

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO MORELI SANTANA

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EM BANCADA DE PINGENTES PARA
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO EM AUTOPROPELIDOS

JANDAIA DO SUL

2023

LEONARDO MORELI SANTANA

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EM BANCADA DE PINGENTES PARA
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO EM AUTOPROPELIDOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da Silva

JANDAIA DO SUL

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Santana, Leonardo Moreli

Desenvolvimento e validação em bancada de pingentes para aplicação de fertilizante líquido em autopropelidos. / Leonardo Moreli Santana. – Jandaia do Sul, 2023.
1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia Agrícola.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da Silva.

1. Máquinas agrícolas. 2. Agricultura de precisão. 3. Adubo líquido. I. Silva, Marcelo José da. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 631

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 1/2023/UFPR/R/JA/CCEAG
PROCESSO Nº 23075.011287/2023-20
INTERESSADO: LEONARDO MORELI SANTANA, MARCELO JOSE DA SILVA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EM BANCADA DE PINGENTES PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO EM AUTOPROPELIDOS

AUTOR: LEONARDO MORELI SANTANA (GRR20173774)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA AGRÍCOLA, APROVADO PELA SEGUINTE BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo José da Silva (Orientador)

Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho

Prof. Dr. Maycon Diego Ribeiro



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO JOSE DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/03/2023, às 10:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MAYCON DIEGO RIBEIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/03/2023, às 10:38, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **OSVALDO GUEDES FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/03/2023, às 10:38, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5336504** e o código CRC **D5EDA2E8**.

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que apesar das dificuldades, se empenham para serem melhores a cada dia, estudando, trabalhando e dedicando tempo suficiente para serem excelentes profissionais e mudarem o rumo de suas famílias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por me conceder saúde e forças para continuar, mesmo quando os problemas pareciam não ter solução.

A todos meus familiares por me apoiarem em todos os momentos de dificuldades enfrentados, principalmente aos meus pais, Odilon e Matilde, e a minha irmã Luana. Aos meus avós, tios e primos, agradeço o apoio e pelas orações para que essa etapa fosse concluída.

Aos meus amigos que fiz durante a graduação, principalmente aqueles que encararam juntos os momentos difíceis na Universidade, como os longos finais de semanas de trabalho e as cansativas noites adentro de estudos. Em especial ao meu amigo Murilo Henrique Ferreira Correa, por colaborar de forma expressiva no desenvolvimento deste trabalho.

Aos docentes e técnicos administrativos, que mesmo diante de todas as dificuldades e limitações do nosso Campus, se propuseram a enfrentá-las e a fazerem o melhor, transmitindo com excelência o ensino durante todo período de graduação. Em especial ao professor Dr. Marcelo José da Silva, por me conceder a oportunidade de desenvolver este trabalho juntos, sanando todas minhas dúvidas com muita paciência.

A Universidade Federal do Paraná e equipe PRAE por me auxiliarem com a oportunidade e com as bolsas estudantis, que contribuíram imensamente nas despesas.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, estiveram presente nessa etapa tão especial da minha vida.

“Saúde, família, trabalho. Não inverta a ordem.”

Joel Jota

RESUMO

O progresso de novas tecnologias, voltadas para aplicação de fertilizantes e líquidos é cada vez mais intensa, principalmente pela fácil absorção das plantas, logística facilitada e menor impacto ambiental. O objetivo desse trabalho foi realizar o desenvolvimento de um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido em bancada e o levantamento de suas características estáticas, baseadas em um equipamento autopropelido. Assim foram montados os pingentes e a bancada experimental, para simular uma seção de nove linhas da barra de um pulverizador com os pingentes para aplicação de fertilizante líquido. Os testes consistiram na coleta da água nas pontas de aplicação com provetas (volume de aplicação); cronometrando o tempo de aplicação; anotando a velocidade indicada no painel eletrônico e as pressões indicadas nos manômetros localizados no início e no final da barra da aplicação. O escalonamento das velocidades de aplicação (1 a $7,5 \text{ m s}^{-1}$ com intervalo de $0,5 \text{ m s}^{-1}$), para a coleta da água foi efetuado pelo painel eletrônico do controlador. Já com os dados coletados e processados, observou-se de fato que a pressão do sistema e a vazão das pontas de aplicação foram diretamente proporcional a velocidade de deslocamento. A vazão e a pressão foram crescentes até a velocidade de $6,5 \text{ m s}^{-1}$, após isso, ambas permaneceram constantes devido a limitação da capacidade da bomba de pulverização e dimensões dos componentes hidráulicos. Os menores coeficientes de variação (menor de 10%) foram obtidos entre as velocidades de 4 a $7,5 \text{ m s}^{-1}$. Ainda na análise da qualidade de aplicação considerando os limites de controle, a condição mais favorável a aplicação de fertilizante líquido foi observada entre as velocidades de 6 a 7 m s^{-1} . Tal condição é compatível com a operação realizada pelos equipamentos autopropelidos em campo.

Palavras-chave: máquinas agrícolas, agricultura de precisão, adubo líquido.

ABSTRACT

The progress of new technologies, aimed at the application of fertilizers and liquids is increasingly intense, mainly due to the easy absorption of plants, facilitated logistics and lower environmental impact. From the development of a device for the application of liquid fertilizer using a self-propelled equipment, the objective of this work was to carry out a survey of the static characteristics (flow, speed, pressure and application rate) in function of the quality in the statistical control. Thus, the pendants and the experimental bench were assembled, to simulate a section of nine lines of the boom of a sprayer with the pendants for the application of liquid fertilizer. The tests consisted of collecting the syrup from the application tips with test tubes (application volume); timing the application time; noting the speed indicated on the electronic panel and the pressures indicated on the pressure gauges located at the beginning and end of the application bar. The staggering of the application speeds (1 to 7.5 m s^{-1} with an interval of 0.5 m s^{-1}) for the spray solution collection was performed by the controller's electronic panel. With the collected and processed data, it was actually observed that the system pressure and the flow of the application nozzles were directly proportional to the displacement speed. The flow rate and pressure increased up to a speed of 6.5 m s^{-1} , after which both remained constant due to the limitation of the spraying pump capacity and dimensions of the hydraulic components. The lowest coefficients of variation (less than 10%) were obtained between speeds from 4 to 7.5 m s^{-1} . were observed between velocities of 6 to 7 m s^{-1} . This condition is compatible with the operation performed by self-propelled equipment in the field.

Keywords: agricultural machinery, precision agriculture, liquid fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESBOÇO DO SISTEMA DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO EM UM TRECHO DA BARRA DO EQUIPAMENTO DE PULVERIZAÇÃO.	13
FIGURA 2 – COMPONENTES DE LIGAÇÃO DA BARRA DE APLICAÇÃO AO PINGENTE. A. CAPA. B. ANEL DE VEDAÇÃO. C. ESPIGÃO. D. ABRAÇADEIRA.	14
FIGURA 3 – DETALHES DA PONTA DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO. A. PONTA DE APLICAÇÃO FABRICADA EM IMPRESSORA 3D. B. CORTE DETALHADO DA.....	15
FIGURA 4 – PINGENTE DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO.....	16
FIGURA 5 – COMPONENTES DO PINGENTE DE APLICAÇÃO.	17
(A) TUBULAÇÃO; (B) CONEXÃO ESPIGÃO; (C) ADAPTADOR DE ROSCA FÊMEA; (D) ANEL DE VEDAÇÃO DE BORRACHA NEOPRENE; (E) PONTA DE APLICAÇÃO;	17
(F) CAPA UNIVERSAL PARA BICO DE PULVERIZAÇÃO COM ENGATE RÁPIDO;	17
(G) ABRAÇADEIRA; (H) ABRAÇADEIRA DE NYLON; (I) CHAPA DE AÇO.	17
FIGURA 6 – BARRA DE APLICAÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL.	18
FIGURA 7 - LAYOUT DO SISTEMA HIDRÁULICO.	19
(1) RESERVATÓRIO; (2) FILTROS; (3); (4) FONTE CHAVEADA; (5) MANÔMETROS DIGITAIS; (6) VÁLVULA DE SEGURANÇA MANUAL; (7) VÁLVULA REGULADORA ELÉTRICA; (8) FLUXÔMETRO; (9) VÁLVULA DE SEÇÃO ELÉTRICA; (10) CONTROLADOR DE VAZÃO; (11) SENSOR DE ROTAÇÃO; (12) SEÇÃO DA BARRA DE UM PULVERIZADOR; (13) PINGENTES PARA APLICAÇÃO.....	19
FIGURA 8 - CONTROLADOR DE VAZÃO. A. PAINEL ELETRÔNICO. B. CONJUNTO DE COMANDO.	20
FIGURA 9 –TAXA DE APLICAÇÃO E VAZÃO MÉDIA DA PONTA DE APLICAÇÃO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE APLICAÇÃO.	23
FIGURA 10 – COMPORTAMENTO DA PRESSÃO INICIAL E FINAL DA BARRA DE APLICAÇÃO DE ACORDO COM A VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO.	25
FIGURA 11 – COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS PONTAS DE APLICAÇÃO.	26
FIGURA 12 – VAZÃO NAS PONTAS DE APLICAÇÃO. A. VELOCIDADE DE 2,0 M S ⁻¹ . B. VELOCIDADE DE 4,0 M S ⁻¹ . C. VELOCIDADE DE 6,0 M S ⁻¹	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1	PRINCÍPIO DA APLICAÇÃO	11
2.1.1	JATO DE FERTILIZANTE DIRECIONADO	12
2.1.2	CONECTOR ESPIGÃO	13
2.1.3	PONTA DE APLICAÇÃO	14
2.1.4	MONTAGEM DO CONJUNTO.....	15
2.2	BANCADA EXPERIMENTAL DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO	17
2.3	AValiação DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO	20
2.4	CONTROLE DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO	21
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1	ANÁLISE DA TAXA E VAZÃO DO SISTEMA EM RELAÇÃO A VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO.....	23
3.2	VARIAÇÃO DE PRESSÃO NA APLICAÇÃO	24
3.3	VARIAÇÃO DA VAZÃO NAS PONTAS DE APLICAÇÃO	26
3.4	ANÁLISE DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO	27
4	CONCLUSÃO.....	29
5	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes líquidos é uma prática estratégica e promissora, tanto para a exploração do potencial de rendimento das culturas, quanto na obtenção de retornos econômicos das lavouras. A maioria dos solos tropicais e subtropicais brasileiros apresentam disponibilidade insuficiente de componentes químicos para atender a demanda das culturas brasileiras, visando à obtenção de elevados rendimentos (BRAGAGNOLO, 2010).

O adubo líquido fornece inúmeros benefícios de operação para o agricultor, quando comparado com o adubo sólido tradicional, principalmente na sua logística, armazenamento, manuseio e distribuição. Essas facilidades representam uma diminuição de custos para o produtor, sendo comprovado ainda uma menor eficiência do adubo sólido tradicional, devido à fixação e lixiviação, o que tem provocado poluição em lagos, rios e aquíferos. O adubo líquido via solo, por sua vez, tem perdas reduzidas devido à alta eficiência de aproveitamento pelas plantas e, portanto, não agredindo o meio ambiente, sendo um produto que dá mais sustentabilidade ao sistema agrícola (SOUZA et al., 2018).

Pesquisadores russos (BUXMANN et al., 2020), desenvolveram técnicas e soluções na aplicação de fertilizantes líquidos e granulares, através de implementos agrícolas aplicadores de fertilizante líquido voltados para o clima russo, sendo destacado a empresa “*Amazonen-Werke*”, que é pioneira na agricultura de precisão e fertilização diferenciada com uso de sistemas de automação, eletrônica e telemática na agricultura. O aumento de aplicação de fertilizantes despertou o interesse de estudos, onde definiram que usando diferentes tecnologias com combinações racionais, aumentam o rendimento e a qualidade de aplicação em produtos agrícolas, gerando um rendimento financeiro final para o agricultor. No trabalho é relatado que as aplicações de fertilizantes minerais líquidos podem ser realizadas usando diferentes tecnologias e várias máquinas agrícolas, dependendo somente do momento e das fases de desenvolvimento das culturas, do tipo de culturas, a concentração de soluções aplicadas de acordo com a substância ativa.

Na maioria das lavouras brasileiras, a aplicação mecanizada de adubos, é realizada por distribuidores centrífugos de fertilizantes granulares. Porém a operação deposita uma parcela do fertilizante sobre o dossel das plantas, causando fitotoxidade nas folhas. Além disso, a aplicação a lanço não concentra o fertilizante próximo à linha de cultivo e possui problemas com a distribuição não uniforme na lavoura, principalmente pela sobreposição das faixas de aplicação.

Outra característica que muitas vezes inviabiliza a aplicação do fertilizante líquido, é o fato de que a condição ideal para aplicação, seria com solo seco e com previsão de chuvas nas próximas horas. Pois em solos úmidos, ocorre maior volatilização da ureia, isso porque com a umidade no solo, há um aumento da difusão de ureia, dessa forma, acarreta maior contato com a urease no solo (LORENSINI et al., 2012).

Uma solução que pode melhorar a adubação nitrogenada de cobertura em lavouras de milho está na distribuição de fertilizante líquido em ambos os lados das linhas de cultivos, a partir de faixas paralelas. Nesse contexto, um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido foi desenvolvido para o acoplamento em equipamentos pulverizadores autopropelidos. A hipótese do trabalho é de que esse dispositivo melhore a qualidade da aplicação e a eficiência de utilização do Nitrogênio pelas plantas; ademais, otimize a produção agrícola através da realização de duas operações em uma única máquina.

O objetivo desse trabalho foi realizar o desenvolvimento de um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido em bancada e o levantamento de suas características estáticas, baseadas em um equipamento autopropelido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido e testado no Campus avançado da Universidade Federal do Paraná em Jandaia do Sul, no laboratório de protótipos de máquinas e mecanização.

2.1 PRINCÍPIO DA APLICAÇÃO

A base da aplicação de fertilizante líquido considerou uma aplicação sendo realizada por um pulverizador autopropelido. A operação pode combinar duas funções distintas (pulverização de agroquímicos e aplicação de fertilizante líquidos) em processos separados, a um mesmo equipamento e sistema hidráulico (reservatório, bomba, válvulas, tubulações, seções de barra). No entanto, a aplicação de fertilizante líquido difere-se pela posição nas hastes de extensão com os bicos de aplicação para adubo líquido. Pois, na pulverização de agrotóxico, se tem como alvo o dossel das plantas, já o jato de fertilizante é dirigido ao solo, próximo a base das plantas, onde o processo de absorção de nutrientes pelas plantas é maior.

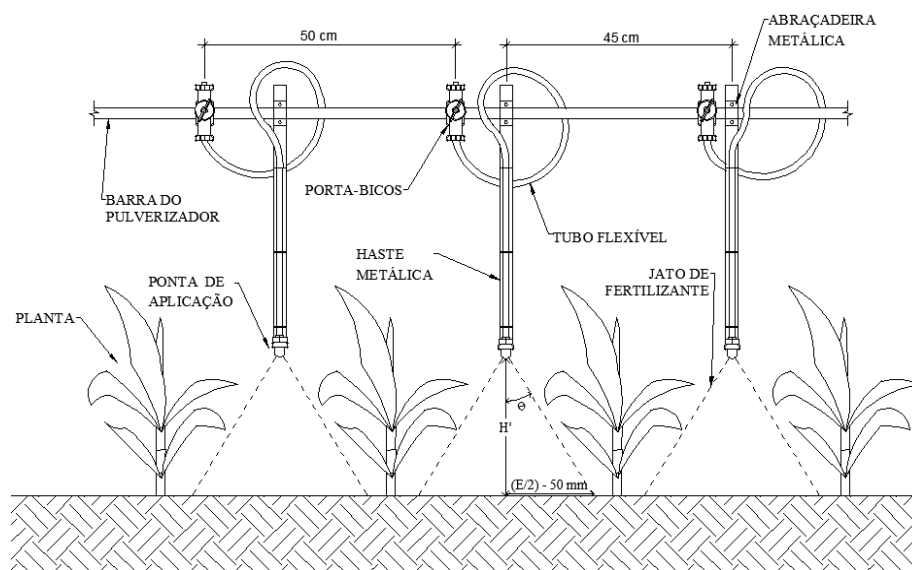
No processo de adaptação do pingente de aplicação de fertilizante líquido na barra de pulverização, uma dificuldade encontrada foi a diferença entre o espaçamento dos porta bicos (0,50 metros), e o espaçamento entre as linhas de plantio (0,45 metros). É primordial que a haste seja posicionada exatamente no centro da linha de plantio, para que os jatos de fertilizante líquido sejam uniformemente distribuídos em ambos lados da linha de cultivo (Figura 1). Para ocorrer então a locação ideal dos bicos de aplicação foi realizada a junção de uma haste metálica, com uma mangueira flexível. Assim, a haste foi posicionada ao centro da linha de plantio, fixada na estrutura da barra de aplicação por uma abraçadeira metálica, juntamente com o tubo que realiza a ligação entre o porta bico e a ponta final de aplicação.

2.1.1 JATO DE FERTILIZANTE DIRECIONADO

Nos pingentes para a aplicação de fertilizante, a ponteira de aplicação fica a uma altura “H” do solo (cerca de 30 cm). Então, o fertilizante líquido proveniente do reservatório é desviado a partir de dois orifícios, formando jatos sólidos direcionados ao solo, próximos a ambas as linhas de plantio. Os orifícios possuem uma angulação “ θ ” em relação a vertical, determinado através da altura do pingente com o solo e da largura das entrelinhas da cultura. A angulação é necessária para que os jatos atinjam a distância de “ $(E/2) - 50 \text{ mm}$ ” da linha de plantio. O “E” é o espaçamento das entrelinhas da cultura e a subtração de 50 mm

representa uma margem de erro, necessária para evitar possíveis alterações no direcionamento do jato, decorrentes de variações na máquina e/ou terreno. Além disso, a margem de erro também evita que o jato se direcione às folhas ou caule da planta, o que pode acarretar danos à cultura e perdas de produtividade.

FIGURA 1 - Esboço do sistema de aplicação de fertilizante líquido em um trecho da barra do equipamento de pulverização.

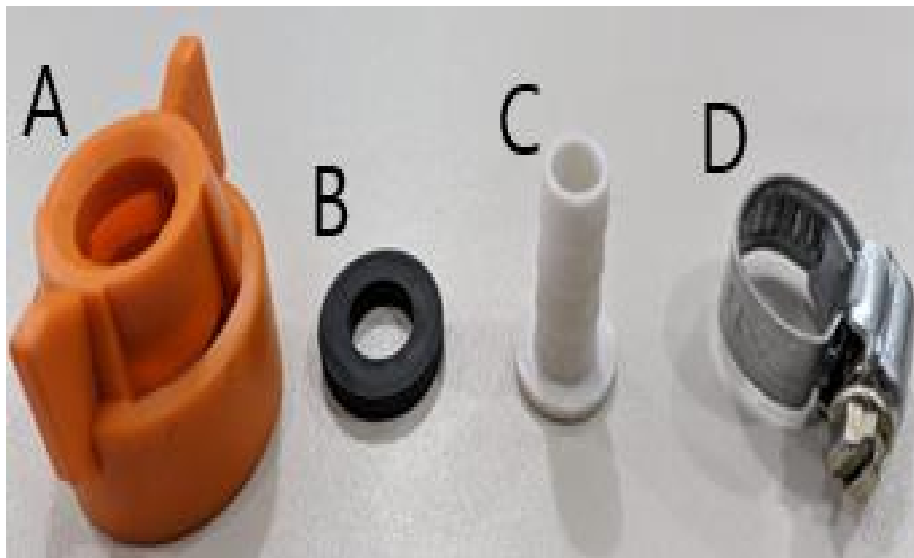


FONTE: O autor (2022).

2.1.2 CONECTOR ESPIGÃO

De modo padronizado em equipamentos pulverizadores, suas barras de aplicação são compostas por porta-bicos, nos quais possuem um sistema de engate rápido para a troca dos mais variados tipos de pontas de pulverização. Tendo em vista a praticidade do engate, uma peça na forma de “espiga” (Figura 2C) foi confeccionada com a finalidade de efetuar a ligação entre o porta-bico e o tubo flexível do pingente. Os espigões de conexão foram fabricados em impressora 3D (Figura 2). A compressão da mangueira sobre o conector espigão foram utilizadas as abraçadeiras sem fim de 13 a 19 mm, a fim do conjunto suportar as forças internas exercidas pelo fluido.

FIGURA 2 – Componentes de ligação da barra de aplicação ao pingente. A. Capa. B. Anel de vedação. C. Espigão. D. Abraçadeira.

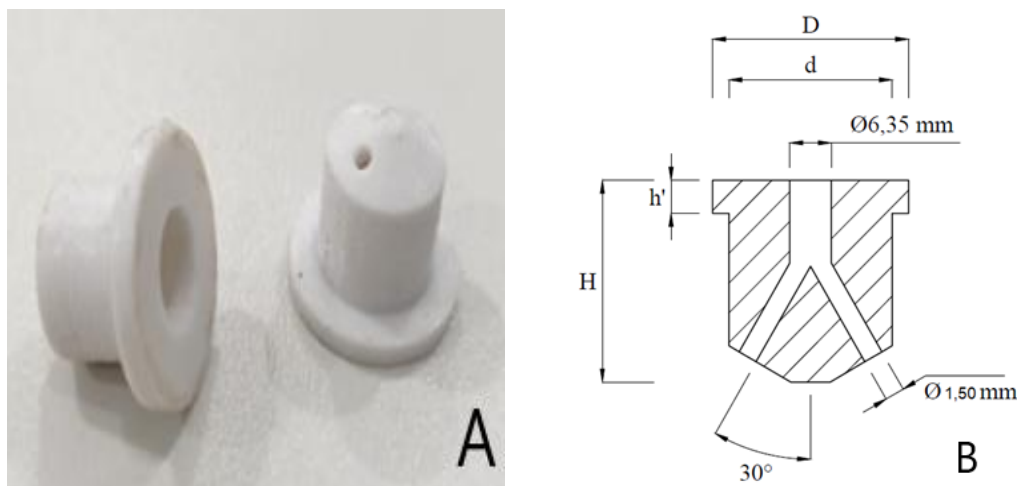


FONTE: O autor (2022).

2.1.3 PONTA DE APLICAÇÃO

A peça possui a função final de direcionar dois jatos do fluido nas proximidades das plantas. Foram dimensionados a partir das medidas do porta bico padronizado, para que o sistema de aplicação seja adaptável ao sistema já utilizado e comercializado. A ponteira deve possuir um orifício de entrada com diâmetro de 6,35 mm, tal valor determinado a partir de testes eliminatórios, e dois orifícios de saída (Figura 3). A modelagem e simulação foram feitas em ambiente SIMULINK®, vinculado ao MATLAB® (*MathWorks*, R2012a, *Natick*, MA, USA). A análise da simulação orientou um dimensionamento com o orifício de saída de 1,50 mm. Os orifícios de saída são opostos e possuem uma angulação de 30° em relação a vertical. A angulação é necessária para que o jato sólido atinja o solo a uma distância de 50 mm da linha de plantio. O diâmetro total “D”, o diâmetro do corpo da ponta de aplicação “d”, a altura total “H” e a altura necessária para ser encaixada na capa para bico de pulverização “h” podem variar de acordo com as dimensões do pingente.

FIGURA 3 – Detalhes da ponta de aplicação de fertilizante líquido.
A. Ponta de aplicação fabricada em impressora 3D. B. Corte detalhado da peça.



FONTE: O autor (2022).

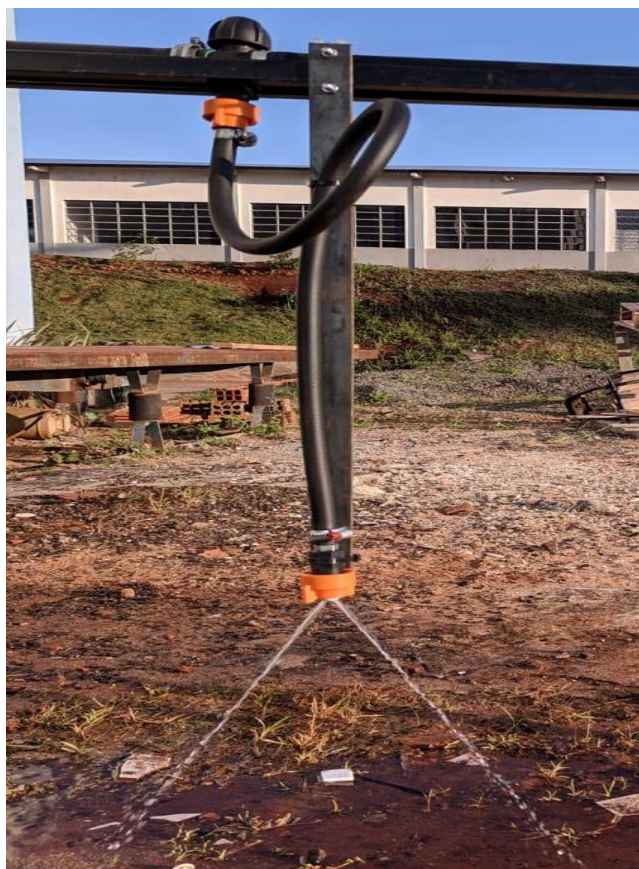
Ambas peças foram projetadas no *software* Autodesk INVENTOR®. A impressão foi realizada em uma impressora 3D *Crealty*, modelo CR-10 V3, com volume de impressão de 36.000.000 mm³ e nivelamento automático com velocidade de 80 mm s⁻¹, cuja conectividade para inserção dos desenhos é feita por meio de cartão SD. O filamento empregado foi o PLA 3D. Para ajustes no módulo a ser impresso, foi usado o *Repetier-Host*, um *software* livre para mecanismos de fatiamento 3D.

2.1.4 MONTAGEM DO CONJUNTO

A montagem do pingente para aplicação de fertilizante líquido consiste na união entre tubulação, espigão, adaptador, capa para bico e ponta de aplicação (Figura 4). A junção das peças foi realizada manualmente. O conjunto do pingente é composto por um tubo de borracha, gaxetas de assento de borracha, haste metálica, fita *hellermann*, porta bico, tampa rápida do bico, adaptador do corpo do bico e bico de fertilizante líquido. O tubo de borracha se conecta com o pulverizador de barra por meio do suporte do bico. Completam a montagem: o espigão (feito de policloreto de vinila), a capa universal para engate rápido e o anel

de vedação. O tubo de borracha conecta-se ao adaptador na outra extensão. Na sequência, a ponta do bico acopla-se ao aparelho usando a capa universal e o anel da sede (uma vedação contra vazamentos). O tubo então é fixado em três pontos na haste metálica pela fita *hellermanns*. Por fim, o pingente de aplicação montado sobre a haste metálica está pronto para ser fixado na estrutura da barra de pulverização, através de uma abraçadeira, dois parafusos, arruelas e porcas.

FIGURA 4 – Pingente de aplicação de fertilizante líquido.



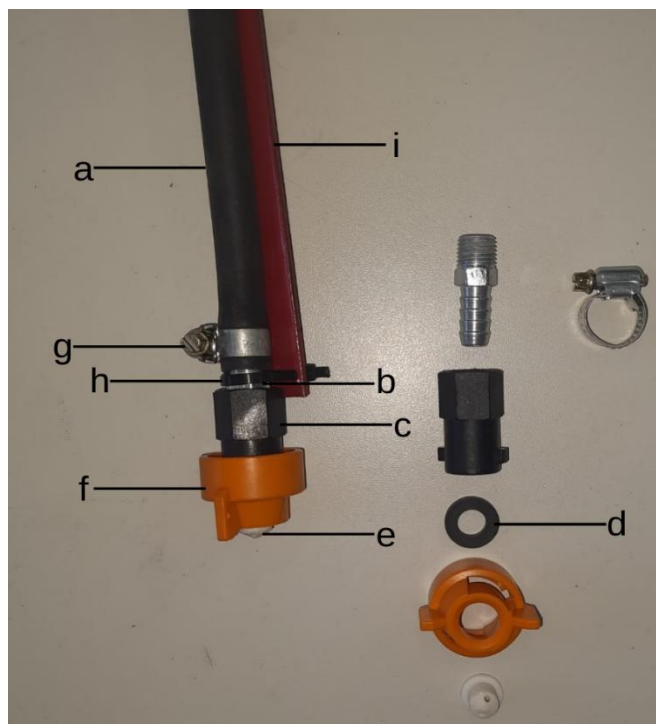
FONTE: O autor (2022).

A especificação das dimensões é fundamental para o funcionamento do conjunto. As principais dimensões das peças (Figura 5) são caracterizadas pela tubulação com diâmetro de 5/16" e 1250 mm de comprimento (a); conexão espigão de Ø 5/16" para rosca macho 1/4" (b); adaptador de rosca fêmea Ø 1/4" para engate rápido (c); anel de vedação de borracha neoprene 19,0 x 10,0 x 4,0 mm (d); ponta de aplicação de fertilizante líquido projetada (e); capa universal para bico de pulverização com engate rápido com pressão máxima de operação de 20 bar (f);

abraçadeira (g); abraçadeira de Nylon (h) e chapa de aço com 5 x 30 mm(i).

FIGURA 5 – Componentes do pingente de aplicação.

- (a) tubulação; (b) conexão espigão; (c) adaptador de rosca fêmea;
 (d) anel de vedação de borracha neoprene; (e) ponta de aplicação;
 (f) capa universal para bico de pulverização com engate rápido;
 (g) abraçadeira; (h) abraçadeira de Nylon; (i) chapa de aço.



FONTE: O autor (2022).

2.2 BANCADA EXPERIMENTAL DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO

A bancada experimental montada foi responsável por simular uma seção de nove linhas de um pulverizador com os pingentes para aplicação de fertilizante líquido (Figura 6). O protótipo foi desenvolvido para a análise dos fatores que influenciam diretamente na aplicação do fertilizante líquido. Também, o protótipo facilita a coleta de dados, pois se a mesma fosse realizada diretamente em um pulverizador autopropelido, os testes iriam depender do tempo disponível do agricultor, que fornecesse o equipamento. Sendo que estes geralmente, estão a campo realizando as aplicações cotidianas.

FIGURA 6 – Barra de aplicação da bancada experimental.

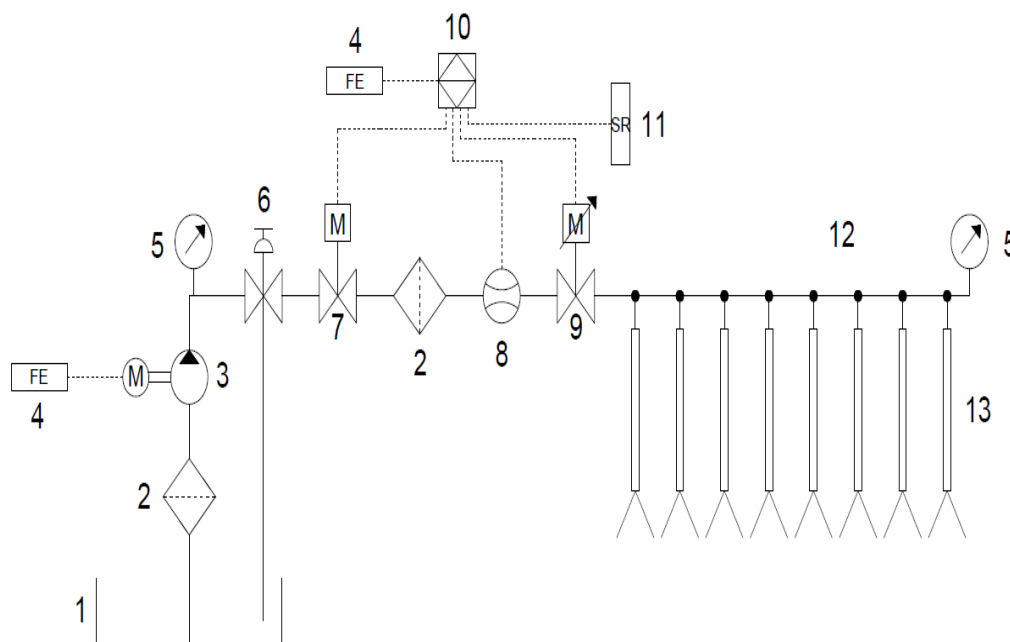


FONTE: O autor (2022).

A bancada (Figura 7) foi composta por: um reservatório de 200 litros (1); dois filtros na linha para proteção do sistema (2); uma motobomba de 0,6 HP, modelo Mon Autoaspirante Lepono que possui vazão máxima de $10\text{-}40\text{ L min}^{-1}$, diâmetro do selo: 12 mm e sucção máxima de 8 MCA (3); uma fonte chaveada para estabilizar a alimentação do sistema (4, “FE”); dois manômetros digitais PRESSGAGE – 0 a 10 Bar para avaliação do diferencial de pressão (5); uma válvula de segurança manual (6); uma válvula reguladora elétrica (7); um fluxômetro (8); uma válvula de seção elétrica (9); um controlador de vazão BASIC 2000 “DRS Pulverizadores” (10); um sensor de rotação (11); uma seção da barra de um pulverizador com 9 linhas; nove porta-bicos (12) e nove pingentes para aplicação de fertilizante líquido (13).

FIGURA 7 - Layout do sistema hidráulico.

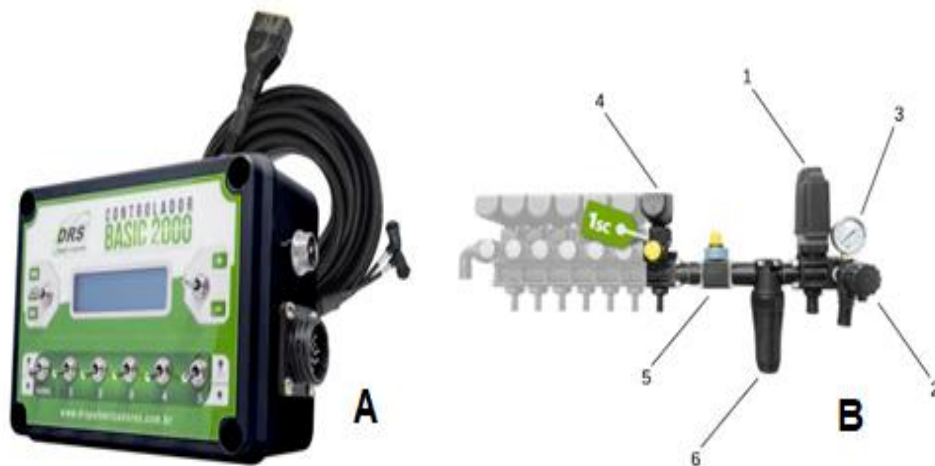
(1) reservatório; (2) filtros; (3); (4) fonte chaveada; (5) manômetros digitais; (6) válvula de segurança manual; (7) válvula reguladora elétrica; (8) fluxômetro; (9) válvula de seção elétrica; (10) controlador de vazão; (11) sensor de rotação; (12) seção da barra de um pulverizador; (13) pingentes para aplicação.



FONTE: O autor (2022).

O controlador de vazão BASIC 2000 da marca “DRS Pulverizadores” corrige a taxa de aplicação instantaneamente mediante a leitura em tempo real da velocidade e vazão (Figura 8-A). Já o comando eletrônico de pulverização (Figura 8-B) foi composto por: uma válvula reguladora elétrica com capacidade de 150 L min^{-1} (1); uma válvula de segurança manual (2); um manômetro de digital (3); uma válvula de seção elétrica com sistema *master-flow* três vias (4); um medidor de fluxo (fluxômetro) de hélice com sensor medindo de 10 a 100 L min^{-1} (5) e um filtro de malha (6).

FIGURA 8 - Controlador de vazão. A. Painel eletrônico. B. Conjunto de comando.



FONTE: DRS Pulverizadores (2022).

As programações das taxas de aplicação foram inseridas no controlador através do painel eletrônico. A velocidade da operação foi coletada por um sensor de velocidade. A partir da taxa de aplicação especificada e a velocidade de operação mensurada, o controlador atua na intensidade do sinal de abertura da válvula de controle eletrônico para a redução ou aumento da vazão. Na linha pressurizada, o fluxômetro mensura a vazão real através da seção de aplicação. Caso a vazão seja diferente da calculada, o controlador atua na válvula reguladora elétrica (abrindo ou fechando a válvula).

2.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO

A velocidade de operação é uma das principais variáveis na qualidade de aplicação, onde está correlacionada diretamente a pressão e a vazão aplicada nas pontas de aplicação.

Os testes consistiram na coleta da calda das nove linhas de aplicação. A coleta foi realizada manualmente com provetas milimetradas, cronometrando o tempo e anotando a velocidade indicada no painel eletrônico. Em cada escalonamento da velocidade foi anotado a pressão indicada, tanto no manômetro inicial quanto no manômetro final, para desse

modo, verificar o diferencial da pressão através da barra de aplicação.

A velocidade equivalente foi escalonada a partir de 1 m s^{-1} , seguindo para 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0 e $7,5 \text{ m s}^{-1}$. Tal faixa de velocidade foi selecionada pela compatibilidade com a operação com os autopropelidos em campo. O volume (mililitro) coletado durante um determinado tempo (segundos) foi convertido para a vazão em Litros por minutos (L min^{-1}). A taxa de aplicação está relacionada diretamente à vazão média unitária dos bicos de aplicação, a distância entre eles, e a velocidade de aplicação definida no painel eletrônico do controlador.

Taxa de aplicação:

$$\text{TAXA} = \frac{Q * 10000}{V * 60 * l} \quad (1.1)$$

Em que:

TAXA – Taxa de aplicação (L ha^{-1});

Q – Vazão média unitária dos bicos (L min^{-1});

V – Velocidade de aplicação (m s^{-1});

l – Distância entre bicos de aplicação (m).

2.4 CONTROLE DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO

Na análise da uniformidade da distribuição de fertilizante líquido ao longo dos nove bicos foi utilizado a abordagem do controle estatístico, por meio de cartas de controle de processos. No qual são utilizados desde 1924 por *ShewHart*, sendo considerado o começo do controle estatístico de qualidade (ROCHA, 2019).

As cartas de controle de qualidade são instrumentos utilizados no controle estatístico de processo e seu propósito é detectar desvios de parâmetros representativos. Agindo de forma preventiva e corrigindo erros de desvios de qualidade, aplicado para obter níveis de qualidade melhor. O nível de qualidade é calculado através do tamanho da amostra e valores

individuais. Os gráficos gerados a partir deste método, dispõem de informações que podem ser utilizadas para identificação de causas envolvidas na variação dos dados, o que de modo indireto fornece evidências das variações aleatórias ou determinísticas de controle (VINHORT DE ASSIS et al.,2018).

Os gráficos de controle de qualidade estão relacionados com os dados que possuem uma distribuição normal. Quando uma amostra estiver fora dos limites (LIC ou LSC) é necessário realizar uma análise sobre a causa do efeito. Idealmente, o processo deve ser reajustado para a redução da variação, para desse modo, ocorrer uma melhoria na qualidade (MONTGOMERY, 2009).

As cartas de controle determinam limites, como a linha superior de controle (LSC) que delimita a máxima variação, e o limite inferior de controle (LIC) que define a mínima variação dentro do controle de qualidade para o processo de qualidade. A média das amostras limita-se à linha central (LC). Já o fator (A_3) depende do número de amostras (MONTGOMERY, 2009). A magnitude dos limites é dependente do desvio padrão (S).

As avaliações se referem a nove pontos amostrais, sendo estes a média de quatro repetições para três velocidades distintas, onde foram analisadas a variação da vazão entre os nove bicos de aplicação.

Cálculos para controle de qualidade, (MONTGOMERY, 2009):

$$LSC = \bar{x} + A_3 * S \quad (2.1)$$

$$LIC = \bar{x} - A_3 * S \quad (2.2)$$

$$LC = \bar{x} \quad (2.3)$$

Em que:

\bar{x} – Média;

A_3 – Fator para os limites de controle;

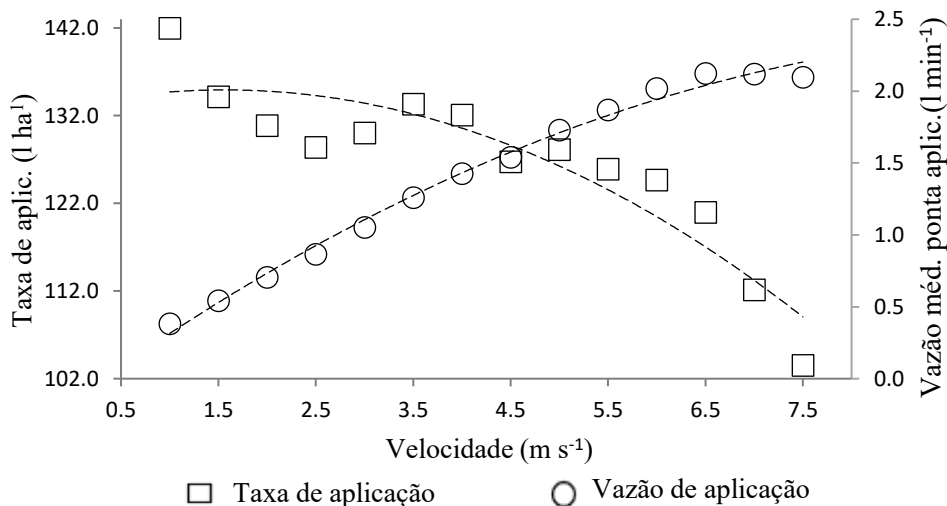
S – Desvio Padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DA TAXA E VAZÃO DO SISTEMA EM RELAÇÃO A VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO

A taxa de aplicação foi diretamente relacionada ao fluxo de saída dos bicos. Constatou-se que a velocidade de aplicação foi um dos principais fatores que interferem na alteração das demais variáveis. Na Figura 9, é possível visualizar os resultados da variação da taxa de aplicação e vazão média da ponta de aplicação em relação a velocidade de deslocamento, onde a taxa de aplicação apresenta um comportamento decrescente com o aumento da velocidade, o que é totalmente coerente com a lógica de aplicação, pois quanto mais rápido é o desenvolvimento do equipamento de aplicação, menor é o volume de calda depositado por metro. Já a vazão média da ponta de aplicação possui um comportamento crescente com o aumento da velocidade, porém há um ponto de máxima vazão entre as velocidades de 6 e 7 m s^{-1} , esta limitação foi associada ao limite físico do sistema (bomba, tubulações, válvulas e pontas de aplicação). A faixa de velocidade que proporciona um melhor rendimento operacional na distribuição de fertilizantes com o autopropelido segundo Santos (2022) está entre 5,6 a 6,7 m s^{-1} . Em velocidades menores ocorre uma redução no rendimento operacional da máquina (hectares por hora).

FIGURA 9 –Taxa de aplicação e vazão média da ponta de aplicação em função da velocidade de aplicação.



FONTE: O autor (2022).

Por fim, pode-se afirmar que o sistema possui uma aplicação uniforme da calda de fertilizante compatível com uma aplicação real de ureia líquida (33% de nitrogênio). Sob uma velocidade coerente de aplicação com um autopropelido ($6,0 \text{ m s}^{-1}$), uma vazão constante atingida pelo sistema hidráulico ($2,0 \text{ l min}^{-1}$), garante uma taxa razoável ($124,7 \text{ l ha}^{-1}$) de aplicação de nitrogênio por hectare ($51,87 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). De acordo com (VASCONCELOS; SANTOS, 2018), a recomendação para adubação nitrogenada em cobertura são de 60 a 100 kg ha^{-1} de N. No entanto, há uma vasta gama de aplicações realizada por agricultores, segundo Duete et al., (2008) a faixa de variação aplicada em cobertura está entre 40 a 150 kg ha^{-1} de N, analisada em um latossolo Vermelho com a cultura do milho.

Sendo assim, o sistema proposto pode atender a aplicação considerando a taxa agrônômica recomendada. Ademais, o atendimento da taxa de aplicação pode ser alcançado em baixa vazão. Atualmente existe uma tendência à redução do volume de calda aplicada no meio agrícola, tanto para defensivos, quanto para fertilizantes líquidos, o que resulta em menor transporte de água ao campo e redução das paradas para reabastecimento do equipamento, assim ocorrendo a diminuição do custo da aplicação e aumento da capacidade operacional do equipamento (LIMA; MACHADO NETO, 2001). O uso racional dos insumos é um fator essencial para a rentabilidade do produtor agrícola.

3.2 VARIAÇÃO DE PRESSÃO NA APLICAÇÃO

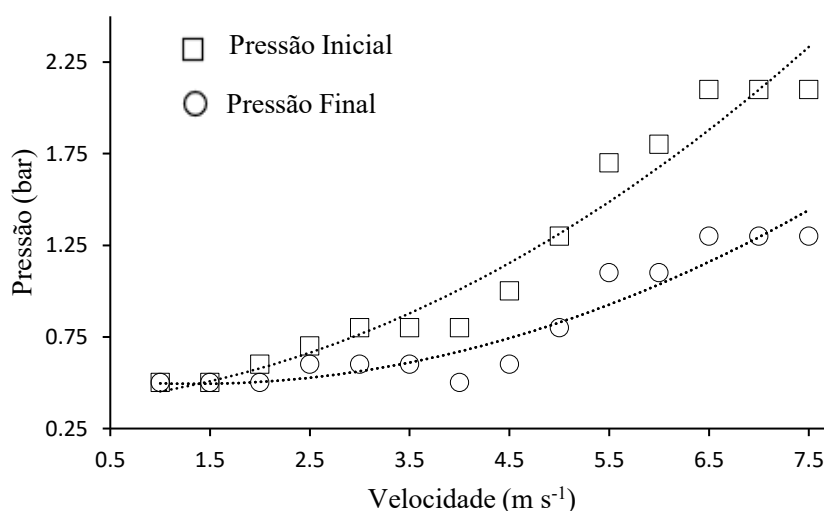
Nos sistemas de pulverização para aplicação de herbicidas por exemplo, a elevação da pressão é a principal responsável por gerar a energia de quebra da tensão superficial das gotas, já no sistema de aplicação de fertilizantes líquido não há a necessidade de pressões elevadas, por não ser necessário a fragmentação do líquido aplicado. Mesmo assim, na aplicação de fertilizante líquido a exigência de qualidade está associada ao fornecimento da vazão especificada.

No sistema em estudo, com o aumento das velocidades, ocorreu respectivamente o aumento das pressões, expressado na Figura 10, tal

resultado é consequência da taxa de aplicação constante. O controlador corrige a vazão instantaneamente ao analisar a velocidade de operação. Portanto, ao aumentar a velocidade de operação, o controlador ajusta a vazão e consequentemente a pressão inicial para manter a taxa de aplicação especificada no painel eletrônico.

Cada equipamento possui uma faixa de pressão diferente alcançada na realização das aplicações. No entanto, os pulverizadores terrestres possuem em média, capacidade de regulação com pressões que variam de 1 a 6 bar, por exemplo¹. Assim a pressão escolhida deve sempre estar entre os limites mínimos e máximos estipulados pelo fabricante das pontas de pulverização. Portanto, para as velocidades 6,5; 7,0 e 7,5 m s⁻¹ pode ser viável a utilização dos autopropelidos para a aplicação de fertilizantes líquidos de acordo com a pressão de trabalho.

FIGURA 10 – Comportamento da pressão inicial e final da barra de aplicação de acordo com a variação da velocidade de deslocamento.



FONTE: O autor (2022).

Além das crescentes pressões do sistema todo, com o escalonamento das velocidades, é notável o aumento da amplitude entre as pressões (inicial e final). Tal diferença de pressão, para uma mesma velocidade está diretamente ligada a desestabilização do sistema. Assim é perceptível que para as velocidades 6,5; 7,0 e 7,5 m s⁻¹ as pressões se

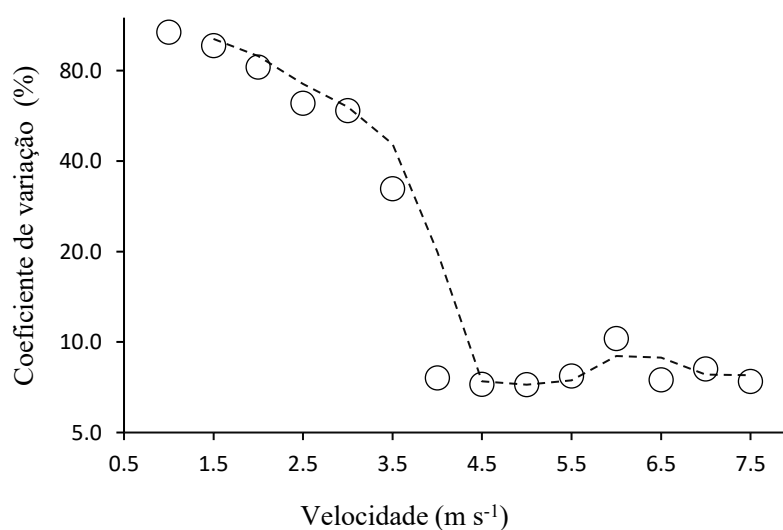
¹ <https://www.teejet.com>

mantem constante devido a estabilização.

3.3 VARIAÇÃO DA VAZÃO NAS PONTAS DE APLICAÇÃO

O coeficiente de variação é um dos principais índices que caracteriza a qualidade da aplicação do fertilizante líquido. O resultado demonstrou que a vazão de saída das pontas de aplicação diminuiu com o respectivo aumento da velocidade (Figura 11). Entre as velocidades 4,0 e 7,5 m s⁻¹ o coeficiente de variação apresentou um comportamento retilíneo, com valores menores que 10,3 %. Resultado no qual pode estar relacionado ao aumento do nível de pressão do sistema conforme é realizado o aumento da velocidade, assim ocorre uma uniformidade ao longo de toda barra de aplicação, definindo ainda que há uma velocidade mínima de trabalho para que ocorra uma aplicação uniforme. As velocidades de 4,5 e 5,0 m s⁻¹ apresentaram o menor coeficiente, um valor de 7,2%. Neste nível de velocidade (4,0 a 7,5 m s⁻¹), o coeficiente de variação se manteve em valores menores de 10,3%. Em geral, um menor coeficiente de variação representa uma melhor qualidade para a operação. De acordo com Gomes (1990), coeficientes de variação menores que 10% são classificados como baixos, de 10 a 20% medianos, 20 a 30% elevados e maiores que 30%, muito elevados.

FIGURA 11 – Coeficiente de variação das pontas de aplicação.



FONTE: O autor (2022).

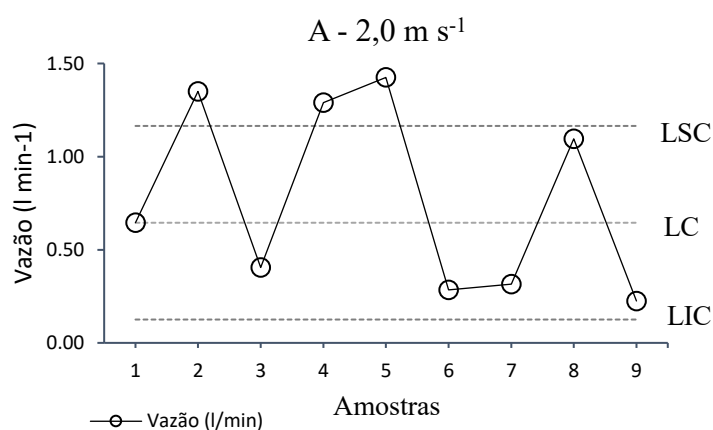
De acordo com Santos (2022), a faixa de velocidade que proporciona o melhor rendimento operacional em um distribuidor de fertilizante autopropelido (Hercules 6.0) é de 5,6 a 6,7 m s⁻¹. Concluiu ainda que não é viável trabalhar em velocidades menores que 5,6 m s⁻¹, devido à redução de rendimento da máquina, por conta do aumento de consumo de combustível.

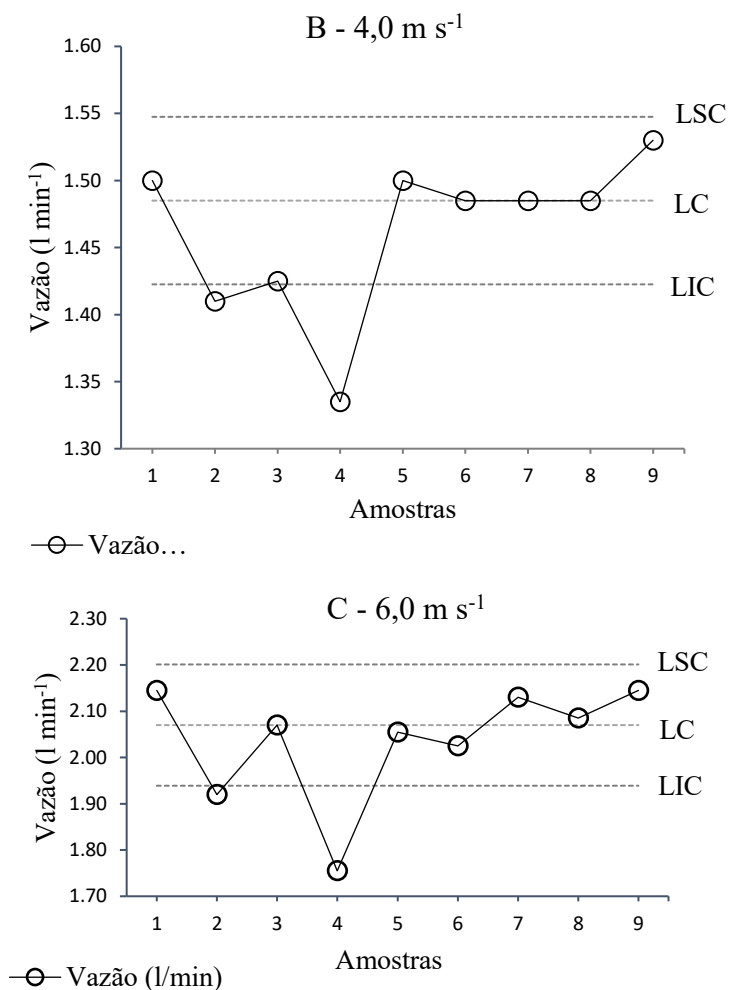
Sendo assim, ao levar em consideração os limites do coeficiente de variação das pontas de aplicação e a capacidade operacional, a faixa de velocidade ideal seria de 5,6 a 6,7 m s⁻¹, pois a capacidade operacional está contida exatamente dentro da menor faixa do coeficiente de variação.

3.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO

Os limites de controle foram calculados para mostrar a extensão na qual as médias e amplitudes variaram. A seção de aplicação foi avaliada considerando as velocidades de 2,0; 4,0 e 6,0 m s⁻¹; as vazões médias (a partir de quatro coletas por ponta de aplicação) foram de 0,65; 1,49 e 2,07 l min⁻¹, respectivamente, conforme representa a Figura 11.

FIGURA 12 – Vazão nas pontas de aplicação. A. Velocidade de 2,0 m s⁻¹. B. Velocidade de 4,0 m s⁻¹. C. Velocidade de 6,0 m s⁻¹.





FONTE: O autor (2022).

Na velocidade de 2,0 m s⁻¹, 33,3% dos valores amostrais ficaram fora dos limites superior ou inferior de qualidade, principalmente pelo baixo nível de pressão, que causa desuniformidade na barra de aplicação. Já para as velocidades de 4,0 e 6,0 m s⁻¹, 22,2% dos valores ficaram fora dos limites de controle. Mesmo assim, os resultados foram considerados satisfatórios. Nessas duas velocidades de operação, o coeficiente de variação foi baixo (menor que 10%).

Apesar do baixo coeficiente de variação da vazão de aplicação observado sob as velocidades de 4,0 e 6,0 m s⁻¹, a ponta 4 apresentou uma vazão irregular (abaixo do limite do controle de qualidade). Nesse caso, a partir do controle de qualidade, o problema localizado na vazão foi associado ao selo diafragma do antigotejo do porta-bicos. Durante a vazão da ponta, o diafragma exerce uma pressão positiva. Se o selo diafragma estiver rompido a pressão na ponta diminui.

O fator limitante ao último valor de velocidade, foi a pressão fornecida pelo sistema, pois quando era inserido valores superiores a $7,5 \text{ m s}^{-1}$, a taxa de aplicação não se conservava. É fato que velocidades de operação baixas ($1 \text{ a } 4 \text{ m s}^{-1}$) não coincidem com a realidade de aplicação de um pulverizador autopropelido, no entanto, foram realizadas para explorar a reação dos jatos do líquido em velocidades extremamente baixas.

4 CONCLUSÃO

O uso de fertilizantes líquidos se torna cada vez mais viável na agricultura mundial, principalmente quando não é necessário a aquisição de um equipamento específico para sua aplicação. O pulverizador autopropelido foi considerado como uma proposta alternativa para aplicação de fertilizante líquido, através da fixação das hastes extensoras na barra de aplicação, de modo que o agricultor mesmo, realize o acoplamento das hastes. Testes de bancada mostraram que a aplicação de fertilizante líquido foi compatível com a capacidade operacional do pulverizador autopropelido (pressão de trabalho, taxa de aplicação e velocidade de avanço). Além disso, o processo proposto mostrou potencial para melhorar a qualidade da aplicação, através de valores de vazão de saída do bico que apresentaram coeficiente de variação inferior a 10%.

5 REFERÊNCIAS

- BRAGAGNOLO, J. **Adubação nitrogenada à taxa variada com o n-sensor nas culturas do milho e trigo**. 2010. 110f. Tese (Mestrado) – Curso de Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5516/BRAGAGNOLO%2c%20JARDDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 jan. 2023.
- BUXMANN, V. **Innovative technologies and equipment from “amazone” company for fertilizer application**. E3S Web of Conferences. **Anais...EDP Sciences**, 4 dez. 2020.

DUETE, R. R. C.; MURAOCA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio pelo milho em latossolo vermelho**. Seção iv-fertilidade do solo e nutrição de plantas - R. Bras. Ci. Solo, 32:161-171, 2008.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

KS PULVERIZADORES. **A importância de se regular a pressão do pulverizador**. Disponível em: < <https://www.kspulverizadores.com.br/blog-ks/saiba-a-import%C3%A2ncia-de-se-regular-a-press%C3%A3o-do-pulverizador.html>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

LIMA, P. R. F.; MACHADO NETO, J. G. **Otimização da aplicação de fluazifop-p-butil em pós-emergência na cultura da soja**. v. 19, n. 1, p. 85–95, 2001.

LORENSINI, F.; CONTI, L.; TRINDADE, M. M.; MELO, G. W.; **Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada** v. 42, n. 7, p. 1173–1179, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004. 513 p. 4a ed. Rio de Janeiro, 2009.

ROCHA, H. M. **Controle Estatístico de Qualidade**. Volume uni ed. Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS. A. R. **Análise do rendimento e consumo do distribuidor autopropelido de fertilizantes**. Universidade Federal do Maranhão – Curso de Engenharia agrícola. p. 10–25, 2022.

SOUZA, R. F.; SILVA JUNIOR, C. L. **Avaliação de produtividade de milho com adubação convencional e líquida**. p 3 – 8, 2018.

VARGAS, V. P., SANGOI, L., ERNANI, P. R., PICOLI, G. J., & CANTARELLA, H. (2015). **Maize leaf phytotoxicity and grain yield are affected by nitrogen**

source and application method. Agronomy Journal, 107(2), 671–679.
doi:10.2134/agronj14.0121

VASCONCELOS, C. A.; SANTOS, H. L. **Nutrição e adubação do milho**. Inf. EPAMIG - Agropec., Belo Horizonte, 6 (72) dez. 1980.

VINHORT, A. A.; GOMES, A. **Proposta de aplicação de técnicas de controle estatístico de processo em uma empresa de concentrados para refrigerantes**. p 25, Manaus 2018.