

DESEMPENHO DE INJETORES TIPO VENTURI ACOPLADO À TUBULAÇÃO SOB  
CONDIÇÕES DE DESCARGA LIVRE E PRESSURIZADA À JUSANTE

JOSÉ CRISPINIANO FEITOSA FILHO<sup>(1)</sup>  
TARLEI ARRIEL BOTREL<sup>(2)</sup>  
JOSÉ MARIA PINTO<sup>(3)</sup>

(1). Prof. do DSE/CCA/UFPB. Areia-PB, (083) 362. 2300, Ramal 30. Fax: (083)362.2259; em curso de Pós-graduação no DER/ESALQ/USP. Piracicaba-S.P. CEP: 13.400/000.

(2). Prof. do DER/ESALQ/USP. Piracicaba-S.P. CEP: 13.400/000.

(3). Pesquisador do CPATSA/EMBRAPA. Petrolina - Pe.

1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento dos sistemas de irrigação pressurizados, a aplicação de produtos químicos principalmente fertilizantes e inseticidas, através da água de irrigação, vem sendo uma prática rotineira dada as vantagens desta prática, como eficiência dos produtos aplicados, menor gasto com mão de obra e menor custo com as aplicações. Dentre os produtos utilizados há mais de três décadas, fertilizantes, como uréia, vinhaça, amônia anidra, vem sendo aplicados, diretamente nos canais condutores de água para suprir plantios irrigados por superfície, (CHAPMAN, 1956). Atualmente, não só fertilizantes, como também inseticidas, herbicidas, nematicidas e outro produtos químicos, vem sendo aplicados por este método, razão do surgimento da prática conhecida com Quimigação.

Para introduzir a solução contendo os produtos químicos na água de irrigação, necessário se faz que o sistema de irrigação seja dotado de um injetor destes produtos na água, onde a partir daí, junto esta, a mistura passa a ser distribuída no solo e/ou nas culturas. Existem no mercado diversos tipos de injetores, sendo o Injetor tipo Venturi; um dos que vem sendo mais utilizados pelos irrigantes que trabalham com sistemas de irrigação pressurizados.

DASBERG & BRESLER(1985), citam como vantagens deste tipo de injetor, sua simplicidade de funcionamento, seu baixo custo se comparados com outros tipos de injetores e sua fácil manutenção. Como inconveniência, tem-se um reduzido rendimento e elevada perda de carga, que segundo SHANI(1983), pode variar entre um terço a 50 % da pressão de serviço.

Embora seja mais utilizado nos sistemas de irrigação pressurizados, outras aplicações no ramo da Engenharia, podem exigir que o equipamento não precise ser instalado numa tubulação pressurizada, como nos sistemas de irrigação que conduz a água sob condições de livre pressão e ou mesmo como equipamento auxiliar nos trabalhos de escova de bombas hidráulicas, que não necessita uma pressão muito alta na tubulação de descarga.

Segundo KRIVCCHKO(1994), tanto para o instrumento succionando ar como um líquido qualquer as perdas de cargas e o rendimento são parâmetros importantes que devem ser avaliados no desempenho e limite de operacional do injetor. Poucos trabalhos foram feitos com este equipamento, tornando difícil empregar novas alternativas de funcionamento que condicionem, melhor desempenho. Tentando resolver parte destes problemas, trabalhou-se com injetores dotados de câmara de mistura sob condições de descarga aproximadamente livre à jusante e sob condição pressurizada, com o intuito de identificar e quantificar os parâmetros hidráulicos que condicionem melhor condição de funcionamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de São Paulo-USP/Piracicaba-S.P. Trabalhou-se um injetor dotado de câmara de mistura com valor da relação entre os bocais de entrada e de saída na câmara, de 0,509; correspondente aos pares de diâmetros de 10,03 mm e 14,06 mm. O injetor foi instalados em série à uma linha de abastecimento conectada à uma caixa d'água que mantém nível constante, quando se trabalhou com pressão de 10 mca e a uma eletrobomba, para maiores pressões.

Parte do injetor, foi confeccionado utilizando-se conexões hidráulicas "Tipo T" em PVC, normalmente encontradas no mercado, e parte fabricadas no próprio laboratório em tarugos também de PVC. Os diâmetros nominais de entrada e de saída do injetor, foram de 32 mm, com ângulo da secção convergente e divergente de 10°, seguindo protótipo desenvolvido e em estudo no Laboratório.

Trabalhou-se com pressões de serviço variando a partir de 10 mca até 35 mca, com incremento de 5 mca, diferentes vazões motriz, diferenças de pressão e tensões de sucção.

As pressões de serviço foram medidas com um com manômetro de mercúrio "tipo U" e com um transdutor de pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup> acoplado a indicadores digitais. As tensões de sucção, foram determinadas com um vacuômetro de coluna líquida, utilizando o líquido vermelho de Merrian de densidade de 3,0 g/cm<sup>3</sup> para pressões mais baixas e o mercúrio para as maiores.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento dos sistemas de irrigação pressurizados, a aplicação de produtos químicos principalmente fertilizantes e inseticidas, através da água de irrigação, vem sendo uma prática rotineira dada as vantagens desta prática, como eficiência dos produtos aplicados, menor gasto com mão de obra e menor custo com as aplicações. Dentre os produtos utilizados há mais de três décadas, fertilizantes, como uréia, vinhaça, amônia anidra, vem sendo aplicados, diretamente nos canais condutores de água para suprir plantios irrigados por superfície, (CHAPMAN, 1956). Atualmente, não só fertilizantes, como também inseticidas, herbicidas, nematocidas e outro produtos químicos, vem sendo aplicados por este método, razão do surgimento da prática conhecida com Quimigação.

Para introduzir a solução contendo os produtos químicos na água de irrigação, necessário se faz que o sistema de irrigação seja dotado de um injetor destes produtos na água, onde a partir daí, junto esta, a mistura passa a ser distribuída no solo e/ou nas culturas. Existem no mercado diversos tipos de injetores, sendo o Injetor tipo Venturi, um dos que vem sendo mais utilizados pelos irrigantes que trabalham com sistemas de irrigação pressurizados.

DASBERG & BRESLER(1985), citam como vantagens deste tipo de injetor, sua simplicidade de funcionamento, seu baixo custo se comparados com outros tipos de injetores e sua fácil manutenção. Como inconveniência, tem-se um reduzido rendimento e elevada perda de carga, que segundo SHANI(1983), pode variar entre um terço a 50% da pressão de serviço.

Embora seja mais utilizado nos sistemas de irrigação pressurizados, outras aplicações no ramo da Engenharia, podem exigir que o equipamento não precise ser instalado numa tubulação pressurizada, como nos sistemas de irrigação que conduz a água sob condições de livre pressão e ou mesmo como equipamento auxiliar nos trabalhos de escova de bombas hidráulicas, que não necessita uma pressão muito alta na tubulação de descarga.

Segundo KRIVCCHKO(1994), tanto para o instrumento succionando ar como um líquido qualquer as perdas de cargas e o rendimento são parâmetros importantes que devem ser avaliados no desempenho e limite de operacional do injetor. Poucos trabalhos foram feitos com este equipamento, tornando difícil empregar novas alternativas de funcionamento que condicionem, melhor desempenho. Tentando resolver parte destes problemas, trabalhou-se com injetores dotados de câmara de mistura sob condições de descarga aproximadamente livre à jusante e sob condição pressurizada, com o intuito de identificar e quantificar os parâmetros hidráulicos que condicionem melhor condição de funcionamento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de São Paulo-USP/Piracicaba-S.P. Trabalhou-se um injetor dotado de câmara de mistura com valor da relação entre os bocais de entrada e de saída na câmara, de 0,509; correspondente aos pares de diâmetros de 10,03 mm e 14,06 mm. O injetor foi instalados em série à uma linha de abastecimento conectada à uma caixa d'água que mantém nível constante, quando se trabalhou com pressão de 10 mca e a uma eletrobomba, para maiores pressões.

Parte do injetor, foi confeccionado utilizando-se conexões hidráulicas "Tipo T" em PVC, normalmente encontradas no mercado, e parte fabricadas no próprio laboratório em tarugos também de PVC. Os diâmetros nominais de entrada e de saída do injetor, foram de 32 mm, com ângulo da seção convergente e divergente de 10°, seguindo protótipo desenvolvido e em estudo no Laboratório.

Trabalhou-se com pressões de serviço variando a partir de 10 mca até 35 mca, com incremento de 5 mca; diferentes vazões motriz, diferenças de pressão e tensões de sucção.

As pressões de serviço foram medidas com um com manômetro de mercúrio "tipo U" e com um transdutor de pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup> acoplado a indicadores digitais. As tensões de sucção, foram determinadas com um vacuômetro de coluna líquida, utilizando o líquido vermelho de Merrian de densidade de 3,0 g/cm<sup>3</sup> para pressões mais baixas e o mercúrio para as maiores.

As vazões motriz e succionadas, foram medidas com dois medidores magnéticos indutivos de diâmetro de 2,54 cm, que fornecem por meio de um conversor de sinal, os valores das vazões em percentagem. Os diferenciais de pressões, foram avaliados, utilizando um transdutor de pressão magnético.

Os parâmetros avaliados tanto com os injetores trabalhando livremente quanto com condição pressurizada na tubulação pós-Venturi, foram: pressão de serviço, diferença de pressão entre a seção principal e estrangulada do injetor, diferença de pressão entre a seção estrangulada e um ponto pós-Venturi, vazão motriz, vazão de succionada, perda de carga acidental, rendimento de cada injetor.

Para avaliar as perdas de cargas e rendimento, deduziu-se equações, partindo de informações citadas por HIRSCHMANN(1958), abordando que num injetor que utiliza a água ou o ar como fonte motriz, seu rendimento deve ser avaliado levando em considerações as formas de pressões envolvidas no sistema para funcionamento. Para isto, não só a altura de descarga como também a altura de água aspirada, devem ser analisadas. Para o autor, estas altura são expressas da seguinte forma: pressão da água motriz antes da entrada do injetor(Pe); pressão imediatamente após a tubulação de saída (Ps), e a pressão na câmara de aspiração (Pa). Estas diferentes formas de pressões resultam um valor característico do injetor, conhecido como coeficiente ε; dado por:

$$\varepsilon = (P_s - P_a) / (P_e - P_s) \quad \text{eq. 1}$$

Se Q<sub>m</sub>, significa a vazão motriz e Q<sub>s</sub>, a quantidade de água elevada, tem-se outro cociente σ, dado por:

$$\sigma = Q_s / Q_m \quad \text{eq. 2}$$

Para obter o rendimento de um injetor, basta multiplicar estes dois coeficientes, ou seja:

$$\eta = \sigma \cdot \varepsilon \quad \text{eq. 3}$$

Considerando que a diferença entre a pressão de saída e a pressão de sucção, corresponde à uma altura de elevação H; e h correspondendo a um diferencial de pressão entre pontos situados na entrada e na seção pós-Venturi; o valor de ε pode ser também representado por:

$$\varepsilon = H/h \quad \text{eq. 4}$$

Segundo TROKOLANSKI(1977) e KRINVCCHENKO(1994), o rendimento total de um injetor pode ser determinado pelo produtos dos dois coeficientes anteriormente citados, ou seja:

$$\eta = \varepsilon \cdot \sigma \rightarrow \eta = (Q_m \cdot H) / (Q_s \cdot h) \quad \text{eq. 5}$$

sendo:

η - rendimento do injetor, adimensional;  
Q<sub>m</sub> -vazão motriz, m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>;  
Q<sub>s</sub> - vazão de sucção, m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>;  
H - altura de elevação em m; e  
h - diferencial de pressão entre dois pontos considerados, em m.

No sistema como um todo, tem-se que a vazão total, Q<sub>t</sub>, na seção pós Venturi é obtida por:

$$Q_t = Q_m + Q_s \quad \text{eq. 6}$$

Considerando o processo isotérmico, onde as formas de energia envolvidas são: energia cinética, piezométrica e de posição, sendo o equipamento instalado horizontalmente, esta última forma é igual e anula-se nos pontos considerados.

Considerado  $E_2$ , como energia útil de sucção e  $E_1$  como energia total para acionamento; o rendimento  $\eta$  do injetor poderá ser obtido a partir da relação dessas duas formas de energia restantes, ou sejam:

$$\eta = E_2/E_1 \quad \text{eq.7}$$

sendo  $E_2$ , energia cinética e  $E_p$ , energia piezométrica.

A equação 7, é idêntica e pode ser escrita da seguinte forma:

$$\eta = (E_{c2} + E_{p2}) / (E_{c1} + E_{p1}) \quad \text{eq.8}$$

Partiu-se daí, e considerando a energia por unidade tempo dada por:

$$E_c/VT = (m \cdot V^2 / 2 \cdot VT) \quad \text{eq.9}$$

$$E_p/VT = (\rho \cdot \theta / VT) \quad \text{eq.10}$$

Partindo de novas aprimoramento, chega-se na formula final para o rendimento de um injetor dada por:

$$\eta = [(\rho_1 \cdot (Q_2^3/2A_2^2) + Q_1 P_1)] / (\rho_1 \cdot (Q_1^3/2A_1^2) + P_1 Q_1) \quad \text{eq.11}$$

Para avaliação da perda de carga accidental; considerando três pontos do injetor da seguinte forma: ponto (1) posição anterior a secção convergente; ponto (2), posição na câmara de mistura e ponto (3), posição pós-Venturi; utilizando as das equações da Energia e da Continuidade, tem-se:

$$E_1 + E_2 = E_3 + hf \quad \text{eq.12}$$

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = \dots = A_n \cdot V_n \quad \text{eq.13}$$

sendo a energia no ponto(1) do injetor dada por:

$$\gamma Q_1 [(V_1^2/2g) + P_1/\gamma] + \gamma Q_2 [(V_2^2/2g) + P_2/\gamma] - \gamma Q_3 [(V_3^2/2g) + P_3/\gamma] \quad \text{eq.14}$$

Substituindo na eq.12, os valores da energia em cada ponto considerados, têm-se a perda de carga accidental no injetor dada por:

$$hf = 16 \gamma/\pi \cdot 2g [((Q_1^3/D_1^4) + (Q_2^3/D_2^4) + (Q_3^3/D_3^4)) + Q_1 P_1 + Q_2 P_2 - Q_3 P_3] / \gamma Q_3 \quad \text{eq.15}$$

sendo:

$Q_1$ - vazão motriz na secção de entrada em l/h;

$Q_2$ - vazão de sucção em l/h;

$Q_3$ - vazão na secção de saída; em l/h;

$P_1$ - pressão de serviço na secção 1, em mca;

$P_2$ - tensão na secção 2, em mca;

- $P_3/\gamma$ - pressão pós-Venturi, em mca;
- $E_1$  - energia total na secção 1;
- $E_2$  - energia total na secção 2;
- $E_3$  - energia total na secção 3;
- $hf$  - perda de carga accidental, em m
- $A_1$  - área da secção 1, em  $m^2$ ;
- $A_2$  - área da secção 2, em  $m^2$ ;
- $D_1$  - diâmetro da tubulação da secção 1, em m;
- $D_2$  - diâmetro da tubulação da secção 2, em m;
- $D_3$  - diâmetro da tubulação da secção 3, em m;
- $V_1$  - velocidade do fluido na secção 1, em  $m \cdot s^{-1}$ ;
- $V_2$  - velocidade do fluido na secção 2, em  $m \cdot s^{-1}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas de 1 a 6, mostram os valores obtidos nos ensaios para as tensões de sucção, vazões motriz, vazões de sucção, diferenças de pressão, perdas de carga, percentagens das perdas de carga em relação as pressões de serviço e rendimentos com o injetor trabalhando tanto sob condições de descarga aproximadamente livre à jusante quanto sob condições pressurizadas nas pressões de serviços de 10 mca, 20 mca e 30 mca. Apesar de serem apresentadas apenas três pressões, trabalhou-se nos testes com as pressões de serviço de 10 mca; 15 mca; 20 mca; 25 mca; 30 mca e 35 mca.

Comparando duplamente cada condição de pressão de serviço, observa-se que nas pressões menores, os valores das perdas de carga são menores e mais constantes para o injetor trabalhando sob condição pressurizada. Para maiores pressões de serviço e tensões, tem-se um limite que o injetor passa a apresentar muita cavitação; e neste ponto, sua forma de trabalho se faz de modo desordenada e diferente daquela que vinha trabalhando dentro do seu limite operacional. Nos pontos abaixo e acima do limite operacional do injetor, tem-se uma diminuição brusca da vazão succionada chegando a não mais succionar; com rendimento nulo, ou bastante baixo.

Nas Figuras de 1 e 2; tem-se as representações gráficas dos resultados conjuntos das referidas tabelas que mostram as relações entre as vazões succionadas versus tensões, para as duas condições de trabalho. Nas Figuras 3 e 4; tem-se a representação gráfica das perdas de cargas versus tensão e pressão pós-Venturi respectivamente, para as mesmas condições. Nas Figuras 5 e 6; tem-se as representações gráficas dos rendimento versus tensões e também pressões pós-Venturi.

Analisando conjuntamente as tabelas e figuras, observa-se que tanto para pressões mais baixas quanto para aquelas mais altas, o comportamento do injetor funcionando sob condição de descarga livre à jusante, varia menos dentro de maior limite operacional, quando comparadas com as condições pressurizadas à jusante. Quanto o comportamento das perdas de cargas nas duas condições, tem-se um comportamento das curvas semelhantes, variando apenas nos valores como era de se esperar para o equipamento funcionado sob condições de descarga livre à jusante, onde toda energia do sistema é dissipada em forma de perda de carga.

Em relação aos rendimentos, pode-se observar nas Figuras 5 e 6, que o equipamento funcionando sob condições pressurizadas à jusante, apresenta melhor comportamento das curvas para o rendimento, assemelhando-se de tipos de curvas de uma função quadrática, onde se tem valores mínimo de funcionamento no início e final das curvas, e um valor máximo na posição central.

Tabela 1. Tensão de sucção, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 10 mca, sob condição de descarga aproximadamente livre à jusante.

Tensão (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	% da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
0,01	10,01	4.126	1.783	3,07	30,72	22,45
0,65	10,65	4.230	1.588	3,42	34,23	21,19
1,30	11,30	4.381	1253	3,99	39,85	17,96
2,40	12,40	4.604	991	2,40	44,86	16,13
5,17	15,17	4907	858	4,49	44,86	19,41
6,02	16,02	5.044	660	4,89	48,89	16,15

Tabela 2. Pressão pós-Venturi, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 10 mca, sob condições pressurizada na secção pós-Venturi.

Pressão pós-Venturi (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	Percentagem da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
3,41	10,25	4.122	1.808	2,97	29,66	24,33
3,19	10,01	4.126	1.782	3,07	30,72	22,45
5,36	10,01	4.010	633	2,99	29,88	18,28
5,71	10,01	4.014	501	2,91	29,10	16,69
5,82	10,01	4.010	453	2,91	29,13	15,72
6,14	10,01	4010	328	2,86	28,62	13,07
6,73	10,01	4010	136	2,73	27,29	7,04

Tabela 3. Tensão de sucção, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 20 mca, sob condição de descarga aproximadamente livre à jusante.

Tensão (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	% da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
1,14	21,14	5.771	2.448	9,54	47,72	10,96
2,35	22,35	5.940	2.118	10,20	51,00	11,24
4,37	24,37	6.174	1.539	11,64	58,18	10,14
5,03	25,03	6.228	1.232	12,31	61,56	9,01
6,63	26,63	6.408	679	14,57	72,84	5,28
8,02	28,02	6.426	9	17,05	85,24	0,09

Tabela 4. Pressão pós-Venturi, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 20 mca, sob condições pressurizada na secção pós-Venturi

Pressão pós-Venturi (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	% da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
4,38	20,93	5.782	2.269	4,38	44,01	13,33
6,05	20,71	5.735	1.767	6,05	41,42	14,93
7,87	20,49	5.688	950	7,87	43,03	11,52
9,98	20,54	5.663	342	9,98	41,98	6,35
10,07	20,45	5.688	292	10,07	42,42	5,45
12,12	20,38	5.648	63	12,12	36,32	1,78

Tabela 5. Tensão de sucção, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 30 mca, sob condição de descarga aproximadamente livre à jusante.

Tensão (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	% da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
0,75	30,75	7.034	2.683	16,15	53,84	7,00
2,57	32,57	7.160	2.190	16,64	55,46	8,49
4,13	34,13	7.297	1.962	17,63	58,76	8,35
5,66	35,66	7.412	1.524	19,09	63,64	7,36
7,29	38,07	5.538	883	21,85	72,84	4,60
8,07	32,71	7.581	308	24,92	83,08	1,68

Tabela 6. Pressão pós-Venturi, diferencial de pressão, vazão motriz, vazão de sucção, perda de carga, percentagem de perda de carga e rendimento com o injetor, trabalhando com pressão de serviço de 30 mca, sob condições pressurizada na secção pós-Venturi.

Pressão pós-Venturi (mca)	Dif. de Pressão (mca)	Vazão Motriz (l/h)	Vazão de Sucção (l/h)	Perda de Carga (mca)	% da Perda de Carga (%)	Rendimento (%)
4,21	31,37	7.020	2.613	15,34	51,13	9,19
7,29	31,28	6.984	2.290	13,78	45,93	12,37
9,45	31,02	6.952	1.577	13,82	46,06	11,56
12,05	30,73	6.916	750	14,18	47,27	7,73
13,86	30,76	6.894	441	13,61	45,37	5,80
15,17	30,73	6.894	295	12,93	43,11	4,59
17,07	30,73	6.890	6	12,34	41,13	0,12

Figura 1. Vazão succionada versus tensão com injetor trabalhando sob condições de descarga à jusante aproximadamente livre com diferentes pressões de serviço

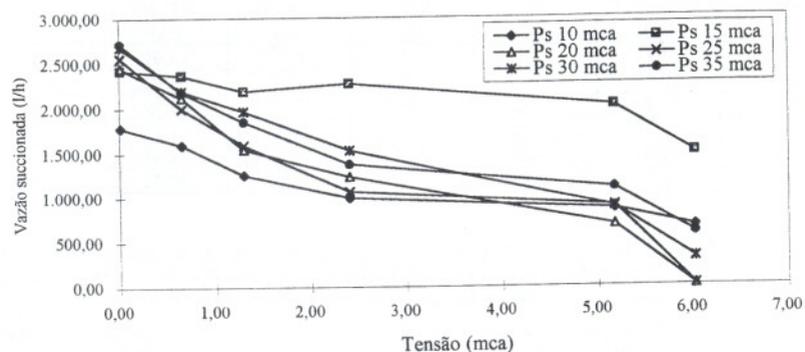


Figura 2. Vazão succionada versus pressão pós-Venturi, com injetor trabalhando sob condições de descarga pressurizada à jusante com diferentes pressões de serviço

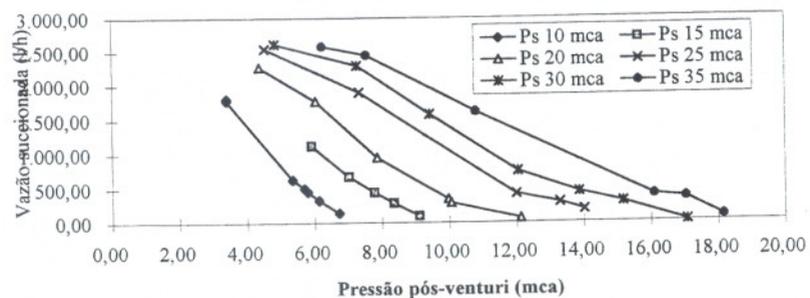


Figura 3. Perda de carga versus tensão, com injetor trabalhando sob condições de descarga à jusante aproximadamente livre, para diferentes pressões de serviço

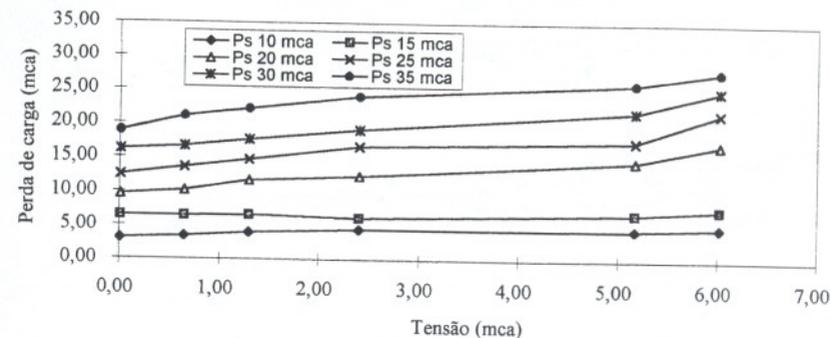


Figura 4. Perda de carga versus pressão pós-Venturi, com injetor trabalhando sob condições de descarga à jusante pressurizada, para diferentes pressões de serviço

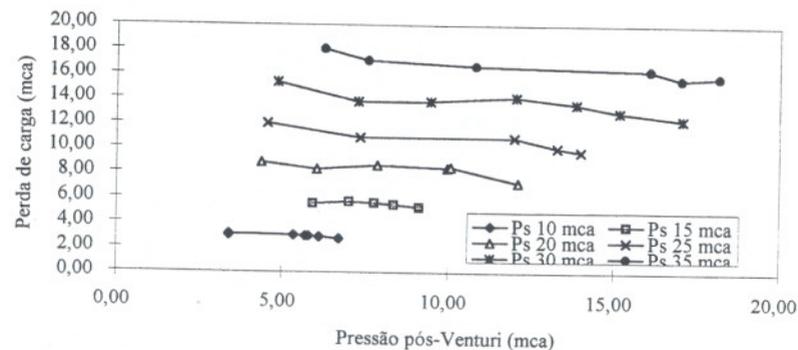


Figura 5. Rendimento versus tensão, com o injetor trabalhando sob condições de descarga à jusante aproximadamente livre, para diferentes pressões de serviço

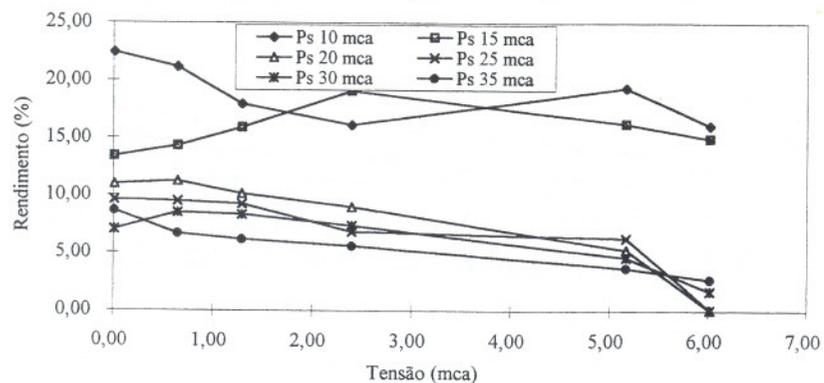
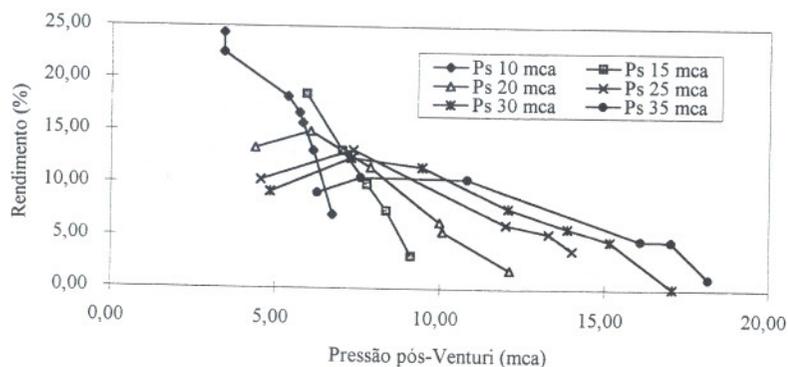


Figura 6. Rendimento versus pressão pós-Venturi, com injetor trabalhando sob condições de descarga à jusante pressurizada, para diferentes pressões de serviço



Com uso de um programa computacional, todos os dados foram analisados por meio de regressão, considerando de início, a vazão succionada como variável dependente em função de diferentes combinações de variáveis independentes, tendo na maioria dos casos, a relação melhor representada por um modelo quadrático, confirmando o que foram observados na prática. Posteriormente, considerou-se como variáveis dependentes tanto as perdas de cargas quanto os rendimentos em função de diferentes combinações de variáveis independentes. Os resultados dos modelos destas equações são apresentados nas Tabelas 7 e 8, seguintes:

Tabela 7. Resultados dos parâmetros analisados por meio de regressão com injetor funcionando sob condições de descarga aproximadamente livre à jusante, com diferentes pressões de serviço.

Variável dependente	Variáveis independentes	Modelo	R <sup>2</sup>
• Vazão de sucção	Pre.Serv; Vaz.mot; Tensão	$Q_s = -28,11. Ps + 0,479. Q_m - 37,76. Ten^2$	0,969
• Perda de carga	Pre.Serv; Vaz.mot; Tensão	$hf = 0,888. Ps - 0,0015. Q_m + 0,0081. Ten^2$	0,996
• Rendimento	Pre.Serv; Vaz.mot; Tensão	$\eta = -1,184. Ps - 0,0064. Q_m - 0,1858. Ten^2$	0,934

Tabela 8. Resultados dos parâmetros analisados por meio de regressão com o injetor funcionando sob condições de descarga pressurizada à jusante, com diferentes pressões de serviço.

Variável dependente	Variáveis independentes	Modelo	R <sup>2</sup>
• Vazão de sucção	Pre.Ser; Vaz.mot; Pres-pós	$Q_s = -83,13. Ps + 0,033. Q_m - 10,795. Ten^2$	0,916
• Perda de carga	Pre.Ser; Vaz.mot; Pres-pós	$hf = 0,7385. Ps - 0,0010. Q_m + 0,0083. Ten^2$	0,999
• Rendimento	Pre.Ser; Vaz.mot; Pres-pós	$\eta = -0,880. Ps + 0,0057. Q_m - 0,0404. Ten^2$	0,871

#### 4. CONCLUSÕES

- Os resultados comprovaram que o injetor tipo Venturi funcionando instalados em série numa tubulação, realmente condiciona altas perdas de cargas e rendimentos variáveis de acordo com as condições de operação e do seu limite operacional; quer o instrumento funcionando sob condições de descarga livre ou pressurizada à jusante.

- Apesar dos valores considerados para estes dois parâmetros (perda de carga e rendimento), não há motivos práticos para descartar a utilização do equipamento haja vista que seu tempo operacional pode ser muito pequeno se comparado com o tempo de irrigação onde o injetor pode facilmente ser desativado do sistema, além do seu preço reduzido se comparados a outros tipos de injetores.

- Como a maioria dos sistemas de irrigação localizada onde mais se utiliza este tipo de injetor, trabalham normalmente com pressões de serviço em torno de 15 a 25 mca, julga-se que um rendimento em torno de 15 a 24 % como foi obtido no trabalho, já mostra efeito satisfatório com o equipamento.

- Acredita-se que, alternativas como a instalação do injetor em paralelo à linha de irrigação e/ou aproveitando a energia de posição; através da colocação do reservatório contendo a solução, mais próxima do injetor, ou mesmo colocado num ponto acima deste; pode trazer melhores resultados tanto para minimizar as perdas de cargas quanto aumentar seu rendimento em qualquer situação de trabalho.

## 5. ABSTRACT

### PERFORMANCE OF FERTILIZER INJECTORS TYPE VENTURI JOINED PIPE UNDER FREE AND PRESSURIZED FLOW

This study was conducted of the Hydraulic Laboratory of University of São Paulo, Paracibá, Brazil, to determine the performance and efficiency of injector type Venturi with mixing chamber widely used in chemigation, joined pipe under free and pressurized flow. The injectors made of PVC with diameter of mixing chamber of 10.03 and 14.06 mm. The injectors were tested by supply pressure of 10; 15; 20; 25; 30 and 35 mca. It was studied variables as: injector head losses; injector discarg suction in six operatin pressure and variables flows rates. The obtained results permit to establish clarifying tecnical knowledge about the performance oh such devices and making possibl an appropriate choice to their different applications as well as ideal operation conditions.

**KEY WORD: CHEMIGATION; HIDRAULIC CHARACTERISTICS; IRRIGATION.**

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DASBERG, S & BRESLER, E. Drip sistem components. In: \_\_\_\_\_. **Drip irrigation manual**. Bet Dagan, IIIc, 1985. Cap 2, p.17 -30. (III. Publication, 9).
2. HIRSCHMANN, J. **Bombas características y aplicación**. Ed.Universitária. Santiago, Chile. 1958. 17 p.
3. KRIVCHENKO, G. **Hidraulic machines: turbines and pumps**. 2a Ed. Lewis Publishers. New York. 1994. 414 p.
4. LI, A. & SCHMIDT, T. K. Parallel staged jet pump for fertilizer injection. In: \_\_\_\_\_. **Third International Drip/Trickle Irrigation Congress**. Fresno, Califórnia, USA, Nov. p 615-621, 1985.
5. OLIVEIRA, E. F. **Análise do desempenho de hidro-ejetores funcionando como bomba de vácuo**. ESALQ/USP. Piracicaba-SP, 1993, 63p. (Tese de Mestrado).
6. SHANI, M. **La fertilizacion combinada com el riego**. Estado de Israel. Ministério da Agricultura. 1983, 36 p.