

UTILIZAÇÃO DE INJETORES TIPO VENTURI DUPLO VISANDO AMPLIAR SEU LIMITE OPERACIONAL E USO NA QUIMIGAÇÃO EM CONDIÇÕES DE MÉDIA E DE ALTA PRESSÃO

USE OF VENTURI TYPE DOUBLE INJECTORS SEEKING TO ENLARGE ITS OPERATIONAL LIMIT AND USE IN CHEMIGATION IN CONDITIONS OF AVERAGE AND OF HIGH PRESSURE

José Crispiniano Feitosa Filho¹, Tarlei Arriel Botrel² e José María Pinto³

RESUMO

Um experimento foi instalado no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP/SP visando avaliar o desempenho da instalação que utiliza dois injetores tipo Venturi e seu uso em condições de média e alta pressão. Testou-se um sistema com pares de injetores de 40 mm x 25 mm cujos dados foram comparados com os do injetor de 25 mm instalado em série. Avaliou-se as pressões de serviço, os diferenciais de pressão, as vazões motrizes, as vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos. Comprovou-se um aumento no limite operacional dos injetores nesse tipo de instalação principalmente nas pressões de serviço mais elevadas. Houve maior influência no desempenho e nas vazões succionadas devido ao diferencial de pressão considerando um ponto a montante do sistema e um ponto na câmara de mistura que em relação ao diferencial considerando um ponto na câmara de mistura e um ponto após o sistema. As vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos quando avaliados em função desses diferenciais apresentaram melhores ajustes seguindo funções polinomiais quadráticas.

ABSTRACT

An experiment was installed in the Laboratory of Hydraulics of the Superior School of Agricultura Luiz de Queiroz-USP/SP seeking to evaluate the acting of the installation that uses two Venturi type injectors and its use in average conditions and high pressure. A system was tested with pairs of injectors of 40 mm x 25 mm whose data were compared with the one of the injector of 25 mm installed in series. It was evaluated the service pressures, pressure differential, the motive flows, the suction flows, the head and the efficiency. It was proven an increase in the operational limit of the injectors in that installation type mainly in the higher service pressures. There was larger influence in the acting and in the suction flows due to the pressure diferencial considering a point to amount of the system and a point in the mixing chamber that in relation to the diferencial considering a point in the mixing chamber and a point after the system. The suction flows, the head losses and the efficiency when evaluated in function of those differential they presented better fittings following functions quadratic polynomials.

Palavras índices adicionais: Fertirrigação, injetor tipo Venturi, desempenho.

Recepción: 11 - 06 - 97
Aprobación: 23 - 02 - 98

¹Prof. do DSER/CCA/UFPB. (083) 362.2300, Ramal 30, Areia-PB; CEP: 58.397-000.
²Prof. do DER/ESALQ/USP. Piracicaba-SP. CEP: 13.418-900.
³Pesquisador do CPATSA/EMBRAPA. Petrolina-PE.



INTRODUÇÃO

A quimigação que consiste na aplicação de produtos químicos através da água de irrigação tornou-se alternativa utilizada por muitos irrigantes em razão das vantagens oferecidas em relação as aplicações tradicionais. Dentre suas vantagens tem-se um menor custo com mão de obra para se fazer as aplicações e uma maior eficiência dos produtos aplicados, Shani (1983).

Para se fazer a quimigação o sistema de irrigação deve ser dotado de um injetor para introduzir a solução na água de irrigação onde a partir daí, a solução junto com a água é distribuída no solo e nas culturas. Existem diversos tipos de injetores que variam segundo as formas de energia utilizadas para seu funcionamento, seus custos e eficiência.

O injetor tipo Venturi é um equipamento que utiliza pressão efetiva negativa, é de fácil manuseio e de custo relativamente baixo. Como limitações se tem as altas perdas de carga, que segundo Shani (1983) e Dasberg & Bresler (1985) podem alcançar 30% ou mais da pressão de serviço.

O limite operacional diz respeito a faixa de pressão que cada equipamento pode funcionar adequadamente numa determinada condição. Esse limite operacional constitui limitações quando se deseja utilizar determinado injetor em condições diferentes daquelas nas quais o injetor foi projetado. Esse parâmetro é de fundamental importância no processo de sucção pelo injetor haja vista que havendo mudança nas condições hidráulicas requeridas para o funcionamento do injetor, simplesmente ele não funciona ou se o fizer, o fará de forma inadequada.

Trabalhos conduzidos por Feitosa Filho *et al.* (1996) comprovaram que o limite operacional desses injetores está diretamente relacionado com os diferentes parâmetros hidráulicos que influem no seu funcionamento como as dimensões do injetor, aos materiais que são construídos e sua instalação na tubulação de abastecimento.

A instalação do injetor refere-se a forma como o equipamento é acoplado na tubulação principal do sistema de irrigação. Diferentes formas de instalações são recomendadas dependendo do tipo de injetor, das características funcionais de cada projeto e da eficiência

que se deseja em cada sistema.

Quando o injetor é instalado diretamente na linha principal de irrigação se tem o tipo de instalação conhecida como instalação em serie que segundo Shani (1983) só deve ser recomendada quando a vazão na tubulação principal do sistema de irrigação for próxima daquela requerida para funcionamento do injetor. Segundo esse autor, nesse tipo de instalação dificilmente se consegue trabalhar com pressões de serviço superiores a 294,18 kPa.

Outra forma de instalação desses injetores se faz por meio de uma derivação em paralelo, normalmente de diâmetro inferior ao diâmetro da tubulação principal de abastecimento. Incluso nesses dois grupos existem diversas subformas que são recomendadas em condições específicas de uso.

Na instalação em paralelo há uma subdivisão onde são utilizados dois injetores tipo Venturi formando simultaneamente um só sistema, conforme esquema ilustrativo da Figura 1. Esse tipo de instalação será doravante caracterizado como "sistema de instalação com duplo injetores".

Para facilitar o entendimento do funcionamento desse tipo de instalação, o injetor maior será caracterizado como "injetor principal", enquanto que o injetor de menor dimensão e que fica diretamente conectado ao reservatório contendo a solução química a ser aplicada será denominado de "injetor secundário".

Analisando as condições de pressão nas tubulação a jusante dos dois injetores é fácil perceber que o injetor principal funciona como se estivesse "ajudando" o funcionamento do injetor de menor dimensão. A tubulação de descarga do injetor secundário constitui ao mesmo tempo a própria tubulação de sucção do injetor principal e assim, se tem uma condição de pressão na tubulação a jusante do injetor secundário menor que aquela que ocorre se o equipamento estivesse funcionando em série nas mesmas pressões de serviço.

No esquema ilustrado na Figura 1, o ponto P_1 comum aos dois injetores correspondem ao ponto onde deve ser mantido a pressão de serviço que se deseja a montante do sistema. Já o ponto P_3 corresponde a um ponto de pressão estratégico dessa forma de instalação e por isso, foi considerado fundamental na avaliação do desempenho desse sistema.

INTRODUÇÃO

A quimigação que consiste na aplicação de produtos químicos através da água de irrigação tornou-se alternativa utilizada por muitos irrigantes em razão das vantagens oferecidas em relação as aplicações tradicionais. Dentre suas vantagens tem-se um menor custo com mão de obra para se fazer as aplicações e uma maior eficiência dos produtos aplicados, Shani (1983).

Para se fazer a quimigação o sistema de irrigação deve ser dotado de um injetor para introduzir a solução na água de irrigação onde a partir daí, a solução junto com a água é distribuída no solo e nas culturas. Existem diversos tipos de injetores que variam segundo as formas de energia utilizadas para seu funcionamento, seus custos e eficiência.

O injetor tipo Venturi é um equipamento que utiliza pressão efetiva negativa, é de fácil manuseio e de custo relativamente baixo. Como limitações se tem as altas perdas de carga, que segundo Shani (1983) e Dasberg & Bresler (1985) podem alcançar 30% ou mais da pressão de serviço.

O limite operacional diz respeito a faixa de pressão que cada equipamento pode funcionar adequadamente numa determinada condição. Esse limite operacional constitui limitações quando se deseja utilizar determinado injetor em condições diferentes daquelas nas quais o injetor foi projetado. Esse parâmetro é de fundamental importância no processo de sucção pelo injetor haja vista que havendo mudança nas condições hidráulicas requeridas para o funcionamento do injetor, simplesmente ele não funciona ou se o fizer, o fará de forma inadequada.

Trabalhos conduzidos por Feitosa Filho *et al.* (1996) comprovaram que o limite operacional desses injetores está diretamente relacionado com os diferentes parâmetros hidráulicos que influem no seu funcionamento como as dimensões do injetor, aos materiais que são construídos e sua instalação na tubulação de abastecimento.

A instalação do injetor refere-se a forma como o equipamento é acoplado na tubulação principal do sistema de irrigação. Diferentes formas de instalações são recomendadas dependendo do tipo de injetor, das características funcionais de cada projeto e da eficiência

que se deseja em cada sistema.

Quando o injetor é instalado diretamente na linha principal de irrigação se tem o tipo de instalação conhecida como instalação em serie que segundo Shani (1983) só deve ser recomendada quando a vazão na tubulação principal do sistema de irrigação for próxima daquela requerida para funcionamento do injetor. Segundo esse autor, nesse tipo de instalação dificilmente se consegue trabalhar com pressões de serviço superiores a 294,18 kPa.

Outra forma de instalação desses injetores se faz por meio de uma derivação em paralelo, normalmente de diâmetro inferior ao diâmetro da tubulação principal de abastecimento. Incluso nesses dois grupos existem diversas subformas que são recomendadas em condições específicas de uso.

Na instalação em paralelo há uma subdivisão onde são utilizados dois injetores tipo Venturi formando simultaneamente um só sistema, conforme esquema ilustrativo da Figura 1. Esse tipo de instalação será doravante caracterizado como "sistema de instalação com duplo injetores".

Para facilitar o entendimento do funcionamento desse tipo de instalação, o injetor maior será caracterizado como "injetor principal", enquanto que o injetor de menor dimensão e que fica diretamente conectado ao reservatório contendo a solução química a ser aplicada será denominado de "injetor secundário".

Analisando as condições de pressão na tubulação a jusante dos dois injetores é fácil perceber que o injetor principal funciona como se estivesse "ajudando" o funcionamento do injetor de menor dimensão. A tubulação de descarga do injetor secundário constitui ao mesmo tempo a própria tubulação de sucção do injetor principal e assim, se tem uma condição de pressão na tubulação a jusante do injetor secundário menor que aquela que ocorre se o equipamento estivesse funcionando em série nas mesmas pressões de serviço.

No esquema ilustrado na Figura 1, o ponto P_1 comum aos dois injetores correspondem ao ponto onde deve ser mantido a pressão de serviço que se deseja a montante do sistema. Já o ponto P_3 corresponde a um ponto de pressão estratégico dessa forma de instalação e por isso, foi considerado fundamental na avaliação do desempenho desse sistema.

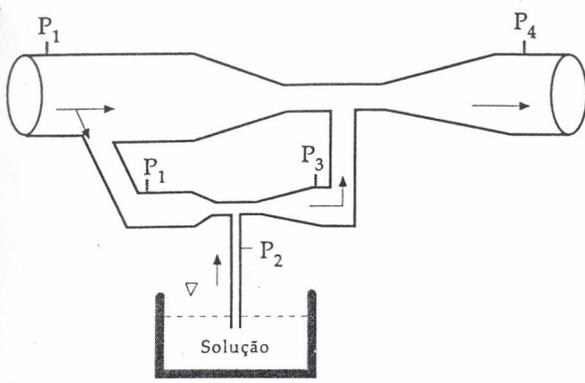


Figura 1. Esquema da instalação de um sistema com duplo injetores.

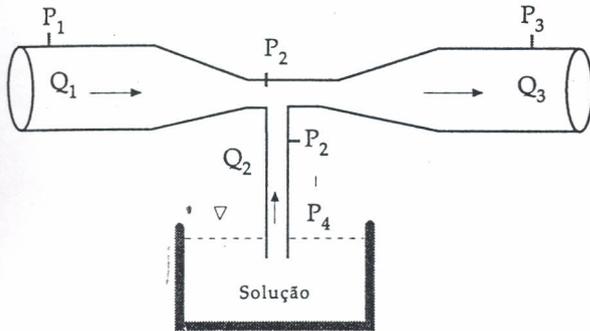


Figura 1. Esquema do injetor tipo Venturi simples.

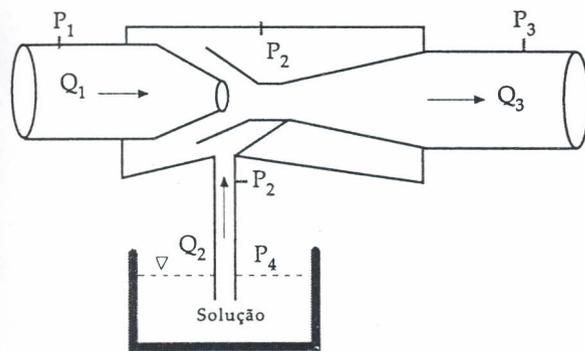


Figura 2. Esquema do injetor tipo Venturi com câmara de mistura.

Observa-se que a pressão no ponto P_4 a jusante do injetor principal, corresponde ao ponto onde as pressões que se deseja a jusante do sistema devem ser suficientes para atender as pressões requeridas para o funcionamento dos demais componentes do sistema de irrigação.

Analisando o que deve acontecer com as pressões no ponto P_3 a jusante do injetor secundário é fácil perceber que nesse local, normalmente o sistema trabalha com uma pressão efetiva positiva bem mais baixa ou até mesmo negativa, dependendo das condições proporcionadas pelo injetor principal sobre o injetor secundário.

Li & Schmidh (1985) comentam que as

primeiras aplicações desse princípio de instalação se deve a uma firma americana de construção de injetores e que só a recomendada para uso em sistemas de injeção que operam com vazões motrizes superiores a $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Segundo esses autores, uma das vantagens desse tipo de instalação é que se têm no ponto de descarga do injetor secundário pode-se ter uma redução de pressão em torno de 50 a 80% da pressão de serviço do injetor principal.

Esse tipo de instalação também é citada por Natan (1994) e Burt *et al.* (1995), que afirmam que ela pode proporcionar uma redução nas perdas de carga em torno de 12 a 25% das pressões de serviço. Isso acontecendo pode ser considerado um bom resultado para minimizar uma das principais desvantagens da instalação em série desses injetores.

Mueller (1964) referindo aos rendimentos dos instrumentos que utilizam no funcionamento o mesmo princípio do medidor de vazão tipo Venturi relata que em alguns casos seus rendimentos são normalmente baixos, porém nem sempre esse parâmetro hidráulico deve ser considerado relevante para alguns usos práticos desses equipamentos.

O baixo rendimento no caso específico da quimigação pode naturalmente ser compensado com o aumento nas concentrações dos produtos a serem aplicados e considerando portanto esse aspecto; se o rendimento do injetor ou do sistema apresentar valores reduzidos, não há razão para se descartar o emprego destes tipos de injetores haja vista as inúmeras vantagens por eles condicionadas.

Embora essa forma de instalação seja citada em algumas literaturas, poucos dados técnicos são fornecidos a seu respeito nem como é feito esse tipo de acoplamento muito menos suas limitações e desempenho o leva a dificuldade de entendimento daqueles interessados no assunto. Pelo exposto e considerando os princípios básicos de funcionamento desse sistema, o trabalho teve como objetivos:

- Avaliar o desempenho dos injetores e do sistema que compõem esse tipo de instalação;
- Definir os parâmetros hidráulicos que influem no desempenho do sistema de injeção;
- Avaliar evidências da possibilidade de ampliar o limite operacional dos injetores e sua operação em condições de média e de altas pressões.

- Trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz em Piracicaba.
- Experimento foi instalado acoplado numa tubulação em aço zincado que foi mantido numa posição horizontal a uma altura de 1,60 m do solo.
- Parâmetro conhecido na hidráulica como tensão; sucção; vácuo ou pressão efetiva negativa será considerada no trabalho como depressão que também é sinônimo, para diferenciar do termo "sucção", referindo-se a ação do injetor no processo de sucção da solução.

Utilizou-se injetores confeccionados com conexões hidráulicas "Tipo T" em PVC, que serviram como câmaras de mistura desses injetores. As secções convergente e divergente dos injetores foram torneadas em tarugos de PVC, peças essas que ficaram inclusas na câmara de mistura, seguindo modelo desenvolvido por Rojas (1995). Todos os injetores utilizados possuíam os ângulos das secções convergente e divergente de aproximadamente 10°.

O injetor principal possuía diâmetro nominal da tubulação de entrada e de saída de 40 mm. Já o injetor secundário apresentava estas dimensões de 25 mm.

O diâmetro real da tubulação de entrada e de saída do injetor principal foi 34,9 mm e 12,37 mm para o diâmetro do bocal convergente e 17,68 mm para o bocal divergente, portanto, com relação entre os quadrados dos diâmetros dos bocais de 0,49.

O injetor secundário possuía diâmetro real da tubulação de entrada e de saída de 18,67mm; diâmetro real do bocal convergente de 7,66 mm e do bocal divergente de 9,16 mm dando uma relação entre o quadrado dos diâmetros dos bocais de 0,70.

Trabalhou-se nos testes com as pressões de serviço variando de 147,09 kPa até 686,42 kPa; (15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60 e 70 mca) e com diferentes vazões motrizes onde avaliou-se as pressões de serviço; os diferenciais de pressão; as vazões motrizes; as vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos.

Para avaliar as perdas de carga e os rendimentos utilizou-se as equações (1) e (2),

deduzidas por Feitosa Filho *et al.* (1996).

$$hf = \frac{\left[\left(\frac{16\gamma}{\pi^2 2g} \left(\frac{Q_1^3}{D_1^4} + \frac{Q_2^3}{D_2^4} - \frac{Q_3^3}{D_3^4} \right) + Q_1 P_1 + Q_2 P_2 - Q_3 P_3 \right) \right]}{\gamma Q_3}$$

$$n = \frac{\left(\rho_2 \frac{Q_2^3}{2A_2^2} + Q_1 P_1 \right)}{\left(\rho_1 \frac{Q_1^3}{2A_1^2} + Q_1 P_1 \right)} 100$$

em que,

hf – perda de carga acidental, Pa;

n – rendimento do injetor, %;

γ_1 – massa específica do fluido motriz,

γ_2 – massa específica do fluido succionado,

γ_3 – massa específica da mistura do fluido motriz e succionado.

Q_1 – vazão motriz na secção de entrada, m³ s⁻¹;

Q_2 – vazão de sucção, m³ s⁻¹;

Q_3 – vazão na secção de saída, m³ s⁻¹;

P_1 – pressão de serviço na secção de entrada, Pa;

P_2 – depressão na secção na câmara de mistura, Pa;

P_3 – pressão pós injetor, Pa;

D_1 – diâmetro da secção de entrada do injetor, m²;

D_2 – diâmetro da secção da tubulação de sucção, m²;

D_3 – diâmetro da tubulação de saída, m²;

A_1 – área da secção a montante do injetor, m² e

A_2 – área da tubulação de sucção, m².

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 (a); 2(b) e 2 (c) apresentam graficamente as vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos em função dos diferenciais de pressão obtidos entre um ponto instalado na câmara de mistura e um ponto imediatamente a jusante do sistema duplo de 40 mm x 25 mm trabalhando nas pressões de serviço variando de 147,09 kPa (15 mca) até 686,42 kPa (70 mca). Esse diferencial de pressão foi estabelecido por considerar justamente as condições de pressão necessárias aos demais equipamentos do sistema de irrigação.

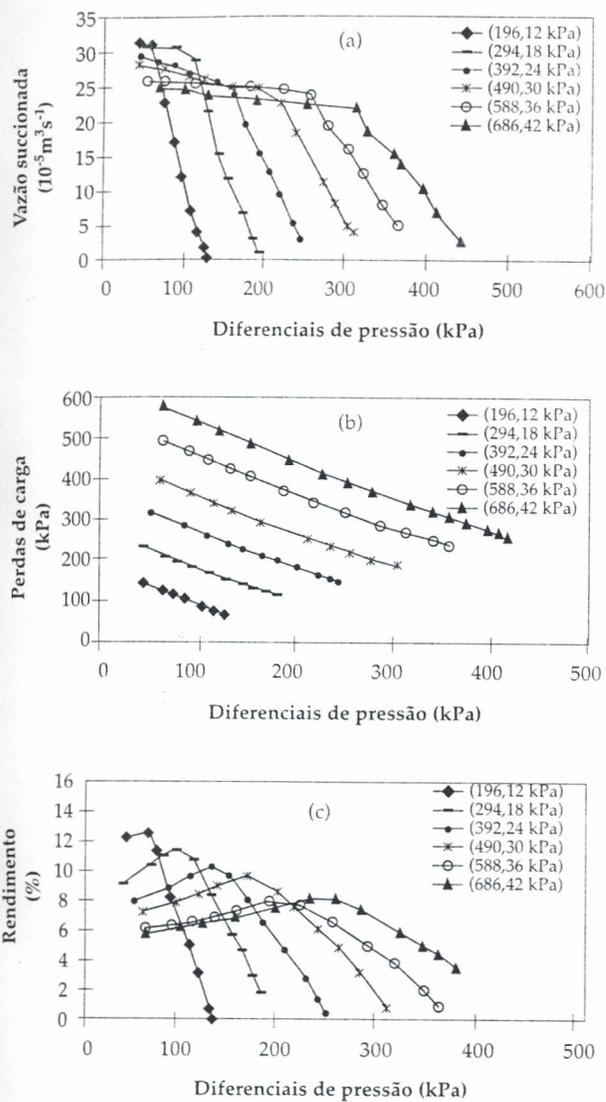


Figura 2. Vazões succionadas (a), perdas de carga (b) e rendimentos (c) em função dos diferenciais de pressão com duplo injetores de 40 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

Avaliando o comportamento das curvas das vazões succionadas, observa-se que nos maiores diferenciais de pressão houve uma ampliação do limite operacional do sistema, o mesmo acontecendo com as pressões de serviço mais elevadas, resultados que corroboram com afirmações de Li & Schmidt (1985) quando afirmam que essa forma de instalação pôde ampliar esse parâmetro.

Observa-se na mesma figura que embora o limite operacional tenha aumentado com o aumento dos diferenciais de pressão, as vazões succionadas por sua vez tenderam a diminuir a medida que as pressões de serviço foram aumentando. Isso, possivelmente se deve a redução da energia do sistema que deveria ser

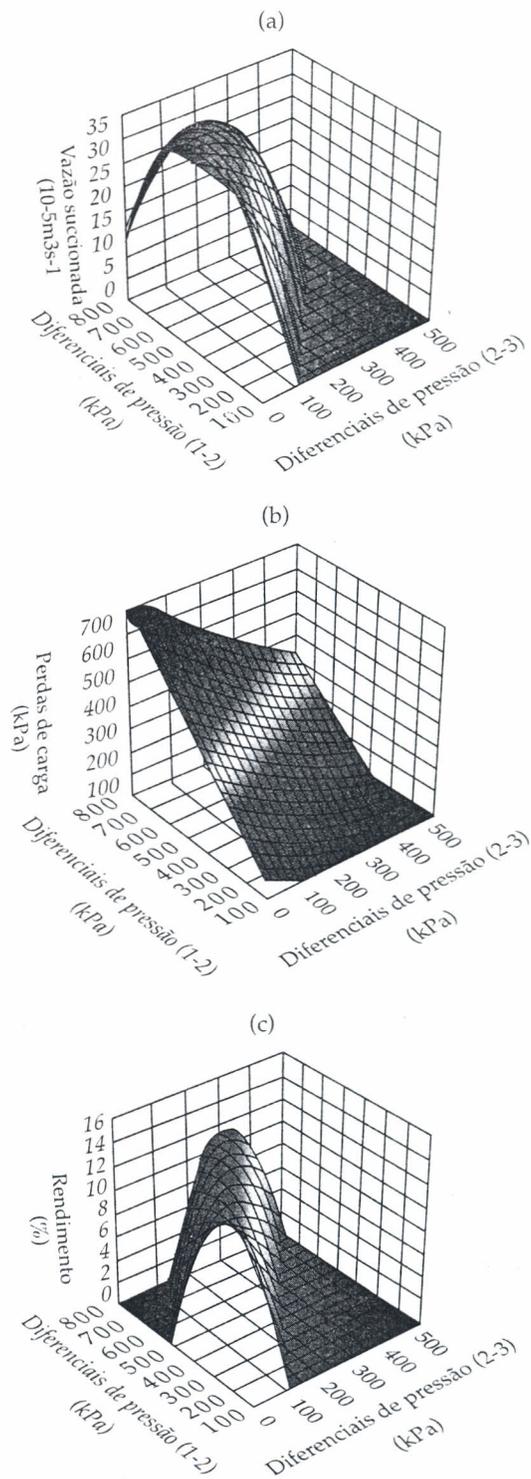


Figura 3. Vazões succionadas (a); perdas de carga (b) e rendimentos (c) em função dos diferenciais de pressão a montante do sistema e um ponto na câmara de mistura Dif. (1-2) e diferenciais de pressão entre um ponto na câmara de mistura e um ponto após o injetor Dif. (2-3) com injetor duplo de 40 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

utilizada para proporcionar um aumento das sucções com o aumento das pressões está sendo utilizada justamente para condicionar o funcionamento simultâneo dos dois injetores.

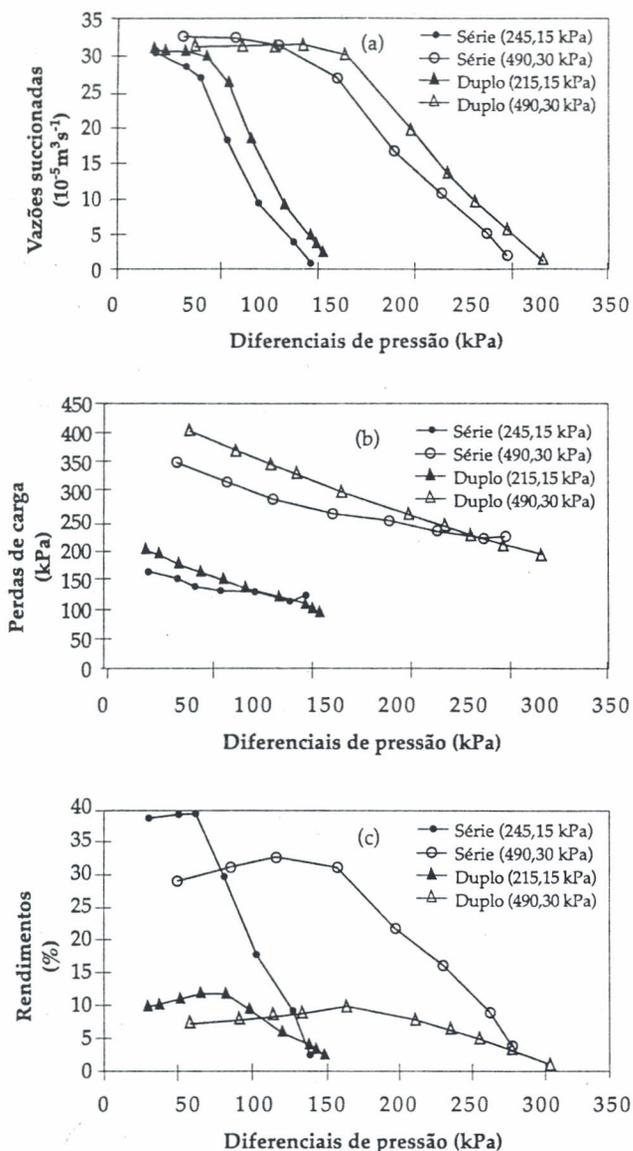


Figura 4. Vazões succionadas (a); perdas de carga (b) e rendimentos (c) em função dos diferenciais de pressão com o injetor de 25 mm instalado em série e em sistema duplo com o injetor de 40 mm nas pressões de serviço de 245,15 kPa e 490,30 kPa.

Observa-se uma redução mais brusca das vazões succionadas somente ocorrendo além da metade dos diferenciais de pressão, fato que não acontece com o mesmo equipamento instalado em série; onde essa redução é mais acentuada muito antes da metade desse diferencial de pressão, apesar das vazões succionadas para uma mesma pressão de serviço ser maior na instalação do injetor em série conforme pode ser acompanhado nos gráficos da Figura 3 (b).

Em relação as perdas de carga representadas nas Figuras 2(b) constata-se que nos valores de menor diferencial de pressão elas foram menores e que aumentam a medida que os

diferenciais foram aumentando. Nas condições de maior diferencial de pressão sua variação apresentou uma inclinação linear o que provavelmente está relacionada com o aumento das vazões motrizes nos injetores.

Observa-se que os valores das perdas de carga ainda foram muito elevados e que aumentaram a medida que se aumentou as pressões de serviço e diminuíram como era de se esperar, com o aumento dos diferenciais de pressão. Quando os dados das perdas de carga média de todos os testes foram analisados encontrou-se um valor médio de 238,52 kPa e correspondente a 57,95% das pressões de serviço; resultados que vão de encontro com as citações de Shani (1983) quando comenta que elas podem alcançar um terço ou mais das pressões de serviço.

Com relação aos rendimentos houve nas pressões de serviço mais baixas uma redução mais brusca desse parâmetro a medida que se aumentou os diferenciais de pressão. Isso, possivelmente se deve ao fato de que nas pressões de serviço mais reduzidas, se tem uma ação menor do injetor principal sobre o injetor secundário. Isso acontecendo, associado a uma menor vazão motriz; que por sua vez contribui diretamente no valor quantitativo das vazões succionadas podem ter contribuído para a redução dos rendimentos desse sistema.

Analisados conjuntamente o comportamento das curvas dos rendimentos com as das vazões succionadas constata-se uma correlação entre estes dois parâmetros o que mostra que eles atuam conjuntamente, conforme citações de Mueller (1964).

Além do diferencial de pressão já discutido avaliou-se também o comportamento desses mesmos parâmetros em função conjunta com outro diferencial de pressão, porém considerando um ponto a montante do sistema e um ponto na câmara de mistura. Esse diferencial de pressão em oposição ao primeiro, estabelece as condições de pressão de serviço a montante do sistema e as condições de depressão na câmara de mistura. Os dados representativos da ação conjunta destes dois diferenciais de pressão estão nas Figuras 3(a); 3(b) e 3(c) para as vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos, respectivamente.

Analisando as curvas representativas das vazões succionadas e dos rendimentos observa-se que elas são muito semelhantes e

que foram mais afetadas pelo primeiro diferencial de pressão que pelo segundo. Essa constatação foi importante pois é justamente o segundo diferencial de pressão, conforme já discutido, que contém as pressões que se deseja a jusante do sistema.

Esses resultados asseguram que mesmo havendo maior variação nos valores do segundo diferencial, pouca variação se tem no funcionamento do sistema. Isso, permite uma condição de funcionamento mais regular do sistema, fato que não acontece com a instalação em série e que constitui um problema na uniformidade de distribuição dos produtos aplicados na água de irrigação. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Mueller (1964) e Feitosa Filho *et al.* (1996) que comprovaram que o limite operacional desses injetores está diretamente correlacionado com esses dois diferenciais de pressão.

Nas Figuras 4(a), 4(b) e 4(c) se tem os dados comparativos obtidos com sistema de duplo injetores de 40 mm x 25 mm comparados com os dados obtidos com esse mesmo injetor secundário de 25 mm, porém instalado em série em relação a tubulação principal. As representações gráficas dessas curvas são para as pressões de 245,15 kPa (25 mca) e 490,30 kPa

(50 mca) representativas do funcionamento do injetor em condições de média e de alta pressão. O diferencial de pressão considerado para a confecção desses gráficos referem a um ponto instalado na câmara de mistura e um ponto instalado imediatamente a jusante do injetor.

Analisando essas figuras observa-se que na instalação em série e na mesma pressão de serviço houve vazões succionadas maiores embora o limite operacional do injetor tenham sido mais reduzido que em comparação com o sistema que utiliza duplo injetores.

Quando analisou-se os dados do injetores do sistema duplo observou-se que o maior rendimento foi de 14,12% com o sistema trabalhando na pressão de serviço de 147,09 kPa e um valor médio de 6,66%. Essas constatações corroboram com as afirmações de Mueller (1964) quando afirma que os rendimentos com injetores que utilizam esse princípio de funcionamento são dependentes da sua forma de instalação.

Quando os dados das vazões succionadas, das perdas de carga e dos rendimentos foram avaliados através de regressão em funções dos dois diferenciais de pressão estabelecidos no trabalho apresentaram melhores ajustes

Tabela 1. Vazões succionadas; perdas de carga e dos rendimentos do injetor duplo de 32 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

| Modelos* | R ² |
|---|----------------|
| $Q_s^{**} = 0,158313 \text{ Dif}_1 - 0,000113 \text{ Dif}_1^2 - 0,19854 \text{ Dif}_2 + 0,000171 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9288 |
| $h_f = 0,885261 \text{ Dif}_1 + 0,000016 \text{ Dif}_1^2 - 0,889395 \text{ Dif}_2 + 0,000074 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9997 |
| $h = 0,053146 \text{ Dif}_1 - 0,000052 \text{ Dif}_1^2 - 0,041501 \text{ Dif}_2 + 0,000036 \text{ Dif}_2^2$ | 0,8480 |

* Q_s : vazões succionadas; h_f : perdas de carga, kPa; h : rendimentos, %; Dif_1 : diferenciais de pressão entre um ponto a montante do sistema e um ponto na câmara de mistura do injetor secundário, kPa; Dif_2 : diferenciais de pressão entre um ponto na câmara de mistura do injetor secundário e um ponto na saída do sistema, kPa.

** Vazões em $10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Tabela 2. Vazões succionadas; perdas de carga e dos rendimentos do injetor duplo de 40 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

| Modelos* | R ² |
|---|----------------|
| $Q_s^{**} = 0,158313 \text{ Dif}_1 - 0,000113 \text{ Dif}_1^2 - 0,19854 \text{ Dif}_2 + 0,000171 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9288 |
| $h_f = 0,885261 \text{ Dif}_1 + 0,000016 \text{ Dif}_1^2 - 0,889395 \text{ Dif}_2 + 0,000074 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9997 |
| $h = 0,053146 \text{ Dif}_1 - 0,000052 \text{ Dif}_1^2 - 0,041501 \text{ Dif}_2 + 0,000036 \text{ Dif}_2^2$ | 0,8480 |

Tabela 3. Vazões succionadas; perdas de carga e dos rendimentos do injetor duplo de 50 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

| Modelos* | R ² |
|---|----------------|
| $Q_s^{**} = 0,158313 \text{ Dif}_1 - 0,000113 \text{ Dif}_1^2 - 0,19854 \text{ Dif}_2 + 0,000171 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9288 |
| $hf = 0,885261 \text{ Dif}_1 + 0,000016 \text{ Dif}_1^2 - 0,889395 \text{ Dif}_2 + 0,000074 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9997 |
| $h = 0,053146 \text{ Dif}_1 - 0,000052 \text{ Dif}_1^2 - 0,041501 \text{ Dif}_2 + 0,000036 \text{ Dif}_2^2$ | 0,8480 |

Tabela 4. Vazões succionadas; perdas de carga e dos rendimentos do injetor duplo de 60 mm x 25 mm trabalhando nas diferentes pressões de serviço.

| Modelos* | R ² |
|---|----------------|
| $Q_s^{**} = 0,158313 \text{ Dif}_1 - 0,000113 \text{ Dif}_1^2 - 0,19854 \text{ Dif}_2 + 0,000171 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9288 |
| $hf = 0,885261 \text{ Dif}_1 + 0,000016 \text{ Dif}_1^2 - 0,889395 \text{ Dif}_2 + 0,000074 \text{ Dif}_2^2$ | 0,9997 |
| $h = 0,053146 \text{ Dif}_1 - 0,000052 \text{ Dif}_1^2 - 0,041501 \text{ Dif}_2 + 0,000036 \text{ Dif}_2^2$ | 0,8480 |

seguinte modelos de funções polinomiais quadráticas. As equações representativas desses dados apresentaram níveis de significância de 1% e estão relacionadas nas Tabelas 1; 2; 3 e 4.

Para uso dessas equações deve-se estabelecer uma pressão de serviço a montante do sistema juntamente com uma determinada depressão que se deseja na câmara de mistura e que constituirão o primeiro diferencial. Já o segundo diferencial de pressão será obtido atribuindo-se uma pressão que se deseja a jusante do sistema em relação a depressão na câmara de mistura.

CONCLUSÕES

- Os resultados comprovaram que a instalação com duplo injetores favoreceu a ampliação do limite operacional dos injetores, principalmente nas pressões de serviço e diferenciais de pressão mais elevados;
- Constatou-se no sistema com injetores duplo que o diferencial de pressão entre um ponto a montante do sistema e um ponto na câmara de mistura apresentou maior influência nas vazões succionadas e nos rendimentos que o diferencial de pressão considerando um ponto na câmara de mistura e um ponto a jusante do sistema;

- As dimensões do injetor secundário no sistema duplo apresentou influencia no desempenho do sistema e quanto menores foram as dimensões desses injetores em relação aquelas do injetor principal, melhores foram os desempenhos do sistema;
- Quando considerou-se uma mesma pressão de serviço houve na instalação em série maiores vazões succionadas e rendimentos que no sistema constituídos por duplo injetores;
- Os dados analisados por meio de regressão considerando as vazões succionadas, as perdas de carga e os rendimentos em funções dos diferenciais de pressão entre pontos obtidos imediatamente a montante do sistema e pontos na câmara de mistura do injetor secundário; e entre este ponto e pontos na saída do sistema apresentaram melhores ajustes seguindo modelos de funções polinomiais quadráticas.

LITERATURA CITADA

1. DASBERG, S. and BRESLER, E. Drip system components. In: Drip irrigation manual. Bet Dagan. 1985. p.17-30. (Publication N° 9).
2. FEITOSA FILHO, J.C.; BOTREL, T.A.; PINTO, J.M. e HEINEMANN, A.B.

- Influência da relação entre bocais de entrada e de saída no desempenho de injetores tipo Venturi dotados com câmara de mistura. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingenieria Rural. Neuquen. Argentina. 1996. p. 365-71.
3. LI, A. and SCHMIDT, T.K. Parallel staged jet pump for fertilizer injection. In: International drip/trickle irrigation congress, 3. Fresno, Califórnia, USA. p. 615-21, 1985.
 4. MUELLER, N.H.G. Waterjet pump. Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers. New York. May, 1964. Paper N° 3908, HY3. v. 90. p. 83-113.
 5. NATHAN, R. La fertilizacion combinada con el riego. Ministério de Agricultura de Israel. Servicio de Extensión, 1994. 55p.
 6. SHANI, M. La fertilizacion combinada con el riego. Ministério de Agricultura de Israel. Servicio de Extensión, 1983. 36p.