

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

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

LUCAS DA COSTA SANTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP

Julho – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

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

LUCAS DA COSTA SANTOS

Orientador: Prof. Dr. João Luis Zocoler

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do Título de Mestre
em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP

Julho – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S237a Santos, Lucas da Costa, 1984-
Avaliação técnica e econômica do uso de injetor tipo
Venturi associado à bomba centrífuga versus bomba do tipo
pistão na quimigação via pivô central / Lucas da Costa
Santos. - Botucatu : [s.n.], 2012
x, 58 f. : il., gráfs., tabs., fots. color

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu,
2012

Orientador: João Luis Zocoler
Inclui bibliografia

1. Adubos e fertilizantes - Aplicação. 2. Bombas
centrífugas. 3. Injetores. 4. Investimentos - Análise.
5. Quimigação. I. Zocoler, João Luis. II. Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE INJETOR TIPO
VENTURI ASSOCIADO À BOMBA CENTRÍFUGA *versus* BOMBA DO
TIPO PISTÃO NA QUIMIGAÇÃO VIA PIVÔ CENTRAL”**

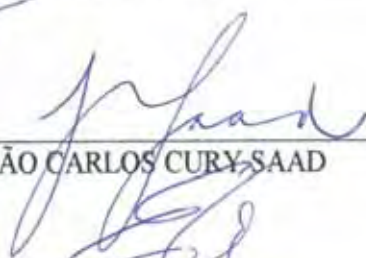
ALUNO: LUCAS DA COSTA SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO LUÍS ZOCOLER

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOÃO LUÍS ZOCOLER



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. EDSON ELJI MATSURA

Data da Realização: 13 de julho de 2012.

*“Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;
se não houver flores, valeu a sombra das folhas;
se não houver folhas, valeu a intenção da semente.”*

Henfil

Aos meus pais José Pedro e Severina, pela dedicação, ensinamentos, apoio, carinho e incentivo ao longo de toda minha vida, ingredientes que me mantiveram sempre forte, por mais difícil que tenha sido o trajeto.

OFEREÇO

Às minhas irmãs Luciana e Luciene e também ao meu irmão Luiz Pedro pelo apoio e amizade sempre presentes.

AGRADEÇO

À minha noiva e companheira Adma, que em todos os momentos esteve ao meu lado, dando-me apoio, atenção e amor, e é quem, a cada dia, tem me tornado uma pessoa melhor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O agradecimento primordial não poderia deixar de ser Àquele que me permitiu sonhar de uma forma que alargasse meus horizontes. Sonhei e conquistei, mas antes o sonho foi plantado em mim, obrigado a Deus que o semeou.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. João Luis Zocoler, pela orientação, pela amizade e, sobretudo, pela confiança depositada em mim no decorrer do curso.

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, pela presteza sempre dispensada nos momentos em que foram solicitados esclarecimentos ou sugestões.

Aos amigos, André, José, Rogério, Joselina, Géssica e Josué, pela colaboração nos trabalhos de campo e, principalmente, pelos bons momentos passados juntos.

Aos amigos da república, Manoel (Mineiro), Guilherme (Sasso), William (Japa), Ewerton, Efraim e ao Tiago, pelos momentos de descontração.

Aos colegas e amigos do Departamento de Engenharia Rural, Alexsandro, Raimundo, Laís, Lucas Alagoano, Diego, Rafael, Ana, Rigléia, Givaldo, Alessandra e Gustavo.

Ao Sr. Júlio Busato, pela disponibilização de uma área irrigada por equipamento do tipo pivô central em sua propriedade e por toda infraestrutura de que esta dispunha.

Ao Edivilsom, Vanderlei, Valdir, Hamilton, “Neco”, César, Araújo e a todos os funcionários da Fazenda Busato II que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Sistemas de irrigação do tipo pivô central	8
2.2 Aspectos gerais da quimigação.....	10
2.3 Dispositivos para quimigação em pivô central	13
2.3.1 Bombas injetoras do tipo pistão	15
2.3.2 Injetores Venturi.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Localização geográfica	22
3.2 Caracterização do sistema de irrigação.....	24
3.2.1 Características do equipamento avaliado	24
3.3 Caracterização do sistema de injeção	25
3.3.1 Características do injetor tipo Venturi	25
3.3.2 Características do conjunto motobomba	28
3.3.3 Características da bomba injetora dosadora tipo pistão	29
3.4 Coleta dos dados para avaliação do sistema de injeção	29

3.4.1 Determinação do volume do recipiente utilizado como reservatório de água	29
3.4.2 Determinação da vazão derivada do sistema de irrigação.....	34
3.4.3 Esquema de instalação do sistema de injeção	35
3.4.4 Determinação das pressões de entrada e saída no injetor Venturi	38
3.5 Cálculo dos custos com os sistemas de injeção	39
3.5.1 Custos Fixos	39
3.5.2 Custos Variáveis.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Desempenho do injetor tipo Venturi.....	42
4.2 Análise da viabilidade técnica	45
4.3 Análise da viabilidade econômica	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6. CONCLUSÕES	54
7. REFERÊNCIAS	55

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1.Regulagem da vazão da bomba injetora conforme catálogo do fabricante (exemplo hipotético).....	17
TABELA 2. Dados técnicos dos injetores do tipo Venturi fabricados pela empresa Mac Loren	27
TABELA 3. Regulagem da vazão da bomba injetora conforme catálogo do fabricante	29
TABELA 4. Divisões do reservatório e seus respectivos volumes em litros	32
TABELA 5. Orçamento do sistema de injeção montado com o injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga e preço da bomba de pistão	46
TABELA 6. Componentes dos custos fixos e variáveis para os sistemas de injeção	48
TABELA 7. Potência demandada pelos sistemas de injeção e seus respectivos custos energéticos por ano agrícola	50
TABELA 8. Valores de tarifa e preço final praticado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia para o seguimento horo-sazonal verde – subgrupo A4 (Rural/Irrigante)	51

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. Protótipo do sistema de irrigação tipo pivô central com detalhe da torre de sustentação da linha	8
FIGURA 2. Esquema ilustrativo de alguns componentes de um sistema de irrigação do tipo pivô central: anel coletor, estrutura de treliça dos vãos, emissor de água, “canhão” final, torre do ponto pivô, painel de controle, torre móvel, junta articulada, caixa de controle de alinhamento e conjunto motoredutor	9
FIGURA 3. Sistema de emissão da calda (independente da tubulação do pivô central) em funcionamento; ilustração do protótipo durante o período de parada da torre móvel e durante o caminhamento da torre	15
FIGURA 4. Tanque e bomba injetora tipo pistão instalados no centro do pivô central e esquema de funcionamento da bomba de pistão	16
FIGURA 5. Injetor Venturi	17
FIGURA 6. Esquema dos componentes de rendimento de um injetor Venturi	20
FIGURA 7. Croqui da área da Fazenda Busato II e a localização dos equipamentos do tipo pivô central	23
FIGURA 8. Injetor tipo Venturi utilizado nos ensaios	25
FIGURA 9. Detalhes do interior do injetor	26
FIGURA 10. Detalhes das peças que compõe a válvula de retenção do injetor Venturi e o esquema de montagem	26
FIGURA 11. Sistema de injeção a partir de injetor Venturi montado em pivô central	28
FIGURA 12. Conjunto motobomba instalado na base do pivô central	28

FIGURA 13. Caixa de polietileno utilizada como tanque de abastecimento do sistema de injeção montado com injetor tipo Venturi	30
FIGURA 14. Fita métrica fixada no interior da caixa e detalhe da altura da água	31
FIGURA 15. Regressões dos diferentes segmentos do recipiente utilizado como reservatório de água	33
FIGURA 16. Detalhe do bocal utilizado como ponto de tomada de água no tubo de subida do pivô central	34
FIGURA 17. Esquema ilustrativo da montagem do ensaio com o sistema injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga	36
FIGURA 18. Esquema em campo do sistema de injeção montado a partir de injetor Venturi associado à bomba centrífuga	37
FIGURA 19. Vista geral do sistema de injeção montado a partir do injetor Venturi associado à bomba centrífuga e detalhe da estrutura utilizada para elevação do tanque de abastecimento	38
FIGURA 20. Pontos de tomada de pressão no sistema de injeção e no tubo de subida do pivô central	39
FIGURA 21. Tanque de fibra de vidro com volume para 2000 litros e tanques de abastecimento montados sobre carreta	49

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 entre o sistema montado com o injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga comum e o sistema de injeção por bomba do tipo pistão na quimigação em pivô central. O equipamento pivô central utilizado possui vazão de $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e área irrigada de 66 ha, estando localizado na região oeste do Estado da Bahia. O sistema de injeção era constituído de injetor Venturi de 1,5 polegadas associado a uma motobomba centrífuga de potência 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 do fabricante da bomba tipo pistão. Na análise econômica, buscou-se definir os custos fixos e variáveis de ambos os sistemas. Para o primeiro item dos custos foi avaliada a depreciação dos componentes dos sistemas e a remuneração de capital neles investidos. Já os custos variáveis (operação e manutenção, principalmente) abrangeram os dispêndios com lubrificantes, reparos dos equipamentos e energia elétrica. Conforme condições encontradas em campo, os ensaios com o injetor tipo Venturi resultaram em comportamento similar aos encontrados na bomba

dosadora tipo pistão, uma vez que a taxa de injeção encontrada pelo primeiro injetor está dentro da faixa de atuação do segundo equipamento. O valor da taxa observada foi de $0,621\text{m}^3\text{h}^{-1}$, com rendimento de 11,13%. Quanto à parte econômica, o sistema montado com o injetor Venturi possui ampla vantagem, uma vez que este apresentou apenas 15,9% do custo da bomba dosadora acionada por pistão. Apesar do sistema de injeção com Venturi ter se mostrado viável, tanto técnica mais principalmente economicamente, as desvantagens da adoção desse sistema devem ser evidenciadas, e estas vão de encontro à viabilidade operacional do equipamento, ou seja, do grau de adequação local para as atividades de manejo do sistema.

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

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. Botucatu, 2012. 58p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências

Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Author: LUCAS DA COSTA SANTOS

Adviser: JOÃO LUIS ZOCOLER

SUMMARY

The use of Venturi injector is common practice in chemigation in drip irrigation systems, which generally operate at low pressures, their use in larger systems, such as the center pivot, can be seen an alternative to the piston injection pumps which are the most widespread in the market. Thus, this study aimed the technical and economical evaluation between the assembled system with Venturi type injector associated with common centrifugal pump and injection system for the piston pump in the center pivot chemigation. The equipment center pivot used has a flow rate of $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ and the irrigated area of 66 hectares and is located in the western state of Bahia, Brazil. The injection system consisted of 1.5 inches Venturi injector associated with a centrifugal pump of 2.2 kW. For technical analysis, were used as performance parameters of the Venturi injector, injection rates and their yield, and these data were compared with those obtained from the manufacturer of the piston pump. In economic analysis, we sought to define the fixed and variable cost of both systems. For the first item of cost was the depreciation of the assessed components of the system and return on capital invested in then. Since variable cost (operation and maintenance, mostly) covered expenditures for lubricants, repairs of equipment and electricity. As conditions found in field trials with the Venturi type injector resulted in behavior similar to those found in piston

metering pump, since the injection rate found by the first injector is in the range of action of the second device. The value of the observed rate was up to $0.621 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ with a satisfactory yield of 11.13%. As part of the economic system mounted from a Venture type injector has a large advantage, since it showed only 15.9% of the cost of metering pump driven piston. Despite the injection system with Venturi has proven feasible, both technically more particularly economically, the disadvantages of adopting such a system should be highlighted, and these go against the operational viability of the equipment, i.e., the of degree adequation for management activities of the system.

Keywords: chemigation, injection equipment, analysis of investment

1. INTRODUÇÃO

A adoção da técnica de irrigação pode se tornar imprescindível para o desenvolvimento agrícola numa região onde o regime pluviométrico apresenta irregularidades, 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.

Um manejo racional da irrigação consiste na correta determinação do momento, quantidade e forma de aplicação da água, contemplando, também, outros aspectos do sistema produtivo, como a fertirrigação e a quimigação.

Neste sentido, a quimigação, ou seja, técnica de aplicação de fertilizantes e demais produtos químicos através do sistema de irrigação, permite economia de mão de obra, energia, redução do trânsito na lavoura, melhor aproveitamento dos nutrientes com o fracionamento das doses (fertirrigação) e a otimização dos equipamentos de irrigação.

Por sua vez, a irrigação utilizando equipamentos do tipo pivô central tem crescido muito nos últimos anos no Brasil, sendo que o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006) indicava que cerca de 18% dos 4,45 milhões de hectares irrigados no Brasil eram por esses equipamentos.

A quimigação em pivô central é uma técnica de uso relativamente comum entre os irrigantes, uma vez que o equipamento apresenta elevada uniformidade de distribuição de água e, conseqüentemente, poderá fazer o mesmo com o agroquímico via água de irrigação. Para tanto, 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 permitam um bom controle da vazão da calda, apresentam como principais inconvenientes o elevado custo do equipamento e desgaste excessivo das peças ativas, devido ao contato da calda com as mesmas. 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).

Este trabalho teve como objetivo fazer uma avaliação técnica e econômica 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.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Num contexto amplo, o manejo da irrigação consiste na determinação do momento, da quantidade e de como aplicar a água, levando em consideração os demais aspectos do sistema produtivo como adubação (fertirrigação), o controle fitossanitário (insetigação, fungigação, herbigação, etc.), as informações climatológicas e econômicas, o manejo e as estratégias de condução da cultura (PIRES et al, 2001). Neste sentido, os equipamentos de irrigação do tipo pivô central estão entre os que permitem melhor controle do volume de água aplicado, facilitando a adoção da técnica da quimigação, cujos temas são abordados mais especificamente nos itens a seguir.

2.1 Sistemas de irrigação do tipo pivô central

Segundo Marchetti (1983), o pivô central consiste, basicamente, em diversos bocais de distribuição de água (aspersores ou sprays) montados sobre uma linha lateral, suportada longitudinalmente por uma série de torres, que se movimentam sobre rodas ao redor de um ponto central denominado *ponto do pivô*. Para suportar o vão livre da linha lateral entre torres adjacentes, existe uma estrutura de treliças e tirantes que mantém a tubulação a uma determinada altura do solo (4 a 5 m) compatível com as culturas a serem irrigadas. Este equipamento foi desenvolvido por Frank Ziback, quando era fazendeiro no Colorado, nos Estados Unidos (Figura 1).



Figura 1. Protótipo do sistema de irrigação tipo pivô central (1a) com detalhe da torre de sustentação da linha (1b).

Após muitas mudanças e ajustes, o sistema foi patenteado em 1952, sendo que, no início, o deslocamento das torres era feito por um dispositivo hidráulico-mecânico denominado “Trojam bar”. Atualmente, e devido à eficiência, a movimentação das torres é feita por dispositivo elétrico, ou seja, cada torre tem, na base, um motor elétrico de baixa potência (motoredutor de 0,37 a 1,12 kW) e, na parte superior, a caixa elétrica de contatos. No ponto do pivô existe o painel principal em que se controla todo o funcionamento da máquina. A Figura 2 mostra os principais componentes do equipamento.

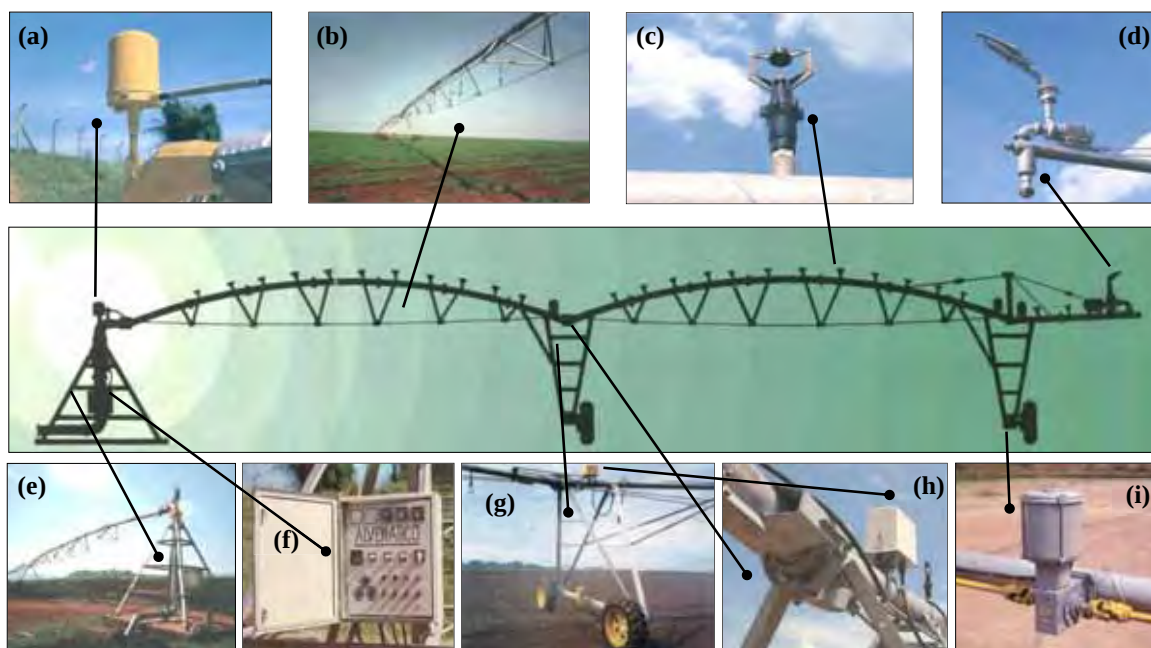


Figura 2. Esquema ilustrativo de alguns componentes de um sistema de irrigação do tipo pivô central: (a) anel coletor; (b) estrutura de treliça dos vãos; (c) emissor de água; (d) “canhão” final; (e) torre do ponto pivô; (f) painel de controle; (g) torre móvel; (h) junta articulada e caixa de controle de alinhamento e (i) conjunto motoredutor.

A área irrigada por estes equipamentos pode chegar aos 250 ha ou mais. A limitação no tamanho é devido à elevada intensidade de aplicação que ocorre no final da linha, que pode ser maior que a capacidade de infiltração do solo, ocasionando o escoamento superficial. O tamanho médio dos equipamentos comercializados no Brasil é 70 ha, enquanto nos EUA é de 50 ha (COELHO, 1996).

As áreas irrigadas entre as torres vão crescendo à medida em que se distancia do ponto do pivô numa relação proporcional ao quadrado do comprimento, mas o custo de cada vão é praticamente o mesmo, independente da posição. Com isso, quanto maior for o equipamento, menor o custo por unidade de área irrigada.

A opção pelo sistema pivô central na irrigação é demonstrada ao se observar o número de equipamentos instalados. Nos EUA são cerca de 160.000, totalizando aproximadamente 8 milhões de ha irrigados (HERNANDEZ, 1995). No Brasil, segundo Favetta (1998), a fabricação dos pivôs centrais foi iniciada em 1978, sendo estimado pelo

Departamento Nacional de Equipamentos de Irrigação – DNEI – que, entre 1982 e 1997, foram implantados 5940 desses equipamentos, correspondendo a uma área irrigada de cerca de 450.000 ha. Dados mais recentes indicam que no Brasil, em 2006, a área irrigada por este sistema era de 801.000 ha, de um total de 4.450.000 ha, sendo que os demais, ou seja, superfície (principalmente inundação em cultura de arroz no Rio Grande do Sul), demais métodos de aspersão e localizada, perfaziam respectivamente: 1.321.650 ha, 1.557.500 ha e 324.850 ha (IBGE, 2006).

As principais vantagens do sistema, segundo Paz et al (2001), são: a reduzida necessidade de mão de obra; constância de alinhamento e da velocidade de deslocamento em todas as irrigações; completada uma irrigação o sistema encontra-se na posição inicial para a próxima irrigação; facilidade de proporcionar bom manejo da irrigação devido à facilidade de aplicar água com precisão e oportunidade; pode-se obter boa uniformidade de distribuição de água e possibilidade de aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos. As limitações da irrigação por este sistema, quando comparada com sistemas tradicionais de aspersão, são que: devido à particularidade de irrigar áreas circulares, ocasiona perdas de áreas cultiváveis de 20% (numa área de 800 x 800 m, isto é, 64 ha, um pivô de 400 m de raio irriga apenas 50 ha); por questões técnicas, a intensidade de aplicação de água na extremidade da linha de irrigação varia de 30 a 60 mm/h, tornando-se necessárias práticas para reduzir ou mesmo evitar o escoamento superficial (plantio em nível, terraços, plantio direto, etc.); exige uma área totalmente livre de edificações ou qualquer elemento de grande porte que limite a movimentação da linha de irrigação.

2.2 Aspectos gerais da quimigação

Com a difusão de novas tecnologias em irrigação, introdução dos fertilizantes líquidos no mercado, custo crescente da mão de obra, necessidade de aumentar a eficiência de utilização dos insumos e implementar a produtividade do sistema de produção agrícola, especialmente em áreas como as do cerrado e do trópico semiárido no Brasil, abriram-se grandes perspectivas de utilização da fertirrigação (FRIZZONE et al., 1985).

Conforme os mesmos autores, a fertirrigação é uma técnica relativamente antiga que agricultores de alguns países têm adotado nos diferentes métodos de irrigação. Pode ser mineral ou orgânica, conforme se trate de distribuição de adubos químicos ou resíduos orgânicos (vinhaça, chorume, águas residuais provenientes dos esgotos domésticos e outros).

De acordo com Boaz e Halevy (1973), a adubação combinada com a água de irrigação responde às necessidades agrícolas, sendo perfeitamente adaptável aos diferentes planos de irrigação em todos os sistemas, sejam eles fixos, semifixos ou móveis. Todavia, a técnica tem sido restrita à aplicação de alguns nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, enxofre e boro, com formulações líquida ou solúvel em água, constata Hickley et al (1990).

Pesquisas recentes e avanços obtidos nos sistemas de irrigação e equipamentos de injeção permitiram uma expansão do número de produtos aplicáveis pela água de irrigação, tais como: herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas, reguladores de crescimento e agentes de controle biológico, consistindo na quimigação (THREADGILL et al, 1991).

Segundo Alves (2000), combinando-se a elevada uniformidade de distribuição do sistema pivô central com a sua ampla capacidade de aplicação, pode-se aplicar uma grande variedade de produtos requeridos pela cultura, em qualquer período de seu ciclo vegetativo, com elevada eficiência, promovendo o que se chama de quimigação total.

Potencialmente, todos os produtos químicos podem ser aplicados por meio dos sistemas de irrigação por aspersão; porém, o sistema tipo pivô central e linear móvel são os mais indicados para esta técnica devido à alta uniformidade de distribuição de água (RAMOS; MANTOVANI, 1994).

A distribuição adequada dos produtos químicos depende de vários fatores, tais como: lâmina e uniformidade de aplicação da água, produto químico utilizado (solubilidade), clima (vento e umidade relativa) e planta (densidade de semeadura, arquitetura da planta e estágio fenológico), descreve Alves (2000).

Segundo diversos autores (SHANI, 1983; FRIZZONE et al, 1985; ROBERTS; POTTS, 1991; VIEIRA, 1994) as vantagens da quimigação são:

a) diversificar o uso do equipamento de irrigação, uma vez que o sistema passará a aplicar não somente água, mais também soluções nutritivas ou defensivas, reduzindo os custos de aplicação dos produtos químicos;

b) permitir a aplicação dos produtos químicos necessários em tempo oportuno, independentemente da cobertura do solo e do estágio de desenvolvimento da cultura;

c) controlar melhor a aplicação de nutrientes para as plantas durante o ciclo de cultivo, reduzindo a possibilidade de lixiviação e contaminação dos lençóis freáticos;

d) reduzir a necessidade de compra e manutenção de equipamentos utilizados na aplicação convencional;

e) reduzir a compactação do solo e os danos mecânicos causados à cultura;

f) incorporar (via infiltração) e ativar o produto químico a uma profundidade determinada;

g) reduzir a deriva ao vento.

Contudo, também existem as limitações e desvantagens da técnica, ou seja:

a) contaminação da água na sucção do sistema devido a um fluxo inverso na rede, que pode ser contornada pelo uso de válvulas apropriadas;

b) corrosão de partes metálicas dos equipamentos, que pode ser minimizada pela lavagem dos mesmos após a aplicação ou utilização de equipamentos resistentes à corrosão;

c) precipitação de produtos químicos na tubulação e entupimento dos emissores;

d) indisponibilidade de algumas formulações de fertilizantes, que são poucos solúveis e de defensivos registrados para essa modalidade de aplicação;

e) distribuição desigual de produtos químicos quando o dimensionamento ou a operação do sistema forem inadequados;

f) calibração da taxa de injeção apropriada para cada sistema de irrigação, podendo requerer mudanças durante o período de aplicação.

Conforme Frizzzone et al (1994), diversos equipamentos podem ser utilizados para injeção de fertilizantes e outros produtos químicos na água de irrigação, os quais diferenciam quanto ao princípio de funcionamento, fonte de energia, eficiência e custo. Esses equipamentos podem trabalhar com pressão efetiva positiva (bomba injetora tipo pistão, tipo diafragma e bomba centrífuga), injetando os produtos químicos diretamente na rede de irrigação, com pressão superior à pressão da água na tubulação; outros utilizam a diferença de pressão no seu funcionamento (tanque de derivação de fluxo); e há aqueles que trabalham com pressão efetiva negativa (injetor Venturi). Segundo Pinto (2001), as bombas injetoras centrífugas são as mais utilizadas em todo o mundo por proporcionar vazão de injeção constante; porém, por terem que ser confeccionadas com materiais resistentes à corrosão e terem que funcionar com pressão superior àquela da bomba do sistema de irrigação, podem se tornar inviáveis economicamente.

2.3 Dispositivos para quimigação em pivô central

Segundo Dourado Neto et al (2001), no caso do sistema de irrigação do tipo pivô central, a injeção de produtos químicos (fertilizantes principalmente) deve ser feita com bombas injetoras no centro do equipamento – ponto pivô. O sistema de injeção utilizando o princípio do Venturi (pressão diferencial) é aplicável em sistemas de baixa vazão. Os mesmos autores ainda relatam que muitos irrigantes injetam os fertilizantes, no caso da fertirrigação, na tubulação de sucção da motobomba da irrigação; porém, esta técnica não é aconselhável devido ao grande risco de poluição da fonte de água, a qual o Estado concedeu um termo de outorga ao irrigante, e de corrosão da bomba e tubulações do sistema. Segundo os mesmos autores, para proceder a fertirrigação em tais sistemas, alguns passos devem ser

contemplados, ou seja: (i) definir a quantidade do nutriente a ser aplicado; (ii) decidir o tipo de fertilizante a ser utilizado; (iii) calcular o volume a ser aplicado por hectare; (iv) determinar a área irrigada; (v) calcular o volume por volta do sistema pivô central; (vi) determinar o tempo de uma volta do sistema; (vii) calcular a vazão de injeção; (viii) proceder a regulagem da bomba injetora; (ix) determinar a concentração do fertilizante na água de irrigação e (x) determinar o tempo de lavagem.

As técnicas de quimigação e irrigação são antagônicas, relatam Dourado Neto e Francelli (1997). No caso da irrigação o dimensionamento é feito em função da demanda evapotranspiratória máxima, em que os valores modais oscilam entre 4 e 9 mm/dia. Para a quimigação, o dimensionamento do sistema de irrigação teria que proporcionar a lâmina correspondente à calda máxima, equivalente à aplicada via trator, de 400 L/ha. Nesse caso, o dimensionamento da lâmina de projeto, correspondente à regulagem do temporizador a 100%, seria da ordem de 0,04 mm, o que é inviável na prática. Sendo assim, Dourado Neto e Francelli (1999) apresentaram um sistema denominado *Notliada* para aplicação de produtos químicos em sistemas de irrigação do tipo pivô central, que tem a finalidade de adequar o volume de calda para aplicar a quantidade correta de princípio ativo no alvo folha.

No caso da aplicação através de trator, os bicos são dimensionados para uma velocidade de caminamento da ordem de 4 a 10 km/h, enquanto que a velocidade da última torre no pivô central é da ordem de 0,17 a 0,30 km/h. O sistema propõe um procedimento de automação em que a aplicação da calda é interrompida através de válvulas solenóides quando ocorre a parada da torre do pivô central, tendo-se a aplicação somente quando o motoredutor da respectiva torre estiver em pleno funcionamento.

Pereira (2001) desenvolveu um protótipo para aplicação de produtos químicos operando acoplado a um sistema de irrigação pivô central constituído de uma só torre (área irrigada de 3,47 ha). Para isso, foram adaptados diversos componentes, tais como: unidade de bombeamento, sistema de filtragem de água e injeção de produtos químicos (através de bomba dosadora), sistema de adução de calda acoplado à tubulação aérea do pivô central, sistema de controle automatizado da emissão de calda e um conjunto de suporte da linha de microaspersores, que foram os emissores responsáveis pela aplicação da calda, independente dos emissores responsáveis pela irrigação do pivô central (Figura 3a). Da mesma

maneira que o *Notliada*, a aplicação da calda é interrompida através de válvulas solenóides quando ocorre a parada da torre do pivô central (Figura 3b e 3c). Desenvolveu, também, uma metodologia para dimensionamento hidráulico do sistema. Através dos testes de campo, verificou que o protótipo apresentou boa uniformidade de aplicação de água e do fertilizante (potássio), e que os procedimentos de cálculo adotados apresentaram exatidão, tendo as vazões e pressões medidas, valores próximos aos calculados.

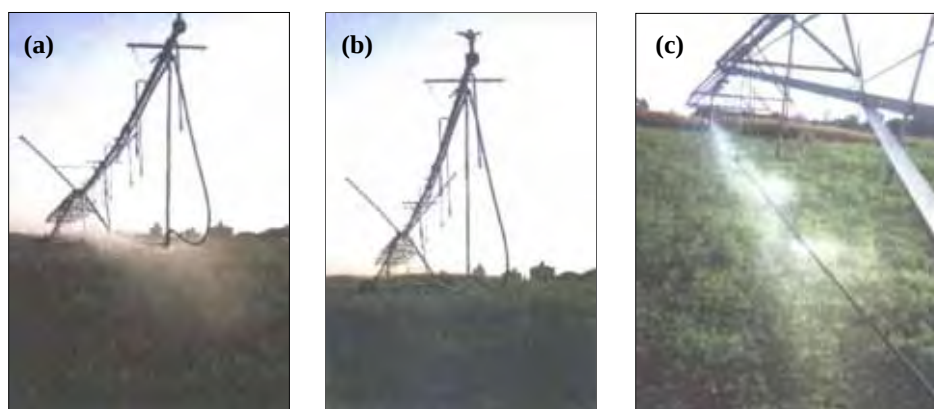


Figura 3. Sistema de emissão da calda (independente da tubulação do pivô central) em funcionamento (3a) e ilustração do protótipo durante o período de parada da torre móvel (3b) e durante o caminhamento da torre (3c).

2.3.1 Bombas injetoras do tipo pistão

Segundo Costa et al (1994), nos equipamentos tipo pivô central a forma de aplicação mais frequente é a que utiliza bombas injetoras tipo pistão, que se caracterizam por baixas vazões e altas pressões, ideais para introdução dos produtos na rede (Figura 4). Podem ter um, dois, ou mais pistões acoplados em blocos metálicos que se movem impulsionados por meio de sistemas tipo biela ou acoplados em roldanas.

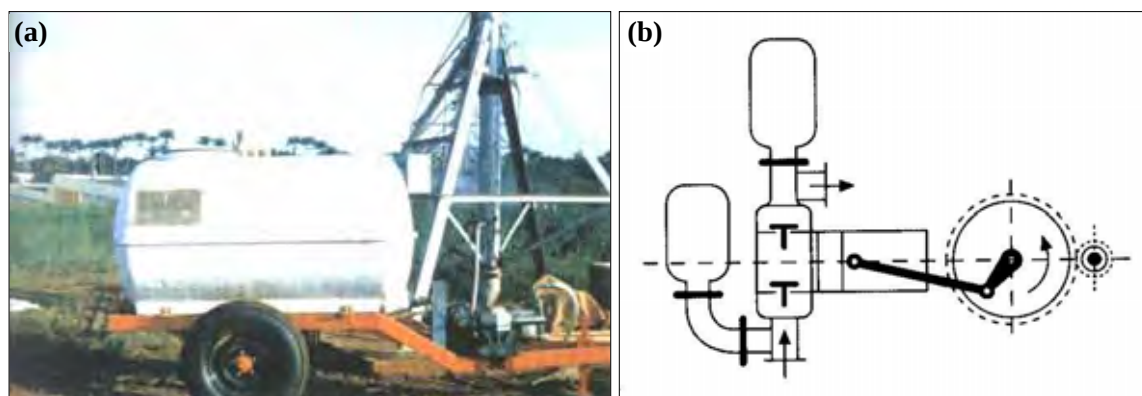


Figura 4. Tanque e bomba injetora tipo pistão instalados no centro do pivô central (4a) e esquema de funcionamento da bomba de pistão (4b).

O funcionamento dessas bombas ocorre do seguinte modo: no início de cada ciclo, tem-se a abertura de uma válvula de aspiração que deixa passar para o interior da câmara um volume de solução proveniente de um reservatório. Quando o pistão executa o movimento em sentido contrário, a válvula de aspiração se fecha e a válvula propulsora se abre. O aumento da pressão no interior do cilindro provoca a abertura da válvula de descarga, que deixa passar o volume da solução anteriormente aspirada e, então, esta solução passa a ser injetada na tubulação de irrigação (PINTO, 2001).

A regulação da vazão da bomba injetora é feita em função da pressão no ponto de injeção e da distância do curso do pistão (quanto maior for o curso do pistão, maior será a vazão de injeção), que são informações contidas no catálogo do fabricante. Dourado Neto et al (2001) mostram um exemplo na Tabela 1. Os autores salientam que o catálogo fornecido pelo fabricante deve ser aferido nas condições reais de trabalho. A limpeza do filtro de sucção deve ser feita periodicamente para não afetar a vazão de injeção.

Tabela 1. Regulagem da vazão da bomba injetora conforme catálogo do fabricante (exemplo hipotético).

Pressão (kgf cm ⁻²)	Vazão (L/h)	Escala de ajuste da vazão (mm)					
		15	20	25	30	35	40
5		295	420	545	670	795	920
6		270	395	520	645	770	895
10		255	380	505	630	755	880
15		215	340	465	590	715	840

2.3.2 Injetores Venturi

O injetor tipo Venturi é um dispositivo de polipropileno, PVC ou metálico que possui uma seção convergente gradual seguida de um estrangulamento e de uma seção divergente gradual para igual diâmetro da tubulação a ele conectado (Figura 5). Segundo Botrel (1996), inicialmente, o venturímetro somente foi utilizado para medição de vazão. Historicamente, Giovanni B. Venturi desenvolveu em 1797 o primeiro trabalho sobre tubos com seção estrangulada para medição de vazão, em pesquisas sobre o princípio de comunicação lateral do movimento nos fluidos. Somente 90 anos depois, é que Clemens Herschel desenvolveu o aparelho Venturi (DELMÉE, 1983).

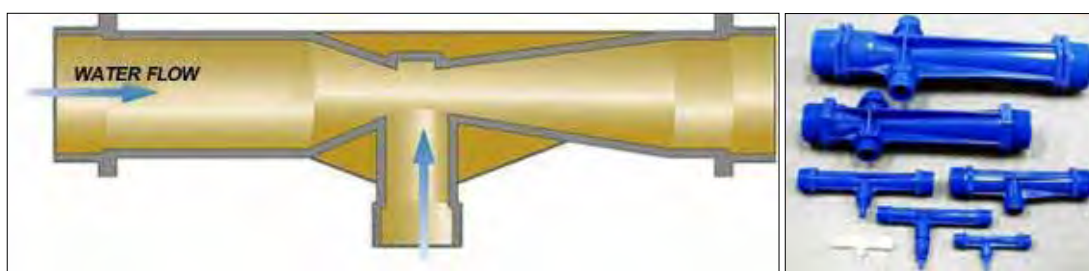


Figura 5. Injetor Venturi.

O princípio de funcionamento do injetor consiste na transformação da energia de pressão do líquido da tubulação em energia cinética quando ele passa pela seção estrangulada do aparelho, transformando-a novamente em energia de pressão quando volta à

tubulação (FRIZZONE et al, 1994). Com isso, na seção estrangulada onde a pressão (e aumento da velocidade de escoamento) atinge valor baixo, até mesmo inferior à pressão atmosférica, pode-se fazer a sucção de substâncias, de onde vem sua aplicação na quimigação.

Macintyre (1987) citou várias aplicações da associação entre injetor e bomba centrífuga, tais como obtenção de vácuo em recipientes de instalações industriais de secagem e em certos condensadores de vapor, injeção de ar para o interior de reservatórios hidropneumáticos, esvaziamento de poços e esgotos, e retirada de água de poços com profundidades superiores às aquelas que não permitiriam uma bomba operar numa instalação convencional (bomba acima do nível da água).

Conforme Pinto (2001), as principais vantagens desse tipo de injetor correspondem ao seu baixo custo, simplicidade de operação e eficiência satisfatória, quando se trabalha com pressão e vazão bem definidas. Além destas, apresenta fácil manutenção, possibilidade de uso com pequena taxa de injeção, sendo que esta pode ser ajustada apenas pelos registros e possibilidade de uso com diferentes tipos de produtos na quimigação. Por sua vez, apresenta algumas limitações e desvantagens, como a elevada perda de carga (20 a 30% da pressão de serviço), reduzido limite operacional, o que inviabiliza sua utilização em condições hidráulicas diferentes daquelas em que foi projetado, e dificuldade para o produtor em relação aos cálculos quantitativos dos produtos químicos a serem injetados.

Em relação às dimensões do aparelho Venturi, Urquhart (1950), citado por Mendonça (1999), afirmou que o ângulo do bocal convergente deve ser de 21° , o diâmetro da seção estrangulada deve ser entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ do diâmetro da tubulação de entrada e o ângulo do bocal divergente deve estar entre 5° e 7° para minimizar a perda de carga.

Segundo Abréu et al (1987), citados por Ferreira et al (1996), a vazão da solução fertilizante injetada na rede de irrigação por um dispositivo tipo Venturi tem uma relação direta com a pressão da água na entrada do injetor (pressão de alimentação). A vazão de sucção varia com os modelos, sendo as mais usadas os valores compreendidos entre 50 e 2.000 L h⁻¹. Para tanto, a vazão motriz mínima, ou seja, a vazão que deve passar através desse equipamento, depende de sua capacidade, variando de 1 m³ h⁻¹, para os modelos de 1", a mais de 20 m³ h⁻¹ para alguns de 2", de alta capacidade de sucção. Os autores salientam que nos catálogos comerciais, a capacidade de sucção do Venturi refere-se à água pura. Essa capacidade é reduzida na medida em que a densidade da solução fertilizante aumenta.

No tocante ao rendimento (η) deste tipo de injetor, Muller (1964) o define como sendo o parâmetro que estabelece a relação entre o trabalho realizado pelo instrumento em relação a quantidade de energia aplicada ou colocada a disposição para realizar este trabalho. Especificamente sobre o injetor tipo Venturi, pode ser entendida como a relação entre a energia útil do líquido no ponto de entrada do aparelho em relação a quantidade de energia transferida ao fluido motriz no processo de sucção.

Hirschmann (1985), citado por Ferreira (1996) aponta que a fórmula para obter o rendimento nas bombas a jato é variável com o tipo particular de cada trabalho, porém a maioria provem da fórmula geral que expressa esse parâmetro, definida pela Equação 1:

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

sendo:

$P_{entrada}$ – pressão na entrada do injetor;

$P_{saída}$ – pressão na saída do injetor;

$P_{sucção}$ – tensão de sucção do injetor;

q – vazão succionada;

Q – vazão motriz.

Silvester e Muller (1968) comentam, que na dedução das fórmulas utilizadas para definir os rendimentos das bombas a jato, deve-se considerar tanto as grandezas relacionada à energia disponível e consumida no sistema, quanto às alturas de elevação do fluido até o ponto de descarga.

Segundo Hirschmann (1985), citado por Ferreira (1996), deve-se ao trabalho de G. Flugel (1951), a observação de que os injetores são dependentes de dois coeficientes definidos pelos símbolos ϵ e σ . O primeiro relaciona os parâmetros que envolvem a energia do sistema, a exemplo, da altura de elevação do fluido. Já no segundo, estão os

parâmetros relacionados às vazões do sistema. Esses dois coeficientes são a base teórica da fórmula que define o rendimento dos injetores e são expressos pelas Equações 2 e 3:

$$\varepsilon = \frac{H_3 - H_2}{H_1 - H_3} \dots\dots\dots(2)$$

e

$$\sigma = \frac{q_{\text{sucção}}}{Q_{\text{motriz}}} \dots\dots\dots(3)$$

em que,

H_1 – energia de pressão por unidade de peso na entrada do injetor, mca;

H_2 – energia de pressão por unidade de peso na tubulação de sucção do injetor, mca;

H_3 – energia de pressão por unidade de peso na tubulação de descarga do injetor, mca;

$q_{\text{sucção}}$ – vazão succionada, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e

Q_{motriz} – vazão motriz, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Na Figura 6 estão definidas as variáveis utilizadas na determinação do rendimento do injetor Venturi.

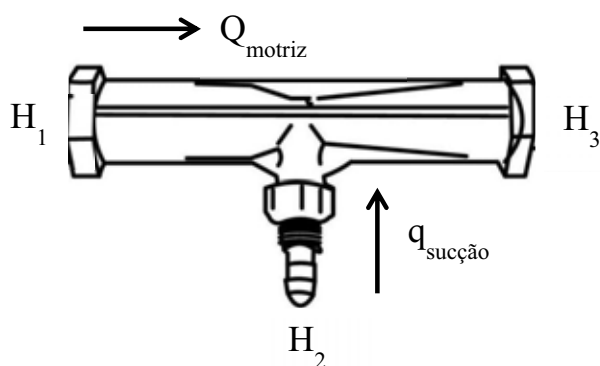


Figura 6. Esquema dos componentes de rendimento de um injetor Venturi.

Sendo assim, conforme Carlier (1968) e Troskolanski (1977), citados por Ferreira et al (1996), o rendimento global de um ejetor de água é dado pelo produto entre ε e σ , supondo-se que os fluidos motores e de elevação são os mesmos:

$$\eta = \varepsilon \times \sigma = \frac{q (H_3 - H_2)}{Q (H_1 - H_3)} \dots \dots \dots (4)$$

De modo geral, na seleção de injetores tipo Venturi, é importante considerar os modelos com suas respectivas eficiências, capacidade de injeção e vazão de operação.

Existem “Venturis” que apresentam diversas capacidades de injeção de fertilizantes na linha de irrigação. Suas características quanto à eficiência, vazão mínima de funcionamento e capacidade de injeção são definidas durante o processo de fabricação e variam, normalmente, em função do modelo ou número de equipamentos instalados (BURT et al., 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica

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.

Na fazenda estão instalados vinte nove equipamentos de irrigação do tipo pivô central. Esses equipamentos estão ligados por uma rede de canais que operam de maneira interligada recebendo água a partir de três estações de bombeamento.

Os ensaios foram realizados no pivô de número 12, apontado na Figura 7, que foi o equipamento que apresentou a menor pressão no ponto pivô, característica essa importante para redução dos gastos para montagem do sistema de injeção.



Figura 7. Croqui da área da Fazenda Busato II e a localização dos equipamentos do tipo pivô central (imagem Google Earth, Junho de 2012)

3.2 Caracterização do sistema de irrigação

3.2.1 Características do equipamento avaliado

O sistema de irrigação tipo pivô central utilizado nos ensaios tem as seguintes características técnicas:

Modelo: Valmatic

Comprimento do raio: 458,35 m

Nº de torres: 9

Nº de motoredutores: 9 (cinco de 1,5 cv e quatro de 1,0 cv – os motoredutores de 1,5 cv estão localizados no final do pivô)

Tempo de revolução a 100%: 11h

Vazão: $\pm 300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

Pressão no ponto pivô: 411,9 kPa

Área irrigada: 66 ha

Tubulação de recalque: 200 mm (8")

Tubulação de sucção: 250 mm (10")

Potência do motor: 60 cv

Modelo da bomba: KSB 125 – 315 (1750 rpm)

Nº de transformadores: 2 (um de 112,5 e outro de 15 kVA – ambos recebem tensão de 13,8 kV)

3.3 Caracterização do sistema de injeção

3.3.1 Características do injetor tipo Venturi

O injetor Venturi utilizado nesta pesquisa foi o de 1,5 polegadas, o qual representa o diâmetro de entrada e saída do equipamento, conforme pode ser visto na Figura 8. O sistema de injeção consistiu, basicamente, do injetor Venturi associado a uma bomba centrífuga comum.

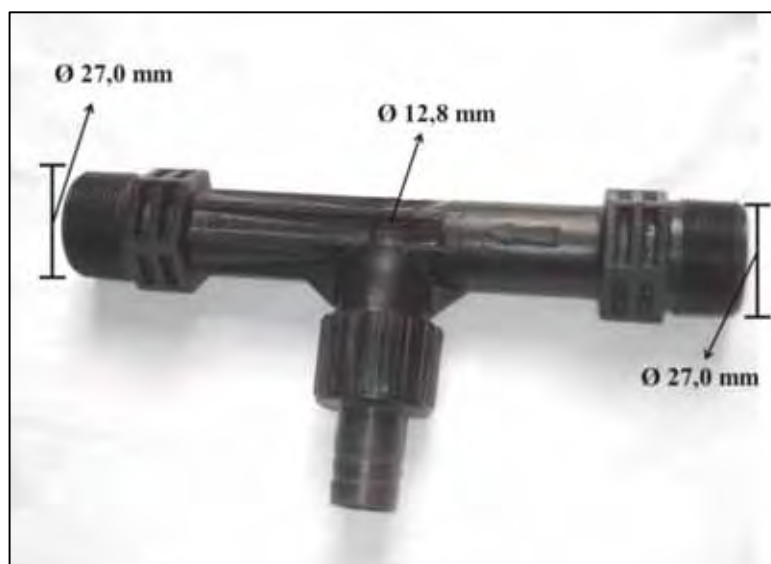


Figura 8. Injetor tipo Venturi utilizado nos ensaios

O injetor possuía as seguintes dimensões: 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 do injetor foi o polietileno.

A parte interna do injetor Venturi, com suas seções convergentes e divergentes estão apresentadas na Figura 9.

Como acessório, o equipamento dispunha de válvula de retenção, sendo estas de uso frequente nos injetores Venturi, encontrados atualmente no mercado. Elas têm a finalidade de eliminar a ocorrência de refluxo, uma vez que, caso ocorra uma queda de pressão do sistema de irrigação, a água não retorne para o tanque de pré-mistura/reservatório

de abastecimento, se misture ao produto químico e transborde. Os detalhes da peça que forma a válvula de retenção pode ser vista na Figura 10.

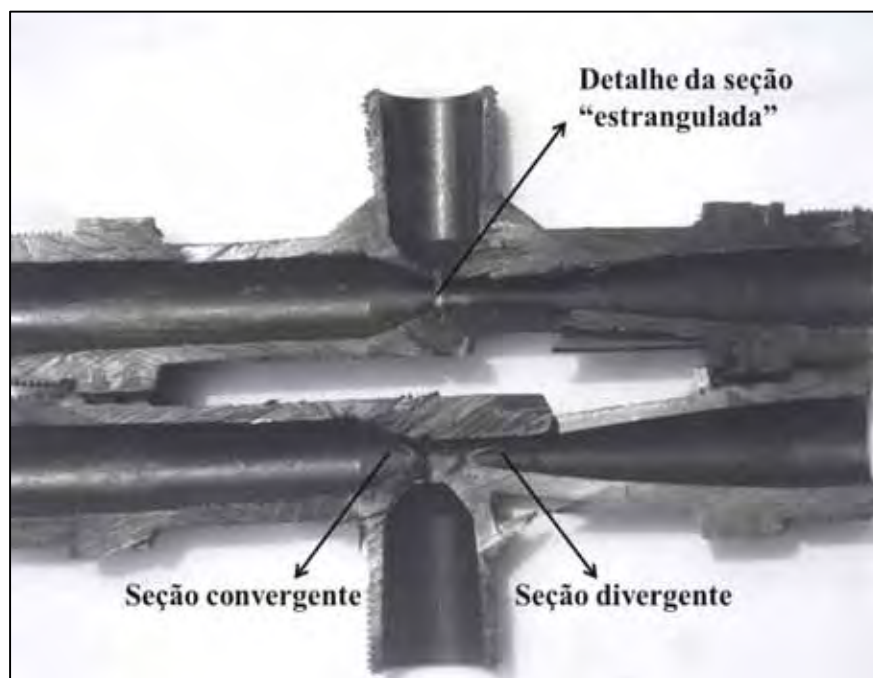


Figura 9. Detalhes do interior do injetor



Figura 10. Detalhes das peças que compõe a válvula de retenção do injetor Venturi e o esquema de montagem

Na Tabela 2 encontram-se as características hidráulicas dos injetores tipo Venturi, fabricados pela empresa Mac Loren, sendo observados também os valores de pressão de entrada e saída dos aparelhos e suas respectivas vazões motrizes e taxas de injeção.

Tabela 2. Dados técnicos dos injetores tipo Venturi fabricados pela empresa Mac Loren.

Pressão de Operação (kgf cm ⁻²)		Modelos de injetores Venturi							
		3/4		1		1 1/2		2	
		-----L/h-----							
Entrada	Saída	Fluxo	Sucção	Fluxo	Sucção	Fluxo	Sucção	Fluxo	Sucção
		Motriz		Motriz		Motriz		Motriz	
1,4	1,10	864	7,6	2364	75,7	4632	170,30	14442	605,0
	0,00	978	98,4	2700	302,8	5430	681,30	16350	1930,0
2,8	2,10	1206	18,9	3294	113,3	6498	170,30	19758	908,0
	0,00	1320	94,6	3540	283,9	7062	681,30	20892	1892,0
4,2	3,70	1440	26,5	4020	132,5	7950	246,00	24300	757,0
	0,00	1566	94,6	4200	283,9	8400	681,30	25206	1892,0
5,6	4,60	1656	3,8	4698	49,2	9312	56,80	27936	416,0
	0,00	1770	94,7	4926	283,9	9768	681,30	29070	1892,0
7,0	5,60	1932	15,1	5376	113,6	10560	132,50	31740	501,0
	0,00	2022	94,6	5520	283,9	11110	681,30	32700	1892,0

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 11).

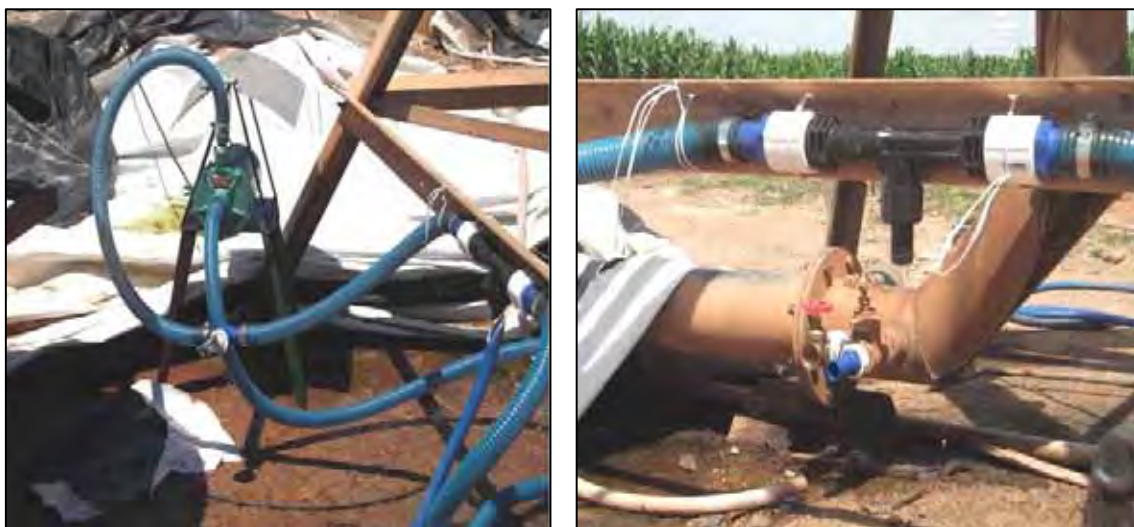


Figura 11. Sistema de injeção a partir de injetor Venturi montado em pivô central.

3.3.2 Características do conjunto motobomba

O sistema de bombeamento do equipamento de injeção era constituído por um conjunto motobomba montado em bloco. A bomba era da marca THEBE, modelo TH AL 16 equipada com rotor de 159 mm de diâmetro. Esta era acionada por um motor eléctrico de 3 cv (2,2 kW) de potência, e rotação de 3500 rpm (Figura 12).

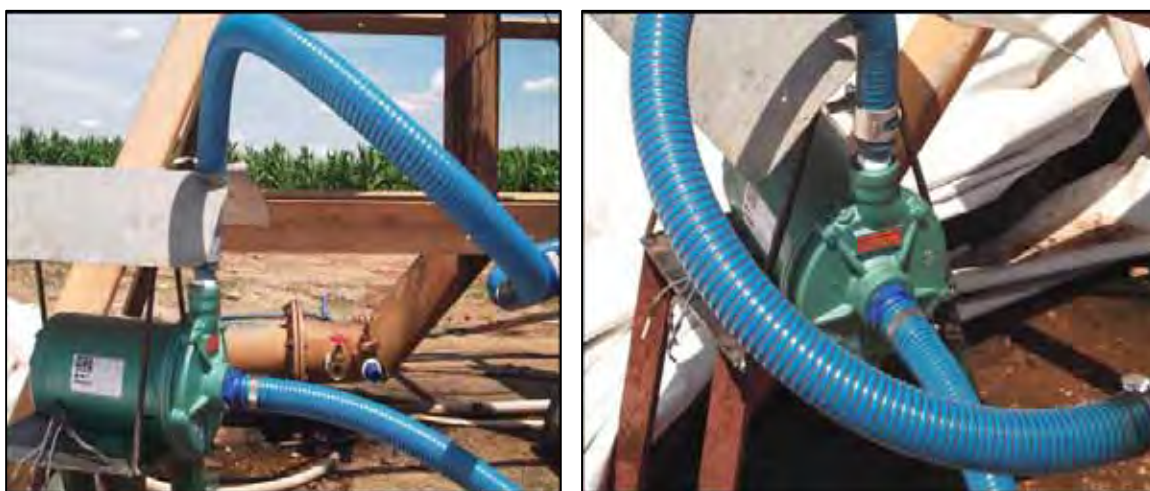


Figura 12. Conjunto motobomba instalada na base do pivô central.

3.3.3 Características da bomba injetora dosadora tipo pistão

As informações relacionadas à bomba injetora dosadora tipo pistão, foram apenas para comparar o desempenho técnico-econômico desta 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 que opera com motor elétrico com potência de 2 cv (1,47 kW), trifásico. Possui ainda redutor para serviços pesados (alta pressão) com saída dupla.

As partes em contato com o líquido a bombear são em aço inoxidável AISI 316 e o engaxetamento possui ajuste automático, sendo resistente a agroquímicos.

Os cilindros da bomba são construídos na vertical e o modelo especificado acima, pode operar nas vazões de 215 a 920 L h⁻¹, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Regulagem da vazão da bomba injetora conforme catálogo do fabricante.

Pressão (kg cm ⁻²)		Escala de Ajuste de Vazão					
		15	20	25	30	35	40
5	Vazão (L/h)	295	420	545	670	795	920
8		270	395	520	645	770	895
10		255	380	505	630	755	880
15		215	340	465	590	715	840

3.4 Coleta dos dados para avaliação do sistema de injeção

3.4.1 Determinação do volume do recipiente utilizado como reservatório de água

Utilizou-se uma caixa de polietileno com capacidade para 1000 litros, como reservatório de água para os ensaios no campo. O formato da caixa era cilíndrico com diâmetros crescentes a partir da base, apresentando quatro segmentos distintos, como pode ser observado na Figura 13.

Como o formato da caixa era irregular, optou-se por dividi-la em quatro seções, de modo que a soma destas representasse o volume nominal de 1000 L.



Figura 13. Caixa de polietileno utilizada como tanque de abastecimento do sistema de injeção montado com o injetor tipo Venturi

No interior da caixa foi fixada uma fita métrica de modo que esta representasse a altura da mesma (Figura 14).

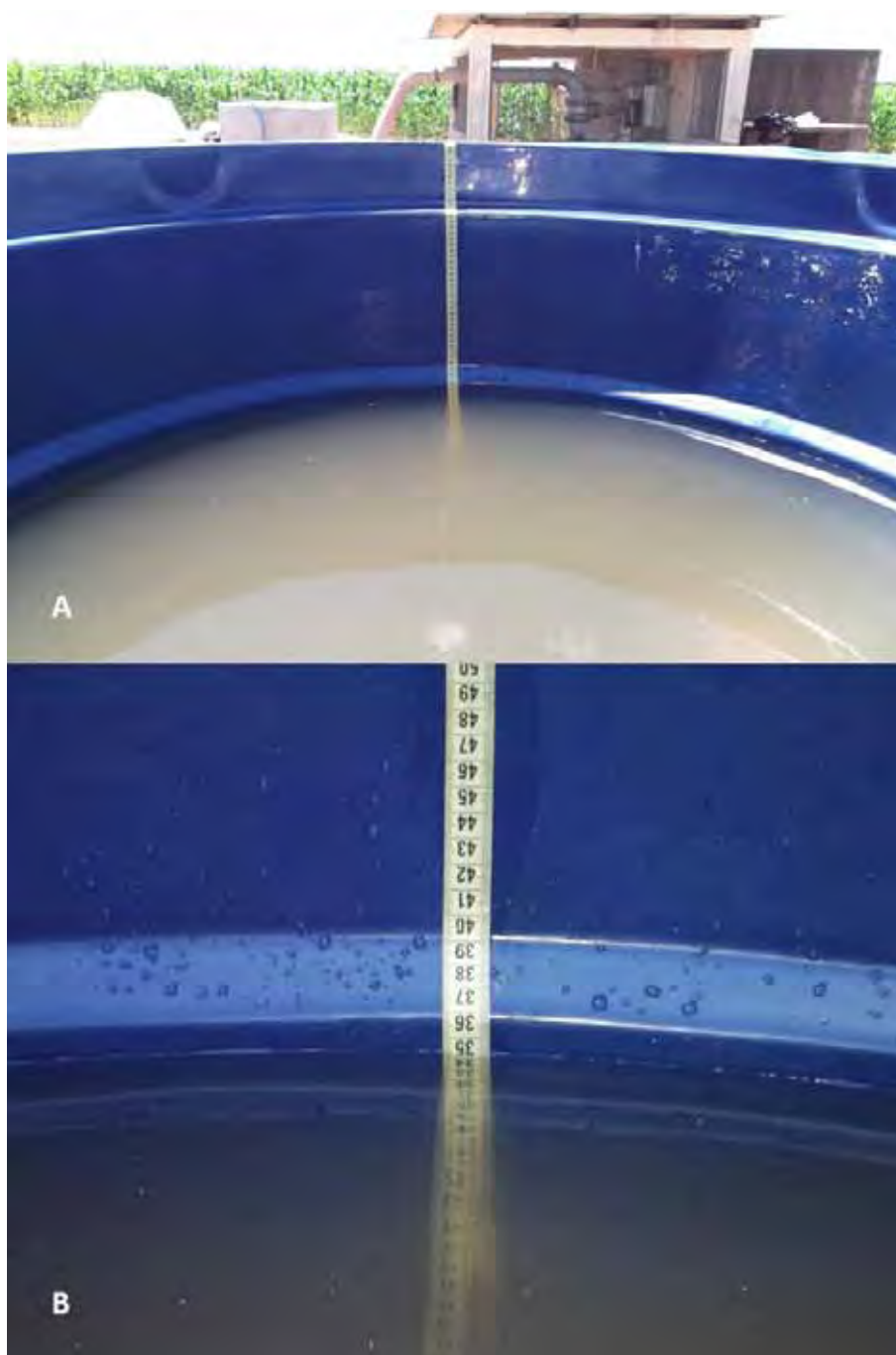


Figura 14. Fita métrica fixada no interior da caixa (A) e detalhe da altura da água (B).

A metodologia de determinação do volume do reservatório consistiu na adição de 50 baldes de água, com volume de 20 litros, perfazendo assim os 1000 litros da

caixa; e à medida que cada balde ia sendo adicionado, a altura da lâmina d'água era registrada, de modo que, com esses valores fosse possível construir um modelo matemático (equação de regressão) que posteriormente indicasse o volume de água no recipiente independentemente da altura da água no interior do reservatório.

Vale ressaltar, que esse procedimento foi adotado em função da irregularidade do formato da caixa, que além de ser formado por diferentes segmentos, ainda possuía saliências, aqui denominadas “degraus”.

Na Tabela 4 encontram-se os valores para cada seção da caixa, bem como os seus respectivos “degraus”.

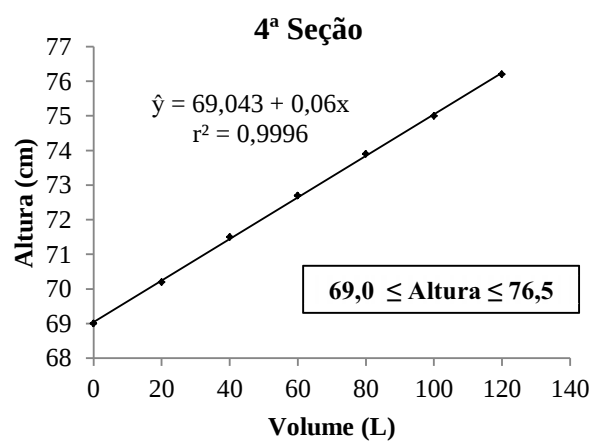
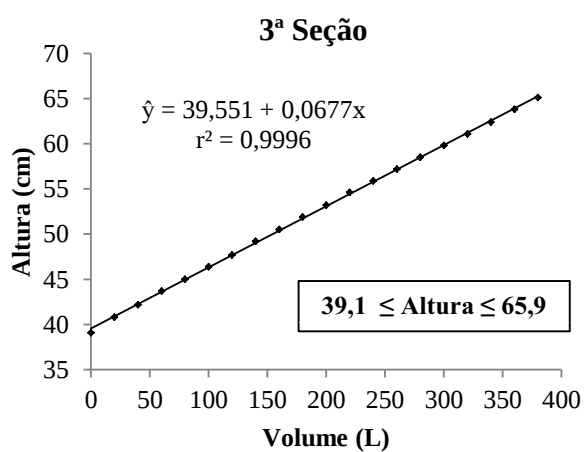
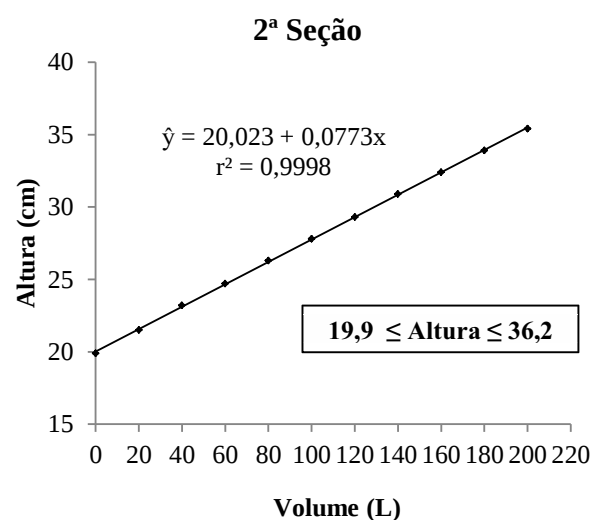
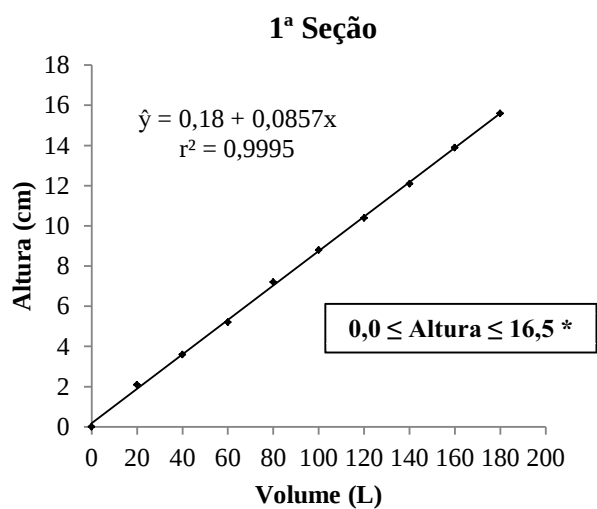
Tabela 4. Divisões do reservatório e seus respectivos volumes em litros.

Seção	Volume (L)
1ª Seção	190
1º Degrau	35
2ª Seção	210
2º Degrau	30
3ª Seção	390
3º Degrau	20
4ª Seção	125

Na figura 15 encontram-se os gráficos que relacionam a altura da seção avaliada com seus respectivos volumes.

Os elevados valores do coeficiente de determinação indicam a confiabilidade dos valores coletados durante a determinação dos pontos da regressão.

É importante destacar que, apesar do bom ajuste das regressões, as mesmas só são válidas para as suas respectivas seções.



* Intervalo das leituras de altura utilizadas para construção do modelo matemático (regressão).

Figura 15. Regressões dos diferentes segmentos do recipiente utilizados como reservatório de água.

3.4.2 Determinação da vazão derivada do sistema de irrigação

A água que alimentava o sistema de injeção era derivada do ponto pivô (base do equipamento) a partir de um registro do tipo esfera de 1 polegada comercial (32 mm) (Figura 16). As medições foram feitas com o registro totalmente aberto e o volume dali derivado foi direcionado para o reservatório de polietileno com capacidade para 1000 litros.

Foram realizadas quatro repetições e nestas foram verificados os tempos de enchimento do recipiente até a marca na caixa que representava o seu volume nominal.

O tempo médio de enchimento foi de 3,38 minutos, o qual representou uma vazão de $17,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Vazão essa que foi a vazão motriz do injetor Venturi.



Figura 16. Detalhe do bocal utilizado como ponto de tomada de água no tubo de subida do pivô central.

3.4.3 Esquema de instalação do sistema de injeção

O sistema de injeção foi montado na base do pivô, próximo ao ponto de tomada de água (Figura 17). Como meio condutor foram utilizadas mangueiras flexíveis de 1,5 polegadas de diâmetro nominal e 38 milímetros de diâmetro interno. A pressão de operação e de ruptura era de 7,3 e 22,0 kg cm⁻², respectivamente.

Essas mangueiras faziam a comunicação entre a tomada de água na base do equipamento de irrigação e o bocal de sucção da bomba centrífuga utilizada no sistema de injeção. Do bocal de descarga (recalque) saía outra mangueira que era ligada ao injetor tipo Venturi e deste partia para o ponto de injeção do sistema de irrigação.

A padronização dos bocais, tanto da bomba como do ponto de alimentação e injeção no tubo de subida do pivô, foi feita mediante uso de buchas de redução e adaptadores de mangueira (Figura 18B).

As mangueiras foram presas nos adaptadores por meio de abraçadeiras do tipo fenda (rosca sem fim), sendo que nos pontos de maior pressão do sistema injetor (bocal de recalque da bomba e entrada do injetor Venturi), utilizaram-se abraçadeiras do tipo parafuso (Figura 18A) para maior segurança do sistema.

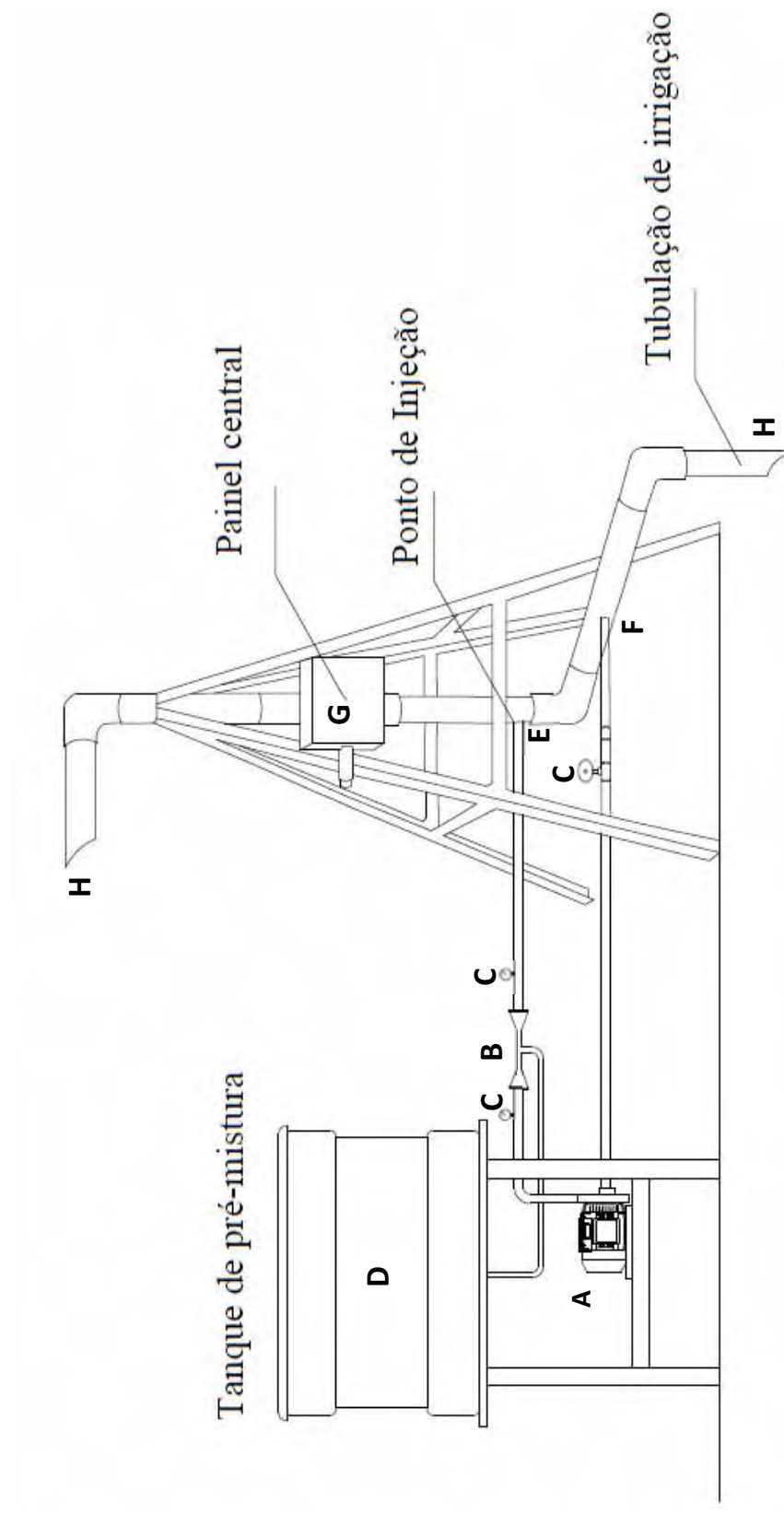


Figura 17. Esquema ilustrativo da montagem do ensaio com o sistema injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga. (A) bomba hidráulica de potência 2,2 kW, (B) injetor Venturi de 1,5 polegadas, (C) manômetros metálicos, (D) tanque de abastecimento, (E) ponto de injeção, (F) ponto de tomada de água, (G) caixa de comando do pivô e (H) tubulação de recalque do pivô central.

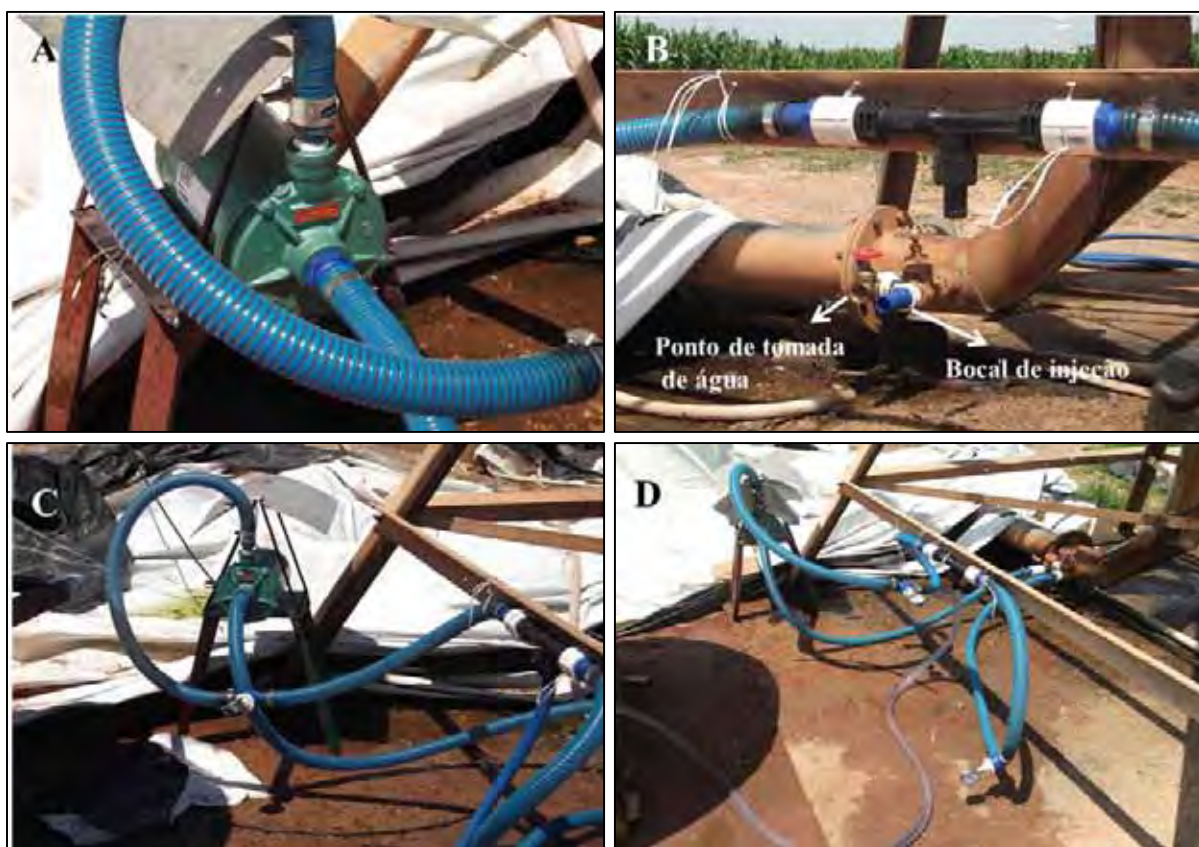


Figura 18. Esquema em campo do sistema de injeção montado a partir de injetor Venturi associado à bomba centrífuga

Para realização dos ensaios o injetor foi instalado, horizontalmente, na estrutura de sustentação do tubo de subida do pivô (base do equipamento) (Figura 18C e 18D) 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 foi de 0,71 e 0,67 metros, respectivamente, em relação ao nível do solo.

A caixa foi assentada numa estrutura montada com estrados de madeira (Figura 19). O objetivo da elevação foi de assegurar uma carga hidráulica adicional que, exercendo pressão sobre o bocal de sucção do injetor, teoricamente, promoveria um aumento da taxa de injeção.

A comunicação entre o injetor e o reservatório foi feita por mangueira transparente com diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegada.



Figura 19. Vista geral do sistema de injeção montado a partir do injetor Venturi associado à bomba centrífuga e detalhe da estrutura utilizada para elevação do tanque de abastecimento

3.4.4 Determinação das pressões de entrada e saída no injetor Venturi

Os manômetros utilizados nos ensaios foram os do tipo Bourdon, dois com leituras de 0 a 6 kgf cm⁻² e um com leituras de 0 a 10 kgf cm⁻².

A instalação dos manômetros ocorreu em três pontos, sendo: um antes do injetor Venturi, utilizado para leitura da pressão de entrada; o segundo na saída do injetor, este tinha a finalidade de registrar a pressão naquele ponto e, conseqüentemente, fornecer o diferencial de pressão do sistema (Figura 20A). O terceiro medidor foi instalado na base do equipamento de irrigação (Figura 20B), de modo que este fornecesse a pressão a qual o volume derivado do ponto pivô estivesse submetido.



Figura 20. Pontos de tomada de pressão no sistema de injeção (20A) e ponto de tomada de pressão no tubo de subida do pivô central (20B)

As leituras das pressões negativas geradas pelo injetor foram tomadas a partir de vacuômetro analógico conectado no bocal de injeção do equipamento, sendo que, a conexão destes foi feita por meio de mangueira transparente.

3.5 Cálculo dos custos com os sistemas de injeção

3.5.1 Custos fixos

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 pode ser observada na Equação 5:

$$d = \frac{(V_i - V_f)r}{(1+r)^n - 1} \dots\dots\dots(5)$$

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 na Equação 6:

$$R = \frac{(V_i - V_f)}{2} \times \text{taxa anual de juros} \dots\dots\dots(6)$$

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).

3.5.2 Custos variáveis

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 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho do injetor Venturi

A taxa de injeção do injetor encontrada nesta pesquisa foi de $0,6213 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, conseguida 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, representado pela relação entre a energia útil do líquido na entrada do injetor Venturi e a quantidade de energia transferida ao fluido motriz no processo de sucção, foi de 11,13%, valor este considerado satisfatório, uma vez que, com base nas afirmações de Hirschmann (1985), citado por Ferreira (1996), 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 et al., (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 (1997) chama atenção para o fato de que muitos trabalhos, quando a cita, 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 registros, de medidores de vazão e de controladores de pressão instalados, às vezes, em número desnecessário.

Partindo da constatação de Feitosa Filho (1997) e considerando que o injetor utilizado nesta pesquisa possuía como acessório uma válvula de retenção, buscou-se verificar a ocorrência de uma possível variação da taxa de injeção em testes com e sem a presença deste acessório. Após realização dos ensaios, pôde-se constatar que a presença da válvula de retenção não promoveu diferenças significativas quando analisadas às taxas de injeção em condições de uso ou não desta peça, o que nos leva a dizer que, para as condições desta pesquisa, os termos diferenciais de pressão e perda de carga se equivalem.

Conforme comentado na metodologia, 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, nesse estudo, esse posicionamento do injetor em relação ao fundo do reservatório pouco contribui 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 condição quanto na segunda, 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 o comum é a ocorrência de variação nas taxas de injeção quando se utiliza o injetor do tipo Venturi, sendo esta uma das desvantagens do aparelho. Nos sistemas localizados, nos quais o injetor é usado com certa frequência, essa característica é pouco relevante, uma vez que a existência de “alguma” 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, mantivesse 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.

4.2 Análise da viabilidade técnica

Os ensaios com o injetor tipo Venturi resultaram em comportamento similar aos encontrados na bomba dosadora tipo pistão, uma vez que a taxa de injeção encontrada pelo primeiro injetor está dentro da faixa de atuação do segundo equipamento.

A maior vantagem do injetor Venturi é a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade. Sendo esta última menor na dosadora do tipo pistão, uma vez que esta possui componentes metálicos que sofrem com desgastes provocados pelas soluções químicas (altamente corrosivas).

Apesar da similaridade nas taxas de injeção Gulik et al (2007) chamam a atenção para a existência de 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 et al (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 às 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 comporta tão bem quanto os seus concorrentes. A ressalva deve ser feita, quanto à eficiência do sistema injetor a partir do Venturi, 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 apenas, ela 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 bom deixar claro 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.

4.3 Análise da viabilidade econômica

Na análise econômica 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 de capital neles investidos. Já para os custos variáveis, estimaram-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 5. 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 dosador do tipo pistão, foi cotado junto à empresa ALTI – Indústria de Equipamentos LTDA.

Tabela 5. Orçamento do sistema de injeção montado com injetor tipo Venturi associado à bomba centrífuga e preço da bomba pistão (12/2011)

INJETOR TIPO VENTURI			
Produto	Qtde	Preço Unitário (R\$)	Preço total
Motobomba THEBE TH AL 16 3cv trifásico	1	1.200,00	1.200,00
Chave de partida 3cv WEG (PDW – 60Hz 380v)	1	140,00	140,00
Cabo 3x2,5mm	15	3,70	55,50
Injetor Venturi de 1,5" (MacLoren)	1	113,00	113,00
Mangote de 1,5" (KANAFLEX)	6	10,00	60,00
Manômetros de 10 kg cm ²	2	60,00	120,00

CONEXÕES (sucção)			
Bucha de redução 1x1.½"	2	4,30	8,60
Luva de 1.½"	3	4,90	14,70
Adaptador de mangueira 1. ½"	4	2,80	11,20
Abraçadeira 1.½"	13	2,50	32,50
Abraçadeira 1. ½" c/parafuso	1	8,50	8,50
1 Luva com redução (galvanizada) 1. ½"x1.1/4 "	1	10,00	10,00
Niple de 1.1/4 "	2	4,70	9,40
Válvula de gaveta de 1.1/4 "	1	32,00	32,00
Válvula de gaveta de 1. ½"	1	40,00	40,00
Bucha de redução de 1.1/4"x1. ½"	1	4,70	4,70
Niple de 1. ½"	1	5,20	5,20
Luva de 1. ½"	1	5,00	5,00
CONEXÕES (recalque)			
Adaptador de mangueira c/ redução 1x1. ½" (galvanizado)	1	9,50	9,50
“T” interno de 1. ½"	2	5,00	10,00
Bucha de redução de 1. ½x½	2	5,00	10,00
Bucha de redução de ½x1/4 "	2	1,00	2,00
Bucha de redução de 1/4 x3/8 "(galvanizado)	2	3,20	6,40
Bucha de redução de 1. ½x2"	1	9,75	9,75
TOTAL			1.897,95
INJETOR DOSADOR TIPO PISTÃO			
Modelo BP2-238	1	11.960,00	11.960,00

Para realização da análise comparativa observa-se a Tabela 6, 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 dosadora 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 6. Componentes dos custos fixos e variáveis para os sistemas de injeção.

COMPONENTES (Custo anual)	INJETOR	
	Venturi-Bomba	Dosadora 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 representa 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 foi 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 de este componente ser comum aos dois sistemas de injeção, para a empresa fabricante do injetor dosador 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 (Figura 21A e 21B), 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.



Figura 21. Tanque de fibra de vidro com volume para 2000 litros (21A) e tanques de abastecimento montados sobre carreta (21B)

No que diz respeito à mobilidade, possível tanto no injetor Venturi quanto no dosador pistão, é importante frisar que em propriedades maiores, as unidades de irrigação podem ser numerosas, distantes e diferentes; nestes casos, é útil prestar atenção para a possibilidade de se ter um equipamento móvel.

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 7.

Tabela 7. Potência demandada pelos sistemas de injeção e seus respectivos custos energéticos por ano agrícola

Injetor	Potência (kW)	Nº de aplicações¹	Tempo de uso por aplicação² (horas)	Gasto com energia elétrica total (R\$ ano⁻¹)
Venturi + bomba centrífuga	2,20	60	11	202,25
Pistão	1,47	60	11	135,14

¹ Estimativa do número de aplicações realizados pelo injetor 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 8.

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 8. Valores de tarifa e preço final praticado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia 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 motobomba 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 giram entre 1 e 3 cv.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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, ou seja, do grau de adequação local para as atividades de manejo do sistema.

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 catálogo do injetor Venturi não ocorrerão.

Embora as informações acima possam provocar um possível desinteresse da tecnologia por parte do produtor irrigante, deve-se levar em consideração que propriedades com certo nível de organização costumam contar com profissionais aptos a viabilizar o sistema Venturi-Bomba Centrífuga, tendo em vista sua atraente vantagem econômica sobre seu concorrente mais forte, as bombas injetora de pistão. Para tanto, em equipamento do tipo pivô já instalados, deve-se atentar para os seguintes aspectos: taxa de

injeção necessária para a atividade de quimigação, sendo esta atendida pelos diferentes modelos de injetor Venturi disponíveis no mercado; motobomba a ser associada ao injetor, sendo esta dimensionada em função da vazão motriz e da pressão de entrada no injetor Venturi, atentando-se para o fato da pressão de saída do injetor ser sempre superior a pressão reinante no ponto de injeção do pivô; os medidores de pressão, vazão e tensão devem ter boa precisão e durabilidade, uma vez que estarão expostos às condições de campo e, por último, e o maior responsável para que o sistema opere, sobra na potência instalada na base do pivô para atender a motobomba a ser associada ao injetor Venturi. Atendidas estas condições, o sistema Venturi-Bomba Centrífuga se tornará um equipamento tão eficaz quanto qualquer outro sistema injetor.

6. CONCLUSÕES

Diante das condições encontradas durante a condução desta pesquisa, chegou-se às seguintes conclusões:

1. Para as condições de vazão e pressão encontradas na base do pivô onde o injetor Venturi foi instalado, este sistema de injeção poderia substituir com eficácia a bomba dosadora de pistão;
2. A taxa de injeção observada pelo injetor Venturi foi de $0,621 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com rendimento de 11,13%;
3. 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;
4. 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, ou seja, do grau de adequação local para as atividades de manejo do sistema.

7. REFERÊNCIAS

- ABRÉU, J. M. H. et al. Fertilizadores tipo Venturi. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO. El riego localizado. Tenerife: Instituto nacional de investigaciones Agrarias, 1987. p. 61-72.
- ALVES, D. R. B. Distribuição de nitrogênio e potássio na cultura de milho (*Zea mays* L.) aplicados via pivô central. 2000. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- BOAZ, M.; HALEVY, I. Trickle irrigation. Jerusalem: Ministry of Agriculture, 1973. p. 39-57.
- BOTREL, T. A. Modelo matemático aplicável ao sistema injetor-bomba centrífuga a fim de aumentar a altura manométrica. 1996. 57 f. Tese (Livre-docência)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- BURT, C.; O' CONNOR, K.; RUEHR, T. Fertigation. California: California. Polytechnic State University, 1998. p. 15-42.
- COELHO, R. D. Caracterização física do sistema de irrigação pivô central (LEPA) operando em condições de microrrelevo condicionado. 1996. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- COELHO, S. T. Matemática financeira e análise de investimentos. São Paulo: Ed. Nacional; EDUSP, 1979. 279 p.
- COSTA, E. F.; BRITO, R. A. L.; SILVA, E. M. Cálculo e manejo da quimigação nos sistemas pressurizados. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. cap. 7, p. 183-200.
- DELMÉE, G. J. Manual de medição de vazão. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 476 p.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Milho: equações gerais para manejo da cultura de milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Coord.). Tecnologia da produção de milho. Piracicaba: Publique, 1997. p. 171-174.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Quimigação na cultura do feijão. In: FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap. 5, p. 393-432.

DOURADO NETO, D. et al. Fertirrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap. 6, p. 315-376.

FAVETTA, G. M. Estudo econômico do sistema de adubação em equipamentos de irrigação do tipo pivô central. 1998. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

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

FEITOSA FILHO, J. C. et al. 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 Agrícola, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 105-113, jan./abr. 1996.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; DOURADO NETO, D. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Piracicaba: ESALQ-USP, 1994. 35 p. (Série Didática, 8).

FRIZZONE, J. A. et al. Fertirrigação mineral. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).

HERNANDEZ, F. B. T. Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1994, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p.

GULIK, T. W. Chemigation. In: GULIK, T. W.; EVANS, R. G.; EISENHAUER, D. E. Design and operation of farm irrigation systems. 2. ed. St Joseph: ASABE, 2007. chap. 19, p. 725-753.

HICKLEY, M. G.; BEAN, B. W.; LEON NEW, L. Fertigation: fertilizer application with center pivots. In: LEON NEW, L.; HICKLEY, M. G.; BEAN, B. W. Chemigation: workbook. Texas: Texas Agricultural Extension Service, 1990. cap. 4, p. 15-23.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

LOPEZ, T. M. Cabezal de riego. In: LÓPEZ, C. C. (Coord.). Fertirrigation: cultivos horticolas y ornamentals. Madri: Mundi Prensa, 1998. cap. 6, p. 247-263.

MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987. 782 p.

MARCHETTI, D. Irrigação por pivô central. Brasília, DF: EMBRAPA, 1983. 23 p. (Circular Técnica, 1).

MENDONÇA, F. C. Modelo descritivo da operação de conjuntos injetor-bomba centrífuga utilizados em poços. 1999. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MULLER, N. H. G. Water jep pump. Journal of the Hydraulics Division, New York, v. 90, p. 83-113, 1964.

OLIVEIRA, E. F. et al. Análise hidráulica de hidro-ejetores. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 53, n. 2-3. p. 21-27, mai./ago. 1996.

PAZ, V. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Irrigação por aspersão e localizada. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/cursos1.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2001.

PEREIRA, A. S. Dimensionamento de um protótipo aplicador de produtos químicos para um sistema de irrigação pivô central. 2001. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PINTO, J. M. Fertirrigação em fruticultura irrigada. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, DF, n. 49, p.14-23, 2001.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap. 3, p. 121-194.

RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. Sistemas de irrigação e seus componentes. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPMS-SPI, 1994. p. 41-84.

ROBERTS, J.; POTTS, B. J. Chemigation: a partnership worth exploring. Irrigation Journal, Arlington, v. 41, p. 16-29, 1991.

SHANI, M. La fertilización combinada con el riego. Tel Aviv: Ministério de Agricultura de Israel, 1983. 36 p.

SILVESTER, R.; MUELLER, N. H. G. Design data for the liquid-liquid jet pump. Journal of Hydraulic Research, Oxfordshire, v. 6, n. 2, p. 129-162, 1968.

THREADGILL, E. D. Advances in irrigation, fertigation and chemigation. In: EXPERT CONSULTATION ON FERTIGATION/CHEMIGATION, 1991, Cairo. Proceedings... Rome: FAO, 1991. p.136-155.

VIEIRA, R. F. Introdução à quimigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. cap. 1, p. 13-40.