

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE FERTIRRIGAÇÃO INTELIGENTE - INTELLIFERTI

HAROLDO F. de ARAÚJO¹; EDUARDO F. NUNES², FABRÍCIO T. SOARES³, LENILTON A. A. OLIVEIRA¹

¹ Prof. Dr. Instituto Federal do Pará (IFPA), Breves - Pará - Brazil, Email: haroldo.araujo@ifpa.edu.br

² Prof. Dr. Faculdade Metropolitana de Campinas (Metrocamp).

³ Doutorando, Faculdade de Engenharia agrícola (FEAGRI), Universidade estadual de Campinas (UNICAMP), Brazil.

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: O termo sustentabilidade está cada vez mais imperativo nos sistemas de produção, dessa forma, o objetivo do projeto foi desenvolver uma máquina de fertirrigação inteligente, com programação embarcada com alternativas que viabilizasse a produção em larga escala, respeitando os princípios da sustentabilidade. Estas alternativas dizem respeito ao manejo adequado de nutrição das plantas, bem como a aplicação de água na quantidade e na hora que as plantas necessitam. Todo esse manejo, propondo-se ser realizado de forma automatizada em função de parâmetros previamente coletados e analisados em tempo real para a tomada de decisão, evitando assim, suposição. O projeto na sua íntegra se propôs a desenvolver um equipamento capaz de injetar até 6 fertilizantes concentrados de maneira variável, com injeções independentes, controlados por eletrônica embarcada, coordenada por uma estratégia de fertirrigação que leva em consideração as condições da zona radicular, o micro-clima do ambiente e as necessidades nutricionais da cultura. Os primeiros resultados mostraram viabilidade técnica do produto proposto, porém há a necessidade de se avaliar tecnicamente em campo todos os parâmetros de controle do software e hardware, bem como suas limitações técnica de funcionamento, além de um refinamento da estratégia de fertirrigação.

PALAVRAS-CHAVE : Micro-clima, controle automatizado, irrigação

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT FERTIGATION EQUIPMENT – INTELLIFERTI

ABSTRACT: The term sustainability is becoming more and more imperative in production systems, so the objective the project was to develop an intelligent fertigation machine with embedded programming with alternatives that would enable large-scale production, while respecting the principles of sustainability. These alternatives concern the proper management of plant nutrition, as well the application of water in the amount and time that plants need. All this management, proposing to be carried out in automated way based on parameters previously collected and analyzed in real time for decision making, thus avoiding assumption. The whole project has proposed to develop an equipment capable of injecting up to 6 fertilizers in a variable way, with independent injections, controlled by onboard electronics, coordinated by a fertigation strategy that takes into account the conditions of the root zone, environment and the nutritional needs of the crop. The first results showed technical feasibility of the proposed product, however there is a need to evaluate technically in the field all parameters of software and hardware control, as well as its technical limitations of operation, as well a refinement of the fertigation strategy.

KEYWORDS: Microclimate, automated control, irrigation

INTRODUÇÃO

A fertirrigação pode ser caracterizada como a aplicação de fertilizantes dissolvidos na água de irrigação. É uma das maneiras mais eficientes e econômicas de suprir a demanda nutricional das plantas, principalmente em ambiente protegido, visto a necessidade de irrigação para o cultivo. Por serem aplicados (fertilizantes) em menor quantidade, porém com maior frequência, pode-se manter um teor de nutrientes no substrato/solo nas quantidades exigidas nas diferentes fases do ciclo da cultura, o que aumentará a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (BASSO et al., 2010).

O mercado nacional ainda desconhece uma máquina capaz de injetar fertilizantes concentrados no recalque de forma independente e em proporções diferentes, produzida por uma empresa nacional. Entretanto, devido à necessidade de tecnologias que atendam, mesmo que parcialmente o objetivo de fertirrigar, o mercado dispõe de tecnologias pouco eficientes, vista a aplicação de misturas de fertilizantes concentrados.

Outras soluções como os injetores de plástico injetado (Venturi) também são bastante conhecidos no mercado especializado, porém pouco utilizado em razão da sua baixa eficiência de aplicação. Apesar desta relevância técnica, estes injetores apresentam como principais vantagens a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade, além de não necessitar de uma fonte de energia especial. Como limitação, pode-se citar a grande perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, podendo variar de 10 a 50% da pressão de entrada (PASCUAL, 1996), conforme o modelo. Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação, como a instalação do injetor com uma bomba auxiliar. Nestes injetores, a vazão de entrada é diretamente proporcional ao diferencial de pressão entre a entrada e saída, e variam conforme o diâmetro nominal de fabricação, perdendo a precisão na injeção de cada fertilizante e, ao mesmo tempo, a repetibilidade, principalmente ao longo do tempo com o envelhecimento dos componentes (SAMSURI et al., 2010).

Apesar desse tipo de injeção funcionar muito bem, a grande maioria dos equipamentos disponíveis no mercado utilizam a caixa de mistura para realizar a homogeneização da mistura, o que acaba por inviabilizar a utilização da fertirrigação de diversos setores por necessitar de demandas diferentes de modo que não é possível utilizar caixa de mistura (STEIDLE NETO et al., 2014). A caixa de mistura cria um “volume morto”, uma quantidade de mistura pronta que precisa ser despachada antes da irrigação de outro setor. Por outro lado, a não utilização de caixa de mistura, configura-se um desafio, pois o sistema hidráulico deve ser concebido de tal maneira que a homogeneidade seja garantida na aplicação no solo/substrato (WANSER et al., 2015).

Um problema iminente na aplicação da fertirrigação está relacionado a necessidade de diferentes misturas para cada fase fenológica da cultura (TRANI et al., 2011), visto a dificuldade do balanço das concentrações para o equilíbrio entre a absorção das plantas e a concentração iônica da solução sem gerar decréscimos ou acréscimos na concentração de alguns íons (GUTIÉRREZ et al., 2007; BLAIR e TAYLOR, 2004), podendo causar queda de produtividade pela salinização do solo/substrato (SILVA et al., 2013) ou déficit nutricional. Para que isso seja evitado, o desenvolvimento de uma estratégia de fertirrigação que leva em consideração as condições da zona radicular, o micro-clima do ambiente e as necessidades nutricionais de cada fase fenológica da cultura pode ser determinante. Esta estratégia pode estar baseada em um conjunto de limites sob os quais os ciclos de fertirrigação podem ser iniciados, podendo estes limites estar baseados em diferentes modelos, como por exemplo, modelo de evapotranspiração (STEIDLE NETO et al., 2014), modelo de radiação solar global acumulada (VOOGT, 2013), modelo de reposição de tensão de água no solo (RODRÍGUEZ et al., 2014), modelo de marcha de absorção (KIM et al., 2013.; ALVARENGA, 2013), implementados no equipamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do projeto consistiu na montagem de um sistema hidráulico previamente desenvolvido, sendo necessário para isso, dimensionar, colar as conexões e montagem dos protótipos. Com o intuito de facilitar as possíveis manutenções na máquina, a montagem dos protótipos foi realizada com conexões de PVC azul e marrom e filtros de irrigação facilmente encontrados no mercado especializado em irrigação ou hidráulica.

Em razão da ausência de normas específicas para a produção de material de irrigação, foi realizado um estudo preliminar dos modelos, tamanhos, diâmetros e tipos de conexões de PVC existentes no mercado, para auxiliar a escolha do material mais adequado para a montagem do protótipo e futuramente do modelo comercial da máquina.

Assim, seguindo o princípio de funcionamento dos injetores tipo Venturi, foi projetado o protótipo estrutural do projeto hidráulico e bloco injetor, para que o sistema funcione em função da pressão de serviço do recalque de um projeto de irrigação qualquer (Figura 1).

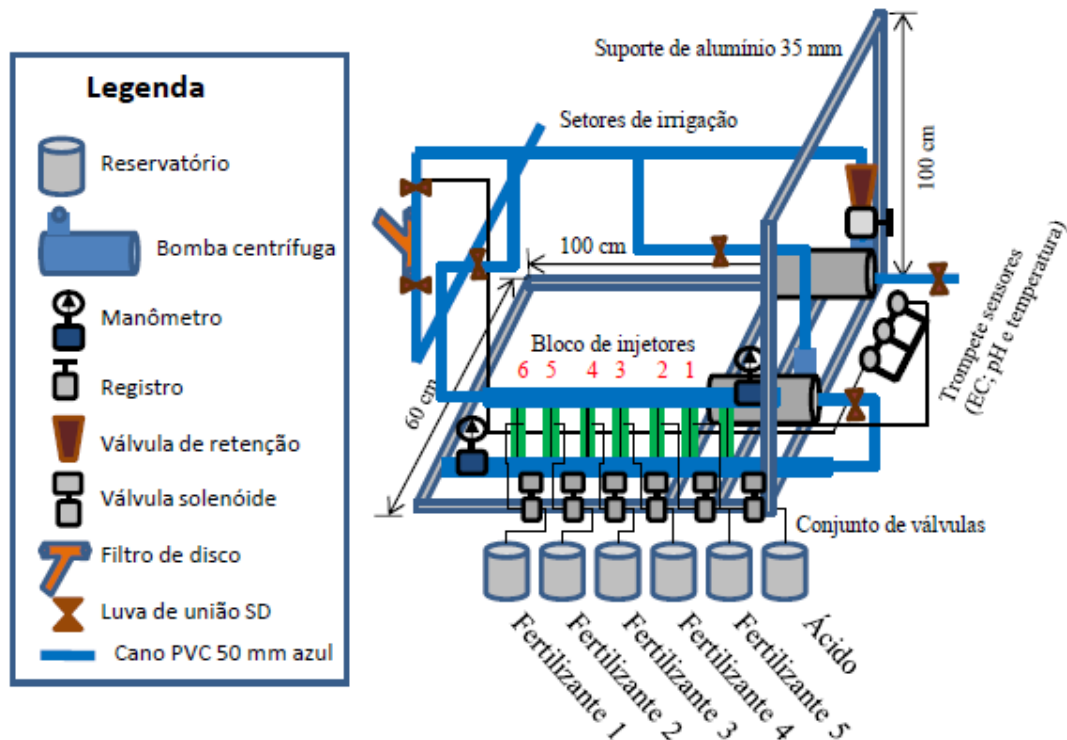


Figura 1 - Esquema do projeto estrutural completo executado

A montagem do bloco hidráulico envolveu conexões e tubulações de PVC 50 mm PN 80 azul, utilizado para em projetos de irrigação. Para utilizar esse diâmetro e pressão nominal, levaram-se em consideração as perdas de cargas e a demanda hídrica de projetos de irrigação realizados para irrigar setores com bomba centrífuga a pressões moderadas e fluxo contínuo (1 a 4 cv). Com estas especificações de projeto de irrigação, permite-se irrigar setores com vazão de até $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com pressão serviço no recalque de até 30 mca.

Os sistemas de filtragem de solução e água de irrigação, nesse primeiro momento foram utilizados apenas para filtragem de possíveis impurezas acumuladas nos reservatórios de água. Dessa forma, na tubulação de recalque utilizou-se um filtro de disco 50 mm tipo Y, 120 mesh e vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, conforme características do projeto proposto, além de filtros de tela de aço inox de 25 mm tipo Y, 120 mesh e vazão de $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ entre os reservatórios de solução e os injetores de fertilizantes.

Considerando os modelos de injetores tipo Venturi existentes para o mercado agrícola nacional, bem como a necessidade de vazão de projetos de irrigação de pequeno porte (até $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), foi projetado e montado o bloco de injeção com injetores de 25 mm, podendo este diâmetro variar conforme a vazão requerida de cada projeto.

Sabendo que o injetor Venturi opera com um diferencial de pressão para aspirar ou injetar solução nutritiva, projetou-se o bloco de injeção de forma que a pressão de saída da linha de irrigação principal ou recalque seja a mesma da tubulação superior do bloco de injeção. Dessa forma, através de uma bomba centrífuga auxiliar (injeção) na tubulação inferior do bloco, pode-se controlar o diferencial de pressão entre as duas tubulações, conseqüentemente a taxa de vazão de entrada de fertilizante através da rotação e/ou modulação das válvulas solenóides.

A bomba centrífuga auxiliar foi dimensionada levando-se em consideração a pressão de serviço ou trabalho da tubulação de recalque (até 40 mca) e as perdas de carga das conexões de recalque e

sucção. Assim, chegou-se a uma bomba centrífuga multiestágios para injeção de 3 cv, pressão de 22 a 71 mca, vazão de 3,2 a 10,1 m³ h⁻¹, (modelo ME-HI 5530, 5 estágios, Schneider, Trifásica 220/380 Volts), rotor 97 mm em aço inox para evitar possíveis danos corrosivos causados pelo contato dos fertilizantes.

Frente às características do projeto de irrigação proposto e dimensionado, utilizou-se ainda uma bomba centrífuga (Principal) de 3 cv, pressão de 35 a 43 mca, vazão de 6,3 a 14,6 m³ h⁻¹, rotor 155 mm (modelo BC 92C 1B Schneider, Trifásica 220/380 Volts).

Assim, de posse dos blocos hidráulico e de injeção, o protótipo inicial foi montado (Figura 2), possivelmente o modelo padrão comercial, com conexões de PVC 50 mm azul PN 80, do fabricante Viqua que mais se adequou as características necessárias ao projeto. Salienta-se que o projeto foi estritamente pensando para se reduzir custos e ter suas conexões hidráulicas o mais acessível possível para possíveis manutenções, principalmente no bloco de injeção.

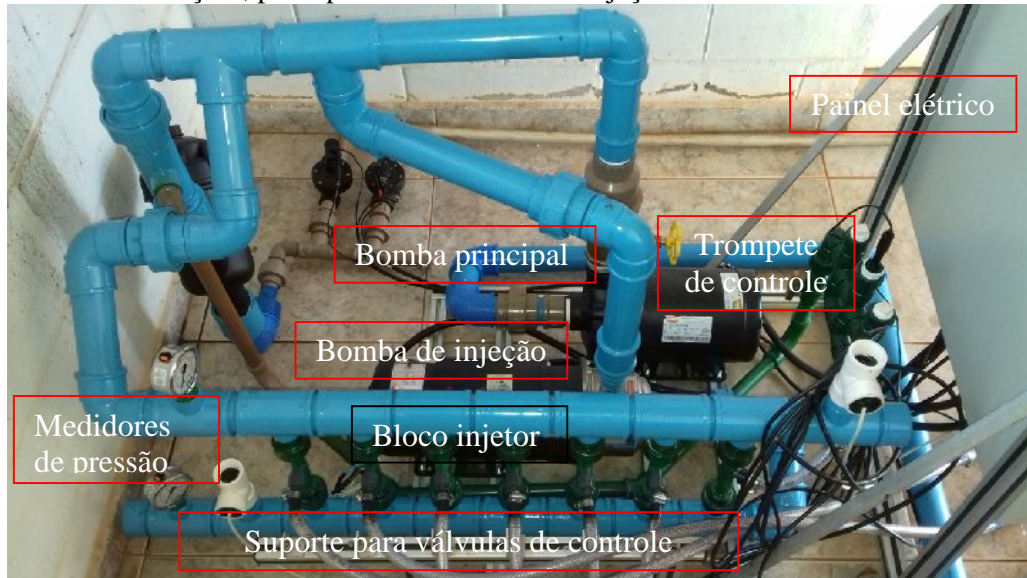


Figura 2 - Protótipo com todos os equipamentos de controle –IntelliFerti

Este protótipo foi dimensionado para trabalhar em projetos de irrigação com bomba principal de até 4 cv de potência. Acima dessa potência, as conexões hidráulicas, a bomba principal e os injetores de fertilizantes devem ser recalculados.

Para o controle da taxa de injeção automatizado, levará em consideração a condutividade elétrica (EC) da solução que está diretamente relacionada ao diferencial de pressão, que depende da rotação das bombas de injeção e principal e modulação das válvulas. Para possibilitar tal controle, o protótipo conta ainda com dois sensores de pressão analógicos e dois digitais (superior e inferior) e um sistema de leituras de sensores de EC, pH e temperatura da água em tempo real, além de todo um sistema embarcado de controle PID (Proporcional, Integral e derivativo).

A montagem do painel elétrico iniciou-se com o desenvolvimento do projeto elétrico conforme as potências das bombas centrífugas e normas de segurança de instalações elétricas de baixa tensão da ABNT, sendo todos os equipamentos elétricos alocado numa projeto de painel (800 x 250 x 600 mm).

Desenvolvimento do algoritmo que aquisição dos dados dos sensores

O algoritmo de aquisição dos dados dos sensores é parte integrante do conjunto completo de instruções para a programação da placa de controle do sistema. As rotinas de aquisição dos dados dos sensores se baseiam na atualização das variáveis monitoradas em períodos de tempo determinados conforme a demanda de operação. Os dados dos sensores para monitoramento das variáveis de processo são aquisitados por meio de conexão direta com a placa de controle, enquanto os dados dos sensores para monitoramento do microclima do SISMON são atualizados por comunicação via rádio (915 Mhz) entre os nós sensores e a estação de recepção conectada a placa de controle.

Todas as atividades de controle das variáveis relacionadas à fertirrigação, irrigação e monitoramento da casa de vegetação serão realizadas por uma placa controladora desenvolvida. Esta placa de controle é o equipamento que acomoda os componentes eletrônicos do sistema. Nela estão integrados as portas e barramentos de conexão com sensores, barramentos de conexão com os

controladores, barramento de conexão com a IHM, e saídas para acionamento dos atuadores (Figura 3).

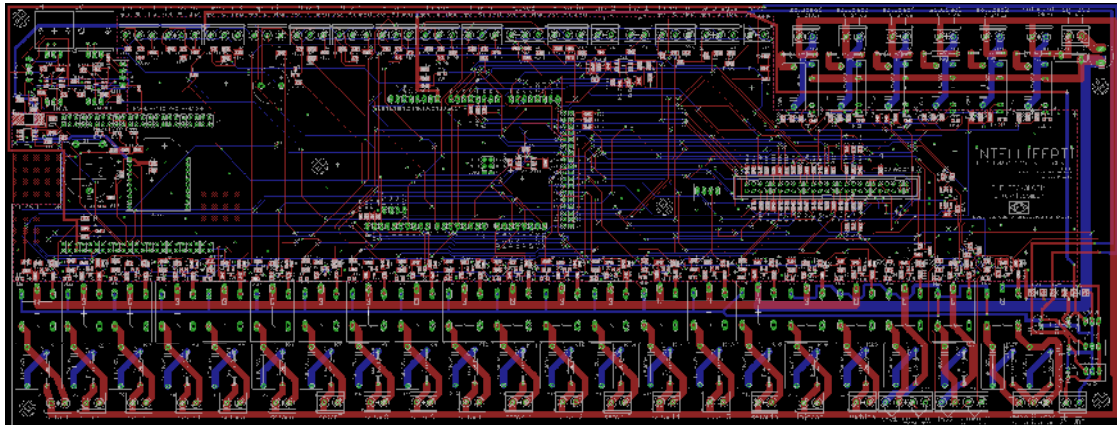


Figura 03 - Esquema eletrônico de fabricação da placa controladora

Realizado um estudo da necessidade de controle da máquina e conforme a especificidade do projeto, foi definido todos os componentes de controle, que são o conjunto de equipamentos utilizados na aquisição dos dados dos sensores, interface humano máquina (IHM), interface de rede, processamento das instruções de operação (lógica de controle e acionamento) e acionamento dos dispositivos atuadores (inversores de frequência das bombas, contadores das válvulas solenoides, torre de sinal, etc.).

Para o processamento das instruções de operação, a placa controladora utiliza um microcontrolador, baseado em um processador RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou "Computador com Conjunto Reduzido de Instruções") de 32 bits e com 512 kbytes de memória flash, embarcado em uma placa de desenvolvimento aberto modelo DUE R3 (Arduino.cc) e programado via IDE Arduino (*Integrated Development Environment* ou "Ambiente de Desenvolvimento Integrado").

Para a interface de rede e comunicação com o SISMON é utilizada uma placa de desenvolvimento aberto do tipo SBC (*Single-board Computer* ou "Computador de placa única"), modelo BeagleBone Black (BeagleBoard.org Foundation), com processador de 1 GHz. A interface de rede será utilizada no monitoramento remoto e parametrização do sistema, possibilitando a realização de diagnósticos e integração com um servidor para a criação de uma interface WEB e um banco de dados central. Sua adoção neste projeto visa permitir a criação de estratégias de controle avançadas, a comunicação com vários nós sensores e o gerenciamento via WEB.

A conexão da placa controladora com a interface humano máquina (Figura 04) é feita por um barramento e cabo flat. A IHM consiste em um painel com display e teclado de membrana, posicionado no painel de comando. Por meio da IHM é possível configurar o modo de operação do sistema, manual ou automático, e configurar as receitas e os tempos de irrigação para cada setor, assim como outros parâmetros operacionais.



Figura 04 - Vista da IHM em funcionamento na máquina

O algoritmo de controle possui dois ciclos principais: inicialização e operação. No ciclo de inicialização são executadas instruções de configuração no sistema e carregamento dos valores operacionais pré-estabelecidos. O ciclo de operação pode trabalhar em modo manual ou automático.

Em modo manual, o sistema opera segundo os parâmetros inseridos via IHM. Neste modo, o operador seleciona primeiramente o setor que deverá ser irrigado. Em seguida são inseridos os valores proporcionais da recomendação de adubação para a cultura desejada, insere-se o EC e pH desejados e outros dados complementares, não necessariamente nesta ordem.

Em modo de operação automático o sistema trabalha com o mesmo conjunto de parâmetros de operação do modo manual. A diferença é que os parâmetros são coordenados segundo o programa de operação da BeagleBone Black, que utiliza os valores microclimáticos na elaboração de estratégias de controle mais elaboradas.

O fluxograma abaixo, (Figura 05) visualiza-se o fluxo de dados do sistema IntelliFerti com a interface WEB, para a supervisão e parametrização do sistema, e os nós sensores e atuadores SIMON da casa de vegetação.

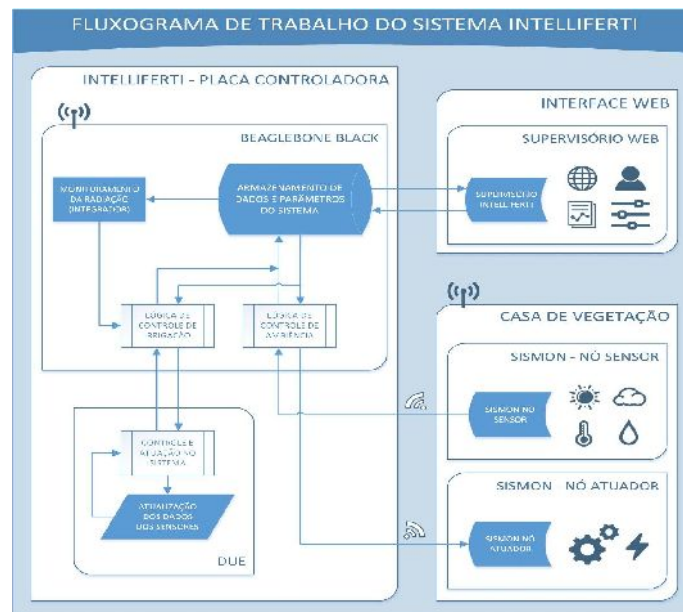


Figura 05 - Fluxograma de trabalho do sistema IntelliFerti

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes funcionais

O objetivo principal dos testes funcionais foi verificar o funcionamento do sistema hidráulico em conjunto com o bloco de injeção, quanto à sua capacidade de injeção numa linha de irrigação principal (recalque) a pressão de serviço requerida para o bom funcionamento (Uniformidade de aplicação > 90%) de sistemas de irrigação localizada (30 mca).

Os testes mostraram perfeito funcionamento dos projetos em conjunto (Figura 06), porém observou-se certa variação de vazão entre os injetores ao longo do bloco de injeção, mesmo que independente da sua ordem de localização no bloco. Esta variação certamente está relacionada às características de cada injetor quanto às perdas de carga ao aspirar à solução.

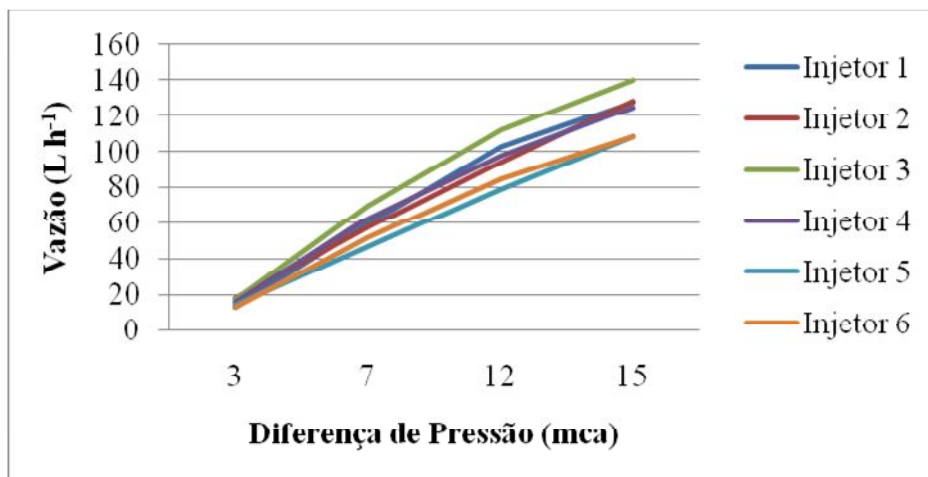


Figura 06 - Teste de funcionamento dos injetores a pressão de recalque constante

Notou-se ainda, que trabalhando com uma pressão de serviço na tubulação de recalque fixa em 26 mca (51 Htz), a frequência máxima (60 Htz) da bomba auxiliar é atingida com um diferencial ou gradiente de pressão máximo possível de 15 mca, para as condições de testes e características do projeto da máquina. Dessa forma, à medida que se aumenta a pressão de serviço na tubulação de recalque, restringe-se o diferencial de pressão possível entre as duas tubulações do bloco de injeção.

A seguir apresenta-se o gráfico da diferença de pressão em função da frequência de rotação da bomba auxiliar a pressão de serviço da bomba de vazão constante em 26 mca (51 Htz) (Figura 07).

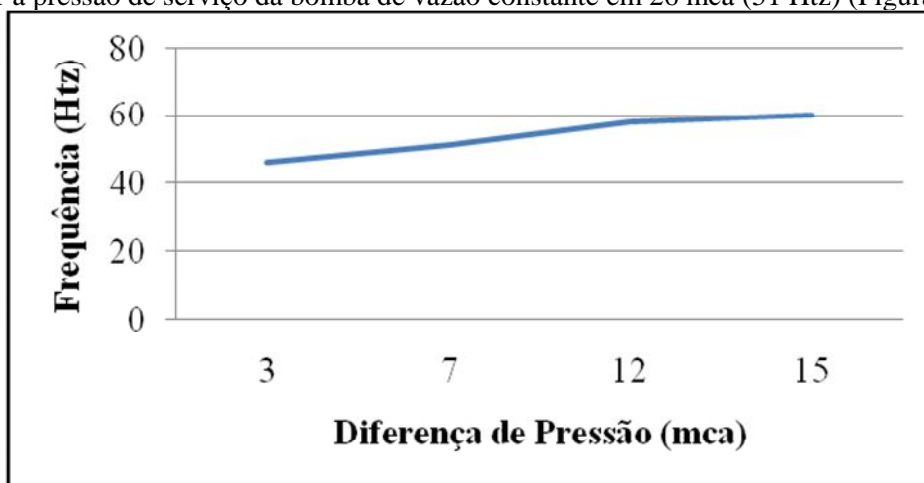


Figura 07 - Diferencial de pressão máximo gerado pela bomba auxiliar a pressão de serviço constante em 26 mca no recalque

Testes de desempenho

Neste ensaio o objetivo foi caracterizar o desempenho de funcionamento de cada injetor a diferentes gradientes de pressão entre as tubulações de recalque e sucção da bomba auxiliar e assim definir uma faixa de trabalho para injeção de fertilizante na máquina.

Observou-se que a frequência da bomba de vazão variou de 40 a 51 Htz, (16 a 26 mca), enquanto que a da bomba de injeção variou de 38 a 60 Htz (Figura 08). Abaixo de 38 Htz há o retorno através dos injetores, da água ou fertilizante a sua caixa de origem, em razão da igualdade de pressões entre as duas tubulações do bloco injetor (Recalque e sucção).

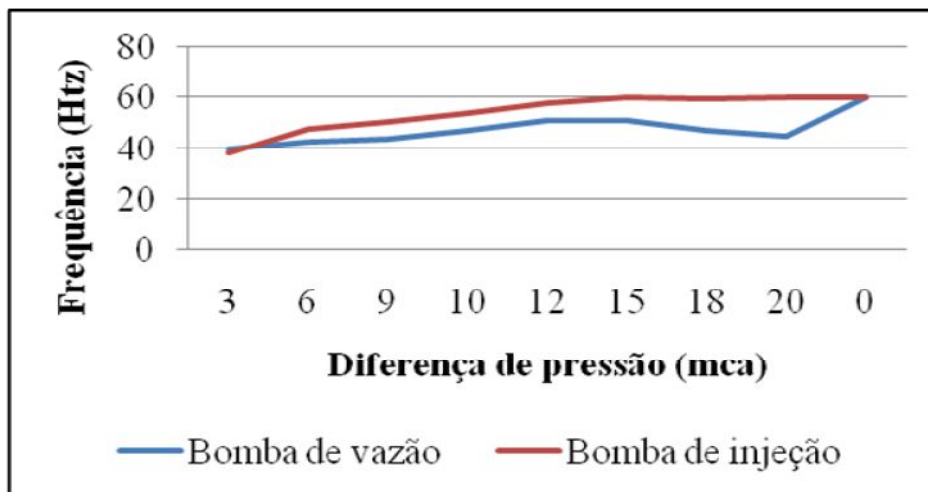


Figura 08 - Diferencial de pressão máximo gerado pelas bombas de vazão e auxiliar a pressão de serviços variáveis no recalque

Os resultados mostraram-se bem consistentes quanto à repetitividade das vazões entre os injetores, porém com certa variabilidade entre eles (Figura 09) em razão da sua perda de carga. Entretanto, de forma geral as linhas de tendência comportaram-se de maneira linear, dentro de certa faixa de trabalho. Assim, conhecendo este comportamento dos injetores, pode-se programar a máquina para trabalhar sempre dentro dos limites que “garantem” a tendência de vazão linear.

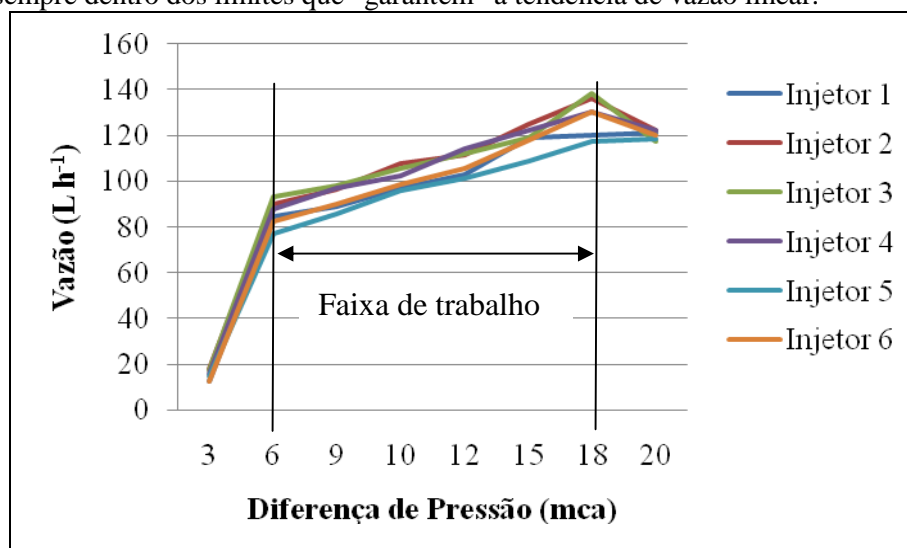


Figura 09 - Teste de funcionamento dos injetores a diferentes gradientes de pressão

A melhor faixa de diferencial de pressão de trabalho da máquina, está entre 6 e 18 mca, o que garante uma vazão de injeção entre 76 a 140 L h⁻¹ de fertilizante. Esta vazão pode ser facilmente modificada utilizando injetores de maior vazão.

CONCLUSÕES

O projeto da máquina na sua totalidade está praticamente desenvolvido, contudo as avaliações de aferição de banguês devem ser realizadas para elucidar e solucionar possíveis problemas operacionais existentes no seu funcionamento. Tanto tecnicamente quanto economicamente, o projeto mostrou-se perfeitamente viável, sendo passível de um enorme potencial de mercado.

Nas próximas etapas do projeto será dado continuidade as testes de desempenho e homogeneidade, e averiguação da funcionalidade do protótipos confeccionados em campo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo -FAPESP, pelo financiamento da pesquisa.

À R4F Tecnologias pelo apoio ao desenvolvimento a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. "**Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. rev." Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013.
- BASSO, L. H.; BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; PINTO, J. M. "**Irrigação e fertirrigação**. Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 1 – 2^a. edição ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica, 2010.
- BLAIR, L. M. AND G. J. TAYLOR. "Maintaining exponential growth, solution conductivity, and solution pH in low-ionic-strength solution culture using a computer-controlled nutrient delivery system." **Journal of Experimental Botany**, n.55, v.10, 2004.
- GUTIÉRREZ, M., S. ALEGRET., CACERES, R., CASADESUS, J., MARFA, O., DEL VALLE, M. "Application of a potentiometric electronic tongue to fertigation strategy in greenhouse cultivation." **Computers and Electronics in Agriculture**, v.57, p.12-22, 2007.
- KIM, H. J., KIM, W. K., ROH, W. K., KANG, C., PARK, J. M., SUDDUTH, K. A. "Automated sensing of hydroponic macronutrients using a computer-controlled system with an array of ion-selective electrodes." **Computers and Electronics in Agriculture**. v.93, p.46-54, 2013.
- PASCUAL, B. "**Riegos de gravedad y a presión**. Departamento de Producción Vegetal. ETSIA, UPV. SPUPV- Valencia. 1996. 465pp.
- RODRÍGUEZ, D., RECA, J., MARTINEZ, J., LAO, T. M., URRESTARAZU, M. "Effect of controlling the leaching fraction on the fertigation and production of a tomato crop under soilless culture." **Scientia Horticulturae**, v.179, p.153-157, 2014.
- SAMSURI, S. F. M. D. O. A. M., UNIV. TEKNOLOGI MALAYSIA, SKUDAI, MALAYSIA ; AHMAD, R. ; HUSSEIN, M. "Development of Nutrient Solution Mixing Process on Time-Based Drip Fertigation System." **Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS)**, Fourth Asia International Conference on, 2010.
- SILVA, F., S. LIMA, C. J. G. S., BARROS, A. C., SILVA, E. M., DUARTE, S. N. "Sais fertilizantes e manejo da fertirrigação na produção de tomateiro cultivado em ambiente protegido." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1173-1180, 2013.
- STEIDLE NETO, A. J., S. ZOLNIER, LOPES, D. C. "Development and evaluation of an automated system for fertigation control in soilless tomato production." **Computers and Electronics in Agriculture** v.103, n.0: p.17-25, 2014.
- TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. "**Fertirrigação em Hortaliças**, série tecnologia apta. Boletim Técnico IAC, Campinas, n. 196, 2011.
- VOOGT, J. O. "Irrigation Scheduling based on Solar radiation." **24 Green**, 2013.
- WAMSER, A., I. MORALES, I., ALVARO, J. E., URRESTARAZU, M. "Effect of the Drip Flow Rate with Multiple Manifolds on the Homogeneity of the Delivered Volume." **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.141: 2015.