

# **DIMENSIONAMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE FÁCIL CONSTRUÇÃO PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO\***

*Design and testing of a simple equipment for application of soluble fertilizers through localized irrigation systems*

**FRANCISCO JOSÉ S. SANTOS\*\***  
**MOISÉS CUSTÓDIO S. LEÃO\*\*\***  
**LINDBERGUE A. CRISÓSTOMO\*\*\***

## **RESUMO**

*O experimento foi realizado com o objetivo de construir e testar, em campo, um equipamento injetor de fertilizantes para ser usado em sistemas localizados de irrigação. O princípio para dimensionamento foi a utilização de tubos de Pitot invertidos, e o aparelho foi constituído com um cano de ferro galvanizado de 28 mm (d.i) e tubos de Pitot de cobre com 6,1 mm (d.i), ligados a um tanque de fertilizantes hermeticamente fechado. O injetor foi testado com quatro pressões, entre 5 m.c.a. (49,05 KPa) e 20 m.c.a. (196,20 KPa), e cinco vazões totais do sistema para cada pressão; determinando, então, as vazões derivadas. As análises estatísticas foram realizadas por regressão linear, cujas variáveis eram vazão total do sistema e vazão derivada ao tanque. Analisadas, duas a duas, as equações ajustadas de cada pressão não diferiram estatisticamente entre si. Definiu-se, através do teste de homogeneidade, uma equação característica para o equipamento.*

*PALAVRAS-CHAVE: fertirrigação, injetor de fertilizantes, tubos de Pitot.*

## **SUMMARY**

*The design and testing in field conditions of a simple equipment for application of soluble fertilizers through localized irrigation systems, was the purpose of this work. The system uses two 6.1 mm I.D. cooper Pitot tubes, working at different directions, inside of a piece of galvanized iron tube 28 mm I.D. The Pitot tubes were connected by plastic hoses to a sealed fertilizer tank. The device was tested at four pressures in the range of 49.05 to 196.20 Kpa, and five different discharges of the irrigation system for each pressure. During the tests, discharges of the fertilizer solution from the tank, with the irrigation system operating at different pressures and discharges, were accurately measured. An equation relating discharge of fertilizer solution to discharge of the system was determined.*

*KEY-WORDS: fertilizer injection, fertirrigation, liquid fertilization.*

\* Extraído da Dissertação do primeiro autor, apresentada ao Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem - Departamento de Engenharia Agrícola/UFC  
\*\* Engenheiro Agrônomo, M. Sc., Pesquisador da EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT). Caixa Postal 3761, CEP 60060-510 - Fortaleza - CE  
\*\*\* Engenheiro Agrônomo, Ph.D.; Professor Titular do CCA/ UFC

## INTRODUÇÃO

Dentro do conjunto de técnicas modernas que a irrigação localizada incorporou à agricultura mundial, destaca-se a adubação controlada, conhecida como fertirrigação, que consiste na aplicação concomitante de fertilizante e água através do sistema de irrigação, constituindo-se numa das maneiras mais econômicas e eficientes de fornecer adubos às plantas.

A despeito das vantagens, a fertirrigação no Brasil ainda é pouco utilizada. Existe carência de informações sobre dosagens, tipo de fertilizantes, modo e época de aplicação, segundo COSTA *et al*<sup>2</sup>. FRIZZONE *et al*<sup>6</sup> foram mais abrangentes, relatando que praticamente tudo a respeito do assunto em nosso país, desde o desenvolvimento de injetores de fertilizantes até a quantidade ótima a ser aplicada e sua distribuição no perfil de solo, está para ser investigado. ZANINI<sup>12</sup> teceu comentários sobre a necessidade de pesquisa quanto à uniformidade de distribuição de fertilizantes na rede de irrigação. COSTA & BRITO<sup>3</sup> enfatizaram que existe falta de estudos detalhados sobre equipamento de injeção.

A injeção de fertilizantes ao sistema de irrigação constitui uma das operações mais importantes do processo de fertirrigação; de acordo com o tipo de injeção definimos a variação da concentração do fertilizante com o tempo. Os principais métodos para introdução de adubos solúveis à rede do sistema de irrigação, segundo GOLDBERG *et al*<sup>7</sup>, ROLSTON *et al*<sup>10</sup>, HOWEL *et al*<sup>8</sup> e DASBERG & BRESLER<sup>4</sup>, são: o tanque de fertilizante, o tubo Venturi e as bombas injetoras.

VIEIRA<sup>11</sup> menciona quatro maneiras de inserir fertilizantes nas canalizações: injeção na sucção da bomba, injeção com bomba, injeção utilizando o princípio do Venturi e injeção com tubo de Pitot. COSTA *et al*<sup>2</sup>, com outras denominações, utiliza a mesma classificação, apenas com a adição da injeção por gravidade.

KNUDSEN & KATZ<sup>9</sup> relatam que a pressão de impacto exercida quando um fluido incompressível colide com a abertura do tubo de Pitot mede a velocidade do ponto, de acordo com a seguinte relação:

$$p = \frac{y \cdot V^2}{2g}$$

onde:

P: pressão de impacto, definida como a diferença entre a pressão estática da corrente e a pressão estática na abertura do tubo de impacto;

y: peso específico do fluido;

V: velocidade do fluido;

g: aceleração da gravidade.

Então, quando o fluido choca-se com o tubo de impacto, a energia cinética converte-se em energia de pressão, e a equação citada descreve a completa transformação.

VIEIRA<sup>11</sup> caracteriza o método de injeção de fertilizantes com tubos de Pitot como o que utiliza esses aparelhos na linha de adução, o primeiro voltado contra o fluxo d'água e o segundo, a seu favor, sendo que o diferencial de pressão força a passagem de parte do líquido pelo tanque de abastecimento.

O presente trabalho objetivou dimensionar, construir e testar, em campo, um equipamento para injeção de fertilizantes que pudesse ser utilizado em sistemas localizados de irrigação, tendo em vista o baixo custo e simplicidade de construção, e a facilidade de manejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

Na primeira fase do experimento, foi construído e testado individualmente o equipamento injetor de fertilizantes, enquanto em outra etapa, a de campo, o injetor foi aferido junto a um sistema de irrigação por micro-aspersão, instalado na área externa do laboratório, quanto à distribuição de fertilizantes.

Neste trabalho, será mostrada apenas a primeira fase do experimento.

### Dimensionamento e construção do equipamento

O princípio para dimensionar o equipamento foi a utilização de tubos de Pitot com posições invertidas.

A Fig. 1 mostra um tubo de Pitot junto a uma tubulação. O tubo é capaz de medir a pressão total do ponto onde está situado. Na Fig. 2 está exposto um tubo de Pitot cuja abertura se encontra dirigida no sentido do fluxo. Segundo COSTA & BRITO<sup>3</sup>, este posicionamento cria um efeito negativo da carga de velocidade. Assim a pressão total é a altura piezométrica menos a taquicarga.

De acordo com esses autores, a associação de dois tubos de Pitot, com posições invertidas, um contra e outro no sentido do escoamento, propicia a criação de um gradiente de energia, cuja diferença de pressão equivale ao dobro da carga de velocidade.

O equipamento foi construído com um cano de ferro galvanizado de 1,0m de comprimento, com diâmetro interno igual a 28mm (DN 1") e duas pequenas tubulações de cobre com 15cm cada e diâmetro interno de 6,1mm. Nas tubulações de cobre foram feitas curvas de 90° com auxílio

de uma viradeira, resultando na sua transformação em "L", cujo menor comprimento ficou com 3cm, excluída a curva.

Posteriormente, efetuaram-se furos, espaçados de 25cm, na tubulação de ferro galvanizado, nos quais foram inseridos e centrados, em posições invertidas, os menores

comprimentos dos tubos de cobre, realizando-se em seguida o serviço de soldagem. Finalizando o trabalho foram feitas roscas nas extremidades da tubulação de 1", para que esta pudesse ser acoplada à linha mestra do sistema de irrigação através de luvas de união. A Fig. 3 expõe o equipamento.

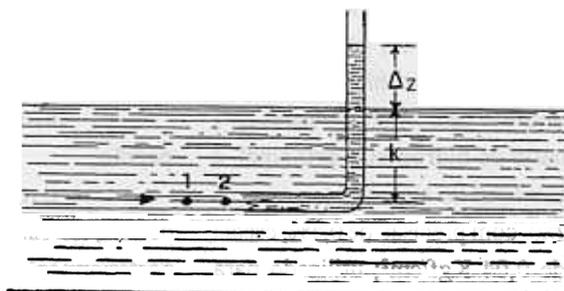


FIGURA 1 - Tubo de Pitot Simples.

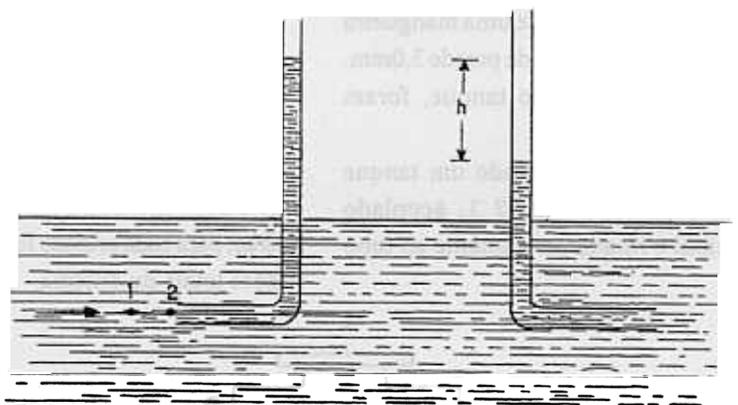


FIGURA 2 - Conjunto de Tubos de Pitot.

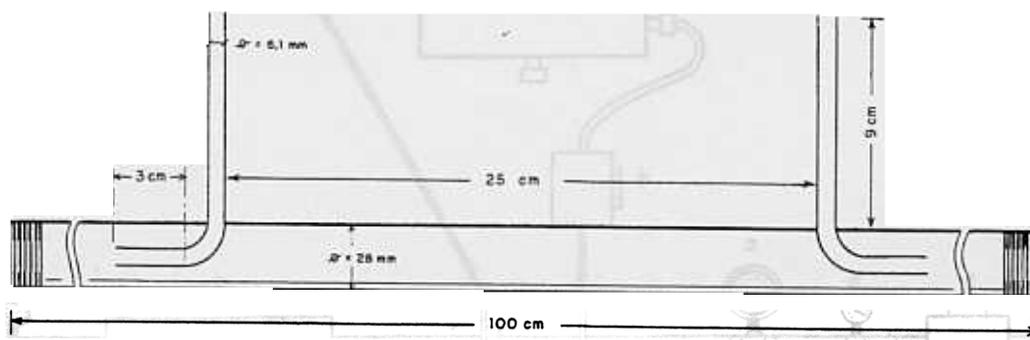


FIGURA 3 - Equipamento Injetor

### Características do sistema para testar o equipamento

O sistema utilizado para testar o equipamento contou com as mesmas peças que posteriormente foram empregadas no sistema de microaspersão.

A água foi captada de uma cisterna localizada no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, utilizando-se uma bomba centrífuga multiestágio de alta pressão acionada por um motor elétrico de 2,0 CV (1,5 Kw).

O cabeçal de controle foi constituído das peças mostradas na Fig. 4, conforme discriminação a seguir:

a) registro de gaveta de 1.1/4", utilizado para controlar o volume de água e a pressão à saída da bomba;

b) hidrômetro domiciliar de 2", com divisões de 1 l; no experimento foi chamado de hidrômetro principal, e utilizado para calcular a vazão total do sistema;

c) manômetro padrão, com precisão de 0,5%, escala de 0-5 Kgf/cm<sup>2</sup> e divisões de 0,04 Kgf/cm<sup>2</sup>; utilizado para registrar a pressão à entrada do equipamento a ser testado;

d) hidrômetro domiciliar de 2", com divisões de 1 l; denominado hidrômetro do tanque no experimento; sua função consistiu em mensurar a vazão derivada do tanque de fertilizantes. Ligava-se ao tubo de Pitot que se encontrava no sentido contrário ao fluxo de água através de uma mangueira com diâmetro interno de 9,5mm e espessura da parede 3,0mm. Os dois hidrômetros, o principal e o do tanque, foram previamente calibrados;

e) tanque fertilizante: foi utilizado um tanque de forma cilíndrica com capacidade de 32 l, acoplado em paralelo à linha principal e ligado diretamente ao tubo de Pitot, instalado

no sentido do escoamento, através de mangueira por onde sai o fluxo de água. Na tubulação de saída colocou-se um pequeno tubo que permitiu a coleta de solução fertilizante ( j );

f) registros de globo: diâmetro nominal 1/2", diâmetro interno 7,0 mm; colocados à entrada e saída do tanque possibilitando o seu isolamento em relação à linha principal;

g) filtro de tela: utilizou-se um filtro de tela de 150 mesh com o objetivo de impedir a passagem de partículas minerais provenientes tanto da solução fertilizante como da própria água. Entrada e saída de 2", DN;

h) manômetro comercial, aferido com o manômetro padrão;

i) registro de gaveta de 1": colocado a 16 m do filtro de tela, no final da linha mestra - 26 mm d.i. -, local onde posteriormente foi acoplada a linha de derivação da unidade operacional do sistema de microaspersão; funcionava semi-aberto com o fim de se obter uma variação da pressão no interior da tubulação, quando o sistema estava em operação.

### Teste do equipamento

Para determinar a vazão derivada ao tanque, resultado da atuação dos tubos de Pitot, em função da vazão total do sistema, utilizou-se o procedimento a seguir descrito.

O equipamento foi submetido às pressões de 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 m.c.a., medidas na sua entrada pelo manômetro padrão; para cada pressão foram determinadas cinco diferentes vazões totais do sistema.

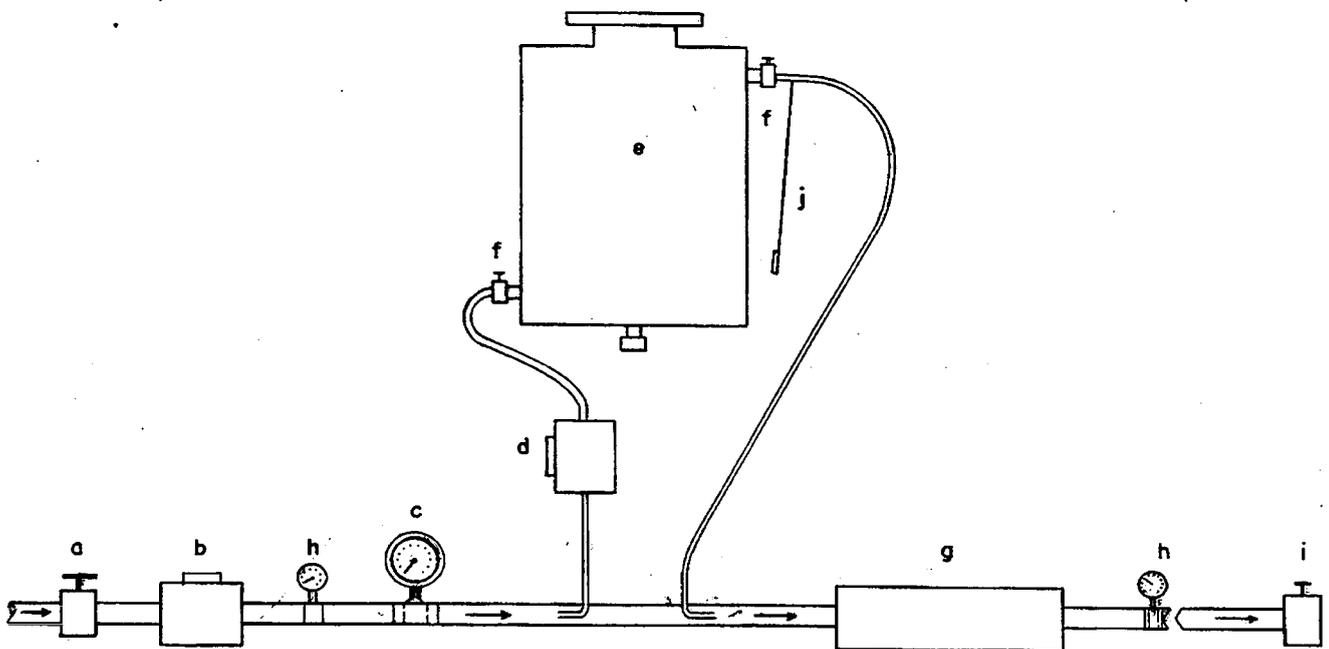


FIGURA 4 - Esquema de Cabeçal de controle com derivação de fluxo

A obtenção de cada pressão com suas vazões foi realizada pelo manêjo (abertura e fechamento) concomitante dos registros indicados pelas letras a e i da Fig. 4.

O valor de cada vazão total foi conseguido pelo registro de 50 l no hidrômetro principal, para um tempo determinado por cronômetro de precisão de dois décimos de segundo. Calculou-se a média aritmética de três repetições.

No cálculo da vazão derivada média, após a determinação da vazão total média, foram utilizadas as leituras 5, 4 e 3 l no hidrômetro do tanque com a cronometragem do tempo para o respectivo volume registrado.

Com os dados obtidos estabeleceu-se, por meio de uma equação de regressão, uma função entre as variáveis mencionadas, a partir da qual pode ser estimada a vazão derivada e conseqüentemente o tempo de fertirrigação.

### Análise estatística

Segundo COCHRAN<sup>1</sup>, a estimativa pela regressão linear destina-se a aumentar a precisão, mediante o uso de uma variável auxiliar,  $x_i$ , que se correlaciona com  $y_i$ . Assim, através de rápida estimativa,  $x_i$ , de certa característica, para todas as unidades, pode-se, mediante um processo mais complexo, determinar o valor exato,  $y_i$ , dessa característica, para uma amostra acidental simples de algumas unidades.

Para analisar estatisticamente o desempenho do equipamento, foram comparadas as equações de regressão definidas para cada pressão, conforme EDWARDS<sup>5</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios coletados da vazão derivada ao tanque de fertilizantes em função da vazão total do sistema para determinar pressão estão apresentados na Tabela 1, para as respectivas pressões: 5 m.c.a (49,05 KPa), 10 m.c.a (98,10 KPa), 15 m.c.a (147,15 KPa) e 20 m.c.a (196,20 KPa).

Esses valores foram analisados por intermédio de regressão, possibilitando, assim, o ajuste de equações características dos conjuntos de dados.

As equações que melhor definiram o conjunto de dados de cada pressão foram selecionadas por apresentarem maior valor de F e maior coeficiente de correlação (r). O modelo de regressão mais ajustado, em todos os casos, foi o linear, que apresentou uma ótima dependência entre as variáveis estudadas.

Na Fig. 6, são mostradas as equações de regressão linear de cada pressão.

Avaliando-se as equações ajustadas, pode-se verificar que os coeficientes de correlação e, conseqüentemente, os coeficientes de determinação são altos, mostrando que a regressão explica grande parte da variabilidade do conjunto de dados; assim os valores encontrados pela regressão estão próximos dos reais.

A análise estatística das equações, duas a duas, através do teste de significância de distribuição t, conforme EDWARDS<sup>5</sup>, revelou que os coeficientes angulares e lineares não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade, mostrando que estatisticamente não existe diferença entre as regressões.

Tabela 1 - Valores médios da vazão total e da vazão derivada para diferentes pressões

P (m.c.a.)	Q (l/h)	q (l/h)
5,0	4.118,12	121,50
	3.321,56	87,76
	2.933,95	80,49
	2.635,38	65,26
10,0	2.200,00	49,23
	4.066,39	116,63
	3.191,49	88,48
	2.730,07	64,06
15,0	2.666,67	60,13
	2.171,80	46,34
	4.171,52	122,51
	3.600,00	104,60
20,0	2.954,05	82,73
	2.513,78	67,83
	2.087,37	46,68
	4.189,60	120,00
25,0	3.547,58	97,79
	3.050,01	84,35
	2.482,84	61,18
	2.037,35	9,42

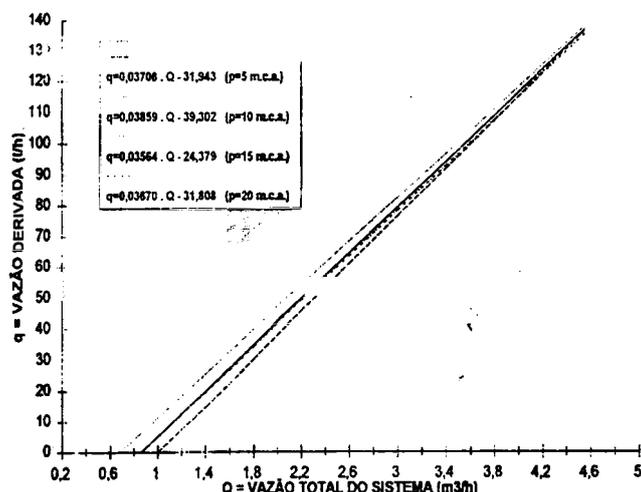


FIGURA 6 - Curvas e equações de regressão para as diversas pressões

Por intermédio do teste de homogeneidade, exposto pelo mesmo autor, foi estimado um valor para o coeficiente de regressão (bw), que representa os valores dos coeficientes angulares de todas as pressões. Utilizando a distribuição F, o valor 0,037 foi definido como coeficiente de regressão estimado para o equipamento. Então, a equação melhor ajustada foi:

$$q = 0,037 \cdot Q - 31,39$$

$$r = 0,9947$$

onde:

q = vazão derivada ao tanque fertilizante (l/h);

Q = vazão total do sistema (l/h).

A Fig. 7 expõe a curva característica do equipamento.

Com a equação estimada para o equipamento foram calculadas a vazão derivada, a velocidade e, por consequência, a diferença de pressão entre os pontos de entrada e saída de água para o tanque, a partir da vazão total. Estes valores estão expostos na Tabela 2.

Na Tabela 2, as perdas de cargas estimadas para o conjunto formado pelo tanque, seu hidrômetro e suas mangueiras são de 0,0154 m.c.a.

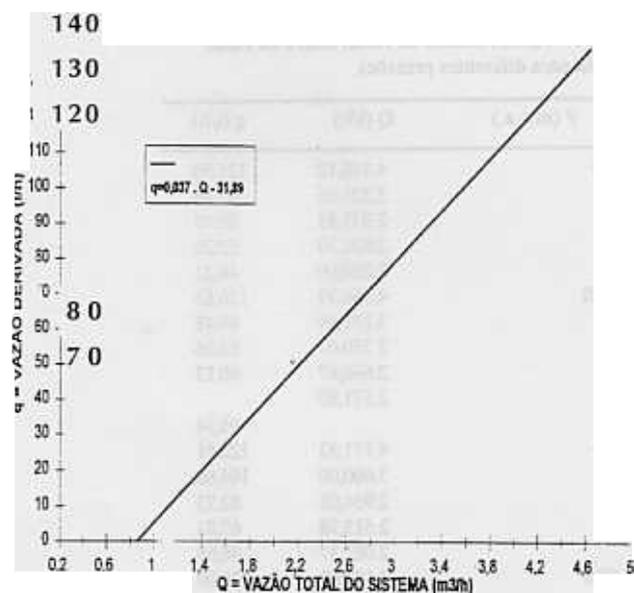


FIGURA 7 - Curva e equação de regressão característica do equipamento

À velocidade de 1,71 m/s, a proporcionalidade entre vazão derivada estimada e vazão total é de 2,86%, que se aproxima do valor calculado a partir do trabalho de COSTA & BRITO<sup>3</sup>, cuja razão é de 2,33%.

Há necessidade de estudos para comprovar, com dados obtidos no campo, as diferenças de pressões provocadas no conjunto de tubos de Pitot pela velocidade, e também avaliações quanto à eficácia do equipamento na distribuição de fertilizantes em um sistema de irrigação localizada.

## CONCLUSÕES

O equipamento construído pode ser utilizado para introduzir adubos eficientemente em um sistema de irrigação localizada.

- A curva característica do injetor permite encontrar instantaneamente a vazão derivada ao tanque, apenas com o valor da vazão total do sistema, através da qual pode ser determinado um importante parâmetro de fertirrigação: o tempo de aplicação do fertilizante.

- O trabalho mostra como um aparelho de fácil construção e manejo, e de baixo custo, pode ser usado como parte integrante de uma das mais modernas técnicas agrícolas, tendo seu desempenho semelhante ao de outros tipos de injetores.

Tabela 2 - Vazão derivada, velocidade e diferença de pressão estimadas a partir da vazão total

Q (l/h)	q (l/h)	V (m/s)	P' Δ
862	0,00	0,389	1,54
1.000	5,11	0,451	2,07
1.500	23,61	0,677	4,67
2.000	42,11	0,902	8,29
2.500	60,61	1,128	12,97
3.000	79,11	1,353	18,66
3.500	97,61	1,579	25,41
3.790	108,34	1,710	29,81
4.000	116,11	1,804	33,17
4.500	134,61	2,030	42,01

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COCHRAN, W.G. Sampling techniques. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1963. p.189-205.
2. COSTA, E.F. da, FRANÇA, G.E. de, ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. IN: HERNANDES, F.B.T. Irrigação: momento atual e perspectivas. Jaboticabal - SP; UNESP/SECITAP, 1987. p. 51-71.
3. COSTA, E.F. da, BRITO, R.A.L. Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação. Sete Lagoas - MG, EMBRAPA/CNPMS, 1988. 19p. (EMBRAPA/CNPMS, Circular Técnica, 13).
4. DASBERG, S., BRESLER, E. Drip. irrigation manual. Bet Dagan, Israel. IIIC, 1985. 95p. (IIIC Publication, 9).
5. EDWARDS, A.L. An introduction to linear regression and correlation. 2 ed. New York, W.H. Freeman and Company, 1984, 206p.
6. FRIZZONE, J.A., ZANINI, J.R., PAES, L.A.D., NASCIMENTO, V.M. do. Fertirrigação mineral. Ilha Solteira, UNESP, 1985. 31p. (Boletim Técnico, 2).
7. GOLDBERG, D., GORNAT, B., RIMON, D. Drip. irrigation: principles, design and agricultural practices. Israel: s.ed., 1976, 296p.
8. HOWELL, T.A., STEVENSON, D.S., ALJIBURY, F.K., GITLIN, H.M., WU, I.P., WARRICK, A.W., RAATS, P.A.C. Design and operation of trickler (drip) systems. IN: JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. Michigan, American society of Agricultural Engineers, 1983. p.663 - 717.
9. KNUDSEN, J.G., KATZ, D.L. Fluid dynamics and heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1958. p.213-245.
10. ROLSTON, D.E. et. alii. Applying nutrients and other chemicals to trickle irrigated crops. Davis, Califórnia, University of Califórnia, 1979. 14p. (University of California. Bulletin, 14).
11. VIEIRA, D.B. Fertirrigação e manejo de irrigação em citros. ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna v. 33, p. 35-36, 1988.
12. ZANINI, J.R. Hidráulica da fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora. Piracicaba, ESALQ/USP, 1987. 103p. (Tese de Doutorado).