

AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE CUSTOS DO USO DE INJETOR TIPO VENTURI ASSOCIADO À BOMBA CENTRÍFUGA *versus* BOMBA DO TIPO PISTÃO NA QUIMIGAÇÃO VIA PIVÔ CENTRAL

LUCAS DA COSTA SANTOS¹ E JOÃO LUIS ZOCOLER²

¹Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, FCA/UNESP. CP 237, CEP 18610-307, Botucatu/SP, lucas.cs21@gmail.com

²Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, UNESP/Ilha Solteira-SP.

1 RESUMO

O uso de injetores tipo Venturi é prática comum na quimigação em sistemas de irrigação localizada, os quais geralmente operam sob baixas pressões; seu uso em sistemas maiores, como o pivô central, pode ser encarado como alternativa às bombas injetoras do tipo pistão que são as mais difundidas no mercado. Assim, este trabalho teve como objetivo fazer uma avaliação técnica e econômica comparativa entre o sistema montado com o injetor Venturi associado à bomba centrífuga e o sistema de injeção por bomba do tipo pistão na quimigação via pivô central. O equipamento utilizado possui vazão de 300 m³ h⁻¹ e área irrigada de 66 ha. O sistema de injeção era constituído de injetor Venturi de 1,5 polegadas associado a uma motobomba centrífuga de 2,2 kW. Para análise técnica, utilizaram-se como parâmetros de desempenho do injetor Venturi, suas taxas de injeção e rendimento, sendo estes dados comparados com os obtidos junto ao fabricante da bomba tipo pistão. Na análise econômica, buscou-se definir os custos fixos e variáveis de ambos os sistemas. Os ensaios com o injetor Venturi resultaram em comportamento similar aos encontrados na bomba tipo pistão, com taxa de injeção de até 0,621m³ h⁻¹ e rendimento de 11,13%. Quanto à parte econômica, o sistema montado a partir do injetor Venturi apresentou apenas 15,9% do custo da bomba de pistão.

Palavras-chave: quimigação, equipamento de injeção, análise de investimento

SANTOS, L.C.; ZOCOLER, J.L. TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION OF THE USE OF A VENTURI TYPE INJECTOR ASSOCIATED WITH THE CENTRIFUGAL PUMP *versus* PISTON PUMP IN THE CENTER-PIVOT CHEMIGATION

2 ABSTRACT

The use of Venturi injectors is a common practice in chemigation in targeted irrigation systems, which generally operate at low pressures. Their use in larger systems, such as the center pivot, can be seen as an alternative to piston injection pumps, which have been the most used in the market. Thus, this study aimed to evaluate the technical and economical comparison between the system assembled with Venturi injector associated with centrifugal pump and the injection system using piston pump in the center-pivot chemigation. The flow rate of the equipment is 300 m³ h⁻¹ and the irrigated area is 66 ha. The injection system consisted of 1.5-inch Venturi

injector associated with a centrifugal pump of 2.2 kW. For technical analysis, the performance parameters of the Venturi injector were injection rates and yield. These data were compared with those provided by the manufacturer of the piston pump. In the economical analysis, fixed and variable costs of both systems were defined. Tests using the Venturi injector had similar performance as compared with that of the piston pump, with injection rate up to $0.621\text{m}^3\text{ h}^{-1}$ and yield of 11.13%. As to the economical analysis, the system assembled with the Venturi injector had only 15.9% of the cost of the piston pump.

Keywords: Chemigation, injection equipment, analysis of investment.

3 INTRODUÇÃO

Numa região onde o regime pluviométrico apresenta irregularidades, a adoção da técnica de irrigação pode se tornar imprescindível para o desenvolvimento agrícola, propiciando segurança aos produtores em relação à disponibilidade hídrica, além de permitir uma intensificação na exploração da área, tanto pelo aumento da produtividade como nos números de ciclos de produção no tempo.

Para tanto, é imprescindível o manejo racional da irrigação, o qual consiste na correta determinação do momento, quantidade e forma de aplicação da água, contemplando, também, outros aspectos do sistema produtivo, como a quimigação.

Quimigação é o nome dado à técnica de aplicação de fertilizantes e demais produtos químicos via água de irrigação ou via sistemas de irrigação. Essa prática tem sido utilizada há mais de duas décadas como um meio eficaz, econômico e eficiente para aplicação de agroquímicos. Quando praticada em equipamento do tipo pivô central, as principais vantagens incluem: i) elevada uniformidade de aplicação; ii) oportunidade de aplicar o produto químico quando necessário; iii) evita a compactação do solo; e iv) danos às culturas causados pelos equipamentos de aplicação tratorizados, sendo muitas vezes, mais econômico do que os métodos convencionais de aplicação.

A quimigação em pivô central é um procedimento relativamente comum entre os irrigantes, uma vez que o equipamento é bastante apto a isso. Todavia, essa operação é feita, basicamente, injetando-se a solução na tubulação de recalque (no centro do pivô central) através de bombas injetoras do tipo pistão que, embora permita um bom controle da vazão da calda, apresenta como principais inconvenientes o elevado custo do equipamento e desgaste excessivo das peças ativas, devido o contato da calda com as mesmas. Este equipamento, de acordo com Yague (1994), é mais caro que os tanques de fertilizantes e os injetores tipo Venturi, embora seja mais preciso. Pizarro (1986) discorre que a principal vantagem de bombas elétricas de pistão é a possibilidade de regulagem da vazão injetada, recomendando sua construção com materiais não corrosivos.

Segundo Kranz, Eisenhauer, Parkhurst (1996), mesmo o material de confecção da bomba sendo resistente aos produtos químicos, o desgaste é inevitável. Isso por conta da fricção desenvolvida entre as partes móveis do equipamento (êmbolo e as paredes laterais do cilindro) e o produto a ser injetado. Isso termina por afetar os ajuste de calibração e até mesmo resultar em vazamentos na bomba.

Uma alternativa a esse sistema de injeção é o uso de injetores do tipo Venturi associados às bombas centrífugas, que não tem sido uma técnica muito difundida, devido, em parte, à necessidade de uma aprimorada seleção do injetor e bomba (fato às vezes inapto por técnicos

do setor), bem como da tradição do irrigante em utilizar o sistema disseminado comercialmente (bombas de pistão).

O uso de injetores tipo Venturi é prática comum na quimigação em sistemas de irrigação localizada, os quais geralmente operam sob baixas pressões. Nesses sistemas, normalmente montados com tubulações de diâmetro pequeno, o Venturi é instalado diretamente na linha de irrigação. Para condutos maiores, como são os usados em sistemas do tipo pivô central, se faz necessária a instalação de uma derivação ou *by-pass*, o qual deriva parte da água da linha principal fazendo-a passar pelo injetor.

Nesse tipo de instalação, existe a necessidade de energia externa ao sistema, a qual é obtida a partir de uma bomba reforço instalada ao lado do injetor Venturi. Essa bomba recebe parte da água derivada da linha principal adicionando mais pressão a vazão desviada, fazendo-a passar pelo Venturi e, por fim, sendo conduzida a um ponto a jusante da linha principal de irrigação. O aumento da velocidade do fluxo da água ao passar pela seção estrangulada do injetor Venturi cria um vácuo nessa região, a qual, normalmente, está conectada a um reservatório ou tanque de abastecimento com produto químico. O vácuo gerado faz com que a pressão atmosférica force a solução presente no tanque para o interior do injetor Venturi, daí a sua aplicação na quimigação.

Este trabalho teve como objetivo fazer uma avaliação técnica e econômica comparativa entre o sistema injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga comum e o sistema de injeção por bomba do tipo pistão na quimigação via pivô central.

4 MATERIAL E MÉTODOS

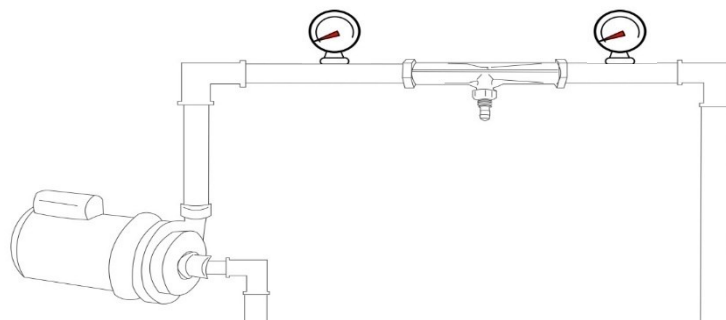
O estudo foi conduzido na Fazenda Busato II, localizada no município de Serra do Ramalho, região oeste do estado da Bahia. As coordenadas geográficas do local são 13° 17' Latitude Sul, 43° 43' Longitude Oeste e altitude de 458 metros.

Os ensaios foram realizados em um equipamento do tipo pivô central, modelo Valmatic, com comprimento da linha lateral de 458,35 metros, vazão de 300 m³ h⁻¹ e área irrigada de 66 hectares.

O sistema de injeção foi montado com um injetor do tipo Venturi de 1,5 polegadas da empresa Mac Loren¹, associado a uma bomba centrífuga, modelo TH AL 16 da Thebe, que era acionada por um motor elétrico de 2,2 kW e rotação de 3500 rpm. O esquema da associação pode ser observado na Figura 1.

A função da motobomba era a de aumentar a pressão proveniente do sistema de irrigação de modo a atender a pressão de operação do injetor Venturi e ainda fazer com que a pressão reinante no ponto a jusante do injetor fosse suficiente para injetar o fluido na rede na vazão desejada.

Figura 1. Esquema da associação entre injetor Venturi e bomba centrífuga.

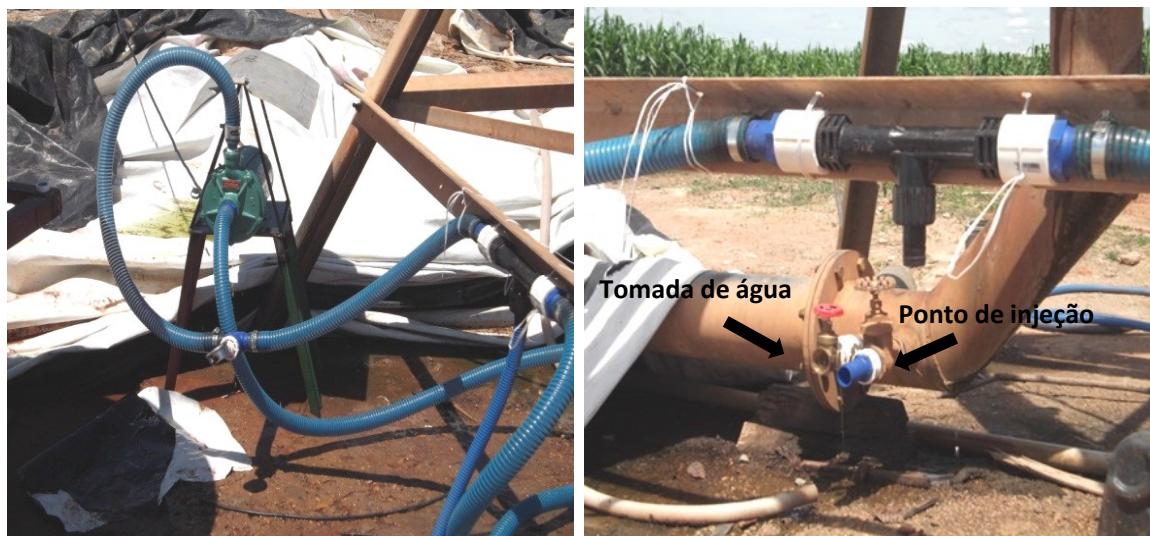


¹ A citação de nome ou marca comercial não implica na recomendação das mesmas por parte dos autores.

As dimensões do injetor foram as seguintes: comprimento de 250 mm, 27 mm de diâmetro interno nas seções de entrada e saída e 12,8 mm de diâmetro na seção contraída (garganta do injetor). O material de fabricação foi o polietileno.

O equipamento foi instalado na base do pivô central, onde haviam duas tomadas de água: uma para alimentar a motobomba (que estava associada ao injetor) e outra que recebia o fluido a ser injetado (Figura 2).

Figura 2. Sistema de injeção a partir de injetor Venturi montado em pivô central.



Para realização dos ensaios o injetor foi instalado, horizontalmente, na estrutura de sustentação do tubo de subida do pivô (base do equipamento) e, entre os bocais de entrada e saída do mesmo, foram instalados manômetros para medição da pressão de alimentação e do diferencial de pressão. A distância do ponto de tomada de pressão à entrada e saída do aparelho, foi de 30 vezes o diâmetro do mesmo, procurando-se reduzir o efeito da turbulência da água na medição da pressão.

A altura do injetor e do reservatório utilizado para armazenar a água a ser injetada foi de 0,71 e 0,67 metros, respectivamente, em relação ao nível do solo.

O reservatório foi assentado numa estrutura montada com estrados de madeira. O objetivo da elevação foi de assegurar uma carga hidráulica adicional sobre o bocal de sucção do injetor.

4.1 Análise Técnica

Como fatores técnicos, foram levados em consideração: a vazão de injeção do sistema Venturi-Bomba Centrífuga, as pressões no ponto pivô e as que ocorriam a montante e jusante do injetor Venturi e ainda a tensão reinante no bocal de sucção.

A partir destes indicadores foi possível definir a perda de carga e o rendimento apresentado pelo sistema injetor, sendo este último dado pela Equação 1 (FEITOSA FILHO, 1998), a qual define a relação entre a energia útil do líquido no ponto de entrada do aparelho em relação à quantidade de energia transferida ao fluido motriz no processo de sucção.

$$\eta = \frac{q (P_{saída} - P_{sucção})}{Q (P_{entrada} - P_{saída})} \quad (1)$$

Em que:

η - rendimento (adimensional);

Q - vazão motriz, $m^3 h^{-1}$ (vazão desviada para atender o injetor Venturi);

q - vazão de sucção, $m^3 h^{-1}$;

$P_{entrada}$ - pressão na entrada do injetor, Pa;

$P_{saída}$ - pressão na saída do injetor, Pa;

$P_{sucção}$ - pressão na sucção do injetor, Pa;

As informações relacionadas à bomba injetora dosadora tipo pistão foram obtidas com o fabricante do equipamento e serviram apenas para comparar o desempenho técnico-econômico deste ao sistema de injeção a partir do injetor Venturi. Esse equipamento não foi utilizado nos ensaios.

Para tanto, foi orçado junto a ALTI Indústria de Equipamentos LTDA a bomba do tipo pistão BP2, modelo 238 acionada por motor elétrico com potência de 2 cv (1,47 kW), trifásico. Esse modelo pode operar nas vazões de 215 a 940 L h^{-1} e com pressões entre 5 e 15 $kgf\ cm^{-2}$. O ajuste da vazão é feito em escala própria do equipamento a qual regula o deslocamento do eixo de saída do redutor, essa escala varia de 15 a 40 mm.

4.2 Análise de Custos

Para o estudo dos aspectos econômicos adotou-se o custo total do sistema de injeção, sendo ele formado pelos custos fixos e custos variáveis.

Os custos fixos são aqueles que ocorrem independentemente do número de horas anuais de operação dos sistemas de injeção e incluem, principalmente, a depreciação do sistema e a remuneração do capital nele investido.

A depreciação corresponde ao custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados inúteis pelo desgaste físico ou quando perdem valor com o decorrer dos anos devido às inovações tecnológicas. Já a remuneração ou juros sobre o capital investido, significa que o empresário renunciou à remuneração que poderia ter obtido pela aplicação de seu capital em outras alternativas. Essa renúncia representa, para o empresário, um custo a ser considerado.

No cálculo da depreciação do sistema, utilizou-se o método do fundo e amortização (COELHO, 1979). A depreciação, calculada por tal critério, garante que o empresário se servirá dela para substituir o capital, sem utilizar seus recursos particulares ou crédito. Sua expressão é a seguinte (Equação 2):

$$d = \frac{(V_i - V_f r)}{(1 + r)^n - 1} \quad (2)$$

Sendo,

- d – quota anual de depreciação, em R\$;
- V_i – valor inicial do sistema, em R\$;
- V_f – valor final ou residual do sistema, em R\$;
- r – taxa anual de juros, em decimal;
- n – vida útil do sistema, em anos.

A remuneração do capital investido foi computada pelo produto entre a taxa de juros de 8,75% ao ano, e a média entre o valor do investimento e o de sucata. Conforme segue (Equação 3):

$$R = \frac{(V_i - V_f)}{2} \text{ taxa anual e juros} \quad (3)$$

Como valor de sucata ou residual dos sistemas, adotou-se 10% do valor inicial do bem, sendo que este valor é alcançado ao final de cinco anos de utilização dos equipamentos (vida útil).

Para o cálculo dos custos variáveis com os sistemas de injeção, estão envolvidos os custos de manutenção, mão de obra e energia elétrica. Assumiu-se que os custos com mão de obra para operar os dois sistemas foram iguais, uma vez que a demanda seria a mesma. Assim, os custos variáveis considerados neste trabalho, referem-se apenas aos reparos, manutenção e dispêndios com a energia elétrica.

Os custos com manutenção e reparos foram estimados como um percentual do investimento inicial dos equipamentos de injeção, sendo estes de 2% do valor inicial do sistema; já os custos com energia elétrica foram calculados em razão da potência requerida pelos sistemas e do número de horas anuais de operação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de injeção média do injetor encontrada nesta pesquisa foi de até $0,6213 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, alcançada a partir de uma vazão motriz de $17,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A pressão a qual esta vazão estava submetida na saída do sistema de irrigação era de 411,9 kPa, sendo que após passar pela motobomba esta ganhava uma carga adicional de 196,1 kPa. Dessa forma, a pressão de alimentação do injetor Venturi era de 608,0 kPa, que após passagem pela seção estrangulada do injetor caía para 441,3 kPa, resultando em um diferencial de pressão de 166,7 kPa.

O rendimento do aparelho foi de 11,13%, valor este considerado satisfatório, uma vez que, com base nas afirmações de Hirschmann (1958), os resultados são considerados bons quando os limites de rendimento para o injetor Venturi estão entre 10 a 30%.

Oliveira et al. (1996) e Ferreira, Frizzone e Botrel (1996) quando buscavam estabelecer os parâmetros de desempenho de injetores tipo Venturi, encontraram valores semelhantes aos observados neste estudo, ficando eles com valores máximos de rendimentos iguais a 10,34 e 16,28%, respectivamente.

Quanto à perda de carga, esta foi de 27,4% da pressão de operação, o que se assemelha muito às afirmações de Lopez (1998) e Shani (1983), quando citam que as perdas promovidas pela instalação do injetor Venturi podem atingir um terço ou até mais da metade da pressão de serviço do equipamento.

Sobre o termo perda de carga, usado com frequência para denominar a diferença de pressão que ocorre entre a tubulação a montante e a jusante do injetor Venturi, Feitosa Filho, Botrel e Pinto (1997), chamam atenção para o fato de que muitos trabalhos, quando às citam, como uma das principais desvantagens do injetor tipo Venturi, normalmente deixam de caracterizar se as perdas de carga correspondem realmente àquelas localizadas devido à presença do injetor instalado na tubulação ou a perda total do sistema. Se isso não for devidamente esclarecido, pode-se entender como perdas de carga do injetor, quando na realidade se trata de perdas devido à presença de válvulas, de medidores de vazão e de controladores de pressão instalados, às vezes, em número desnecessário.

Partindo da constatação de Feitosa Filho, Botrel e Pinto (1997), Santos et al. (2012) buscaram verificar a ocorrência de uma possível variação da taxa de injeção em testes com injetor do tipo Venturi, com e sem a presença de válvula de retenção. Após realização dos ensaios, constataram que a presença deste acessório não promoveu diferenças significativas quando analisadas às taxas de injeção em condições de uso ou não desta peça, o que os levaram a afirmar que, os termos diferenciais de pressão e perda de carga se equivaliam.

Conforme comentado no item Material e Métodos, o recipiente utilizado como reservatório ou tanque de abastecimento do injetor Venturi foi alocado sobre estrados; o objetivo desta elevação foi o de que houvesse uma carga extra de pressão contribuindo para o aumento da taxa de injeção, já que, segundo Feitosa Filho (1998), o aproveitamento da energia de posição do reservatório em relação ao injetor pode ser uma alternativa para aumentar o rendimento de injetores tipo Venturi. No entanto, neste estudo, esse posicionamento do injetor em relação ao fundo do reservatório pouco contribuiu com a taxa de injeção, uma vez que este valor ficou em apenas 0,92%, quando se comparou a taxa de injeção média com a que ocorreu no início da injeção. Diante disso, pode-se inferir que, a manutenção de uma carga adicional exercendo pressão sobre o injetor só é expressiva quando as tensões produzidas pelo equipamento forem baixas ou ainda, se a altura do nível da água no reservatório for elevada. Dessa forma, tanto na primeira quanto na segunda condição, os valores alcançados pelas taxas de injeção podem apresentar incrementos significativos.

Procurando tornar mais objetiva a informação contida acima, pode-se entender da seguinte forma: a possível causa da baixa variabilidade nas taxas de injeção com a variação do nível da água no reservatório, se deu por conta do elevado valor de tensão registrado, que foi de 87,7 kPa (-650mmHg), associado a um baixo valor da altura da lâmina de água no início da injeção, valor este de 71,5 cm. Dessa forma, o valor da altura da lâmina de água no interior do reservatório representou apenas 8,1% da tensão que ocorria no ponto de estrangulamento do injetor, não sendo suficiente para promover variação significativa.

Cabe ressaltar que é bastante comum a ocorrência de alguma variação nas taxas de injeção quando se utiliza o injetor do tipo Venturi, sendo esta uma das desvantagens do aparelho. Em sistemas de irrigação localizada, nos quais o injetor é frequentemente utilizado, essa característica é pouco relevante, uma vez que a existência de variação na injeção de uma solução qualquer, é minimizada pelo fato do sistema ser fixo, diferentemente do sistema tipo

pivô central, no qual a movimentação constante do conjunto de irrigação exige, obrigatoriamente, uma constância na taxa de injeção.

Para os casos onde for constatada a presença de variação na taxa de injeção, pode-se proceder com a instalação de um tanque adicional, de tamanho menor, ao lado do tanque de abastecimento (reservatório de solução), de modo que este, a partir de uma válvula boia, mantenha o nível da solução a ser injetada relativamente constante, sendo este o recipiente que receberia a mangueira que seria conectada a linha de sucção do injetor. Diante disso, a taxa de injeção tende a manter-se constante.

5.1 Análise Técnica

Os ensaios com o injetor tipo Venturi resultaram em comportamento similar aos verificados no catálogo da bomba dosadora tipo pistão, uma vez que a taxa de injeção encontrada pelo primeiro injetor está dentro da faixa de atuação do segundo equipamento.

Apesar da similaridade nas taxas de injeção, Gulik, Evans e Eisenhauer (2007) chamam a atenção para a existência de uma variação desta em função do nível do líquido no tanque de abastecimento, o que reflete diretamente sobre a capacidade de sucção do injetor Venturi. Ainda segundo Gulik, Evans e Eisenhauer (2007), a taxa de fluxo de um injetor Venturi pode ser bastante sensível às mudanças de temperatura das soluções agroquímicas, uma vez que a viscosidade de alguns produtos pode variar significativamente com a variação de temperatura, a exemplo do que ocorre com uréia quando em solução mais água (reação endotérmica). Essas alterações devem ser estudadas para verificar a possibilidade de alterações na taxa de injeção. Os autores ainda comentam que quando a solução possui as mesmas características que a água, não é observada nenhuma alteração na taxa de fluxo devido à temperatura da solução.

Observados estes aspectos, o injetor Venturi se mostra tão eficaz quanto a bomba dosadora de pistão. A ressalva deve ser feita quanto à eficiência do sistema, sendo que ela está diretamente condicionada ao dimensionamento adequado do sistema de irrigação, ao conhecimento das características dos produtos a serem injetados e também da determinação apropriada da taxa de injeção.

No tocante a taxa de injeção, ela apenas pode ser alterada mudando o injetor e também o conjunto motobomba, que é o elemento que cede a energia “extra” que o sistema requer. Mas com relação a esse aspecto, é importante saber que a possibilidade de aumento de potência do conjunto motobomba vai depender da reserva de potência disponível ao sistema de irrigação.

Nos sistemas de maior demanda, tanto de vazão e pressão, como é o caso do pivô central, é comum essa reserva de potência prevista na fase de projeto, tendo em vista a necessidade futura de uso de um sistema injetor.

5.2 Análise de Custos

Na análise econômica, tendo esta apenas um enfoque de custos, considerou-se o custo total dos sistemas de injeção, sendo estes formados pelos custos fixos e variáveis. No que diz respeito apenas aos custos fixos, avaliou-se a depreciação dos componentes dos sistemas e a remuneração do capital neles investidos. Já para os custos variáveis, estimou-se os dispêndios com lubrificantes, reposição de componentes, reparos dos equipamentos e energia elétrica.

A composição dos dois sistemas com seus respectivos preços estão discriminados na Tabela 1. O preço do sistema de injeção montado com o injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga, foi levantado em estabelecimentos agropecuários durante o mês de dezembro de

2011 na cidade de Bom Jesus da Lapa/BA. Já o preço do conjunto injetor do tipo pistão, foi cotado junto à empresa Alti – Indústria de Equipamentos LTDA.

Tabela 1. Orçamento detalhado do sistema de injeção montado com injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga e dosador tipo pistão

INJETOR TIPO VENTURI	
Produto	Valor total
Motobomba THEBE TH AL 16 3cv trifásico	1.200,00
Injetor Venturi de 1,5" MacLoren	113,00
Componentes elétricos	195,50
Acessórios	120,00
Conduitos	60,00
Conexões	209,45
TOTAL	1.897,95
INJETOR DOSADOR TIPO PISTÃO	
Modelo BP2-238	11.960,00

Para realização da análise comparativa, observa-se a Tabela 2, a qual apresenta os componentes do custo total dos sistemas de injeção analisados nesta pesquisa. Nota-se que os elementos que formam os custos fixos apresentaram os valores mais expressivos, sendo alcançadas participações de 60,0 e 85,9% para o sistema Venturi-Bomba centrífuga e dosador tipo pistão, respectivamente. Para estes componentes, especificamente, costuma-se esperar uma contribuição menor em relação ao custo total, uma vez que a longevidade dos equipamentos utilizados na irrigação costuma ser maior do que a vida útil adotada para os sistemas de injeção aqui estudados.

Tabela 2. Componentes dos custos fixos e variáveis para os sistemas de injeção

COMPONENTES (Custo anual)	INJETOR	
	Venturi-Bomba Centrífuga	Dosador Pistão
Depreciação (R\$)	286,85 (47,67)	1.807,56 (68,13)
Remuneração do capital (R\$)	74,73 (12,42)	470,93 (17,75)
Manutenção e reparos (R\$)	37,96 (6,30)	239,20 (9,02)
Energia elétrica (R\$)	202,24 (33,60)	135,14 (5,09)
Custo Anual Total (R\$)	601,78	2.652,83

*Os valores dentro dos parênteses representam a participação percentual dos custos (fixos e variáveis) em relação ao custo total anual

A vantagem econômica do sistema de injeção a partir do injetor tipo Venturi é evidente, uma vez que este representou apenas 15,9% do custo do injetor dosador do tipo pistão. Este percentual poderia ter sido um pouco maior caso tivesse sido considerado, dentre os injetores, o reservatório ou tanque de abastecimento. Apesar deste componente ser comum aos dois sistemas de injeção, para a empresa fabricante do injetor tipo pistão ele é tido como opcional, sendo por este motivo, desconsiderado nesta análise.

Para efeito de comparação, é interessante saber que no sistema montado com o “Venturi” foi utilizado como reservatório uma caixa d’água de polietileno com volume de 1000 litros, no valor de R\$ 262,00. Já para o dosador de pistão, a alimentação do sistema é comumente feita a partir de um tanque de fibra de vidro montado sobre uma carreta ou reboque, o qual proporciona além de mobilidade ao conjunto injetor, a comodidade da presença de um sistema agitador da solução a ser injetada. O preço dessa praticidade foi orçado em R\$ 1.540,00.

Com relação ao custo energético, a diferença entre os injetores foi pouco significativa, uma vez que as potências dos motores elétricos que acionam os dois sistemas diferem em apenas 0,736 kW, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Potência demandada pelos sistemas de injeção e seus respectivos custos energéticos por ano agrícola

Injetor	Potência (kW)	Nº de aplicações ¹	Tempo de uso por aplicação ² (horas)	Gasto com energia elétrica total
Venturi + bomba centrífuga	2,20	60	11	202,25
Pistão	1,47	60	11	135,14

¹ Estimativa do número de aplicações realizadas pelos injetores em um ano agrícola

² Considerou-se o tempo para revolução completa do equipamento pivô central a 100%

O número de aplicações realizadas com os dois sistemas foi estimado em 60 utilizações ao longo do ano agrícola. Esse valor baseou-se no número médio de fertirrigações realizadas nas culturas do milho e algodão, uma vez que estes são os cultivos, comumente, rotacionados na área sob o pivô onde o estudo foi realizado. Considerou-se ainda que um único injetor atenderia seis equipamentos de irrigação.

Para efeito de cálculo do gasto com energia elétrica, utilizou-se a modalidade de tarifação horo-sazonal verde – subgrupo A4 para o período seco do ano. O valor do kW para essas condições foi de R\$ 0,13929, valor este obtido junto a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, como pode ser observado na Tabela 4.

Nesta simulação, desconsiderou-se os gastos com a demanda e a modalidade de consumo reservado, que é uma tarifação diferenciada praticada entre às 21:30 e 6:00 horas, com desconto de 90% para a região Nordeste; isto porque, no caso da demanda, ela independe da presença ou não de um sistema de injeção. Já quanto o consumo reservado, o que ocorre é que na propriedade onde o estudo foi realizado optou-se por não utilizar a técnica da fertirrigação nas atividades noturnas, tendo em vista o considerável acréscimo da remuneração da mão de obra em virtude dos encargos trabalhistas com adicional noturno.

Tabela 4. Valores de tarifa e preço final praticado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA) para o seguimento horo-sazonal verde – subgrupo A4 (Rural/Irrigante)

	Horário	Período	Tarifa	Alíquotas		Preço Final Outubro/2011
				ICMS	PIS/COFINS	
Consumo Ativo	Na ponta	Seco	1,45199	Isento	6,60%	1,55459
		Úmido	1,43178	Isento	6,60%	1,53296
	Fora de Ponta	Seco	0,13010	Isento	6,60%	0,13929
		Úmido	0,11838	Isento	6,60%	0,12675

No tocante apenas a avaliação energética, o custo com o sistema Venturi-Bomba Centrífuga não seria fator de impedimento na adoção da tecnologia por parte do produtor irrigante. Cabe aqui ressaltar que, caso haja interesse em aumentar a vazão do sistema, um novo injetor deverá ser adquirido e junto com ele um conjunto motobomba de maior potência, fato esse que poderá inviabilizar energeticamente a opção pelo novo sistema. Isto porque, primeiro, o aumento da capacidade do injetor implica necessariamente na aquisição de um modelo maior e, por consequência, um motor elétrico que atenda a nova bomba que deverá proporcionar vazão

e pressão maiores do que as estudadas nesta pesquisa. A segunda implicação seria na disponibilidade de potência na base do equipamento do sistema de irrigação, uma vez que esta existe, mas dificilmente, é suficiente para atender motobombas maiores, já que a previsão no momento do dimensionamento do sistema de irrigação apenas prevê o uso dos injetores que, normalmente, são disseminados comercialmente (bombas de pistão/diafragma), e estas são atendidas por potências que variam entre 1 e 3 cv.

Apesar da tecnologia aqui avaliada ter se mostrado viável, tanto técnica mais principalmente economicamente, as desvantagens da adoção do sistema Venturi-Bomba Centrífuga devem ser evidenciadas, e estas vão de encontro à viabilidade operacional do equipamento.

As limitações vão desde a necessidade de conhecimento técnico por parte da pessoa responsável pelo manuseio do aparelho, como também da elevada dependência de equipamentos de medição de boa precisão, como manômetros, vacuômetros e também hidrômetros. Havendo negligência ou distração para características como vazão, pressão e tensão, é certo que as taxas de injeção presentes nos catálogos do injetor Venturi não ocorrerão.

Embora as informações acima possam promover um possível desinteresse da tecnologia por parte do produtor irrigante, deve-se levar em consideração que propriedades com bom nível de organização costumam contar com profissionais aptos a viabilizar o sistema Venturi-Bomba Centrífuga, tendo em vista sua atraente vantagem econômica sobre as bombas injetora de pistão.

6 CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com o injetor tipo Venturi resultaram em comportamento similar aos verificados na bomba dosadora tipo pistão;

A taxa de injeção observada pelo injetor Venturi foi de até $0,621 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com rendimento de 11,13%;

No que se refere à análise econômica, o sistema montado com o injetor Venturi se mostrou altamente viável quando comparado com a bomba pistão, tendo seu custo representado por apenas 15,9% do valor de aquisição da dosadora tipo pistão;

Apesar do sistema de injeção com o Venturi ter se mostrado viável, tanto técnica mais principalmente economicamente, as desvantagens do mesmo devem ser evidenciadas, e estas vão de encontro à viabilidade operacional do equipamento.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor.

8 REFERÊNCIAS

COELHO, S. T. **Matemática financeira e análise de investimentos**. São Paulo, Ed. Nacional; EDUSP, 1979. 279p.

FEITOSA FILHO, J.C.; BOTREL, T.A.; PINTO, J.M. Influência das formas de instalação no desempenho de injetores tipo Venturi utilizados na quimigação. Murcia, **Actas de Horticultura**, n. 19. v.1 p. 443-449. 1997.

FEITOSA FILHO, J. C.; BOTREL, T. A., PINTO, A. M., HEINEMANN, A. B. Influência da relação entre os diâmetros dos bocais no desempenho de injetores tipo Venturi. **Engenharia agrícola**. Jaboticabal, v.17, n.4, p.15-24, 1998.

FERREIRA, J.O.P.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A. Desempenho de um injetor de fertilizantes do tipo Venturi para fins de fertirrigação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n.1, p.105-13, jan./abr. 1996.

GULIK, T.W.; EVANS, R. G.; EISENHAEUER, D. E. **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**: Chemigation, Chapter 19 2. Ed. St Joseph: ASABE, 2007.

HIRSCHMANN, R. J. **Bombas: características y aplicación**. Santiago: Ed. Universitária, 1958. 179.

KRANZ, W. L.; EISENHAEUER, D. E.; PARKHURST, A. M. Calibration accuracy of chemical injection devices. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, Michigan, v. 12(2), p. 189-196. 1996.

LOPEZ, T. M. Cabezal de Riego. In: LÓPEZ, C. C. (cood.) **Fertirrigation: cultivos hortícolas y ornamentales**. Madri: Mundi Prensa, 1998. cap 6, p. 247-263.

OLIVEIRA, E.F.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A; PAZ, VPS. Análise hidráulica de hidro-ejetores. **Scientia Agricola**. vol. 53 n. 2-3 Piracicaba Mai./Dez. 1996.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Mundi Prensa, 1986, 460p.

SANTOS, L. C.; ZOCOLER, J. L.; JUSTI, A. L.; SILVA, A. O.; CORREIA, J. S. Estudo comparativo da taxa de injeção em injetor do tipo Venturi com e sem válvula de retenção. **Revista Irriga**. v. 1, n. 1 (ed. especial), p. 145-154, 2012.

SHANI, M. **La fertilizacion combinada com el riego**. Tel-Aviv: Ministério de Agricultura de Israel. Servicio de Extensión, 1983. 36p.

YAGUE, J. L. F. **Técnicas de riego**. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 471 p.