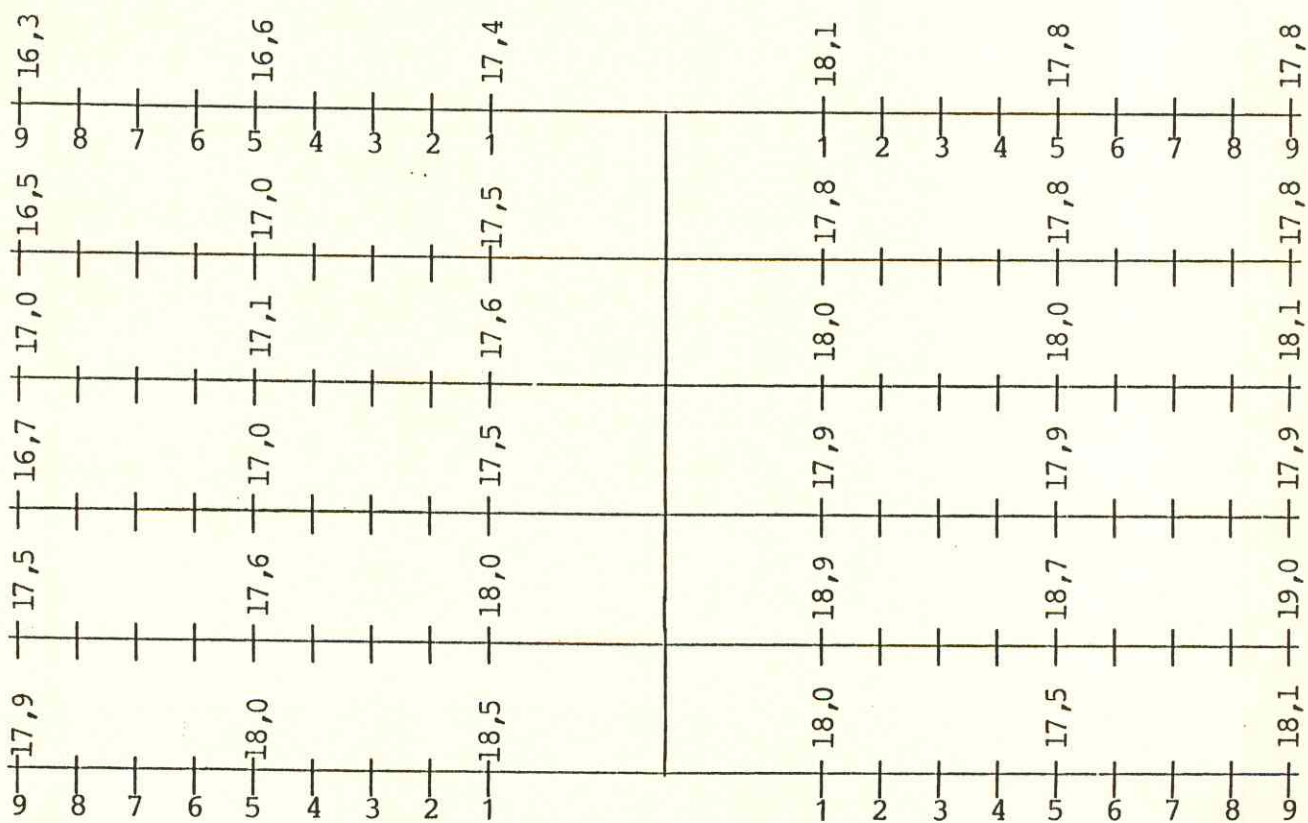
QUADRO 7 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade IV.



QUADRO 8 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade V.



QUADRO 9 - Valores das pressões observadas para os microaspersores situados no início, meio e fim de cada lateral da sub - unidade VI.



QUADRO 10 - Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade I.

6	103,70	108,60	110,70	104,20	92,00	6	101,70
8	98,90	112,20	87,30	96,50	106,70	8	92,80
7	106,60	95,20	96,90	95,10	101,20	7	108,20
6	102,20	98,70	91,40	100,30	106,30	6	86,60
5	102,30	115,20	93,50		102,10	5	91,40
4	108,80	102,50	97,50	104,00	92,90	4	86,30
3	99,30	92,70	98,00	95,00	101,20	3	91,50
2	106,10	95,00	104,90	106,40	104,40	2	94,60
1	102,50	105,50	101,10	104,10	97,30	1	93,30
<hr/>							
1	107,00	101,00	92,10	100,80	100,10	1	99,79
2	103,60	96,70	96,00	91,00	106,40	2	94,79
3	101,80	94,70	98,80	97,40	102,00	3	113,40
4	103,30	99,40	82,80	104,20	102,70	4	87,09
5	109,60	82,70	101,90	101,00	104,20	5	94,99
6	90,20	93,70	103,90	97,70	101,80	6	96,30
7	110,40	99,10	104,10	100,60	100,80	7	98,29
8	106,20	111,50	91,20	96,60	95,50	8	101,49
6	93,60	109,90	87,60	108,70	90,80	6	109,59

QUADRO 11 - Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade II.

6		88,60	106,30	95,10	100,30	6	102,20
8	96,80	88,40	90,80	92,70	102,10	8	86,90
7	86,40	87,60	90,20	95,40	105,30	7	101,70
6	89,30	86,80	99,90	93,40	99,70	6	88,40
5	89,90	97,50	92,10	91,60	101,70	5	89,40
4	98,40	102,00	99,80	95,60	92,40	4	93,50
3	94,20	91,50	93,30	92,40	106,00	3	92,40
2	93,20	91,70	93,80	94,30	92,20	2	96,40
1	96,90	94,50	96,00	94,10	91,90	1	98,40
<hr/>							
1	100,70	91,60	96,20	91,30	98,90	1	102,40
2	95,20	90,80	88,90	91,70	95,60	2	92,20
3	90,90	90,00	103,80	89,90	78,20	3	96,20
4	107,00	104,60	98,70	98,90	96,00	4	89,90
5	96,50	95,60	90,90	95,10	91,10	5	84,90
6	95,80	102,50	92,40	72,80	84,10	6	91,40
7	102,10	90,20	101,40	88,20	92,40	7	90,70
8	92,00	90,50	89,00	95,80	101,10	8	93,70
6	86,80	99,70	92,80	87,90	88,30	6	81,80

QUADRO 12 - Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade III.

9	95,70	93,90	93,20	94,60	88,40	94,20
8	88,10	96,70	95,70	91,60	90,40	90,00
7	98,90	84,80	89,30	90,00	92,40	85,80
6	91,30	106,30	97,40	88,50	97,70	85,40
5	97,30	87,60	98,50	98,40	89,30	86,80
4	91,00	94,30	97,30	88,60	87,50	99,70
3	95,10	108,00	95,40	90,80	86,80	86,30
2	97,10	95,50	94,80	89,90	91,50	101,50
1	94,10	96,50	102,30	90,60	92,10	91,60
<hr/>						
1	94,70	101,30	91,90	91,00	102,30	93,40
2	90,00	94,20	97,40	105,20	91,50	99,60
3	104,80	93,60	102,90	98,70	100,60	91,00
4	121,30	88,00	92,70	93,70	102,70	101,50
5	105,50	88,40	90,20	100,80	96,30	82,35
6	112,80	93,00	91,30	102,10	101,20	101,30
7	103,60	89,70	89,70	89,60	101,30	88,20
8	101,30	99,50	92,80	95,50	91,60	91,60
9	97,90	93,20	90,10	98,00	94,00	96,40

QUADRO 13 - Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade IV.

9	98,90	114,80	111,90		102,20	6	102,60
8	95,50	108,00	98,60		98,40	8	91,30
7	99,80	112,10	94,30	95,00	102,40	7	96,90
6	98,30	93,80	102,00	91,80	93,20	6	96,70
5	111,00	94,30	90,70	99,30	96,30	5	92,60
4	90,20	99,60	102,90	91,90	96,50	4	102,30
3	106,20	104,20	104,70	93,10	104,10	3	99,20
2	98,20	103,70	99,80	99,80	99,9	2	107,80
1	89,10	99,30	94,90	101,80	93,70	1	102,00
<hr/>							
1	109,50	98,30	95,00	92,00	101,10	1	104,60
2	103,40	105,10	101,60	104,80	108,80	2	111,90
3	102,90	92,20	111,50	97,80	112,30	3	105,60
4	94,60	96,60	90,90	92,50	94,90	4	88,90
5	102,90	108,20	95,00	102,60	103,80	5	94,00
6	93,70	95,30	108,50	106,60	105,10	6	95,30
7	104,80	105,10	92,50	100,70	111,80	7	95,10
8	92,10	107,40	90,10	89,30	98,90	8	99,70
9	106,50	114,30	114,90	111,30	115,40	9	106,40

QUADRO 14 - Valores das vazões observadas para os microaspersores da subunidade V.

9						9
8	89,20	95,70	96,90	87,60	108,40	8
7	90,60	109,40	90,40	89,90	88,10	7
6	88,00	105,00	82,20	108,90	98,40	6
5	110,90	96,90	110,20	102,20	92,70	5
4	94,50	103,60	91,80	106,20	89,80	4
3	97,60	108,40	99,80	97,50	108,80	3
2	86,00	91,80	96,30	87,50	93,20	2
1	98,90	113,60	90,00	98,40	96,50	1
<hr/>						
1	102,30	97,50	104,60	94,90	110,40	1
2	108,40	95,30	102,30	97,90	106,10	2
3	98,30	111,90	94,40	88,90	108,30	3
4	108,50	102,40	98,20	104,90	93,70	4
5	93,00	113,80	103,50	91,91	110,90	5
6	98,10	89,10	96,40	87,30	96,40	6
7	97,40	94,40	91,00	93,00	89,90	7
8	114,20	95,10	94,70	90,10	96,80	8
9						9

QUADRO 15 - Valores das vazões observadas para os microaspersores de subunidade VI.

9						9
8	98,10	81,30	96,80	103,50	93,90	8
7	101,10	94,00	91,40	93,60	90,50	7
6	96,50	91,80	85,20	95,10	87,60	6
5	98,40	97,10	83,90	91,50	88,50	5
4	99,40	93,00	100,50	95,10	86,10	4
3	84,60	90,70	95,80	92,50	101,30	3
2	88,50	93,00	85,50	84,80	88,50	2
1	94,70	93,30	97,70	97,40	82,60	1
<hr/>						
1	85,30	92,90	91,20	95,60	101,90	1
2	93,10	99,00	105,10	99,10	116,60	2
3	92,00	104,50	85,90	94,80	106,00	3
4	86,10	99,80	104,70	92,80	94,20	4
5	89,70	100,50	91,40	98,30	112,70	5
6	105,30	89,90	99,30	92,30	106,60	6
7	88,90	94,80	106,50	94,60	100,60	7
8	92,00	95,90	93,90	105,60	95,90	8
9						9

vazões dos microaspersores, obtidos da média de três repetições, por um tempo de dois minutos.

Analisando estes resultados, observa-se uma grande variabilidade nas vazões em todo o sistema.

Estas diferenças nas vazões dos microaspersores podem ser atribuídas a vários fatores, dentre os quais citam-se:

- . as variações de pressão que ocorrem no sistema;
- . a vazamentos localizados nas inserções dos adaptadores ao microtubo, onde estão colocados os microaspersores, e na própria inserção do microtubo com os microaspersores;
- . a entupimentos nos microaspersores;
- . ao processo de fabricação dos equipamentos em uso. (microaspersores).

As alterações de vazão nos emissores decorrentes da mudança de temperatura podem ser consideradas desprezíveis, uma vez que esta foi de somente 2°C nos intervalos de tempo das medições.

As alterações nas vazões dos microaspersores ocorridas em função das variações de pressão no sistema podem ser verificadas claramente nos quadros de pressões e vazões.

Pequenas diferenças nas vazões dos microaspersores foram observadas devido à existência de vazamentos nos locais já descritos, quando comparadas com as repetições de leituras após a retirada destes vazamentos.

As principais causas das variações de vazão, na área em estudo, foram as obstruções nos microaspersores ocasionadas geralmente por matéria orgânica em decomposição e por pequenas partículas de minerais decorrentes de um sistema de filtragem deficiente. Pode-se ainda considerar como uma das principais causas das variações de vazão, as diferenças no processo de fabricação dos equipamentos devido às superfícies irregulares e rebarbas deixadas durante a industrialização dos mesmos.

KELLER E KARMELI (1975), SOLOMON (1979) e BUCK e MYERS (1973), também detectaram estes fatos, com exceção de

vazamentos, como sendo uma das causas da não uniformidade de aplicação da água na irrigação por gotejamento.

Utilizando-se dos dados de vazões apresentado anteriormente, foram efetuados os cálculos do coeficiente de uniformidade de distribuição de água da área, pelos métodos de CHRISTIANSEN, o PATTERN-EFFICIENCY, ABREU E LOPES e o método proposto por MERRIAM, KELLER E ALFARO.

Os valores do coeficiente de uniformidade para as quatro metodologias trabalhadas são apresentadas no Quadro 16.

Analisando os resultados dos valores do coeficiente de uniformidade das seis subunidades e de todo o sistema pela metodologia de referência de CHRISTIANSEN, pode-se afirmar que o sistema de irrigação em estudo apresenta uma excelente uniformidade de distribuição de água em toda a área.

Esta excelente performance de uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação deve-se ao fato de: uma utilização de equipamentos de boa performance; apresentar um pequeno comprimento de suas laterais; estar implantado em um relevo não muito acentuado; e bem dimensionado pelos projetistas.

Constata-se ainda que os coeficientes de uniformidade de distribuição de água obtidos através das metodologias do PATTERN-EFFICIENCY e ABREU E LOPES, aproximaram-se bastante da metodologia de referência desenvolvida por CHRISTIANSEN (1941).

Os valores dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água obtidas pela metodologia de MERRIAM, KELLER E ALFARO, além de apresentarem-se como os mais baixos, quando comparados com a metodologia de referência de CHRISTIANSEN, mostraram-se bastantes discrepantes. Isto se deve ao processo de cálculo destes coeficientes baseado no menor valor da vazão em relação a sua média.

DENICULI et alii (1980), em seu trabalho com uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento, também observaram este mesmo fato.

O Quadro 17, mostra o grau de associação entre as quatro metodologias. Observa-se que a mais alta associação obtida foi entre a metodologia de CHRISTIANSEN e o PATTERN-EFFICIEN-CE ($r=0,6865$). Estabeleceram-se ainda equações de regressão entre os métodos de CHRISTIANSEN e o PATTERN-EFFICIEN-CE, CHRIS-TIANSEN E ABREU E LOPES e CHRISTIANSEN E MERRIAM, KELLER E AL-FARO, tomando-se a metodologia de CHRISTIANSEN como padrão. As equações de regressão estimadas foram:

$$CUC = 2321,011 + 52,2119PE - 0,28209PE^2$$

$$CUC = 22,3918 + 2,34549CUAL - 0,01166CUAL^2$$

$$CUC = 221,567958 - 3,043242CUMKA - 0,018178CUMKA^2$$

O Quadro 18, mostra as variâncias estimadas dos coefi- cientes de uniformidade de distribuição de água obtidas pelos quatro métodos. Observa-se que a metodologia de CHRISTIANSEN e a do PATTERN-EFFICIEN-CE, nos levam a uma determinação mais precisa do coeficiente da distribuição de água. Esta maior pre- cisão, deve-se ao fato de que todas as vazões dos microasper- sores são usados para o referido cálculo.

QUADRO 16 - Coeficientes de uniformidade determinados por quatro métodos, em regime de campo para seis subunidades de um sistema de irrigação por microaspersão.

Nº DA SUBUNIDADE	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE (%)			
	CUC	PE	CUAL	CUMKA
1	94,47	91,02	90,05	83,38
2	95,13	92,58	91,06	76,79
3	94,88	92,85	93,23	89,15
4	94,33	91,77	91,75	88,85
5	93,47	90,69	90,71	83,22
6	94,88	90,96	91,51	85,64
TUDO SISTEMA	93,02	91,25	91,15	74,86

QUADRO 17 - Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade determinados por quatro métodos para irrigação por microaspersão.

	CUC	PE	CUAL	CUMKA
CUC	1,0000	0,6865	0,3810	0,6023
PE		1,0000	0,6850	0,9406
CUAL			1,0000	0,8813
CUMKA				1,0000

QUADRO 18 - Estimativa das variâncias (s^2) dos coeficientes de uniformidade determinados pelos quatro métodos.

MÉTODOS	s^2
CUC	0,54
PE	0,83
CUAL	0,93
CUMKA	4,17

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa nos permitem estabelecer as seguintes conclusões e recomendações:

. No teste de emissores para irrigação localizada, os equipamentos e o arranjo dos mesmos na bancada idealizada permitiram alcançar, além dos limites de precisão recomendadas nas normas da ABNT, um elevado grau de repetibilidade e velocidade nas determinações, o que nos permite recomendá-la para futuros testes.

. Os dois modelos de microaspersores testados podem ser classificados como de "média uniformidade de distribuição de água" de acordo com os parâmetros de classificação do S.C.S. (National Engineering Handbook) Norte Americano (1978), e caracterizados pelas equações:

$$q = 28,38 H^{0,48} \text{ (Emissor rotativo "CBI")}$$

$$q = 36,06 H^{0,14} \text{ (Emissor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão).}$$

Onde:

Q = vazão do microaspersor, em l/h

H = pressão na entrada do microaspersor, em m.c.a.

Tendo-se em vista as características dos microaspersores testados, o uso do microaspersor rotativo "CBI" seria indicado para laterais mais curtas, enquanto o microaspersor rotativo "CBI" com válvula compensadora de pressão seria o mais recomendável dos dois para laterais mais longas.

. Com relação às metodologias testadas para avaliar uniformidade de distribuição d'água em sistemas localizados já

instalados e em uso, a sistemática adotada por ABREU E LOPES se mostrou a mais vantajosa por apresentar maior rapidez e simplicidade na coleta dos dados no campo e resultados comparáveis aos outros métodos.

Objetivando aconselhar práticas de manejo que conduzam a uma melhor eficiência na uniformidade de distribuição da água recomenda-se, para qualquer metodologia de avaliação empregada, que esta seja realizada em cada subunidade do sistema, tendo em vista oferecer maiores subsídios para um adequado manejo.

. Dentro da mesma linha de pesquisa deste trabalho, e com objetivos semelhantes, recomenda-se:

- O estudo da hidráulica de outros modelos de emissores atualmente existente no mercado local, visando oferecer subsídios aos projetistas e melhor aproveitamento do equipamento pelos usuários.

- Avaliação da eficiência de outros sistemas de irrigação localizada já em uso, com o objetivo de determinar a sua performance e oferecer subsídios para obtenção de práticas de manejo do método em culturas produtivas, visando a máxima produtividade das mesmas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALJIBURY et alii., 1981. Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California, Chapter 8. 39p.
- AMIR, I e I. SEGIMER, 1985. Emitter Uniformity as an Economic Factor in Trickle System Design. TRANSACTIONS of The ASAE 28(3): 826-831.
- BERNARDO, S., 1987. Manual de Irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa. 488p.
- BLAIR, E., 1979. Riego por Goteo. In: IIIº Seminário Latino Americano sobre Riego por Goteo. Campinas, São Paulo.
- BOTREL, T. A., 1984. Hidráulica de Microaspersores e de Linhas Laterais para Irrigação Localizada. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, 78p. (Tese de mestrado).
- BUCKS, D. A.; L.E. MYERS, 1973. Trickle Irrigation. Application Uniformity from Simple Emitters. TRANSACTIONS of the ASAE. Julho 1973. 1108-1111.
- BUCKS, D. A.; L.J. ERIE; F.S. NAKAYAMA e O.F. FRENCH, 1974. Trickle Irrigation Management for Grapes. In: Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, 503-507.
- DAVIS, S. e W.J. PUGH, 1974. Dripper Flow Consistency. In: Second International Drip Irrigation Congress, San Diego. 281-283.
- DENICULI, W.; S. BERNARDO; J.T.L. THIEBAUT e G.C. SEDIYAMA, 1980. Uniformidade de Distribuição de Água, em Condições de Campo, num Sistema de Irrigação por Gotejamento. Revista Ceres , 28(150): 155-162.

- GILAAD, Y.; L. KRISTAL e K. ZAMKER, 1984. Hydraulic and Mechanical Properties of Drippers. In: Second International Drip Irrigation Congress, San Diego. 311-316.
- HOWELL, T.A. e E.A. MILLER, 1974. Designing Trickle Irrigation Laterais for Uniformity. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 100:443-454.
- KARMELI, D. e J. KELLER, 1974. Evaluation of a Trickle Irrigation System. In: Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, 287-292.
- KELLER, J. e D. KARMELI, 1975. Trickle Irrigation Design. Glendora Rain Bird Sprinkler Mfg Co, 133p.
- OLITA, A., 1987. Os Métodos de Irrigação. São Paulo, Livraria Nobel. 267p.
- OLIVEIRA, C.A.S., 1982. Hidráulica de Gotejadores e de Linhas Laterais para Irrigação por Gotejamento. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 72p. (Tese de mestrado).
- PINTO, J.M.; J.M. SOARES e T. NASCIMENTO, 1988. Análise de Coeficientes de Uniformidade de Distribuição de Água em Sistemas de Irrigação Localizada. In: VIIIº Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Florianópolis-Stª Catarina. Ed. ABID. 309-326.
- PITTS, D.J.; J.A. FERGUSON; R.E. WRIGHT, 1986. Trickle Irrigation Lateral Line Design by Computer Analysis. TRANSACTIONS of the ASAE 29(5): September-October, 1320-1324.
- S.C.S. NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, 1978. Trickle Irrigation Chapter 7, Section 15.
- SHAMI, M., 1974. Trickle Irrigation. In: Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, 91-96.
- SOLOMON, K., 1977. Performance Comparison of Different Emitter Types. Agricultural Irrigation Analyst Rain Bird Technical Services. Glendora California, U.S.A.
- SOLOMON, K. e J. KELLER, 1978. Trickle Irrigation Uniformity and Efficiency. Journal of The Irrigation and Drainage Di-

- vision, ASCE 104(IR 3):293-306.
- SOLOMON, K., 1979. Manufacturing Variation of Trickle Emitters. TRANSACTIONS of The ASAE 22(5):1034-1037.
- SOLOMON, K., 1985. Global Uniformity of Trickle Irrigation Systems. TRANSACTIONS of The ASAE 28(4):1151-1158.
- VERMEIREN; L. e G. JOBLING, 1980. Localized Irrigation. Rome, Food and Agricultura Organization on The United Nations. 203p.
- WALKES, W.R., 1979. Sprinkler and Trickle Irrigation. Colorado State University. Departament of Agricultural anda Chemical Engineering. Chapter 8.
- WU, I e H. GITLIN, 1973. Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Journal of The Irrigation and Drainage Division, ASCE. 99(IR 2): 157-168.
- WU, I e H. GITLIN, 1974. Design Charts for Drip Irrigation Systems. Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, 305-310.

A N E X O S

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 2,5 m				
1	41,52	42,00	42,00	41,84
2	45,60	45,60	45,48	45,56
3	47,04	47,40	47,04	47,16
4	44,40	47,76	45,36	44,84
5	43,20	43,20	43,80	43,40
6	40,80	40,80	41,04	40,88
7	44,40	44,40	45,00	44,60
8	45,00	44,40	45,00	44,80
9	45,60	46,80	46,80	46,40
10	42,00	42,60	43,20	42,60
11	42,00	42,24	42,60	42,28
12	42,00	42,24	42,60	42,28
13	43,80	43,20	43,80	43,60
14	44,16	43,20	43,80	43,72
15	42,96	42,00	42,60	42,52
16	45,60	43,20	43,80	44,20
17	40,80	40,80	40,80	40,80
18	46,20	45,84	45,84	45,96
19	51,60	52,20	52,80	52,20
20	41,40	42,60	41,40	41,80

ANEXO 1 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 2,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 5,0m				
1	56,64	57,60	57,84	57,36
2	62,40	63,00	63,60	63,00
3	66,00	66,00	66,00	66,00
4	60,48	62,16	62,40	61,68
5	60,00	60,00	60,00	60,00
6	55,80	56,40	55,44	55,88
7	61,20	61,80	61,20	61,40
8	61,44	61,20	60,00	60,88
9	63,60	63,60	63,60	63,60
10	59,40	58,80	59,40	59,20
11	58,32	58,56	58,80	58,56
12	58,80	58,32	58,80	58,64
13	59,40	60,60	60,00	60,00
14	60,600	61,20	61,20	61,00
15	58,56	59,76	59,04	59,12
16	60,24	60,24	60,00	60,16
17	56,40	57,60	56,40	56,80
18	64,80	64,80	63,60	64,40
19	71,40	72,00	71,76	71,72
20	58,20	58,80	58,20	58,40

ANEXO 2 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 5,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 7,5m				
1	68,64	69,60	69,60	69,28
2	75,60	75,60	76,56	75,92
3	79,20	79,20	80,16	79,52
4	73,80	75,00	75,60	74,80
5	73,20	73,20	73,20	73,20
6	67,80	67,20	67,20	67,40
7	75,00	75,00	74,40	74,80
8	74,40	73,20	73,20	73,60
9	76,80	76,80	78,00	77,20
10	72,00	72,00	72,00	72,00
11	71,40	71,52	72,00	71,64
12	71,40	71,04	71,04	71,28
13	73,20	73,20	73,20	73,20
14	75,60	75,00	75,60	75,40
15	71,60	71,52	72,00	71,70
16	73,80	72,72	72,00	72,84
17	69,00	69,36	69,36	69,24
18	76,80	77,40	76,80	77,00
19	86,40	86,40	86,40	86,40
20	70,68	70,20	70,80	70,56

ANEXO 3 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 7,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 10,0m				
1	80,40	80,64	81,60	80,88
2	88,20	87,96	88,80	88,32
3	92,40	92,40	92,16	92,32
4	86,64	86,64	87,60	86,96
5	84,00	84,00	84,00	84,00
6	78,00	78,00	78,00	78,00
7	86,40	86,40	86,40	86,40
8	85,52	84,00	84,00	84,40
9	88,80	88,80	88,80	88,80
10	82,80	82,80	82,56	82,72
11	82,20	82,56	82,20	82,32
12	82,20	82,20	82,20	82,20
13	84,00	84,00	84,00	84,00
14	87,60	87,60	86,40	87,20
15	83,40	82,80	82,20	82,80
16	85,20	84,00	82,80	84,00
17	78,60	81,00	80,40	80,00
18	88,80	86,40	88,80	88,00
19	100,20	99,00	100,20	99,80
20	81,00	81,60	81,60	81,40

ANEXO 4 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 10,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-l/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 12,5m				
1	90,00	90,00	90,00	90,00
2	99,00	99,60	99,12	99,24
3	103,20	103,20	102,96	103,12
4	97,32	97,44	98,40	97,72
5	96,60	96,00	94,80	95,80
6	87,00	87,60	86,40	87,00
7	97,80	98,04	97,44	97,76
8	96,00	94,56	93,60	94,72
9	99,84	99,00	100,80	99,88
10	93,00	92,40	93,00	92,80
11	92,64	91,80	92,88	92,44
12	91,80	91,44	91,20	91,48
13	95,04	95,04	95,04	95,04
14	99,00	98,40	99,00	98,80
15	94,20	93,60	94,20	94,00
16	96,24	94,80	96,00	95,68
17	88,80	90,00	90,00	89,60
18	99,60	98,40	100,20	99,40
19	112,80	112,20	111,60	112,20
20	91,20	91,80	91,80	91,60

ANEXO 5 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 12,5m.

MICROASPESSOR	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 15,0m				
1	98,04	98,16	99,00	98,40
2	108,00	108,00	108,00	108,00
3	112,20	112,80	111,84	112,28
4	106,20	106,56	106,80	106,52
5	103,80	103,20	103,20	103,40
6	94,80	94,80	93,96	94,52
7	105,60	105,60	104,40	105,20
8	103,20	102,60	101,40	102,40
9	109,20	108,00	109,20	108,80
10	100,56	100,80	101,04	100,80
11	100,32	100,80	101,04	100,72
12	100,80	99,84	101,40	100,68
13	104,16	103,20	103,20	103,52
14	107,52	107,40	106,80	107,24
15	102,00	102,00	100,80	101,60
16	104,40	103,20	102,60	103,40
17	97,80	98,40	99,00	98,40
18	105,48	105,60	105,60	105,56
19	122,40	121,20	121,20	121,60
20	99,60	99,00	100,20	99,60

ANEXO 6 - Vazões observadas do microaspersor rotativo "CBI", submetido à pressão de 15,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 17,5m				
1	106,20	106,56	106,20	106,32
2	117,24	116,40	116,40	116,68
3	121,44	120,72	120,36	120,84
4	115,80	115,20	115,20	115,40
5	110,40	110,16	109,80	110,12
6	102,00	102,00	102,00	102,00
7	110,40	110,40	109,80	110,20
8	110,40	109,80	109,20	109,80
9	117,60	117,60	117,60	117,60
10	108,00	108,24	108,00	108,08
11	108,00	107,76	108,00	107,92
12	106,56	106,20	107,04	106,60
13	99,60	100,80	102,00	100,80
14	116,16	116,40	115,80	116,12
15	109,56	109,80	109,20	109,52
16	112,20	111,60	111,60	111,80
17	105,60	105,60	106,20	105,80
18	111,84	111,84	112,20	111,96
19	130,80	130,80	131,40	131,00
20	106,20	106,20	106,80	106,40

ANEXO 7 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 17,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 20,0m				
1	118,20	118,44	118,44	118,36
2	125,76	126,00	125,76	125,84
3	129,00	128,64	128,76	128,80
4	123,60	123,60	123,60	123,60
5	114,60	115,20	115,20	115,00
6	108,24	106,80	108,00	107,68
7	114,00	114,00	114,00	114,00
8	116,40	116,64	116,40	116,48
9	126,00	126,00	126,00	126,00
10	114,00	114,00	114,00	114,00
11	112,80	112,20	112,20	112,40
12	111,60	111,84	111,60	111,68
13	94,98	94,20	94,80	94,60
14	124,80	124,80	124,80	124,80
15	114,60	115,20	115,20	115,00
16	120,00	118,80	118,80	119,20
17	112,80	115,20	115,20	114,40
18	117,60	117,60	117,00	117,40
19	136,80	135,60	135,00	135,80
20	114,60	113,40	114,00	114,00

ANEXO 8 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", submetido à pressão de 20,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 5,0m				
1	40,68	41,40	38,40	40,16
2	52,80	54,00	54,00	53,60
3	41,76	41,52	42,00	41,76
4	44,40	40,80	43,44	42,88
5	40,80	40,44	40,20	40,48
6	44,04	51,00	46,80	47,28
7	53,04	53,76	39,60	48,80
8	53,04	53,40	39,60	48,68
9	51,96	54,00	54,00	53,32
10	46,56	46,56	46,80	46,64
11	41,40	39,60	38,64	39,88
12	46,80	51,60	42,00	46,80
13	42,00	40,80	39,60	40,80
14	40,80	49,20	41,40	43,80
15	42,36	51,12	42,00	45,16
16	42,60	45,00	40,20	42,60
17	43,20	48,00	43,20	44,80
18	41,40	41,52	42,72	41,88
19	40,20	40,44	40,80	40,48
20	45,60	36,00	36,00	39,20

ANEXO 9 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 5,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 7,5m				
1	49,20	50,40	48,00	49,20
2	63,84	64,80	51,60	60,08
3	45,60	43,20	43,80	44,20
4	48,00	46,80	48,00	47,60
5	42,00	41,76	41,76	41,84
6	62,28	62,40	49,20	57,96
7	45,60	45,60	43,20	44,80
8	48,00	45,60	40,80	44,80
9	63,60	51,84	51,60	55,68
10	57,60	55,80	46,80	53,40
11	44,40	41,40	40,56	42,12
12	50,40	49,20	48,00	49,20
13	43,20	41,40	40,80	41,80
14	48,00	46,80	46,80	47,20
15	49,56	49,44	48,72	49,24
16	45,60	43,56	41,40	43,52
17	48,60	47,04	48,00	47,88
18	45,00	42,24	44,40	43,32
19	42,84	42,96	44,16	43,32
20	50,16	40,20	40,56	43,64

ANEXO 10 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 7,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 10,0m				
1	58,80	57,84	54,60	57,08
2	52,20	55,20	54,00	53,80
3	49,20	47,40	48,00	48,20
4	52,56	51,00	51,36	51,64
5	46,20	43,20	42,00	43,80
6	56,40	56,40	51,60	54,80
7	46,80	47,04	42,96	45,60
8	46,68	46,56	43,20	45,48
9	56,76	55,80	54,60	55,72
10	61,08	52,80	51,60	55,16
11	46,80	44,40	43,20	44,80
12	55,20	51,60	51,00	52,60
13	45,60	44,76	46,80	45,72
14	53,64	52,80	55,20	53,88
15	53,04	52,80	56,40	54,08
16	45,60	44,76	46,80	45,72
17	43,20	48,00	43,20	44,80
18	41,40	41,52	42,72	41,88
19	40,20	40,44	40,80	40,48
20	45,60	36,00	36,00	39,20

ANEXO 11 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 10,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 12,5m				
1	62,28	63,60	61,80	62,56
2	58,20	58,44	56,40	57,68
3	51,60	49,80	50,40	50,60
4	56,40	54,00	54,96	55,12
5	46,80	45,36	44,40	45,52
6	57,60	58,56	55,20	57,12
7	47,40	46,80	40,80	45,00
8	48,00	48,60	40,80	45,80
9	57,60	59,40	57,96	58,32
10	57,00	55,20	54,36	55,52
11	46,80	46,80	44,64	46,08
12	56,40	55,80	54,00	55,40
13	46,20	46,80	48,00	47,00
14	57,60	57,60	58,80	58,00
15	56,04	56,40	57,60	56,68
16	46,80	47,76	48,36	47,64
17	56,40	54,00	54,00	54,80
18	48,60	47,40	48,00	48,00
19	52,80	46,32	47,52	48,88
20	54,24	52,80	51,96	53,00

ANEXO 12 - Vazões observadas do microaspesor rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 12,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 15,0m				
1	58,20	57,60	56,40	57,40
2	60,60	60,60	57,60	59,60
3	52,80	52,80	52,60	52,72
4	58,80	57,60	57,60	58,00
5	46,80	46,80	44,40	46,00
6	62,28	61,20	56,64	60,04
7	45,60	45,00	42,00	44,20
8	46,80	48,00	45,00	46,60
9	60,00	62,40	60,00	60,80
10	58,80	58,56	56,40	57,92
11	44,40	47,40	44,64	45,48
12	58,56	57,84	52,80	56,40
13	51,00	45,84	48,96	48,60
14	62,40	60,60	61,80	61,60
15	61,20	59,16	60,00	60,12
16	51,60	46,32	49,20	49,04
17	58,80	55,80	56,40	57,00
18	50,40	48,24	49,20	49,28
19	53,40	46,80	48,00	49,40
20	56,40	52,80	56,40	55,20

ANEXO 13 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 15,0m.

MICROASPELSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 17,5m				
1	60,00	60,00	58,80	59,60
2	63,00	61,80	59,40	61,40
3	53,40	52,20	52,80	52,80
4	60,00	58,80	58,80	59,20
5	45,60	46,80	49,20	47,20
6	63,60	63,00	61,80	62,80
7	45,60	44,40	48,00	46,00
8	49,80	49,20	48,00	49,00
9	61,20	64,32	62,40	62,64
10	60,96	60,00	58,80	59,92
11	47,04	47,04	45,36	46,48
12	59,76	58,80	56,40	58,32
13	49,20	45,60	48,00	47,60
14	64,80	62,40	64,80	64,00
15	63,00	60,60	62,16	61,92
16	51,00	48,00	49,20	49,40
17	60,00	56,40	58,56	58,32
18	48,00	46,80	49,20	48,00
19	52,20	45,00	46,80	48,00
20	56,40	52,80	55,80	55,00

ANEXO 14 - Vazões observadas do microaspeisor rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 17,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-l/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 20,0m				
1	62,40	62,40	61,20	62,00
2	62,40	62,40	59,76	61,52
3	54,00	53,40	53,52	53,64
4	61,20	59,40	59,64	60,08
5	45,60	45,60	48,00	46,40
6	63,60	63,00	63,60	63,40
7	44,40	44,40	47,04	45,28
8	49,20	48,60	48,00	48,60
9	64,20	65,40	62,88	64,16
10	62,64	61,44	55,20	59,76
11	49,20	46,80	45,00	47,00
12	57,96	58,20	56,40	57,52
13	48,00	44,40	46,56	46,32
14	66,00	63,60	65,40	65,00
15	64,20	60,72	62,64	62,52
16	50,40	46,80	48,00	48,40
17	60,00	56,40	58,80	58,40
18	50,40	46,32	48,24	48,32
19	50,40	46,56	46,80	47,92
20	55,56	55,20	55,32	55,36

ANEXO 15 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 20,0m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 22,5m				
1	60,00	63,00	64,16	61,72
2	61,80	60,60	59,40	60,60
3	54,00	52,80	53,40	53,40
4	61,20	59,40	59,64	60,08
5	45,60	45,60	46,80	46,00
6	61,80	58,80	62,40	61,00
7	43,20	43,20	45,36	43,92
8	47,04	46,80	48,00	47,28
9	68,40	64,80	62,40	65,20
10	63,00	61,20	51,60	58,60
11	48,00	46,56	44,64	46,40
12	58,80	57,00	55,20	57,00
13	45,60	42,00	44,40	44,00
14	67,20	63,60	66,00	65,60
15	63,60	60,00	62,40	62,00
16	48,24	44,76	46,80	46,60
17	60,00	57,60	58,80	58,80
18	49,20	46,56	47,04	47,60
19	49,44	45,60	46,80	47,28
20	57,60	57,60	58,80	58,00

ANEXO 16 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 22,5m.

MICROASPERSON	Nº DE REPETIÇÕES (VAZÃO-1/h)			MÉDIA
	1	2	3	
PRESSÃO - 25,0m				
1	63,60	62,40	67,20	64,40
2	61,80	60,60	59,40	60,60
3	54,00	52,80	53,40	53,40
4	61,20	59,40	49,64	60,08
5	45,60	45,60	46,80	46,00
6	61,80	58,80	62,40	61,00
7	43,20	43,20	45,36	43,92
8	47,04	46,08	48,00	47,28
9	68,40	64,80	62,40	65,20
10	63,00	61,20	51,60	58,60
11	48,00	46,56	44,64	46,40
12	58,80	57,00	55,20	57,00
13	42,00	39,36	42,00	41,12
14	66,36	63,60	66,00	65,32
15	61,68	58,80	61,20	60,56
16	46,20	43,20	45,12	44,84
17	58,80	56,40	56,64	57,28
18	46,80	46,68	46,80	46,76
19	49,20	48,00	46,80	48,00
20	48,80	57,60	55,20	57,20

ANEXO 17 - Vazões observadas do microasperson rotativo "CBI", com válvula compensadora de pressão, submetido à pressão de 25,0m.