

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE  
GOTEJADORES E SUA INFLUÊNCIA NA UNIFORMIDADE  
DE EMISSÃO EM LINHAS LATERAIS DE  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

**ODAIR MORAES**

**Orientador: Prof. Dr. ANTONIO F. L. OLIVEIRA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho - 1984

Aos meus pais,  
Odilon e Martha C. Moraes,  
pelo incentivo e compreensão,  
DEDICO.

Se não houver frutos,  
valeu a beleza das flores.  
Se não houver flores,  
valeu a sombra das folhas.  
Se não houver folhas,  
valeu a intenção da semente.

(HENFIL).

## AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Dr. Antonio F.L. Olitta, do Deptº de Engnharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela orientação e amizade demonstradas durante a realização deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. Wilson Ourives e Engª Yvone de Faria Lemos, do Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), da Universidade de São Paulo, e DAEE, pelas sugestões feitas para montagem do experimento.
- Aos Profs. Dr. Humberto de Campos e Dr. Décio Barbin, do Deptº de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pelas recomendações na análise estatística dos dados.
- Ao Deptº de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela cessão do Laboratório de Hidráulica para a realização da pesquisa.
- Ao Engº- Agrº Carlos Alberto Barth Freitas, da firma DANTAS - Indústria e Comércio S.A., pela colaboração no envio do material necessário ao estudo.
- Ao Engº- Agrº Carlos Vieira Pinheiro Neto, da firma IR-TEC - Tecnologia de Irrigação Ltda., pela colaboração no envio do material necessário ao estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por ter concedido bolsa de estudos para o desenvolvimento da pesquisa.

À Prof<sup>a</sup> Marly Moreira Dias, do Centro de Processamento de Dados da Fundação de Ensino e Tecnologia de Alfenas - FETA, pela colaboração na elaboração do programa de computador utilizado neste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica do Depto de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela colaboração na montagem da banca de testes.

Aos colegas do curso de pós-graduação em "Irrigação e Drenagem", pelo apoio e amizade demonstrados durante a realização do curso.

E a todos aqueles que de alguma maneira nos deram inspiração e forças para a conclusão deste trabalho.

OFEREÇO.

## S U M Á R I O

	Pág.
RESUMO .....	viii
SUMMARY .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	7
2.1 - Hidráulica de Sistemas de Irrigação por Gotejo .....	9
2.2 - Uniformidade de Aplicação .....	14
2.2.1 - Fatores que afetam a uniformidade de emissão .....	17
2.2.2 - Estimativa da uniformidade de emissão .....	20
2.2.3 - Coeficiente de uniformidade de irrigação .....	25
2.3 - Dispositivos de Emissão (Gotejadores) ...	29
2.3.1 - Variação na fabricação dos gotejadores.....	32
2.3.2 - Coeficiente de variação de fabricação do gotejador .....	35
2.4 - Relacionamento entre Pressão e Taxa de Fluxo do Gotejador .....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
3.1 - Descrição do Laboratório de Hidráulica ..	45
3.2 - Descrição dos Gotejadores .....	45

	Pág.
3.3 - Descrição do Sistema .....	49
3.4 - Descrição dos Testes com os Gotejadores	53
3.4.1 - Determinação da uniformidade de vazão dos gotejadores .....	56
3.4.2 - Determinação da equação característica de vazão-pressão dos gotejadores .....	62
3.5 - Distribuição de Vazão dos Gotejadores ..	64
3.6 - Uniformidade de Aplicação dos Gotejadores	67
3.6.1 - Uniformidade de Emissão dos gotejadores na linha lateral .....	67
3.6.2 - Coeficiente de Uniformidade na linha lateral .....	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	78
4.1 - Uniformidade de Vazão dos Gotejadores ..	78
4.1.1 - Gotejador IRTEC-1 .....	79
4.1.2 - Gotejador IRTEC-2 .....	84
4.1.3 - Gotejador DANTAS .....	87
4.1.4 - Resultado global .....	90
4.2 - Distribuição de Vazão dos Gotejadores ..	94
4.3 - Equação Característica de Vazão-Pressão do Gotejador .....	99
4.3.1 - Análise da variância .....	100
4.3.2 - Equação geométrica .....	103

	Pág.
4.3.3 - Regressão polinomial .....	113
4.3.4 - Análise final .....	122
4.4 - Uniformidade de Aplicação dos Gotejadores	128
4.4.1 - Uniformidade de Emissão dos gotejadores na linha lateral .....	128
4.4.2 - Coeficiente de Uniformidade na linha lateral .....	143
5. CONCLUSÕES .....	154
6. LITERATURA CITADA .....	158
APÊNDICE 1 - Dados obtidos nos testes de Uniformidade de Vazão .....	162
APÊNDICE 2 - Resultados gerais dos testes de Uniformidade de Vazão .....	172
APÊNDICE 3 - Dados obtidos nos testes para Determinação da Equação Característica de Descarga-pressão .....	182
APÊNDICE 4 - Resultados da análise de regressão para as equações geométrica e polinomial .....	186

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE GOTEJADORES E SUA INFLUÊNCIA NA UNIFORMIDADE DE EMISSÃO EM LINHAS LATERAIS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Autor: Odair Moraes  
Orientador: Prof. Dr. Antonio F.L. Olitta

R E S U M O

O objetivo deste trabalho foi o de verificar a uniformidade de emissão de água em três tipos de gotejadores produzidos no Brasil.

Para tal, realizaram-se testes, no Laboratório de Hidráulica da ESALQ/USP, para estimar a variação na vazão dos gotejadores, causada pelas diferenças decorrentes do processo de fabricação, determinando-se, assim, o Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ), bem como a influência na distribuição de taxas de emissão e o seu efeito na uniformidade de aplicação de água em linhas laterais. Também, procurou-se estabelecer as equações características de descarga-pressão para os gotejadores testados.



As repetições realizadas no Teste de Uniformidade mostraram que o Coeficiente de Variação de Fabricação pode diferir entre as amostras testadas, embora estes valores tenham se definido dentro de intervalos específicos para cada modelo de gotejador experimental tado.

Com a reunião dos valores de vazão das três amostras de cada modelo de gotejador, determinou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ), revelando um valor bem menor para o gotejador DANTAS (5,17%), em comparação com o microgotejador IRTEC (14,03%) e o gotejador IRTEC (17,70%).

As tabelas de Uniformidade de Emissão revelaram que uma Uniformidade de Emissão de 90%, em três níveis de pressão de serviço a serem adotados, não será atingida para o gotejador IRTEC até com quatro gotejadores por planta, com qualquer valor da razão de perda de carga. Para o microgotejador IRTEC somente será atingida com a utilização de quatro gotejadores por planta. E para o gotejador DANTAS poderá ser atingida com a adoção de valores mais altos para a razão de perda de carga, com o aumento do número de gotejadores por planta.

Com relação ao Coeficiente de Uniformidade na linha lateral de irrigação, tanto para o goteja-

dor IRTEC, como para o microgotejador IRTEC, haverá necessidade de colocar-se dois gotejadores ou mais por planta, para que um coeficiente acima de 90% seja alcançado, enquanto que, para o gotejador DANTAS, mesmo com 1 (um) gotejador por planta, este coeficiente será cerca de 96%.

Também, o Tempo Corrigido de Irrigação será relativamente maior se o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador for elevado, para que uma determinada porcentagem de plantas fosse esperada estar adequadamente irrigada.

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF MANUFACTURING VARIATION  
OF EMITTERS AND ITS INFLUENCE ON THE EMISSION  
UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION LATERAL LINES

Author: Odair Moraes  
Adviser: Prof. Dr. Antonio F.L. Olitta

S U M M A R Y

The purpose of the present work was to check the uniformity with which the water flow rate is discharged from three different types of emission devices manufactured in Brazil.

To this end, tests were carried out at the Hydraulics Laboratory of the Rural Engineering Department - ESALQ/USP, to estimate the variation in the flow of trickle emitters, caused by the differences resulting from the manufacturing process, thus determining the Coefficient of Manufacturing Variation ( $CV_f$ ), as well as the influence on the distribution of flow rates and its effect on the water application uniformity of lateral lines. It was also tried to establish the discharge-

-pressure characteristic equations for the emitters being tested.

The replications of the Flow Uniformity Test indicated that the Coefficient of Manufacturing Variation ( $CV_f$ ) may be different for the samples tested, though these values were clearly defined within specific intervals for each emitter type experimented.

With the flow values for the 3 samples of each emitter, a global Coefficient of Manufacturing Variation ( $CV_{fg}$ ) was determined, showing quite a lower value for the DANTAS emitter (5,17%) as compared to the IRTEC microemitter (14,03%) and the IRTEC emitter (17,70%).

The Emission Uniformity tables showed that an Emission Uniformity of 90%, at the 3 levels of pressure head to be adopted, will not be attained for the IRTEC emitter even with 4 emitters per plant, with any value of head loss ratio. For the IRTEC microemitter it will only be attained by utilizing 4 emitters per plant. And for the DANTAS emitter it can be attained by adopting higher values for the head loss ratio, with an increase in the number of emitters per plant.

Regarding the Uniformity Coefficient for the irrigation lateral line, for the IRTEC emitter and the IRTEC microemitter as well, two or more emitters per plant will be required to attain a coefficient above

90%, while for the DANTAS emitter, even with only one emitter per plant this coefficient will be around 96%.

Also, the Corrected Time of Irrigation will be relatively longer, with a high Coefficient of Manufacturing Variation of the emitter, for a determined percentage of plants to be adequately irrigated.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de irrigação por gotejamento é um método de aplicação de água às plantas, que foi introduzido no Brasil, efetivamente, a cerca de 10 anos, com tecnologia de países mais desenvolvidos neste setor, nos quais tornou-se bastante difundido devido aos benefícios proporcionados por este método, tais como:

(1) sensíveis aumentos na produtividade de várias culturas, em decorrência de um melhor controle da umidade do solo ao redor das plantas, permitindo flutuações mínimas no seu teor durante o ciclo de irrigação;

(2) grande economia no uso d'água, pois a eficiência da irrigação é das mais altas, em relação aos outros métodos, redundando num melhor aproveitamento dos

recursos hídricos em regiões onde há escassez de água.

O gotejamento, como método de irrigação, foi inicialmente desenvolvido em Israel, onde utilizou-se canalizações de aço perfuradas uniformemente e com o advento do material plástico, mais econômico e proporcionando uma maior flexibilidade ao sistema, impulsionou grandemente as pesquisas nesta área; com o aparecimento dos primeiros gotejadores especialmente idealizados para este fim, no início da década de 60 (GUSTAFSON, 1971).

A difusão deste método ocorreu em inúmeros outros países, como nos Estados Unidos, Austrália, Inglaterra, França, Itália, Alemanha, África do Sul, México, Espanha e Japão.

Atualmente a irrigação por gotejamento tem se desenvolvido bastante, pois existe uma preocupação, por parte das firmas que comercializam este sistema de irrigação, no aperfeiçoamento de seus equipamentos e dispositivos de emissão, bem como em pesquisar novas tecnologias, sempre tendo por finalidade: facilitar a operação e manejo do sistema para os agricultores; proporcionar melhor uniformidade de distribuição de água pelos dispositivos de emissão (gotejadores) e fazer com que haja uma redução no preço de aquisição do sistema,

permitindo, assim, a sua utilização por um maior número de agricultores.

Em 1976, Gustafson (apud OLIVEIRA, 1978 e FARIA, 1981) apresentou levantamento da área irrigada (em hectares) por gotejamento, realizado em diversos países, e fez a previsão, para o ano de 1980, de cerca de 350.000 ha irrigados por este método, no mundo, e para o Brasil cerca de 6.000 ha.

Segundo consulta aos fabricantes que comercializam este tipo de sistema de irrigação, estima-se que, até o ano de 1982, já haviam sido instalados no Brasil cerca de 2.400 ha, prevendo-se uma expansão maior para os próximos anos devido ao incentivo proporcionado pelo Programa de Financiamento para Aquisição de Equipamentos de Irrigação (PROFIR), do Ministério da Agricultura.

Para que um sistema de irrigação por gotejamento funcione adequadamente, dentro do limite de variação aceitável, há necessidade de um rigoroso controle na pressão e vazão dentro do sistema. Existem critérios rígidos de dimensionamento hidráulico do sistema, e também a necessidade de alguns componentes do sistema trabalharem com uma pressão superior à de serviço do gotejador. O relacionamento entre a pressão e a vazão dependerá das características hidráulicas de fluxo nos go



tejadores e da pressão de operação do sistema (OLITTA, 1977).

O ideal seria que a aplicação da água por todo o sistema de irrigação por gotejo fosse absolutamente uniforme. Para gotejadores espaçados uniformemente, isto exigiria que cada gotejador tivesse a mesma taxa de descarga, embora diferenças de pressão sejam inevitáveis ao longo da linha lateral.

Na prática as taxas de descarga dos gotejadores variam consideravelmente devido a diversos fatores, tais como:

- (1) características do gotejador projetado;
- (2) variabilidade na sua fabricação;
- (3) tempo de uso dos gotejadores;
- (4) perdas de carga por atrito nas tubulações da rede de distribuição;
- (5) diferenças topográficas na área do projeto;
- (6) o número de gotejadores entupidos no sistema;
- (7) o número e o grau de gotejadores parcialmente entupidos no sistema;
- (8) variação na temperatura da água por todo o sistema.

Os efeitos de cada um dos fatores citados acima, na uniformidade de aplicação da água, podem ser

variáveis, contudo a variabilidade na fabricação dos gotejadores pode ser particularmente importante.

No dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejo usa-se apenas as diferenças de nível do terreno e as perdas de carga ocorridas por atrito ao longo do tubo de polietileno, para determinar-se o comprimento da linha lateral de irrigação, de acordo com a vazão nominal do gotejador a uma determinada pressão de serviço. Porém, em trabalhos mais recentes, tem-se dado relevância à variabilidade existente de gotejador para gotejador, decorrentes de sua fabricação, devido a suas reduzidas dimensões.

Deve-se salientar que é praticamente impossível fabricar qualquer de duas unidades exatamente iguais. Alguma variação sempre existirá entre objetos supostamente "idênticos". A situação na irrigação por gotejo é tal que essas diferenças de gotejador para gotejador não são desprezíveis, podendo afetar enormemente a uniformidade de aplicação de água às plantas.

O dispositivo de emissão do sistema de irrigação por gotejamento é projetado para liberar a água a uma taxa de fluxo muito baixa. Por isso, as dimensões críticas do dispositivo tendem a ser pequenas e difíceis para fabricar precisamente. As variações que possam ocor

rer, embora pequenas em magnitude absoluta, podem representar uma relativamente grande variação porcentual.

Assim é que, se dois gotejadores tirados de um mesmo lote forem testados na mesma pressão e temperatura, poderão ter diferentes vazões. O total da diferença a ser esperada variará de um modelo de gotejador para outro, dependendo do projeto do gotejador, dos materiais usados em sua construção e do controle de qualidade com o qual é fabricado.

Portanto, este trabalho de dissertação tem por objetivo verificar a uniformidade de emissão de água em três tipos de gotejadores produzidos no Brasil, pretendendo-se estabelecer as Equações Características de Descarga-Pressão para cada modelo de gotejador estudado, e observar a variação na vazão dos gotejadores, causadas pelas diferenças entre eles, decorrentes do processo de fabricação, determinando-se o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ), a sua influência na distribuição de taxas de emissão (vazão) obtidas através de testes realizados com amostras de gotejadores, e o seu efeito na uniformidade de aplicação de água em linhas laterais de irrigação por gotejo a serem dimensionadas.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A introdução do método de irrigação por gotejamento não deve ser considerada somente como uma nova técnica para suprir água às culturas, mas, sim, como uma nova filosofia em termos de aplicação de água, fazendo parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, fitossanidade e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida, bem como na época da colheita e na qualidade do produto (BERNARDO, 1982).

A potencialidade do uso da irrigação por gotejamento na condução das culturas foi evidenciada por GOLDBERG e SHMUELI (1970), em experimentos realizados

com as culturas de pepino, tomate, melão e uva, trabalhando-se em condições de clima árido, solo salino e água contendo alto teor de sais, onde obteve-se resultados favoráveis. Também, vários outros pesquisadores, de diferentes países, durante o 2º Congresso Internacional de Irrigação por Gotejamento, realizado em San Diego, Califórnia, em 1974, ressaltaram esses resultados, apresentando trabalhos que evidenciaram o efeito do gotejamento em diversas culturas, proporcionando respostas altamente satisfatórias.

Em virtude destes resultados obtidos, com relação ao aumento da produtividade de diversas culturas, sob determinadas condições e situações, e a outros fatores que contribuíram para a rápida aceitação no uso desse método de irrigação, deparou-se com uma relativa escassez de informações sobre esse assunto, tendo surgido diversas dúvidas, desde a escolha do tipo de gotejador a ser empregado até a elaboração de um projeto hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento.

De acordo com HANSON (1973), a literatura existente sobre este assunto, até o ano de 1973, à exceção de poucos trabalhos publicados, encontrava-se disponível apenas na forma de panfletos ou manuais fornecidos por firmas fabricantes de equipamentos para es-

te tipo de irrigação.

De posse desses, até então, limitados conhecimentos existentes, KELLER e KARMELI (1974a) apresentaram um trabalho com informações necessárias ao dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento.

### 2.1 - Hidráulica de Sistemas de Irrigação por Gotejo

O projeto de um sistema de irrigação por gotejamento deve ser planejado como um todo, de modo a fornecer a quantidade necessária de água às plantas, segundo o esquema de irrigação projetado. Contudo, estes sistemas não aplicam a água com uma uniformidade perfeita ao longo da linha de plantas.

Esta não uniformidade é causada, entre outros fatores, pelas imperfeições na fabricação dos gotejadores e pelo entupimento que poderá ocorrer durante o tempo de uso dos mesmos. Esses problemas podem ser corrigidos pelo aperfeiçoamento dos processos de fabricação e pela filtragem da água para remoção de partículas grosseiras em suspensão e de matéria orgânica contidas na água de irrigação, além de técnicas de controle (manejo) para evitar precipitação de sal, quando for usada água com altos teores de sais.

O maior problema, do ponto de vista de projeto do sistema, é a fricção (atrito) causada pela resistência oferecida ao escoamento do fluxo de água, sob pressão, pelas paredes internas da linha lateral. A menos que o sistema seja projetado para compensar esta variação de pressão, a vazão do gotejador variará ao longo da linha lateral.

Vários fabricantes têm projetado gotejadores para reduzir variações de vazão causadas pelas mudanças de pressão, ocasionadas pelo atrito na linha lateral.

Algumas maneiras foram então introduzidas, como:

- gotejadores auto-reguláveis, onde seria ajustada uma determinada vazão para todos os gotejadores ao longo da linha lateral;
- laterais de tubos de parede dupla com orifícios espaçados uniformemente ao longo da linha;
- gotejadores de alta perda de carga, consistindo de longos canais espirais de diâmetro pequeno, em um arranjo rosca-parafuso, e também através de labirintos, descarregando de linhas laterais operadas a pressões maiores (1,0 atm.).

Para este último tipo de gotejador citado, a maior parte da perda de carga no sistema ocorrerá nos gotejadores, de modo que o efeito de mudanças de pressão ao longo da linha lateral é relativamente pequeno. Boa uniformidade de aplicação é possível com este sistema. As desvantagens incluem maior susceptibilidade de entupimento do gotejador, custos mais elevados do gotejador e o custo de manter uma pressão maior no sistema.

Devido à variação de descarga na linha lateral, a linha de gradiente de energia não será uma linha reta, mas uma curva do tipo exponencial. A distribuição de pressão ao longo da linha lateral poderá ser obtida apenas se a linha de gradiente de energia é conhecida.

MEYERS e BUCKS (1972) propuseram uma solução gráfica usando um sistema calibrado com gotejador múltiplo, para obter descarga uniforme do gotejador, enquanto KENWORTHY e KESNER (1974) propuseram regular o comprimento de um gotejador, tipo microtubo, com o fim de obter descarga uniforme de cada gotejador. Os resultados destas pesquisas têm mostrado que a descarga uniforme pode ser alcançada se a distribuição ao longo da linha puder ser determinada.



WU e GITLIN (1973) desenvolveram um simples modo de estimar a distribuição de pressão ao longo de uma linha de gotejadores e apresentaram vários meios para regular ou adaptar gotejadores com a finalidade de alcançar uma descarga uniforme do gotejador, como desejado. Notaram, também, que o dimensionamento de curvas de pressão para linhas de gotejadores, calculadas por repetidas vezes, tinham a mesma forma.

KELLER e KARMELI (1974b), além disso, indicaram que a forma geral e características da curva de perda de carga da linha lateral de gotejadores são essencialmente independentes do expoente de descarga "x" do gotejador e do total da perda de carga.

Em geral, a taxa de fluxo através do gotejador é controlada pela carga hidráulica atuando no gotejador e pelas dimensões da passagem de fluxo do gotejador. Desde que a água esteja fluindo através da linha lateral, ocorrerá uma perda de energia devido ao atrito e uma distribuição de pressão existirá ao longo do comprimento do tubo. Se a geometria do gotejador é fixada, então uma distribuição da taxa de fluxo correspondente, proporcional à distribuição de pressão, existirá ao longo do comprimento do tubo.

Conforme os trabalhos apresentados por KENWORTHY (1972), MEYERS e BUCKS (1972), BUCKS e MEYERS (1973) e WU e GITLIN (1973), foram desenvolvidos procedimentos para projeto da linha lateral de gotejo que especificavam o uso de gotejadores de tamanhos diferentes (diâmetro do orifício ou tamanho do microtubo) por todo o sistema, para alcançar-se melhor uniformidade. Contudo, em geral, na prática as características do gotejador são comumente fixadas e a taxa de fluxo é determinada unicamente pela pressão, além do que a utilização de gotejadores de calibres diferentes em um sistema, exigiria construção, instalação no campo e práticas de manutenção, que são geralmente consideradas impraticáveis para uso a nível de campo.

HOWELL e HILER (1974) deduziram equações, a serem utilizadas em projetos do sistema, para determinar comprimentos de linhas laterais em irrigação por gotejamento para uma uniformidade de fluxo selecionada. As equações de projeto são desenvolvidas de princípios da mecânica dos fluidos e são dependentes das características hidráulicas do gotejador e da linha lateral. Em outros trabalhos, HOWELL e HILER (1974a e 1974b), discutiram o método em detalhes e proporcionaram soluções gráficas.

## 2.2 - Uniformidade de Aplicação

Segundo SOLOMON (1976), vários dispositivos de emissão (gotejadores), substituições de material usado em sua construção e técnicas de projeto são disponíveis para minimizar os problemas que levam para a desuniformidade de aplicação, mas todos eles custam dinheiro e/ou tempo. Assim, os custos de aproximar-se da perfeição deveriam ser pesados cuidadosamente contra os custos de não alcançá-la.

Perda de potencial de produção e desperdícios de recursos de irrigação são também consequências indesejáveis de uma falta de uniformidade de emissão.

Ainda uma outra razão para ser considerada com a uniformidade de aplicação, é que ela desempenha um importante papel no processo de programação da irrigação. Programação cuidadosa e, tempo e total de irrigação, podem ter considerável valor em termos de economia de água e melhoria de produção por unidade de área e/ou produção por unidade de água. A programação da irrigação é basicamente um processo para manter-se sob controle o estado de umidade do solo na zona do sistema radicular.

Os totais de água acrescidos à zona radicular pela irrigação ou precipitação e os totais de água removidos da zona radicular pela evapotranspiração, até o momento, são baseados em estimativas. É necessário conhecer-se a eficiência do sistema de irrigação, tal que o relacionamento entre totais brutos de irrigação e adições líquidas à zona radicular possa ser estabelecido.

A eficiência de sistemas de irrigação por gotejo depende diretamente da uniformidade com a qual a água é descarregada dos dispositivos de emissão por todo o sistema.

WU e GITLIN (1973), HOWELL e HILER (1974) e GOLDBERG *et alii* (1976), ressaltam que os maiores fatores que afetam a uniformidade das taxas de fluxo dos dispositivos de emissão são, comumente, atribuídos às características do gotejador projetado e às diferenças de pressão no sistema, devido a perdas de energia por atrito e a diferenças de elevação do terreno.

HOWELL e HILER (1974) apresentaram um procedimento para dimensionamento de uma linha lateral de gotejamento baseado no Coeficiente de Uniformidade (CU), no qual os efeitos na uniformidade de aplicação, das características do gotejador projetado, das perdas de carga por atrito por toda a tubulação da rede de distri-

buição e das diferenças de elevação por todo o campo, são levadas em consideração.

Contudo, a variabilidade na fabricação e tempo de uso dos gotejadores podem ser muito importantes. Além disso, a distribuição dos valores observados devido às variações de pressão não é dada sempre pela distribuição de Gaussian.

KELLER e KARMELI (1974a,b), SOLOMON (1976 e 1977) e SOLOMON e KELLER (1978), apontaram para este fator, o qual deveria ser considerado, que é a variação unidade/unidade com a qual os dispositivos de emissão são fabricados. Esta variação na fabricação de gotejadores pode também ter uma maior influência na uniformidade de sistemas de irrigação por gotejo, e não deveria ser deixada de lado.

Já SOLOMON e KELLER (1978) consideraram os efeitos na uniformidade de aplicação, das características do gotejador projetado, da variabilidade na fabricação e tempo de uso dos gotejadores, e das perdas de carga por atrito por toda a tubulação da rede de distribuição, assumindo a temperatura da água constante e que nenhum gotejador sofria de qualquer grau de entupimento. Não há nenhum método analítico prático para lidar com todos os oito itens, relacionados anteriormente,

responsáveis pela variação nas taxas de fluxo dos gotejadores, durante o projeto do sistema. Contudo, um procedimento de campo para avaliar a uniformidade de um sistema em operação é apresentado por KELLER e KARMELI (1974a, b) e por MERRIAN *et alii* (1975).

O estudo da uniformidade de aplicação na irrigação por gotejo é chamada "Uniformidade de Emissão", e pode referir-se ou a uniformidade de totais emitidos ou a taxas de emissão. A Uniformidade de Emissão é importante, porque é um dos dois componentes da Eficiência de Irrigação (o outro sendo várias perdas associadas com o sistema de irrigação).

Um projeto considerável do sistema e o esforço no manejo da irrigação são direcionados para ir de encontro com o problema de falta de uniformidade na aplicação de água, através do método de irrigação por gotejamento.

#### 2.2.1 - Fatores que afetam a uniformidade de emissão

Desde taxas de emissão, que são a primeira consideração na Uniformidade de Emissão, qualquer coisa que afete uma taxa de descarga do gotejador pode afetar a uniformidade de emissão de um sistema de irrigação por gotejo.

Os fatores que afetam a uniformidade de emissão de um sistema de irrigação por gotejamento são citados por SOLOMON (1976):

Primeiro: o próprio gotejador influencia a taxa de emissão. Características da passagem de fluxo no gotejador, projetado e fabricado, são importantes em determinar como a taxa de emissão responde para as outras variáveis que estão influenciando.

Segundo: há alguma variabilidade na fabricação de gotejadores. Nenhum processo de fabricação é tão exato que produz unidades iguais tempo após tempo. Portanto, mesmo sob condições idênticas, taxas de emissão podem variar de um gotejador para o próximo.

Terceiro: perdas de energia por atrito por toda a rede de distribuição afetam taxas de emissão. Perdas por atrito causam a variação da pressão disponível em cada gotejador localizado. Em geral a taxa de emissão é uma função da pressão disponível.

Quarto: diferenças de elevação por toda a parcela do sistema de gotejo afetam as taxas de emissão. Topografia irregular também causa variações de pressão dentro do sistema.

Quinto: o número de gotejadores entupidos no siste

ma é uma consideração óbvia. Os caminhos críticos da passagem do fluxo nos gotejadores são muito pequenos, tal que sem filtragem suficiente da água de irrigação, resultará em entupimento inevitável. Um bom sistema de filtragem, apropriado para as exigências do gotejador utilizado, e com uma manutenção e manejo adequados, minimizaria este fator.

Sexto: o número e grau de gotejadores parcialmente entupidos afeta a uniformidade de emissão. Mesmo com bons sistemas de filtragem, alguns gotejadores sofrerão este problema. Se há partículas finas de silte e argila na água, elas poderiam depositar-se nas passagens de fluxo do gotejador, pois as velocidades d'água nestas áreas são baixas. Isto ligeiramente reduz o diâmetro de passagem, causando um decréscimo gradual na taxa de emissão.

Sétimo: a temperatura da água nas linhas plásticas podem influenciar as taxas de emissão. Se as linhas são colocadas na superfície do terreno, e estão sujeitas ao calor solar, a temperatura da água variará dependendo da hora do dia ou da noite, e outras condições atmosféricas. A taxa de emissão de alguns gotejadores depende da viscosidade da água, a qual por sua vez depende da temperatura da água. A temperatura da água pode influenciar as taxas de emissão de alguns gotejadores, porque afeta



as dimensões ou características de certas partes críticas no interior dos gotejadores.

Oitavo: em alguns casos, a idade dos gotejadores afeta a taxa de emissão. Um gotejador que está no campo por algum tempo pode sofrer algum grau de entupimento parcial. Em outras circunstâncias, o envelhecimento pode ter alterado as características de algumas partes do gotejador.

### 2.2.2 - Estimativa da uniformidade de emissão

Em irrigação por gotejo, a tendência é de aplicar-se totais reduzidos de água para a planta, além de irrigar-se somente uma porção da zona radicular das plantas.

Em razão disto, KELLER e KARMELI (1974) usaram a relação entre as menores taxas de emissão com a taxa de emissão média, que ocorreria dentro do sistema, para estimar-se a uniformidade de emissão de um determinado projeto do sistema de irrigação por gotejo.

Este processo considera as taxas de emissão abaixo da média como mais importantes, do que aquelas acima, e também considera as mais baixas taxas de emissão como sendo mais importantes do que aquelas somente um pouco abaixo da média.

Os autores notaram que este relacionamento é o mais importante fator na uniformidade de aplicação, desde que um dos objetivos originais de um projeto do sistema de irrigação por gotejo é o de assegurar capacidade suficiente ao sistema para irrigar adequadamente a área que receber menor quantidade de água, parece razoável preocupar-se mais com a falta do que com o excesso de água aplicado em cada planta.

Estes autores sugeriram dois parâmetros para definir a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação por gotejo: a Uniformidade de Emissão do Projeto (UE) e a Uniformidade de Emissão no Campo (UE'), que são, provavelmente, mais relevantes para a irrigação por gotejamento do que o Coeficiente de Uniformidade (CU) usado na irrigação por aspersão.

Para estimar a Uniformidade de Emissão (UE) para um determinado projeto, propuseram a seguinte fórmula:.

$$UE = 100 \cdot \left(1,0 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} \cdot CV_f\right) \cdot \frac{q_n}{q_a}, \quad (1)$$

em que:

UE é a uniformidade de emissão do projeto, em porcentagem;

$CV_f$  é o coeficiente de variação de fabricação para o gotejador utilizado, adimensional;

- e é o número de gotejadores por planta;
- $q_n$  é a taxa mínima de emissão do gotejador, calculada pela pressão mínima no sistema (baseada na curva de relacionamento nominal entre a taxa de descarga do gotejador e a carga hidráulica), em l/h;
- $q_a$  é a taxa média de emissão do gotejador, de todos os gotejadores em consideração, em l/h.

A relação de  $q_n$  com  $q_a$  expressa o relacionamento da taxa de emissão mínima com a taxa de emissão média. O valor 100 é necessário para converter a relação em uma porcentagem. O fator, no meio da fórmula, ajusta para a não uniformidade adicional causada pela variação antecipada entre gotejadores individuais, decorrentes do processo de fabricação. A dedução desse termo intermediário originou-se de uma consideração da teoria estatística de uma variável ao acaso distribuída normalmente.

Os autores usaram a Uniformidade de Emissão (UE) nos procedimentos de projeto como um conceito de eficiência para calcular a lâmina bruta de irrigação, o intervalo de irrigação e a capacidade exigida do sistema. Eles recomendaram que Uniformidades de Emissão (UE's)

do sistema de 94% ou mais são desejáveis, e em nenhum caso a Uniformidade de Emissão (UE) dos projetos deveria estar abaixo de 90%.

A produtividade e a qualidade da colheita podem ser afetadas tanto pelo excesso de água como pela falta de água. Portanto, também foi desenvolvido um parâmetro da uniformidade de aplicação que inclui as taxas de descarga máxima e mínima do gotejador.

Este outro parâmetro de uniformidade, sugerido por KELLER e KARMELI (1974), é a Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa), o qual inclui as relações tanto da taxa máxima de fluxo do gotejador como da taxa mínima, com a taxa média de fluxo do gotejador.

A Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) do projeto é útil por antecipar a uniformidade geral de emissão dentro do sistema. É um parâmetro que descreve o intervalo esperado de taxas de descarga do gotejador para um dado projeto do sistema de irrigação por gotejo.

Para determinar-se a Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) do projeto, propuseram a seguinte fórmula:

$$UEa = 100 \cdot \left( 1,0 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} \cdot CV_f \right) \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{q_n}{q_a} + \frac{q_a}{q_x} \right), \quad (2)$$

onde:

UEa é a uniformidade de emissão absoluta do projeto, em porcentagem;

$q_x$  é a taxa máxima de descarga do gotejador, calculada pela pressão máxima no sistema, usando-se a curva de relacionamento nominal entre a taxa de descarga do gotejador e a carga hidráulica, em l/h.

SOLOMON e KELLER (1978) apresentaram uma tabela que mostra os resultados dos cálculos de UE e UEa para várias situações. Foram considerados pesos numéricos para algumas das observações gerais anteriormente feitas, considerando os histogramas da taxa de fluxo. Mesmo com pequena perda de carga no sistema ou se o expoente de descarga do gotejador elimina a perda de carga da consideração, isto é,  $x = 0$ , a Uniformidade de Emissão (UE) pode ainda estar abaixo dos limites aceitáveis se o Coeficiente de Variação do gotejador para o sistema ( $CV_{fs}$ ) for muito elevado.

### 2.2.3 - Coeficiente de uniformidade de irrigação

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação pode ser avaliada através de vários métodos disponíveis para esta finalidade, e KELLER e KARMELI (1974) introduziram um parâmetro especificamente aplicado em irrigação por gotejo, que é a Uniformidade de Emissão (UE), em porcentagem, no qual cujas definições usadas foram baseadas em um trabalho similar desenvolvido por HART (1961).

Este autor desenvolveu o modelo de eficiência de Hart ( $PE_H$ ), que resultou de simplificações baseadas em definições estatísticas, do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen ( $CU_c$ ), que é uma das mais amplamente usadas equações em irrigação por aspersão.

Os tratamentos estatísticos têm a vantagem de simplicidade, em que apenas a taxa média e, ou o desvio padrão, ou o coeficiente de variação, são exigidos para estimar as várias formas de coeficientes de uniformidade.

SOLOMON (1977) usou o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador ( $CV_f$ ) para descrever estatisticamente a variação na frequência de gotejadores

dentro de um grupamento de taxas de fluxo ordenadas. A apresentação demonstra dramaticamente como a uniformidade de aplicação de água pode decrescer com um aumento no coeficiente de variação. Há um fator corretivo, contudo, em que a uniformidade pode ser melhorada pelo aumento do número de gotejadores por planta, e KELLER e KARMEI (1974) incluíram este termo no cálculo de sua Uniformidade de Emissão (UE).

NAKAYAMA *et alii* (1978) desenvolveram um método para mostrar a uniformidade de aplicação de água pelos gotejadores no sistema de irrigação por gotejo baseado no Coeficiente de Variação de gotejadores, onde é avaliada em termos das taxas de fluxo médias para um subgrupo específico dentro da população total.

Com este tratamento, a taxa de fluxo para qualquer subgrupo poderia ser relacionada com a taxa de fluxo média do grupo total. Em adição, esta descrição pode ser usada para relacionar a variabilidade de descarga do gotejador, ou uniformidade, em uma maneira similar àquela já desenvolvida para o coeficiente de uniformidade em sistemas por aspersão. Desta forma, com definições consistentes, critérios apresentados para projetos de irrigação por aspersão podem ser diretamente relacionados com o sistema de irrigação por gotejo.

Assim, os autores utilizaram a definição do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen ( $CU_c$ ) para substituir a diferença absoluta entre os valores de vazão observados e a vazão média do total de observações realizadas, pela diferença absoluta entre a taxa de fluxo média do subgrupo respectivo e a taxa de fluxo média do grupo total, tal que a equação resultaria em um termo que representa o somatório da estimativa da média dos valores da variável reduzida ( $\bar{t}_i$ ) para cada respectivo subgrupo, dividido pelo número de subgrupos usados para calcular os valores  $\bar{t}_i$ . Desta forma chegou-se à equação do Coeficiente de Uniformidade para um projeto de irrigação por gotejo:

$$CU_p = (1 - 0,798 \cdot CV_f / \sqrt{e}) \cdot 100 \quad , \quad (3)$$

onde:

$CU_p$  = Coeficiente de Uniformidade do projeto, em porcentagem;

$CV_f$  = Coeficiente de Variação de Fabricação, para gotejadores novos, adimensional;

$e$  = número de gotejadores por planta.

O valor 0,798 foi calculado através do termo que representa o somatório da estimativa da média dos valores da variável reduzida ( $\bar{t}_i$ ) para cada respec-



tivo subgrupo, dividido pelo número de subgrupos usados para calcular os valores  $\bar{t}_i$ , enquanto que  $CV_f$  vem a ser o Coeficiente de Variação de Fabricação para gotejadores novos, que deveria ser fornecido pelo fabricante, e  $e$  o número de gotejadores utilizados em cada planta, desde que um único gotejador poderia não ser suficiente para fornecer água às plantas o bastante para encontrar sua necessidade hídrica diária.

A equação (3) é similar ao Coeficiente de Uniformidade de Hart ( $CU_H$ ), mas com a introdução do fator  $1/\sqrt{e}$ . Também admite-se existir similaridade na forma entre  $CU_p$  e  $UE$ , mas a dedução original da Uniformidade de Emissão, de KELLER e KARMELI (1974), é baseada na relação das 25% menores taxas de fluxo dos gotejadores com a taxa de fluxo média, enquanto que o Coeficiente de Uniformidade, de NAKAYAMA *et alii* (1978), baseou-se nos desvios da taxa de fluxo média.

Ainda, NAKAYAMA *et alii* (1978) mostraram que o interrelacionamento entre o Coeficiente de Uniformidade do projeto calculado, o Coeficiente de Variação de Fabricação para o gotejador e o número de gotejadores por planta, pode ser usado como um guia para selecionar o número de gotejadores por planta. Em adição, um Coeficiente de Uniformidade de campo e um Coeficiente de

Variação do gotejador, avaliado no campo, foi relacionada com a fração de plantas adequadamente irrigadas.

### 2.3 - Dispositivos de Emissão (Gotejadores)

Os dispositivos de emissão ou gotejadores são estruturas de plástico conectadas às linhas laterais, capazes de dissipar a pressão disponível na linha lateral e de aplicar vazões pequenas e constantes. Eles são as peças principais do sistema de irrigação por gotejamento.

Quanto à conexão dos gotejadores na linha lateral, temos, segundo KELLER e KARMELI (1974), gotejadores conectados "sobre", "na" e "no prolongamento" da linha lateral.

As principais características desejáveis nos gotejadores, segundo os autores, são:

- fornecer uma vazão relativamente baixa, constante e uniforme;
- ter uma secção transversal de fluxo relativamente grande, para evitar problemas com entupimento;
- ser barato, resistente e compacto.

Segundo BERNARDO (1982), a vazão dos gotejadores, em geral, varia entre 1 a 10 l/h. Normalmente eles trabalham sob uma pressão de serviço de 10 m de coluna d'água, existindo tipos que trabalham sob pressões menores (até 5 m de coluna d'água) e outros que trabalham sob maiores pressões (até 30 m de coluna d'água). Sendo que já existem tipos que trabalham com vazão constante sobre uma faixa bem ampla de pressão.

MEYERS e BUCKS (1972) citam que os sistemas de irrigação por gotejo que trabalham com alta pressão, onde no gotejador ocorre alta perda de carga, tem oferecido a melhor oportunidade para a uniformidade de vazão do gotejador, até o presente momento. Sistemas previamente projetados com baixa pressão tem sofrido de desuniformidade de vazão do gotejador, por causa das mudanças de pressão induzidas por atrito ao longo da linha lateral e representam uma alta porcentagem da pressão total.

Já BERNARDO (1982) comentou que gotejadores de vazão "constante" em uma faixa bem ampla de pressão, possuem uma característica bastante desejável, pois permite uma vazão constante ao longo da linha lateral, independente da variação de pressão ao longo dela.

Como o dimensionamento da linha lateral é função da variação de vazão entre o primeiro e o últi

mo gotejador na linha lateral, variação esta que não deve exceder a 10% da vazão média dos gotejadores, ao longo da lateral, os gotejadores de vazão constante, sob diferentes pressões, permitem dimensionar sistemas com linhas laterais mais longas, o que diminui o custo do sistema.

Para conseguir uma grande perda de carga e uma taxa de emissão pequena, a secção transversal de fluxo deverá ser normalmente muito pequena, com o seu diâmetro, em geral, variando entre 0,3 a 1,0 mm, a qual pode entupir facilmente. Aumentando-se a secção transversal do fluxo, para diminuir o problema de entupimento, ocorrerá uma menor perda de energia, com o consequente aumento da vazão.

Por isto, para obter-se uma pequena vazão através de um relativamente grande orifício, é necessário reduzir a pressão da água entre a entrada e a saída no gotejador, de alguma maneira, para dissipar esta pressão, caso contrário aumentar-se-á em muito a vazão do gotejador. Isto pode ser conseguido de diferentes modos, ou seja, aumentando-se o comprimento de percurso do fluxo, estabelecendo-se percursos em labirinto, adaptando-se válvulas para controle de vazão, etc., originando-se, assim, os mais variados tipos de goteja-

jadadores.

Os principais tipos de gotejadores, segundo BERNARDO (1980), são:

- microtubos;
- gotejador com longo percurso integrado;
- gotejador tipo orifício;
- tubos perfurados, com câmara simples e dupla;
- microgotejadores.

Como as secções transversais de fluxo dos gotejadores são geralmente de diâmetros reduzidos, sua fabricação deverá ser exata e bastante uniforme, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças na vazão.

### 2.3.1 - Variação na fabricação dos gotejadores

Conforme ressaltado por KELLER e KARMELI (1974), SOLOMON (1976 e 1977) e SOLOMÓN e KELLER (1978), o fator da variação unidade/unidade com os quais os dispositivos de emissão são fabricados, pode também ter uma maior influência na uniformidade de sistemas de irrigação por gotejo.

O dispositivo da irrigação por gotejo é projetado para descarregar água em uma taxa de fluxo

muito baixa. Por isso, as dimensões críticas do dispositivo tendem a ser pequenas e difíceis para fabricar precisamente. Variações que ocorrem, embora pequenas em magnitude absoluta, representam uma relativamente grande variação porcentual. Também, alguns gotejadores utilizam um material elástico para atingir uma compensação de pressão ou capacidade de expulsar a água em forma de jato ("flushing"), e tais materiais são essencialmente difíceis de preparar com características e dimensões consistentes.

A menos que, cuidados sejam tomados em sua fabricação, mesmo partes plásticas podem estar sujeitas a variação considerável. Há um número de variáveis de controle para uma máquina de molde, tais como: temperatura e pressão da injeção, velocidade de injeção, temperatura de molde, tempo do ciclo e operações de molde. Mudanças em qualquer desses fatores causam uma mudança nas condições do plástico que está sendo moldado: temperatura, pressão e taxa de resfriamento. Isto, por sua vez, afetam as características finais da parte produzida: tamanho, forma, peso, resistência e superfície final.

Os resultados de muitos processos de fabricação tendem a ser normalmente distribuídos sobre

seus valores médios. Portanto é razoável tratar a variação em taxas de emissão, em uma dada pressão, como uma variável distribuída normalmente. O total dessa variação é medida pelo Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ). O valor de  $CV_f$  deveria ser providenciado pelo fabricante do gotejador. Se não o for, podrá ser calculado através de dados obtidos com o Teste de Uniformidade de Vazão do gotejador.

SOLOMON (1977), após tabular valores, em porcentagem, das taxas de fluxo que desviaram da taxa média de fluxo, para quatro dispositivos testados, sendo três gotejadores de fonte de ponto e um de fonte de linha, cujos resultados foram baseados em amostras de 50 observações e testados em uma pressão de serviço normal para cada dispositivo, concluiu que estes resultados foram típicos daqueles coletados por muitos dispositivos de emissão. Também ressaltou que dois importantes pontos a serem notados são:

- (1) alguns dispositivos exibiram considerável variação unidade/unidade em taxas de fluxo, mesmo quando a pressão de serviço e temperatura são mantidas constantes; e
- (2) o total de variação de fabricação a ser esperado depende do dispositivo particular a ser considerado.

### 2.3.2 - Coeficiente de variação de fabricação do gotejador

Com a crescente tendência para melhorar a uniformidade em projetos do sistema de irrigação por gotejo, a variação na fabricação de um gotejador para outro está tornando-se uma classificação das mais importantes.

Algum método é necessário para avaliar numericamente esta tendência em direção a variações na taxa de fluxo dos gotejadores, unidade/unidade, devido aos processos de fabricação. As taxas de emissão, em uma dada pressão, para uma grande amostra do modelo do gotejador em questão, deveriam ser medidas.

Recomenda-se que seja adotado como uma medida adequada para avaliar o total dessa variação, o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador ( $CV_f$ ), como foi descrito inicialmente por KELLER e KARMELI (1974), e citado por SOLOMON (1977), que vem a ser um termo usado para descrever a variação antecipada na taxa de descarga de uma amostra de gotejadores novos, quando operados em qualquer dada carga hidráulica.

O Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) pode ser determinado através das taxas de descarga, obtidas pela amostragem de um grupo de gotejadores



operados em uma carga hidráulica de referência.

O Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador ( $CV_f$ ) foi definido inicialmente por KELLER e KARMELI (1974), da seguinte maneira:

$$CV_f = \frac{s}{\bar{q}}, \quad (4)$$

onde:

$CV_f$  = Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador, adimensional;

$s$  = desvio padrão das taxas de fluxo de uma amostra adequada de gotejadores novos, todos testados na pressão de serviço normal, em volume por unidade de tempo;

$\bar{q}$  = estimativa da média das taxas de fluxo da amostra assim testada, em volume por unidade de tempo.

Valores típicos para o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador, podem variar de 0,02 a 0,20, apesar de valores mais altos serem observados algumas vezes.

O significado físico de  $CV_f$  pode ser explicado por assumir a distribuição de taxas de emissão, para um dado dispositivo, em pressão de serviço normal, seguir uma distribuição normal. Então, essencialmente,

todas as taxas de fluxo observadas cairão dentro de três desvios padrões das taxas de fluxo. Cerca de 95% das taxas de fluxo observadas cairão dentro de dois desvios padrões das taxas de fluxo e 68% cairão dentro de uma vez o desvio padrão das taxas de fluxo.

Da definição do Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador, teremos  $s = CV_f \cdot \bar{q}$ . Estando dentro de 1, 2 ou 3 desvios padrões das taxas de fluxo, implica ter taxas de fluxo dentro dos seguintes limites:

$$(1 \pm CV_f) \cdot \bar{q} \quad ; \quad (1 \pm 2CV_f) \cdot \bar{q} \quad ; \quad (1 \pm 3CV_f) \cdot \bar{q} ,$$

respectivamente.

SOLOMON (1977) fez várias considerações, que proporcionaram pelo menos uma justificativa informal para supor que as taxas de fluxo dos gotejadores, em uma dada pressão, são distribuídas normalmente:

- (1) Primeiro, as distribuições observadas com quatro diferentes dispositivos, pareceram, subjetivamente, estarem próximas da distribuição normal;
- (2) Segundo, variações de muitos processos de fabricação tendem a ser normalmente distribuídos sobre seus valores médios. Além disso, a taxa de fluxo de um gotejador pode ser considerada

como sendo o resultado final de numerosas variáveis ao acaso atuando por todo o processo de fabricação, e o resultado composto tenderá para a normalidade, mesmo se algumas das variáveis individuais são não normais;

- (3) Terceiro, apesar de não exigido, a suposição de normalidade é conveniente em termos de cálculos. Uma distribuição normal é caracterizada completamente por sua média e desvio padrão, suas propriedades analíticas são bem conhecidas, e valores tabulados são facilmente disponíveis;
- (4) Finalmente, o emprego para os quais essas distribuições serão colocadas, com as inconstâncias e imprecisões inerentes em outras facetas do problema, provavelmente não asseguraria o uso de uma distribuição mais complexa, mesmo se reconhecida ser mais representativa do que a distribuição normal.

A suposição de que a variação das taxas de fluxo de gotejadores, em uma dada pressão, acompanha uma distribuição normal, permite o cálculo da variação esperada nas taxas de fluxo para diferentes Coeficientes de Variação de Fabricação.

SOLOMON (1977) classificou os gotejadores de acordo com os valores encontrados de  $CV_f$ , quando determinados conforme o exposto neste ítem, sugerindo as seguintes interpretações:

$CV_f$	Interpretação
$\leq 0,03$	excelente
0,06	médio
0,09	marginal
0,12	mau
$\geq 0,15$	péssimo

O valor de  $CV_f$  é usado para calcular a Uniformidade de Emissão do projeto e a Eficiência de Irrigação do sistema.

SOLOMON e KELLER (1978) relatam que diferenças de fluxo devidas à variação de fabricação podem ser até mais importantes do que diferenças de fluxo devidas às variações de pressão dentro da rede de tubulações, desde que o Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) do gotejador possa ser maior do que 0,10.

## 2.4 - Relacionamento entre Pressão e Taxa de Fluxo do Gotejador

KELLER e KARMELI (1974a,b) e HOWELL e HILLER (1974) sugeriram que o fluxo de gotejadores pode ser caracterizado pela seguinte expressão:

$$q = K_d \cdot H^x \quad , \quad (5)$$

onde:

$q$  = taxa de descarga do gotejador, em l/h;

$K_d$  = coeficiente de descarga, que caracteriza cada gotejador, adimensional;

$H$  = carga hidráulica no gotejador, em m de coluna d'água;

$x$  = expoente de descarga, que caracteriza o regime de fluxo do gotejador.

O valor de  $x$  caracteriza o regime de fluxo e o relacionamento da pressão versus descarga do gotejador. Quanto mais baixo o valor de  $x$ , menos a descarga será afetada pelas variações de pressão. Em fluxo completamente turbulento,  $x = 0,5$ , e em fluxo laminar,  $x = 1,0$ .

Para gotejadores do tipo orifício de não-compensação e do tipo bocal, são sempre completamente

turbulentos, com  $x = 0,5$ . Para gotejadores do tipo compensação de pressão,  $0,0 \leq x < 0,5$ . Contudo, o expoente para gotejadores do tipo longo-percurso pode variar dentro do intervalo  $0,5 < x \leq 1,0$ .

SOLOMON e KELLER (1978) calcularam a distribuição de taxas de emissão que ocorriam dentro de sistemas de irrigação por gotejamento, sob várias circunstâncias. Supondo um terreno plano, os autores desenvolveram, primeiro, uma expressão geral para a pressão disponível em qualquer ponto dentro da rede de tubulação do sistema. Isto permitiu o cálculo da taxa de fluxo do gotejador a ser esperada em qualquer ponto, baseado na suposta equação da taxa de fluxo do gotejador, descrita anteriormente.

Supondo-se todos os gotejadores funcionando exatamente iguais, como indicado pela equação da taxa de fluxo, esses cálculos determinaram a distribuição esperada das taxas de emissão dentro do sistema. Esta é a distribuição das taxas de emissão médias a serem esperadas nas várias pressões por todo o sistema. A distribuição de taxas de emissão esperadas em cada pressão, devido a variação de fabricação, foi adicionado nesta, dando a distribuição global de taxas de emissão dentro do sistema.

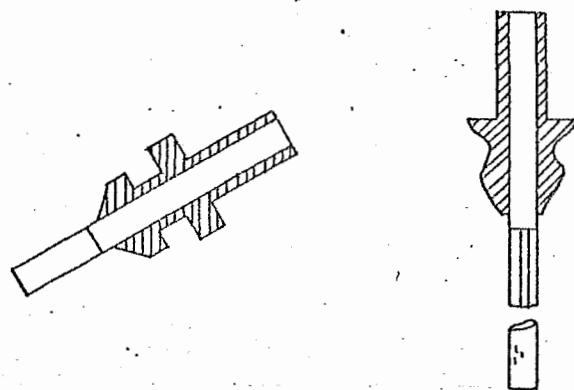
Ainda os autores, SOLOMON e KELLER (1978), dizem que é impossível fabricar um lote (ou conjunto) de gotejadores todos com os mesmos valores do Coeficiente de Descarga ( $K_d$ ). As variações resultantes de muitos processos de fabricação tendem a ser normalmente distribuídas sobre seus valores médios. Assim, é razoável tratar as variações antecipadas nas taxas de fluxo dos gotejadores, em qualquer dada carga hidráulica, como refletindo uma distribuição normal caracterizada pelo Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) do gotejador.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

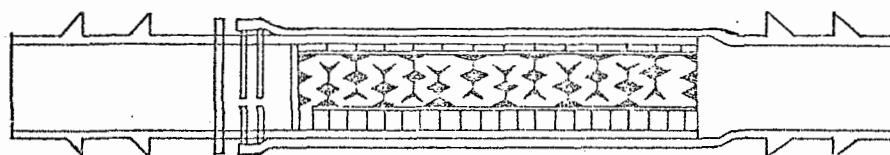
Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba.

A finalidade do trabalho foi a de estudar o desempenho hidráulico de três tipos de gotejadores de fabricação nacional, encontrados no comércio com os seguintes nomes: DANTAS, IRTEC e microgotejador IRTEC, e que neste trabalho de dissertação serão denominados por DANTAS, IRTEC-1 e IRTEC-2, respectivamente (Figura 1).

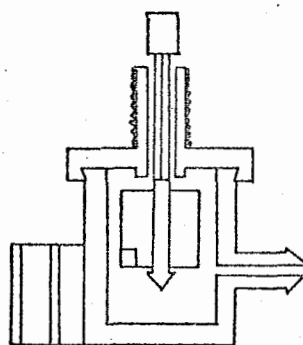




Microgotejador IRTEC



Gotejador DANTAS



Gotejador IRTEC

Figura 1 - Corte longitudinal dos três modelos de gotejadores experimentados.

### 3.1 - Descrição do Laboratório de Hidráulica

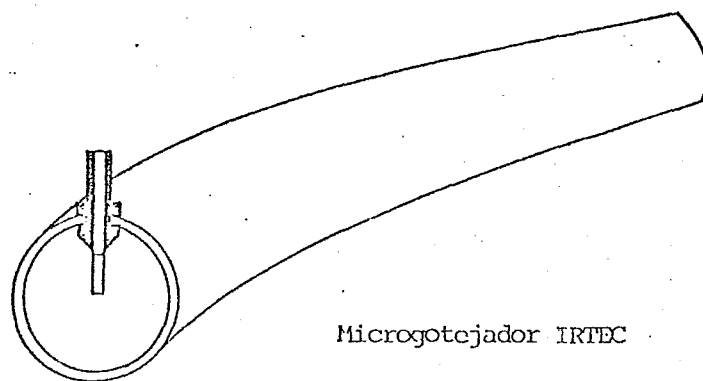
As instalações do Laboratório de Hidráulica estão localizadas no Departamento de Engenharia Rural, ESALQ, ocupando uma área de 460 m<sup>2</sup>, e compreende um sistema contínuo de circulação de água, constituído por dois reservatórios, sendo um enterrado com capacidade para 22.500 litros e outro elevado com 18.000 litros de volume, por dois conjuntos moto-bombas, sendo um com capacidade de recalque de 500 m<sup>3</sup>/h e o outro com uma capacidade de 25 m<sup>3</sup>/h, e por uma canalização de abastecimento de 150 mm de diâmetro.

Uma diferença de nível (altura geométrica) de 15,0 metros, entre os espelhos d'água dos reservatórios, confere condições necessárias para o instrumental de pesquisa.

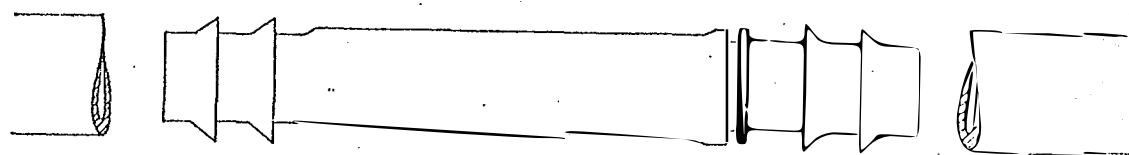
### 3.2 - Descrição dos Gotejadores

Os gotejadores estudados neste trabalho estão entre os principais tipos de gotejadores relacionados por BERNARDO (1982). As características técnicas dos três modelos de gotejadores experimentados neste trabalho, segundo os seus fabricantes, são as seguintes:

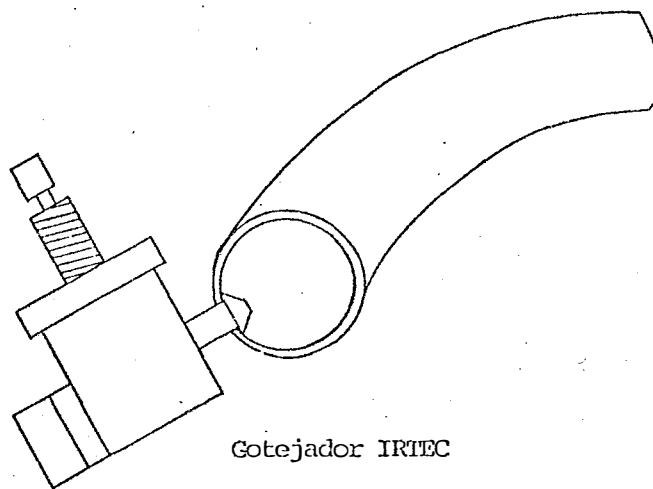
Gotejador DANTAS: constitui-se de um corpo composto por duas partes, na qual uma delas, a interna, possui ao longo de seu comprimento câmaras formando labirintos para a passagem do fluxo de água, que através de seu relativamente longo percurso, irá fazer com que a água perca energia pelo atrito,, assim como pela turbulência do fluxo, para, em seu final, sair apenas gotejando. Esta turbulência evita a sedimentação de partículas contidas na água filtrada de irrigação (menores que 0,074 mm), evitando desta forma as obstruções do gotejador. O gotejador foi especificamente projetado para eliminar entupimentos. À medida que a água corre pelo interior do gotejador, ao longo da linha de gotejadores, forma-se um redemoinho que leva os sólidos em suspensão pelo centro do fluxo, enquanto o gotejador é alimentado pela parte externa do redemoinho. O modelo de gotejadores estudado apresenta uma capacidade de gotejamento de 4,0 litros por hora', de vazão nominal, a uma pressão de serviço de 10,0 m de coluna d'água, e oferecido com extremidades que servem para tubos com diâmetro interno nominal de 12,0 mm (1/2"). Seu encaixe na linha lateral é do tipo "em linha" (Figura 2) e feito a espaçamentos uniformes pré-determinados.



Microgotejador IRTEC



Gotejador DANIAS



Gotejador IRTEC

Figura 2 - Tipos de conexões usadas para os três modelos de gotejadores experimentados.

Gotejador IRTEC: este gotejador, fabricado em copo l mero especial e pesando apenas 5 gramas,   constituído de quatro componentes: corpo, tampa, agulha e bucha. Destes, o principal   a bucha, pois na sua parte superior existe um microcanalete que regula o maior ou menor fluxo de água para o gotejo. O modelo "standard"   calibrado para fornecer uma vazão de um galão por hora (3,785 litros por hora), apresentando a mesma vazão para diferentes pressões, adaptando-se facilmente às possíveis varia es que ocorrem durante a irriga o. Tal vantagem ocorre devido   mobilidade da bucha no interior do corpo do gotejador (funciona como uma bóia). Recomenda-se, na medida do possível, o seu funcionamento no intervalo de 0,5 a 2,0 kgf/cm<sup>2</sup>. A instala o dos gotejadores na linha lateral, do tipo "sobre linha" (Figura 2),   feita através da prepara o de orifícios de 1/8" em tubos de polietileno nos seguintes diâmetros: 3/8" ou 1/2" ou 3/4", com espaçamentos adequados, colocando-os através do pino de fixa o. Para o modelo de gotejador estudado, utilizou-se uma tubula o de polietileno de 18,0 mm (3/4") de diâmetro externo nominal, fornecendo uma vazão nominal de 3,80 l/h, a uma pressão de serviço de 10,0 m de coluna d' gua.

Microgotejador IRTEC: este gotejador, de tamanho muito reduzido, é auto-regulável, apresentando uma vazão constante de 3,80 l/h ( $\pm$  0,20 l/h) para variações de pressão de 5,0 m de coluna d'água a 30,0 m de coluna d'água. Isto é possibilitado pela introdução de um pedaço de silicone na entrada do microgotejador, que com um aumento da pressão interna no tubo fará com que ocorra uma redução na secção transversal da passagem do fluxo. A conexão do microgotejador com a linha lateral é do tipo "sobre linha", conforme mostra a Figura 2.

### 3.3 - Descrição do Sistema

O sistema utilizado para a realização dos testes constituiu-se dos seguintes componentes:

Banca de Testes: foi construída uma especialmente para a realização dos mesmos, e compunha-se de uma mesa onde foram fixados braços ajustáveis através de peças tipo "borboleta", com a finalidade de manter-se a linha lateral num plano horizontal e na altura da saída da canalização de recalque do conjunto moto-bomba.

Conjunto moto-bomba: foi utilizada uma bomba de marca KSB, modelo 50/25, fornecendo uma vazão de 25 m<sup>3</sup>/h, a uma pressão de 25 m de coluna d'água, a uma velocidade

de de 1.710 r.p.m., e com um motor de marca General Electric, trifásico, a 60 ciclos e uma rotação de 1.745 r.p.m., fornecendo uma potência de 5 CV.

Regulador de pressão: utilizou-se um, de marca Niagara, e tendo as seguintes características: tipo 152; tamanho de 1 1/2" de diâmetro para sua entrada e saída; pressão na entrada para até 150 psi (105,0 m de coluna d'água) e pressão reduzida dentro da faixa de 10 a 60 psi (7,0 a 42,0 m de coluna d'água). A finalidade do regulador foi a de regular-se a pressão interna na linha lateral.

Câmara de compressão: instalou-se uma pequena câmara de compressão logo após o regulador de pressão, tendo 3" de diâmetro na sua entrada e saída. A altura desta câmara era de cerca de 40,0 cm, e através de um tubo plástico transparente conectado externamente, entre a sua parte inferior e superior, podia-se verificar o nível d'água no interior da mesma. Manteve-se o nível d'água numa determinada altura, através de uma válvula de pressão existente em sua parte superior côncava, permitindo a saída do ar contido no interior da câmara, de modo que o volume de água representasse cerca de 2/3 do volume total do mesmo, e o restante (1/3) ficasse preen

chido com ar. A instalação da câmara de compressão teve por finalidade diminuir as possíveis oscilações do fluxo de água bombeada pelo conjunto moto-bomba, e em decorrência normalizar as oscilações do nível do mercúrio no interior do manômetro, permitindo, dessa forma, leituras mais precisas da pressão.

Linha lateral: utilizou-se uma linha lateral de polietileno preto, com um diâmetro nominal externo de 18 mm (3/4") para os gotejadores IRTEC-1 e IRTEC-2, e uma com um diâmetro nominal interno de 12,5 mm (1/2") para o gotejador DANTAS.

Registros: instalaram-se dois registros, tipo gaveta, de 1/2" de diâmetro, sendo um deles instalado no início da linha lateral e o outro no seu final.

Manômetros: instalaram-se dois manômetros mecânicos, do tipo "Bourdon", entre o regulador de pressão, tendo por finalidade verificar-se a pressão na entrada e saída do regulador.

Manômetro em "U": construiu-se um manômetro recurvado em "U", com uma altura de 3,0 m, tendo o mercúrio como líquido manométrico e com um tubo de plástico transparente de 6,0 mm de diâmetro, fazendo o formado em "U", fixado em uma prancha de madeira. A extremidade final



deste tubo plástico ficou aberta em contato com a atmosfera, e a extremidade inicial conectada a um bico chanfrado adaptado a uma abraçadeira, a qual foi instalada a 20,0 cm a montante do ponto onde foi localizado o gotejador. No local onde foi conectada a abraçadeira com o bico chanfrado na linha lateral, fez-se um pequeno furo com cerca de 1,0 mm, tendo este por finalidade o de colocar a pressão interna da linha em contato com o manômetro recurvado em "U", para ter-se a leitura da pressão na entrada do gotejador. As leituras obtidas das alturas do mercúrio no manômetro foram convertidas para obter-se a carga hidráulica no gotejador em metros de coluna d'água.

Recipiente volumétrico: colocou-se no final da linha lateral, tendo uma capacidade para 1.200 litros e a finalidade de coletar o fluxo de água escoando pela linha lateral, possibilitando a medida da vazão com uma precisão de décimos de milímetros.

Suprimento de água: (1) no teste de Uniformidade de Vazão, utilizou-se água proveniente de um reservatório elevado a uma altura de 15,0 metros, onde a variação do nível d'água com o sistema em operação atinge  $\pm 0,003$  m. Deste modo foi realizado o teste descrito adiante, com base numa variação mínima de pressão no sistema;

(2) no teste para Determinação da Equação Característica de Descarga-Pressão, onde houve uma variação de pressão dentro do intervalo de 2,17 m de coluna d'água (160 mm Hg) a 21,21 m de coluna d'água (1.560 mm Hg), utilizou-se água proveniente de um reservatório situado abaixo do piso do laboratório e através de um conjunto moto-bomba, descrito anteriormente, recalcou-se a água sob pressão para o sistema.

A bancada de testes, juntamente com a montagem de seus componentes, são apresentadas nas Figuras 3 e 4.

### 3.4 - Descrição dos Testes com os Gotejadores

Efetuaram-se dois tipos de testes, em laboratório, com os gotejadores, ou seja: Teste de Uniformidade de Vazão e Teste para Determinação da Equação Característica de Vazão-Pressão.

O detalhe dos gotejadores em funcionamento, quando da realização dos referidos testes, para os três modelos de gotejadores experimentados, pode servir de base na Figura 5.



Figura 3 - Vista geral do sistema utilizado para a realização dos testes.

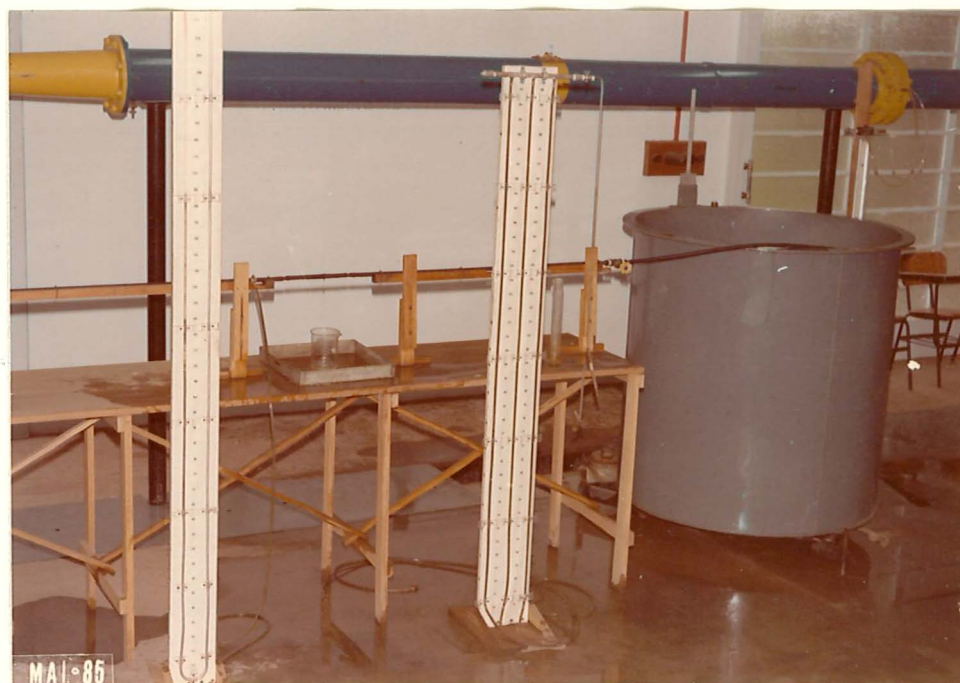
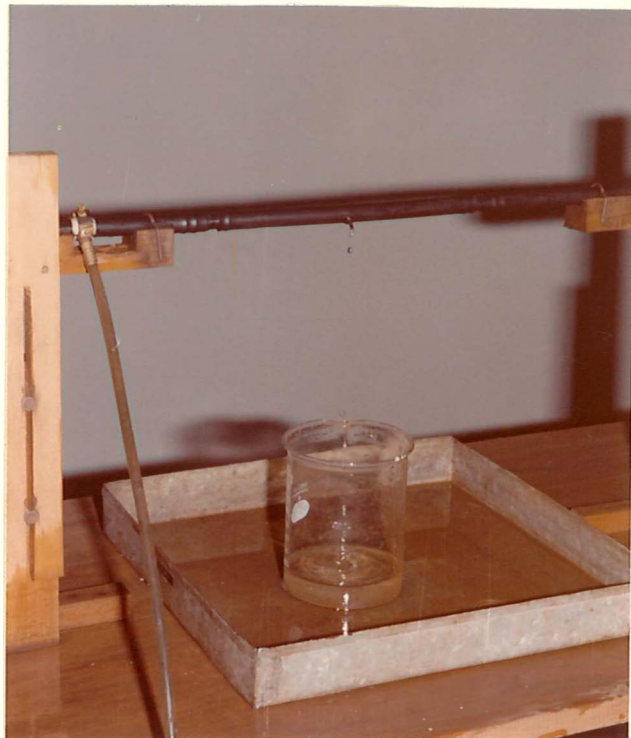
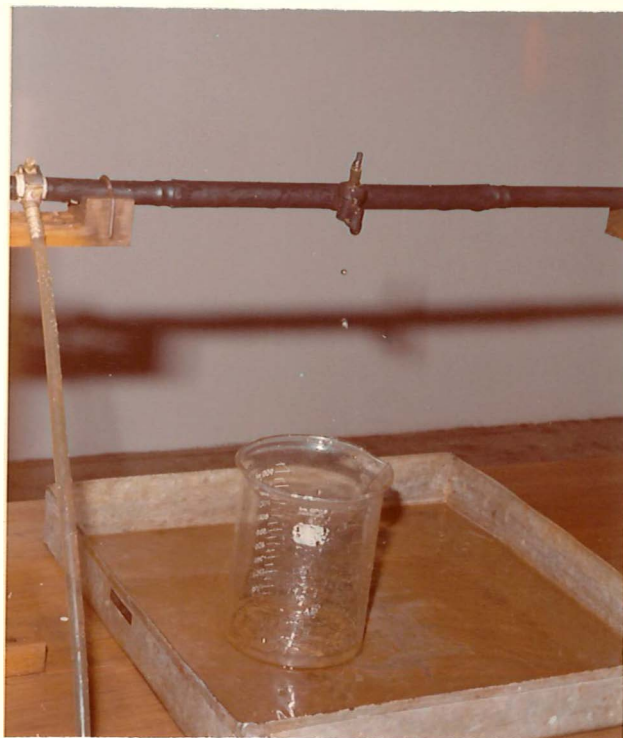


Figura 4 - Vista parcial do sistema, destacando-se a bancada de testes, juntamente com o manômetro recurvado em "U" e o tanque volumétrico.



(A) Microgotejador IRTEC



(B) Gotejador IRTEC



(C) Gotejador DANTAS

Figura 5 - Detalhe dos gotejadores em funcionamento durante a realização dos testes com os três modelos de gotejadores experimentados.

### 3.4.1 - Determinação da uniformidade de vazão dos gotejadores

O objetivo deste teste foi o de verificar a variação existente na taxa de descarga (vazão) entre os gotejadores amostrados, para cada tipo de gotejador utilizado no experimento. Esta variabilidade na vazão dos gotejadores é esperada em razão das diferenças que podem ocorrer entre cada unidade de gotejador durante o processo de fabricação.

KELLER e KARMELI (1974) e SOLOMON (1977) recomendam que o Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) seja adotado como uma medida adequada para determinar-se numericamente esta tendência para com as variações de vazão entre os gotejadores, conforme descrito através da equação (4).

As amostras foram constituídas de 50 (cinquenta) unidades para os gotejadores IRTEC-1 e IRTEC-2, e de 30 (trinta) para o gotejador DANTAS. Para cada amostra formada, os gotejadores foram retirados de um lote contendo 100 (cem) unidades. Cada lote, para cada tipo de gotejador experimentado, foi enviado pela firma fabricante do mesmo com um intervalo de cerca de 3(três) meses.

Esses gotejadores amostrados foram conectados em segmentos de tubo de polietileno, com uma bitola nominal de 3/4" x 1,5 mm (15,0 mm de diâmetro nominal interno), para os gotejadores IRTEC-1 e IRTEC-2, e em tubo de polietileno, com uma bitola nominal de 1/2" x 1,0 mm (12,5 mm de diâmetro nominal interno), para o gotejador DANTAS. Todos os segmentos foram cortados com um tamanho de 20,0 cm de comprimento e numerados em ordem crescente, para cada amostra, de 1 a 50 para os gotejadores IRTEC-1 e IRTEC-2, e de 1 a 30 para os gotejadores DANTAS, respectivamente. Para a realização de cada teste foram retirados, aleatoriamente, os segmentos com os gotejadores numerados, para cada amostra.

Realizaram-se três repetições para os três tipos de gotejadores experimentados, e os valores de vazão de cada gotejador, vazão da linha e temperatura da água, foram obtidos calculando-se a média aritmética de três leituras efetuadas simultaneamente, uma após outra. Em cada medida foram registrados os seguintes dados:

Vazão do gotejador: o volume de água descarregado pelo gotejador foi coletado em um "becker" com capacidade de 1.000 ml ( $\pm$  5%), colocado em cima da mesa da banca de testes e embaixo do gotejador, e cronometrado um

tempo de 3 minutos, por um cronômetro com precisão de décimos de segundo. A quantidade de água foi medida através de uma proveta de 100 ml, com precisão de  $\pm 1/10$  mililitros. A unidade adotada para a vazão do gotejador foi a de litros por hora (l/h).

Vazão da linha: o volume de água descarregado pela linha lateral no tanque volumétrico, também num intervalo de tempo de 3 minutos. Este volume foi obtido através das diferenças de leituras registradas na régua limétrica do tanque volumétrico, em milímetros, multiplicado pela área circular da secção transversal do tanque. A primeira leitura foi obtida após ter-se transcorrido 1 (hum) minuto do início do tempo marcado para obtenção da vazão do gotejador e a segunda obtida após ter-se transcorrido o quarto minuto do tempo inicial. A unidade adotada para a vazão da linha foi a de litros por minuto (l/m).

Temperatura da água: foi medida em cada leitura, colocando-se um termômetro no "becker" onde recolheu-se o volume de água descarregado pelo gotejador, e retirando-se após o término do terceiro minuto do tempo inicial. A temperatura foi registrada em graus Celsius, através de um termômetro de 0-60°C, com precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Pressão de operação: foi medida através do manômetro recurvado em "U", tendo o mercúrio como líquido manométrico, e através do regulador de pressão, instalado a montante da linha de teste, foi mantida a pressão constante através da manutenção do mercúrio em determinado nível no manômetro, correspondente à pressão de operação do gotejador.

Com os valores obtidos através da média aritmética das três leituras efetuadas para cada gotejador amostrado, calcularam-se os seguintes parâmetros estatísticos: a média, o desvio padrão, o erro padrão da média, o Intervalo de Confiança e o Coeficiente de Variação, da vazão do gotejador, da vazão da linha e da temperatura da água, respectivamente, para os 3 (três) testes realizados com cada tipo de gotejador estudado.

Para cada tipo de gotejador, considerando cada teste realizado como um estrato, foram obtidos os seguintes estimadores para os dados globais:

Vazão média global:

$$\hat{q}_g = \frac{\sum n_t \cdot \bar{q}_t}{n}, \quad (6)$$

sendo:  $\hat{q}_g$  = estimativa da vazão média global do gotejador, em l/h;



$\bar{q}_t$  = vazão média estimada do gotejador, para cada respectivo teste realizado, em l/h;

$n_t$  = número de gotejadores amostrados, em cada respectivo teste realizado;

$n$  = número total de gotejadores amostrados em todos os testes realizados, para cada respectivo gotejador.

Variância da vazão média global:

$$\hat{V}(\hat{q}_g) = \frac{\sum n_t \cdot s_t^2}{n^2}, \quad (7)$$

sendo:

$\hat{V}(\hat{q}_g)$  = estimativa da variância da vazão média global, em l/h;

$s_t^2$  = variância dos valores de vazão obtidos em cada respectivo teste realizado, em l/h.

Erro padrão global:

$$s(\hat{q}_g) = \sqrt{\hat{V}(\hat{q}_g)}, \quad (8)$$

sendo:

$s(\hat{q}_g)$  = erro padrão global da média das amostras, em l/h.

Intervalo de Confiança Global:

$$IC_g^* = \hat{q}_g \pm 2s(\hat{q}_g) \quad , \quad (9)$$

sendo:

$IC_g^*$  = intervalo de confiança global, ao nível de 95% de probabilidade, em 1/h.

Variância Global da Vazão dos Gotejadores:

$$s_g^2 = \frac{\sum q^2 - \frac{L_t^2}{n_t}}{n - 1} \quad , \quad (10)$$

sendo:

$s_g^2$  = estimativa da variância global dos valores de vazão obtidos em todos os testes realizados, para cada gotejador;

$q^2$  = quadrado dos valores de vazão de todos os gotejadores amostrados, em todos os testes realizados, em  $l^2/h^2$ ;

$L_t$  = somatório dos valores de vazão dos gotejadores, obtidos em cada respectivo teste efetuado, em 1/h.

Coeficiente de Variação de Fabricação Global:

$$CV_{fg} = \frac{s_g}{\hat{q}_g} \times 100 \quad , \quad (11)$$

sendo:

$CV_{fg}$  = Coeficiente de Variação de Fabricação glo  
bal do gotejador, em porcentagem;

$s_g$  = desvio padrão global das amostras de cada  
respectivo gotejador, em l/h.

**3.4.2 - Determinação da equação característica  
de vazão-pressão dos gotejadores**

A finalidade deste teste foi a de encon  
trar-se uma equação que proporcionasse melhor ajustamen  
to dos dados obtidos durante a realização do mesmo, e  
que melhor representasse o fluxo de cada tipo de goteja  
dor em função da carga hidráulica atuando sobre o res-  
pectivo dispositivo de emissão.

KELLER e KARMELI (1974) e HOWELL e HILER  
(1974), sugeriram que o fluxo de gotejadores pode ser  
caracterizado conforme a expressão descrita através da  
equação (5).

Para a realização deste teste foi sortea  
da uma amostra entre as três utilizadas na realização do

Teste de Uniformidade de Vazão, para cada tipo de gotejador.

Desta amostra sorteada foram retirados 10 (dez) gotejadores, aleatoriamente, e cada um deles foi submetido às pressões de 2,17 m de coluna d'água, 4,89 m de coluna d'água, 7,61 m de coluna d'água, 10,33 m de coluna d'água, 13,05 m de coluna d'água, 15,77 m de coluna d'água, 18,49 m de coluna d'água e 21,21 m de coluna d'água ou correspondentes a 160 mm Hg, 360 mm Hg, 560 mm Hg, 760 mm Hg, 960 mm Hg, 1.160 mm Hg, 1.360 mm Hg e 1.560 mm Hg, respectivamente.

Para cada gotejador foram feitas 3(três) leituras da vazão do gotejador, vazão da linha e temperatura da água, tomando-se a média aritmética como sendo o valor representativo da respectiva grandeza para a pressão aplicada no gotejador.

Os dados referentes à vazão do gotejador, vazão da linha lateral, temperatura da água e pressão de operação, foram obtidos da mesma maneira que para o Teste de Uniformidade de Vazão, conforme descrito anteriormente.

Foi utilizada para a vazão do gotejador a unidade litros por hora (l/h) e para a vazão da linha a unidade litros por minuto (l/m), com aproximação cen-

tesimal, para ambas. A temperatura foi registrada em graus Celsius, com precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 - Distribuição de Vazão dos Gotejadores

Tendo por finalidade visualizar se a distribuição dos valores de vazão encontrados para cada amostragem, obtidos no respectivo Teste de Uniformidade de Vazão, para cada modelo de gotejador experimentado, poderia ser considerada como acompanhando uma distribuição normal, construiu-se um histograma para cada teste realizado, utilizando-se a relação porcentual entre o valor da vazão do gotejador testado e o valor da vazão média da amostra, para determinar-se a frequência ocorrida em classes com intervalos de 5%, para os gotejadores IRTEC-1 e IRTEC-2, e com intervalos de 3% para o gotejador DANTAS.

Considerou-se o valor 100% como sendo o valor da vazão média da amostra. Para valores abaixo de 100% como sendo os valores de vazão do gotejador abaixo da média e, conseqüentemente, os valores acima de 100% como sendo os valores de vazão do gotejador que se encontraram acima da média.

O teste de Kolmogorov-Smirnov, descrito dentre outros por CAMPOS (1979), foi introduzido para

adaptação de uma específica e bem conhecida distribuição  $F(X)$  a dados provenientes de uma distribuição desconhecida  $F_0(X)$ .

A hipótese de nulidade especifica alguma distribuição  $F(X)$ . Uma amostra  $X_1, X_2, \dots, X_n$  é retirada de alguma população cuja distribuição  $F_0(X)$  é desconhecida, estabelecendo-se o confronto com  $F(X)$  para verificar se é razoável estudar os dados através desta, admitida como a verdadeira função de distribuição da amostra casualizada.

Na maioria dos casos ele é mais poderoso do que o teste de  $\chi^2$ , principalmente no caso de pequenas amostras.

O teste de Kolmogorov-Smirnov admite uma função de distribuição específica, com média e variância conhecidas.

Para testar-se a normalidade da distribuição dos valores de vazão dos gotejadores, para cada amostra, aplicou-se o teste de Lilliefors, citado, dentre outros, por CAMPOS (1979), que introduziu uma modificação no teste de Kolmogorov-Smirnov, ampliando o seu uso aos casos em que a média e a variância não são especificadas, mas, sim, estimadas através dos dados da amostra.

Cabe ressaltar que, muitas vezes, a amostra sabidamente não tem distribuição normal, mas pode-se verificar, através do teste de normalidade, se seria razoável estudar os dados através da distribuição normal, admitida como não discrepante da verdadeira distribuição que nos é desconhecida, isto é, as diferenças entre a função de distribuição normal e a verdadeira função de distribuição são insignificantes e, conseqüentemente, não detectáveis.

Em outras palavras, a aceitação de  $H_0$  não significa que a distribuição padrão seja normal, mas apenas nos indica que esta é uma razoável aproximação da distribuição desconhecida.

De acordo com o teste tomou-se:

$F$  = distribuição normal;

$F_0$  = distribuição dos dados, que nos é desconhecida;

e as hipóteses:

$$H_0 = F \equiv F_0;$$

$$H_\alpha = F \neq F_0;$$

e ainda a estatística do teste:

$$D = \sup. |F(Z_i) - s(Z_i)| ,$$

admitindo  $d_\alpha$  limite superior de tabela ao nível  $\alpha$  de probabilidade, ou seja:

$$P_0(D \geq d_\alpha) = \alpha .$$

### 3.6 - Uniformidade de Aplicação dos Gotejadores

#### 3.6.1 - Uniformidade de Emissão dos gotejadores na linha lateral

O desenvolvimento deste tópico tem por objetivo a construção de uma tabela que forneça elementos suficientes aos projetistas de sistemas de irrigação por gotejamento, caso utilizem um dos 3 (três) gotejadores experimentados neste trabalho, para que possam dimensionar o comprimento de uma linha lateral de irrigação, em função da razão da perda de carga permitida para a linha lateral e do número de gotejadores utilizados por planta, através de um determinado valor de Uniformidade de Emissão (UE) e Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) a serem adotados, os quais devem fornecer uma uniformidade de aplicação aceitável na linha lateral de irrigação por gotejo.

Para a construção desta tabela elaborou-se um programa de computador, cujo fluxograma pode ser visto na Figura 6.

O procedimento adotado para a elaboração deste programa foi o seguinte:

- adotaram-se três níveis de pressão de serviço:

$H_{s1} = 8,0$  m de coluna d'água;  $H_{s2} = 10,0$  m de coluna d'água e  $H_{s3} = 12,0$  m de coluna d'água;



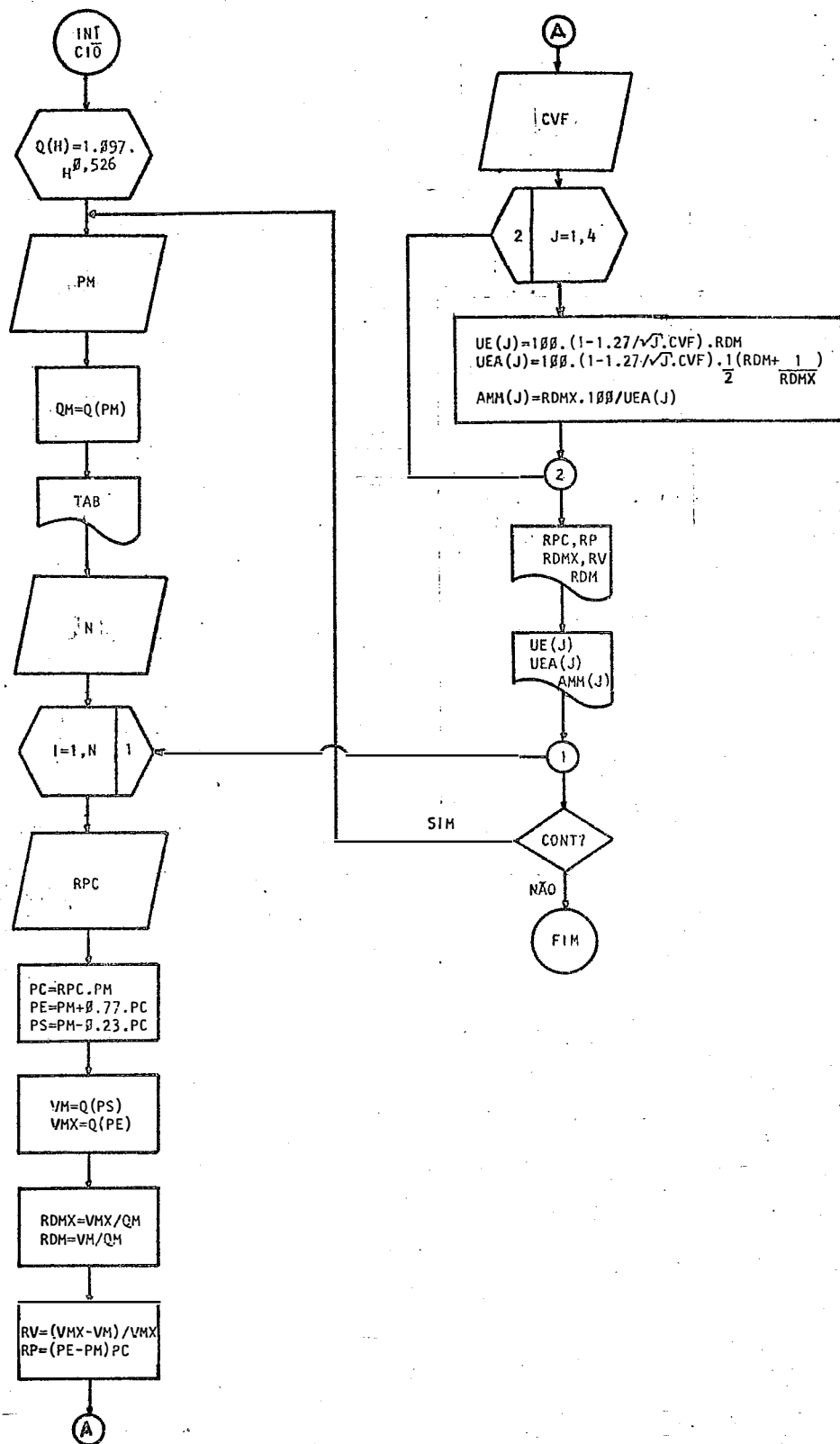


Figura 6 - Fluxograma utilizado para a elaboração da tabela de Uniformidade de Emissão dos gotejadores.

- com os valores respectivos da pressão de serviço adotada, calculou-se a vazão média ( $\hat{q}_m$ ) para cada nível de pressão ( $\hat{q}_{m1}$ ,  $\hat{q}_{m2}$  e  $\hat{q}_{m3}$ ), considerando-se que a pressão de serviço fornecerá a vazão média da linha lateral, através da equação característica de descarga-pressão de terminada para cada respectivo gotejador;

- adotaram-se 13 (treze) níveis de razão de perda de carga (RPC = 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00), que vem a ser a relação entre a perda de carga a ocorrer na linha lateral e a pressão de serviço adotada:

$$RPC = \frac{\Delta H_1}{H_s} \quad , \quad (12)$$

sendo:

RPC = razão de perda de carga, em porcentagem;

$\Delta H_1$  = perda de carga a ocorrer na linha lateral, em m de coluna d'água;

$H_s$  = pressão de serviço a ser adotada na linha, em m de coluna d'água;

- com os valores adotados da razão de perda de carga (RPC) e da pressão de serviço respectiva ( $H_s$ ), determinou-se a perda de carga a ocorrer na linha lateral:

$$\Delta H_1 = RPC \cdot H_s \quad , \quad (13)$$

- a seguir calcularam-se as pressões na entrada e no final da linha lateral de irrigação, através das seguintes expressões:

$$H_e = H_s + 0,77 \cdot \Delta H_1 \quad , \quad (14)$$

sendo:  $H_e$  = pressão na entrada da linha lateral, em m de coluna d'água;

$$H_f = H_s - 0,23 \cdot \Delta H_1 \quad , \quad (15)$$

sendo:  $H_f$  = pressão no final da linha lateral, em m de coluna d'água;

- com os valores da pressão na entrada e no final da linha lateral, calcularam-se os valores da vazão máxima ( $\hat{q}_{ma}$ ) e vazão mínima ( $\hat{q}_{mi}$ ), respectivamente, através da equação característica de vazão-pressão determinada para cada respectivo gotejador;

- a seguir determinou-se a razão de descarga máxima do gotejador, através da seguinte expressão:

$$RDMX = \frac{\hat{q}_{ma}}{\hat{q}_m} \quad , \quad (16)$$

sendo:

RDMX = relação entre a vazão máxima e a vazão média da linha, adimensional;

$\hat{q}_{ma}$  = vazão máxima do gotejador, obtida com a pressão na entrada da linha lateral, através da respectiva equação característica de vazão-pressão, em l/h;

$\hat{q}_m$  = vazão média da linha lateral, obtida com a pressão de serviço adotada, através da respectiva equação característica de vazão-pressão, em l/h;

- determinou-se também a razão de descarga mínima do gotejador, através da seguinte expressão:

$$RDM = \frac{\hat{q}_{mi}}{\hat{q}_m} \quad , \quad (17)$$

sendo:

RDM = relação entre a vazão mínima e a vazão média da linha, adimensional;

$\hat{q}_{mi}$  = vazão mínima do gotejador, obtida com a pressão no final da linha lateral, através da respectiva equação característica de vazão-pressão, em l/h;

- ainda determinaram-se as seguintes razões:

$$\text{razão de perda: } RP = \frac{H_e - H_s}{\Delta H_1} \quad , \quad (18)$$

sendo: RP = porcentagem (ou razão) da perda de carga ocorrida no trecho entre a pressão na entrada da linha lateral e a pressão de serviço adotada;

$$\text{razão de vazão: } RV = \frac{\hat{q}_{ma} - \hat{q}_{mi}}{\hat{q}_{ma}}, \quad (19)$$

sendo: RV = porcentagem de variação de vazão, em relação à vazão máxima, ocorrida entre a vazão máxima e mínima na linha lateral de irrigação;

- a seguir determinou-se a Uniformidade de Emissão (UE) para a linha lateral, através da equação (1), proposta por KELLER e KARMELI (1974), onde variou-se o número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3$  e  $4$  gotejadores), para cada valor calculado do Coeficiente de Variação de Fabricação global do respectivo gotejador experimentado:

$$UE = 100 \cdot \left(1,0 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} \cdot CV_{fg}\right) \cdot RDM, \quad (20)$$

sendo:

UE = Uniformidade de emissão de água pelos gotejadores na linha lateral, em função do número de gotejadores por planta, em porcentagem;

$e$  = número de gotejadores por planta;

$CV_{fg}$  = coeficiente de variação de fabricação global, calculado para cada respectivo gotejador, adimensional;

- também determinou-se a Uniformidade de Emissão Absoluta ( $UEa$ ) para a linha lateral, através da equação (2), proposta por KELLER e KARMELI (1974), onde variou-se o número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3$  e  $4$  gotejadores) para cada valor calculado do Coeficiente de Variação de Fabricação global do respectivo gotejador experimentalado:

$$UEa = 100 \cdot \left(1,0 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} \cdot CV_{fg}\right) \frac{1}{2} \left(RDM + \frac{1}{RDMX}\right), \quad (21)$$

sendo:  $UEa$  = Uniformidade de Emissão Absoluta de água pelos gotejadores na linha lateral, em função do número de gotejadores por planta, em porcentagem;

- e finalmente determinou-se um parâmetro que nos dará uma idéia de quanto a mais (em porcentagem) de água estará recebendo a área que tiver o gotejador com vazão máxima, através da expressão seguinte, sugerida por KELLER e KARMELI (1974), que chamaremos por Área Mais Molhada:

$$AMM = (RDMX) \cdot \frac{100}{UE}, \quad (22)$$

sendo: AMM = Área Mais Molhada, em função do número de gotejadores por planta, como fator.

### 3.6.2 - Coeficiente de Uniformidade na linha lateral

Da metodologia apresentada por NAKAYAMA *et alii* (1978), onde a uniformidade de aplicação de água pelos gotejadores em um sistema de irrigação por gotejo foi baseada no Coeficiente de Variação de gotejadores, é que desenvolveram-se os tópicos a seguir.

Inicialmente, dividiu-se a população total de gotejadores (n) relativo às taxas de fluxo do gotejador (q), formada através da reunião das vazões obtidas em cada teste de Uniformidade de Vazão, para cada respectivo gotejador experimentado, em 20 (vinte) subpopulações ou grupos ( $Y_i$ ) de números iguais. Além disso, a taxa de descarga da população é assumida seguir uma distribuição normal e as descargas dos gotejadores foram ordenadas, tal que o subgrupo  $Y_1$  inclui os gotejadores com as menores taxas de fluxo,  $Y_2$  as seguintes mais altas taxas de fluxo, e assim por diante, até o  $Y_{20}$ , o grupo com as mais altas taxas de fluxo.

Assim, com o fator de tamanho fracional da população total e selecionados os limites apropriados da variável reduzida ( $t$ ) para o subgrupo especificado na curva de distribuição normal, um valor médio ( $\bar{q}_i$ ) para o subgrupo particular pode ser estimado, através da seguinte expressão:

$$\bar{q}_i = (1 + CV_{fg} \cdot \bar{t}_i) \cdot \hat{q}_g \quad , \quad (23)$$

sendo:

$\bar{q}_i$  = vazão média estimada para o respectivo subgrupo, em l/h;

$\bar{t}_i$  = valor médio da variável reduzida para o particular intervalo do grupo, adimensional;

$CV_{fg}$  = Coeficiente de Variação de Fabricação global do respectivo gotejador, adimensional;

$\hat{q}_g$  = estimativa da vazão média global do gotejador, em l/h.

Quando mais do que um gotejador por planta for usado, a nova média para o respectivo  $i$ -ésimo grupo será dada por:

$$\bar{q}_{i,e} = e \cdot \hat{q}_g + \bar{t}_i \cdot s_g \cdot \sqrt{e} \quad , \quad (24)$$

sendo:



$\bar{q}_{i,e}$  = vazão média estimada para o respectivo subgrupo, em função do número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3$  e  $4$  gotejadores), em  $l/h$ ;

$s_g$  = desvio padrão global de cada respectivo gotejador, em  $l/h$ .

Para determinar-se o Coeficiente de Uniformidade na linha lateral de irrigação por gotejamento, empregou-se a equação (3), proposta por NAKAYAMA *et alii* (1978):

$$CU_{LL} = (1 - 0,798 \cdot CV_{fg}/\sqrt{e}) \cdot 100 \quad , \quad (25)$$

sendo:  $CU_{LL}$  = Coeficiente de Uniformidade na Linha Lateral de irrigação por gotejo, em função do número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3, 4, 5$  e  $6$  gotejadores), em porcentagem.

Também, do conceito da "fração da área adequadamente irrigada", usada por Hart e Reynolds, NAKAYAMA *et alii* (1978) adaptaram-no para estimar a "fração de plantas adequadamente irrigadas" para os diferentes Coeficientes de Uniformidade do gotejador.

Na apresentação da adaptação daquele conceito, os autores sugeriram que esta poderia ser simplificada para além disso, pelo uso da taxa de fluxo média para as 25% das menores taxas de fluxo dos gotejadores, como um exemplo, para calcular o tempo corrigido de irrigação ao invés da taxa de descarga média. O tempo total de irrigação neste caso será  $(e \cdot \bar{q} / \bar{q}_{25\%,e})$  vezes o tempo de irrigação baseado na taxa de descarga média do gotejador, onde:

$$\frac{e \cdot \bar{q}}{\bar{q}_{25\%,e}} = \frac{1}{(1 - 1,27 \cdot CV_{fg} / \sqrt{e})}, \quad (26)$$

sendo:  $e \cdot \bar{q} / \bar{q}_{25\%,e}$  = fator que irá corrigir o tempo de irrigação, em função do número de gotejadores por planta, adimensional.

Além do mais, a distribuição da frequência acumulada para a variável reduzida  $t = 1,27$  é 0,395, tal que aproximadamente 90% das plantas poderiam ser esperadas estarem adequadamente irrigadas. Ao invés de 90% de suficiência de irrigação, a variável reduzida  $t = 1,64$  para 95%,  $t = 0,84$  para 85%, etc., podem ser usadas para fixar o tempo corrigido de irrigação.

## 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Uniformidade de Vazão dos Gotejadores

Com a finalidade de verificar-se a variabilidade de vazão que ocorrerá entre gotejadores de um determinado modelo, quando submetidos a uma carga hidráulica constante e temperatura ambiente da água, variação esta devida a prováveis diferenças existentes entre cada unidade de gotejador, decorrentes do processo de fabricação, realizou-se o Teste para Determinação da Uniformidade de Vazão, com 3 (três) repetições, para os três tipos de gotejadores testados.

Nos Quadros 20 a 28 do Apêndice 1, encontram-se os valores médios dos dados observados de vazão

do gotejador, vazão da linha lateral e temperatura da água, referentes a 3 (três) leituras realizadas durante cada um dos Testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03 para determinação da Uniformidade de Vazão, com os gotejadores denominados no trabalho por IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, quando submetidos a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água (760 mm Hg).

Com estes dados calcularam-se os seguintes parâmetros estatísticos das amostras testadas: média, desvio padrão, erro padrão da média, intervalo de confiança e coeficiente de variação, para a vazão do gotejador, para a vazão da linha lateral e para a temperatura da água, nos três testes realizados com os gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS. Esses resultados obtidos encontram-se nos Quadros 29 a 37 do Apêndice 2, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, dos 3 (três) modelos de gotejadores estudados.

#### 4.1.1 - Gotejador IRTEC-1

Para o gotejador IRTEC-1 obtiveram-se os seguintes resultados, em relação à vazão do gotejador, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, respectivamente:

Quadro 1 - Valores estatísticos relativos à taxa de fluxo do gotejador, à vazão média da linha lateral e à temperatura média da água, obtidos nos 3 (três) testes realizados com o gotejador IRTEC-1.

TESTE Nº	PARÂMETROS						
	$\bar{q}$ (1/h)	s (1/h)	s( $\bar{q}$ ) (1/h)	I.C.* (1/h)	CV <sub>f</sub> (%)	$\bar{Q}$ (1/m)	$\bar{T}$ (°C)
01	4,74	0,78	0,11	4,52-4,96	16,51	17,50	19,6
02	4,29	0,70	0,10	4,09-4,49	16,41	18,66	21,8
03	3,33	0,72	0,10	3,13-3,53	21,54	17,30	24,2

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média estimada do gotejador, em 1/h;

s = desvio padrão da amostra, em 1/h;

s( $\bar{q}$ ) = erro padrão da média da amostra, em 1/h;

I.C.\* = Intervalo de Confiança da média, ao nível de 95% de probabilidade, em 1/h;

CV<sub>f</sub> = Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador, em porcentagem;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em 1/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em graus Celsius.

A vazão média do gotejador, encontrada nas amostras testadas, foi de 4,74 1/h, 4,29 1/h e 3,33 1/h, para os testes nºs 01, 02 e 03, respectivamente, verificando-se que os valores da vazão média ( $\bar{q}$ ) varia-

ram entre si, havendo uma variação porcentual de 42,3% entre a maior e menor vazão média, tendo-se como referência a vazão média menor.

Com relação ao desvio padrão ( $s$ ) da amostra, nos três testes, a diferença entre os mesmos foi pequena, enquanto que para o erro padrão da média [ $s(\bar{q})$ ], os valores encontrados nas três repetições podem ser considerados praticamente iguais.

Para o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ) encontraram-se valores praticamente iguais: 16,51% e 16,41%, para os testes n<sup>o</sup>s 01 e 02, respectivamente, enquanto que para o teste n<sup>o</sup> 03, o valor encontrado (21,54%) foi maior em relação aos dois anteriores (Figura 7).

Os valores encontrados da vazão média da linha lateral ( $\bar{Q}$ ) pouco variaram entre si (17,50 l/m, 18,66 l/m e 17,30 l/m, respectivamente, para os testes n<sup>o</sup>s 01, 02 e 03), e o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva vazão da linha lateral, não foi significativo, através da aplicação do teste t, para os três testes realizados ( $r=0,11619$ ,  $r = 0,26004$  e  $r = -0,10775$ , respectivamente, para os testes n<sup>o</sup>s 01, 02 e 03).

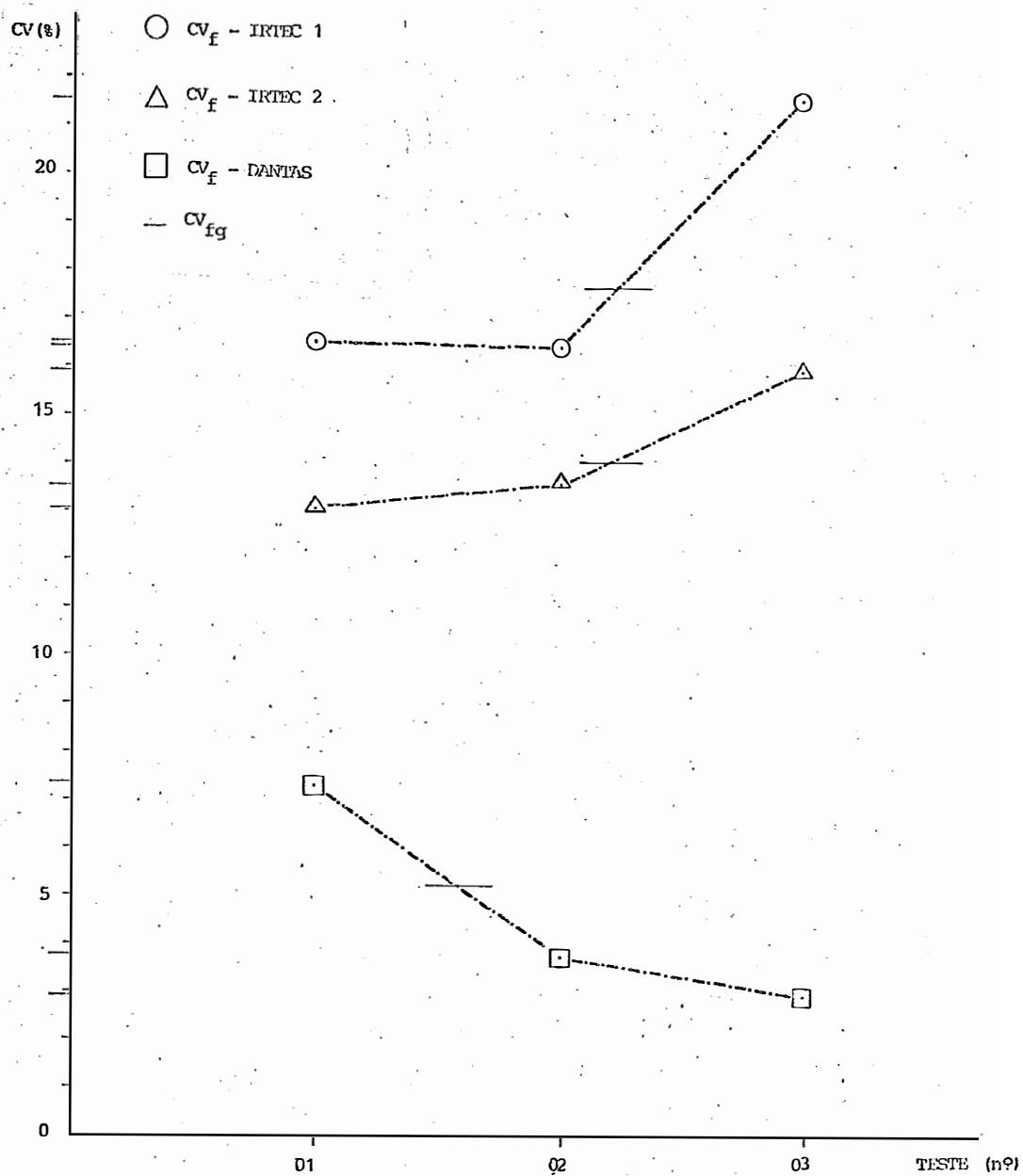


Figura 7 - Valores obtidos do Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) para cada teste realizado, e o valor do Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ) do respectivo gotejador.

Os valores encontrados para a temperatura média da água ( $\bar{T}$ ) tiveram uma ligeira variação entre si nos três testes realizados (19,6°C, 21,8°C e 24,2°C, para os testes n°s 01, 02 e 03, respectivamente), e o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva temperatura da água, não foi significativo para os testes n°s 01 e 03 ( $r = -0,26722$  e  $r = -0,16767$ , respectivamente). Para o teste n° 02, não foram registrados todos os valores de temperatura ambiente da água, e por este motivo não determinou-se o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva temperatura da água, para este teste.

Pelo que foi exposto acima, pode-se depreender que a variação ocorrida na vazão entre os gotejadores foi devida às diferenças existentes entre cada gotejador, decorrentes do processo de fabricação.

Também, devido ao fato de que no teste n° 03 o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ) apresentou-se mais alto do que os dos dois testes anteriores (n°s 01 e 02), é de se esperar uma variação entre cada lote de gotejadores produzido, se houver alteração nas condições de injeção do plástico para moldagem do gotejador, durante o processo de fabricação dos mesmos, ao longo do tempo.



#### 4.1.2 - Gotejador IRTEC-2

Para o gotejador IRTEC-2 obtiveram-se os seguintes resultados, em relação à vazão do gotejador, para os testes nºs 01, 02 e 03, respectivamente:

Quadro 2 - Valores estatísticos relativos à taxa de fluxo do gotejador, à vazão média da linha lateral e à temperatura média da água, obtidos nos 3 (três) testes realizados com o gotejador IRTEC-2.

TESTE Nº	PARÂMETROS						
	$\bar{q}$ (1/h)	s (1/h)	s( $\bar{q}$ ) (1/h)	I.C.* (1/h)	CV <sub>f</sub> (%)	$\bar{Q}$ (1/m)	$\bar{T}$ (°C)
01	5,29	0,69	0,10	5,09-5,49	13,07	16,03	18,8
02	4,97	0,67	0,10	4,78-5,16	13,53	18,74	22,3
03	4,65	0,74	0,10	4,44-4,86	15,91	17,48	25,3

A vazão média do gotejador, encontrada nas amostras testadas, foi de 5,29 1/h, 4,97 1/h e 4,65 1/h, para os testes nºs 01, 02 e 03, respectivamente, verificando-se que os valores da vazão média ( $\bar{q}$ ) variaram entre si, havendo uma variação porcentual de 13,8% entre a maior e a menor vazão média, tendo-se como referência a vazão média menor.

Com relação ao desvio padrão ( $s$ ) da amostra, nos três testes, a diferença entre os mesmos foi pequena, enquanto que para o erro padrão da média [ $s(\bar{q})$ ] os valores encontrados foram iguais nas três repetições.

Para o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores encontraram-se valores praticamente iguais: 13,07% e 13,53%, para os testes n<sup>os</sup> 01 e 02, respectivamente, enquanto que para o teste n<sup>o</sup> 03, o valor encontrado (15,91%) foi ligeiramente superior em relação aos dois anteriores (Figura 7).

Os valores encontrados da vazão média da linha lateral ( $\bar{Q}$ ) pouco variaram entre si (16,03 l/m, 18,74 l/m e 17,48 l/m, respectivamente, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03), e o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva vazão da linha lateral, foi significativo, ao nível de 1%, através da aplicação do teste t, para o teste n<sup>o</sup> 02, evidenciando uma correlação linear positiva ( $r = 0,37381^{**}$ ) e não foram significativos para os testes n<sup>os</sup> 01 e 03 ( $r = 0,09192$  e  $r = 0,09712$ , respectivamente).

Os valores encontrados para a temperatura média da água ( $\bar{T}$ ) tiveram uma ligeira variação entre si nos três testes realizados (18,8°C, 22,3°C e 25,3°C, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, respectivamente), e o

Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva temperatura da água, não foi significativo para os três testes realizados ( $r = -0,23417$ ;  $r = 0,25632$  e  $r = -0,05040$ , para os testes nºs 01, 02 e 03, respectivamente), indicando não haver influência da temperatura da água na vazão dos gotejadores, para este modelo de gotejador experimentado, dentro da variação de temperatura ocorrida durante a realização dos testes.

Pelo que foi exposto acima, pode-se considerar que a variação ocorrida na vazão entre os gotejadores deve-se às diferenças existentes entre cada gotejador, decorrentes do processo de fabricação.

Também, devido ao fato de que no teste nº 03 o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ) apresentou-se mais alto do que os dos dois testes anteriores (nºs 01 e 02), é de se esperar uma variação entre cada lote de gotejadores produzido, se houver alteração nas condições de injeção do plástico para moldagem do gotejador, durante o processo de fabricação dos mesmos, ao longo do tempo.

## 4.1.3 - Gotejador DANTAS

Para o gotejador DANTAS obteve-se os seguintes resultados, em relação à vazão do gotejador, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, respectivamente:

Quadro 3 - Valores estatísticos relativos à taxa de fluxo do gotejador, à vazão média da linha lateral e à temperatura média da água, obtidos nos 3 (três) testes realizados com o gotejador DANTAS.

TESTE N <sup>o</sup>	PARÂMETROS						
	$\bar{q}$ (1/h)	s (1/h)	s( $\bar{q}$ ) (1/h)	I.C.* (1/h)	CV <sub>f</sub> (%)	$\bar{Q}$ (1/h)	$\bar{T}$ (°C)
01	4,21	0,31	0,06	4,10;4,32	7,35	16,95	20,7
02	3,85	0,14	0,03	3,80;3,90	3,76	17,56	22,3
03	3,85	0,11	0,02	3,81;3,89	2,91	16,18	21,9

A vazão média do gotejador, encontrada nas amostras testadas, foi de 4,21 l/h, 3,85 l/h e 3,85 l/h, para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, respectivamente. Verificou-se que os valores da vazão média ( $\bar{q}$ ) foram iguais para os testes n<sup>os</sup> 02 e 03, e ligeiramente superior para o teste n<sup>o</sup> 01, havendo uma variação porcentual de 9,35% entre a maior e menor vazão média, tendo-se como

referência a vazão média menor.

Tanto para o desvio padrão como para o erro padrão da média, observou-se uma ligeira diferença entre os valores encontrados nos três testes, decrescendo do teste nº 01 para o teste nº 03.

Para o Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores encontraram-se valores bem próximos: 3,76% e 2,91%, para os testes nºs 02 e 03, respectivamente, enquanto que para o teste nº 01 o valor encontrado (7,35%), foi superior em relação aos dois anteriores (Figura 7).

Os valores encontrados da vazão média da linha lateral ( $\bar{Q}$ ) pouco variaram entre si (16,95 l/m, 17,56 l/m e 16,18 l/m, respectivamente, para os testes nºs 01, 02 e 03), e o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva vazão da linha lateral, não foi significativo para o teste nº 01 ( $r = 0,28332$ ); foi significativo, ao nível de 5%, para o teste nº 02, indicando uma correlação linear negativa ( $r = -0,39209^*$ ), e foi significativo, ao nível de 1%, para o teste nº 03, evidenciando uma correlação linear negativa ( $r = -0,59546^{**}$ ). Pelos resultados encontrados nos testes nºs 02 e 03, pode-se verificar que há uma tendência para diminuição da vazão do gotejador quando há

um aumento na vazão da linha lateral, isto para o modelo de gotejador experimentado, dentro da variação de vazão da linha lateral ocorrida durante a realização dos referidos testes.

Os valores encontrados para a temperatura média da água ( $T$ ) tiveram uma variação mínima entre si nos três testes realizados ( $20,7^{\circ}\text{C}$ ,  $22,3^{\circ}\text{C}$  e  $21,9^{\circ}\text{C}$ , para os testes n<sup>os</sup> 01, 02 e 03, respectivamente), e o Coeficiente de Correlação Linear entre a vazão do gotejador e a respectiva temperatura da água, foi significativo, ao nível de 5%, apenas para o teste n<sup>o</sup> 03, indicando uma correlação linear positiva ( $r = 0,38895^*$ ) e não foi significativo para os testes n<sup>os</sup> 01 e 02 ( $r = 0,27346$  e  $r = -0,11572$ , respectivamente). Devido à fraca correlação linear existente entre um dos testes, e da não existência de correlação linear entre os outros dois testes, pode-se supor que não há influência direta da temperatura da água na vazão dos gotejadores, para este modelo de gotejador experimentado, dentro da variação de temperatura ocorrida durante a realização dos testes.

Pelo que foi exposto acima, pode-se depreender que a maior parte da variação ocorrida na vazão entre os gotejadores deve-se às diferenças existen-

tes entre cada gotejador, decorrentes do processo de fabricação, embora possa ocorrer uma influência do aumento de vazão na linha lateral na diminuição da vazão do gotejador.

Também, devido aos valores encontrados do Coeficiente de Variação de Fabricação dos gotejadores ( $CV_f$ ) apresentarem variações, principalmente no resultado do teste nº 01, em relação aos dois posteriores, pode-se considerar que haverá uma variação entre cada lote de gotejadores produzido, se houver alteração nas condições de injeção do plástico para moldagem do gotejador, durante o processo de fabricação dos mesmos, ao longo do tempo.

#### 4.1.4 - Resultado global

Com a finalidade de encontrar-se um valor global para a vazão média do gotejador ( $\bar{q}$ ) e para o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador ( $CV_f$ ), para cada modelo de gotejador experimentado, reuniram-se os valores de vazão do gotejador dos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com o referido modelo de gotejador, quando submetido a uma carga hidráulica constante de 10,33 m de coluna d'água e temperatura ambiente da água.

Com esses valores reunidos, da vazão do gotejador, para cada modelo experimentado, de acordo com a metodologia citada em 3.4.1, determinou-se a vazão média global do gotejador ( $\hat{q}_g$ ), o erro padrão da média [ $s(\hat{q}_g)$ ], o Intervalo de Confiança (I.C.\*), o desvio padrão ( $s_g$ ) e o Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_{fg}$ ).

Os resultados referentes aos três modelos de gotejadores experimentados encontram-se no quadro 4.

Quadro 4 - Valores estatísticos relativos à taxa de fluxo do gotejador, obtidos com os valores reunidos de sua vazão nos três testes realizados, para cada modelo de gotejador experimentado.

GOTEJADOR	PARÂMETROS					
	n	$\hat{q}_g$ (1/h)	$s(\hat{q}_g)$ (1/h)	I.C.* (1/h)	$s_g$ (1/h)	$CV_{fg}$ (%)
IRTEC-1	145	4,12	0,06	4,00-4,24	0,73	17,70
IRTEC-2	150	4,97	0,06	4,86-5,08	0,70	14,03
DANTAS	90	3,97	0,02	3,93-4,01	0,21	5,17



A vazão média global do gotejador ( $\hat{q}_g$ ) foi de 4,12 l/h, 4,97 l/h e 3,97 l/h, para os modelos de gotejadores experimentados: IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente, com uma amostragem de 145, 150 e 90 gotejadores, respectivamente.

Para o gotejador IRTEC-1, a vazão média global ( $\hat{q}_g$ ) foi ligeiramente superior à vazão nominal fornecida pelo fabricante (3,785 l/h), com um Intervalo de Confiança, para a média da amostra, a um nível de 95% de probabilidade, situando-se entre 4,00 a 4,24 l/h. Já o Coeficiente de Variação de Fabricação global do gotejador (17,70%) situou-se numa faixa acima de 15%, segundo a classificação de SOLOMON (1977).

Para o microgotejador IRTEC-2, a vazão média global ( $\hat{q}_g$ ) foi bem superior à vazão nominal fornecida pelo fabricante (3,80 l/h) e superior à vazão média encontrada por FARIA (1981), 4,72 l/h, após a realização do Teste de Uniformidade de Vazão, com apenas uma repetição; e com um Intervalo de Confiança, para a vazão média global da amostra, situando-se num intervalo entre 4,86 a 5,08 l/h, a um nível de probabilidade de 95%. Já o Coeficiente de Variação de Fabricação global do gotejador (14,03%) situou-se numa faixa entre 12% a 15%, segundo a classificação de SOLOMON (1977).

Para o gotejador DANTAS, a vazão média global ( $\hat{q}_g$ ) foi praticamente igual à vazão nominal fornecida pelo fabricante (4,00 l/h) e ligeiramente abaixo da vazão média encontrada por OLIVEIRA (1978), 4,50 l/h, após a realização do Teste de Uniformidade de Vazão com apenas uma repetição; e com um Intervalo de Confiança, para a vazão média global da amostra situando-se num intervalo entre 3,93 a 4,01 l/h, a um nível de probabilidade de 95%. Já o Coeficiente de Variação de Fabricação global do gotejador (5,17%) situou-se numa faixa entre 3% a 6%, segundo a classificação de SOLOMON (1977). O valor obtido para o Coeficiente de Variação de Fabricação global do gotejador foi praticamente igual ao encontrado por OLIVEIRA (1978), 5,07%.

Os valores calculados do Coeficiente de Variação de Fabricação global, para cada modelo de gotejador estudado, são relacionados na Figura 7 com os valores do Coeficiente de Variação obtidos nos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com cada respectivo gotejador.

## 4.2 - Distribuição de Vazão dos Gotejadores

Com a finalidade de verificação de normalidade da distribuição das taxas de emissão (vazão) dos gotejadores amostrados em cada teste de Uniformidade de Vazão, para cada modelo de gotejador experimentado, aplicou-se o teste de Lilliefors, obtendo-se os seguintes resultados:

Quadro 5 - Resultados do teste de Lilliefors aplicado aos dados de vazão de cada teste realizado, para cada modelo de gotejador.

GOTEJADOR	Teste n°	n	D	$d_{\alpha}$ ( $\alpha=0,05$ )	Significância estatística
IRTEC-1	01	47	0,056	0,129	não rejeitamos $H_0$
	02	50	0,069	0,125	não rejeitamos $H_0$
	03	48	0,069	0,128	não rejeitamos $H_0$
IRTEC-2	01	50	0,079	0,125	não rejeitamos $H_0$
	02	50	0,094	0,125	não rejeitamos $H_0$
	03	50	0,104	0,125	não rejeitamos $H_0$
DANTAS	01	30	0,248	0,161	rejeitamos $H_0$
	02	30	0,316	0,161	rejeitamos $H_0$
	03	30	0,259	0,161	rejeitamos $H_0$

Os histogramas dos três testes realizados, para cada modelo de gotejador experimentado, encontram-se nas Figuras 8, 9 e 10.

Com a construção dos histogramas e com a aplicação do teste de Lilliefors, para verificação da normalidade à distribuição dos dados de vazão dos gotejadores amostrados em cada teste de Uniformidade de Vazão, para cada modelo de gotejador experimentado, constatou-se que:

(1) Para o gotejador IRTEC-1, os valores de sua taxa de fluxo (vazão), nos três testes realizados, distribuíram-se, praticamente, entre os pontos médios de 68% a 133%, o que representa uma variação de vazão de 32% abaixo da vazão média ( $\bar{q}$ ) e de 33% acima da vazão média ( $\bar{q}$ ). A dispersão dos valores de vazão não foi uniforme em relação à vazão média das amostras, ao longo do intervalo das linhas de distribuição, porém a aplicação do teste de Lilliefors revelou que os dados podem ser estudados através da distribuição normal.

(2) Para o gotejador IRTEC-2, os valores de sua taxa de fluxo (vazão), nos três testes realizados, distribuíram-se, praticamente, também, entre os pontos médios de 68% a 133%, o que representa uma variação de vazão de 32% abaixo da vazão média ( $\bar{q}$ ) e de 33% acima da vazão

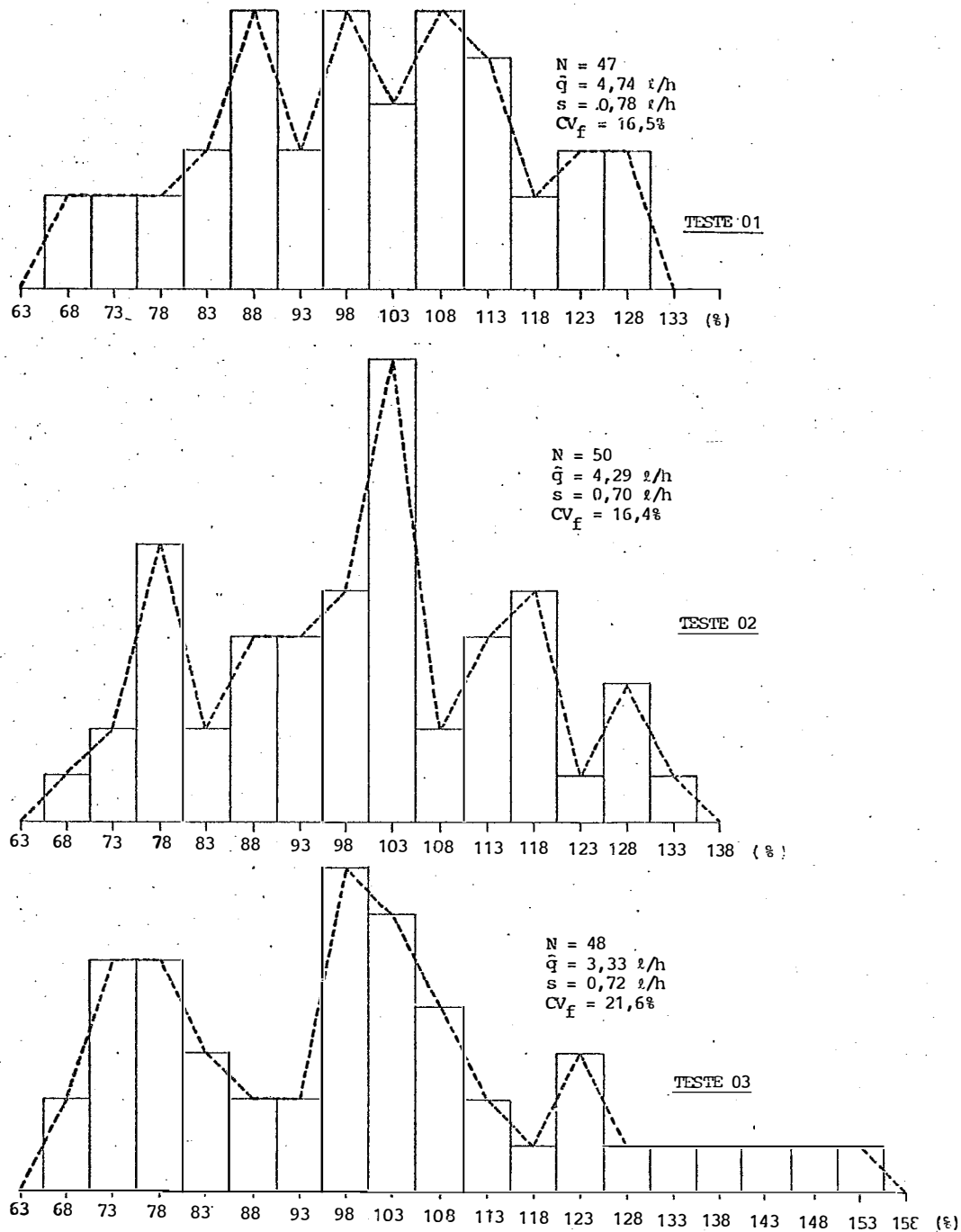


Figura 8 - Histogramas referentes aos dados de vazão dos gotejadores, obtidos nos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com o gotejador IRTEC-1.

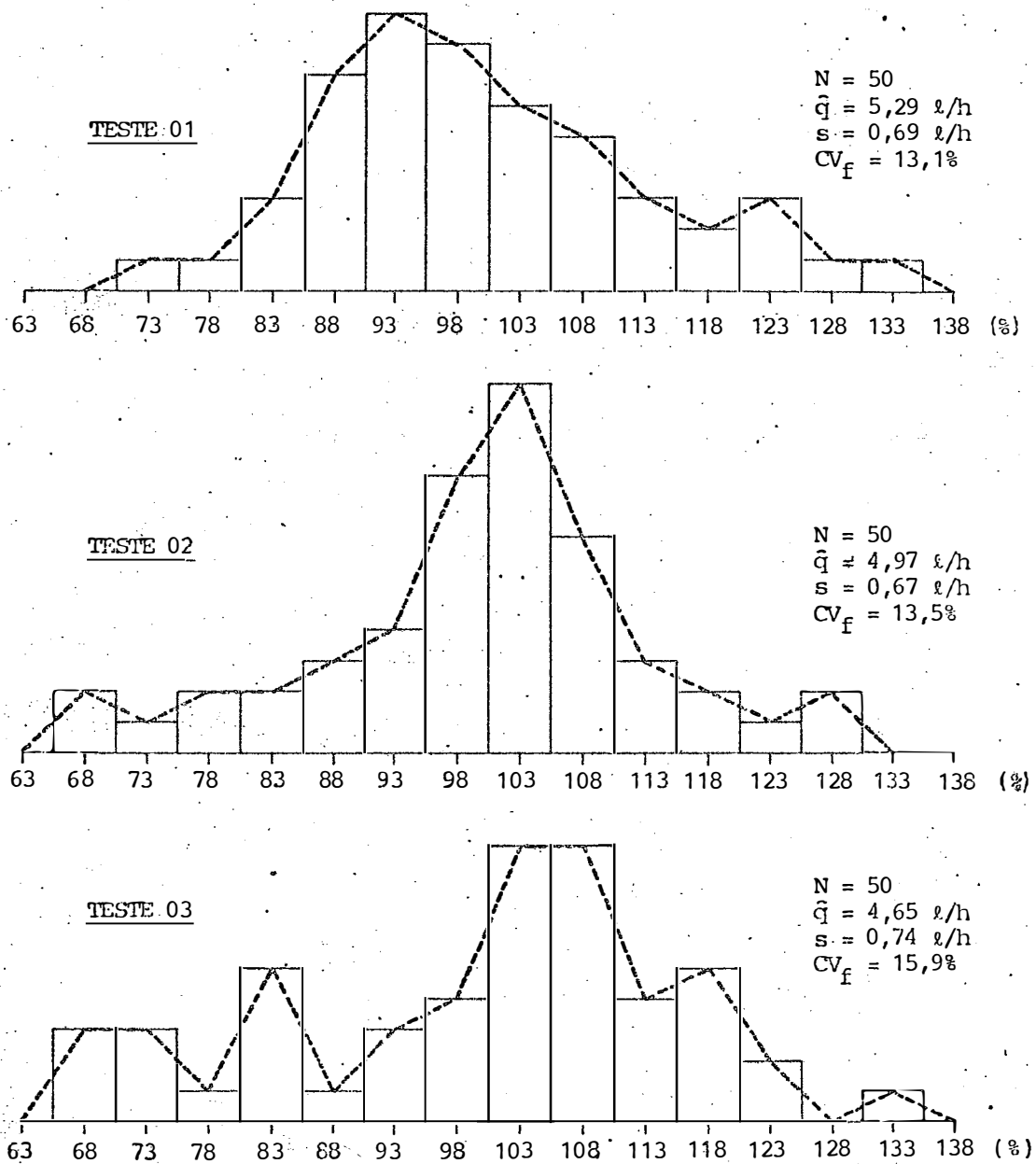


Figura 9 - Histogramas referentes aos dados de vazão dos gotejadores, obtidos nos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com o gotejador IRTEC-2.

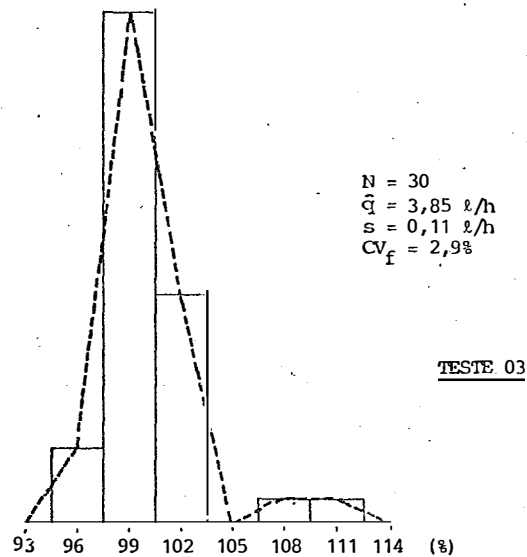
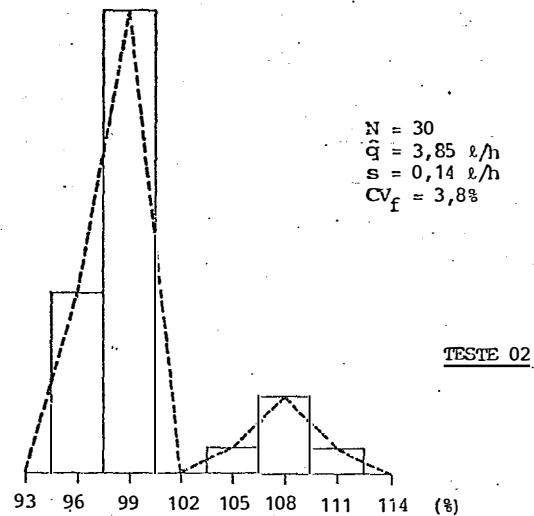
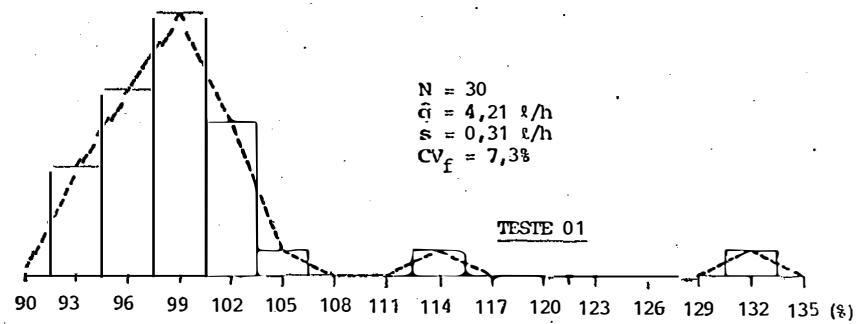


Figura 10 - Histogramas referentes aos dados de vazão dos gotejadores, obtidos nos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com o gotejador DANTAS.

média ( $\bar{q}$ ). A dispersão dos valores de vazão, porém, foi mais uniforme em relação à vazão média das amostras, ao longo do intervalo das linhas de distribuição, do que em comparação ao gotejador IRTEC-1. A aplicação do teste de Lilliefors revelou que os dados podem ser estudados através da distribuição normal.

(3) Para o gotejador DANTAS, os valores da sua taxa de fluxo (vazão), nos três testes realizados, distribuíram-se, praticamente, entre os pontos médios de 93% a 111%, o que representa uma variação de vazão de 7% abaixo da vazão média ( $\bar{q}$ ) e de 11% acima da vazão média ( $\bar{q}$ ). A dispersão dos valores de vazão teve uma concentração representativa ao redor do valor da vazão média das amostras, ao longo do intervalo das linhas de distribuição. A aplicação do teste de Lilliefors revelou uma não aderência dos dados à distribuição normal proposta.

#### 4.3 - Equação Característica de Vazão-Pressão do Gotejador

Com a finalidade de se encontrar uma equação característica que melhor representasse a variação de vazão em função das pressões aplicadas no gotejador, realizou-se o Teste para Determinação da Equação Carac-



terística de Vazão-Pressão, submetendo-se 10 (dez) gotejadores a 8 (oito) diferentes pressões, sob temperatura ambiente da água.

Os gotejadores testados foram retirados, aleatoriamente, de uma das amostras utilizadas para a realização do Teste de Uniformidade de Vazão, para cada modelo de gotejador experimentado.

Os valores médios das 3 (três) leituras correspondentes aos dados observados de vazão dos gotejadores, quando submetidos a diferentes pressões, referentes aos gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, encontram-se, respectivamente, nos Quadros 38, 39 e 40 do Apêndice 3.

#### 4.3.1 - Análise da variância

Com os valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, fez-se uma análise da variância, considerando-se cada gotejador como sendo um bloco e para cada diferente pressão aplicada como sendo os tratamentos efetuados a cada gotejador.

Os resultados dessa análise da variância podem ser vistos no Quadro 6, para os 3 (três) gotejadores experimentados: IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente.

Quadro 6 - Análise da variância realizada com os valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, quando submetidos a 8 (oito) diferentes pressões.

Gotejador IRTEC-1:

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Gotejadores (G)	9	52,6360	5,8484	7,67**
Pressões (P)	7	7,0883	1,0126	1,33 <sup>ns</sup>
Resíduo	63	48,0242	0,7623	
Total	79	107,7485		

Gotejador IRTEC-2:

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Gotejadores (G)	9	49,0149	5,4461	42,82**
Pressões (P)	7	11,5664	1,6523	12,99**
Resíduo	63	8,0140	0,1272	
Total	79	68,5953		

Gotejador DANTAS:

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Gotejadores (G)	9	0,0272	0,0030	4,29**
Pressões (P)	7	117,6258	16,8037	24005,28**
Resíduo	63	0,0415	0,0007	
Total	79	117,6945		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

ns = Não significativo.

Para o gotejador IRTEC-1, a análise revelou que o efeito dos gotejadores, considerados como blocos, sobre a variação de vazão ocorrida foi significativo ao nível de 1%, para o teste F, e que o efeito das diferentes pressões, consideradas como tratamentos, sobre a variação de vazão ocorrida não foi significativo para o teste F. Isto quer dizer que as diferenças existentes entre cada unidade de gotejador foram responsáveis pela variação de vazão ocorrida nos gotejadores durante a realização do teste e que as diferentes pressões aplicadas não influíram significativamente na alteração da vazão dos gotejadores.

Para o microgotejador IRTEC-2, a análise revelou que o efeito dos gotejadores, considerados como blocos, sobre a variação de vazão ocorrida foi significativo ao nível de 1%, para o teste F, e que o efeito das diferentes pressões, consideradas como tratamentos, sobre a variação de vazão ocorrida também foi significativo ao nível de 1%, para o teste F. Isto revela uma diferença de comportamento tanto dos gotejadores como das pressões.

Para o gotejador DANTAS, a análise revelou que o efeito dos gotejadores, considerados como blocos, sobre a variação de vazão ocorrida foi significatiu

vo ao nível de 1%, para o teste F, e que, também o efeito das diferentes pressões, consideradas como tratamentos, sobre a variação de vazão ocorrida foi significativo ao nível de 1%, para o teste F. Isto quer dizer que a variação de vazão ocorrida entre os gotejadores foi tanto influenciada pelas diferenças existentes entre cada unidade de gotejador, como, principalmente, pelo efeito das diferentes pressões aplicadas em cada gotejador.

#### 4.3.2 - Equação geométrica

Com a intenção de estabelecer uma equação de fluxo do gotejador em função da pressão atuando sobre o mesmo, conforme a equação (5) sugerida por KELLER e KARMELI (1974) e HOWELL e HILER (1974), foram usadas as médias aritméticas calculadas com os 10 (dez) valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, quando testados a uma determinada pressão (Apêndice 3).

Portanto, obteve-se oito pares de valores (pressão no gotejador versus vazão média dos gotejadores), ordenando-os em ordem crescente de pressão, conforme mostram os Quadros 7, 8 e 9, para os gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente, e a seguir

Quadro 7 - Média dos valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, vazão da linha lateral e temperatura d'água, para o gotejador IRTEC-1, quando submetido a diferentes pressões.

PRESSAO (H)		$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
(m de coluna d'água)	(mm Hg)	(l/h)	(l/m)	(°C)
2,17	160	3,20	6,84	21,15
4,89	360	3,71	9,91	21,20
7,61	560	3,91	12,46	21,55
10,33	760	3,75	14,53	21,65
13,05	960	3,58	16,42	21,40
15,77	1.160	3,37	17,98	21,55
18,49	1.360	3,28	19,55	21,40
21,21	1.560	2,97	20,71	21,40

sendo: H = pressão ou carga hidráulica na entrada do gotejador, em m de coluna d'água ou mm de mercúrio;

$\bar{q}$  = vazão média referente aos valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média referente aos valores médios dos dados observados de vazão da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média referente aos valores médios dos dados observados da temperatura ambiente d'água, em °C.

Quadro 8 - Média dos valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, vazão da linha lateral e temperatura d'água, para o gotejador IRTEC-2, quando submetido a diferentes pressões.

PRESSÃO (H)		$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$T$
(m de coluna d'água)	(mm Hg)	(l/h)	(l/h)	(°C)
2,17	160	3,09	5,38	18,90
4,89	360	3,92	7,96	19,20
7,61	560	4,16	10,02	19,25
10,33	760	4,34	11,58	19,40
13,05	960	4,30	12,97	19,45
15,77	1.160	4,27	14,37	19,60
18,49	1.360	4,12	15,51	19,75
21,21	1.560	4,07	17,35	19,83

Quadro 9 - Média dos valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, vazão da linha lateral e temperatura d'água, para o gotejador DANTAS, quando submetido a diferentes pressões.

PRESSÃO (H)		$\bar{q}$	$\bar{Q}$	T
(m de coluna d'água)	(mm Hg)	(l/h)	(l/m)	(°C)
2,17	160	1,62	8,46	22,40
4,89	360	2,57	12,57	22,50
7,61	560	3,23	15,68	22,60
10,33	760	3,76	18,18	22,60
13,05	960	4,25	20,68	22,30
15,77	1.160	4,68	22,71	22,40
18,49	1.360	5,05	24,53	22,60
21,21	1.560	5,41	25,85	22,70

tirando-se os logarítmos dos respectivos valores de pressão e vazão.

Com os logarítmos das pressões aplicadas e das vazões médias calculadas, estruturou-se a equação de regressão linear, estabelecendo-se uma função de fluxo ou equação característica de vazão-pressão para cada modelo de gotejador experimentado.

Transformando-se a equação logarítmica ajustada, para uma equação do tipo geométrica, obtiveram-se as seguintes equações para os 3 (três) tipos de gotejadores estudados:

IRTEC-1:

$$\hat{q} = 3,680 \cdot H^{-0,028} \quad , \quad (27)$$

IRTEC-2:

$$\hat{q} = 3,108 \cdot H^{0,112} \quad , \quad (28)$$

DANTAS:

$$\hat{q} = 1,097 \cdot H^{0,526} \quad , \quad (29)$$

em que:  $\hat{q}$  = vazão média estimada do gotejador, em l/h;

H = pressão na entrada do gotejador, em m de coluna d'água.



A representação gráfica das três equações anteriores, em escala decimal e logarítmica, encontram-se nas Figuras 11, 12 e 13, para os gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente.

Procedeu-se a uma análise de regressão para os 3 (três) modelos de gotejadores estudados, sendo utilizada cada respectiva equação geométrica determinada [equações (27), (28) e (29), respectivamente para os gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS], chegando-se aos seguintes resultados:

Gotejador IRTEC-1:

Para o gotejador IRTEC-1, a regressão foi significativa ao nível de 1%, para o teste F, obtendo-se um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,90429\*\*. Devido a este coeficiente ser alto, o que significa que cerca de 90% da variação ocorrida foi explicada por esta equação, confere aos valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, terem um ajustamento adequado à equação determinada.

Gotejador IRTEC-2:

Para o gotejador IRTEC-2, a regressão foi significativa ao nível de 1%, para o teste F, obtendo-se um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,96100\*\*.

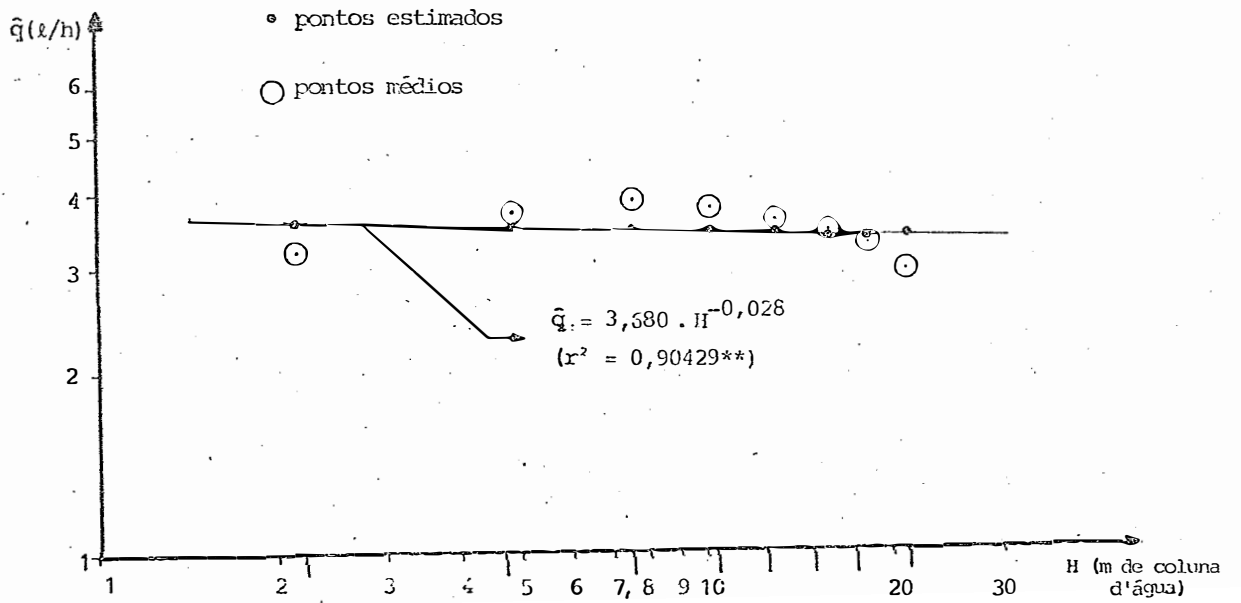
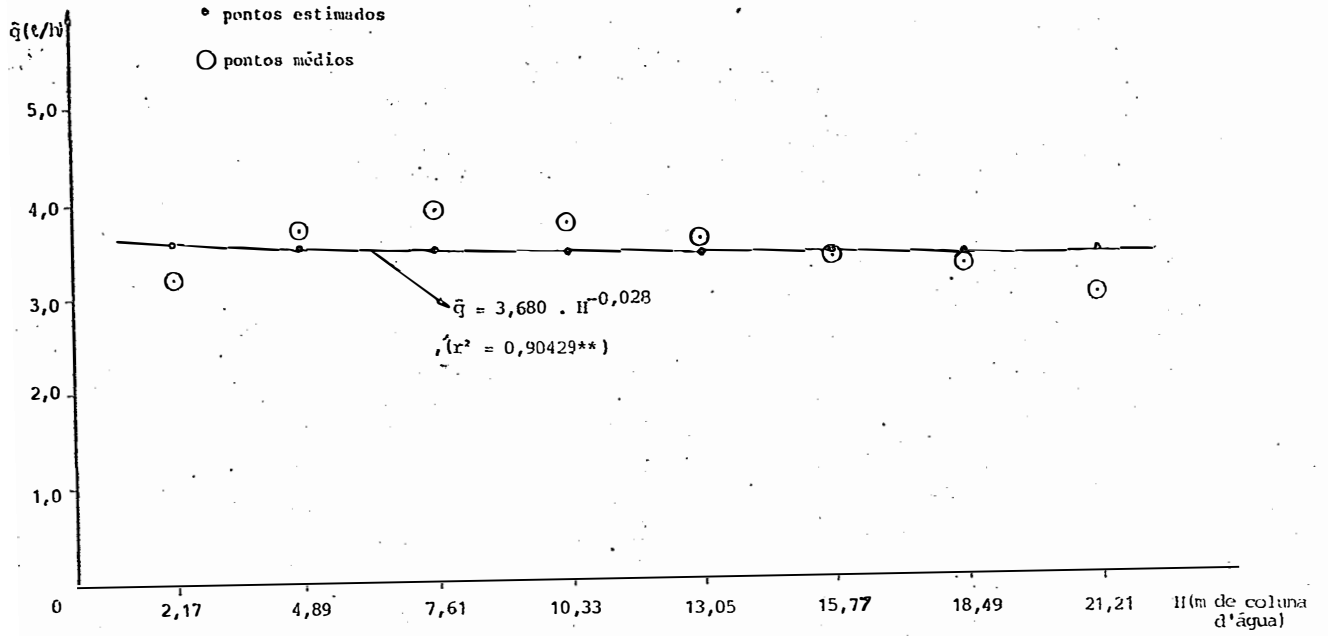


Figura 11 - Representação gráfica da curva obtida para a equação geométrica determinada para o gotejador IRTEC-1, em escala decimal e logarítmica.

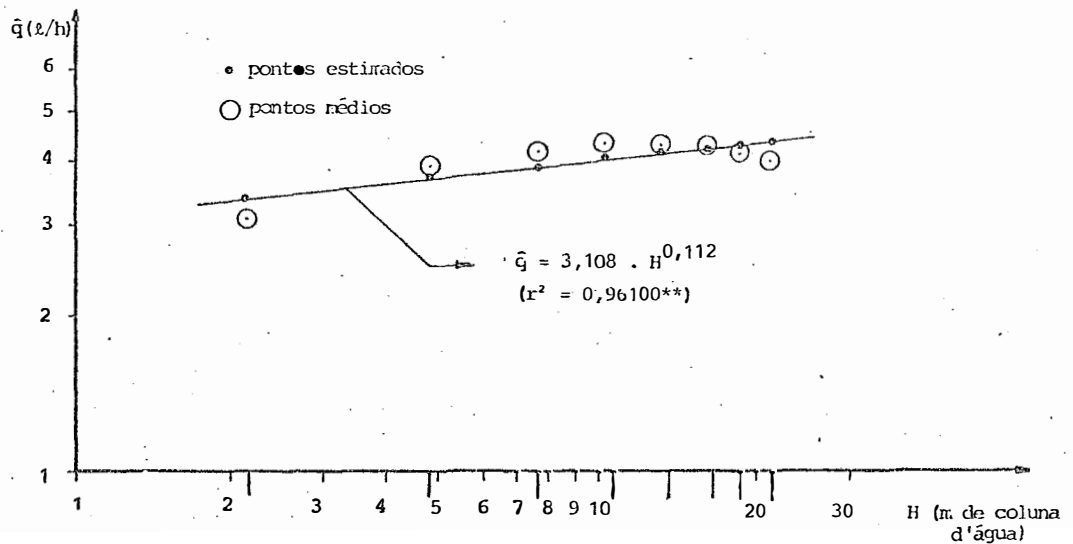
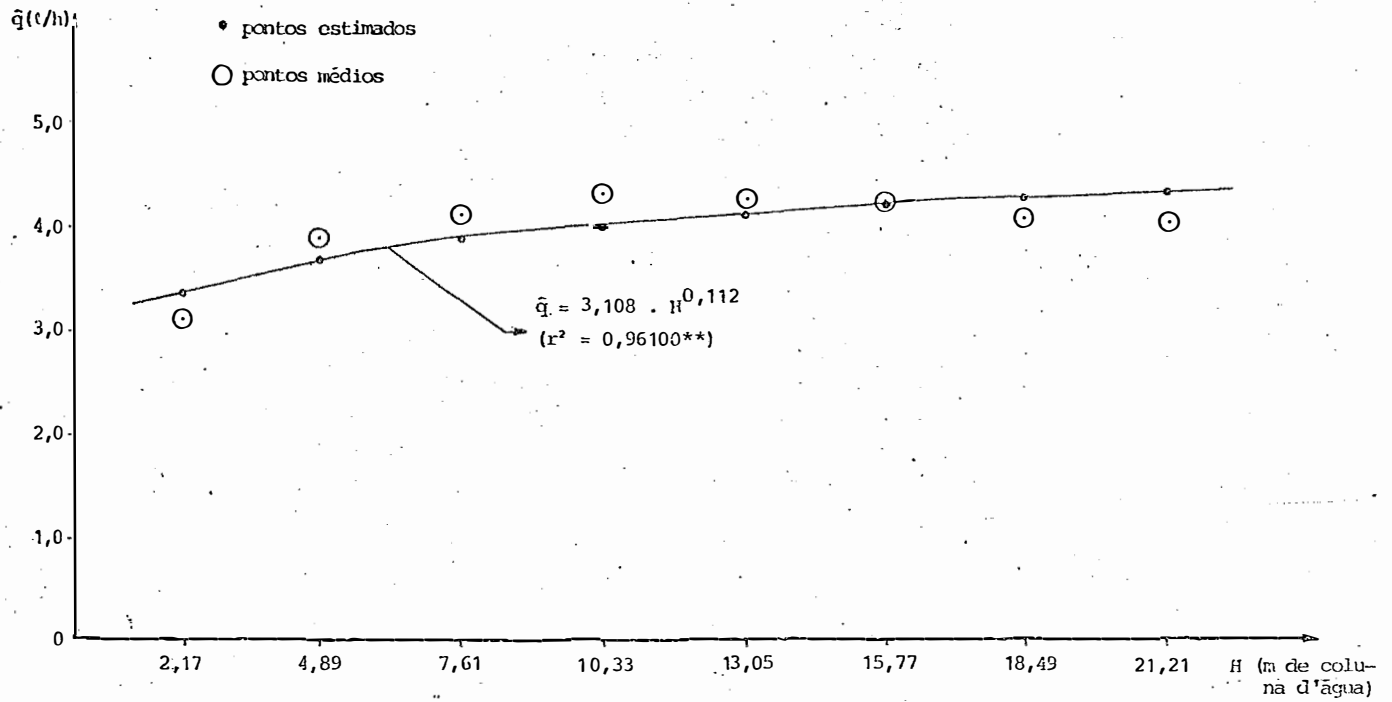


Figura 12 - Representação gráfica da curva obtida para a equação geométrica determinada para o gotejador IRTEC-2, em escala decimal e logarítmica.

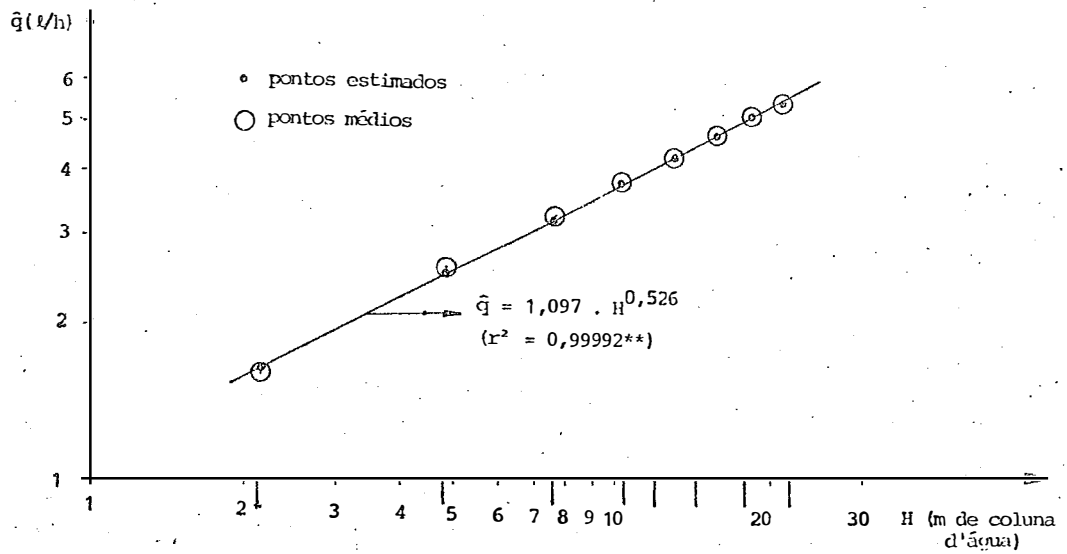
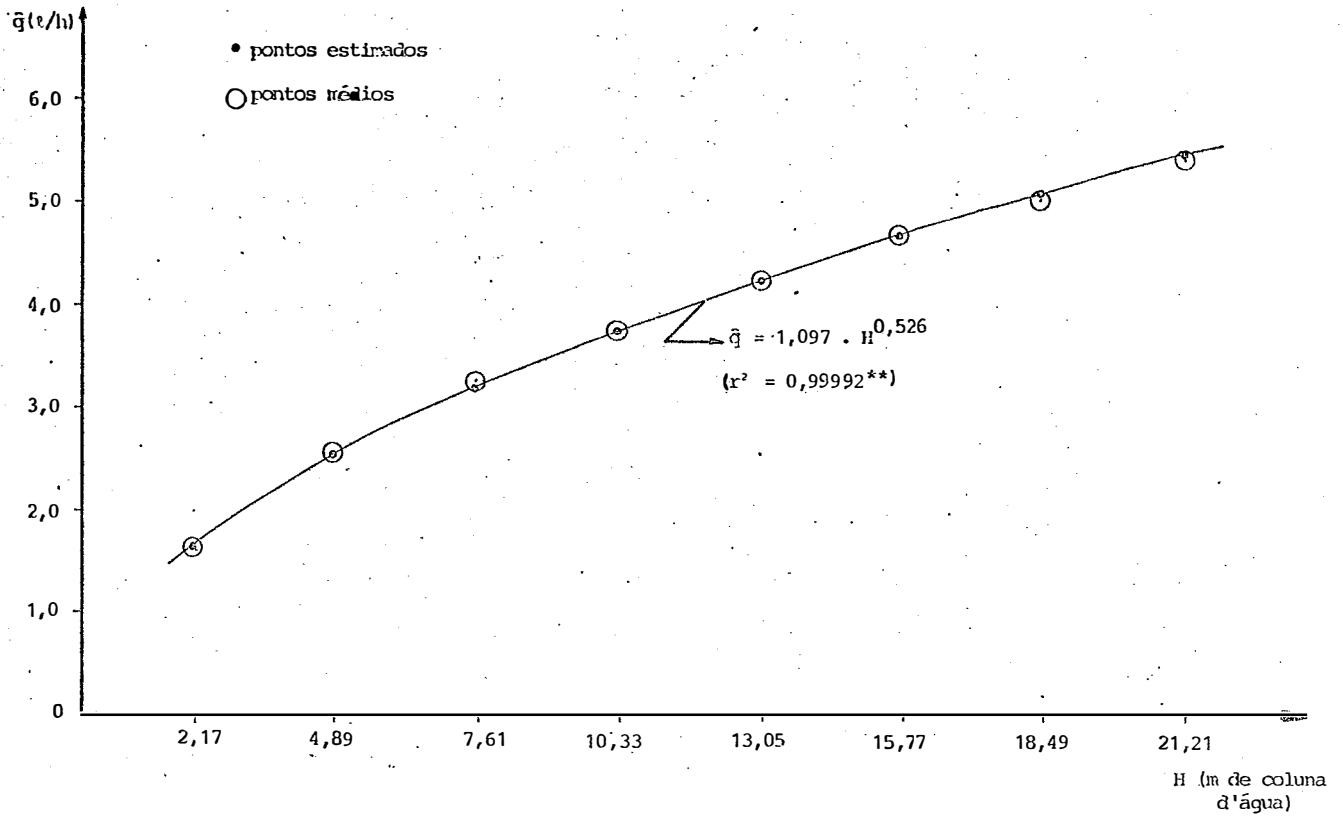


Figura 13 - Representação gráfica da curva obtida para a equação geométrica determinada para o gotejador DANTAS, em escala decimal e logarítmica.

Devido a este coeficiente ser alto, o que significa que cerca de 96% da variação ocorrida foi explicada por esta equação, confere aos valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, terem um ajustamento adequado à equação determinada.

Gotejador DANTAS:

Para o gotejador DANTAS, a regressão foi significativa ao nível de 1%, para o teste F, obtendo-se um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,99992\*\*. Devido a este coeficiente ser bastante elevado, o que significa que quase toda a variação ocorrida foi explicada por esta equação, confere aos valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, terem um ótimo ajustamento em relação à equação determinada.

A equação característica de descarga-pressão para o gotejador DANTAS, encontrada por OLIVEIRA (1978),  $q = 1,329 \cdot H^{0,513}$ , com  $r^2 = 0,99960$ \*\*, esteve bem próxima à equação determinada neste trabalho, o que confere uma certa validade a esta equação como sendo representativa da função de fluxo do referido gotejador.

Também, com relação ao expoente de descarga  $x$ , que caracteriza o regime de fluxo no gotejador, os

valores encontrados estiveram bem próximos, confirmando que o fluxo de água passando pelo interior do gotejador encontra-se no regime turbulento.

Os resultados da análise de regressão para as equações geométricas determinadas, podem ser vistos nos Quadros 41, 42 e 43 do Apêndice 4, para os três gotejadores experimentados: IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente.

#### 4.3.3 - Regressão polinomial

A análise da variância deverá refletir a dependência entre os tratamentos, justificando a existência de uma correspondência funcional (chamada equação de regressão) que ligue os valores dos tratamentos (pressões aplicadas) aos dados analisados (vazão do gotejador).

Para estabelecer-se esta equação de regressão, que melhor ajustasse os valores de vazão dos gotejadores testados, em função da pressão aplicada sobre os mesmos, usou-se o método dos polinômios ortogonais, calculando-se os coeficientes correspondentes a todos os componentes, do linear até o último significativo, mesmo que neste intervalo houvesse algum componente não significativo.

Os resultados dessa análise da variância podem ser vistos nos Quadros 44, 45 e 46 do Apêndice 4, para os três gotejadores experimentados: IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS, respectivamente.

Gotejador IRTEC-1:

Para o gotejador IRTEC-1, a análise revelou que apenas o componente de 2º grau foi significativo ao nível de 5%, com a aplicação do teste F.

Para a obtenção da equação de regressão, calcularam-se os coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais, correspondentes a todos os componentes, do linear até o quadrático, último significativo.

A equação de regressão do 2º grau determinada, para o gotejador IRTEC-1, foi a seguinte:

$$\hat{q} = 3,105 + 0,131 \cdot H - 6,621 \cdot 10^{-3} H^2, \quad (30)$$

em que:

$\hat{q}$  = vazão média estimada do gotejador, em l/h;

H = pressão na entrada do gotejador, em m de coluna d'água.

O Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ) da equação de regressão quadrática, para o gotejador IRTEC-1, foi igual a 0,83757\*. Devido a este coeficiente ser relativamente alto, o que significa que cerca de 84% da variação ocorrida foi explicada por esta equação, os valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, tiveram um bom ajustamento em relação à equação determinada.

A representação gráfica da equação (30) encontra-se na Figura 14.

#### Gotejador IRTEC-2:

Para o microgotejador IRTEC-2, a análise revelou que o teste F foi significativo ao nível de 1% para os componentes de 1º, 2º e 3º graus.

Para a obtenção da equação de regressão, calcularam-se os coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais, correspondentes a todos os componentes, do linear até o cúbico, último significativo.

A equação de regressão do 3º grau determinada para o microgotejador IRTEC-2, foi a seguinte:

$$\hat{q} = 2,273 + 0,456 H - 3,148 \cdot 10^{-2} H^2 + 6,595 \cdot 10^{-4} H^3, \quad (31)$$

em que:



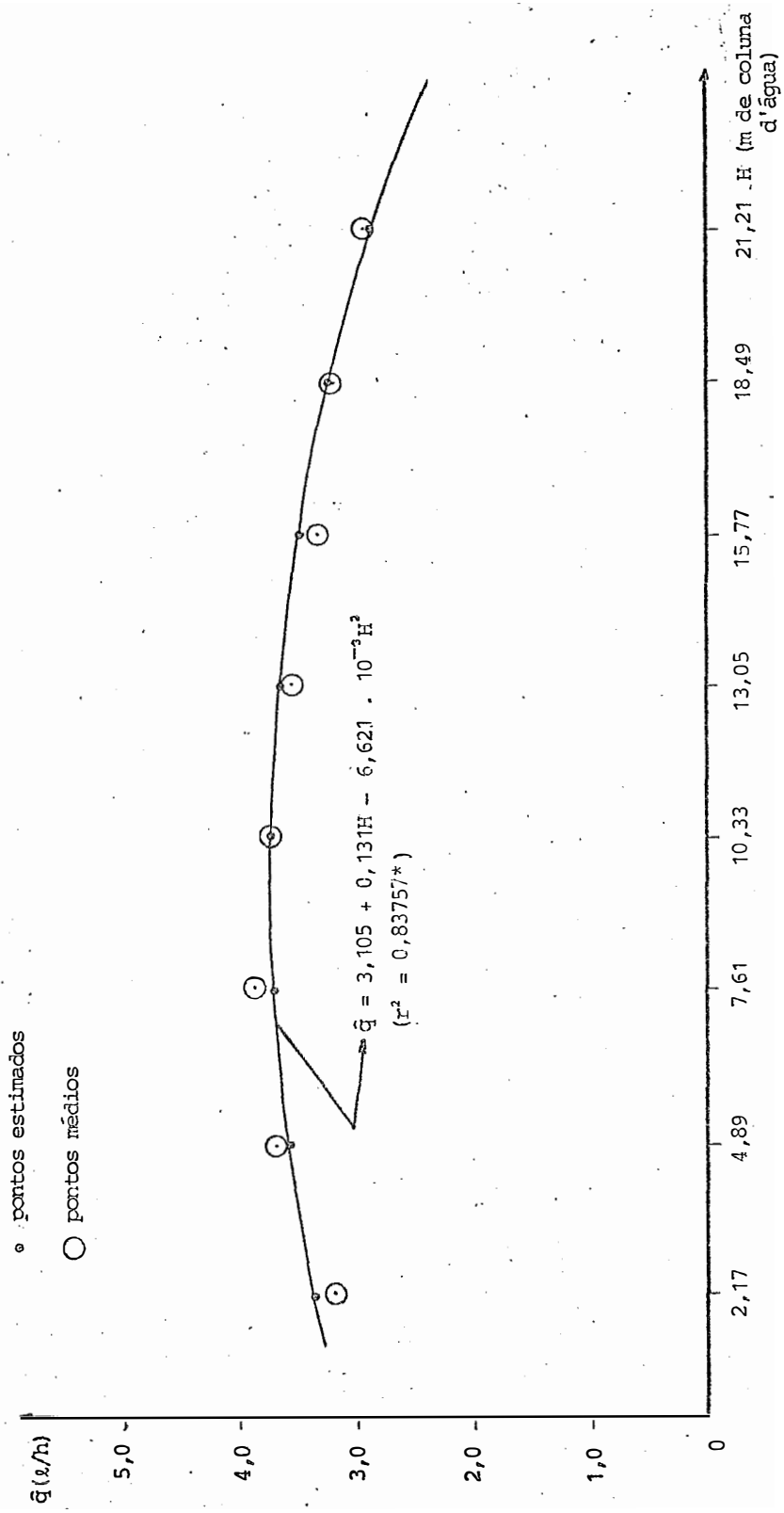


Figura 14 - Representação gráfica da curva obtida para a equação de regressão polinomial determinada para o gotejador IRTEC-I, em escala decimal.

$\hat{q}$  = vazão média estimada do gotejador, em l/h;

H = pressão na entrada do gotejador, em m de coluna d'água.

O Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ) da equação de regressão cúbica, para o microgotejador IRTEC-2, foi igual a 0,98789\*\*. Devido a este coeficiente ser elevado, o que significa que cerca de 99% da variação ocorrida foi explicada por esta equação, os valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, tiveram um ótimo ajustamento em relação à equação determinada.

A representação gráfica da equação (31) encontra-se na Figura 15.

FARIA (1981), estudando as características hidráulicas do microgotejador IRTEC, submeteu-os a diferentes pressões e sob a mesma temperatura da água (23°C), obtendo valores correspondentes de vazão versus pressão, com os quais estimou a seguinte equação de regressão do 4º grau:

$$\hat{q} = -0,05306 + 1,32523 H - 0,13562 H^2 + 0,00583 H^3 - 0,00009 H^4, \quad (32)$$

em que:

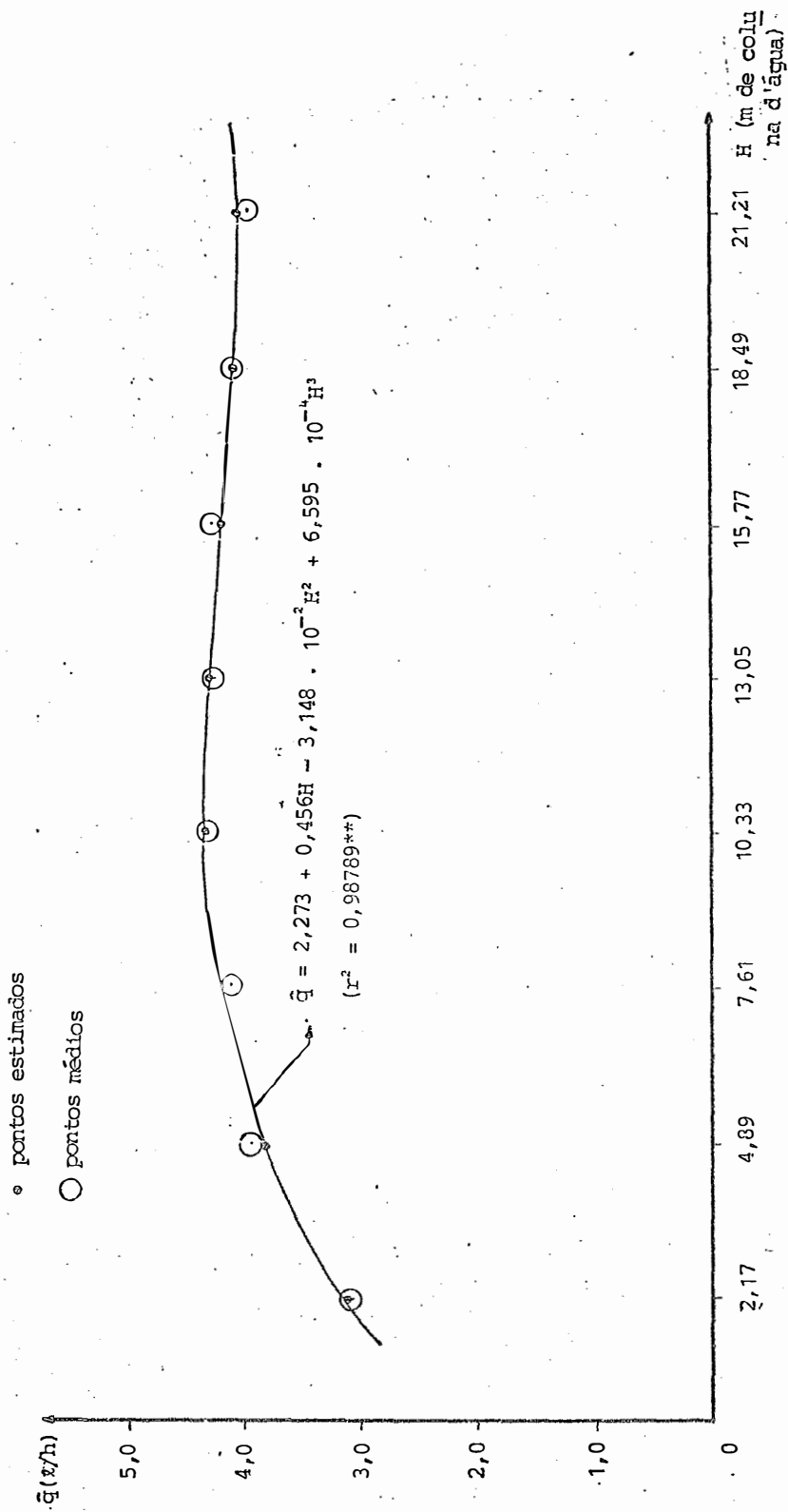


Figura 15 - Representação gráfica da curva obtida para a equação de regressão polinomial determinada para o gotejador IRTEC-2, em escala decimal.

$\hat{q}$  = vazão estimada do microgotejador, em l/h;

H = pressão na entrada do microgotejador, em m de coluna d'água.

O Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ) desta equação foi 0,9998 e o teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Como mostra a sua análise de variância e regressão polinomial, apenas cerca de 1,6% da variação explicada é devida ao efeito do componente de 4º grau, o que confere à equação de regressão do 3º grau, encontrada neste trabalho, como sendo representativa da estimativa de vazão, em função da pressão aplicada, para o microgotejador IRTEC.

#### Gotejador DANTAS:

Para o gotejador DANTAS, a análise revelou que o teste F foi significativo ao nível de 1%, para os componentes de 1º, 2º, 3º, 4º e 5º graus.

Para a obtenção da equação de regressão, calcularam-se os coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais, correspondentes a todos os componentes, do linear até o de 5º grau, o último significativo.

A equação de regressão do 5º grau determinada para o gotejador DANTAS, foi a seguinte:

$$\begin{aligned} \hat{q} = & 0,403 + 0,693 H - 0,073 H^2 + \\ & + 5,523 \cdot 10^{-3} H^3 - \\ & - 2,128 \cdot 10^{-4} H^4 + \\ & + 3,197 \cdot 10^{-6} H^5 \quad , \quad (33) \end{aligned}$$

em que:

$\hat{q}$  = vazão média estimada do gotejador, em l/h;

H = pressão na entrada do gotejador, em m de co  
luna d'água.

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da equação de regressão de 5º grau, para o gotejador DANTAS, foi igual a 0,99999\*\*. Devido a este coeficiente ser elevadíssimo, o que significa que quase toda a variação ocorrida foi explicada por esta equação, os valores obtidos da vazão média dos gotejadores testados, para cada pressão aplicada, tiveram um perfeito ajustamento em relação à equação determinada.

A representação gráfica da equação acima, encontra-se na Figura 16.

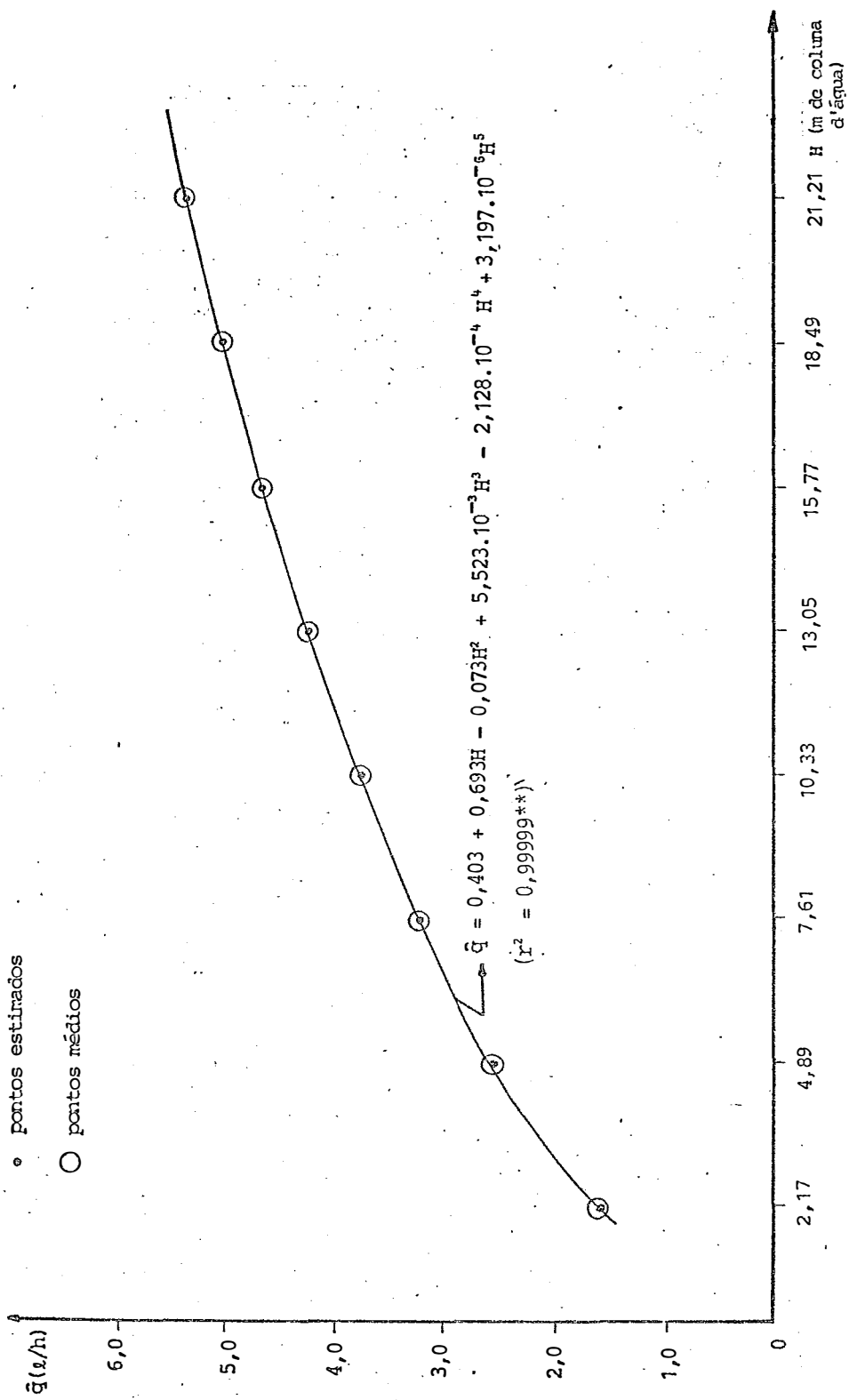


Figura 16 - Representação gráfica da curva obtida para a equação de regressão polinomial determinada para o gotejador DANTAS, em escala decimal.

#### 4.3.4 - Análise final

##### Gotejador IRTEC-1:

A equação de fluxo para o gotejador IRTEC-1, representada pela equação geométrica, do tipo  $q = K_d \cdot H^x$ , teve um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,90429\*\*, enquanto que para a equação de regressão polinomial foi encontrada uma equação do 2º grau, tendo um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,83757\*. Assim, como a equação geométrica (27) teve um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) maior do que o da equação de regressão polinomial (30), e com uma significância ao nível de 1%, pode-se dizer que aquela equação ajustou melhor os valores da vazão média do gotejador IRTEC-1, em função da pressão aplicada.

Analisando-se os valores de vazão média dos gotejadores, em ordem crescente de pressão aplicada, verifica-se que a equação geométrica propicia um melhor ajustamento a esses valores, conforme mostra a Figura 11. Porém, se observarmos o Quadro 10, verificaremos altos valores para o erro padrão da média [ $s(\bar{q}_m)$ ] da vazão dos gotejadores, em todas as pressões aplicadas, e principalmente, altos valores do coeficiente de variação em cada pressão aplicada, onde evidencia uma grande

variabilidade de vazão dentro de uma mesma pressão aplicada, o que vem confirmar os altos valores do Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador IRTEC-1, obtidos durante os testes de Uniformidade de Vazão, devido às diferenças existentes entre os gotejadores, decorrentes do processo de fabricação.

Quadro 10 - Valores do erro padrão da média e do coeficiente de variação da vazão média dos gotejadores IRTEC-1, para cada diferente pressão aplicada.

VAZÃO (l/h)	PRESSÃO (m de coluna d'água)							
	2,17	4,89	7,61	10,33	13,05	15,77	18,49	21,21
$\bar{q}_m$	3,20	3,71	3,91	3,75	3,58	3,37	3,28	2,97
$s(\bar{q}_m)$	0,35	0,28	0,34	0,29	0,21	0,32	0,54	0,53
C.V.	34,2%	23,8%	27,7%	24,4%	18,8%	30,0%	51,6%	56,9%

sendo:

$\bar{q}_m$  = vazão média referente aos valores médios dos dados observados de vazão dos gotejadores, em l/h;

$s(\bar{q}_m)$  = erro padrão da média da vazão dos gotejadores, para cada pressão aplicada, em l/h;

C.V. = coeficiente de variação da vazão média dos gotejadores, para cada pressão aplicada, em porcentagem.



Gotejador IRTEC-2:

A equação de fluxo para o microgotejador IRTEC-2, representada pela equação geométrica, do tipo  $q = K_d \cdot H^x$ , teve um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,96100\*\*, enquanto que para a equação de regressão polinomial foi encontrada uma equação do 3º grau, tendo um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,98789\*\*.

Assim, como a equação de regressão polinomial (31) teve um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) maior do que o da equação geométrica (28), e com uma significância ao nível de 1% para ambas, pode-se dizer que aquela equação se ajustou melhor aos valores da vazão média do microgotejador IRTEC-2, em função da pressão aplicada.

Analisando-se os valores de vazão média dos gotejadores, em ordem crescente de pressão aplicada, verifica-se que a equação de regressão cúbica propicia um bom ajustamento a esses valores, conforme mostra a Figura 15. Porém, observando o Quadro 11, verificaremos, também, altos valores para o erro padrão da média [ $s(\bar{q}_m)$ ] da vazão dos gotejadores, em todas as pressões aplicadas, e principalmente, altos valores do Coeficiente de Variação em cada pressão aplicada, embora um pouco menores em relação ao gotejador IRTEC-1, mas mesmo assim evidenciando uma grande variabilidade de vazão dentro de

uma mesma pressão aplicada, o que vem confirmar os altos valores do Coeficiente de Variação de Fabricação do microgotejador IRTEC-2, obtidos durante os testes de Uniformidade de Vazão, devido às diferenças existentes entre os gotejadores, decorrentes do processo de fabricação.

Quadro 11 - Valores do erro padrão da média e do coeficiente de variação da vazão média dos gotejadores IRTEC-2, para cada diferente pressão aplicada.

VAZÃO (l/h)	PRESSÃO (m de coluna d'água)							
	2,17	4,89	7,61	10,33	13,05	15,77	18,49	21,21
$\bar{q}_m$	3,09	3,92	4,16	4,34	4,30	4,27	4,12	4,07
$s(\bar{q}_m)$	0,19	0,25	0,25	0,28	0,30	0,34	0,30	0,31
C.V.	19,0%	19,9%	19,3%	20,3%	22,2%	25,5%	23,2%	23,9%

#### Gotejador DANTAS:

A equação de fluxo para o gotejador DANTAS, representada pela equação geométrica, do tipo  $q = K_d \cdot H^x$ , teve um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,99992\*\*, enquanto que para a equação de regressão polinomial foi encontrada uma equação do 5º grau como a que melhor se ajustou aos valores da vazão média

do gotejador DANTAS, em função da pressão aplicada, tendo um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,99999\*\*.

Analisando-se os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) das duas equações (29) e (33), ambas tiveram valores elevadíssimos, onde praticamente toda a variação ocorrida foi explicada pelas equações. Mas, como a variação explicada pela regressão linear na análise para Interpolação de Polinômios Ortogonais, representa cerca de 97% da variação total ocorrida, podemos considerar que a equação de regressão linear, do tipo  $q = K_d \cdot H^X$ , propicia um ótimo ajustamento aos valores de vazão média dos gotejadores, conforme ilustra a Figura 13, e vai de encontro à equação obtida por OLIVEIRA (1978).

Observando-se o Quadro 12, verificam-se baixos valores para o erro padrão da média [ $s(\bar{q}_m)$ ] da vazão dos gotejadores, em todas as pressões aplicadas, e principalmente, baixos valores do Coeficiente de Variação em cada pressão aplicada, evidenciando uma pequena dispersão dos valores de vazão dentro de uma mesma pressão aplicada, o que vem confirmar os baixos valores do Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador DANTAS, obtidos durante os testes de Uniformidade de Vazão.

Quadro 12 - Valores do erro padrão da média e do coeficiente de variação da vazão média dos gotejadores DANTAS, para cada diferente pressão aplicada.

VAZÃO (l/h)	PRESSÃO (m de coluna d'água)							
	2,17	4,89	7,61	10,33	13,05	15,77	18,49	21,21
$\bar{q}_m$	1,62	2,57	3,23	3,76	4,25	4,68	5,05	5,41
$s(\bar{q}_m)$	0,008	0,004	0,006	0,008	0,008	0,009	0,010	0,019
C.V.	1,48%	0,47%	0,56%	0,64%	0,56%	0,60%	0,63%	1,11%

Portanto, a equação de regressão determinada, do tipo  $q = K_d \cdot H_x$ , é a que vem melhor representar a realidade dos valores encontrados (Quadro 40 do Apêndice 3) durante o teste realizado para Determinação da Equação Característica de Descarga-Pressão do gotejador DANTAS.

#### 4.4 - Uniformidade de Aplicação dos Gotejadores

##### 4.4.1 - Uniformidade de Emissão dos gotejadores na linha lateral

Após a elaboração do programa de computador, introduziu-se, para cada respectivo gotejador, a equação característica de descarga-pressão determinada, juntamente com o seu Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ), e a seguir forneceram-se os valores da razão de perda de carga (RPC), para cada pressão de serviço (Hs) adotada.

Com a introdução desses elementos, construíram-se as tabelas, imprimindo-se os valores da razão de descarga máxima (RDMX), da razão de descarga mínima (RDM), da razão de perda (RP), da razão de vazão (RV), da Uniformidade de Emissão (UE), da Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e da Área Mais Molhada (AMM), para cada nível de pressão de serviço (Hs) adotado.

As tabelas de Uniformidade de Emissão são apresentadas nos Quadros 13, 14 e 15, respectivamente, para os gotejadores DANTAS, IRTEC-1 e IRTEC-2.

Com as tabelas obtidas, procedeu-se a uma análise dos resultados encontrados, para cada tipo de gotejador estudado.

Quadro 13 - Valores de Uniformidade de Emissão obtidos para o gotejador DANTAS.

\*PRESSAO MEDIA\*PM= 8.00

RPC=	RDHX =	RDM =	RP =	RV =	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
UEA																
.05=	1.02007	.99394	.77	.026	92.868	94.779	95.626	96.131	92.232	94.130	94.971	95.472	1.098	1.076	1.067	1.061
.10=	1.03979	.98784	.77	.050	92.298	94.197	95.039	95.541	91.078	92.953	93.783	94.278	1.127	1.104	1.094	1.088
.15=	1.05918	.98170	.77	.073	91.725	93.612	94.449	94.947	89.969	91.821	92.641	93.130	1.155	1.131	1.121	1.116
.20=	1.07825	.97554	.77	.095	91.148	93.024	93.855	94.351	88.901	90.731	91.541	92.024	1.183	1.159	1.149	1.143
.25=	1.09703	.96933	.77	.116	90.569	92.433	93.259	93.751	87.869	89.678	90.479	90.957	1.211	1.187	1.176	1.170
.30=	1.11552	.96309	.77	.137	89.986	91.838	92.658	93.147	86.872	88.660	89.452	89.925	1.240	1.215	1.204	1.198
.40=	1.15169	.95050	.77	.175	88.909	90.637	91.447	91.930	84.969	86.717	87.492	87.954	1.297	1.271	1.259	1.253
.50=	1.18687	.93776	.77	.210	87.619	89.422	90.221	90.698	83.171	84.883	85.641	86.093	1.355	1.327	1.316	1.309
.60=	1.22113	.92486	.77	.243	86.414	88.192	88.980	89.450	81.464	83.141	83.884	84.326	1.413	1.385	1.372	1.365
.70=	1.25455	.91180	.77	.273	85.193	86.946	87.723	88.186	79.835	81.478	82.206	82.640	1.473	1.443	1.430	1.423
.80=	1.28718	.89856	.77	.302	83.957	85.685	86.450	86.906	78.272	79.883	80.597	81.023	1.533	1.502	1.489	1.481
.90=	1.31909	.88515	.77	.329	82.703	84.406	85.160	85.609	76.768	78.348	79.048	79.465	1.595	1.563	1.549	1.541
1.00=	1.35031	.87155	.77	.355	81.433	83.109	83.852	84.294	75.314	76.864	77.551	77.960	1.658	1.625	1.610	1.602

\*PRESSAO MEDIA\*PM=10.00

RPC=	RDHX =	RDM =	RP =	RV =	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
UEA																
.05=	1.02007	.99393	.77	.026	92.867	94.779	95.626	96.130	92.232	94.130	94.971	95.472	1.098	1.076	1.067	1.061
.10=	1.03979	.98784	.77	.050	92.297	94.197	95.039	95.540	91.078	92.953	93.783	94.278	1.127	1.104	1.094	1.088
.15=	1.05918	.98170	.77	.073	91.724	93.612	94.449	94.947	89.969	91.821	92.641	93.130	1.155	1.131	1.121	1.116
.20=	1.07825	.97553	.77	.095	91.148	93.024	93.855	94.351	88.901	90.731	91.541	92.024	1.183	1.159	1.149	1.143
.25=	1.09703	.96933	.77	.116	90.569	92.433	93.258	93.751	87.869	89.678	90.479	90.957	1.211	1.187	1.176	1.170
.30=	1.11552	.96309	.77	.137	89.986	91.838	92.658	93.147	86.872	88.660	89.452	89.924	1.240	1.215	1.204	1.198
.40=	1.15169	.95050	.77	.175	88.909	90.637	91.447	91.930	84.969	86.717	87.492	87.954	1.297	1.271	1.259	1.253
.50=	1.18687	.93776	.77	.210	87.619	89.422	90.221	90.697	83.171	84.883	85.641	86.093	1.355	1.327	1.316	1.309
.60=	1.22113	.92486	.77	.243	86.414	88.192	88.980	89.450	81.464	83.141	83.884	84.326	1.413	1.385	1.372	1.365
.70=	1.25455	.91180	.77	.273	85.193	86.946	87.723	88.186	79.835	81.478	82.206	82.640	1.473	1.443	1.430	1.423
.80=	1.28718	.89856	.77	.302	83.957	85.685	86.450	86.906	78.272	79.883	80.597	81.023	1.533	1.502	1.489	1.481
.90=	1.31909	.88515	.77	.329	82.703	84.406	85.160	85.609	76.768	78.348	79.048	79.465	1.595	1.563	1.549	1.541
1.00=	1.35031	.87155	.77	.355	81.433	83.109	83.852	84.294	75.314	76.864	77.551	77.960	1.658	1.625	1.610	1.602

\*PRESSAO MEDIA\*PM=12.00

RPC=	RDHX =	RDM =	RP =	RV =	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
UEA																
.05=	1.02007	.99393	.77	.026	92.867	94.779	95.626	96.130	92.232	94.130	94.971	95.472	1.098	1.076	1.067	1.061
.10=	1.03979	.98784	.77	.050	92.298	94.197	95.039	95.541	91.078	92.953	93.783	94.278	1.127	1.104	1.094	1.088
.15=	1.05918	.98170	.77	.073	91.724	93.612	94.449	94.947	89.969	91.821	92.641	93.130	1.155	1.131	1.121	1.116
.20=	1.07825	.97533	.77	.095	91.148	93.024	93.855	94.351	88.901	90.731	91.541	92.024	1.183	1.159	1.149	1.143
.25=	1.09703	.96933	.77	.116	90.568	92.433	93.258	93.751	87.869	89.678	90.479	90.957	1.211	1.187	1.176	1.170
.30=	1.11552	.96309	.77	.137	89.986	91.838	92.658	93.147	86.872	88.660	89.452	89.924	1.240	1.215	1.204	1.198
.40=	1.15169	.95050	.77	.175	88.909	90.637	91.447	91.930	84.969	86.717	87.492	87.954	1.297	1.271	1.259	1.253
.50=	1.18687	.93776	.77	.210	87.619	89.422	90.221	90.697	83.171	84.883	85.641	86.093	1.355	1.327	1.316	1.309
.60=	1.22113	.92486	.77	.243	86.414	88.192	88.980	89.450	81.464	83.141	83.884	84.326	1.413	1.385	1.372	1.365
.70=	1.25455	.91180	.77	.273	85.193	86.946	87.723	88.186	79.835	81.478	82.206	82.640	1.473	1.443	1.430	1.423
.80=	1.28718	.89856	.77	.302	83.957	85.685	86.450	86.906	78.272	79.883	80.597	81.023	1.533	1.502	1.489	1.481
.90=	1.31909	.88515	.77	.329	82.703	84.406	85.160	85.609	76.768	78.348	79.048	79.465	1.595	1.563	1.549	1.541
1.00=	1.35031	.87155	.77	.355	81.433	83.109	83.852	84.294	75.314	76.864	77.551	77.960	1.658	1.625	1.610	1.602

Quadro 14 - Valores de Uniformidade de Emissão obtidos para o gotejador IRTEC-1.

```

=====
*PRESSAO MEDIA*PH= 8.00
=====
RPC= RDMX = RDM = RP = RV = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 =
.05= .99894 = 1.00032 = .77 = -.001 = 77.546 84.132 87.050 88.789 = 77.575 84.163 87.082 88.822 = 1.288 1.187 1.148 1.125=
.10= .99793 = 1.00065 = .77 = -.003 = 77.572 84.160 87.078 88.818 = 77.627 84.220 87.141 88.882 = 1.286 1.186 1.146 1.124=
.15= .99694 = 1.00098 = .77 = -.004 = 77.597 84.188 87.107 88.848 = 77.678 84.275 87.198 88.940 = 1.285 1.184 1.145 1.122=
.20= .99600 = 1.00132 = .77 = -.005 = 77.623 84.216 87.137 88.878 = 77.728 84.329 87.254 88.997 = 1.283 1.183 1.143 1.121=
.25= .99508 = 1.00166 = .77 = -.007 = 77.650 84.245 87.166 88.908 = 77.777 84.383 87.309 89.053 = 1.282 1.181 1.142 1.119=
.30= .99420 = 1.00200 = .77 = -.008 = 77.676 84.273 87.196 88.938 = 77.825 84.435 87.363 89.108 = 1.280 1.180 1.140 1.118=
.40= .99251 = 1.00271 = .77 = -.010 = 77.731 84.333 87.257 89.001 = 77.918 84.536 87.468 89.216 = 1.277 1.177 1.137 1.115=
.50= .99092 = 1.00343 = .77 = -.013 = 77.787 84.393 87.320 89.065 = 78.009 84.634 87.569 89.319 = 1.274 1.174 1.135 1.113=
.60= .98942 = 1.00417 = .77 = -.015 = 77.844 84.455 87.384 89.130 = 78.097 84.730 87.668 89.420 = 1.271 1.172 1.132 1.110=
.70= .98800 = 1.00493 = .77 = -.017 = 77.903 84.519 87.451 89.198 = 78.183 84.833 87.765 89.518 = 1.268 1.169 1.130 1.108=
.80= .98665 = 1.00571 = .77 = -.019 = 77.964 84.585 87.519 89.267 = 78.267 84.914 87.859 89.614 = 1.266 1.166 1.127 1.105=
.90= .98537 = 1.00652 = .77 = -.021 = 78.026 84.653 87.589 89.339 = 78.349 85.003 87.951 89.709 = 1.263 1.164 1.125 1.103=
1.00= .98414 = 1.00734 = .77 = -.024 = 78.090 84.723 87.661 89.412 = 78.430 85.092 88.043 89.802 = 1.260 1.162 1.123 1.101=
=====

```

```

=====
*PRESSAO MEDIA*PH=10.00
=====
RPC= RDMX = RDM = RF = RV = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 =
.05= .99894 = 1.00032 = .77 = -.001 = 77.546 84.132 87.050 88.789 = 77.575 84.163 87.082 88.822 = 1.288 1.187 1.148 1.125=
.10= .99793 = 1.00065 = .77 = -.003 = 77.572 84.160 87.078 88.818 = 77.627 84.220 87.141 88.882 = 1.286 1.186 1.146 1.124=
.15= .99694 = 1.00098 = .77 = -.004 = 77.597 84.188 87.107 88.848 = 77.678 84.275 87.198 88.940 = 1.285 1.184 1.145 1.122=
.20= .99600 = 1.00132 = .77 = -.005 = 77.623 84.216 87.137 88.878 = 77.728 84.329 87.254 88.997 = 1.283 1.183 1.143 1.121=
.25= .99508 = 1.00166 = .77 = -.007 = 77.650 84.245 87.166 88.908 = 77.777 84.383 87.309 89.053 = 1.282 1.181 1.142 1.119=
.30= .99420 = 1.00200 = .77 = -.008 = 77.676 84.273 87.196 88.938 = 77.825 84.435 87.363 89.108 = 1.280 1.180 1.140 1.118=
.40= .99251 = 1.00271 = .77 = -.010 = 77.731 84.333 87.257 89.001 = 77.918 84.536 87.468 89.216 = 1.277 1.177 1.137 1.115=
.50= .99092 = 1.00343 = .77 = -.013 = 77.787 84.393 87.320 89.065 = 78.009 84.634 87.569 89.319 = 1.274 1.174 1.135 1.113=
.60= .98942 = 1.00417 = .77 = -.015 = 77.844 84.455 87.384 89.130 = 78.097 84.730 87.668 89.420 = 1.271 1.172 1.132 1.110=
.70= .98800 = 1.00493 = .77 = -.017 = 77.903 84.519 87.451 89.198 = 78.183 84.833 87.765 89.518 = 1.268 1.169 1.130 1.108=
.80= .98665 = 1.00571 = .77 = -.019 = 77.964 84.585 87.519 89.267 = 78.267 84.914 87.859 89.614 = 1.266 1.166 1.127 1.105=
.90= .98537 = 1.00652 = .77 = -.021 = 78.026 84.653 87.589 89.339 = 78.349 85.003 87.951 89.709 = 1.263 1.164 1.125 1.103=
1.00= .98414 = 1.00734 = .77 = -.024 = 78.090 84.723 87.661 89.412 = 78.430 85.092 88.043 89.802 = 1.260 1.162 1.123 1.101=
=====

```

```

=====
*PRESSAO MEDIA*PH=12.00
=====
RPC= RDMX = RDM = RP = RV = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 = 1 2 3 4 =
.05= .99894 = 1.00032 = .77 = -.001 = 77.546 84.132 87.050 88.789 = 77.575 84.163 87.082 88.822 = 1.288 1.187 1.148 1.125=
.10= .99793 = 1.00065 = .77 = -.003 = 77.572 84.160 87.078 88.818 = 77.627 84.220 87.141 88.882 = 1.286 1.186 1.146 1.124=
.15= .99694 = 1.00098 = .77 = -.004 = 77.597 84.188 87.107 88.848 = 77.678 84.275 87.198 88.940 = 1.285 1.184 1.145 1.122=
.20= .99600 = 1.00132 = .77 = -.005 = 77.623 84.216 87.137 88.878 = 77.728 84.329 87.254 88.997 = 1.283 1.183 1.143 1.121=
.25= .99508 = 1.00166 = .77 = -.007 = 77.650 84.245 87.166 88.908 = 77.777 84.383 87.309 89.053 = 1.282 1.181 1.142 1.119=
.30= .99420 = 1.00200 = .77 = -.008 = 77.676 84.273 87.196 88.938 = 77.825 84.435 87.363 89.108 = 1.280 1.180 1.140 1.118=
.40= .99251 = 1.00271 = .77 = -.010 = 77.731 84.333 87.257 89.001 = 77.918 84.536 87.468 89.216 = 1.277 1.177 1.137 1.115=
.50= .99092 = 1.00343 = .77 = -.013 = 77.787 84.393 87.320 89.065 = 78.009 84.634 87.569 89.319 = 1.274 1.174 1.135 1.113=
.60= .98942 = 1.00417 = .77 = -.015 = 77.844 84.455 87.384 89.130 = 78.097 84.730 87.668 89.420 = 1.271 1.172 1.132 1.110=
.70= .98800 = 1.00493 = .77 = -.017 = 77.903 84.519 87.451 89.198 = 78.183 84.833 87.765 89.518 = 1.268 1.169 1.130 1.108=
.80= .98665 = 1.00571 = .77 = -.019 = 77.964 84.585 87.519 89.267 = 78.267 84.914 87.859 89.614 = 1.266 1.166 1.127 1.105=
.90= .98537 = 1.00652 = .77 = -.021 = 78.026 84.653 87.589 89.339 = 78.349 85.003 87.951 89.709 = 1.263 1.164 1.125 1.103=
1.00= .98414 = 1.00734 = .77 = -.024 = 78.090 84.723 87.661 89.412 = 78.430 85.092 88.043 89.802 = 1.260 1.162 1.123 1.101=
=====

```

Quadro 15 - Valores de Uniformidade de Emissão obtidos para o gotejador IRIEC-2.

\*\*\*\*\*PRESSAO MEDIA\*PM= 8.00

RPC=	RDHX	RDM	RP	RV	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
.05	1.00340	.99025	.77	.007	82.038	87.248	89.556	90.932	81.690	87.090	89.394	90.767	1.236	1.152	1.123	1.106
.10	1.01012	.99644	.77	.014	81.890	87.090	89.394	90.767	81.624	86.807	89.104	90.477	1.234	1.160	1.130	1.113
.15	1.01766	.99263	.77	.019	81.736	86.526	89.226	90.596	81.383	86.552	88.841	90.206	1.241	1.167	1.137	1.119
.20	1.01766	.99263	.77	.025	81.576	86.757	89.052	90.420	81.166	86.320	88.604	89.965	1.247	1.173	1.143	1.125
.25	1.02053	.99063	.77	.039	81.412	86.582	88.872	90.237	80.970	86.112	88.390	89.748	1.254	1.179	1.148	1.131
.30	1.02284	.98856	.77	.034	81.242	86.401	88.686	90.049	80.794	85.925	88.198	89.553	1.259	1.184	1.153	1.136
.40	1.02587	.98422	.77	.041	80.885	86.022	88.297	89.654	80.497	85.609	87.874	89.224	1.268	1.193	1.162	1.144
.50	1.02698	.97961	.77	.046	80.506	85.618	87.883	89.233	80.264	85.361	87.620	88.966	1.276	1.199	1.169	1.151
.60	1.02638	.97472	.77	.050	80.104	85.191	87.445	88.788	80.087	85.173	87.426	88.769	1.281	1.205	1.174	1.156
.70	1.02429	.96954	.77	.053	79.679	84.737	86.980	88.316	79.956	85.033	87.283	88.624	1.286	1.209	1.178	1.160
.80	1.02092	.96408	.77	.056	79.230	84.261	86.490	87.819	79.864	84.935	87.182	88.521	1.289	1.212	1.180	1.163
.90	1.01651	.95831	.77	.057	78.756	83.757	85.973	87.294	79.802	84.869	87.114	88.453	1.291	1.214	1.182	1.164
1.00	1.01125	.95225	.77	.058	78.258	83.227	85.429	86.741	79.763	84.828	87.072	88.410	1.292	1.215	1.184	1.166

\*\*\*\*\*PRESSAO MEDIA\*PM=10.00

RPC=	RDHX	RDM	RP	RV	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
.05	1.00178	.99932	.77	.002	82.126	87.341	89.651	91.029	82.081	87.293	89.603	90.979	1.230	1.147	1.117	1.101
.10	1.00281	.99856	.77	.004	82.064	87.225	89.584	90.964	82.008	87.216	89.523	90.898	1.222	1.149	1.119	1.102
.15	1.00314	.99773	.77	.005	81.996	87.203	89.509	90.884	81.960	87.165	89.471	90.845	1.223	1.150	1.121	1.104
.20	1.00384	.99683	.77	.006	81.921	87.123	89.428	90.802	81.935	87.139	89.444	90.818	1.234	1.151	1.121	1.104
.25	1.00194	.99525	.77	.006	81.841	87.038	89.340	90.713	81.932	87.135	89.440	90.814	1.224	1.151	1.121	1.105
.30	1.00051	.99447	.77	.006	81.754	86.943	89.243	90.616	81.947	87.151	89.456	90.830	1.234	1.151	1.121	1.104
.40	.99623	.99243	.77	.004	81.560	86.799	89.034	90.401	82.026	87.235	89.543	90.918	1.221	1.149	1.119	1.102
.50	.99043	.98974	.77	.001	81.339	86.594	88.792	90.157	82.157	87.375	89.686	91.064	1.218	1.145	1.115	1.099
.60	.98352	.98671	.77	.003	81.090	86.340	88.521	89.881	82.325	87.552	89.868	91.249	1.213	1.140	1.111	1.094
.70	.97591	.98334	.77	.008	80.815	85.944	88.248	89.573	82.511	87.751	90.072	91.456	1.208	1.136	1.106	1.090
.80	.96802	.97959	.77	.012	80.505	85.617	87.882	89.232	82.701	87.953	90.279	91.666	1.202	1.131	1.101	1.085
.90	.96026	.97548	.77	.016	80.167	85.258	87.513	88.857	82.875	88.138	90.469	91.859	1.198	1.126	1.097	1.081
1.00	.95305	.97098	.77	.019	79.797	84.865	87.109	88.448	83.014	88.285	90.621	92.043	1.194	1.123	1.094	1.078

\*\*\*\*\*PRESSAO MEDIA\*PM=12.00

RPC=	RDHX	RDM	RP	RV	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
.05	.99811	1.00042	.77	.002	82.217	87.438	89.751	91.129	82.277	87.502	89.817	91.197	1.214	1.142	1.112	1.095
.10	.99554	1.00078	.77	.005	82.246	87.468	89.782	91.162	82.398	87.630	89.948	91.330	1.210	1.138	1.109	1.092
.15	.99240	1.00126	.77	.009	82.269	87.493	89.807	91.187	82.540	87.781	90.104	91.488	1.206	1.134	1.105	1.088
.20	.98877	1.00139	.77	.013	82.286	87.511	89.826	91.206	82.706	88.139	90.470	91.666	1.202	1.130	1.101	1.084
.25	.98473	1.00144	.77	.017	82.296	87.522	89.837	91.217	82.876	88.139	90.470	91.666	1.197	1.125	1.096	1.080
.30	.98039	1.00144	.77	.021	82.300	87.524	89.842	91.222	83.063	88.338	90.674	92.067	1.191	1.120	1.091	1.075
.40	.97113	1.00129	.77	.031	82.288	87.513	89.828	91.208	83.456	88.756	91.104	92.503	1.180	1.110	1.081	1.065
.50	.96471	1.00079	.77	.041	82.247	87.469	89.783	91.163	83.850	89.175	91.534	92.940	1.169	1.099	1.071	1.055
.60	.95883	1.00079	.77	.049	82.175	87.394	89.703	91.084	84.214	89.561	91.930	93.342	1.160	1.090	1.062	1.046
.70	.94522	.99867	.77	.057	82.073	87.285	89.593	90.970	84.509	89.875	92.253	93.670	1.152	1.083	1.055	1.039
.80	.93959	.99702	.77	.061	81.937	87.140	89.445	90.819	84.701	90.1080	92.463	93.883	1.147	1.078	1.050	1.034
.90	.93467	.99494	.77	.062	81.766	86.958	89.258	90.630	84.752	90.134	92.518	93.940	1.146	1.079	1.049	1.034
1.00	.93716	.99242	.77	.059	81.559	86.738	89.032	90.400	84.625	89.999	92.380	93.799	1.149	1.080	1.053	1.037



Gotejador DANTAS:

Para o gotejador DANTAS, utilizou-se a equação geométrica (29):

$$\hat{q} = 1,097 \cdot H^{0,526},$$

e o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ) igual a 0,0517.

Sendo o expoente de descarga da equação geométrica (0,526) igual ao coeficiente angular desta equação em papel dilogarítmico, resultou que a razão de descarga máxima (RDMX) e a razão de descarga mínima (RDM) tiveram valores praticamente iguais para cada valor da razão de perda de carga (RPC) nos três níveis de pressão de serviço ( $H_s$ ) adotados, com exceção de apenas alguns valores que tiveram uma diferença entre si de uma unidade apenas na quinta casa decimal.

Consequentemente, os valores dos demais parâmetros constantes da tabela foram iguais, com exceção para uns poucos valores, onde houve uma diferença entre si de uma unidade apenas na terceira casa decimal.

Portanto, pode-se concluir que os valores da Uniformidade de Emissão, Uniformidade de Emissão Absoluta e Área Mais Molhada são praticamente os mesmos para cada valor da razão de perda de carga, em todos os três níveis de pressão de serviço adotados.

A aplicação do teste de Lilliefors revelou uma não aderência dos dados de vazão dos gotejadores amostrados à distribuição normal proposta, nos três testes de Uniformidade de Vazão realizados com o gotejador DANTAS.

SOLOMON (1977), conforme relatado no item 2.3.2, considerou que o emprego para os quais essas distribuições serão colocadas, provavelmente não asseguraria o uso de uma distribuição mais complexa, mesmo se ela fosse mais representativa do que a distribuição normal. Sendo assim, seguimos esta argumentação para a elaboração da tabela de Uniformidade de Emissão do gotejador DANTAS, já que as fórmulas empregadas no seu cálculo baseiam-se em definições estatísticas fundamentadas numa variável ao acaso distribuída normalmente.

Na análise seguiremos a recomendação feita por KELLER e KARMELI (1974), de que é desejável que a Uniformidade de Emissão do sistema seja 94% ou mais, e que em nenhum caso a Uniformidade de Emissão do projeto deveria estar abaixo de 90%.

Assim, adotando-se este critério, verificamos que para 1 (um) gotejador por planta podemos permitir uma razão de perda de carga (RPC) até 0,30, onde ocorreria uma variação de vazão de 13,7% entre a vazão máxima e mínima na linha lateral. A Uniformidade de Emis

são Absoluta (UEa) seria de 86,87%, e a Área Mais Molhada (AMM) receberia 24% a mais de água, em relação à lâmina média aplicada. Também, notamos que com um gotejador por planta não será atingida a Uniformidade de Emissão (UE) desejada, de 94%, mesmo adotando-se uma razão de perda da carga (RPC) de 0,05, que proporcionaria uma uniformidade máxima de 92,87%.

Para 2 (dois) gotejadores por planta, uma Uniformidade de Emissão de 90% poderia ser atingida permitindo-se uma razão de perda de carga (RPC) até 0,40, onde ocorreria uma variação de vazão de 17,5% entre a vazão máxima e mínima na linha lateral. A Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) seria de 86,72% e a Área Mais Molhada (AMM) receberia 27,1% a mais de água, em relação à lâmina média aplicada. A Uniformidade de Emissão desejada de 94% seria atingida adotando-se uma razão de perda de carga (RPC) abaixo de 0,10.

Para 3 (três) e 4 (quatro) gotejadores por planta, uma Uniformidade de Emissão de 90% poderia ser atingida permitindo-se uma razão de perda de carga de até 0,50, onde ocorreria uma variação de vazão de 21% entre a vazão máxima e mínima na linha lateral. A Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) seria de 85,64% e 86,09%, e a Área Mais Molhada (AMM) receberia 31,6% e 30,9% a

mais de água, em relação à lâmina média aplicada, respectivamente para 3 e 4 gotejadores por planta. A Uniformidade de Emissão desejada de 94% seria atingida adotando-se uma razão de perda de carga (RPC) abaixo de 0,15, para três gotejadores por planta, e abaixo de 0,20 para quatro gotejadores por planta.

#### Gotejador IRTEC-1:

Para o gotejador IRTEC-1 a aplicação do teste de Lilliefors revelou que os dados de vazão do gotejador podem ser estudados através da distribuição normal.

Assim, utilizou-se a equação geométrica (27):

$$\hat{q} = 3,680 \cdot H^{-0,028} ,$$

e o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ) igual a 0,1770, para a elaboração da tabela de Uniformidade de Emissão do respectivo gotejador.

Como o expoente de descarga da equação geométrica obtida para o gotejador IRTEC-1 foi igual a -0,028, portanto um valor negativo, resultou que a vazão do gotejador no início da linha lateral foi menor que a vazão média do gotejador, e a vazão do gotejador

no final da linha lateral foi maior do que a vazão média do gotejador. Assim, os valores encontrados para a razão de descarga máxima (RDMX) foram menores do que 1 e os valores encontrados para a razão de descarga mínima (RDM) foram maiores do que 1, resultando valores negativos para a razão de vazão (RV).

Sendo o expoente de descarga da equação geométrica (-0,028) igual ao coeficiente angular desta equação em papel dilogarítmico, resultou que a razão de descarga máxima (RDMX) e a razão de descarga mínima (RDM) tiveram todos os seus valores iguais, para cada valor da razão de perda de carga (RPC) nos três níveis de pressão de serviço (Hs) adotados, com exceção de apenas um valor que teve uma diferença entre si de uma unidade apenas na quinta casa decimal. Consequentemente, os valores dos demais parâmetros constantes da tabela foram iguais.

Portanto, pode-se concluir que os valores da Uniformidade de Emissão (UE), Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e Área Mais Molhada (AMM) são os mesmos, para cada valor da razão de perda de carga (RPC), em todos os três níveis de pressão de serviço (Hs) adotados.

Na análise dos resultados obtidos, verificou-se que até com 4 (quatro) gotejadores por planta não será atingida a Uniformidade de Emissão de 90% para este gotejador, com qualquer valor da razão da perda de carga. Para 1 (um) gotejador por planta a uniformidade de emissão estará ao redor de 77% para todos os valores da razão de perda de carga; para 2 (dois) gotejadores por planta a uniformidade de emissão estará ao redor de 84% para todos os valores da razão de perda de carga; para 3 (três) gotejadores por planta a uniformidade de emissão estará ao redor de 87% para todos os valores da razão de perda de carga; e para 4 (quatro) gotejadores por planta a uniformidade de emissão estará próxima de 89%, para todos os valores da razão de perda de carga.

Para a Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) foram encontrados valores praticamente iguais aos encontrados para a Uniformidade de Emissão (UE), estando ao redor de 78%, 84%, 87% e 89%, respectivamente, com 1 (um), 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro) gotejadores por planta.

A Área Mais Molhada (AMM) variou de 28,8% a 26% do menor para o maior valor da razão de perda de carga, com 1 (um) gotejador por planta. Com 2 (dois) gotejadores por planta, variou de 18,7% a 16,2%, do menor

para o maior valor da razão de perda de carga. Com 3 (três) gotejadores por planta, variou de 14,8% a 12,3%, do menor para o maior valor da razão de perda de carga. E com 4 (quatro) gotejadores por planta, variou de 12,5% a 10,1% do menor para o maior valor da razão de perda de carga.

#### Gotejador IRTEC-2:

Para o gotejador IRTEC-2, a aplicação do teste de Lilliefors revelou que os dados de vazão do gotejador podem ser estudados através da distribuição normal.

Assim, utilizou-se a equação de regressão cúbica (31):

$$\hat{q} = 2,273 + 4,562 \cdot 10^{-1} H - 3,148 \cdot 10^{-2} H^2 + 6,595 \cdot 10^{-4} H^3 ,$$

e o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ) igual a 0,1403, para a elaboração da tabela de Uniformidade de Emissão do respectivo gotejador.

Com a utilização da equação de regressão polinomial do 3º grau, obtida para o gotejador IRTEC-2, resultaram valores normais tanto para a razão de descarga máxima (RDMX) como para a razão de descarga mínima

(RDM), isto é, a vazão do gotejador no início da linha lateral foi maior que a vazão média do gotejador e a vazão do gotejador no final da linha lateral foi menor que a vazão média do gotejador, isto para o nível de pressão de serviço (Hs) adotado de 8,0 m de coluna d'água.

Já para a pressão de serviço (Hs) de 10,0 m de coluna d'água, resultaram valores normais para uma razão de perda de carga (RPC) de até 0,30, e para razões de perda de carga (RPC's) acima de 0,40, resultaram valores abaixo de 1, tanto para a razão de descarga máxima (RDMX), como para a razão de descarga mínima (RDM).

Para a pressão de serviço (Hs) de 12,0 m de coluna d'água, a vazão no início da linha lateral foi menor que a vazão média do gotejador e a vazão no final da linha lateral foi maior que a vazão média do gotejador, resultando valores menores do que 1 para a razão de descarga máxima (RDMX) e valores maiores do que 1 para a razão de descarga mínima (RDM), isto para valores da razão de perda de carga (RPC) abaixo de 0,50. Já para valores da razão de perda de carga (RPC) acima de 0,60, resultaram valores menores do que 1, tanto para a razão de descarga máxima (RDMX), como para a razão de descarga mínima (RDM).

Isto posto, verificamos que tanto a razão de descarga máxima (RDMX), como a razão de descarga



mínima (RDM) são diferentes para cada valor da razão de perda de carga (RPC), em todos os três níveis de pressão de serviço (Hs) adotados.

Portanto, pode-se concluir que também os valores da Uniformidade de Emissão (UE), Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e Área Mais Molhada (AMM) são diferentes para cada valor da razão de perda de carga (RPC), em todos os três níveis de pressão de serviço (Hs) adotados.

Na análise dos resultados obtidos para a pressão de serviço adotada de 8,00 m de coluna d'água, verificou-se que a Uniformidade de Emissão de 90% somente será atingida com a utilização de 4 (quatro) gotejadores por planta, para razões de perda de carga (RPC's) abaixo de 0,30.

O intervalo de variação dos valores da Uniformidade de Emissão (UE), Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e Área Mais Molhada (AMM), para a pressão de serviço (Hs) de 8,0 m de coluna d'água, pode ser visto no Quadro 16.

Quadro 16 - Intervalo de variação dos valores dos parâmetros de Uniformidade de Emissão, para a pressão de serviço (Hs) de 8,0 m de coluna d'água.

GOTEJADOR/PLANTA	UE (%)	UEa (%)	AMM (%)
1	82,04-78,26	81,89-79,76	22,6-29,2
2	87,25-83,23	87,09-84,83	15,2-21,5
3	89,56-85,43	89,39-87,07	12,3-18,4
4	90,93-86,74	90,77-88,41	10,6-16,6

Obs.: Cada intervalo inclui desde a menor razão de perda de carga (RPC) até a maior.

Com a pressão de serviço adotada de 10,0 m de coluna d'água, verificou-se que a Uniformidade de Emissão de 90% somente será atingida com a utilização de 4 (quatro) gotejadores por planta, para razões de perda de carga (RPC's) abaixo de 0,50.

O intervalo de variação dos valores da Uniformidade de Emissão (UE), Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e Área Mais Molhada (AMM), para a pressão de serviço (Hs) de 10,0 m de coluna d'água, pode ser visto no Quadro 17.

Quadro 17 - Intervalo de variação dos valores dos parâmetros da Uniformidade de Emissão, para a pressão de serviço (Hs) de 10,0 m de coluna d'água.

GOTEJADOR/PLANTA	UE (%)	UEa (%)	AMM (%)
1	82,13-70,80	82,08-83,01	22,0-19,4
2	87,34-87,87	87,29-88,29	14,7-12,3
3	89,65-87,11	89,60-90,62	11,7- 9,4
4	91,03-88,45	90,98-92,01	10,1- 7,8

Obs.: Cada intervalo inclui desde a menor razão de perda de carga (RPC) até a maior.

Com a pressão de serviço adotada de 12,0 m de coluna d'água, verificou-se que a Uniformidade de Emissão de 90% somente será atingida com a utilização de 4 (quatro) gotejadores por planta, para qualquer valor da razão de perda de carga (RPC).

O intervalo de variação dos valores da Uniformidade de Emissão (UE), Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa) e Área Mais Molhada (AMM), para a pressão de serviço (Hs) de 12,0 m de coluna d'água, pode ser visto no Quadro 18.

Quadro 18 - Intervalo de variação dos valores dos parâmetros de Uniformidade de Emissão, para a pressão de serviço (Hs) de 12,0 m de coluna d'água.

GOTEJADOR/PLANTA	UE (%)	UEa (%)	AMM (%)
1	82,22-81,56	82,28-84,63	21,4-14,9
2	87,44-86,74	87,50-90,00	14,2- 8,0
3	89,75-89,03	89,82-92,38	11,2- 5,3
4	91,13-90,40	91,20-93,80	9,5- 3,7

Obs.: Cada intervalo inclui desde a menor razão de perda de carga (RPC) até a maior.

#### 4.4.2 - Coeficiente de Uniformidade na linha lateral

Utilizando-se a equação (23), calcularam-se os valores estimados da taxa de fluxo média, para cada respectivo subgrupo, os quais foram determinados através de incrementos de 5% da população total distribuída normalmente.

Os valores calculados do valor médio da variável reduzida ( $\bar{t}_i$ ) foram retirados do trabalho de NAKAYAMA *et alii* (1978), pois, dentro do mesmo incremento do subgrupo, o valor  $\bar{t}_i$  será o mesmo, independente das unidades das observações, já que elas são distribuídas normalmente.

Assim, com os valores calculados da taxa de fluxo média para os 20 subgrupos respectivos, onde foram usados  $\hat{q}_g = 4,12$  l/h e  $CV_{fg} = 0,1770$ , para o gotejador IRTEC-1;  $\hat{q}_g = 4,97$  l/h e  $CV_{fg} = 0,1403$ , para o gotejador IRTEC-2; e  $\hat{q}_g = 3,97$  l/h e  $CV_{fg} = 0,0517$ , para o gotejador DANTAS, elaborou-se um gráfico, onde foram plotados os valores da taxa de fluxo média para cada respectivo subgrupo, obtendo-se uma curva para cada tipo de gotejador.

Para o gotejador DANTAS seguiu-se a mesma consideração feita por SOLOMON (1977), conforme relatada no item 2.3.2.

O gráfico contendo as três curvas é apresentado na Figura 17.

O gráfico mostra claramente que o gotejador com um menor Coeficiente de Variação de Fabricação (gotejador DANTAS), conduz para uma maior uniformidade de fluxo, como indicado pela variação menor dos subgrupos com as menores e maiores vazões, em relação à taxa de fluxo média do gotejador.

SOLOMON (1977) sugeriu que o Coeficiente de Variação de Fabricação deveria ser menor do que 0,15 para alcançar uma razoável uniformidade de aplicação.

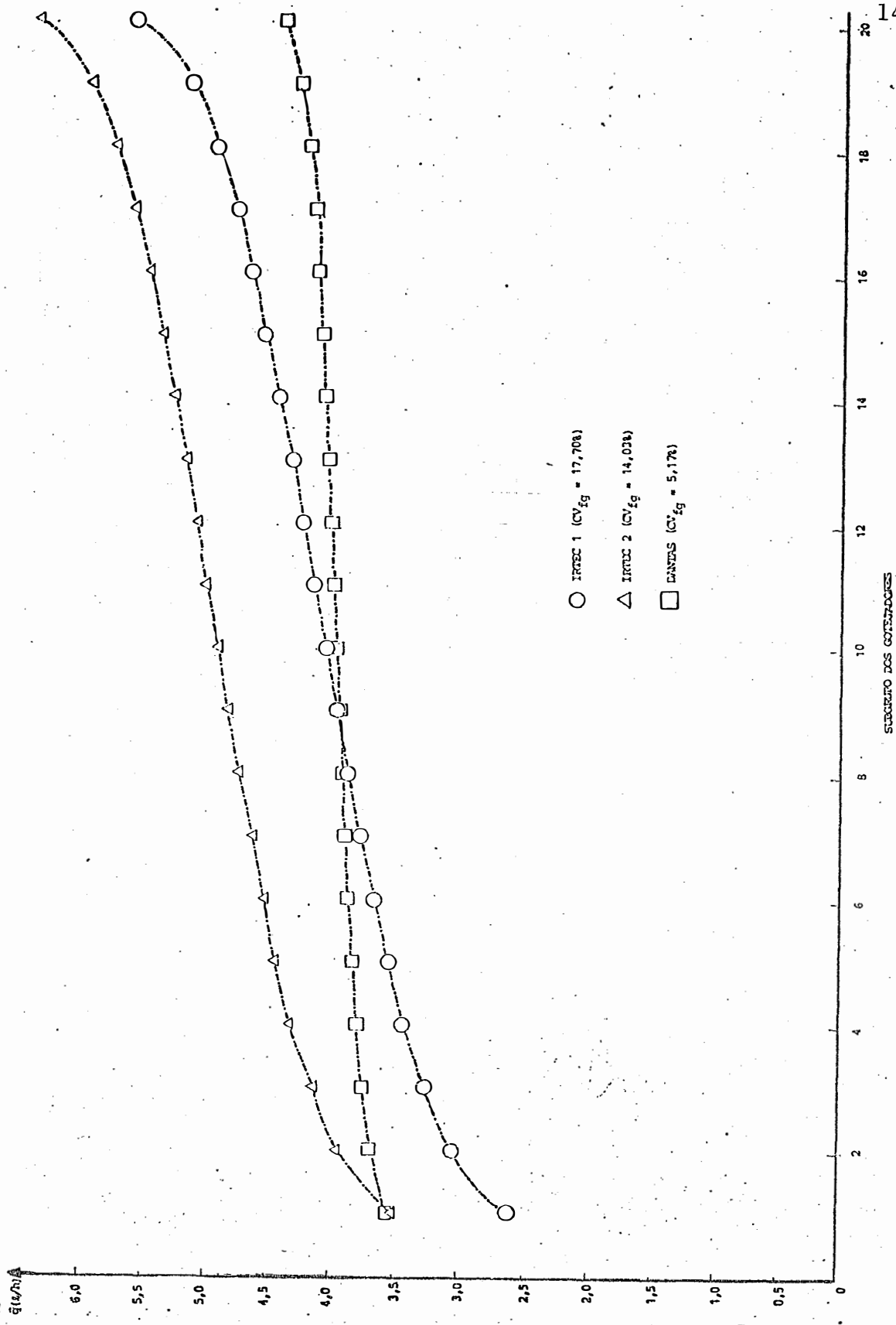


Figura 17 - Curvas da taxa de fluxo média para cada respectivo subgrupo, dos três modelos de gotejadores.

Aumentando-se o número de gotejadores por planta, a uniformidade de aplicação pode ser melhorada como mostram as Figuras 18, 19 e 20, respectivamente, para os gotejadores IRTEC-1, IRTEC-2 e DANTAS. Neste caso, primeiro foram calculados os valores de  $\bar{q}_{i,e}$  usando-se a equação (24), e a seguir os valores de  $\bar{q}_{i,e}/e.\bar{q}$ , em porcentagem, foram plotados versus os respectivos subgrupos do gotejador.

Normalmente, mais do que 1 (um) gotejador por planta é usado na prática, desde que um único gotejador não seja suficiente para fornecer a sua necessidade diária de água. Também, vários gotejadores por planta dão um melhor modelo de distribuição de água ao redor da planta, do que apenas um gotejador.

A seguir, determinou-se o Coeficiente de Uniformidade na linha lateral de irrigação por gotejamento, através da equação (25), onde usou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação global de cada respectivo gotejador, variando-se o número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3, 4, 5$  e  $6$  gotejadores).

Desta forma, construiu-se um gráfico plotando-se os valores calculados do Coeficiente de Uniformidade na linha lateral ( $CU_{LL}$ ) em função do número de gotejadores por planta, obtendo-se uma curva para cada

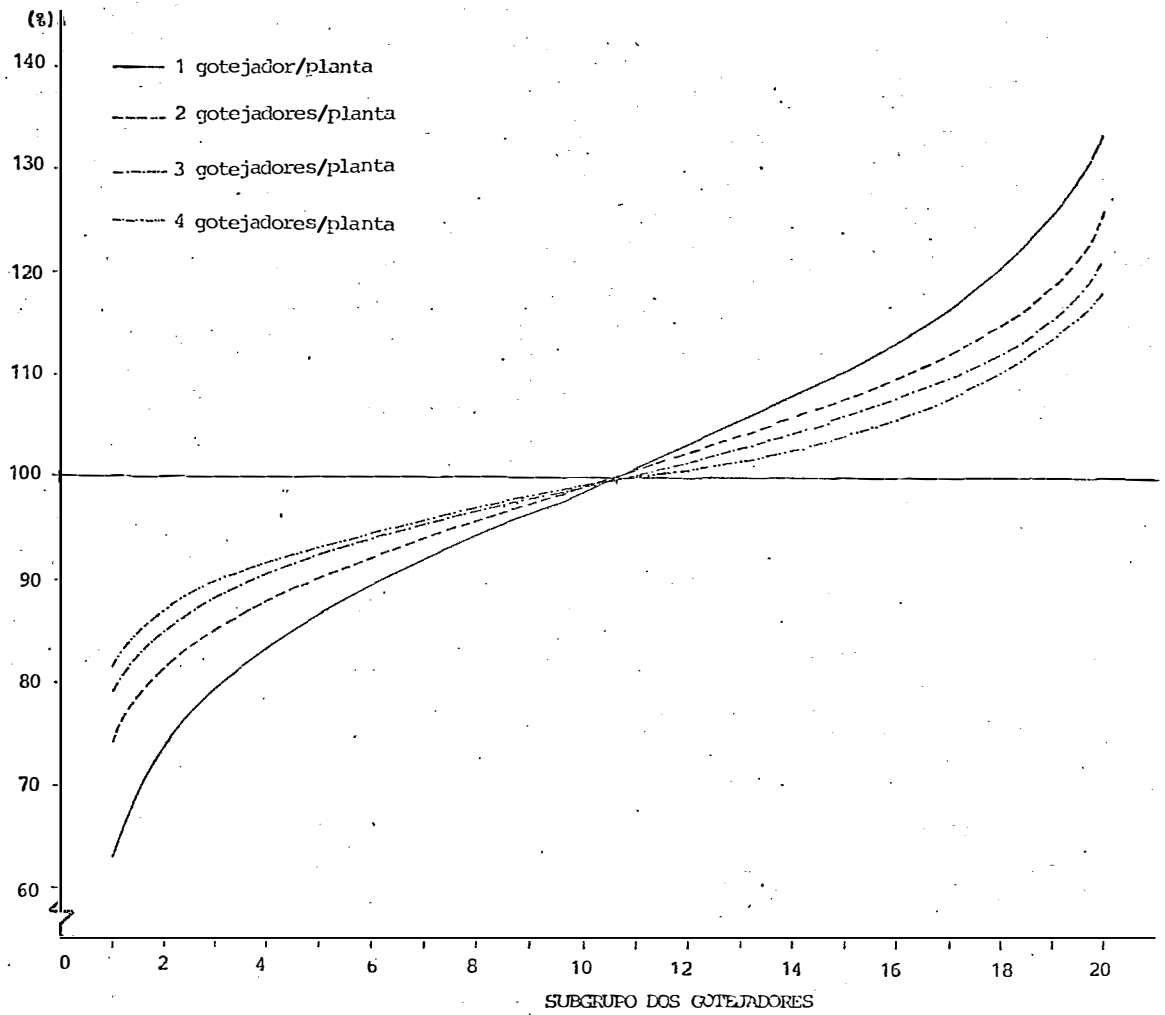


Figura 18 - Efeito do número de gotejadores por planta sobre o desvio da taxa de fluxo média do gotejador IRTEC-1.



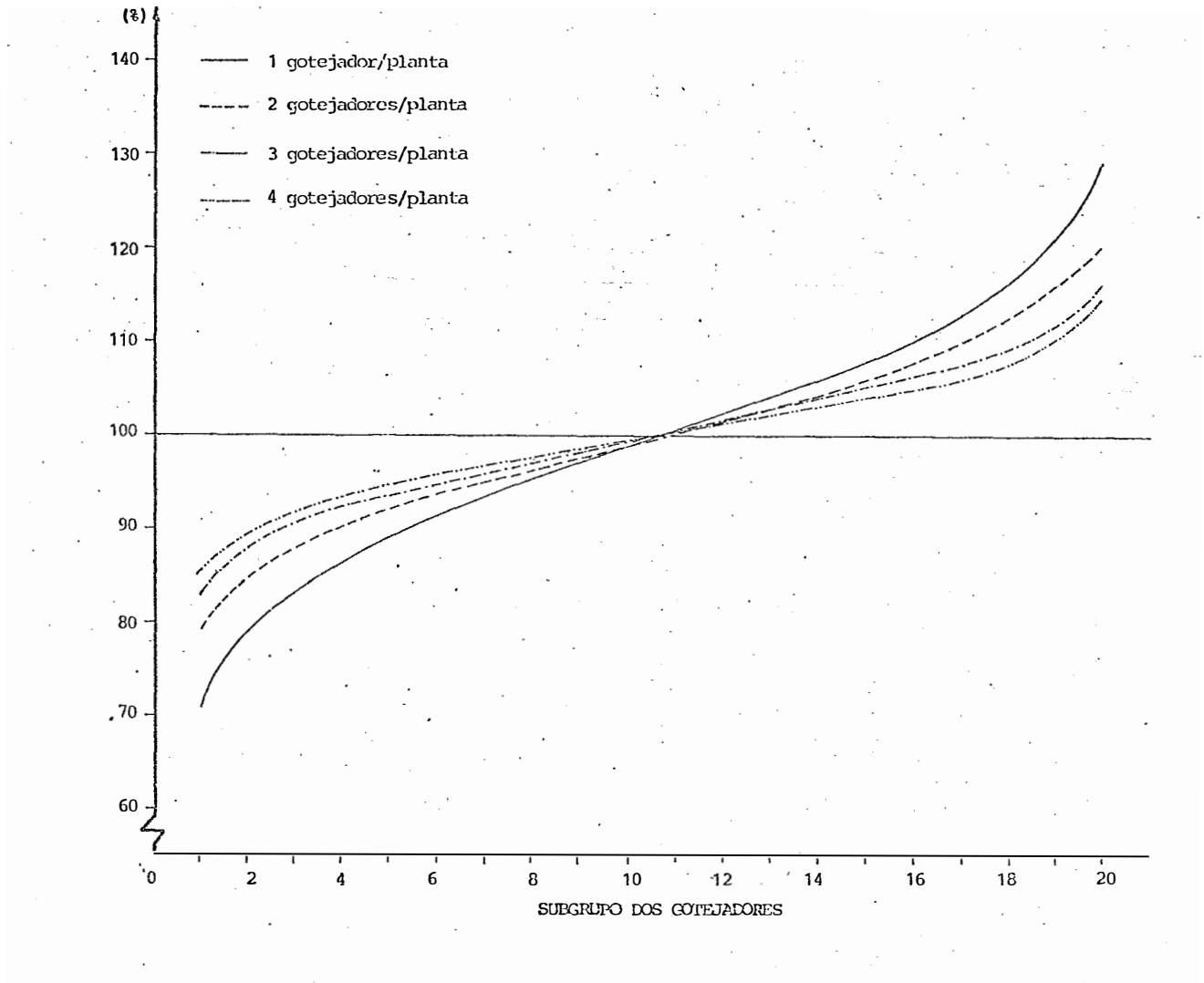


Figura 19 - Efeito do número de gotejadores por planta sobre o desvio da taxa de fluxo média do gotejador IRTEC-2.

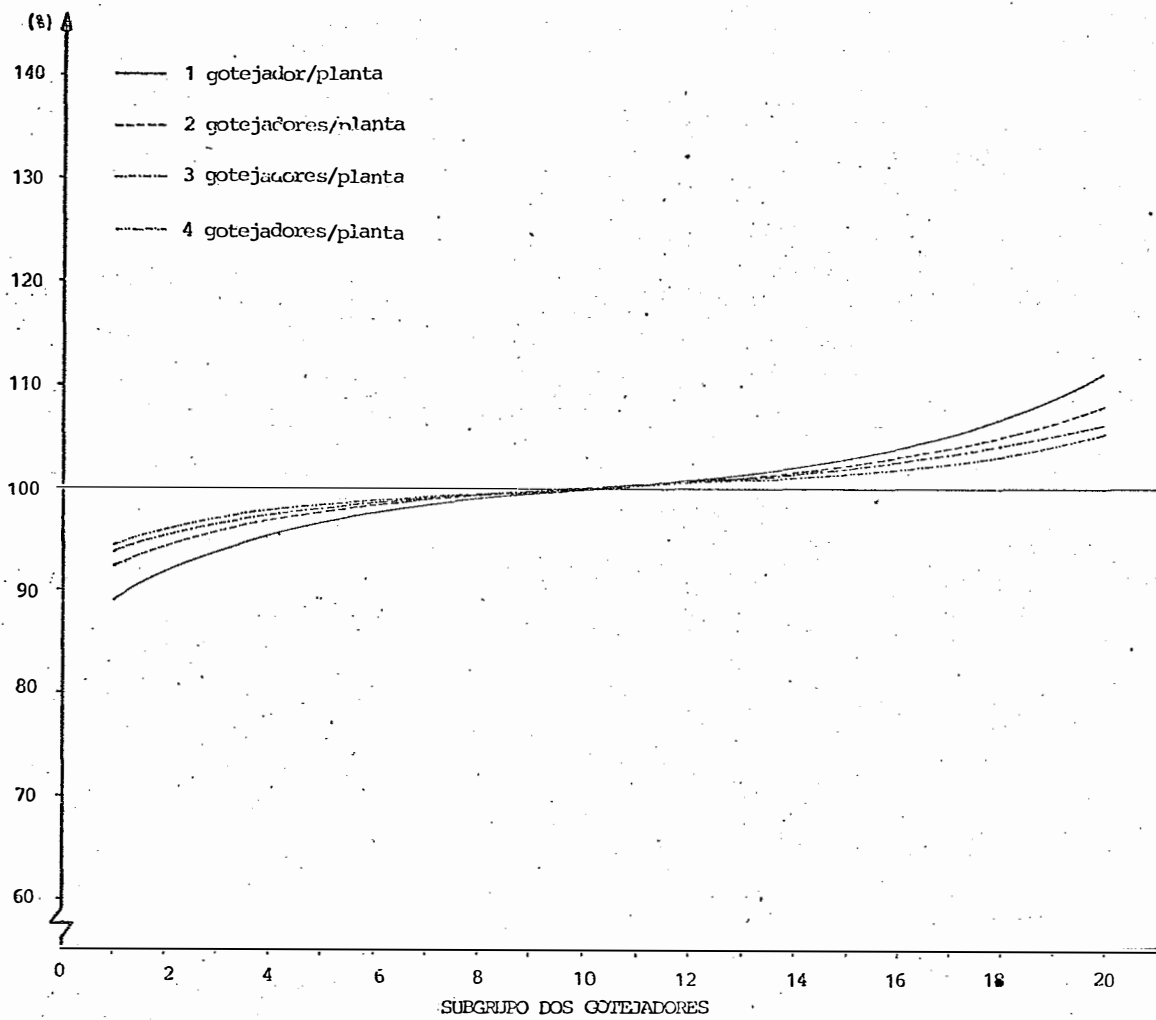


Figura 20 - Efeito do número de gotejadores por planta sobre o desvio da taxa de fluxo média do gotejador DANTAS.

respectivo gotejador. O gráfico contendo as três curvas é apresentado na Figura 21.

Analisando-se o gráfico, nota-se que tanto para o gotejador IRTEC-1 como para o gotejador IRTEC-2, haverá necessidade de colocarem-se 2 gotejadores ou mais por planta, para que o Coeficiente de Uniformidade na linha lateral acima de 90% possa ser alcançado. Enquanto que, para o gotejador DANTAS, mesmo com apenas 1 (um) gotejador por planta, o Coeficiente de Uniformidade na linha lateral será cerca de 96%.

Os valores obtidos do Coeficiente de Uniformidade ( $CU_{LL}$ ) para o gotejador IRTEC-2 foram todos superiores aos valores obtidos para o gotejador IRTEC-1, para o mesmo número de gotejadores por planta. Enquanto que os valores obtidos para o gotejador DANTAS, foram sempre bem superiores em relação aos outros dois gotejadores.

Assim, com os valores do Coeficiente de Variação de Fabricação determinado para o gotejador, o projetista de um sistema de irrigação pode razoavelmente estimar a uniformidade de aplicação ótima esperada. Além do mais, a comparação entre o Coeficiente de Uniformidade do projeto, o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador e o número de gotejadores por plan

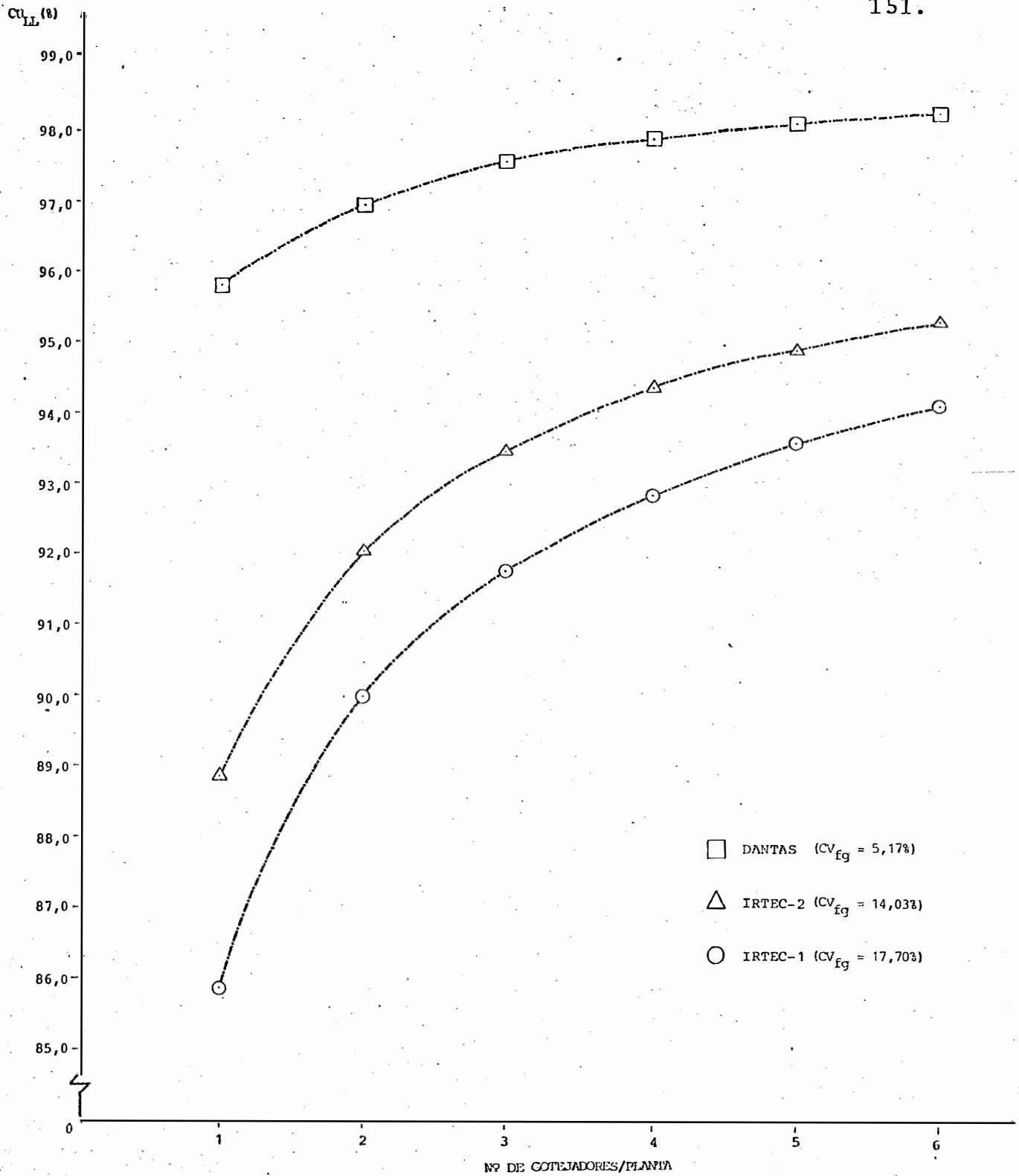


Figura 21 - Curvas do Coeficiente de Uniformidade na linha lateral ( $CU_{LL}$ ), em função do número de gotejadores por planta, para os três modelos experimentados.

ta enfatiza a necessidade do fabricante em produzir gotejadores com um coeficiente de variação tão baixo quanto possível, e para o qual o coeficiente não aumente drasticamente após a instalação e operação.

Com a finalidade de encontrar-se o Tempo Corrigido de Irrigação, que é determinado através do produto de um fator de tempo e o tempo de aplicação, calculado do volume de água necessário e a taxa de fluxo média do gotejador por planta, é que elaborou-se a tabela apresentada no Quadro 19.

Nesta tabela, o fator de tempo foi determinado através da equação (26), onde usou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ) do respectivo gotejador, variando-se o número de gotejadores por planta ( $e = 1, 2, 3, 4, 5$  e  $6$  gotejadores), para três níveis de fração de plantas que seriam esperadas estejam adequadamente irrigadas ( $a = 95\%, 90\%$  e  $85\%$ ).

Por exemplo, se o tempo de irrigação calculado é para ser de 10 horas, para uma suficiência de irrigação de 90% com 1 (um) gotejador por planta, o Tempo Corrigido de Irrigação seria 10,70 hs para o gotejador DANTAS, 12,17 hs para o gotejador IRTEC-2 e 12,90 hs para o gotejador IRTEC-1.

Quadro 19. - Valores do fator que irá corrigir o tempo de irrigação, para três níveis de fração de plantas adequadamente irrigadas, em função do número de gotejadores por planta.

a* (%)	CV <sub>fg</sub> (%)	GOTEJADORES/PLANTA					
		e=1	e=2	e=3	e=4	e=5	e=6
95%	5,17	1,093	1,064	1,051	1,044	1,039	1,036
	14,03	1,299	1,194	1,153	1,130	1,115	1,104
	17,70	1,409	1,258	1,201	1,170	1,149	1,134
90%	5,17	1,070	1,049	1,039	1,034	1,030	1,028
	14,03	1,217	1,144	1,115	1,098	1,087	1,078
	17,70	1,290	1,189	1,149	1,127	1,112	1,101
85%	5,17	1,045	1,032	1,026	1,022	1,020	1,018
	14,03	1,134	1,091	1,073	1,063	1,056	1,051
	17,70	1,175	1,117	1,094	1,080	1,071	1,065

\*a = fração de plantas adequadamente irrigadas.

## 5. CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos nos testes realizados com os três modelos de gotejadores experimentados, pode-se concluir que:

1 - Os resultados da correlação linear entre a vazão do gotejador com a temperatura ambiente d'água, bem como com a vazão da linha lateral, isto dentro do intervalo de variação ocorrido durante a realização dos testes de Uniformidade de Vazão, permitem considerar que a maior parte da variação observada na vazão entre os gotejadores foi devida às diferenças entre os mesmos decorrentes de sua fabricação.

2 - O Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ) pode diferir entre as amostras testadas de cada goteja-

dor, embora estes valores tenham se definido claramente dentro de intervalos específicos para cada modelo de gotejador experimentado.

3 - Com a reunião dos valores de vazão das três amostras de cada modelo de gotejador, determinou-se o Coeficiente de Variação de Fabricação global ( $CV_{fg}$ ), revelando um valor bem menor para o gotejador DANTAS (5,17%), em comparação com o microgotejador IRTEC-2 (14,03%) e com o gotejador IRTEC-1 (17,70%).

4 - Na verificação de normalidade à distribuição das taxas de vazão dos gotejadores amostrados em cada teste de Uniformidade de Vazão, pode ocorrer, para um determinado tipo de gotejador, uma não aderência de seus dados à distribuição normal proposta.

5 - As equações características de vazão-pressão para os gotejadores testados foram as seguintes:

IRTEC-1:

$$\hat{q} = 3,680 \cdot H^{-0,028}$$

IRTEC-2:

$$\hat{q} = 2,273 + 0,456 H - 3,148 \cdot 10^{-2} H^2 + 6,595 \cdot 10^{-4} H^3$$

DANTAS:

$$\hat{q} = 1,097 \cdot H^{0,526}$$



6 - Os valores do coeficiente de variação calculados para cada pressão aplicada sobre os gotejadores amostrados, revelaram-se muito altos, principalmente para o gotejador IRTEC-1 em relação ao gotejador IRTEC-2. Já para o gotejador DANTAS, observaram-se valores mais baixos, evidenciando uma pequena dispersão dos valores de vazão dentro de uma mesma pressão aplicada, o que vem confirmar os baixos valores do Coeficiente de Variação de Fabricação obtidos durante os testes de Uniformidade de Vazão.

7 - As tabelas de Uniformidade de Emissão mostram que para o gotejador IRTEC-1, nos três níveis de pressão de serviço, até com quatro gotejadores por planta, não será atingida uma Uniformidade de Emissão de 90%, com qualquer valor da razão de perda de carga. Já para o microgotejador IRTEC-2, esta uniformidade de 90% somente será atingida com a utilização de quatro gotejadores por planta, sendo que para pressões de serviço adotadas de 8,0, 10,0 e 12,0 m de coluna d'água, pode-se permitir uma razão de perda de carga abaixo de 0,30, 0,50 e com qualquer valor, respectivamente. Enquanto que para o gotejador DANTAS, a Uniformidade de Emissão de 90% poderá ser atingida com a adoção de valores mais altos para a razão de perda de carga, com o aumento do número

de gotejadores por planta. Assim, pode-se permitir uma razão de perda de carga até 0,30, 0,40 e 0,50, respectivamente para 1, 2 e 3 ou 4 gotejadores por planta.

8 - Um menor Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador conduziu para uma maior uniformidade de fluxo, conforme indicado pela menor variação dos grupos de gotejadores com as menores e maiores taxas de fluxo, em relação à taxa de fluxo média do gotejador. Também, ficou evidenciado que aumentando-se o número de gotejadores por planta, a uniformidade de aplicação pode ser melhorada.

9 - Com relação ao Coeficiente de Uniformidade na linha lateral de irrigação, tanto para o gotejador IRTEC-1 como para o gotejador IRTEC-2, haverá necessidade de colocar-se 2 (dois) gotejadores ou mais por planta, para que um coeficiente acima de 90% seja alcançado. Enquanto que, para o gotejador DANTAS, mesmo com apenas 1 (um) gotejador por planta, este coeficiente será cerca de 96%.

10 - Se o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador for elevado, o Tempo Corrigido de Irrigação será relativamente maior, para que uma determinada porcentagem de plantas fosse esperada estar adequadamente irrigada.

## 6. LITERATURA CITADA

BERNARDO, S., 1980. Irrigação por gotejamento. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária. 72 p. [Mimeografado].

BERNARDO, S., 1982. Manual de Irrigação. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária. 463 p.

BUCKS, D.A. e L.E. MEYERS, 1973. Trickle irrigation-application uniformity from simple emitters. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., Michigan, 16(6): 1108-1111.

CAMPOS, H., 1979. Estatística Experimental Não-Paramétrica. 3ª ed. Piracicaba, Deptº de Matemática e Estatística da ESALQ/USP. 343 p.

FARIA, M.A., 1981. Características hidráulicas do microgotejador IRTEC e da linha lateral de irrigação. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 78 p. [Dissertação de Mestrado].

- GOLDBERG, D. e M. SHMUELI, 1970. Drip irrigation - A method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. Michigan, 15(1): 38-41.
- GOLDBERG, D.; B. GORNAT e D. RIMON, 1976. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices. Drip Irrigation Scientific Publications, Israel, p. 182-205.
- GUSTAFSON, C.D., 1971. Drip irrigation: a promising candidate but few votes are in. Western Fruit Growers, 5(4): 8,13-16.
- HANSON, G.R., 1973. Hydraulics of trickle irrigation emitter lines. Logan, Utah State University, 94 p. [Dissertação de Mestrado].
- HART, W.E., 1961. Overhead irrigation pattern parameters. Agric. Engng., 42: 354-355.
- HOWELL, T.A. e E.A. HILER, 1974a. Trickle irrigation lateral design. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., Michigan, 17(5): 902-908.
- HOWELL, T.A. e E.A. HILER, 1974b. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., New York, 100(IR4): 443-454.
- KELLER, J. e D. KARMELI, 1974a. Trickle Irrigation Design. Glendora, Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp. 182 p.

KELLER, J. e D. KARMELI, 1974b. Trickle irrigation design parameters. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., Michigan, 17(4): 678-684.

KENWORTHY, A.L., 1972. Trickle irrigation... the concept and guidelines for use. Research Report 165. Michigan, Michigan State University.

KENWORTHY, A.L. e C. KESNER, 1974. Trickle irrigation in Michigan orchards: controlling rate of flow regulating valves and microtubes. In: Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, p. 275-280.

MERRIAN, J.L.; J. KELLER e J. ALFARO, 1975. Irrigation system evaluation and improvement. Logan, Agriculture and Irrigation Engineering Department, Utah State University.

MEYERS, L.E. e D.A. BUCKS, 1972. Uniform irrigation with low-pressure trickle systems. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., New York, 98(IR3): 341-346.

NAKAYAMA, F.S.; D.A. BUCKS e A.J. CLEMMENS, 1978. Assessing trickle emitter application uniformity. In: 1978 Summer Meeting Am. Soc. Agric. Engrs., Logan, Utah State University. ASAE, paper nº 78-2017.

OLITTA, A.F.L., 1977. Os Métodos de Irrigação. São Paulo, Livraria Nobel S.A. 267 p.

- OLIVEIRA, C.A.S., 1978. Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 72 p. [Dissertação de Mestrado].
- SOLOMON, K., 1976. Emission uniformity - an introduction. In: Proceedings, 1976 Annual Meeting of the International Drip Irrigation Association, Fresno, p. 4-6.
- SOLOMON, K., 1977. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. In: 1977 Annual Meeting Am. Soc. Agric. Engrs., Raleigh, North Carolina State University. ASAE, Paper nº 77-2009.
- SOLOMON, K. e J. KELLER, 1978. Trickle irrigation uniformity and efficiency. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., New York, 104(IR3): 293-306.
- WU, I.P. e H.M. GITLIN, 1973. Hydraulics and uniformity for drip irrigation. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., New York, 99(IR2): 157-168.

A P Ê N D I C E 1

DADOS OBTIDOS NOS TESTES DE  
UNIFORMIDADE DE VAZÃO.

Quadro 20 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 01 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
40	3,11	17,71	22,0	08	4,83	17,85	18,0
03	3,22	14,08	18,5	31	4,94	19,20	22,0
36	3,39	18,24	22,0	42	4,94	19,73	20,0
35	3,57	15,58	20,0	29	5,01	16,01	18,0
27	3,71	18,18	22,0	01	5,03	13,45	18,0
20	3,71	18,89	20,0	13	5,05	19,16	18,0
33	3,93	13,85	18,0	15	5,06	17,89	18,0
18	3,97	19,42	20,0	06	5,13	19,07	20,0
49	3,00	17,42	21,0	24	5,17	17,71	18,5
43	4,08	18,56	21,0	07	5,29	17,53	18,5
45	4,16	14,01	18,0	22	5,31	19,47	20,0
37	4,19	17,51	18,0	41	5,35	19,85	20,0
10	4,24	17,82	18,5	28	5,40	19,93	20,0
46	4,25	18,16	21,0	05	5,47	17,86	18,0
38	4,25	16,31	20,0	17	5,51	19,42	20,0
39	4,29	13,31	18,0	47	5,67	19,24	20,0
02	4,41	18,49	18,0	23	5,80	17,84	18,0
09	4,43	18,29	21,0	48	5,85	19,29	20,0
30	4,55	16,62	20,0	26	5,86	18,45	22,0
04	4,59	19,22	21,0	34	6,13	12,29	18,5
32	4,71	18,11	21,0	21	6,16	14,23	18,5
25	4,75	14,00	18,0	50	6,17	18,00	18,0
11	4,75	20,11	21,0	12	excluído	-	-
16	4,76	17,09	22,0	19	excluído	-	-
44	4,79	17,89	21,0	14	excluído	-	-



Quadro 21 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
44	2,99	18,23	-	21	4,38	19,42	21,0
06	3,03	18,06	-	31	4,38	20,22	-
01	3,04	19,43	-	20	4,39	18,09	-
28	3,35	18,44	-	26	4,40	18,52	-
50	3,39	17,90	-	27	4,41	18,87	22,0
48	3,39	17,79	-	38	4,46	19,38	-
19	3,39	17,77	-	13	4,47	18,25	-
03	3,43	19,31	22,0	15	4,51	18,82	-
32	3,43	18,37	-	24	4,51	18,67	-
10	3,57	18,46	-	39	4,61	18,38	-
37	3,66	18,51	-	47	4,72	18,46	-
36	3,72	18,71	-	35	4,79	17,89	-
17	3,75	19,00	22,0	07	4,85	18,73	-
29	3,76	18,65	-	34	4,86	18,95	-
08	3,81	18,21	-	22	4,95	19,26	-
43	3,91	18,29	-	02	4,97	18,48	-
42	3,93	19,49	-	30	5,06	19,09	-
40	4,00	18,82	-	46	5,07	19,00	-
49	4,02	18,53	-	11	5,10	19,21	22,0
05	4,11	18,56	-	16	5,11	18,60	-
04	4,17	18,33	-	41	5,28	19,29	-
18	4,22	19,16	-	33	5,40	19,16	-
14	4,27	18,37	-	45	5,42	17,81	-
23	4,29	18,18	-	09	5,55	19,51	-
12	4,32	18,31	-	25	5,78	18,40	-

Quadro 22 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
04	2,25	17,33	25,0	16	3,33	17,13	23,0
40	2,30	17,66	24,0	45	3,35	17,80	25,0
10	2,38	17,02	24,5	43	3,37	17,17	25,0
11	2,39	18,40	24,0	02	3,37	17,37	24,0
36	2,43	16,79	25,0	38	3,45	17,33	23,0
20	2,47	17,28	23,0	15	3,49	16,93	25,0
30	2,50	16,69	22,5	06	3,50	17,28	24,0
07	2,52	16,86	23,2	08	3,53	17,87	23,0
50	2,57	17,36	25,0	01	3,57	17,60	25,0
47	2,62	17,62	25,0	31	3,65	16,81	25,0
44	2,62	17,50	24,5	37	3,66	17,54	24,5
39	2,68	17,52	24,0	33	3,77	17,60	25,0
26	2,75	17,12	24,0	18	3,84	17,52	24,0
42	2,80	17,55	25,0	34	3,98	16,78	22,5
22	2,82	16,98	24,0	12	4,03	17,29	25,0
41	2,87	17,07	24,5	32	4,05	17,38	25,0
35	2,89	17,29	25,0	17	4,08	17,25	24,0
49	3,10	17,31	25,0	24	4,33	17,46	25,0
29	3,11	17,29	25,0	03	4,45	17,11	23,0
19	3,24	17,07	23,0	05	4,54	17,05	23,0
48	3,24	17,60	24,0	28	4,77	17,20	24,0
27	3,27	17,18	24,0	14	4,87	17,45	24,5
25	3,29	17,98	25,0	46	5,02	16,84	22,5
13	3,30	17,07	24,5	23	excluído	-	-
09	3,30	17,05	25,0	21	excluído	-	-

Quadro 23 - Valores médios dos dados observados no Teste n.º 01 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR N.º	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR N.º	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
21	3,75	15,18	18,0	15	5,22	15,13	18,0
35	4,10	18,75	19,5	29	5,23	14,91	19,0
40	4,35	15,20	18,0	43	5,27	15,13	19,0
05	4,38	15,42	21,0	18	5,31	18,56	19,0
26	4,44	15,11	19,0	31	5,37	19,31	20,0
32	4,56	14,82	18,0	28	5,39	15,15	18,0
22	4,63	15,38	19,0	39	5,41	15,33	19,0
27	4,63	15,20	18,0	41	5,45	15,20	18,0
23	4,67	22,24	19,0	11	5,53	19,16	18,0
49	4,69	15,25	19,5	09	5,56	15,09	18,0
33	4,71	15,53	20,0	13	5,61	14,87	18,0
50	4,78	15,05	18,5	02	5,65	18,82	18,0
03	4,81	15,29	18,0	16	5,67	15,31	18,5
45	4,83	15,42	19,0	10	5,70	15,35	19,5
37	4,90	14,99	18,0	07	5,75	15,22	21,0
38	4,90	15,25	20,0	46	5,94	15,16	18,0
14	4,91	15,34	19,5	08	6,02	19,58	18,0
04	5,00	15,17	19,0	20	6,08	18,26	18,0
12	5,03	15,19	19,0	42	6,18	15,27	17,5
24	5,04	15,60	18,5	01	6,28	19,19	18,0
47	5,05	15,20	19,0	36	6,39	15,18	20,5
30	5,07	14,97	19,5	25	6,42	15,54	17,0
34	5,10	14,78	18,5	44	6,43	15,09	18,0
17	5,12	19,58	20,0	06	6,77	15,19	19,0
48	5,20	15,51	21,0	19	6,99	14,89	18,0

Quadro 24 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
46.	3,27	18,55	19,0	06	5,05	18,90	25,0
09	3,45	17,51	19,0	44	5,07	17,67	19,5
38	3,54	18,53	19,0	39	5,09	19,00	25,0
20	3,81	18,80	21,0	29	5,09	19,00	22,0
42	3,92	18,59	23,0	32	5,11	18,89	25,0
13	4,21	18,62	25,0	49	5,17	18,53	22,0
43	4,22	18,48	19,0	12	5,17	18,57	22,0
33	4,28	18,71	19,0	19	5,19	19,14	21,0
45	4,38	18,96	25,0	04	5,22	17,90	19,0
48	4,45	18,62	25,0	02	5,24	19,18	23,0
25	4,62	17,71	23,0	30	5,33	18,53	19,0
03	4,65	18,38	19,5	15	5,37	17,75	19,0
41	4,68	18,91	25,0	40	5,40	18,75	23,0
36	4,73	18,47	18,5	27	5,41	18,53	21,0
28	4,79	18,83	25,0	07	5,41	18,09	23,5
21	4,79	18,82	22,0	35	5,41	18,86	23,0
34	4,83	19,51	24,0	10	5,46	18,64	23,0
23	4,83	19,02	23,0	26	5,54	19,00	25,0
24	4,86	19,11	23,0	47	5,67	18,87	24,0
31	4,89	18,63	19,5	37	5,74	18,95	24,0
08	4,89	18,71	25,0	50	5,87	18,98	22,0
18	4,91	18,96	23,5	14	5,89	18,60	19,5
05	4,99	19,05	22,5	01	6,03	20,40	26,0
22	5,00	18,77	20,0	11	6,31	19,87	23,0
16	5,04	19,13	26,0	17	6,43	18,91	22,0

Quadro 25 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
37	3,10	17,53	25,0	29	4,82	17,60	25,0
41	3,13	17,45	26,0	33	4,84	17,52	25,0
11	3,26	17,13	25,0	34	4,86	17,37	25,0
43	3,31	17,48	25,0	32	4,90	17,64	27,0
20	3,47	17,79	26,5	06	4,92	17,46	25,0
16	3,50	17,56	25,0	18	4,95	17,62	25,0
31	3,59	17,40	25,0	13	4,96	17,42	25,0
14	3,87	17,46	25,0	42	4,98	16,88	25,0
05	3,88	17,44	25,0	03	4,99	17,94	25,0
15	3,90	17,57	25,5	22	5,01	17,51	25,0
27	3,95	17,69	26,0	46	5,02	17,70	25,0
28	3,96	17,36	26,0	44	5,06	17,61	25,0
08	4,13	17,50	24,0	40	5,11	17,67	25,5
07	4,24	17,71	25,0	04	5,21	17,33	25,5
36	4,25	17,42	27,0	48	5,25	18,48	24,0
47	4,33	17,49	25,0	35	5,33	17,82	25,0
01	4,45	17,56	25,0	30	5,37	17,69	25,0
49	4,50	17,58	26,0	26	5,44	17,53	26,0
17	4,62	17,35	25,0	09	5,46	17,51	25,0
19	4,63	15,06	26,0	38	5,51	17,29	25,5
23	4,68	17,55	25,0	50	5,53	17,51	25,0
45	4,70	17,50	27,0	25	5,58	17,65	26,0
21	4,76	17,55	25,5	12	5,63	17,38	25,0
39	4,79	16,79	25,0	24	5,63	17,49	25,0
02	4,79	17,70	25,0	10	6,22	17,78	26,0

Quadro 26 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 01 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador DANTAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
11	3,92	15,22	20,5	15	4,18	19,38	20,5
07	3,93	15,42	20,0	10	4,19	16,53	22,0
17	3,95	17,56	21,5	27	4,19	16,47	20,0
03	3,95	15,37	20,0	20	4,21	20,88	21,5
13	3,99	16,50	19,5	09	4,22	17,29	20,5
26	4,02	16,31	20,0	04	4,23	17,15	21,0
19	4,04	15,67	21,0	02	4,24	15,03	20,5
08	4,05	16,10	20,0	29	4,24	17,65	21,0
24	4,05	17,42	20,5	14	4,25	16,55	21,0
06	4,06	16,78	21,0	18	4,31	17,27	21,0
28	4,08	16,38	21,0	25	4,32	15,53	22,0
05	4,15	17,60	21,0	22	4,35	17,53	21,0
30	4,16	17,41	20,5	12	4,39	18,47	21,0
21	4,17	16,19	19,5	01	4,74	17,92	21,0
23	4,18	17,38	20,5	16	5,59	17,53	21,0

Quadro 27 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador DANTAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (1.p.h.)	VAZÃO (Q) (1.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
19	3,73	17,78	22,5	17	3,80	17,21	22,5
04	3,74	17,56	22,0	23	3,80	17,75	22,5
29	3,75	17,32	22,0	21	3,81	17,12	22,5
09	3,75	17,64	22,0	26	3,81	17,35	22,0
15	3,75	17,87	22,5	11	3,81	17,89	22,0
27	3,75	18,07	23,0	13	3,81	17,56	23,0
03	3,75	17,95	22,0	30	3,82	17,88	22,0
18	3,76	17,99	22,5	05	3,85	17,69	23,0
28	3,76	18,24	22,5	10	3,85	17,64	23,0
01	3,77	17,37	22,0	12	3,86	17,25	22,5
24	3,77	17,09	22,0	02	4,06	16,81	23,0
16	3,78	17,78	22,5	14	4,11	16,16	22,5
25	3,78	18,06	22,0	20	4,12	18,02	21,0
22	3,79	17,03	22,5	06	4,21	17,27	23,0
08	3,79	17,87	22,5	07	4,25	17,50	21,5

Quadro 28 - Valores médios dos dados observados no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, com o gotejador DANIAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)	GOTEJADOR Nº	VAZÃO (q) (l.p.h.)	VAZÃO (Q) (l.p.m.)	TEMPERATURA (T) (°C)
06	3,75	17,23	22,0	20	3,83	18,06	21,5
22	3,75	16,98	22,0	14	3,84	17,03	22,0
12	3,75	15,91	22,0	09	3,84	13,36	21,5
01	3,76	16,49	21,5	13	3,84	15,05	22,0
08	3,76	16,82	22,0	19	3,85	16,32	22,0
29	3,76	16,02	22,0	03	3,86	16,20	22,0
17	3,77	17,07	22,0	07	3,87	16,40	22,0
05	3,78	18,07	21,5	28	3,88	15,97	22,0
18	3,78	17,25	21,5	26	3,88	15,21	22,0
24	3,80	16,70	22,0	23	3,88	14,03	22,0
25	3,81	13,75	22,0	21	3,89	16,67	22,0
16	3,81	16,84	21,0	15	3,89	16,38	22,0
27	3,81	16,92	22,0	30	3,98	17,52	22,0
10	3,82	17,29	22,5	02	4,11	16,17	22,0
11	3,82	17,64	21,5	04	4,29	10,10	22,5



A P E N D I C E 2

RESULTADOS GERAIS DOS TESTES  
DE UNIFORMIDADE DE VAZÃO.

Quadro 29 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 01 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	4,74	17,50	19,64
Variância	0,61	4,13	2,07
Desvio padrão	0,78	2,03	1,44
Variância da média	0,01	0,09	0,04
Erro padrão da média	0,11	0,30	0,21
Intervalo de confiança* ( $1-\alpha = 0,95$ )	4,52-4,96	16,90-18,10	19,22-20,06
Coeficiente de Variação	16,51%	11,61%	7,33%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 30 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	4,29	18,66	21,80
Variância	0,50	0,29	-
Desvio padrão	0,70	0,54	-
Variância da média	0,01	0,006	-
Erro padrão da média	0,10	0,08	-
Intervalo de confiança* (1- $\alpha$ = 0,95)	4,09 - 4,49	18,51-18,81	-
Coeficiente de Variação	16,41%	2,87%	-

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 31 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-1, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	3,33	17,30	24,20
Variância	0,51	0,11	0,70
Desvio padrão	0,72	0,34	0,84
Variância da média	0,01	0,002	0,01
Erro padrão da média	0,10	0,05	0,12
Intervalo de confiança* (1- $\alpha$ = 0,95)	3,13 - 3,53	17,20-17,40	23,96-24,44
Coeficiente de Variação	21,54%	1,95%	3,46%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 32 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 01 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna de água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	5,29	16,03	18,79
Variância	0,48	3,06	0,89
Desvio padrão	0,69	1,75	0,94
Variância da média	0,01	0,06	0,02
Erro padrão da média	0,10	0,25	0,13
Intervalo de confiança* ( $1-\alpha = 0,95$ )	5,09-5,49	15,53-16,53	18,53-19,05
Coeficiente de Variação	13,07%	10,92%	5,02%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;  
 $\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;  
 $\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 33 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	4,97	18,74	22,28
Variância	0,45	0,25	5,31
Desvio padrão	0,67	0,50	2,30
Variância da média	0,009	0,005	0,11
Erro padrão da média	0,095	0,071	0,33
Intervalo de confiança* ( $1-\alpha = 0,95$ )	4,78-5,16	18,60-18,88	21,62-22,94
Coeficiente de Variação	13,53%	2,69%	10,34%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 34 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador IRTEC-2, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	4,65	17,48	25,32
Variância	0,55	0,18	0,42
Desvio padrão	0,74	0,43	0,64
Variância da média "	0,01	0,004	0,008
Erro padrão da média	0,10	0,06	0,09
Intervalo de confiança* (1- $\alpha$ = 0,95)	4,44-4,86	17,36-17,60	25,14-25,50
Coeficiente de Variação	15,91%	2,44%	2,55%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

Quadro 35 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 01 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador DANTAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	4,21	16,95	20,72
Variância	0,10	1,57	0,39
Desvio padrão	0,31	1,25	0,63
Variância da média	0,003	0,05	0,01
Erro padrão da média	0,06	0,23	0,11
Intervalo de confiança* ( $1-\alpha = 0,95$ )	4,10-4,32	16,49-17,41	20,49-20,95
Coeficiente de Variação	7,35%	7,38%	3,02%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.



Quadro 36 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 02 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador DANTAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	T
Média	3,85	17,56	22,35
Variância	0,02	0,20	0,23
Desvio padrão	0,14	0,44	0,48
Variância da média	0,0007	0,007	0,008
Erro padrão da média	0,026	0,081	0,087
Intervalo de confiança* (1- $\alpha$ = 0,95)	3,80-3,90	17,40-17,72	22,18-22,52
Coeficiente de Variação	3,76%	2,54%	2,13%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

T = temperatura média da água, em °C.

Quadro 37 - Resultados gerais obtidos no Teste nº 03 de Uniformidade de Vazão, referentes ao gotejador DANTAS, quando submetido a uma pressão constante de 10,33 m de coluna d'água.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	$\bar{q}$	$\bar{Q}$	$\bar{T}$
Média	3,85	16,18	21,90
Variância	0,01	2,64	0,09
Desvio padrão	0,11	1,63	0,30
Variância da média	0,0004	0,09	0,003
Erro padrão da média	0,020	0,30	0,056
Intervalo de confiança* ( $1-\alpha = 0,95$ )	3,81-3,89	15,58-16,78	21,79-22,01
Coeficiente de Variação	2,91%	10,04%	1,39%

sendo:  $\bar{q}$  = vazão média do gotejador, em l/h;

$\bar{Q}$  = vazão média da linha lateral, em l/m;

$\bar{T}$  = temperatura média da água, em °C.

A P Ê N D I C E 3

DADOS OBTIDOS NOS TESTES  
PARA DETERMINAÇÃO DA EQUA  
ÇÃO CARACTERÍSTICA DE DES  
CARGA-PRESSÃO.

Quadro 38 - Valores médios das 3 leituras dos dados observados no Teste para determinação da Equação Característica de Descarga-Pressão, referente ao gotejador IRTEC-1, quando submetido a diversas pressões.

PRESSÃO (m de coluna d'água)	VAZÃO DOS GOTEJADORES (l/h)										
	23	16	33	10	03	43	49	30	34	21	
2,17	2,66	3,19	2,69	3,30	2,35	2,27	3,25	3,00	3,17	6,13	
4,89	3,42	3,23	3,31	3,94	2,71	2,31	4,27	4,25	4,42	5,26	
7,61	3,84	3,84	3,68	2,28	3,01	2,65	4,77	4,13	5,29	5,56	
10,33	4,29	4,19	3,86	3,28	2,41	2,54	5,05	2,94	4,11	4,78	
13,05	4,26	4,37	3,59	3,62	2,56	2,66	3,38	2,98	4,23	4,13	
15,77	4,27	4,61	3,48	2,35	1,67	2,48	3,41	2,80	4,53	4,05	
18,49	6,12	3,78	4,59	0,96	1,38	2,81	2,35	2,25	5,43	3,15	
21,21	5,97	4,66	1,52	1,22	0,99	2,92	1,84	2,82	4,83	2,88	

Quadro 39 - Valores médios das 3 leituras dos dados observados no Teste para determinação da Equação Característica de Descarga-Pressão, referente ao gotejador IRTEC-2, quando submetido a diversas pressões.

PRESSÃO (m de coluna d'água)	VAZÃO DOS GOTEJADORES (l/h)											
	25	15	43	12	45	17	42	37	06	49		
2,17	3,31	2,29	2,16	3,08	3,64	2,45	3,30	3,34	3,43	3,87		
4,89	4,37	2,66	2,77	4,96	4,34	3,35	4,21	3,60	4,38	4,54		
7,61	4,66	3,04	3,00	5,45	4,46	3,68	4,53	3,53	4,61	4,65		
10,33	5,05	3,32	2,94	5,72	4,59	3,92	4,79	3,48	4,81	4,80		
13,05	5,18	3,33	2,71	5,93	4,47	4,11	4,96	3,45	4,58	4,32		
15,77	5,33	3,38	2,57	5,86	4,53	4,04	5,34	2,84	4,51	4,27		
18,49	4,68	3,15	2,66	5,25	4,57	4,05	5,36	2,82	4,44	4,19		
21,21	5,00	3,21	2,63	5,03	4,56	3,95	5,34	2,65	4,24	4,09		

Quadro 40 - Valores médios das 3 leituras dos dados observados no Teste para determinação da Equação Característica de Descarga-Pressão, referente ao gotejador DANIAS, quando submetido a diversas pressões.

PRESSÃO (m de coluna d'água)	VAZÃO DOS GOTEJADORES (l/h)											
	20	15	27	04	24	26	17	13	25	03		
2,17	1,59	1,58	1,59	1,62	1,65	1,63	1,62	1,65	1,61	1,61		
4,89	2,55	2,58	2,58	2,57	2,57	2,56	2,59	2,56	2,57	2,56		
7,61	3,20	3,26	3,23	3,23	3,21	3,24	3,25	3,22	3,24	3,23		
10,33	3,74	3,80	3,77	3,74	3,74	3,77	3,80	3,76	3,78	3,74		
13,05	4,24	4,28	4,22	4,24	4,25	4,27	4,29	4,22	4,27	4,25		
15,77	4,65	4,71	4,65	4,68	4,67	4,68	4,74	4,67	4,71	4,68		
18,49	5,03	5,07	5,03	5,05	5,03	5,05	5,12	5,02	5,09	5,04		
21,21	5,36	5,45	5,36	5,55	5,39	5,40	5,43	5,35	5,44	5,38		

## APÊNDICE 4

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA AS EQUAÇÕES GEOMÉTRICA E POLINOMIAL.

Quadro 41 - Análise de regressão da equação geométrica determinada através dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador IRTEC-1.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	6,4099	6,4099	8,41**
Desvios de regressão	6	0,6784	0,1131	0,15 <sup>ns</sup>
(Pressões)	(7)	(7,0883)		
Gotejadores	9	52,6360		
Resíduo	63	48,0242	0,7623	
Total	79	107,7485		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

ns = Não significativo.



Quadro 42 - Análise de regressão da equação geométrica determinada através dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador IRTEC-2.

Causas de Variação	G. L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	11,1153	11,1153	87,38**
Desvios de Regressão	6	0,4511	0,0752	0,59 <sup>ns</sup>
(Pressões)	(7)	(11,5664)		
Gotejadores	9	49,0149		
Resíduo	63	8,0140	0,1272	
Total	79	68,5953		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = Não significativo.

Quadro 43 - Análise de regressão da equação geométrica determinada através dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador DANTAS.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	117,6163	117,6163	178206,51**
Desvios de Regressão	6	0,0095	0,0016	2,42 <sup>ns</sup>
(Pressões)	(7)	(117,6258)		
Gotejadores	9	0,0272		
Resíduo	63	0,0415	0,00066	
Total	79	117,6945		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

ns = Não significativo.

Quadro 44 - Análise da variância e regressão polinomial dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador IRTEC-1.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	1,859	1,859	2,44 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	4,070	4,070	5,34*
Desvios de Regressão	5	1,159	0,232	0,30 <sup>ns</sup>
(Pressões) (P)	(7)	(7,088)		
Gotejadores (G)	9	52,640		
Resíduo (G x P)	63	48,020	0,762	
Total	79	107,748		

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade;

ns = Não significativo.

Quadro 45 - Análise da variância e regressão polinomial dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador IRTEC-2.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	3,960	3,960	31,18**
Regressão Quadrática	1	6,413	6,413	50,50**
Regressão Cúbica	1	1,047	1,047	8,24**
Desvios de regressão	4	0,146	0,0365	0,29 <sup>ns</sup>
(Pressões) (P)	(7)	(11,566)		
Gotejadores (G)	9	49,015		
Resíduo (G x P)	63	8,014	0,127	
Total	79	68,595		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

ns = Não significativo.

Quadro 46 - Análise da variância e regressão polinomial dos dados relativos ao efeito da pressão sobre a vazão do gotejador DANTAS.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	114,402	114,4020	163431,42**
Regressão Quadrática	1	2,938	2,9380	4197,14**
Regressão Cúbica	1	0,239	0,2390	341,43**
Regressão de 4º grau	1	0,036	0,0360	51,43**
Regressão de 5º grau	1	0,010	0,0100	14,29**
Desvios de regressão	2	0,001	0,0005	0,71 <sup>ns</sup>
(Pressões) (P)	(7)	(117,626)		
Gotejadores (G)	9	0,027		
Resíduo (G x P)	63	0,042	0,0007	
Total	79	117,695		

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

ns = Não significativo.