

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

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E DA DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MICROASPERSOR DAN SPRINKLER 2001

JOSÉ DE ARIMATEA DE MATOS

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO - 1996

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E DA DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MICROASPELADOR DAN SPRINKLER 2001**

JOSÉ DE ARIMATEA DE MATOS

Engenheiro Agrícola

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E DA DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MICROASPELADOR DAN SPRINKLER 2001**

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

JOSÉ DANTAS NETO

Orientador

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

Co-orientador

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

FEVEREIRO - 1996

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E DA DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MICROASPERSONAL DAN SPRINKLER 2001

por


JOSÉ DE ARIMATEA DE MATOS


DISSERTAÇÃO APROVADA EM 09 DE FEVEREIRO DE 1996.

COMISSÃO:


Prof. Dr. José Dantas Neto

PRESIDENTE


Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo
EXAMINADOR


Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes
EXAMINADOR

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO - 1996



Aos meus pais **João Damião** e
Maria do Céu e as minhas irmãs
que no seio de uma família pude
despertar para a vida e a razão de
viver,

AGRADEÇO

À minha esposa **Francisca Fátima**
e aos meus filhos **Susana** e
André, pelos quais eu vivo, pela
compreensão e tolerância,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, que é o motivo maior da minha existência. Que pelos teus caminhos de luz, em razão de nos momentos de alegria e de tristeza, a tua palavra me conforta e me dá forças na luta pela vida.

A empresa IRRICAMP - Irrigação Campina Grande Ltda, especialmente ao seu Diretor Técnico Antônio Fernando de Holanda, pelo apoio e doações dos materiais testados nesse trabalho, e ainda, pela sua amizade, confiança e incentivo.

Ao professor José Dantas Neto, como reconhecimento de sua orientação sincera e objetiva, e ainda, pela amizade e apoio recebidos na realização desse trabalho.

Ao professor Hamilton Medeiros de Azevedo pela sua colaboração como co-orientador, e por ser uma pessoa significativa em minha vida, dando-me incansavelmente o seu apoio e incentivo.

Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo, pela sua colaboração na revisão final deste trabalho e pela tradução do resumo para a língua inglesa.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela minha liberação das atividades administrativas, para realização deste trabalho.

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 convivência e companheirismo ao longo do curso.

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

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para concretização deste trabalho.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	01
OBJETIVOS	02
CAPÍTULO II	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
Generalidades	03
Emissores	04
Coeficiente de Variação de Fabricação	07
Relação Vazão-Pressão	10
Perfil de Distribuição de Água	14
Raio Efetivo	16
Uniformidade de Distribuição	16
CAPÍTULO III	
MATERIAL E MÉTODOS	21
Equipamento	21
Tubos e Conexões	23
Emissor	23
Medidores	25
Vazão	25
Pressão	25
Temperatura	28

Coeficiente de Variação de Fabricação	28
Equação Característica	29
Perfil de Distribuição	30
Uniformidade de aplicação	33
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
Coeficiente de Variação de Fabricação	37
Equação Característica	42
Perfil de Distribuição	49
Raio Efetivo	54
Uniformidade de Distribuição	54
CAPÍTULO V	
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	66

LISTA DE TABELAS

		Página
1	Coeficientes de uniformidade para diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas (LOPEZ, 1987)	20
2	Fator de relação conforme o número de anéis, necessários para o teste (ARMONI, 1986)	35
3	Vazões médias, obtidas com 20 microaspersores Dan Sprinkler 2001, submetidos à pressão de 200 kPa	38
4	Valores percentuais esperados e alcançados para cada intervalo do significado estatístico (ABREU et al., 1987)	39
5	Valores do coeficiente de variação de fabricação para diversos emissores, segundo diferentes pesquisadores	41
6	Coeficientes de variação de fabricação de vários emissores segundo PITTS et al., 1986.....	42
7	Valores médios de vazão dos microaspersores para diferentes pressões crescentes e decrescentes	43
8	Equações do microaspersor obtidas através do Software CURVEFIT	46
9	Valores de vazão (l/h) para sua respectiva pressão de cada equação estudada	46

10	Valores médio de precipitação (mm/h) em cada semi-eixo para uma pressão de 200 kPa	52
11	Coefficiente de uniformidade de Christiansen para as lâminas de água médias aplicadas na superfície e armazenada no perfil do solo em relação às posições (OLIVEIRA et al., 1993)	55
12	Valores médios por anel, das precipitações, índice de aplicação e soma dos quadrados	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Componentes de um sistema típico de irrigação localizada (HOWELL et al., 1981)	5
2 Distribuição normal de vazão dos emissores (ABREU et al., 1987)	9
3 Relação entre variação de vazão e mudanças de pressão para emissores com vários expoentes de descarga (KELLER & KARMELI, 1975)	12
4 Curva característica de um emissor auto-compensante ideal (BORDIGNON & TESTEZLAF, 1993)	15
5 Eletrobomba para fornecer água a área de ensaio	22
6 Painel de controle	22
7 Componentes do microaspersor Dan Sprinkler 2001	24
8 Carcaça com filtro de disco de 200 meshs	26
9 Cuba para interceptação do jato para leitura da vazão ...	26
10 Balança eletrônica de precisão	27
11 Manômetro de mercúrio	27

12	Disposição dos coletores em eixos ortogonais a partir do emissor	31
13	Anéis de distribuição de umidade do microaspersor	34
14	Curva característica e o fenômeno de histerese do microaspersor Dan Sprinkler 2001	44
15	Comparação dos valores de vazões para suas respectivas pressões, das equações potencial e da parábola com os determinados no ensaio	48
16	Curvas de valores de vazão de acordo com as equações logarítmica normal e potencial a partir dos dados do intervalo de auto-compensação	50
17	Semi-perfil médio de precipitação	52
18	Semi-perfil médio de precipitação operando a 200 kPa ...	53
19	Perfil tridimensional para o microaspersor operando a 200 kPa	53

RESUMO

O propósito deste trabalho foi a caracterização hidráulica do microaspersor Dan Sprinkler 2001. Neste sentido foram analisados os seguintes aspectos: coeficiente de variação de fabricação, equação característica da relação vazão-pressão, perfil e a superfície de distribuição pluviométrica. O coeficiente de variação de fabricação foi de 0,044, considerado pela classificação da ASAE, como excelente. No ajuste de dados medidos de vazão versus pressão foram testados 25 equações matemáticas. Para o ajuste de todos os dados medidos, ou seja, incluindo também os dados referentes à faixa de auto-limpeza do emissor, a equação da parábola apresentou o melhor ajuste com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 77,87 %, enquanto que para a equação potencial o ajuste foi de 72,38%. Verificou-se que o fenômeno de histerese praticamente não ocorreu e que o microaspersor é considerado auto-compensante no intervalo de pressão compreendido entre 136 a 300 kPa. Para esse intervalo de pressão o melhor ajuste foi da função logarítmica normal, com ajuste de 99,62%, enquanto que a equação potencial o ajuste foi de 43,73%. O perfil de distribuição pluviométrica foi considerado satisfatório com um raio efetivo de 2,25 m. O gráfico das isoietas e do perfil tridimensional apresentaram uma aplicação de água na superfície do solo satisfatória. No entanto, o coeficiente de uniformidades de Christiansen e de Hart, foram, respectivamente 61,1% e 57,7%. Obviamente, estes coeficientes foram relativamente baixos porque em microaspersão, não existe superposição, e assim sendo, conforme os gráficos anteriormente citados estes valores dos coeficientes significam uma uniformidade de distribuição satisfatória. Além do mais, o coeficiente de variação do índice pluviométrico proposto por Sadan & Shani foi de 42,5%, considerado um valor razoável para microaspersão.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the hydraulic characteristics of the micro-sprinkler Dan 2001. Therefore, were analyzed the following aspects: manufacturing variation coefficient; pressure and discharge relationship; water application profile; and the precipitation distribution surface. The manufacturing variation coefficient found was 0.044, which is considered excellent according to the ASAE classification. For the fitting of the measured pressure and discharge data, were tested 25 mathematical equations. In the fitting of all measured data, that is, including also the emitter self-cleaning zone data, the parabolic equation presented the best fit with a determination coefficient (R^2) equal to 77.87%, however, for the power equation the fitting was 72.38%. It was verified that the hysteresis phenomenon practically did not occur and that the micro-sprinkler is considered a self-compensating emitter on the pressure interval from 136 kPa to 300 kPa. For this pressure interval the best fitting was given by the normal logarithmic function with a 99.62% fitting, while the power function fitting was only 43.73%. The water application distribution profile was considered satisfactory, presenting an effective radius equal to 2.25 m. The isohyets and the three-dimensional distribution profile graphs exhibited satisfactory soil surface water application. However, the Christiansen and Hart uniformity coefficients were, respectively, 61.1% and 57.7%. Obviously, these coefficients were relatively low because in micro-sprinkle there is not overlapping, and so, according to the surface distribution graph, these coefficient values mean a satisfactory distribution uniformity. Besides, the precipitation variation coefficient proposed by Sadan and Shani was equal to 42.5%, which is considered a reasonable value for micro-sprinkle.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Em regiões semi-áridas, como o nordeste brasileiro, com baixos índices pluviométricos e conseqüente escassez de água, para se ter uma agricultura rentável e competitiva, faz-se necessário a prática da irrigação. Devido a essa escassez, o uso do método da irrigação localizada tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, principalmente devido a sua alta eficiência de aplicação da água. Conseqüentemente, grandes avanços têm sido alcançados no seu padrão tecnológico, com o desenvolvimento de pesquisas cujos resultados estão gradativamente sendo introduzidos no campo.

Segundo BERNARDO (1986) a irrigação localizada não deve ser considerada somente como uma nova técnica para suprir água às culturas, mas, como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade de solo, adubação, salinidade, doença e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção tanto por área cultivada como por água consumida.

A realização de testes de desempenho de equipamentos novos ou usados deve ser uma tarefa permanente e inadiável dos profissionais envolvidos com irrigação. A principal finalidade de ensaios de equipamentos utilizados em sistemas de irrigação consiste da determinação de suas características hidráulicas e análise de seu desempenho, de acordo com COLOMBO e SCALLOPI (1981). Como benefício desses ensaios, os projetistas e usuários do sistema de

irrigação adquirem informações para proceder uma seleção mais criteriosa de um equipamento.

Sendo os emissores um dos componentes de maior importância na irrigação localizada, tanto no dimensionamento como no manejo do sistema, é de fundamental importância que os projetistas disponham de suas características.

OBJETIVO GERAL

Este estudo teve por finalidade avaliar a performance do microaspersor rotativo auto-compensante Dan sprinklers modelo 2001, no sentido de determinar as suas características hidráulicas, visando fornecer recomendações para sua seleção adequada no dimensionamento dos sistemas de irrigação localizada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar o Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF);
- Determinar a equação característica do emissor;
- Observar o fenômeno da histerese na hidráulica dos emissores auto-compensantes;
- Determinar o raio efetivo médio molhado;
- Verificar o comportamento da superfície de distribuição pluviométrica; e,
- Determinar a uniformidade de distribuição de água.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Generalidades

A irrigação localizada consiste na aplicação d'água molhando apenas uma fração do sistema radicular das plantas. A área máxima molhada não deve ser superior a 55% da área sombreada pela planta, enquanto que a área mínima molhada é de 20% nas regiões úmidas e de 30% nas regiões de clima semi-árido (AZEVEDO, 1986).

Em decorrência da aplicação d'água localizada desses sistemas, as perdas por evaporação através da superfície do solo são reduzidas. De acordo com SCALOPPI (1986) a utilização desses sistemas pode ser vantajosa em diversas condições. Por exemplo, quando as plantas cultivadas encontram-se relativamente espaçadas, resulta-se numa alta eficiência de aplicação. Trata-se, portanto, de sistemas adequados às condições de recursos hídricos escassos e caros.

Por ser um sistema com pequena utilização de mão-de-obra, a partir do momento em que o usuário passa a confiar na operação continuamente satisfatória do equipamento, a aplicação da irrigação localizada também está sendo usada para irrigar uma quantidade extensa de culturas, mesmo onde há abundância de água. Segundo KELLER & KARMELI (1975) existe um elevado potencial para automação total ou parcial desses sistemas.

Segundo Rawlins & Raats (1975), citado por SCALOPPI (1986), 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 aquelas mais sensíveis às deficiências hídricas e às condições de solo e água salinos. No entanto, o autor adverte que as plantas se tornam mais sensíveis a eventuais interrupções das irrigações, devido a aplicação da água em apenas parte do sistema radicular.

Goldberg, Gornat e Rimon (1976) citados por OLITTA (1987) salientam que o espalhamento da água a partir de um emissor, com a repetição das irrigações, deverá manter-se constante, desde que o conteúdo inicial de umidade seja sempre o mesmo, para a mesma vazão do emissor. Um estado de equilíbrio deverá ser atingido após algumas irrigações, desde que a quantidade de água aplicada seja suficiente para compensar a diferença no conteúdo de umidade antes e no final da irrigação, mais a água consumida pela planta durante a irrigação.

Em geral os sistemas de irrigação localizada, são constituídos de: moto bomba, cabeçal de controle (filtros, injetor de fertilizantes, etc.), tubulações e acessórios, emissores e outros equipamentos de controle e monitoramento, como reguladores de vazão e de pressão (Fig. 1).

Emissores

Segundo OLITTA (1987) o emissor é definido como sendo uma estrutura mecânica utilizada para dissipar a pressão da água nas tubulações laterais, de modo que possibilite a distribuição da vazão de forma freqüente, uniforme e constante.

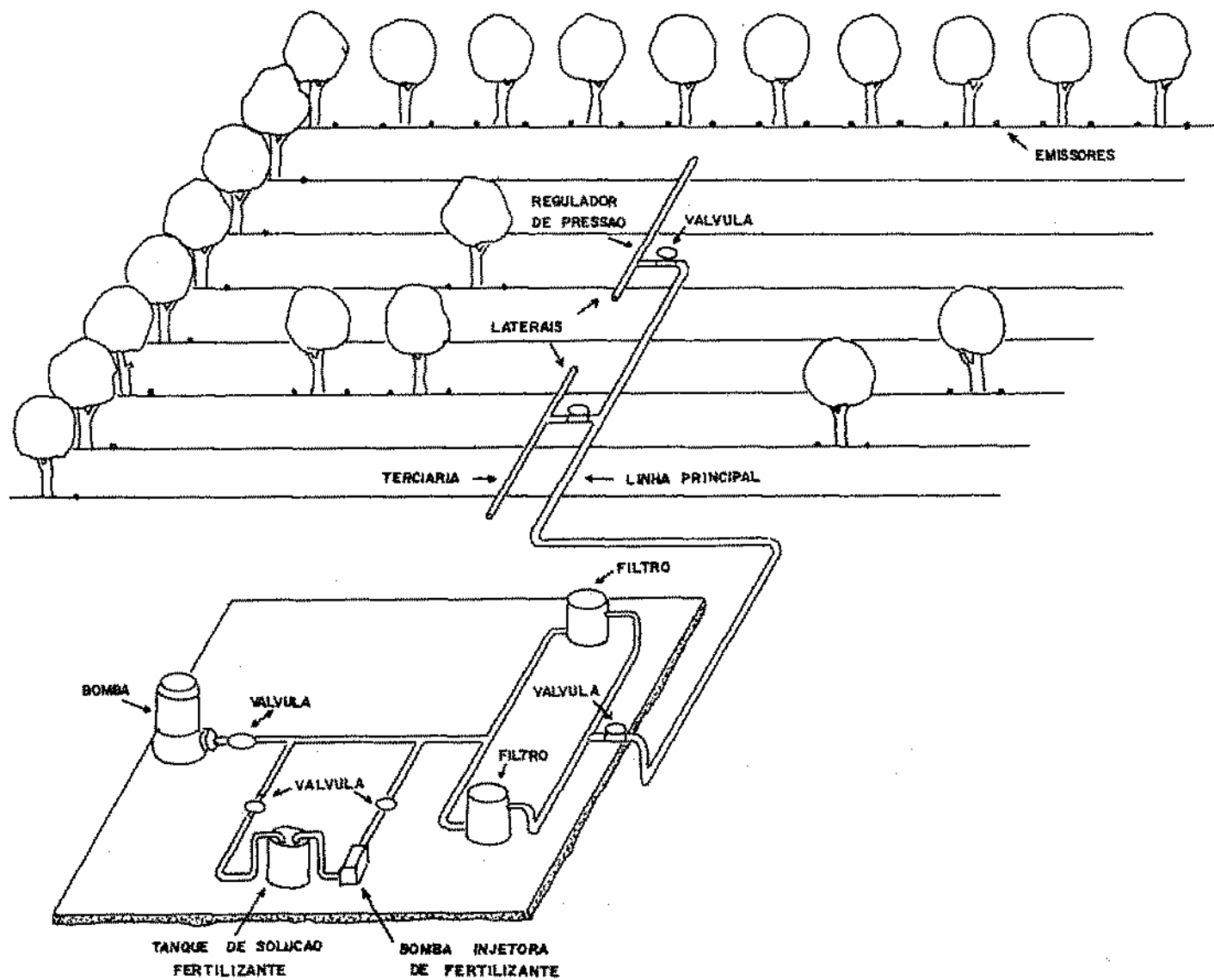


FIGURA 1 - Componentes de um sistema típico de Irrigação Localizada (HOWELL et al., 1981).

Os emissores denominados microaspersores, se constituem nos elementos de maior importância dos sistemas de irrigação por microaspersão. Segundo TELLES (1986) e ABREU et al. (1987), são dispositivos de formas geométricas especiais que lançam um pequeno jato de água no ar através de peças móveis, que dissipam energia e distribuem a água em forma circular e relativamente uniforme, tendo o ar como principal meio de propagação da água. Segundo OLITTA (1987), a irrigação com uso de microaspersores tem a grande vantagem de visualização fácil de funcionamento do sistema, além de cobrir uma área molhada maior que o gotejamento, indicada portanto, para solos arenosos e/ou plantas mais desenvolvidas. De acordo com ABREU et al. (1987), os microaspersores apesar de possuírem diâmetros de bocal relativamente pequenos, são poucos sensíveis a obstruções devido a alta velocidade da água.

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

Segundo VON BERNUTH & SOLOMON (1986) e ABREU et al. (1987), o desempenho hidráulico de um emissor, 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, que é uma medida de variação do fluxo causada pela variação no processo de fabricação; e, pela sensibilidade à temperatura, que é a dependência do fluxo do emissor à temperatura da água, mais especificamente à sua viscosidade cinemática.

Coeficiente de Variação de Fabricação

Para avaliação das diferenças individuais entre os emissores, o melhor parâmetro indicado é o coeficiente de variação de fabricação (CVF). Segundo SOLOMON (1979) é também uma informação que expressa bem o projeto do emissor, materiais usados na construção e cuidados aplicados na sua fabricação. No entanto, por mais sofisticados que sejam os processos de fabricação, é impossível obter-se emissores com o mesmo coeficiente K_d e expoente x da função potencial, segundo ABREU et al. (1987). Acrescentando ainda, que dentre os diversos tipos de emissores desenvolvidos os desmontáveis e/ou auto-compensantes apresentam altos coeficientes de variação de fabricação.

Segundo VON BERNUTH & SOLOMON (1986), essas variações são decorrentes dos vários processos envolvidos na fase de fabricação. Dentre as causas mais comuns estão: dificuldades devido a pressão e temperatura de moldagem que garantam confecção de dimensões críticas da passagem do fluxo; e, a fabricação do molde.

De acordo com KELLER & KARMELI (1975), SOLOMON (1979) e ABREU et al. (1987), a variação da vazão do emissor,

resultado da variação de fabricação, segue a distribuição normal, onde todas as vazões encontram-se essencialmente, dentro de três desvios padrões (Fig. 2). Sendo assim o CVF pode ser definido pela razão entre o desvio padrão da vazão do emissor e sua média (Eq. 1), cuja equação, foi utilizada nesta pesquisa.

$$CV = \frac{\delta}{q_m} \quad \text{Eq. 1}$$

sendo:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n-1}}, \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

δ - desvio padrão;

q_i - vazão de cada emissor;

q_m - vazão média dos emissores testados.

Para análise do CVF, a ABNT (1987), recomenda uma amostragem aleatória de 20 e 50 emissores, respectivamente no caso de microaspersores e gotejadores. Segundo a ASAE (1988), citado por KELLER & BLIESNER (1990), os critérios de classificação dos emissores, em função do CVF, são os seguintes:

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

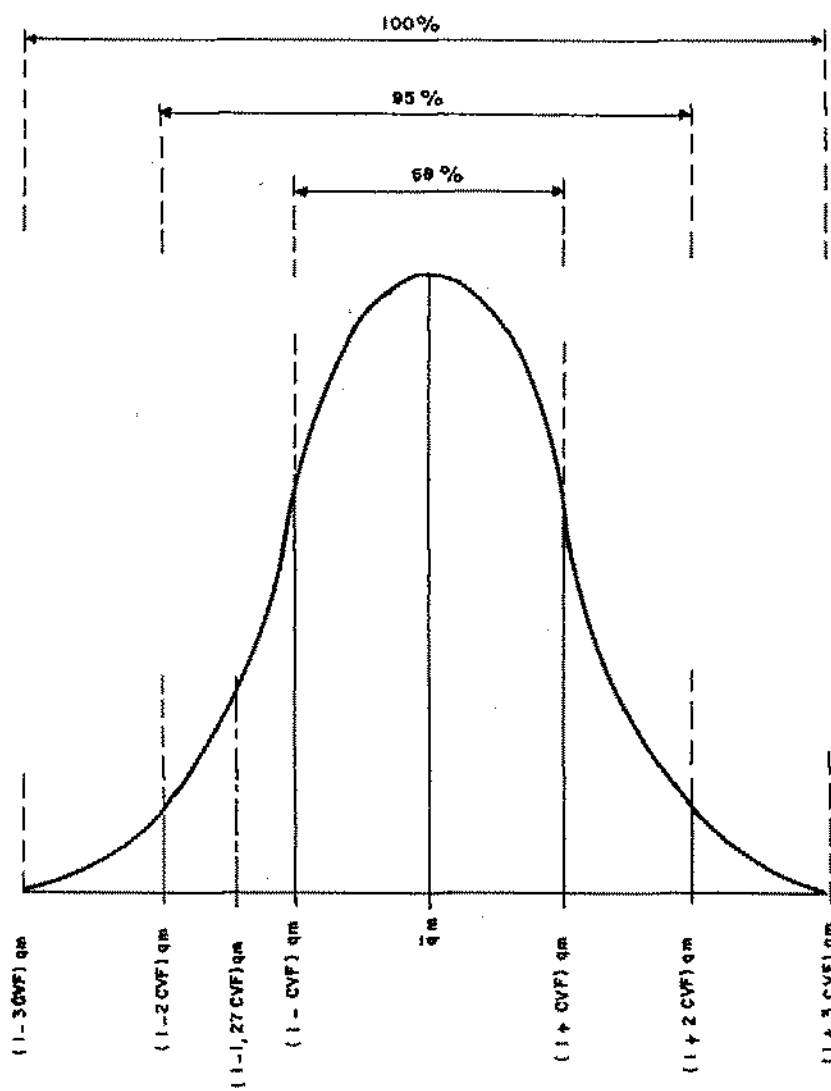


FIGURA 2 - Distribuição normal de vazão dos emissores (ABREU et al., 1987)

Segundo ABREU et al. (1987), as diferenças de vazão na subunidade de irrigação, que resultam do CVF, podem ser mais importantes que a variação de pressão devido a perda de carga nas tubulações, inclusive com valores de CVF baixo. Os autores acrescentam ainda, que em geral, pode-se dizer que o coeficiente de variação de fabricação é praticamente independente da pressão usada no teste, sempre que esta esteja compreendida na faixa de funcionamento do emissor.

Relação vazão-pressão

A relação vazão-pressão de um emissor, é outro parâmetro importante a ser determinado, pois influencia diretamente no projeto do sistema. Segundo KELLER & KARMELI (1975), VON BERNUTH & SOLOMON (1986) e ABREU et al. (1987), o fluxo de um emissor é caracterizado por uma função potencial, onde a vazão relaciona-se diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor, e é representada pela seguinte equação 3, utilizada nesta pesquisa:

$$q = K_d h^x \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

q - vazão do emissor, l/h;

K_d - constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

h - pressão hidráulica à entrada da água no emissor, kPa;

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

De acordo com Bralts et al. (1981), citado por NUEVO (1992) o termo K_d envolve fatores ligados a construção do emissor, tais

como coeficiente de descarga e área da seção transversal. Qualquer variação na vazão do emissor advinda do processo de fabricação será considerada no termo K_d . Os termos h e x , por outro lado, são variáveis hidráulicamente dependentes. Assim qualquer variação na vazão dos emissores ocasionadas pela variação hidráulica será considerada no termo h^x .

A figura 3 mostra a variação de vazão resultante de mudanças de pressão para emissores com diferentes expoentes de descarga. Os valores típicos de x encontram-se entre 0,1 e 1,0, dependendo da configuração do emissor. No entanto, valores maiores que 1,0 ou menores que zero podem ocorrer em emissores com seções compostas de peças elásticas ou móveis (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986).

Nos projetos hidráulicos dos sistemas de irrigação localizada é necessário se conhecer previamente o expoente de descarga do emissor, para se estimar as possíveis variações das vazões segundo as variações das pressões de serviço ao longo das linhas laterais (GOMES, 1994). Para se determinar K_d e x , faz-se necessário conhecer pelo menos dois valores de vazão operando a duas diferentes pressões. O expoente x pode ser determinado, analiticamente por:

$$x = \frac{\log(q_1 / q_2)}{\log(h_1 / h_2)} \quad \text{Eq. 4}$$

Este valor pode ser substituído na Eq. 3 para determinar o valor de K_d .

Verifica-se que para x igual a 1,0 a variação da vazão está na mesma proporção da variação da pressão, caracterizando, assim, o

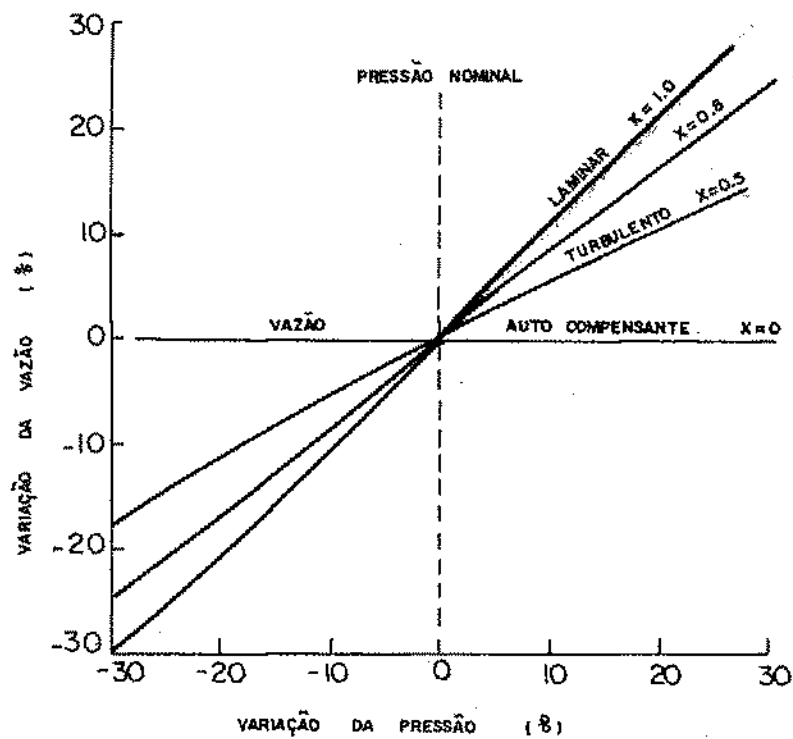


FIGURA 3 - Relação entre variação de vazão e mudanças de pressão para emissores com vários expoentes de descarga (KELLER & KARMELI, 1975)

regime laminar, indesejável por favorecer a decomposição no interior dos emissores de materiais em suspensão. Para x igual a zero a vazão é constante, ou seja, independente da variação de pressão, tornando o emissor auto-compensante, que é uma condição ideal, por permitir grandes variações de carga nas laterais provocadas pelo atrito e/ou pelo aclave ou declive do terreno (AZEVEDO, 1986 e ABREU et al., 1987). A auto-regulagem da vazão é conseguida, normalmente, através de uma peça móvel e flexível que se deforma sob o efeito da pressão. Essa auto-regulagem contudo, só é obtida a partir de uma determinada pressão que é indicada pelo fabricante. Existe também uma pressão máxima acima da qual o emissor perde suas características de auto-compensação.

Segundo NOGUEIRA & GORNAT (1990), outras características no funcionamento dos emissores auto-compensantes, são: fenômeno de histerese, flutuação dos valores de vazão antes de atingir o intervalo de compensação e compensação das pressões não totalmente linear. Características essas que não são observados em emissores não auto-compensantes. De acordo com ABREU et al. (1987) o fenômeno de histerese acontece em qualquer mecanismo que utilize elementos elásticos e que depende das características do material utilizado, sendo desejável o mais estreito possível.

Os emissores são caracterizados por uma pressão nominal e uma vazão nominal relativa a essa pressão. BORDIGNON & TESTEZLAF (1993) enfatizam ainda, que alguns tipos de emissores auto-compensantes apresentam características de auto-limpantes, isto é, ocorre um aumento da vazão para pressões próximas de zero, podendo atingir valores na ordem de 30 a 70% maiores que a vazão nominal.

A Figura 4 define a curva característica de um emissor auto-compensante ideal, segundo Farbman (1990) citado por BORDIGNON & TESTEZLAF (1993), onde enfatizam o comportamento desse emissor através de 3 regimes de funcionamento, definidos por intervalos de pressões distintos: (1) um intervalo de auto-limpeza para pressões próximas de zero a P_f ; (2) um intervalo de transição compreendido entre as pressões de P_f e P_r ; e, (3) um intervalo de auto-regulagem que vai de P_r a P_{max} .

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

Perfil de distribuição da água

Antes da elaboração dos projetos, é de grande importância o conhecimento da área molhada, raio de alcance efetivo, e uniformidade de precipitação dos emissores, porque esses parâmetros afetam as necessidades totais de água. Quando adequadamente dimensionado e operado, os sistemas de irrigação localizada revelam elevados níveis de uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação.

O que caracteriza e determina o funcionamento do microaspersor sobre uma superfície irrigada é o ensaio de distribuição pluviométrica. As curvas pluviométricas nos indicam a precipitação horária que recebe o terreno, enquanto que as curvas isoietas delimitam a área molhada, por determinadas precipitações.

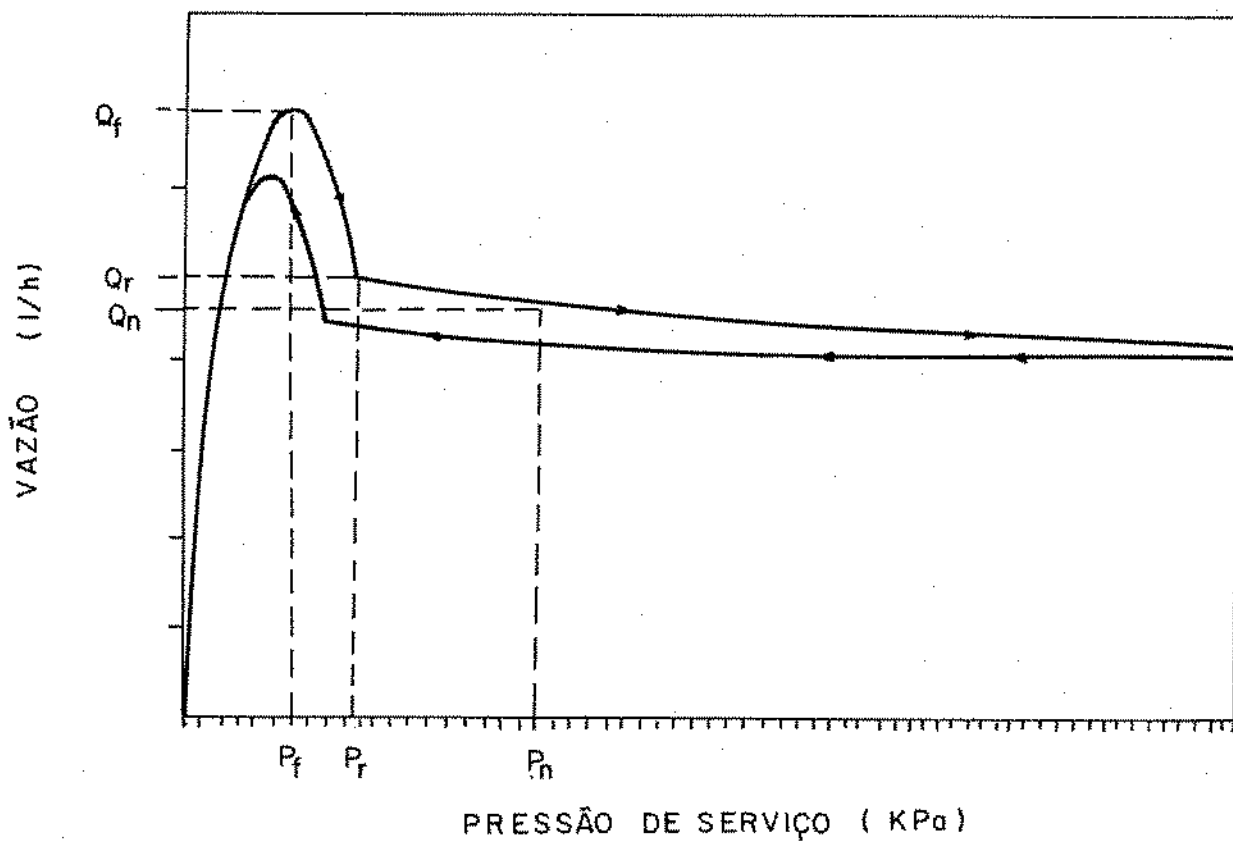


FIGURA 4 - Curva característica de um emissor auto-compensante ideal (BORDIGNON & TESTEZLAF, 1993).

Raio Efetivo

Sadan & Shani (1983), citados por ARMONI (1986), levantam a questão até que ponto pode uma área ser considerada irrigada ou simplesmente úmida, e propõem um índice de precipitação de 1,0 mm/h, como área úmida (irrigada ineficientemente). No entanto, concordam que um limite concreto de precipitação seja inadequado, e definem o raio efetivo como sendo a distância entre o emissor e o pluviômetro que contenha 10% da pluviometria média com o emissor operando a 200 kPa, cuja definição também é dada por ABREU et al. (1987).

Uniformidade de Distribuição

De acordo com SOLOMON (1979), além da variação no acabamento durante a fabricação dos emissores, a própria geometria do emissor é um fator de grande influência na uniformidade de distribuição de água.

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

Segundo Savaldi (1991), citado por MAIA (1994), os fatores que influenciam na uniformidade de distribuição de água em microaspersão, possuem a seguinte classificação:

1º - Posição vertical do microaspersor

Para se obter uma distribuição ótima em microaspersão, deve-se levar em conta que o microaspersor deve ser colocado sobre um

suporte vertical a uma altura de 20 cm do solo e a uma distância de 60 cm do tronco das árvores com o dorso da asa dirigido no sentido do tronco;

2° - O ângulo de irrigação

Quanto maior for o ângulo de aplicação de água, menor será a uniformidade de distribuição, por isso recomenda-se a aplicação o mais horizontal possível;

3° - O tronco e a folhagem da árvore

O tronco constitui em um obstáculo permanente. Em plantas jovens, o microaspersor pode ser colocado perto do tronco, depois de algum tempo muda-se para uma distância de 60 cm. Quanto a folhagem, deve-se cortar todos os ramos que estejam no caminho do jato;

4° - O elemento distribuidor (defletor)

Em geral, a uniformidade de distribuição do microaspersor com elemento giratório dinâmico tem uma forma trapezoidal, sendo melhor que a do difusor com elemento de distribuição estático, o qual tem forma triangular;

5° - Pressão de trabalho

Uma pressão maior que a pressão nominal de trabalho, pulveriza o jato, causando acumulação de água próximo ao emissor e déficit no perímetro molhado. Por outro lado, quando a pressão de trabalho é menor que a nominal, as gotas d'água são maiores alcançando maiores distâncias, causando acumulação de água maior no perímetro e déficit de água perto do microaspersor;

6° - Reguladores e amortecedores

Os reguladores tem a função de manter as pressões e vazões constantes e controlar assim o tamanho da gota de água na saída do emissor, como também o diâmetro molhado. O amortecedor mantém uma velocidade adequada no bocal evitando o efeito de nebulização. Em ambos os casos obtém-se uma melhora na uniformidade de distribuição de água;

7° - A vazão nominal

Em geral, microaspersores com vazões menores têm deficiência na distribuição de água.

A mais popular medida de uniformidade de irrigação é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (Equação 5), onde o desvio médio é adotado como a medida de dispersão, proposto pelo autor em 1942, e amplamente utilizada em irrigação por aspersão.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_m|}{n * y_m} \right) \quad \text{Eq. 5}$$

onde:

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen;

y_i - lâmina de água em cada pluviômetro;

y_m - lâmina média de água; e,

n - número de pluviômetros observados.

Em irrigação com uso de microaspersores, onde a lâmina de água aplicada tem tendências de distribuição normal, um coeficiente de uniformidade que incorpore o desvio padrão, poderá ter resultado mais satisfatório. Hart (1961), citado por FRIZZONE (1992), propôs um coeficiente de uniformidade incorporando o desvio

padrão. Esse coeficiente, expresso pela equação (6) foi desenvolvido com patrocínio da Associação dos Plantadores de Cana do Havai (HSPA):

$$CUH = 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} * \left(\frac{S}{Y_m} \right) \quad \text{Eq. 6}$$

onde:

CUH - Coeficiente de uniformidade de Hart;

S - desvio padrão; e,

Y_m - lâmina média de água aplicada.

Valores de coeficientes de uniformidades de aplicação da água na microaspersão têm sido discutidos por diversos pesquisadores, haja visto o funcionamento do emissor não ter sobreposição, como é o caso dos sistema de irrigação por aspersão, cujos valores de coeficientes são previamente estipulados, para cada condição de funcionamento. No entanto, na tabela 1 são apresentados valores de coeficiente de uniformidade, para diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas (LOPEZ, 1987).

Dois membros do Serviço de Extensão da Agricultura de Israel, Sadan & Shani, citados por ARMONI (1986), desenvolveram um novo método para avaliar a performance de distribuição de emissores funcionando individualmente, ou seja, sem sobreposição. Esse método consiste em determinar um Coeficiente de Variação (CV), que em termos numéricos expressa a variação de distribuição de uniformidade de precipitação do referido emissor.

TABELA 1: Coeficientes de uniformidade para diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas (LOPEZ, 1987).

Tipo de emissor	Topografia do Terreno	Coeficiente de Uniformidade *
Emissores com espaçamento superior a 4,0m em cultivo permanente	declividade uniforme $\leq 2\%$	90 a 95%
	declividade $\geq 2\%$ ou ondulado	85 a 90%
Emissores com espaçamento inferior a 2,5m em cultivo permanente ou semi-permanente	uniforme terreno em declividade ou ondulado	85 a 90%
		80 a 90%
Mangueiras de gotejamento em cultivo anual e horticultura	uniforme terreno em declividade ou ondulado	80 a 90%
		70 a 85%

* Em zonas úmidas, todos os valores são reduzidos em 10%.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na área experimental (ambiente fechado) do Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LEID/DEAg/CCT/UFPB), em Campina Grande.

MATERIAIS

Equipamento

O equipamento principal que possibilitou a realização deste trabalho experimental foi um conjunto eletrobomba, composto por: um motor elétrico trifásico marca WEG, de 380 Volts, com potência efetiva de 5,0 CV, girando em média a uma rotação a 3.500 rpm, com acoplamento monobloco a uma bomba centrífuga marca Scheneider, modelo 02.43 (Fig. 5). O acionamento do motor era feito por uma chave elétrica automática de 5,0 CV. A água era fornecida à bomba, através de um reservatório subterrâneo, com volume aproximado de 2.000 litros.

A linha de testes foi acoplada a uma tubulação, derivada do painel de controle (Fig. 6), de modo que possibilitava o retorno da água ao reservatório, após sua passagem pela seção de testes.

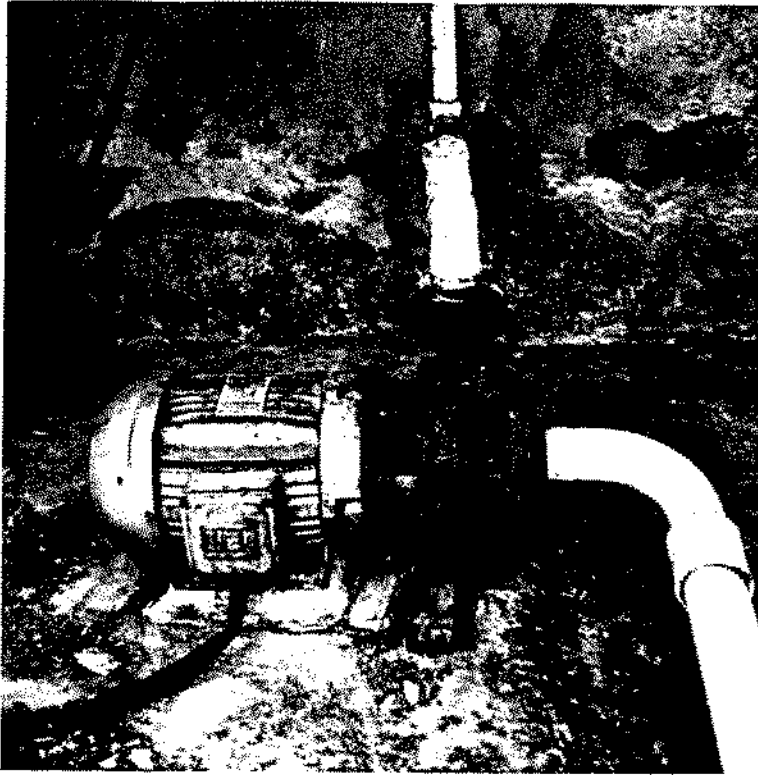


FIGURA 5 - Eletrobomba para fornecer água a área de ensaio.

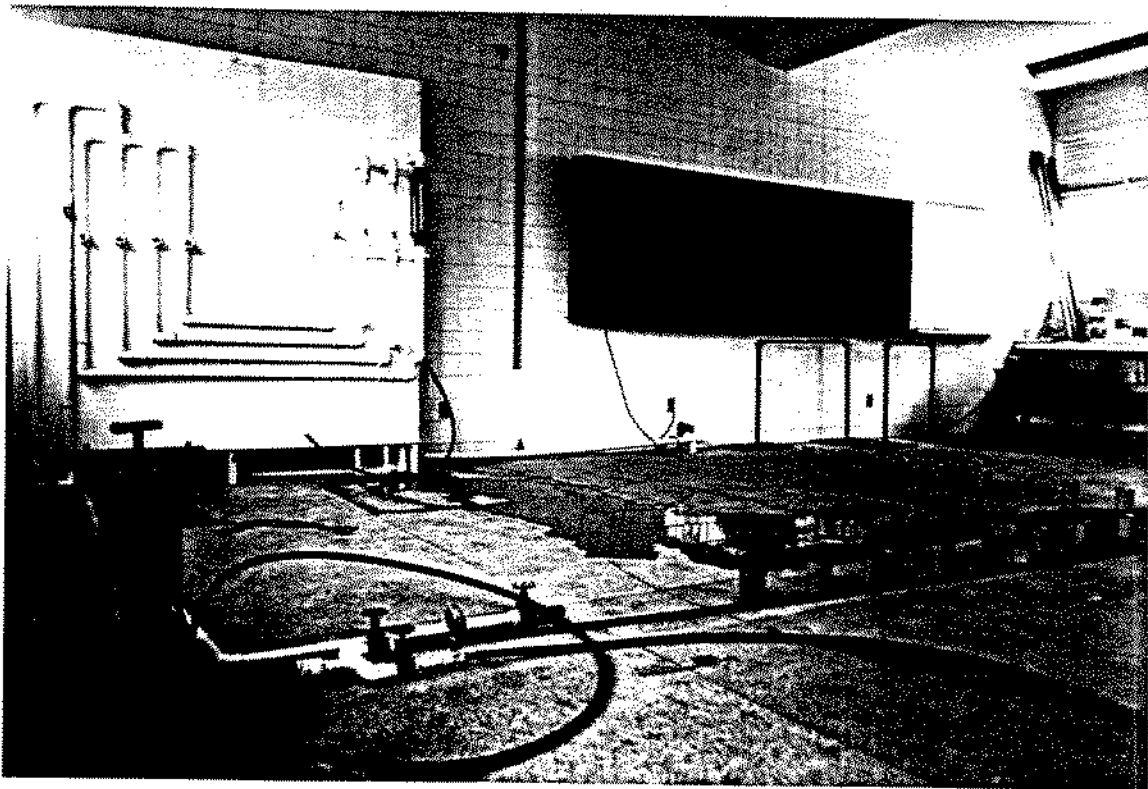


FIGURA 6 - Painel de controle

Tubos e Conexões

A tubulação que conduzia a água da bomba até o painel de controle foi de PVC rígido com diâmetro externo de 48 mm. Após o painel de controle estava instalado, em uma carcaça de ferro (Fig. 8) um filtro de discos de 200 meshes, capaz de filtrar partículas inferiores a 0,08 mm.

A partir do filtro a tubulação era reduzida para 16 mm (linha de teste) e precedida de um registro de gaveta.

Emissor

O modelo de emissor estudado foi o microaspersor auto-compensante Dan Sprinkler 2001, para observar suas características hidráulicas e o seu funcionamento no sentido de solucionar possíveis problemas no dimensionamento de projetos.

O microaspersor Dan Sprinkler 2001 é constituído das seguintes partes (Fig. 7):

- a) ponte de sustentação: peça que prende o pino giratório ao bocal;
- b) pino giratório: é uma peça giratória responsável pela distribuição da água em círculos;
- c) bocal: controla o fluxo da água;
- d) diafragma: peça elástica responsável pela auto-regulagem de fluxo;

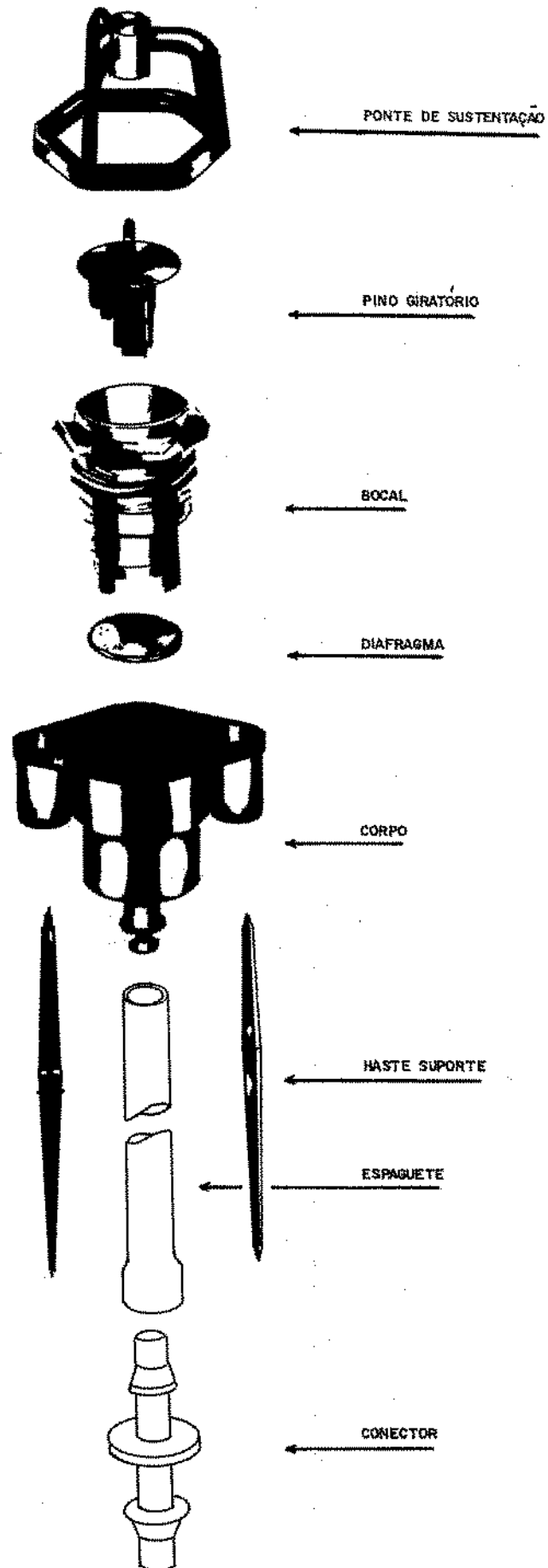


FIGURA 7 - Componentes do microaspersor Dan Sprinkler 2001.

- e) corpo: peça suporte que dá sustentação ao bocal;
- f) tubo de conexão: também chamado de espaguete, é um microtubo de 50 cm de comprimento que liga o microaspersor à linha lateral;
- g) conector: responsável pela conexão do espaguete à linha lateral;
- h) haste suporte: fixa o microaspersor ao solo.

Medidores

Vazão

As vazões nos testes foram medidas através de leitura direta, sendo colocado sobre o microaspersor, uma cuba (Fig. 9) que interceptava o jato d'água, o qual era coletado por um recipiente, com capacidade de 580 ml, para posterior pesagem, a fim de encontrar o volume a intervalos de tempo de 1 minuto.

A medida do tempo era feito por meio de um cronômetro com precisão de 0,1 segundo e a pesagem feita através de uma balança eletrônica, com precisão de 0,1 grama (Fig. 10).

Pressão

Todas as medidas de pressão foram realizadas através de um manômetro de mercúrio (Fig. 11), com escala de 0,66 kPa (inferior aos 2 kPa exigidos pela ABNT, 1986), conectado a linha de teste (Fig. 9), distante 30 cm da conexão do emissor. Esse manômetro é um tubo de plástico transparente com diâmetro de 5 mm.

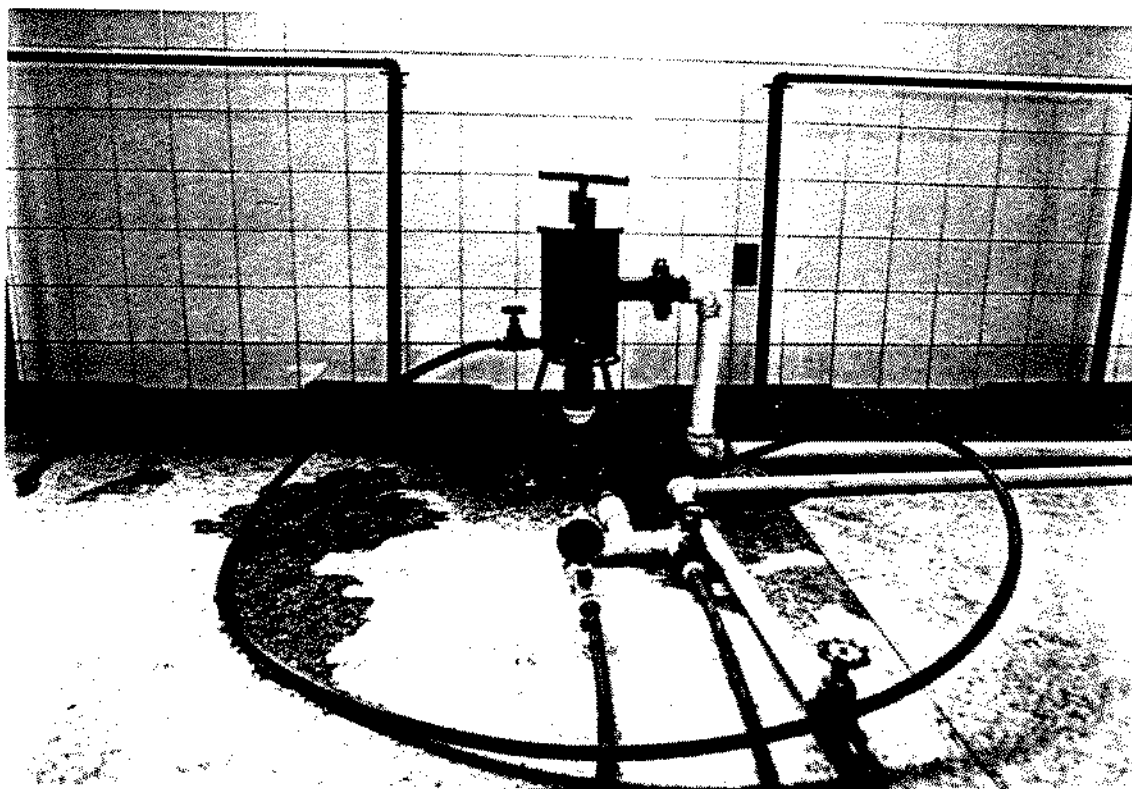


FIGURA 8 - Carcaça com filtro de disco de 200 mesh.

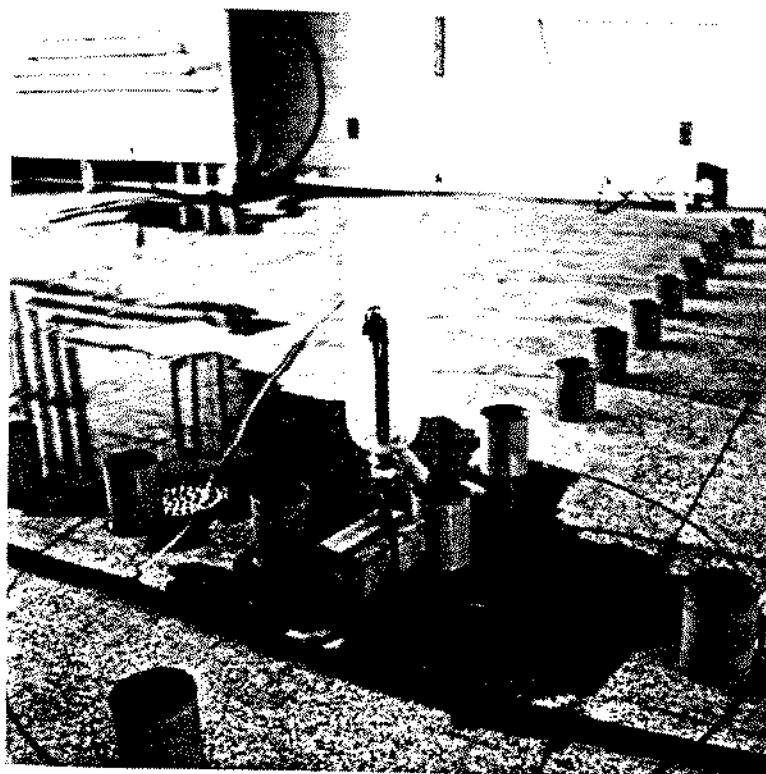


FIGURA 9 - Cuba para interceptação do jato para leitura da vazão.

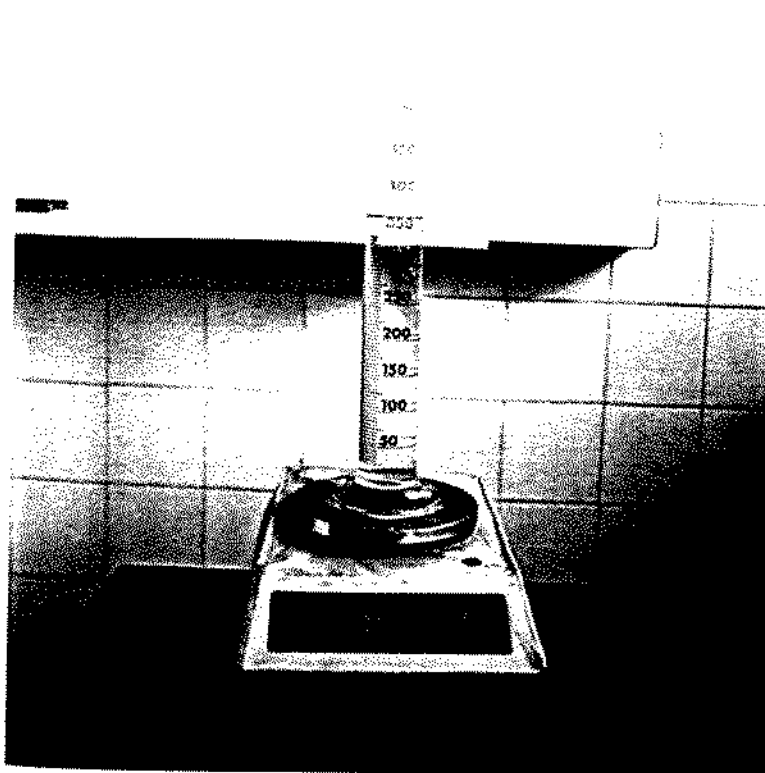


FIGURA 10 - Balança eletrônica de precisão.

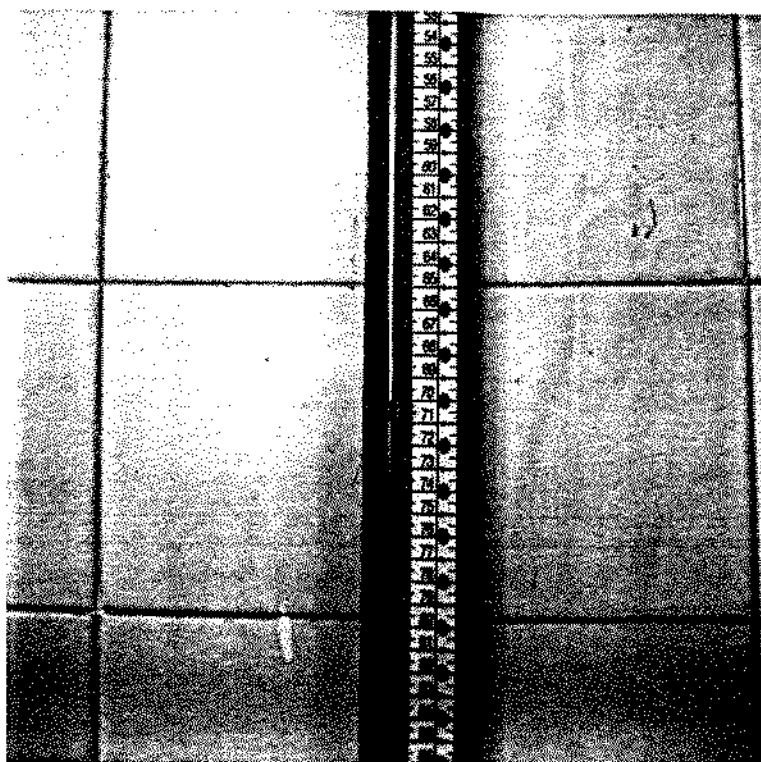


FIGURA 11 - Manômetro de mercúrio.

Temperatura

Para as medidas de temperatura foi utilizado um termômetro simples com uma escala de 0 a 200°.

MÉTODOS

Coefficiente de Variação de Fabricação

Com o objetivo de avaliar as variações que ocorrem na vazão entre os microaspersores em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, foram selecionadas ao acaso 20 microaspersores novos de acordo com a ABNT (1986).

Para determinação da vazão, cada microaspersor foi submetido a uma pressão nominal de 200 kPa, sendo colocado sobre o emissor uma cuba capaz de interceptar o jato d'água, que era coletado através de um recipiente com capacidade de 580 ml, para posterior pesagem. Os volumes coletados foram posteriormente convertidos em vazões (l/h), cujo resultado é a média de 3 repetições. O tempo de duração para cada coleta foi de 1 minuto. O tempo foi suficiente para coletar volume superior a 200 ml, valor mínimo recomendado pela ABNT (1986).

A partir dos dados de vazão, calculou-se o desvio padrão (Eq. 2) e a vazão média. Em seguida determinou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação, dividindo-se o desvio padrão pela média da vazão (Eq. 1).

Após determinação do CVF, selecionou-se 10 microaspersores, que obtiveram vazões aproximadamente à média, para em seguida determinar as demais características do microaspersor.

Equação Característica

Tendo por finalidade determinar uma equação que relacione a vazão com a pressão na entrada do microaspersor, foi feito ensaios com os 10 microaspersores selecionadas na determinação do Coeficiente de Variação de Fabricação.

Antes de iniciar o ensaio, os microaspersores foram acondicionados, sendo submetidos a pressão nominal de 200 kPa, até estabilização. Em seguida, foram submetidos, três vezes consecutivas, à pressão máxima (P_{max}) e, de forma alternada, três vezes à pressão mínima (P_{min}). Essas pressões extremas foram mantidas, em cada operação, durante um tempo mínimo de 3 minutos. Essas recomendações são do INSTITUTO ESPANHOL DE NORMALIZACION (1986), citado por NOGUEIRA & GORNAT (1990).

Após acomodação, cada microaspersor foi submetido a diferentes pressões, medindo-se as respectivas vazões com 3 repetições, pelo método direto, tal como descritos anteriormente para determinação do CVF. As pressões de serviços utilizadas para determinação da relação vazão-pressão foram: 100; 150; 200; 250; e, 300 kPa.

Com o objetivo de verificar o fenômeno de histerese na relação vazão-pressão, os microaspersores foram submetidos a pressões crescentes e posteriormente decrescentes.

A partir dos resultados de vazões obtidos nos testes, sendo seus valores a média das 10 unidades ensaiadas, com suas respectivas pressões, foi determinada a curva característica vazão-pressão. Com esses mesmos dados também foram determinadas as equações que relacionam vazão e pressão, apenas para as pressões crescentes, através do Software CURVEFIT, que faz o ajuste dos dados para 25 equações, fornecendo para cada uma delas o valor do coeficiente de determinação (R^2).

Com a utilização desse Software foi feito uma seleção de cinco equações, levando-se em consideração seus respectivos coeficientes de determinação e grau de complexidade matemática, e um estudo comparativo entre essas equações e a equação potencial, tradicionalmente utilizada como a equação característica de um emissor (Eq. 3).

Perfil de Distribuição

Sob ausência de vento, este ensaio foi realizado com a finalidade de determinar o raio efetivo; a distribuição pluviométrica; o mapa das linhas de mesma pluviometria (isoietas); e a uniformidade de distribuição.

Para avaliação desses parâmetros, foi instalado duas linhas de pluviômetros dispostos ortogonalmente, com o emissor instalado na interseção destas linhas. A distribuição dos pluviômetros pode ser vista através da Figura 12, onde 4 semi-eixos são identificados pelas letras N, S, L, W.

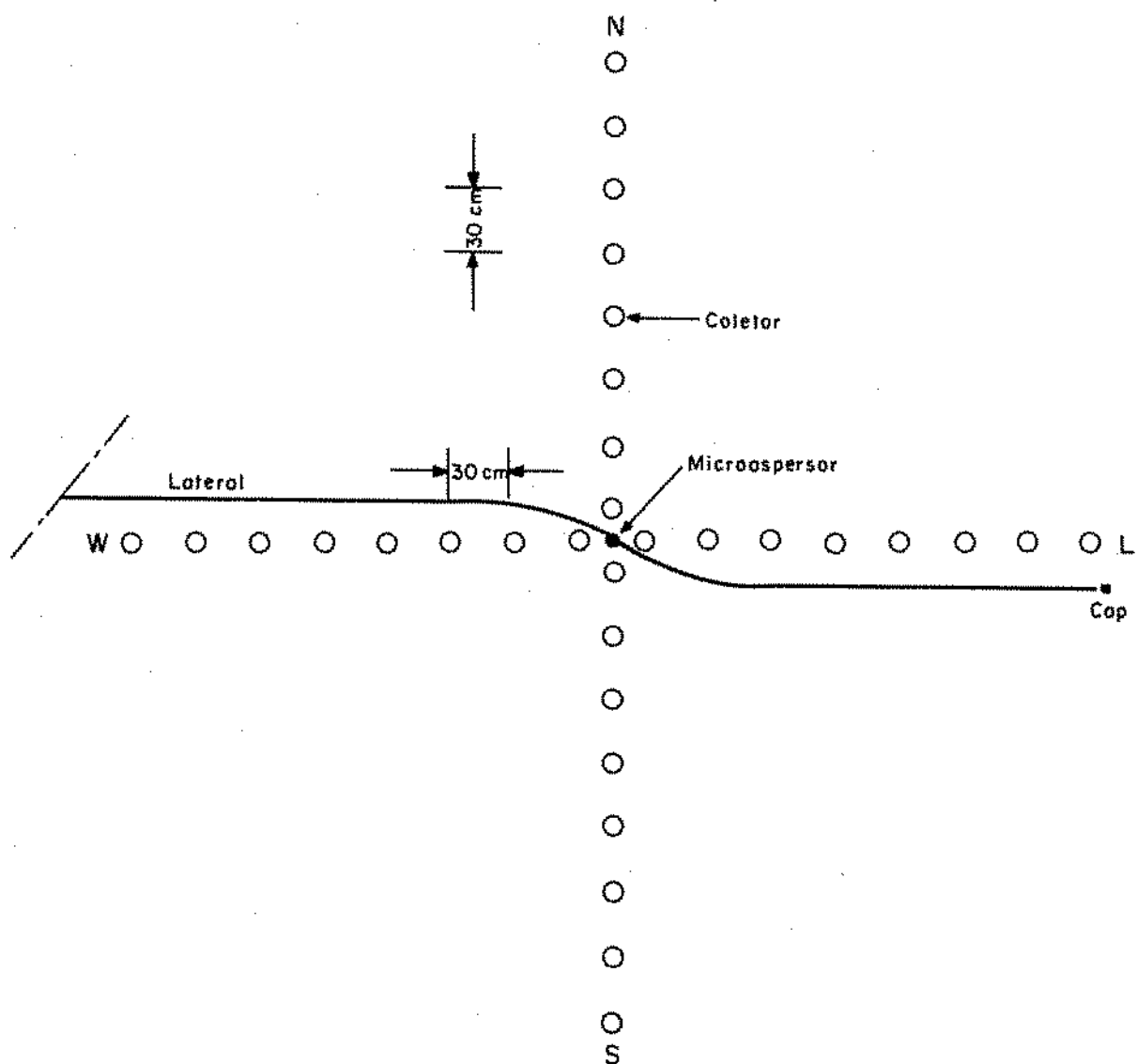


FIGURA 12 - Disposição dos coletores em eixos ortogonais a partir do emissor.

Os pluviômetros utilizados foram recipientes cilíndricos metálicos medindo 8,4 cm de diâmetro e 10,5 cm de altura. Estes coletores foram espaçados equidistantes a cada 30 cm, cujo espaçamento está de acordo com as normas da ABNT (Projeto 12:02.08-021; Abril 1986). Onde segundo estas normas, os coletores devem estar espaçados de no máximo 20% do raio de alcance do emissor.

Após 1 hora (tempo recomendado pela ABNT, 1986 e ARMONI, 1986), de funcionamento com o emissor submetido a uma pressão de 200 kPa, foram feitas as leituras dos volumes de água contida em cada coletor, através da pesagem em balança eletrônica com precisão de 0,1 g, e, em seguida os volumes foram convertidos em altura de precipitação, cujos valores é a média dos 10 emissores ensaiados. O cálculo da precipitação foi efetuado através da seguinte expressão (Eq. 7):

$$P = \frac{10 * V}{A * t} \quad \text{Eq. 7}$$

onde:

P - precipitação horária (mm/h);

V - volume coletado no pluviômetro (cm³);

A - área do pluviômetro (cm²); e,

t - tempo de coleta (horas).

No início e final de cada teste foi realizada a medição de vazão do emissor, com a finalidade de observar a variação de vazão ao longo do tempo de funcionamento.

Após determinação das precipitações médias obtidas nos testes, foi determinado o perfil pluviométrico do microaspersor

estudado, com seu respectivo raio efetivo. Com os mesmos dados foram confeccionados o mapa de isoietas e o perfil tridimensional de distribuição de água, através do Software SURFER.

Uniformidade de Aplicação

Com os resultados de precipitação horária, foi também determinado os Coeficientes de Uniformidades de Christiansen (CUC) e de Hart (CUH), através das equações 5 e 6, respectivamente.

Além do CUC e CUH, determinou-se também o Coeficiente de Variação proposto por Sadan & Shani, citado por ARMONI (1986), cuja recomendação de distribuição dos pluviômetros é como mostrada na figura 13. A coleta dos dados foi feita simultaneamente com o ensaio para os demais parâmetros de distribuição de água do emissor.

Na execução do teste, para determinar o coeficiente de variação pela metodologia de Sadan & Shani, foram colocados recipientes dispostos em duas linhas ortogonais, tais quais para determinação de CUC e CUH. A área foi dividida em anéis, em intervalos de 50 cm. O diâmetro de cada anel foi 1,0 metro maior que o anterior. O primeiro recipiente foi colocado 0,25 m do emissor, enquanto os remanescentes foram colocados a cada 0,50 m. O número total de anéis indicam o diâmetro externo do anel.

A relação entre cada anel e a área total molhada aumenta a uma razão constante. A área do anel 1 é igual a $\pi/4$, a área do anel 2 é $3*\pi/4$, a do anel 3 é $5*\pi/4$, a do anel 4 é $7*\pi/4$. Desse modo

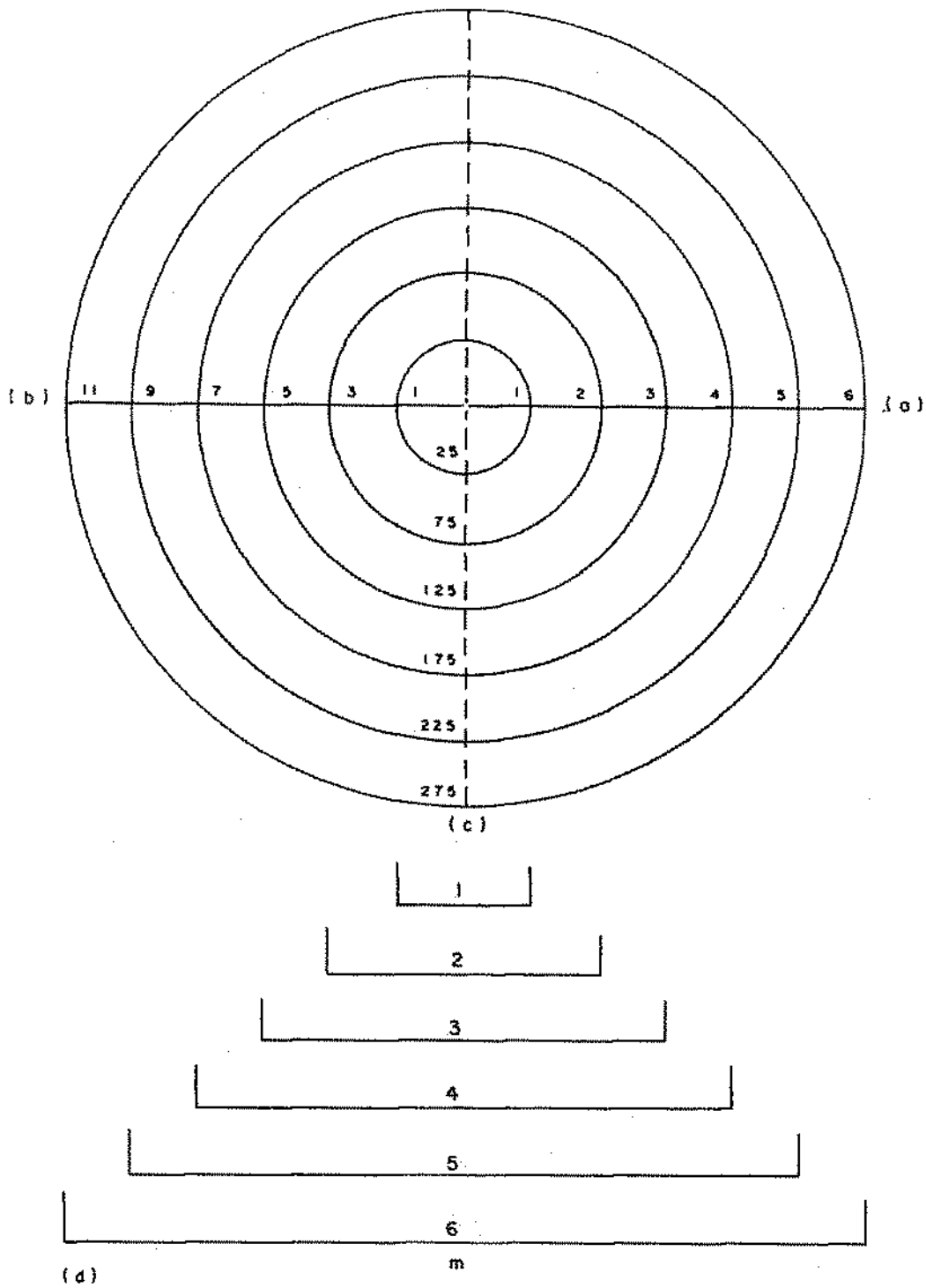


FIGURA 13 - Anéis de distribuição do microaspersor.

- a) Anel;
- b) Relação da área entre anéis;
- c) Distância do emissor do coletor ao emissor (cm);
- d) Diâmetro do anel (m).

observamos que o raio número 1 = 1 parte; o n° 2 = 3 partes, o n° 3 = 5 partes, o n° 4 = 7 partes e assim sucessivamente.

A relação para um dado número de anéis é obtida pelo quociente entre cada parte considerada e o quadrado do número de anéis. A tabela 2, apresenta o fator de relação para cada anel, de acordo com a distribuição da área irrigada do emissor, cujo diâmetro molhado determina o número exato de anéis.

TABELA 2: Fator de relação conforme o número de anéis, necessários para o teste (ARMONI, 1986).

Anel N°	4 Anéis		5 Anéis		6 Anéis	
	Fator		Fator		Fator	
1	1/16	0,0625	1/25	0,04	1/36	0,0278
2	3/16	0,1785	3/25	0,12	3/36	0,0833
3	5/16	0,3125	5/25	0,20	5/36	0,1389
4	7/16	0,4375	7/25	0,28	7/36	0,1944
5			9/25	0,36	9/36	0,2500
6					11/36	0,3056
	16/16	1,0	25/25	1,0	36/36	1,0

Para determinação do coeficiente de variação a sequência de cálculo é a seguinte:

- calcula-se a média ponderada do índice de aplicação (ia) de água do anel, através da multiplicação da precipitação horária pela parte proporcional do anel (fator de relação);

ia = Precipitação x fator de relação.

- determina-se a soma do quadrado (sq) do índice de irrigação, através do produto do índice de precipitação pela média ponderada;

$$sq = \text{Precipitação} \times ia$$

- calcula-se o desvio padrão (s) que é a raiz quadrada da diferença entre o total da soma dos quadrados e o quadrado total da média ponderada: $s = \sqrt{\sum sq - (\sum ia)^2}$; e,

- finalmente calcula-se o coeficiente de variação (CV), que é a relação entre o desvio padrão e o total da média ponderada:

$$cv = \frac{s}{\sum ia} * 100.$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Coefficiente de Variação de Fabricação

Os resultados dos ensaios realizados com os 20 microaspersores para o cálculo do coeficiente de variação de fabricação, são apresentados na Tabela A-1 do Apêndice. A tabela 3, apresenta, os valores de vazão média de 3 repetições, obtidos a uma pressão de 200 kPa.

A temperatura da água nos testes ficou, em torno de 25° C, cuja densidade é de 0,997 g/cm³, no entanto, para transformação dos valores coletados em peso, para volume considerou-se a densidade igual a 1,0 g/cm³, haja visto a precisão dos dados coletados ter sido de 0,1 cm³, o que equivale a uma precisão 50 vezes superior a recomendada pelas normas da ABNT (1.986) que é de 5 cm³.

Após transformação dos volumes em vazão, de cada microaspersor ensaiado, obteve-se uma vazão média, para uma pressão de 200 kPa, de 21,7 l/h, com um desvio padrão de 0,95 l/h e um coeficiente de variação de fabricação (CVF) de 0,044. O valor médio da vazão foi 8,5% superior ao valor da vazão nominal (20 l/h), fornecida pelo fabricante. Observa-se também que os valores máximo e mínimo foram respectivamente superiores, em 16,8 e 0,4% à vazão nominal.

Tendo por finalidade o teste da normalidade, os dados foram submetidos ao Teste de DAVID ao nível de 10% de probabilidade, através da utilização do Software ASSISTAT, tendo acusado uma

TABELA 3: Vazões médias obtidas com 20 microaspersores Dan Sprinkler 2001, submetidos à pressão de 200 kPa.

Emissor	Vazões (l/h)	Número de ordem do emissor
1	21,38	8 *
2	21,38	9 *
3	21,70	11 *
4	20,08	1
5	22,10	14 *
6	21,50	10 *
7	22,28	16
8	23,18	18
9	21,78	13 *
10	21,76	12 *
11	23,32	18
12	22,80	17
13	23,36	19
14	21,22	6 *
15	20,76	3
16	21,00	5
17	22,16	15 *
18	20,92	4
19	21,24	7 *
20	20,14	2
q_m (l/h)	21,70	
s (l/h)	0,95	
CVF (%)	4,4	

* Microaspersores selecionados, para análise da equação característica e do perfil de distribuição da água.

distribuição normal. A Tabela 4, mostra o significado estatístico da normalidade, comparando os valores esperados aos obtidos nos testes. De acordo com os resultados, conclui-se que existe 35% de probabilidade de ocorrer um valor cujo desvio em relação à média seja maior que o desvio padrão da amostra ensaiada.

Outro significado estatístico citado pelos autores é de que a média dos 25% dos menores valores obtidos no ensaio, deve ser aproximadamente igual a $(1 - 1,27 \text{ CVF})q_m$. Neste estudo verificou-se respectivamente os valores de 20,58 e 20,60 l/h, não havendo diferença no resultado.

TABELA 4 : Valores percentuais, esperados e alcançados para cada intervalo do significado estatístico (ABREU et al., 1987).

Intervalo Estatístico	Percentuais	
	Esperados	Alcançados
$(1 \pm 3 \text{ CVF})q_m$	100	100
$(1 \pm 2 \text{ CVF})q_m$	95	100
$(1 \pm \text{ CVF})q_m$	68	65

De acordo com a ASAE, citado por KELLER & BLIESNER (1990) o microaspersor estudado é classificado sob o ponto de vista do processo de fabricação como excelente, apesar da complexidade de sua configuração, principalmente pelo mecanismo de auto-regulagem de vazão com peças móveis e elásticas.

Para emissores novos, dois fatores principais podem ser atribuídos às diferenças de vazões, tais quais, variações devido ao processo de fabricação e as variações de temperatura que acarretam

mudanças de viscosidade da água. No entanto, estudos têm mostrado que o efeito da variação de temperatura da água em emissores com regime de fluxo turbulento ou transitório não é significativo. PARCHOMCHUCK (1976), estudando emissores tipo orifício, constatou um aumento de vazão de apenas 1%, para uma variação de temperatura de 31°C (de 7 para 38°C). FARIA et al. (1982), verificaram também que a variação de temperatura da água não influenciou sensivelmente a vazão do microgotejador autocompensante IRTEC, visto que, para uma mudança de temperatura de 25°C (de 20 para 45°C) a vazão aumentou apenas 1,24%. Portanto, como neste estudo a variação de temperatura foi de apenas 2°C, pode-se atribuir que as variações de vazão entre emissores foram devido apenas ao processo de fabricação.

A tabela 5, apresenta valores de coeficientes de variação de fabricação para diversos emissores determinados por diferentes pesquisadores. Analisando os resultados, observa-se que os fabricantes têm oferecido bons tratamentos no que diz respeito ao processo de fabricação, avançando no progresso tecnológico do manufaturamento dos emissores, haja visto que entre os quinze emissores apresentados nesta tabela, onze (73,3 %) apresentam coeficiente de variação de fabricação considerado excelente, segundo os critérios da ASAE citados por KELLER & BLIESNER (1990). Os quatro emissores cujo CVF, não se enquadra como excelente são de fabricação nacional.

Esse avanço tecnológico é ainda observado quando compara-se os resultados apresentados na tabela 5, com a relação de emissores da tabela 6, segundo PITTS et al. (1986), apresentando quatorze emissores com seus respectivos coeficientes de variação de fabricação, onde apenas quatro (28,6 %), apresentam valores de CVF, considerados excelente. Além do mais os cinco emissores

auto-compensantes apresentados nesta relação, nenhum apresentou CVF considerado excelente.

TABELA 5: Valores do coeficiente de variação de fabricação para diversos emissores, segundo diferentes pesquisadores.

Pesquisador	Emissor	CVF	Classificação
ALVES & LIMA(1994)	Fan-jet (orange) *	0,0182	Excelente
	Fan-jet (black) *	0,0366	Excelente
	Olson (green) *	0,0161	Excelente
	Asbrasil (bailarina) *	0,0611	Médio
	Dantas (MA-120) *	0,0776	Marginal
BORDIGNON & TESTEZLAF (1993)	Gotejador Katif Auto-compesante 2,3 l/h	0,0362	Excelente
FARIA et al. (1982)	Microgotejador Irtec	0,0976	Marginal
LIMA (1991)	Jatissimo *	0,0300	Excelente
LUCENA (1993)	Gotejador Katif Auto-compensante 3,75 l/h	0,0480	Excelente
	OLIVEIRA (1978)	Gotejador Dangotas	0,0507
		Irriga	0,0813
SAMPAIO et al. (1995)	Naan 7110 roja *	0,0130	Excelente
	Naan 7110 azul *	0,0143	Excelente
SCHMIDT et al. (1993)	Tubogotejador qucengil	0,0311	Excelente
NOGUEIRA & GORNAT (1990)	Gotejador auto-compensante **	0,0411	Excelente

* Microaspersores

** Os autores não citaram o nome do emissor.

Observa-se também na tabela 5, que os emissores da categoria de microaspersão não são auto-compensantes, favorecendo assim os

altos CVF, por serem de fácil manufaturamento em relação ao microaspersor Dan Sprinkler 2001.

TABELA 6: Coeficientes de variação de fabricação de vários emissores segundo PITTS et al. (1986).

Fabricante	Vazão (l/h)	Tipo	CVF	Classificação
Rainbird	4	Auto-compensante	0,076	Marginal
Defco	4	Auto-compensante	0,112	Deficiente
Spot Systems	4	Vórtice	0,111	Deficiente
Global	4	Auto-compensante	0,115	Deficiente
RIS	4	Fluxo turbulento	0,075	Marginal
Netafim	4	Labirinto	0,023	Excelente
Bowstmith	4	Orifícios flexíveis	0,077	Marginal
Tirosh	4	Vórtice	0,045	Excelente
Reed	4	Fluxo laminar	0,051	Médio
Plastro Gvat	2	Auto-compensante	0,053	Médio
Global	2	Auto-compensante	0,141	Deficiente
Lake (1000)	4	Fluxo laminar	0,092	Marginal
Lake (1500)	4	Labirinto	0,040	Excelente
Lake (In-line)	4	Labirinto	0,014	Excelente

Equação Característica

Submetidos os microaspersores selecionados a diferentes pressões, à uma temperatura da água de 26°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), obteve-se os valores correspondentes de vazão. A tabela A-2 do Apêndice, apresenta os resultados desses ensaios. Na Tabela 7, são apresentados os valores médio de vazão obtidos para as pressões

estudadas. A variação máxima dessas pressões foi de 2%, inferior aos 3% recomendados pela ABNT (1986).

TABELA 7: Valores médios de vazão (l/h) dos microaspersores obtidos a partir de pressões crescentes e decrescentes.

Pressão (kPa)	Vazão (l/h)	
	Pressão Crescente	Pressão Decrescente
100	19,9	20,0
150	22,6	22,4
200	21,3	21,4
250	22,8	22,8
300	25,3	25,3

A partir dos dados apresentados na tabela 7, confeccionou-se a curva característica do microaspersor Dan Sprinkler 2001 (Fig. 14). Observa-se que o fenômeno de histerese praticamente, não ocorreu, ou seja, não houve diferenciação entre os valores de vazão para pressão crescente e decrescente. Diferentemente dos estudos feitos por NOGUEIRA & GORNAT (1990), BORDIGNOM & TESTEZLAF (1993) e LUCENA (1993), que observaram em gotejadores auto-compensantes um comportamento diferenciado quando o sistema começava a funcionar com uma pressão baixa e ia adquirindo pressão e vice-versa. Os autores sempre obtiveram valores maiores de vazão no ensaio com pressão crescente do que para pressões decrescentes. Essa diferença é característica de materiais elásticos, como é o caso dos emissores auto-compensantes, cujo fenômeno é conhecido como histerese.

Segundo ABREU et al. (1987) a amplitude do fenômeno de histerese do emissor em estudo encontra-se nos padrões aceitáveis, onde a abertura do diafragma do microaspersor ocorre praticamente

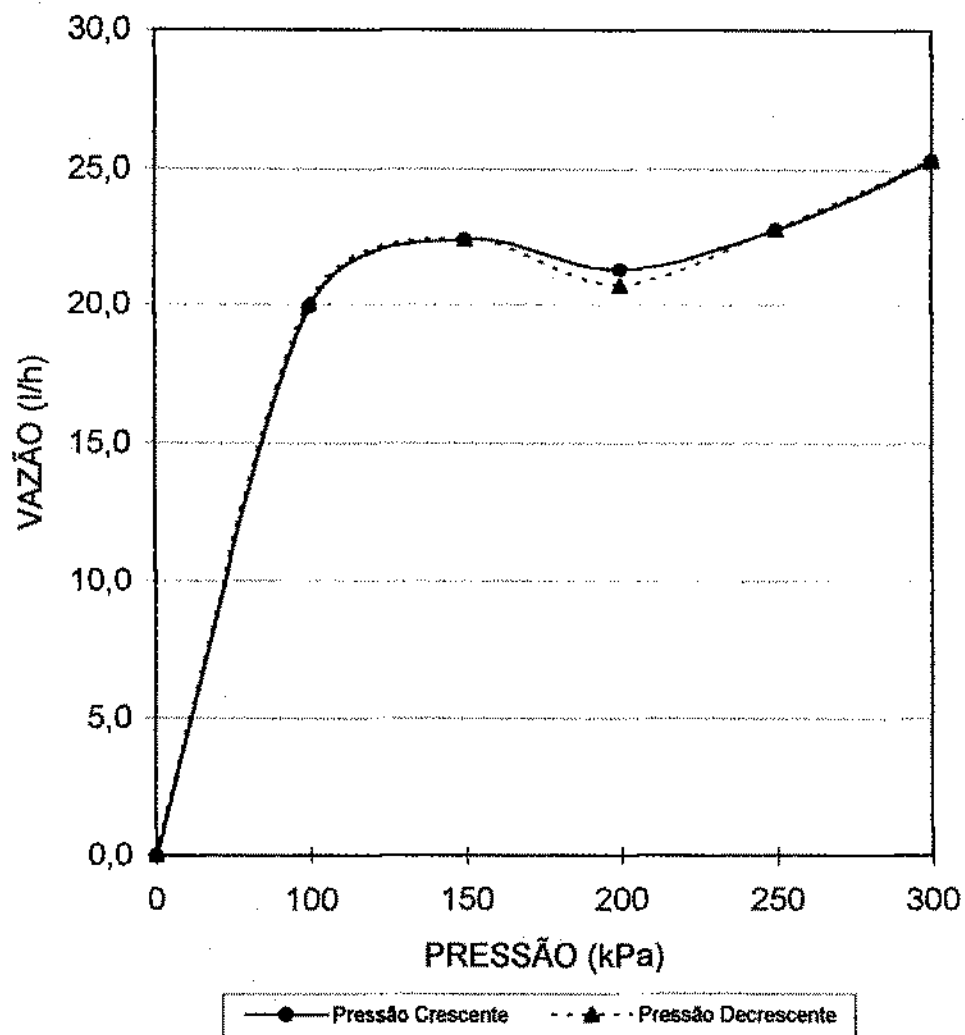


FIGURA 14 - Curva característica e o fenômeno de histerese do microaspesor Dan Sprinkler 2001.

da mesma forma para pressão crescente e decrescente. Além do mais, os sistemas de irrigação operam em pressões praticamente estáveis e, dessa forma, as condições de subida e descida de pressão, que proporcionam a histerese, só ocorrem nos momentos em que o sistema é ligado e desligado.

Com os dados de vazão média e suas respectivas pressões crescentes, através do Software CURVEFIT, selecionou-se cinco equações entre as vinte e cinco fornecidas pelo Software. As equações selecionadas estão apresentadas na tabela 8.

A equação potencial ($Q=8,9583 \cdot H^{0,1745}$) normalmente utilizada para caracterizar um emissor, apresentou um expoente de vazão próximo de zero, definindo-o como auto-compensante. Essa auto-compensação juntamente com sua elevada uniformidade de vazão, são características que devem ser levadas em consideração na seleção do emissor, de acordo com ABREU et al., (1987) e KELLER & BLIESNER (1990).

A tabela 9, mostra os valores de vazão para suas respectivas pressões das cinco equações selecionadas. Analisando as tabelas 8 e 9 observa-se que a diferença máxima de vazão para uma mesma pressão, entre os resultados fornecidos por cada equação, foi de apenas 2,9%, enquanto que a variação do coeficiente de determinação (R^2), entre a equação da parábola que apresentou o melhor ajuste, mas considerado baixo e a equação potencial foi de 7,0%.

Valores baixos para o coeficiente de determinação (R^2) tem sido encontrado por pesquisadores que testaram emissores auto-compensantes. NOGUEIRA & GORNAT (1990), estudando gotejadores auto-compensantes com vazão de 4,0 l/h, encontraram

um valor do coeficiente de correlação de 66,98%. LUCENA (1993) com o gotejador KATIF 3,75 l/h, e PITS et al. (1986) com o gotejador KATIF 2,3 l/h, encontraram, respectivamente, valores de correlação de 23,24% e 29,16%, para a equação potencial, inclusive com valores do expoente x negativo. PITS et al. (1986) atribuem os baixos valores do coeficiente ao comportamento hidráulico irregular do emissor, enquanto que LUCENA (1993), atribui que o valor do expoente negativo é gerado pela região de auto-limpeza do emissor.

TABELA 8: Equações do microaspersor obtidas através do Software CURVEFIT.

Nº	NOME	COEFICIENTES			EQUAÇÕES	R ²
		A	B	C		
1	Parábola	20,38	-5,4E-3	6,8E-5	$Q=A+B*H+C*H^2$	0,7787
2	SGeometrica	18,86	1,6E-4		$Q=A*H^{(B*H)}$	0,7581
3	Exponencial	18,35	9,8E-4		$Q=A*e^{(B*H)}$	0,7550
4	Log. Normal	19,92	4,17	11,21	$Q=A*e^{((\ln H-B)^2/C)}$	0,7438
5	Potencial	8,96	0,1745		$Q=A*H^B$	0,7238

TABELA 9: Valores de vazão (l/h) para sua respectiva pressão de cada equação estudada.

PRESSÃO (kPa)	EQUAÇÕES				
	1	2	3	4	5
100	20,5	20,3	20,2	20,3	20,0
150	21,1	21,3	21,2	21,2	21,5
200	22,0	22,3	22,3	22,3	22,6
250	23,3	23,5	23,4	23,4	23,5
300	24,9	24,8	24,6	24,6	24,2

Para comparar os valores determinados no ensaio, com os obtidos a partir da equação potencial e a equação da parábola, que obteve o melhor ajuste confeccionou-se a figura 15. Observa-se que as equações subestimam os valores de vazão para pressão em torno de 150 kPa, região de auto-limpeza, como também para o valor extremo de 300 kPa. Enquanto que para os valores intermediários de 200 a 250 kPa, as equações superestimam os valores de vazão em relação aos determinados no ensaio.

De acordo com ABREU et al. (1987), a faixa de pressão na qual um emissor deve ser considerado como auto-compensante, é aquela que proporciona vazões compreendidas entre $\pm 7\%$ da vazão nominal (Q_n), ou seja, as vazões mínima e máxima devem, respectivamente, ser 7% menor e 7% maior que a vazão nominal. Considerando que a pressão nominal seja de 200 kPa, e que segundo a equação potencial produz uma vazão de 22,6 l/h, a faixa de trabalho em que o emissor estudado seria considerado auto-compensante é de 136 kPa, para uma vazão de 21,1 l/h a 300 kPa com vazão de 24,2 l/h.

Observa-se que a vazão mínima e máxima considerada na faixa de auto-compensação, são superiores em 5,5% e 21%, respectivamente, à vazão nominal de 20 l/h, fornecida pelo fabricante para uma faixa de trabalho de 120 a 400 kPa.

Tratando os dados ensaiados apenas no intervalo de auto-compensação (150 a 300 kPa), a equação de melhor ajuste das 25 obtidas com o CURVEFIT, foi a logarítmica normal ($Q = 21,37 * e^{(\ln H - 5,26)^2 / 11,145}$) com R^2 igual a 0,9962, enquanto que a equação potencial ($Q = 9,79 * H^{0,1583}$), R^2 foi igual a 0,4373. LUCENA (1993), estudando o microgotejador Katif 3,75 l/h, para o intervalo de auto-compensação (6 a 36 mca), encontrou a função

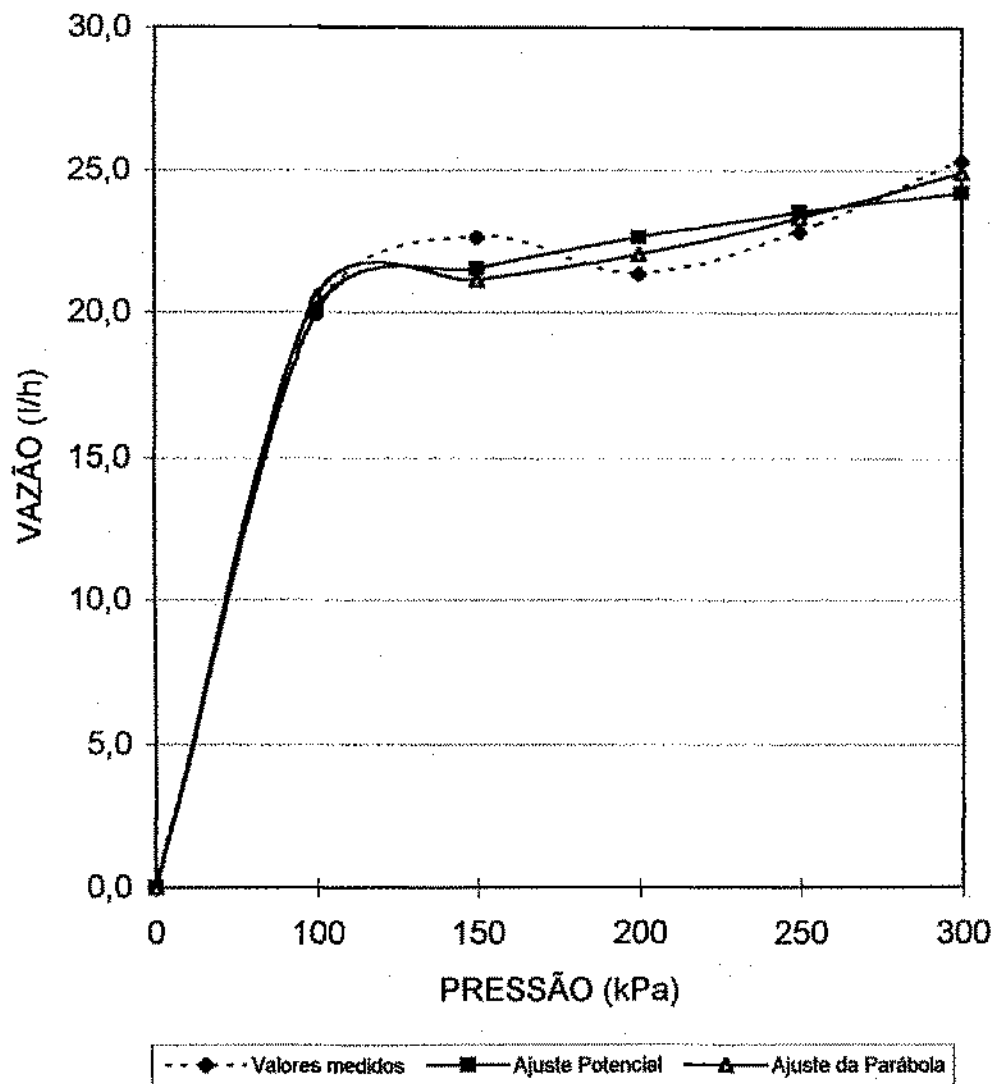


FIGURA 15 - Comparação dos valores de vazões para suas respectivas pressões, das equações potencial e da parábola com os determinados no ensaio.

módulo de Hoerl, como o melhor ajuste ($R^2 = 0,8859$), enquanto que a função potencial o ajuste foi de apenas 0,2864.

A figura 16, apresenta as curvas com os valores de vazão e sua respectiva pressão para essas equações. Observa-se que a equação logarítmica normal apresentou os 3 regimes de funcionamento, por intervalos de pressões de acordo com BORDGNOM & TESTEZLAF (1993), ou seja, no intervalo 1 ou de auto-limpeza, de zero a 100 kPa a vazão foi superior em 45% a vazão nominal para pressão de 200 kPa, o intervalo 2, ou de transição ocorreu entre as pressões de 100 a 150 kPa, e finalmente o intervalo 3 ou de auto-regulagem ocorreu entre as pressões de 150 a 300 kPa. No entanto na curva da equação potencial esses intervalos não estão bem definidos, ou seja, os valores de vazão crescem sempre com o aumento de pressão.

Perfil de Distribuição

Os resultados dos ensaios realizados para análise de distribuição de água, com os 10 microaspersores selecionados estão apresentados na tabela A-3 do Apêndice. Os valores médios de precipitação, para uma pressão de 200 kPa, estão apresentados na tabela 10. A média de vazão obtida no início de cada teste foi de 21,2 l/h, enquanto que para o final do teste, ou seja, após uma hora de funcionamento, foi de 21,1 l/h. Estes valores se comparados aos obtidos nos testes para determinação da equação característica variam, respectivamente, em apenas 0,5% e 0,9%, o que comprova o bom funcionamento do emissor.

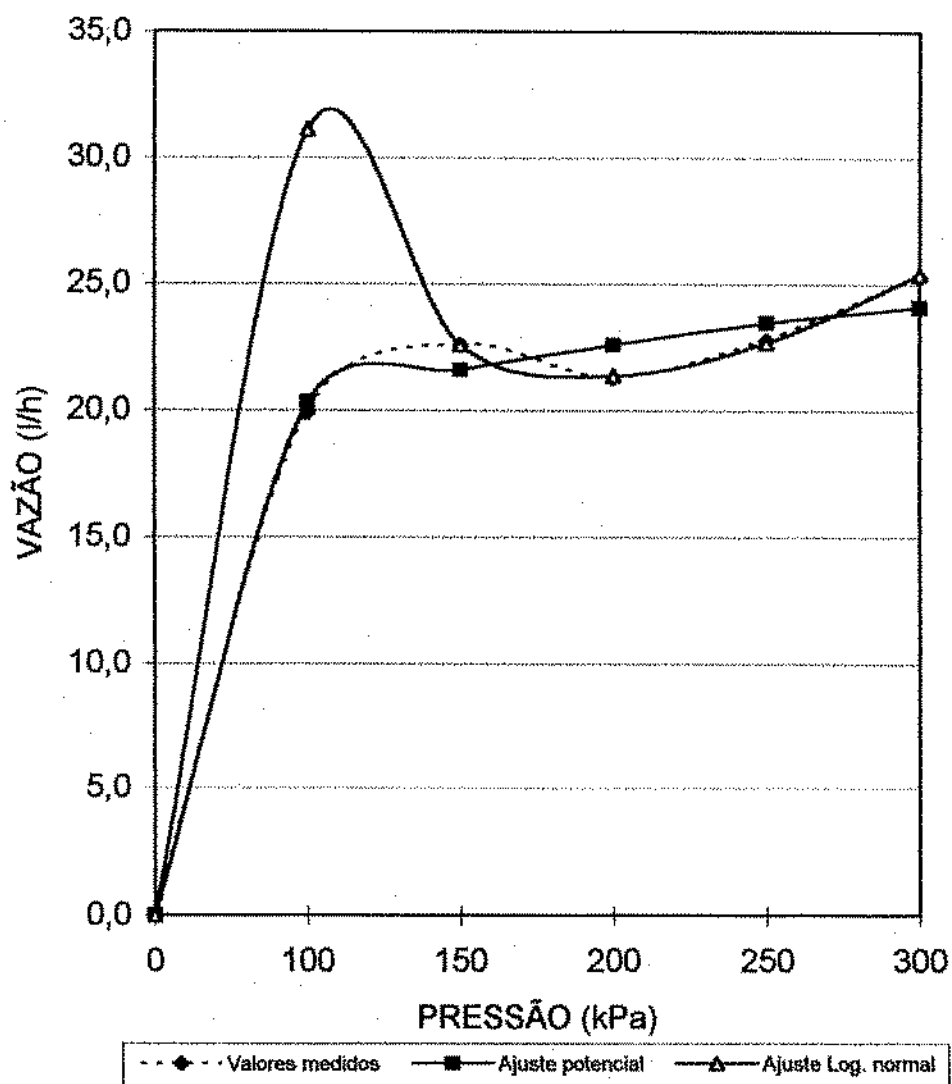


FIGURA 16 - Curvas de valores de vazão de acordo com as equações logarítmica normal e potencial a partir dos dados do intervalo de auto-compensação.

A medida de volume dos recipientes para posterior transformação em precipitação, foi feita tal como, para os demais parâmetros hidráulicos (CVF e equação característica), ou seja, através da pesagem da água. Com a média de precipitações dos quatro semi-eixos foi confeccionado o semi-perfil de distribuição da água (Fig. 17). Observa-se que apesar de uma maior concentração da água nos primeiros 30 cm, a partir do mesmo, sua curva segundo ARMONI (1986) apresenta uma distribuição uniforme. Verifica-se também que, a curva apresenta 3 intervalos de distribuição da água, no intervalo 1, compreendendo os primeiros 45 cm a variação da precipitação horária foi de 39%, no intervalo 2, de 45cm a 105 cm, a variação foi de 11,8%, e finalmente no intervalo 3, de 105 a 225 cm, a variação foi de 80%.

As figuras 18 e 19 apresentam respectivamente as linhas de iguais intensidade de precipitação (isoietas) e o perfil de distribuição tridimensional do microaspersor Dan Sprinkler 2001. Estes gráficos foram confeccionados através da utilização do Software SURFER. Verifica-se que, a uniformidade de distribuição em toda área de aplicação é melhor visualizada pelo gráfico das isoietas. O grau de proximidade das linhas isoietas indicam a variação de precipitação, ou seja, onde as linhas estão mais próximas significa uma maior desuniformidade, e vice-versa.

Observa-se, então, tanto no gráfico do semi-perfil médio como nos das isoietas e da distribuição tridimensional, que o microaspersor Dan Sprinkler 2001 apresenta uma distribuição d'água satisfatoriamente uniforme. De acordo com SOLOMON (1979), a maior concentração pluviométrica próximo ao emissor pode ser atribuída a geometria do mesmo, haja visto, que o jato de distribuição da água desse microaspersor, ser interceptado por 3 hastes de sustentação do pino giratório.

TABELA 10: Valores médios de precipitação (mm/h) em cada semi-eixo para uma pressão de 200 kPa.

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	3,2	2,7	2,5	2,6
45	1,5	1,7	1,7	1,9
75	1,3	1,3	1,6	1,4
105	1,6	1,6	1,5	1,5
135	1,1	1,4	1,2	1,3
165	0,8	1,0	1,0	1,1
195	0,7	0,6	0,9	1,0
225	0,3	0,1	0,3	0,4
y_m (mm/h)	1,34			
s (mm/h)	0,71			

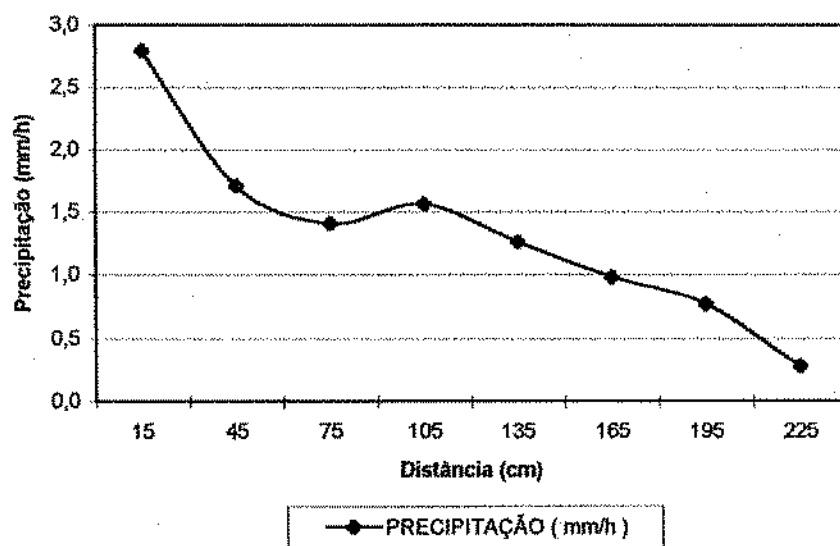


FIGURA 17 - Semi-perfil médio de precipitação

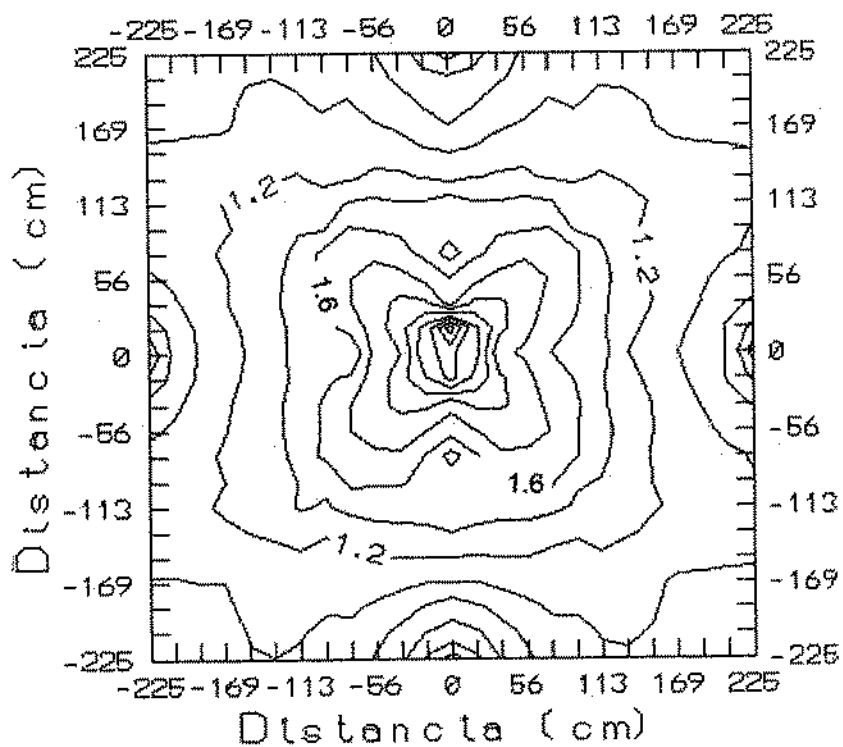


FIGURA 18 - Isoietas para o microaspersor operando a 200 kPa.

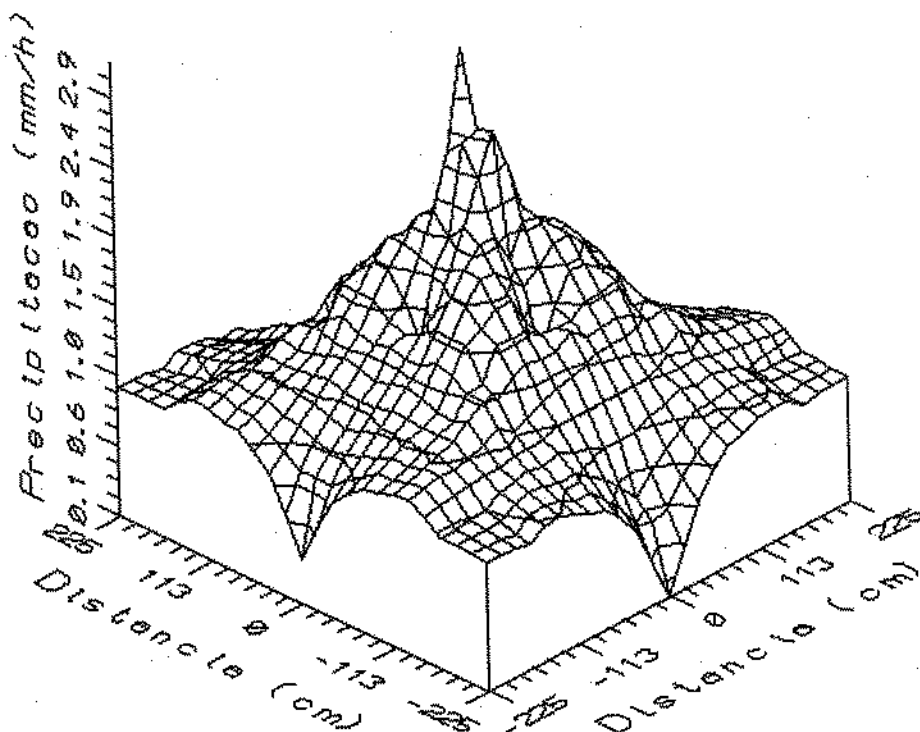


FIGURA 19 - Perfil tridimensional para o microaspersor operando a 200 kPa.

Raio efetivo

Durante os ensaios para observar a precipitação, todos os recipientes que receberam água, estão incluídos na definição de raio efetivo, ou seja, tiveram precipitação superior a 10% da precipitação média, o que comprova a boa performance de distribuição de água. Portanto, o raio efetivo do microaspersor Dan Sprinkler 2001, é de 2,25 m, com diâmetro molhado de 4,50 m, cujo valor está de conformidade com o fornecido pelo fabricante. Observa-se ainda que, 60% do raio efetivo recebe precipitação igual ou superior a precipitação média.

Uniformidade de Distribuição

Através das precipitações apresentadas na tabela 10, calculou-se a média de aplicação de água do emissor estudado, que foi de 1,34 mm/h, com desvio padrão de 0,71 mm/h, e com o uso das equações 5 e 6, foram calculados respectivamente os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen e de Hart, cujos resultados foram $CUC = 61,1\%$ e $CUH = 57,7\%$.

Os valores dos coeficientes de uniformidades são considerados baixos, mas vale salientar que os ensaios foram realizados com o emissor funcionando isoladamente, ou seja, sem sobreposição. Segundo SAN JUAN (1985), na avaliação de sistemas de irrigação localizada o CUC apresenta o inconveniente de dar a mesma importância às variações acima e abaixo da média. O autor enfatiza ainda que, esse procedimento em irrigação localizada, pode ser desastroso porque as variações acima da média implicam apenas em perdas excessivas d'água, afetando a eficiência de irrigação, enquanto que as variações abaixo da média indicam que a planta

recebe menos água do que necessita o que pode comprometer a produtividade das culturas, inclusive podendo perder-se totalmente.

No entanto OLIVEIRA et al. (1993) avaliando a distribuição de água na superfície e no perfil do solo, em um sistema de irrigação com microaspersor Asbrasil com bailarina, constatou uma melhor distribuição da água no perfil do solo em relação à superfície. O resultado desse estudo está apresentado na tabela 11. Os autores enfocam que houve uma redistribuição da água no perfil do solo, favorecida pela manutenção da umidade elevada, uniformizando as lâminas de água armazenadas nas diferentes camadas do solo.

TABELA 11: CUC para as lâminas de água médias aplicadas na superfície e armazenada no solo em relação às posições (OLIVEIRA et al., 1993).

Semi-eixo		Distância radial (cm)			
		0	50	150	250
N	superfície	65,54	68,71	37,27	27,75
	perfil do solo	92,26	93,68	90,97	85,95
S	superfície	65,54	54,20	58,02	49,80
	perfil do solo	92,26	94,62	91,31	88,77
L	superfície	65,54	62,97	72,92	72,80
	perfil do solo	92,26	91,81	91,24	90,91
W	superfície	65,54	59,59	50,00	45,39
	perfil do solo	92,26	91,21	91,70	93,28

Diante dos resultados apresentados acima com um CUC variando de 27,75% a 72,80% na superfície, e que no perfil do solo os valores ficaram entre 85,95% e 94,64%, acredita-se que um valor de 61,1% encontrado na superfície para o microaspersor Dan Sprinkler 2001, possa alcançar valores no perfil do solo superiores a

85%. Valor recomendado por Merriam et al. (1973) citado por OLITTA (1987) para culturas com alto rendimento, com sistema radicular raso, irrigada com o sistema de irrigação por aspersão com alta eficiência.

Os resultados dos ensaios para avaliar o coeficiente de variação proposto por Sadan & Shani, encontram-se na tabela A-4 do Apêndice. A tabela 12, apresenta os valores médios em cada anel de precipitação, índice de aplicação e soma dos quadrados, que resultaram em um desvio padrão de 0,54 l/h e um valor do coeficiente de variação de 42,3%.

TABELA 12: Valores médios por anel, das precipitações, índice de aplicação e soma dos quadrados.

Anel	Precipitação (mm/h)	Fator de proporção	Índice de aplicação (mm/h)	Soma do quadrado (m/h) ²
1	3,1	0,0625	0,19	0,59
2	1,4	0,1785	0,25	0,35
3	1,4	0,3125	0,44	0,62
4	0,9	0,4375	0,39	0,35
Total		1,00	1,27	1,91
s (l/h)			0,54	
cv (%)			42,5	

De acordo com o autor um emissor com precipitação média em torno de 2,0 mm/h, o limite de 1,0 mm/h, deve ser considerado como área molhada (irrigada ineficientemente), portanto como o

microaspersor Dan Sprinkler 2001, possui uma precipitação média de 1,34 mm/h, para o estudo dessa metodologia usou-se o índice pluviométrico do anel 4 (0,9 mm/h) como o valor mínimo.

O autor propõe um limite para o coeficiente da variação em torno de 30%, como um bom valor para microaspersão. Portanto o valor obtido neste estudo pode ser considerado como razoável, ou seja, o emissor apresenta uma uniformidade de distribuição satisfatória, segundo essa metodologia.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo como base os resultados obtidos através dos métodos usados na avaliação da performance hidráulica do microaspersor Dan Sprinkler 2001, e nas condições em que os testes foram analisados, chegou-se as seguintes conclusões e recomendações:

Conclusões

O modelo do microaspersor avaliado apresenta uma excelente uniformidade de fabricação, com um coeficiente de uniformidade de variação de fabricação igual a 0,044.

A variação de vazão em relação a sua média com o emissor operando a uma pressão de 200 kPa, segue um modelo de distribuição do tipo normal.

O microaspersor é caracterizado como auto-compensante no intervalo de 136 kPa à 300 kPa, proporcionando vazão mínima de 21,1 l/h e máxima de 24,2 l/h, cujos valores são superiores, respectivamente, em 5,5% e 21,0% à vazão nominal, fornecida pelo fabricante.

A equação potencial sugerida pela maioria dos pesquisadores não foi a equação que melhor representou o ajuste para a relação vazão-pressão do microaspersor, mas sim as equações da parábola (77,87%) e a logarítmica normal (99,62%), respectivamente, para todos os dados ensaiados e para os dados do intervalo de auto-compensação.

A abertura do diafragma, que funciona como regulador de fluxo, ocorre praticamente da mesma forma para pressões crescentes e decrescentes, proporcionando um fenômeno de histerese desprezível.

Após uma hora de funcionamento submetido a uma pressão de 200 kPa, o microaspersor apresentou uma variação de vazão de 0,5%.

O raio efetivo é 2,25 m, considerado também como o raio da área molhada, haja visto que todas as lâminas observadas nos coletores foram superior a 10 % da precipitação média.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de Hart (CUH), foram respectivamente 61,1% e 57,7%. O coeficiente de variação proposto por Sadan & Shani, foi de 42,5%.

Os gráficos de semi-perfil médio, das isoietas e do perfil tridimensional, demonstram uma distribuição de aplicação da água na superfície, considerada satisfatória.

Recomendações

Estude-se a performance hidráulica dos microaspersores em funcionamento, para observar as variações que possam ser provocadas pelo tempo de uso.

Estude-se os microaspersores em condições de campo, tanto para observar seu desempenho na presença de vento quanto a redistribuição da água no solo.

Estude-se detalhadamente os fatores responsáveis pelas variações de vazão dos microaspersores, analisando a possível existência de um coeficiente relacionado à estabilidade funcional da membrana de auto-regulagem, para diferentes pressões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT.
São Paulo, Emissores para Sistema de Irrigação Localizada:
Avaliação de Características Operacionais: Projeto 12:02.08.21,
São Paulo, 1986. 6p.
- ALVES, D. R. D.; LIMA, L.A. Avaliação da uniformidade de distribuição de água de microaspersores e microdifusores. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. Resumo... Campinas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994, n.94-3-316. 17p.
- ARMONI, S. Micro-sprinkler irrigation. Kibuts Dan: Dan sprinklers, Israel, 1986, 91 p.
- ABREU, J. M. H.; LOPES, J. R.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J. F. G. El riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987, 317p.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, n.139, p.40-53, 1986.
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 4ª ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1986. 488p.
- BRAUD, H. J.; SOOM, A. M. Trickle irrigation lateral design on sloping fields. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, v.2, p.941-944, 1981.

* ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: referências bibliográficas. Rio de Janeiro, 1989. 19p.

- BORDIGNON W. D.; TESTEZLAF, R. Normas de ensaio para gotejadores auto-compensantes. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, v.5, p. 3071 - 3087.
- COLOMBO, A.; SCALOPPI, E. J. Ensaio de equipamentos para irrigação. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11, 1981, Brasília. Anais... Brasília: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1981, v.2, p. 1009-1016.
- FARIA, M. A.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P.A.; LOUREIRO, B. T. Irrigação por gotejamento. I - Características hidráulicas do microgotejador Irtec. Ceres, Viçosa, v.29, n.165, p.417-478, 1982.
- FRIZZONE, J. A. Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. Piracicaba - ESALQ: Departamento de Engenharia Rural, 1992, 53p. (Série didática, 003).
- GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: Editora Universitária, 1994. 344p.
- KELLER, J. & BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, 651p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. Glendora: Rain Bird sprinkles manufacturing corp. 1ª ed. 1975, 133p.
- LIMA, V. L. A. Caracterização hidráulica de tubulações laterais em microaspersão, utilizando microtubos como dissipadores de

- energia. Campina Grande - UFPB, 1991. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, 1991.
- LOPEZ, J. R. Uniformidad de riego. IN: ABREU, J. M. H.; LOPES, J. R.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J. F. G. El riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 3ª parte, 1987. p199-207.
- LUCENA, K. F. M. Performance hidráulica de microgotejadores Katif novos e usados. Campina Grande - UFPB, 1993. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, 1993.
- MAIA, L. A. F. Desenvolvimento de um Software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Piracicaba - USP, 1994. 158p. Dissertação (Mestrado em irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1994.
- NOGUEIRA, L. C.; GORNAT, B. Desempenho de gotejador auto-compensante. ITEM, Brasília, n.42, p22-28, 1990.
- NUEVO, F. A. S. Modelo computacional para dimensionamento hidráulica em sistemas de irrigação localizada. São Carlos - USP, 1992. 139p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Carlos, 1992.
- OLITTA, A. F. L. Os Métodos de Irrigação. São Paulo: Editora Nobel, 1987, 267p.

OLIVEIRA, L. F. C.; SILVA, A. M.; FARIA, M. A.; LIMA, L. A. Avaliação da distribuição de água na superfície e no perfil do solo de um sistema de irrigação por microaspersão. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, v.4, p. 2640-2653.

PARCHOMCHUCK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, v.19, p.690-692. 1976.

PITTS, D. J.; FERGUSON, J. A.; WRIGTH, R. E. Trickle irrigation lateral line design by computer analysis. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, v.29, n.5, p.1320-1324. 1986.

SAMPAIO, S.C.; VILELA, L. A. A.; DIAS, J. A. A.; FARIA, M. A. Características hidráulicas e da distribuição de água do microaspersor Naan 7110. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. Resumo... Viçosa: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995, n.95-3-215. 12p.

SAN JUAN, A. M. Riego por goteo: Teoria y práctica. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª ed., 1985. 216p.

SCHMIDT, M. V. V.; LOUREIRO, B. T.; DENICULI, W. Características hidráulicas do tubogotejador "Queen gil". IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, v.4, p. 2612-2625.

- SCALOPPI, E. J. Características dos principais sistemas de irrigação. ITEM - Brasília, n.25,p22-27. 1986.
- SOLOMON, K. H. Manufacturing variation of trickle emitters. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, p.1034-1038. 1979.
- TELLES, D. D. Métodos de Irrigação - Equipamentos: características, operação e manutenção, IN: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Elaboração de projetos de irrigação, Brasília: FUNDAÇÃO CTH, 1986. pp T3.76 - T3.100.
- VON BERNUTH, R; SOLOMON, K. H. Emitter construction. IN: (NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.). Trickle irrigation for crop production. Phoenix, Chapter 2, p.27-52. 1986.
- WU, I. P.; GITLIN H. M. Drip irrigation application efficiency. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, v.26,n.1,p.92-99. 1983.

APÊNDICE

TABELA A-1: Dados de massas e volumes transformados de 20 microaspersores Dan Sprinkler 2001, operando a uma pressão de 200 kPa, para determinação do CVF.

Emissor	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	v_m (cm ³)
1	356	356	357	356,3
2	358	354	357	356,3
3	361	362	362	361,7
4	335	335	334	334,7
5	368	369	368	368,3
6	360	358	357	358,3
7	372	373	369	371,3
8	389	385	385	386,3
9	363	364	362	363,0
10	363	363	362	362,7
11	391	388	387	388,7
12	379	381	380	380,0
13	391	388	389	389,3
14	353	354	354	353,7
15	345	346	347	346,0
16	351	349	350	350,0
17	371	369	368	369,3
18	348	350	348	348,7
19	355	354	353	354,0
20	336	336	335	335,7

TABELA A-2: Dados de massas e volumes transformados de microaspersores Dan Sprinkler 2001, operando a pressões crescentes e decrescentes para determinação da equação característica

Microaspersor nº 1

Pressão	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	v_m (cm ³)	q_m (l/h)
100	338,0	338,3	338,0	338,1	20,3
150	399,6	400,4	399,0	399,7	24,0
200	361,0	359,6	359,6	360,1	21,6
250	375,5	375,3	375,0	375,3	22,5
300	427,2	426,0	426,9	426,7	25,6
250	385,6	386,1	385,3	385,7	23,1
200	357,8	357,4	357,9	357,7	21,5
150	392,0	392,3	392,4	392,2	23,5
100	339,9	339,5	339,7	339,7	20,4

Microaspersor nº 2

Pressão	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	v_m (cm ³)	q_m (l/h)
100	325,6	325,2	326,1	325,6	19,5
150	359,9	359,8	359,3	359,7	21,6
200	348,4	347,9	348,8	348,4	20,9
250	411,7	410,8	410,6	411,0	24,7
300	461,7	461,2	461,9	461,6	27,7
250	407,1	406,6	406,5	406,7	24,4
200	360,4	359,6	360,5	360,2	21,6
150	364,9	365,1	364,5	364,8	21,9
100	327,9	327,4	328,3	327,9	19,7

Microaspersor n° 3

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	330,4	331,2	331,7	331,1	19,9
150	391,8	391,9	391,7	391,8	23,5
200	365,9	364,7	365,7	365,4	21,9
250	380,9	380,8	381,5	381,1	22,9
300	393,8	394,0	392,2	393,3	23,6
250	369,8	369,2	369,2	369,4	22,2
200	363,2	363,3	362,8	363,1	21,8
150	398,2	396,6	399,1	398,0	23,9
100	332,0	331,8	331,6	331,8	19,9

Microaspersor n° 5

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	328,5	327,4	328,3	328,1	19,7
150	388,5	387,6	388,5	388,2	23,3
200	359,9	360,0	359,7	359,9	21,6
250	360,5	360,5	360,6	360,5	21,6
300	384,4	384,3	385,1	384,6	23,1
250	357,1	356,5	356,6	356,7	21,4
200	350,4	349,0	349,8	349,7	21,0
150	385,4	385,2	386,1	385,6	23,1
100	332,4	333,2	333,0	329,6	20,0

Microaspersor n° 6

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	321,6	322,1	321,0	321,6	19,3
150	342,3	341,6	342,1	342,0	20,5
200	340,5	339,3	340,6	340,1	20,4
250	369,7	369,5	369,9	369,7	22,2
300	409,2	408,1	406,0	407,8	24,5
250	371,0	369,3	370,7	370,3	22,2
200	341,4	342,3	341,3	341,7	20,5
150	338,5	338,7	338,4	338,5	20,3
100	319,1	319,6	319,6	319,4	19,2

Microaspersor n° 9

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	354,4	353,8	354,0	354,1	21,2
150	416,6	414,9	415,9	415,8	24,9
200	360,9	361,0	361,6	361,2	21,7
250	390,0	389,0	389,7	389,6	23,4
300	429,6	429,6	428,3	429,2	25,8
250	395,5	397,0	395,3	395,9	23,8
200	361,8	361,8	362,5	362,0	21,7
150	412,2	410,4	411,1	411,2	24,7
100	362,5	362,4	363,6	362,5	21,8

Microaspersor n° 10

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	326,5	326,6	328,3	327,1	19,6
150	366,0	367,3	367,0	366,8	22,0
200	354,2	354,2	353,5	354,0	21,2
250	383,7	383,1	383,8	383,5	23,0
300	459,7	460,0	460,4	460,0	27,6
250	393,9	394,6	393,5	394,0	23,6
200	357,5	357,6	357,9	357,7	21,5
150	362,7	363,2	362,7	362,9	21,8
100	325,8	326,1	326,5	326,1	19,6

Microaspersor n° 14

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	333,3	333,3	333,7	333,4	20,0
150	354,4	353,6	353,3	353,8	21,2
200	357,3	357,3	356,4	357,0	21,4
250	381,5	382,8	382,6	382,3	22,9
300	454,2	456,7	454,8	455,2	27,3
250	282,7	381,4	381,5	381,9	22,9
200	369,1	367,6	368,8	368,5	22,1
150	341,4	341,4	339,6	340,8	20,4
100	330,4	330,8	330,4	330,5	19,8

Microaspersor nº 17

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	327,8	328,8	327,7	328,1	19,7
150	383,5	383,2	382,9	383,2	23,0
200	338,8	338,2	339,0	338,7	20,3
250	350,6	350,1	349,4	350,0	21,0
300	386,0	386,9	386,5	386,5	23,2
250	357,4	356,9	356,2	356,8	21,4
200	338,7	340,5	340,6	339,9	20,4
150	381,2	381,0	381,6	381,3	22,9
100	331,8	333,2	333,4	332,8	20,0

Microaspersor nº 19

Pressão	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	v _m (cm ³)	q _m (l/h)
100	323,8	324,2	324,2	324,1	19,4
150	363,6	363,3	363,8	363,6	21,8
200	316,0	360,2	361,7	361,0	21,7
250	388,0	387,4	387,1	387,5	23,3
300	415,8	414,3	414,6	414,9	24,9
250	385,6	384,0	384,8	384,8	23,1
200	356,6	357,0	356,4	356,7	21,4
150	354,2	354,4	355,0	354,5	21,3
100	326,7	325,9	327,8	326,8	19,6

TABELA A-3: Valores dos volumes (ml) coletado em cada microaspersor, nos ensaios para determinação do semi-perfil médio, das linhas isoietas, do perfil tridimensional, do CUC e do CUH.

Microaspersor nº 1

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	6,6	18,5	15,5	5,4
45	4,8	14,3	13,7	1,9
75	8,1	9,5	12,0	1,8
105	6,2	12,0	4,9	4,9
135	2,8	10,9	3,1	7,0
165	3,2	5,8	3,7	9,4
195	2,2	9,0	3,9	7,7
225	0,0	0,0	1,1	0,2

Microaspersor nº 2

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	26,5	8,2	10,1	17,4
45	9,8	4,8	5,1	13,1
75	8,6	5,2	5,6	9,1
105	9,8	7,6	9,3	9,2
135	5,7	7,7	10,8	4,6
165	4,5	6,1	10,5	3,8
195	4,1	3,7	6,9	4,1
225	2,2	0,7	1,1	2,7

Microaspersor nº 3

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	11,4	27,0	27,0	14,0
45	6,5	21,2	14,9	9,1
75	7,1	8,6	9,5	7,6
105	8,8	6,4	9,1	9,0
135	8,3	4,1	6,9	7,7
165	5,5	3,5	4,6	5,1
195	4,1	2,8	4,1	4,2
225	2,3	1,4	3,1	3,3

Microaspersor nº 5

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	17,2	14,2	9,8	18,5
45	7,2	7,9	5,4	14,5
75	6,7	6,9	6,7	9,6
105	10,6	10,0	9,2	8,2
135	8,9	7,8	7,3	6,6
165	6,0	5,3	5,4	5,1
195	4,5	4,0	5,0	5,5
225	1,2	1,0	1,9	4,3

Microaspersor n° 6

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	22,6	9,8	12,2	11,1
45	11,9	6,4	10,7	7,7
75	7,0	5,9	8,2	7,0
105	7,0	7,8	8,5	9,4
135	5,7	7,8	7,1	8,7
165	4,9	6,5	4,9	7,7
195	4,9	4,8	3,9	5,1
225	2,4	0,5	2,6	0,5

Microaspersor n° 9

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	8,6	18,1	21,8	8,8
45	7,2	13,0	15,5	7,5
75	7,4	8,5	11,3	6,9
105	8,8	8,3	8,2	9,1
135	6,9	6,1	4,5	9,3
165	4,7	3,3	4,9	7,2
195	4,4	0,9	5,0	6,4
225	1,3	0,0	0,0	1,9

Microaspersor n° 10

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	21,6	12,0	8,0	23,0
45	9,4	4,9	5,2	15,6
75	8,7	5,6	5,6	10,1
105	10,8	8,0	7,4	9,2
135	7,5	8,6	7,1	5,7
165	5,4	6,9	5,7	5,2
195	3,5	4,6	5,2	5,2
225	0,4	0,8	2,8	3,0

Microaspersor n° 14

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	17,8	15,1	14,9	15,1
45	8,5	9,9	10,1	11,1
75	7,7	7,4	9,2	8,0
105	9,3	9,4	8,5	8,9
135	6,6	8,1	7,1	7,6
165	4,9	5,6	6,1	6,4
195	4,0	3,4	5,1	5,5
225	1,0	0,8	1,8	2,4

Microaspersor nº 17

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	22,9	13,4	11,5	20,3
45	9,1	6,4	5,8	15,0
75	7,0	6,2	6,6	9,8
105	10,7	10,5	9,4	9,5
135	7,2	8,3	10,0	8,7
165	5,0	4,7	7,9	5,4
195	4,1	3,9	5,7	4,4
225	0,9	0,9	1,1	2,5

Microaspersor nº 19

Distância do Emissor (cm)	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
15	19,9	10,5	10,6	11,0
45	6,9	6,0	10,0	10,1
75	5,3	7,1	13,3	6,8
105	6,9	10,1	6,7	7,4
135	3,7	8,1	3,7	6,8
165	2,7	6,1	4,4	5,8
195	2,7	4,8	3,9	4,7
225	1,6	1,7	1,9	2,2

TABELA A-4: Valores dos volumes (ml) coletado em cada microaspersor, nos ensaios para determinação do coeficiente proposto por Sadan e Shani.

Microaspersor nº 1

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	4,9	27,6	18,1	12,6
2	8,1	9,5	12,0	1,8
3	3,5	12,0	3,1	6,5
4	3,4	2,7	3,9	10,7
5	0,0	0,0	1,1	0,2

Microaspersor nº 2

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	29,4	8,0	17,0	23,5
2	8,6	5,2	5,6	9,1
3	6,6	8,6	10,8	6,6
4	4,5	5,3	9,0	3,8
5	2,2	0,7	1,1	2,7

Microaspersor nº 3

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	9,9	25,3	23,4	15,0
2	7,1	8,6	9,5	7,6
3	8,7	4,4	8,1	9,1
4	4,8	3,1	4,1	4,5
5	2,3	1,4	3,1	3,3

Microaspensor n° 5

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	21,2	14,5	8,9	35,2
2	6,7	6,9	6,7	9,6
3	10,2	9,3	8,0	7,6
4	5,3	4,8	5,1	5,0
5	1,2	1,0	1,9	4,3

Microaspensor n° 6

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	23,7	9,7	13,7	11,0
2	7,0	5,9	8,2	7,0
3	6,4	8,3	7,8	9,4
4	4,7	6,5	4,4	7,4
5	2,4	0,5	2,6	0,5

Microaspensor n° 9

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	8,7	21,1	20,8	9,4
2	7,4	8,5	11,3	6,9
3	7,6	6,5	5,2	9,7
4	4,7	2,0	5,0	7,2
5	1,3	0,0	0,0	1,9

Microaspersor nº 10

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	21,8	9,2	10,9	21,8
2	8,7	5,6	5,6	10,1
3	8,8	8,7	7,6	7,0
4	4,8	6,3	5,2	5,3
5	0,4	0,8	2,8	3,0

Microaspersor nº 14

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	18,7	15,9	15,9	20,7
2	7,7	7,4	9,2	8,0
3	7,6	9,0	7,5	8,5
4	4,6	4,8	5,6	6,3
5	1,5	0,8	1,8	2,4

Microaspersor nº 17

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	18,9	12,5	8,5	25,5
2	7,0	6,2	6,6	9,8
3	8,7	9,7	9,9	9,4
4	4,3	4,9	6,9	4,8
5	0,9	0,9	1,1	2,5

Microaspersor n° 19

ANEL	SEMI-EIXOS			
	N	S	L	W
1	21,8	8,7	15,0	23,3
2	5,3	7,1	13,3	6,8
3	4,8	9,4	3,6	7,4
4	2,5	5,6	4,2	5,4
5	1,6	1,7	1,9	2,2