

**GUSTAVO RAMOS GOMES**

**ACURÁCIA E PRECISÃO DE UM SISTEMA DOSADOR DE DEFENSIVOS  
AGRÍCOLAS PARA ABASTECIMENTO DE PULVERIZADORES**

**Botucatu  
2022**



**GUSTAVO RAMOS GOMES**

**ACURÁCIA E PRECISÃO DE UM SISTEMA DOSADOR DE DEFENSIVOS  
AGRÍCOLAS PARA ABASTECIMENTO DE PULVERIZADORES**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Energia na  
Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha  
Antuniassi

**Botucatu**

**2022**

G633a                      Gomes, Gustavo Ramos  
Acurácia e precisão de um sistema dosador de defensivos  
agrícolas para abastecimento de pulverizadores / Gustavo  
Ramos Gomes. -- Botucatu, 2022  
70 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. abastecimento. 2. dosador. 3. preparo de calda. 4.  
tecnologia de aplicação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

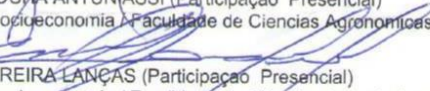
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ACURÁCIA E PRECISÃO DE UM SISTEMA DOSADOR DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS PARA ABASTECIMENTO DE PULVERIZADORES

AUTOR: GUSTAVO RAMOS GOMES

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASI (Participação Presencial)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Presencial)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

  
Pesquisador Dr. RODOLFO GLAUBER CHECHETTO (Participação Presencial)  
./ AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Botucatu, 01 de dezembro de 2022



**Aos meus pais Francisco e Antonio Carlos que  
me incentivaram tanto em vida quanto em  
morte à buscar o melhor pra mim.**

**Dedico**



## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Solange por ser uma mulher forte e dar o seu melhor na minha criação, ser minha base e por me dar uma perspectiva diferente sobre a vida.

Ao meu irmão pelo incentivo e por me fazer superar qualquer desafio.

Aos meus queridos avós Francisco e Palmyra pelo amor e apoio incondicional financeiro e emocional em todas as minhas fases.

À minha segunda família composta pelas minhas irmãs Ana e Gabriela, minha mãe Sandra e meu pai Antonio que nunca descreditaram de mim, do meu potencial e da minha força, e que sempre me motivaram e ensinaram a ser um homem melhor para o mundo, tanto no melhor quanto no pior momento.

Ao meu bairro Vila Virginia de Ribeirão Preto – SP, que me proporcionou crescimento de vida e amigos com experiências e vivências de rua e libertinagem do espírito.

À minha namorada pelo companheirismo, amizade, compreensão, ajuda e motivação pessoal e profissional.

Ao meu amigo Michael Althman pelos 7 anos de amizade, irmandade, companheirismo e ensinamentos.

Aos meus amigos de laboratório e pós-graduação que fizeram ou que fazem parte da equipe do Prof. Ulisses.

Ao Prof. Dr. Ulisses, pela amizade, orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de profissional em todos esses anos.

À Agroefetiva pela confiança em meu trabalho, pela oportunidade de evoluir como profissional e como pessoa, pelo conhecimento e experiência adquiridos nesses últimos cinco anos.

À participação da banca examinadora composta pelo Prof. Ulisses, Prof. Kléber e em especial ao Dr. Rodolfo Chechetto pelo companheirismo, boas conversas, ensinamentos e confiança nesses últimos cinco anos.

Ao Programa de Pós-Graduação Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Rural e a todos os funcionários e colaboradores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Campus de Botucatu, por ter me acolhido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.



## RESUMO

O processo de pulverização demanda de diferentes tecnologias trabalhando em conjunto com agilidade, rapidez e segurança ao trabalhador para todas as propriedades agrícolas. O processo de uma correta pulverização dos defensivos agrícolas de maneira mais sustentável e racional das atividades realizadas é importante. Durante a aplicação existem alguns fatores que interferem na segurança e qualidade do princípio ativo dos defensivos agrícolas, como fatores ambientais, técnicas de aplicação, condições operacionais, preparo e aspectos físico-químicos da calda e segurança do aplicador e ou preparador da calda. Inúmeras tecnologias estão sendo desenvolvidas para auxiliar esses trabalhadores, sistemas de preparo de calda é um desses, no Brasil atualmente existem três, no incorporador, pré-mistura e calda pronta, todos desenvolvidos para aumentar a agilidade e praticidade dos preparadores e melhorar a qualidade da calda de pulverização. Utilizar um equipamento capaz de realizar o preparo de caldas junto ao abastecimento de água, diferentemente dos demais, torna-se uma ferramenta interessante para agregar ainda mais o preparo e a segurança do preparador. O objetivo deste trabalho foi verificar a acurácia e precisão dos dosadores (bombas injetoras de sucção) que compõe este equipamento de dosagem por fluxo fechado. Para cada dosador há a possibilidade de selecionar e ajustar diferentes configurações, em porcentagem, de sucção de qualquer substância (dosagens) de acordo com a necessidade dos usuários e da operação de pulverização. As dosagens que podem ser selecionadas por meio de válvulas manuais que estão presentes no corpo do dosador, e ao configurar cada dose desejada será determinada a dosagem de sucção do dosador. Dessa forma, foram utilizados três dosadores da marca Dosatron para realizar 1 ensaio em esquema fatorial 3 x 10, 3 dosadores (D3RE5 (1 e 2) e D3RE10 (3)) e 10 valores de dosagem: 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 4,5% e 5% para os dois dosadores D3RE5, e 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% e 10% para D3RE10. Cada dosador foi avaliado individualmente e em conjunto obtendo a diferença de volume de água que foi succionada pelo dosador e aquela que restava no balde. Para desenvolver uma análise exploratória dos dados, estes valores obtidos foram distribuídos em planilha de Excel para a determinação da porcentagem de erro de acurácia das doses reais obtidas em cada dosagem e a precisão quanto a tendência linear dos erros. Com os erros calculados comparou-se com o erro de acurácia da norma ISO 21191, 2021 a qual orienta basicamente que o erro desse tipo sistema de dosagem deve permanecer em uma faixa de + 2,5% a - 2,5% de acurácia. De maneira geral, as doses obtidas determinaram duas faixas, uma com maior segurança na acurácia e outra com menor segurança de acurácia, a precisão ocorre por haver em todos os dosadores uma faixa, a de maior segurança contendo de 1 a 3 dosagens que respeitam as doses esperadas com as doses obtidas de acorno com a norma ISO. A precisão para os dosadores pode ser determinada de acordo com a tendência de os valores das doses apresentarem erros maiores em baixas dosagens seguidas pela diminuição do erro com o aumento das dosagens selecionadas. O erro deveria ser menor para todas as doses de todos os dosadores, se enquadrando na margem de segurança de  $\pm 2,5\%$ , porém isso não ocorre, pode-se dizer que não estão totalmente acurados, porém precisos até mesmo aos erros. Para as doses que se enquadram na margem de segurança estão acurados e precisos. Outro fator relacionado com a acurácia do sistema é sua limitação em manter os erros dos dosadores contínuos, mostrando que em cada situação de dosagem os erros se alteram, atingindo o erro permitido de

$\pm 2,5\%$  em poucas dosagens dos dosadores isolados e em conjunto com outros dosadores, o erro extrapola esse limite. Conclui-se que por se tratar do desenvolvimento de um sistema fechado de transferência e dosagem, é comum se deparar com erros dentro de um sistema manual (analógico), os quais foram obtidos pelos três dosadores, trabalhando individualmente ou coletivamente. Em estudos futuros deve-se focar em um sistema eletrônico (automatizado) para reduzir os erros obtidos, pois com este tipo de sistema pode-se fornecer ajustes mais precisos utilizando softwares de abertura e fechamento de válvulas para o processo de sucção dos dosadores e assim, correlacionar com os dados obtidos de maneira analógica.

**Palavras-chave:** abastecimento; dosador; preparo de calda; tecnologia de aplicação.

## ABSTRACT

The spraying process demands different technologies working together with agility, quickness, and worker safety for all farms. The process of a correct spraying of pesticides in a more sustainable and rational way is important. During the application there are some factors that interfere in the safety and quality of the active ingredient of pesticides, such as environmental factors, application techniques, operating conditions, preparation and physical-chemical aspects of the spray solution, and safety of the applicator and/or the spray solution preparer. Numerous technologies are being developed to help these workers, grout preparation systems are one of these, in Brazil there are currently three, in the incorporator, premix and spray solution ready, all developed to increase the agility and practicality of the preparers and improve the quality of the spray solution. Using an equipment capable of performing the spray solution preparation along with the water supply, differently from the others, becomes an interesting tool to add even more to the preparation and safety of the preparer. The main purpose of this work was to verify the accuracy and precision of the dispensers (suction injection pumps) that make up this closed flow dosing equipment. For each dispenser there is the possibility to select and adjust different settings, in percentage, of suction of any substance (dosages) according to the needs of the users and the spraying operation. The dosages can be selected by means of manual valves that are present on the dispenser unit's body, and by setting each desired dosage the dosing unit's suction will be determined. In this way, three Dosatron dispensers were used in a 3 x 10 factorial scheme, 3 dispensers (D3RE5 (1 and 2) and D3RE10 (3)) and 10 dosage values: 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, and 5% for the two D3RE5 dispensers, and 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, and 10% for D3RE10. Each metering device was evaluated individually and together by obtaining the difference in volume of water that was suctioned by the dispenser and that which remained in the bucket. To develop an exploratory analysis of the data, these obtained values were distributed in an Excel spreadsheet to determine the percentage of error of accuracy of the actual doses obtained in each dosage, and the accuracy regarding the linear trend of the errors. The calculated errors were compared with the accuracy error of ISO 21191, 2021, which basically states that the error in this type of dosing system should remain within a range of + 2.5% to - 2.5% accuracy. In general, the doses obtained determined two ranges, one with greater safety in accuracy and another with lower accuracy safety, the precision occurs because there is a range in all the dispensers, the one with greater safety containing 1 to 3 dosages that respect the expected doses with the doses obtained according to the ISO standard. The accuracy for the metering units can be determined according to the tendency of the dose values to have larger errors at low dosages followed by the error decreasing with increasing selected dosages. The error should be smaller for all the doses of all the metering units, falling within the safety margin of  $\pm 2.5\%$ , but this does not occur, so it can be said that they are not fully accurate, but accurate to the extent of the errors. For the doses that fall within the margin of safety they are accurate and precise. Another

factor related to the accuracy of the system is its limitation in maintaining the errors of the continuous dispensers, showing that in each dosing situation the errors change, reaching the allowed error of  $\pm 2.5\%$  in a few dosages of isolated dispensers and together with other dispensers, the error extrapolates this limit. It can be concluded that because it is the development of a closed transfer and dosing system, it is common to encounter errors within a manual system (analog), which were obtained by the three dispensers, working individually or collectively. In future studies one should focus on an electronic system (automated) to reduce the errors obtained, because with this type of system one can provide more precise adjustments using software for opening and closing valves for the suction process of the dispensers and thus correlate with the data obtained analogically.

**Keywords:** application technology; dosing device; grout preparation; supply.

## SUMÁRIO

|              |                                          |           |
|--------------|------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                   | <b>15</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>       | <b>17</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Tecnologia de aplicação.....</b>      | <b>17</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Segurança do trabalho.....</b>        | <b>18</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Defensivos e formulações.....</b>     | <b>21</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Volume de calda.....</b>              | <b>22</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Mistura em tanque.....</b>            | <b>23</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>Sistemas de preparo de calda.....</b> | <b>25</b> |
| <b>2.7</b>   | <b>Bomba injetora .....</b>              | <b>27</b> |
| <b>2.8</b>   | <b>Precisão e acurácia.....</b>          | <b>28</b> |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>          | <b>31</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Local .....</b>                       | <b>31</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Delineamento do ensaio .....</b>      | <b>31</b> |
| <b>3.2.1</b> | <b>Delineamento experimental.....</b>    | <b>31</b> |
| <b>3.2.2</b> | <b>Metodologia .....</b>                 | <b>33</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>      | <b>38</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>         | <b>62</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÕES .....</b>                  | <b>63</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                  | <b>65</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

A busca por maior produtividade e redução de custos no campo gera avanços tecnológicos constantes para a agricultura em diferentes áreas, principalmente, em tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. O processo de pulverização demanda de diferentes tecnologias trabalhando em conjunto, para que haja uma correta pulverização dos defensivos agrícolas de maneira mais sustentável e racional das atividades realizadas.

Durante a aplicação existem alguns fatores que interferem na segurança e qualidade da deposição do princípio ativo dos defensivos agrícolas sobre o alvo, como exemplo, tem-se os fatores ambientais, as técnicas de aplicação, condições operacionais e aspectos físico-químicos da calda. Atrelado à condição operacional e aos aspectos físico-químicos da calda, também pode-se relacionar os precedentes à aplicação, como o preparo de calda e os defensivos agrícolas utilizados.

Ao realizar o preparo deve-se atentar com o cuidado e a segurança da calda preparada (podendo gerar a incompatibilidade físico-química) bem como a saúde dos preparadores (pela exposição à possíveis contaminações). A qualidade da calda está ligada à quantidade correta do produto que é dosada e pela compatibilidade desses com água, adjuvantes e outros defensivos agrícolas.

A mistura em tanque deve ser realizada com cuidado para evitar possíveis problemas de compatibilidade que podem gerar incompatibilidade pela interação física dos ingredientes inertes (formulações e solventes) e interação química associada à molécula desses produtos. Além da mistura a exposição do preparador deve ser evitada, já que o preparo é feito manualmente pelos aplicadores e ou outros trabalhadores. O mais utilizado é com o auxílio de copos dosadores ou despejando o volume desejado direto das embalagens dos defensivos no tanque (as quais vem com marcações em volume), incorporadores e pré misturadores.

Pode haver contato indireto ou direto do trabalhador ao manusear tais produtos causando alguma exposição e possível contaminação, a utilização de EPI (equipamento individual de proteção) é recomendada para complementar a segurança. A adoção de jarras com bico, provetas de plástico graduadas e sistemas de dosagem, pode ser utilizado para evitar problemas de segurança, o que envolve também o cuidado no manuseio das embalagens desde a abertura até o descarte delas.

Para estes cuidados na segurança eleva-se o tempo de preparo de calda e abastecimento do tanque do pulverizador, o que é normal, porém em algumas situações de aplicações de emergência ou até mesmo negligência da segurança e priorização do rendimento, o preparo mais ágil e rápido se faz necessário. O preparo prático e ágil aumenta a demanda por novas tecnologias de dosagem cada vez mais eficientes. Alguns sistemas foram desenvolvidos com o objetivo de agilizar e oferecer maior segurança no preparo de calda, entre eles pode-se citar os três mais utilizados no Brasil, sistema direto no incorporador, pré mistura e calda pronta.

A utilização de um equipamento capaz de realizar o preparo de caldas junto ao abastecimento de água, torna-se uma ferramenta interessante para agilizar e assegurar um preparo mais eficiente. Caracterizados como sistemas fechados de transferência de produtos ou até mesmo de sistemas fechados para dosagem desses, estão sendo desenvolvidos. No presente trabalho um sistema de dosagem por fluxo foi desenvolvido com o objetivo de dosar diferentes defensivos por meio de componentes dosadores (bombas injetoras acionadas por fluxo). A importância desse sistema de dosagem é a possibilidade de evitar contaminações pela exposição dos preparadores de calda com relação à colocação dos defensivos diretamente nos tanques dos pulverizadores.

De maneira geral, é possível dosar os defensivos dentro de um sistema fechado, com a mecânica para abastecimento de um tanque acionado pelo fluxo de água, realizado pelas bombas injetoras. O objetivo deste trabalho foi verificar a acurácia e precisão dos dosadores (bombas injetoras de sucção) que compõe este equipamento de dosagem por fluxo fechado quanto às suas diferentes configurações oferecidas pelos dosadores e que podem ser selecionadas em cada dosador do sistema de acordo com a necessidade da operação de pulverização.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Tecnologia de aplicação

Segundo Antuniassi et al. (2017) a tecnologia de aplicação corresponde à um conjunto de informações técnicas para a colocação do defensivo agrícola no alvo, de maneira correta, segura, econômica e efetiva com o objetivo de controlar determinados alvos com a mínima contaminação do meio ambiente. O processo da aplicação relaciona alguns fatores de pulverização para seu sucesso, o monitoramento da lavoura por exemplo, é essencial para que se identifique patógenos, insetos e plantas daninhas que serão os possíveis causadores de prejuízo e por consequência, alvos do controle fitossanitário durante a pulverização dos defensivos agrícolas (ANTUNIASSI et al., 2015; BONADIO et al., 2015).

A identificação do alvo direciona para a tomada de decisão da aplicação, a escolha do equipamento pulverizador, qual será sua calibração, regulagem e como as características operacionais interferem o sucesso da pulverização. Dentre as características pode-se citar a capacidade do tanque, velocidade de aplicação, altura de barra, tipo de ponta (definir a pressão, vazão e espectro de gotas) e por fim o tipo de defensivo a ser utilizado (CONTIERO et al., 2018; MORAES et al., 2019).

É necessário um conjunto de conhecimentos para gerenciar todo o processo de aplicação, a determinação de todos os fatores facilita o gerenciamento do produto para aplicá-lo de maneira efetiva e sem causar prejuízos. Abrangendo para diferentes defensivos que podem ser utilizados, sejam separadamente ou em mistura é importante salientar os riscos que estes podem causar em caso de deriva. Um defensivo pode ser classificado de acordo com seu modo de ação (inseticida, fungicida, herbicidas, acaricida e bactericida), sua formulação, solubilidade, absorção pela planta e toxicidade (MATUO, 1990; RAETANO, 2019).

Com o passar dos anos é natural que ocorram atualizações e reformulações nos defensivos e no processo de pulverização, a tecnologia se integra gradualmente aos pulverizadores. E, que por sua vez se relacionam com as pontas, com os diferentes defensivos e adjuvantes (mistura entre eles no tanque dos pulverizadores), com os efeitos físico-químicos da calda de pulverização, com o abastecimento de calda e água no tanque, com o preparo de calda e principalmente, com o recurso humano frente a estes fatores (MIRANDA et al., 2012).

O operador e preparador de calda são importantes para a determinação do sucesso da pulverização, é necessário a capacitação e treinamento da mão de obra envolvida em cada etapa do processo. O oferecimento de maior segurança para estes trabalhadores, priorizando procedimentos e equipamentos mais adequados para sua saúde e proteção permite reduzir exposição e contaminação deles (CONTIERO et al., 2018).

O defensivo agrícola é um produto químico e pode oferecer algum nível de risco à saúde humana, sendo necessário recorrer à cuidados com a manipulação desses produtos antes, durante e depois do preparo da calda de pulverização. O primeiro passo para a pulverização de qualquer defensivo é o preparo da calda que será pulverizada, alguns cuidados durante o preparo são necessários, já que os defensivos são produtos químicos e alguns são mais tóxicos que outros (AZEVEDO e FREIRE, 2006).

A contaminação do meio ambiente e do trabalhador que entra em contato com os defensivos de maneira direta ou indireta pode ocorrer, acarretando desafios quanto as decisões que devem ser tomadas nesses casos. Estabelecer o uso correto do EPI sugerido pelos fabricantes dos defensivos nos rótulos de cada tipo desses produtos, seguindo as especificações e orientações de manipulação, além de possuir um projeto com o gerenciamento e operações adequadas de preparo e aplicação pode permitir economias de tempo, combustível e principalmente, de defensivos (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

## **2.2 Segurança do trabalho**

O risco durante o preparo ou a pulverização é aquele que tem probabilidade de causar algum efeito negativo para a saúde do trabalhador que está utilizando algum defensivo agrícola. O risco coletivo é quando envolve o ambiente de trabalho e necessita de equipamentos e normas que regulamentem o processo de aplicação para não oferecer riscos desnecessários, diferente do risco individual, em que envolve apenas um indivíduo na atividade a qual exerce. Porém, o risco dependerá do ambiente em que se prepara a calda ou é produzida a calda, da classificação toxicológica, tempo de exposição e quantidade à qual ele foi exposto ao defensivo (ANDEF, 2006; MACHADO NETO; MACHADO, 2019).

Na Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho da Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura (NR 31), há uma determinação para exposição de trabalhadores, aqueles em exposição direta, e aqueles em exposição indireta. Em exposição direta são os que trabalham em todas as etapas com os defensivos agrícolas, que são armazenamento, transporte, preparo de calda, aplicação, descontaminação e destinação de embalagens usadas e descontaminação dos instrumentos utilizados em todas as etapas, incluindo ferramentas, utensílios e os equipamentos de proteção individual (EPI's) (ANDEF, 2006; MACHADO NETO e MACHADO, 2019).

Já aqueles em exposição indireta, são determinados pela NR 31 os que não entram em contato direto com o defensivo, porém manuseia as plantas, alimentos, equipamentos e roupas que estão contaminados. Dessa forma, entende-se que pode ocorrer a contaminação e intoxicação dos trabalhadores rurais e, principalmente, daqueles que são preparadores de calda (ANDEF, 2006).

As vias de exposição à contaminação são orais, oculares, respiratórias e dérmica (principalmente mãos e braços), conseqüentemente, para evitar a exposição o EPI padrão possui boné ou touca árabe, máscara, macacão, avental, luvas e botas, os quais devem ser todos utilizados para qualquer atividade que envolva defensivo agrícola (ANDEF, 2006; ANDEF, 2013; COSTA, 2019). Na prática alguns itens podem ser deixados de lado, segundo Monquero et al. (2009), o qual entrevistou produtores na região da cidade de Araras – SP observou que 63% dos entrevistados utilizam EPI padrão durante o preparo da calda, 14,8% apenas máscara e luvas na aplicação do produto e 22,2% não utilizam EPI.

Somente a utilização do EPI as vezes não é suficiente, para oferecer segurança ao trabalhador deve-se também buscar a eliminação de todos os riscos/ perigos, e minimizar os riscos e perigos através de projetos de sistemas de segurança, que devem incluir mecanismos de controle gerenciais. Se não houver como evitá-los o empregador deve providenciar os equipamentos de proteção adequados e medidas técnicas de engenharia que permitam maior segurança ao trabalhador, como exemplo, tem-se os sistemas fechados de dosagem que podem atuar na proteção tanto de forma individualmente quanto coletivamente (VEIGA et al. 2007).

A NR 9 é a Norma Regulamentadora responsável pela implementação de todas as Medidas de Controle de Risco através do PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Existe uma relação entre a toxicidade, exposição e risco que o defensivo

pode oferecer, quando um defensivo é extremamente tóxico, há uma exposição baixa do indivíduo (uso de EPI), o risco é baixo. Porém, quando o defensivo é pouco tóxico, há uma exposição alta do indivíduo (sem EPI), o risco é alto. A exposição, principalmente, do preparador pode ser reduzida ou até mesmo evitada se lhe for oferecido a orientação, treinamento e equipamento de proteção corretos (ANDEF, 2006; MACHADO NETO e MACHADO, 2019).

De acordo com o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde) um defensivo pode ser classificado em classes toxicológicas. De 1984 a 2017 havia uma classificação específica para os defensivos sendo quatro classes toxicológicas, identificadas em tarjas coloridas (Tabela 1). A partir de 2017, se iniciou as alterações para a nova classificação (Tabela 2). adotada para seguir o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, alterando de quatro para cinco categorias toxicológicas, adição de uma categoria externa de defensivos não classificados e as cores de cada categoria também foram alteradas (ANVISA, 2019).

**Tabela 1 - Antiga classificação toxicológica dos defensivos agrícolas (ANVISA)**

| <b>Classe</b> | <b>Toxicidade</b>   | <b>Cor da tarja</b> |
|---------------|---------------------|---------------------|
| 1             | Extremamente tóxico | Vermelho            |
| 2             | Altamente tóxico    | Amarelo             |
| 3             | Medianamente tóxico | Azul                |
| 4             | Pouco tóxico        | Verde               |

**Fonte:** Adaptado de ANVISA, 2019.

**Tabela 2 - Nova classificação toxicológica dos defensivos agrícolas (ANVISA)**

| <b>Classe</b>    | <b>Toxicidade</b>               | <b>Cor da tarja</b> |
|------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1                | Extremamente Tóxico             | Vermelho            |
| 2                | Altamente Tóxico                | Vermelho            |
| 3                | Moderadamente Tóxico            | Amarelo             |
| 4                | Pouco Tóxico                    | Azul                |
| 5                | Improvável de Causar Dano Agudo | Azul                |
| Não Classificado | Defensivo não classificado      | Verde               |

**Fonte:** Adaptado de ANVISA, 2019.

A correta dosagem dos defensivos permite maior segurança da pulverização, dos preparadores de calda e das misturas que ocorrem no tanque do pulverizador. Entender como os defensivos funcionam, desde sua classificação, mecanismos de ação e como funcionam antes, durante e após a pulverização integram de maneira mais eficaz a redução do risco de contaminação humana e ambiental (SILVA et al., 2013).

### **2.3 Defensivos e formulações**

O defensivo agrícola necessita de regulamentação para ser utilizado, ele deve ter classificação toxicológica e classificação quanto ao tipo, que pode ser herbicida, inseticida, acaricida, bactericida ou fungicida. Sua formulação pode ser caracterizada como uma mistura homogênea e estável de ingredientes ativos (molécula que promove o controle fitossanitário) com a adição de inertes, ainda há aquele que possui um ou mais ingredientes ativos e geralmente, 5 a 7 inertes que permitem o desempenho necessário do ingrediente ativo, otimizando a atividade e persistência destes sobre a superfície do alvo (CARVALHO et al., 2019).

Existem mais de 80 tipos formulações, sendo 27 para diluição em água, 3 para solventes orgânicos, 17 para aplicação direta, 9 para tratamento de sementes e 28 formulações especiais. Algumas destacam-se entre os agricultores e aplicadores, as formulações líquidas, sólidas para diluição em água e sólidas para aplicação direta. As formulações líquidas podem ser classificadas em concentrado solúvel, suspensão concentrada, concentrado emulsionável, microemulsão, dispersão em óleo, suspensão concentrada em óleo e suspensão de encapsulado. As sólidas classificadas em pó molhável e granulado dispersível e que são indicadas para diluição em água, e as sólidas para aplicação direta classificadas em granulado (RAETANO; CHECHETTO, 2019).

Um ou mais defensivos podem ser adicionados em água ou em água com adjuvantes para compor a calda de pulverização, alguns adjuvantes são adicionadas de forma a aumentar a qualidade da pulverização. Determinados adjuvantes têm capacidade de trabalhar de diferentes maneiras alterando as propriedades físico-químicas da calda como a tensão superficial e a viscosidade das gotas e, conseqüentemente melhorar a eficiência da calda, formação de gotas e retenção destas no alvo (ALMEIDA, 2018; SILVA, 2013).

Surfactantes por exemplo, são adjuvantes que alteram algumas características da calda, aumentam o espalhamento e a capacidade de absorção do princípio ativo pela superfície em que a gota foi depositada, podem ser espalhantes e usados para a emulsificação de produtos dentro do tanque do pulverizador. Óleos são adjuvantes que podem ser penetrantes, redutores de deriva e adesivos, sendo disponibilizados nas categorias de óleo mineral formulado, vegetal formulado, vegetal modificado e vegetal puro. Surfactantes e óleos são utilizados em mistura em tanque e frequentemente em conjunto, porém, as concentrações destes na calda devem ser referenciadas pelo fabricante (CARVALHO et al. 2019; SILVA, 2013).

## **2.4 Volume de calda**

O volume de calda pulverizada por determinada área, medido em litros por hectare ( $L\ ha^{-1}$ ), é um parâmetro importante para se determinar a tecnologia de aplicação adequada e obter a cobertura mínima necessária para controlar o alvo desejado. Também conhecido como taxa de aplicação, o volume pode ser determinado pela relação entre a técnica de aplicação, tipo de defensivo e o tipo de alvo (ANTUNIASSI et al, 2015).

A arquitetura da planta e a área foliar também influenciam na seleção do volume de calda, comparando índices de área foliar, quanto maior a quantidade de folhas maior volume de calda é necessário, para que haja uma pulverização de gotas mais finas dentro do espectro e forneçam maior cobertura e penetração em toda a planta (ANTUNIASSI et al, 2015). Com menor índice é inversamente proporcional, já que outros parâmetros da aplicação estarão envolvidos como a utilização de pontas de indução de ar (gotas mais grossas), menor pressão e velocidade de trabalho por exemplo, poderão ser flexibilizados para alterar as características da pulverização, a redução de volume de calda tem sido efetuada com fins de redução de custos e aumento de capacidade operacional (FERREIRA et al., 2013; MACIEL, 2011; PAI et al. 2008).

Em alguns trabalhos, autores evidenciaram que o aumento da concentração de defensivo na calda com o objetivo de reduzir o volume de aplicado possui uma relação positiva de controle em algumas coberturas vegetais. Entretanto, a redução de volume pode permitir baixa diluição do defensivo, causando entupimentos nos filtros e barras, havendo a necessidade de interromper a pulverização mais vezes para fazer a

limpeza e manutenção no equipamento e isso também impacta na eficiência, mas de maneira negativa (ALMEIDA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; TIMOSSI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2016).

O espectro de gotas se relaciona com a redução do volume de calda pela capacidade de ser modificado, não necessariamente a redução alterará para menor o tamanho das gotas, mas pela opção de escolher gotas menores para manter o nível de cobertura e penetração de gotas, para não perder a cobertura do alvo. A redução de volume de calda está ligada de maneira linear com o aumento da capacidade operacional, e alguns sistemas de preparo de calda foram desenvolvidos sendo capazes de melhorar e facilitar o processo de mistura (ALMEIDA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016; CARVALHO et al., 2019; RAETANO; CHECHETTO, 2019; TIMOSSI et al., 2013).

## **2.5 Mistura em tanque**

Existem diversas misturas que podem ser realizadas utilizando inúmeros produtos, porém deve-se atentar quanto as interações que podem ocorrer entre elas, são duas a interação física e a química. A primeira afeta em primeiro momento a calda, podendo ocorrer floculação, decantação, formação de grânulos ou pastas, aumento de viscosidade e aderência de produtos nas paredes, filtros e mangueiras do pulverizador. Já a química afeta em um segundo momento, agindo na eficácia do produto sobre o alvo, com efeitos antagônicos (menor efeito da mistura com relação ao produto aplicado separadamente), sinérgicos (maior efeito) e aditivos (efeito da mistura idêntico ao aplicado separadamente) (GAZZIERO, 2015).

Gazziero (2015) avaliando a utilização de mistura em tanque no cenário de 17 estados brasileiros, questionou 500 pessoas (produtores e aplicadores) que utilizavam defensivos agrícolas e obteve que 97% utilizam a mistura em tanque e que em 95% das vezes realizam a aplicação de dois a cinco defensivos em conjunto. Uma problemática com relação ao uso dessa técnica de mistura é o quanto há de domínio dessa técnica para que erros e desperdícios sejam evitados.

O aumento recorrente de misturas visando agilidade e economia do processo gera uma necessidade de entender mais sobre incompatibilidade e interações físico-químicas, relação de diferentes formulações, adjuvantes e misturas que podem ser utilizadas e quanto pode haver de interferência no preparo e dosagem da calda.

Problemas podem ocorrer, se não for realizada a mistura em ordem correta e com o volume de água suficiente para misturar todos esses produtos (DOS REIS et al., 2016; OLIVEIRA et al. 2015).

**Figura 1 - Filtros do sistema de um pulverizador entupidos**



**Fonte:** NITEC/UENP, Apud. Barroso e Murata (2021).

Segundo Silva et al. (2005), a fitotoxicidade de alguns herbicidas tem mostrado ser influenciada por inseticidas do grupo dos organofosforados, em que as interações com o nicosulfuron induziram sintomas de intoxicação na cultura de milho. Zambolim et al. (2014), evidenciaram que a mistura de herbicidas formulados como pó molhável com concentrado emulsionável tem maior possibilidade de apresentar incompatibilidade física, causando rápida sedimentação dos componentes da mistura.

O processo de preparo de calda aumenta a colisão de moléculas dos princípios ativos, a utilização de alguns surfactantes na calda pode causar dessorção das moléculas dos defensivos que já possuem afinidade de serem adsorvidos na superfície das próprias moléculas (CARVALHO et al., 2019). Essa dessorção possibilita a formação de precipitados, por exemplo. Reekmans (1998) relata que surfactantes a base de polímeros permitem pontos de ligação entre as moléculas de princípio ativo e que sejam mais resistentes a sofrerem de dessorção.

Outro fator importante para facilitar a mistura e dificultar a ocorrência de incompatibilidades é ordem de mistura e a agitação da calda, sendo misturas menos ou mais complexa a eficiente agitação estabiliza as condições dentro do tanque. As formulações para diluição e mistura devem seguir alguma sequência recomendada pelos fabricantes do produto, quando não há existe uma norma ABNT-NBR 13875/2014 orienta a adição seguido de WG (Granulado dispersível), WP (Pó

molhável), SC (Suspensão concentrada), SL (Concentrado solúvel) e EC (Concentrado emulsionável) (CARVALHO et al., 2019).

Diferente existe outra norma que válida que é ASTM E1518-05/2012, orientando a colocação de SL, WG, WP, SC e EC. A estabilidade de caldas com muitos produtos e ou elevadas quantidades de óleos emulsionados está relacionada com a maior intensidade de agitação. A utilização de formulações SC, WP e WG necessitam de um sistema de agitação de qualidade, existem diversos sistemas de preparo de calda que podem auxiliar a manter a suspensão destas formulações (CARVALHO et al., 2019).

## **2.6 Sistemas de preparo de calda**

No Brasil existem três tipos de sistemas incorporadores com o objetivo de acelerar e facilitar o preparo de calda, motivado pela constante busca da capacidade operacional da mistura, abastecimento e pulverização, tem gerado maior complexidade para realizar esta atividade sem riscos de contaminações e problemas de compatibilidades físico-químicas de diferentes misturas. Dois fatores importantes para melhorar a qualidade da mistura são a constante redução do volume ( $L\ ha^{-1}$ ) e a escolha dos defensivos e adjuvantes que serão adicionados, independente do mecanismo de preparo de calda utilizado (RAETANO e CHECHETTO, 2019).

Sistema direto no incorporador é um componente que vem de fábrica do pulverizador ou pode ser comprado separadamente. Nesse sistema é feito a colocação dos defensivos gradualmente no incorporador que os direciona (há uma sucção dessa substância para dentro) para o tanque do pulverizador abastecido com parte de seu volume com água (Figura 2). Quanto maior o volume de água no tanque melhor e mais simples será a diluição evitando possíveis incompatibilidades e dificuldades para misturar os componentes com a água. Algumas vantagens, podem ser encontradas, como, uniformidade da mistura, lavagem da embalagem após o uso, redução de tempo de trabalho e maior segurança na manipulação dos defensivos, reduzindo contaminações aos preparadores e ao meio ambiente (RAETANO e CHECHETTO, 2019).

**Figura 2. Sistema direto no incorporador**



**Fonte:** Senar (2018) e Soja Plus (2013).

O sistema de pré-mistura (Figura 3) consiste em adicionar os defensivos em um reservatório menor que o tanque do pulverizador, na maioria a capacidade desse reservatório é de 200 litros, misturá-los com água, diluí-los e transferir a calda homogênea para o pulverizador adicionando água até completar o tanque. Esse sistema, se aliado com a redução de volume de calda, possui uma situação agravante para a mistura se não houver diluição suficientes de alguns defensivos ou adjuvantes foliares (maiores causadores de incompatibilidades), a diluição torna-se não homogênea e resulta em incompatibilidades pela alta concentração e baixo volume (RAETANO e CHECHETTO, 2019).

**Figura 3. Sistema de pré-mistura**



**Fonte:** Antuniassi (2009).

No sistema de calda pronta altera-se a concentração dos defensivos, adicionando em um tanque os produtos com a concentração final da mistura para transferi-la diretamente ao tanque do pulverizador (Figura 4). O desafio desse sistema é quanto ao tempo que a calda fica armazenada, seja com agitação ou não, aumentando as possibilidades de incompatibilidade físico-química da calda. Mesmo com tal desafio, é evidente que o sistema de pré-mistura e calda pronta aceleram e otimizam o tempo necessário de abastecimento (CARVALHO et al., 2019).

**Figura 4. Sistema de calda pronta no abastecimento de um pulverizador**



**Fonte:** Rotoplastyc (2018).

## **2.7 Bomba injetora**

Em conceito é uma bomba injetora de ação hidráulica por pistão que succiona determinada substância líquida e a injeta no fluxo de entrada de água, misturando em sua câmara e levando ao orifício de saída (Figura 5). Ou seja, esta funciona por acionamento hidráulico do diafragma (energia mecânica), não havendo a necessidade de energia elétrica. Seu funcionamento ocorre à medida que a água e a substância desejada são misturadas, o fluido se expande na porção divergente (energia cinética convertida de volta para energia de pressão com o fluxo de água em direção a terminar o percurso do sistema do dosador o qual está acoplado (SNE, 2006; YAN E CHU, 2011).

Este dispositivo pode ser instalado e acoplado tanto no circuito hidráulico principal de um sistema (fluxo total) e em circuito paralelo a ele, utiliza da água como líquido de acionamento. O dispositivo consiste em dois subconjuntos funcionais: o

subconjunto atuando como motor hidráulico linear e o subconjunto atuando como bomba volumétrica de pistão de efeito simples (DOSATRON INTERNATIONAL S.A.S., 2021).

O subconjunto do motor consiste em dois corpos, montados juntos rosqueando e selados com anel de borracha de vedação. A parte inferior do corpo consiste em dois tubos concêntricos, no interior tubo a parte de diâmetro do acionamento de pistão é deslocado, enquanto o revestimento externo é fornecido com conexões de entrada para a água usada como fluído de acionamento, a conexão de saída ou descarga para a solução (formadas por mistura de solução primária de defensivo com água) (DOSATRON INTERNATIONAL S.A.S., 2021).

Li et al. (2020) analisando o princípio de estrutura e os principais parâmetros de desempenho de uma bomba injetora realizou um teste de desempenho hidráulico e obteve que, a taxa de injeção da bomba foi relativamente estável sob diferentes pressões de entrada e saída. Em uma aplicação prática Bracy et al. (2003), Tayel et al. (2010) e Li et al. (2006) e (2008) aplicaram com sucesso um tipo de injetor para injetar fertilizante na água de irrigação e os resultados indicaram boa uniformidade de distribuição de água e fertilizantes devido à injeção do injetor. Quimigação por sistemas de irrigação é comumente utilizada para aplicar fertilizantes ou defensivos agrícolas, sendo uma alternativa para casas de vegetação ou estufas hidropônicas, por exemplo. Estes sistemas se utilizam de injetores ou dosadores capazes de dosar a quantidades de defensivos, além de possibilitar a dosagem em diferentes concentrações (LI e LIU, 2020; ZOU et al., 2020).

## **2.8 Precisão e acurácia**

O tratamento de dados e a representação de incertezas em resultados experimentais denotam certa complexidade para determinar valores de medidas, erros e incertezas, por exemplo. Quando há alguma medida física, existe um valor verdadeiro e um valor medido, o medido é obtido no decorrer do processo de medição e tende a se aproximar do verdadeiro se reproduzido de forma correta (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

A reprodução de uma medição envolve incertezas de repetibilidade, e estas podem corroborar para algum erro, o erro é representado pela diferença entre o valor verdadeiro e o valor medido. Se conhecido o valor verdadeiro é possível estimar o

erro, caso contrário pode-se apenas representar a estimativa do erro, o que gera uma incerteza. O erro estatístico ou aleatório tem como propriedade o fato de que, se uma grandeza física for medida X vezes obteremos X resultados diferentes (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

Para calcular facilmente o erro, que geralmente é expresso em porcentagem, pela seguinte equação (1):

$$\text{Erro (\%)} = ((vm - vv) / vm * 100) \quad (1)$$

Onde:

vm = valor medido;

vv = valor verdadeiro.

Se o valor verdadeiro não for conhecido, por exemplo, deve-se medir várias vezes para se obter alguma exatidão. A reprodutibilidade de uma medida, usando sempre o mesmo método, permite avaliar a precisão dela. Por meio de tratamento estatístico adequado dos resultados calcula-se o chamado desvio padrão das medidas pela equação do desvio padrão da média (equação), pode ser a média do erro, por exemplo (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

O desvio padrão maior determina que os valores amostrais ou medidos estão bem distribuídos em torno da média, enquanto um desvio padrão menor indica que eles estão condensados próximos da média, ou seja, quanto menor o desvio padrão, mais homogênea é a amostra. No método experimental pode existir uma medida exata e não precisa, outra precisa e não exata, o objetivo é obter melhor precisão e melhor exatidão (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

A precisão de várias medições é o grau da concordância entre determinações repetidas e a exatidão é maior quanto menor for a distância entre a medida (ou a média de determinações repetidas) e um valor verdadeiro ou aquele tomado como referência, esta distância denomina-se como erro experimental. Para que se verifique a precisão de uma medida e aumentar sua precisão é necessário aumentar o número de repetições, com a média de várias determinações há maior confiança do que em apenas uma, enquanto a exatidão somente pode ser alcançada, eliminando-se os

erros sistemáticos (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

Erros sistemáticos são aqueles que ocorrem em todas as medidas sempre na mesma direção e possui sempre o mesmo valor, surgem em decorrência de problemas de calibração do instrumento de medida. Diferentemente estão erros aleatórios, que são aqueles que surgem em decorrência da não reprodutividade de uma medida. Eles ocorrem em todas as direções e sempre possuem valores diferentes (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

Gráficos são formas de simplificar os resultados experimentais, a plotagem de um gráfico sua plotagem exige fidelidade aos dados obtidos, sendo necessário uma escala, que pode ser realizada em softwares. Para que o gráfico esteja apto para interpretação ele deve cumprir uma escala adequada, eixos ordenados corretamente através da menor incerteza relativa (eixo x) para a maior incerteza (eixo y), acompanhados de suas respectivas unidades de medidas, o encontro desses eixos é determinado como o ponto de média, e aliado com o desvio padrão, pode-se demonstrar o quanto a média varia para mais ou para menos no gráfico (HELENE, 1988; HUGHES e HASE, 2010; INMETRO, 1988; JONH,1996; VUOLO, 1992).

Uma norma desenvolvida para tipos de sistemas fechados de dosagem ou sistemas de transferência fechada, aprimora o posicionamento de acurácia e serve como referência na adoção desses sistemas na agricultura e auxilia na conservação da saúde do trabalhador. A norma ISO 21191, refere-se às especificações para delinear sistemas de preparo de calda direto no tanque, para construir e para avaliar a acurácia e performance dos sistemas futuros. De acordo com esta norma, é necessário haver uma medida de acurácia de aproximadamente  $\pm 2,5\%$  para erro do equipamento (ISO 21191, 2021).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu – SP, no Nempa - Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural, dentro do Laboratório de máquinas de pulverização do núcleo de ensaios de máquinas.

#### **3.2 Delineamento do ensaio**

Este ensaio foi parte de um protocolo para a realização de testes a fim de determinar a acurácia e precisão dos dosadores dentro do sistema de dosagem, verificar seu funcionamento e seu potencial uso no desenvolvimento de um possível sistema de transferência fechada.

##### **3.2.1 Delineamento experimental**

O sistema de dosagem por fluxo junto com os dosadores (Figura 5) tem como proposta adicionar volume fixo de um ou mais defensivos no fluxo de água de abastecimento de tanque do pulverizador. E complementando esta proposta está a capacidade de ajustar as dosagens das bombas e ajustar a quantidade de defensivo que pode ser succionada em cada um dos dosadores ou eles trabalhando em conjunto. Utilizou-se água limpa como fluido motriz para o bombeamento e como fluido succionado pelos dosadores (bombas injetoras) para validar o sistema completo.

Foram utilizados três dosadores da marca Dosatron (Figura 6) com diferentes porcentagens selecionáveis e ajustáveis no próprio equipamento, iniciou-se em ordem crescente de dosagem (%) até atingir sua porcentagem de sucção máxima. Ainda, possuem as seguintes características de fábrica, variação de fluxo de 10 L h<sup>-1</sup> a 3000 L h<sup>-1</sup>, pressão que varia de 0,5 a 6 bar (pressão varia conforme a tubulação utilizada), a injeção (sucção) pelo dosador varia de 0,05 a 150 L h<sup>-1</sup> e a temperatura máxima suportada é de 40° C.

O primeiro e o segundo são iguais (a utilização de dois modelos igual ocorreu devido a disponibilidade dos dosadores e serviu como complemento para os testes de

dosadores trabalhando em conjunto), os modelos foram D3RE5 com dosagem de 0,5 a 5% (Dosador 1 e 2) e o terceiro é o modelo D3RE10 de 1 a 10% (Dosador 3), essas dosagens (porcentagens) foram divididas em 10 partes para melhor avaliação de acurácia de cada dosador.

**Figura 5 - Sistema de bombeamento por fluxo e seus componentes dosadores**



**Figura 6 - Dosadores D3RE5 (1 e 2) e D3RE10 (3) posicionados em série**



Dessa forma, foi realizado 1 ensaio em esquema fatorial  $3 \times 10$ , 3 dosadores (DR5 (1 e 2) e DR10 (3)) e 10 valores de porcentagem: 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 4,5% e 5% para os dois dosadores DR5, e 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% e 10% para DR10. Cada dosador foi avaliado individualmente e em conjunto sendo definido os seguintes tratamentos T1 DR5 (1), T2 DR5 (2), T3 DR10 (3), T4 DR5 (1) + DR5 (2), T5 DR5 (1) + DR10 (3), T6 DR5 (2) + DR10 (3) e T7 DR5 (1) + DR5 (2) + DR10 (3). Tendo suas faixas de trabalho avaliadas em 10 ajustes de

dosagem, cada ajuste foi repetido 5 vezes (5 repetições) e os dados foram anotados em uma planilha de Excel.

### 3.2.2 Metodologia

A condução do ensaio foi realizada com o auxílio de uma motobomba (Figura 7) a água foi succionada de um tanque de 300 litros (Figura 8a) e levada para o sistema de bombeamento por fluxo por meio de uma mangueira de sucção de 3 polegadas que alimenta o sistema de tubulações.

**Figura 7 - Tanque de 300 litros para o abastecimento do sistema de fluxo conectado à motobomba pelas mangueiras de sucção**



**Foto: Gustavo Ramos Gomes - 2022**

O dimensionamento e disposição das tubulações permitem a utilização de válvulas para abertura e fechamento do fluxo que se interliga às bombas injetoras que redirecionam a água succionada pelos dosadores para o fluxo contínuo de água até o tanque do pulverizador, configurando assim, todo um sistema de abastecimento de calda direto no tanque do pulverizador.

Para cada porcentagem selecionada no dosador reiniciava o fluxo de água no sistema, como estava sem água, apenas ar ao succionar a água para dentro da tubulação, este foi misturado com a água criando bolhas e interrompendo o fluxo contínuo que era necessário para movimentar os dosadores sem travar seus pistões de sucção. Para retirar o ar gerado pelo fluxo de água do sistema, foi aberto um

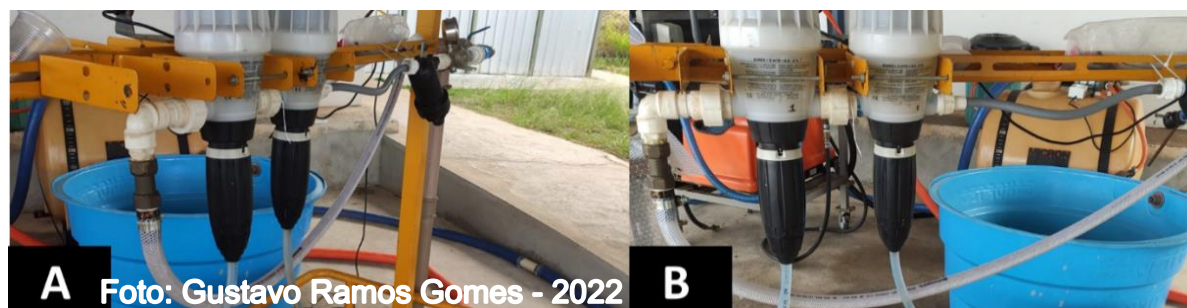
registro na parte inferior da tubulação para redirecionar o fluxo sem que este chegasse aos dosadores. Essa tubulação é composta pelo engate de entrada de metal, cano de plástico PVC, válvula registro manual, engate de saída e mangueira de 3 polegadas ligada ao tanque de 300 litros para retorno (Figura 8b).

**Figura 8 - Tanque de 300 litros para o abastecimento do sistema de fluxo (a) e o engate do protótipo para conectar a mangueira de abastecimento do tanque (b)**



A tubulação superior foi destinada para que o fluxo de água passasse pelos dosadores, esta tubulação se interliga com alguns componentes, como torneira (registro), manômetro, filtro de linha, mangueira de borracha (Figura 9a) e com adaptador de rosca para a colocação dos dosadores (Figura 9b). Os dosadores foram conectados entre duas conexões para permitir a passagem da água e ao mesmo tempo succionar, com o auxílio de uma mangueira, a água de um balde posicionados embaixo do dosador.

**Figura 9 - Conjunto de componentes da tubulação superior com a identificação de torneira (registro), manômetro, filtro de linha e mangueira de borracha (a) e seguido das conexões que interligam a mangueira ao dosador e os dosadores na mangueira seguinte do circuito (b).**



O registro superior estava fechado para que não circulasse essa água até o dosador, após a retirada de ar, fechava-se o registro inferior e abria o superior. Como o funcionamento do dosador ocorre pela diferença de pressão do fluxo de líquido que passa por seu pistão iniciou o trabalho succionando a água que estava num balde graduado (quantidade que era succionada necessitava de seleção manual em seu registro) por uma mangueira de plástico (própria do dosador).

O líquido se misturava com o fluxo de água interligado à câmara do dosador e percorria outra mangueira que levava a mistura para um tanque de 300 litros (Figura 10a) que era posicionado sobre uma balança digital para registrar o fluxo de aproximadamente 100 litros de calda. Ao finalizar a passagem para este tanque o registro superior era fechado e o valor em quilos da quantidade de água transferida para a caixa d'água era anotado. Aliado a esse método de pesagem, também foram medidos, em gramas, a quantidade de água succionada de cada balde em cada repetição (Figura 10b).

**Figura 10 - Tanque caixa d'água sendo abastecida pelo fluxo de água que passava pelos dosadores a fim de atingir 100 litros da soma do que os dosadores succionavam para dentro do fluxo (a) e os baldes posicionados em cima de uma balança de precisão para a obtenção dos valores de diferença de massas (b)**



O fluxo de sucção (injeção) pode ser obtido pela razão entre a diferença da massa inicial pela massa final, pela seguinte equação (2).

$$Q = m1 - m2 \quad (2)$$

Em que:

Q= vazão de injeção ( $\text{kg h}^{-1}$ );

m1= massa inicial do líquido a ser injetado (kg);

m2 = massa final do líquido injetado (kg).

No fluxo foi apenas permitido que o pistão do dosador trabalhasse, regido somente pelo fluxo de água que passava por ele numa pressão que permaneceu numa escala de 1,8 a 2,2 bar de trabalho. Houve a pesagem da quantidade de água succionada pelos dosadores, pesagem da água transferida para a caixa d'água.

A acurácia foi um processo de construção de dados em algumas etapas, a primeira, basicamente, foi utilizar o peso inicial menos o peso final, obtendo o peso gasto para

succionar a água em cada porcentagem de dosagem. A segunda etapa foi relacionar a taxa real (L) (obtida mediante a taxa de 100 litros adicionados à caixa d'água) com os valores de taxa esperada. O erro (%) foi obtido pela equação (3).

$$\text{Erro (\%)} = (\text{Tr (L)} - \text{Te (L)}) / (\text{Tr (L)} \times 100) \quad (3)$$

Onde:

Tr = Taxa real (L);

Te = Taxa esperada (L).

Após obter todos os valores de erro foi determinado a média do erro para cada porcentagem do dosador, em sequência, foi obtido o desvio padrão do erro para plotar nos gráficos como o intervalo de confiança do erro. De acordo a norma ISO 21191/2021, determinou-se o erro dos dosadores com a medida de acurácia de aproximadamente 2,5% para mais ou 2,5% para menos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vale ressaltar que para se obter a dose esperada de sucção dos dosadores foi necessário atingir 100 litros de volume final de calda no tanque caixa d'água, por se tratar de um processo manual de pesagem, os valores obtidos de algumas repetições foram próximo a 100 litros. Para ser fiel às quantidades succionadas, os valores de dose real foram determinados de acordo com cada volume de calda obtido em cada repetição e feito uma média das 5 repetições para cada porcentagem de dosagem avaliada.

As tabelas mostram os valores obtidos das médias das repetições de cada dosagem permita por cada dosador 1, 2 e 3, separadas par cada dosador trabalhando isoladamente e trabalhando em conjunto. Para melhor interpretação dos dados, a geração dos gráficos permite a visualização da faixa das doses que podem estão próximas ou dentro erro permitido garantindo uma faixa acurada dos trabalhando isoladamente ou em conjunto, além da visualização da precisão dos dosadores quanto as doses utilizadas, esta é identificada pela linha de tendência que é gerada pelo aumento da dosagem de 0,5% para 5% (dosadores 1 e 2) e de 1% para 10% (dosador 3).

De acordo com a metodologia utilizada e com os dados obtidos na análise de erro de cada dosador e suas respectivas dosagens ajustáveis de sucção, as tabelas e gráficos abaixo (Tabela 3 e Figura 11), mostraram alguns valores diferentes das demais doses, tornando necessária a discussão dos dosadores isolados e posteriormente, trabalhando em conjunto.

A interrelação dos dados se baseou na dose real que foi succionada pelo dosador e na dose esperada. Como exemplo, pode se observar na Tabela 3 valores de média da dose real (0,495 L) para o ajuste de dosagem em 0,5 litros (dose esperada de 0,5 L na regulagem do percentual em 0,5% na válvula do dosador). Como houve uma média de 100 litros de calda realizada, os valores de média da dose esperada foram de 0,499 L e a média real 0,495 L, com a média do erro de -0,035% (a média do erro permitida segundo a norma citada no material e método está na faixa de -2,5% a +2,5 %) e o desvio padrão de 3,998 (o desvio mostra quanto o erro foi para mais ou para menos).

A Tabela 3 está relacionada com a Figura 11 ao observar cada dose utilizada, têm-se uma tendência de queda entre os erros obtidos, com exceção dose de 0,5 litros, a

qual mostra um erro abaixo do esperado de -0,035% para a dosagem de 0,5% do que em relação a dose de 1 litro que é de 15,643% de uma diferença de 1 L para 1,157 L. O que pode justificar essa diferença de quantidade succionada da mudança de 0,5% para 1% é que o mecanismo do sistema se baseia em mecânica analógica, pode ter ocorrido interferências da pressurização do fluxo do encanamento aliado ao fluxo de sucção do dosador, já que houve mais 5 repetições da dose de 0,5 L e o erro permaneceu negativo.

Esta afirmação corrobora com os estudos de HLOBEÑ (2008), que ao estudar três tipos de instrumentos de injeção, um deles é uma bomba injetora, e estudar os efeitos dos herbicidas e suas viscosidades, determina que a colocação de um sistema que acione e desligue a dosagem pode retirar os erros por acionamento manual.

A partir da dose de 1 litro, observa-se que houve um erro maior do que nas doses seguintes de 1,5 a 5 litros, o erro permanece em uma tendência linear de redução. O erro é reduzido do positivo para o negativo, assim como o desvio padrão também diminui, mostrando uma tendência de mais valores próximo a média (desvio oscila menos), representando uma acurácia maior com relação ao aumento da dose, assume-se que o erro se dilui entre as repetições de dose mais elevadas.

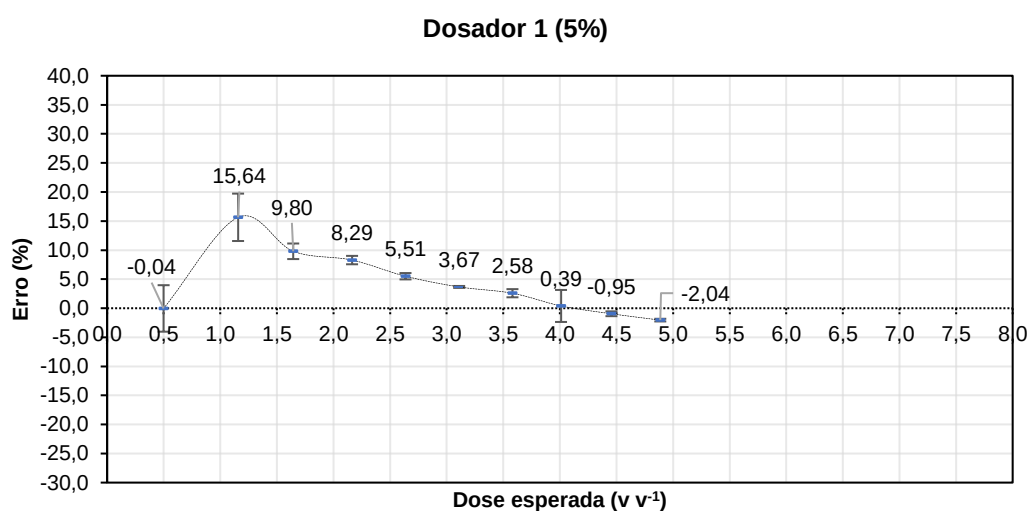
Sobre a faixa de valores dentro do erro permitido, pode-se assumir que as doses de 2,58, 0,39, 0,95 e -2,04 estão dentro da acurácia e os valores estão precisos quanto as dosagens de 3,5, 4, 4,5 e 5, respectivamente.

**Tabela 3 - Dados obtidos do Dosador 1 (5%) isolado e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 1 (5%) |                           |               |               |                   |               |                |                |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|----------------|
| Trat.          | Dose (v v <sup>-1</sup> ) | Dose esp. (L) | Dose real (L) | Média do erro (%) | Desvio padrão | Média esp. (L) | Média real (L) |
| 1              | 0,500                     | 0,500         | 0,499         | -0,035            | 3,998         | 0,499          | 0,495          |
| 2              | 1,000                     | 1,000         | 1,157         | 15,643            | 4,077         | 1,000          | 1,165          |
| 3              | 1,500                     | 1,500         | 1,644         | 9,797             | 1,341         | 1,497          | 1,635          |
| 4              | 2,000                     | 2,000         | 2,164         | 8,287             | 0,723         | 1,998          | 2,160          |
| 5              | 2,500                     | 2,500         | 2,636         | 5,507             | 0,545         | 2,498          | 2,635          |
| 6              | 3,000                     | 3,000         | 3,110         | 3,667             | 0,167         | 3,000          | 3,110          |
| 7              | 3,500                     | 3,500         | 3,581         | 2,583             | 0,702         | 3,491          | 3,575          |
| 8              | 4,000                     | 4,000         | 4,010         | 0,394             | 2,752         | 3,994          | 3,980          |
| 9              | 4,500                     | 4,500         | 4,455         | -0,952            | 0,413         | 4,498          | 4,452          |
| 10             | 5,000                     | 5,000         | 4,887         | -2,044            | 0,230         | 4,989          | 4,895          |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 11 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) isolado e seu erro de acurácia para cada dose**



Em comparação com o Dosador 1 (5%), a Tabela 4 e a Figura 12 mostram os valores obtidos pelo Dosador 2 (5%), a primeira dose (0,5 litros) não mostrou o mesmo padrão de erro negativo, pelo contrário, mostrou um erro muito mais alto (36,893%) e se comparado com as demais doses de 1 a 5%. Também para o Dosador 2 ocorreu

uma tendência de redução de erro, do maior para o menor atingindo valor negativo de -0,549% apresentado pela dose de 5 litros foi maior do que o obtido pelo Dosador 1 (-2,044%).

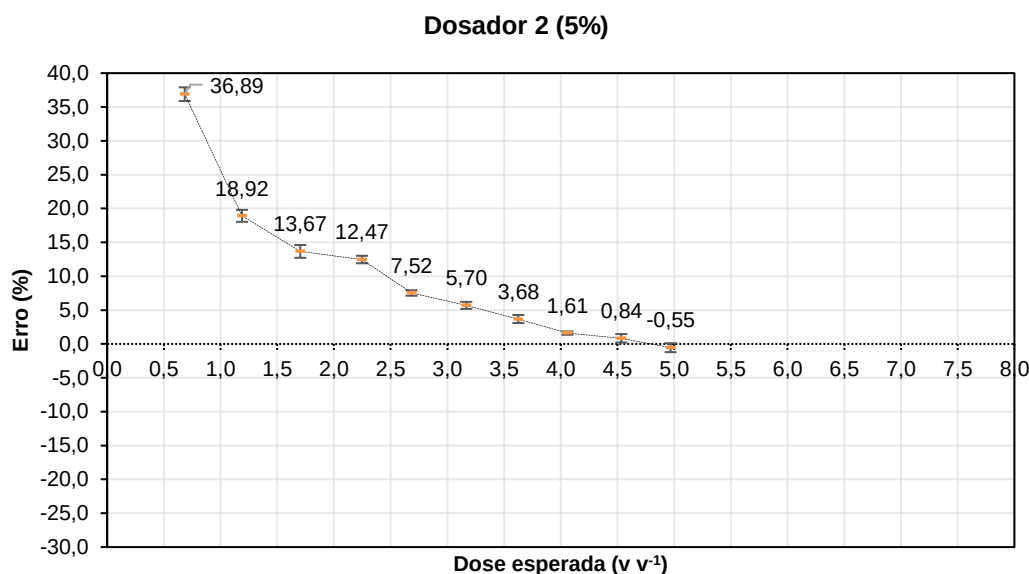
Nota-se que para o Dosador 1 o erro da dose de 4,5 foi de -0,952% e do Dosador 2 foi 0,84%, representando uma variação na sucção, o Dosador 1 succionou além do esperado (0,84%) e o Dosador 2 menos do esperado, ao invés de proporcionar uma sucção próxima a dose esperada de 5 litros.

**Tabela 4 - Dados obtidos do Dosador 2 (5%) isolado seus respectivos erros de acurácia**

| <b>Dosador 2 (5%)</b> |                                    |                          |                          |                              |                          |                           |                           |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Trat.</b>          | <b>Dose<br/>(v v<sup>-1</sup>)</b> | <b>Dose<br/>esp. (L)</b> | <b>Dose<br/>real (L)</b> | <b>Média do<br/>erro (%)</b> | <b>Desvio<br/>padrão</b> | <b>Média<br/>esp. (L)</b> | <b>Média<br/>real (L)</b> |
| 1                     | 0,500                              | 0,500                    | 0,684                    | 36,893                       | 1,011                    | 0,500                     | 0,684                     |
| 2                     | 1,000                              | 1,000                    | 1,189                    | 18,924                       | 0,882                    | 1,000                     | 1,189                     |
| 3                     | 1,500                              | 1,500                    | 1,703                    | 13,668                       | 0,947                    | 1,498                     | 1,703                     |
| 4                     | 2,000                              | 2,000                    | 2,247                    | 12,471                       | 0,551                    | 1,998                     | 2,247                     |
| 5                     | 2,500                              | 2,500                    | 2,684                    | 7,523                        | 0,398                    | 2,496                     | 2,684                     |
| 6                     | 3,000                              | 3,000                    | 3,167                    | 5,702                        | 0,517                    | 2,996                     | 3,167                     |
| 7                     | 3,500                              | 3,500                    | 3,626                    | 3,679                        | 0,595                    | 3,497                     | 3,626                     |
| 8                     | 4,000                              | 4,000                    | 4,058                    | 1,608                        | 0,248                    | 3,994                     | 4,058                     |
| 9                     | 4,500                              | 4,500                    | 4,534                    | 0,840                        | 0,623                    | 4,496                     | 4,534                     |
| 10                    | 5,000                              | 5,000                    | 4,968                    | -0,549                       | 0,662                    | 4,995                     | 4,968                     |

**Fonte:** Tabela autoral (2022).

**Figura 12 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 2 (5%) isolado e seu erro de acurácia para cada dose**



Por se tratar de dois dosadores iguais trabalhando isolados em um mesmo mecanismo, a sucção deveria ter ocorrido de maneira igual, já que também apresentaram uma linha de tendência, ambos respeitaram a precisão e a faixa de 2,5% de erro, mantendo-se acurados e precisos para a utilidade de trabalho isolado.

De maneira geral, ambos dosadores (1 e 2) possuem faixas de trabalho que corresponde ao erro de 2,5%. A faixa que corresponde uma acurácia dentro ao erro tolerado para a Figura 12 é a dose de 4, 4,5 e 5 litros, ou seja, as dosagens de 4, 4,5 e 5% que estão acuradas e precisas e que podem ser selecionáveis para trabalhar de forma mais segura com o Dosador 2.

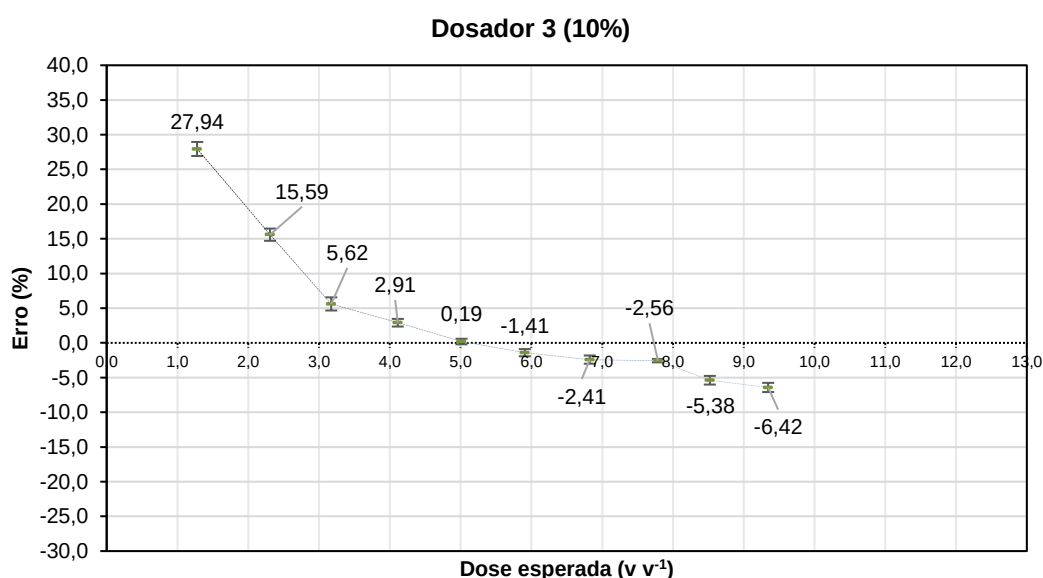
Na Tabela 5 e Figura 13, pode ser observado os dados referentes ao Dosador 3, pode-se observar que o desvio padrão varia menos do que em um dosador com a possibilidade de regular dosagens mais altas do que naqueles limitados até 5%. Porém, não justifica que a média real tenha sido próxima da média esperada, o que ocorreu foi que mesmo com valores tão diferentes, com o aumento da quantidade de medições valores mais próximos da média real foram obtidos.

**Tabela 5 - Dados obtidos do Dosador 3 (10%) isolado e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 3 (10%) |                           |               |               |                   |               |                |                |
|-----------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|----------------|
| Trat.           | Dose (v v <sup>-1</sup> ) | Dose esp. (L) | Dose real (L) | Média do erro (%) | Desvio padrão | Média esp. (L) | Média real (L) |
| 1               | 1,000                     | 1,000         | 1,279         | 27,941            | 4,159         | 1,000          | 1,279          |
| 2               | 2,000                     | 2,000         | 2,307         | 15,589            | 1,019         | 1,997          | 2,308          |
| 3               | 3,000                     | 3,000         | 0,634         | 5,616             | 1,454         | 3,004          | 3,173          |
| 4               | 4,000                     | 4,000         | 4,113         | 2,907             | 0,546         | 3,997          | 4,113          |
| 5               | 5,000                     | 5,000         | 5,013         | 0,193             | 0,527         | 5,003          | 5,013          |
| 6               | 6,000                     | 6,000         | 5,907         | -1,412            | 0,139         | 5,992          | 5,907          |
| 7               | 7,000                     | 7,000         | 6,825         | -2,407            | 0,370         | 6,993          | 6,825          |
| 8               | 8,000                     | 8,000         | 7,788         | -2,557            | 3,240         | 7,992          | 7,788          |
| 9               | 9,000                     | 9,000         | 8,521         | -5,379            | 0,261         | 9,005          | 8,521          |
| 10              | 10,000                    | 10,000        | 9,346         | -6,420            | 0,181         | 9,987          | 9,346          |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 13 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 3 (10%) isolado e seu erro de acurácia para cada dose**



Para o Dosador 3 a linha de tendência também ocorre da menor dosagem para a maior, as doses que se classificam para serem mais seguras no trabalho com este

dosador foram 5, 6, 7 e 8%. Este dosador permite que sejam colocadas as dosagens intermediárias, como 4,5, 5,5, 6,5 e 7,5% por exemplo.

Estas dosagens estão na faixa de acurácia e precisão, se compará-las com os dosadores 1 e 2 além da observação da Figura 13, não há avaliação dessas dosagens, porém se utilizar o valor da dose de 4 L (2,91% de erro) até a dose de 8 L (-2,56% de erro) como exemplos, identifica-se que os valores estão entre a faixa de erro - 2,5% a +2,5% (erro determinado pela norma ISO 21191, 2021) para a determinação da acurácia. E seguindo as linhas de tendências das Figuras 11 e 12 os valores das doses reais obtidos podem ser obtidos se selecionadas no Dosador 3 por estarem nas faixas de erro de segurança obtidos anteriormente pelos outros dosadores.

Com a justificativa de entender a linearidade (precisão) dos dados em cada dosador, foram realizados conjuntos de dosadores para trabalharem simultaneamente conectados em série. A Tabela 6 e Figura 14 mostram os dados separados obtidos pelo Dosador 1 (5%) trabalhando em conjunto com o Dosador 2 (5%) e a Tabela 7 e Figura 15 mostram os dados isolados do Dosador 2, o que foi denominado de conjunto 1 + 2 (Figura 16). Ao observar os dados anteriores de cada dosador trabalhando individualmente, e posteriormente em conjunto, observa-se que há uma redução linear de valores dos erros em cada dose. Porém, ainda permanece uma pequena faixa de dosagem acurada dentro da variação do erro de 2,5%.

**Tabela 6 - Dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+2 e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 1 (5%) |                              |                  |                  |                      |                  |                   |                   |
|----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Trat.          | Dose<br>(v v <sup>-1</sup> ) | Dose<br>esp. (L) | Dose<br>real (L) | Média do<br>erro (%) | Desvio<br>padrão | Média<br>esp. (L) | Média<br>real (L) |
| 1              | 0,500                        | 0,500            | 0,586            | 17,366               | 3,180            | 0,499             | 0,586             |
| 2              | 1,000                        | 1,000            | 1,139            | 13,906               | 1,642            | 1,000             | 1,139             |
| 3              | 1,500                        | 1,500            | 1,659            | 10,835               | 0,709            | 1,497             | 1,659             |
| 4              | 2,000                        | 2,000            | 2,049            | 2,506                | 11,957           | 1,999             | 2,049             |
| 5              | 2,500                        | 2,500            | 2,635            | 5,480                | 0,804            | 2,498             | 2,635             |
| 6              | 3,000                        | 3,000            | 3,143            | 4,875                | 0,196            | 2,997             | 3,143             |
| 7              | 3,500                        | 3,500            | 3,592            | 2,769                | 0,977            | 3,495             | 3,592             |
| 8              | 4,000                        | 4,000            | 4,022            | 0,739                | 0,907            | 3,992             | 4,022             |
| 9              | 4,500                        | 4,500            | 4,453            | -0,918               | 0,414            | 4,494             | 4,453             |
| 10             | 5,000                        | 5,000            | 4,825            | -3,369               | 0,429            | 4,993             | 4,825             |

**Fonte:** Tabela autoral (2022).

Na Figura 14, as doses que estão acuradas foram 2 (2,51% de erro), 4 (0,74%) e 4,5 (-0,92%), respectivamente. A linha de tendência do maior para o menor erro está presente, caracterizando a precisão dos dosadores ao diminuïrem linearmente o volume succionado. Uma observação que pode novamente ser atrelada ao mecanismo analógico do dosador é o erro referente a dosagem de 2% em que a dose real foi de 2,049 L e a esperada era de 1,999 L sendo observado o erro dentro da acurácia limite. Esse fato, interrompe a uniformidade da linearidade da tendência, podendo classificar a dosagem de 2% acurada em relação ao mesmo dosador trabalhando isoladamente.

Figura 14 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+2 e os erros de acurácia para cada dose

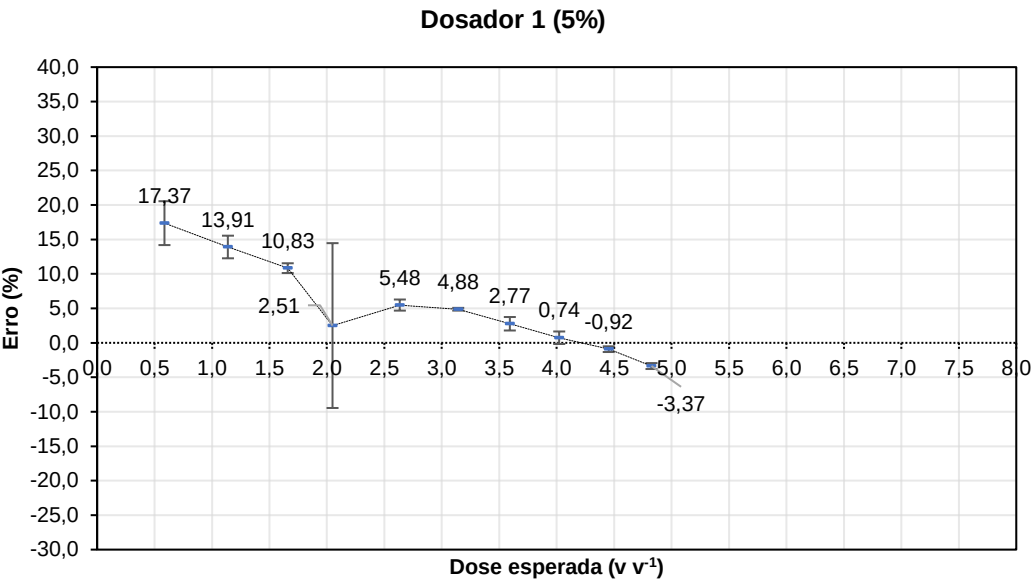


Tabela 7 - Dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 1+2 e seus respectivos erros de acurácia

| Dosador 2 (5%) |                           |               |               |               |               |                |            |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------|
| Trat.          | Dose (v v <sup>-1</sup> ) | Dose esp. (L) | Dose real (L) | Média do erro | Desvio padrão | Média esperada | Média real |
| 1              | 0,500                     | 0,500         | 0,592         | 18,646        | 1,048         | 0,499          | 0,592      |
| 2              | 1,000                     | 1,000         | 1,131         | 13,104        | 1,544         | 1,000          | 1,131      |
| 3              | 1,500                     | 1,500         | 1,630         | 8,898         | 0,482         | 1,497          | 1,630      |
| 4              | 2,000                     | 2,000         | 2,056         | 2,899         | 13,713        | 1,998          | 2,056      |
| 5              | 2,500                     | 2,500         | 2,575         | 3,070         | 0,799         | 2,498          | 2,575      |
| 6              | 3,000                     | 3,000         | 2,993         | -0,124        | 0,781         | 2,997          | 2,993      |
| 7              | 3,500                     | 3,500         | 3,464         | -0,882        | 0,278         | 3,495          | 3,464      |
| 8              | 4,000                     | 4,000         | 3,870         | -3,058        | 0,447         | 3,992          | 3,870      |
| 9              | 4,500                     | 4,500         | 4,313         | -4,038        | 0,895         | 4,494          | 4,313      |
| 10             | 5,000                     | 5,000         | 4,693         | -6,016        | 0,153         | 4,993          | 4,693      |

Fonte: Tabela autoral (2022).

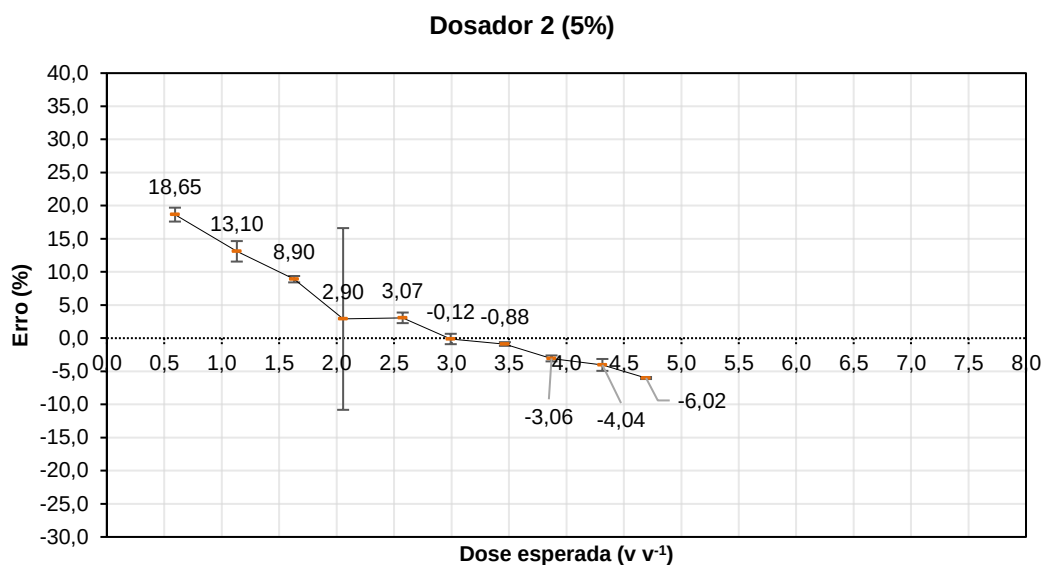
A linha de tendência também é alterada para o Dosador 2 no conjunto 1+2, podendo compará-las na Figura 16, porém o erro é maior (2,90%), desclassificando da acurácia. Pode-se relacionar o aumento da dose pelo aumento de carga imposta pelo fluxo ao succionar a dose de 2 litros no Dosador 1 e carregando esse volume maior para o próximo dosador (2), fazendo aumentar a pressão de sucção e succionando mais volume que o primeiro.

A relação de sucção, pressão e a divergências na linearidade da tendência de erros de algumas doses pode estar atrelada ao sistema hidráulico fechado. Nesse existe o potencial da cavitação para degradar compostos orgânicos específicos, como inseticidas, corantes, desreguladores endócrinos, medicamentos, pesticidas, entre outros (SAHARAN et al., 2011; RAUT-JADHAV et al., 2013; PATIL; BOTE; GOGATE, 2014; MUSMARRA et al., 2016; CHOI et al., 2018).

Esta combinação entre cavitação hidrodinâmica e oxidantes (água) também pode abranger o efeito da cavitação, temperaturas elevadas por exemplo podem aumentar a taxa de vaporização da água dentro do sistema. De acordo com Raut-Jadhav et al. (2013), a cavitação de um líquido (fenômeno físico de vaporização de um líquido que forma bolhas de vapor pela diminuição da pressão durante seu movimento, ocorre principalmente no interior de sistemas hidráulicos) gera mais soluções reativas, reduz a resistência à transferência de massa e aumenta a turbulência gerada durante a cavitação.

Pawar et al. (2017), discutem que o rendimento de cavitação de dispositivos Venturi é afetado pela alta densidade de microbolhas, que interagem entre si e geram menos radicais hidroxila durante o colapso. A maioria dos estudos tendem a se basearem simulações computacionais, que muitas vezes apresentam resultados divergentes e necessitam de trabalhos experimentais práticos que corroborem para tal (BASHIR et al., 2011; KULDEEP; SAHARAN 2016).

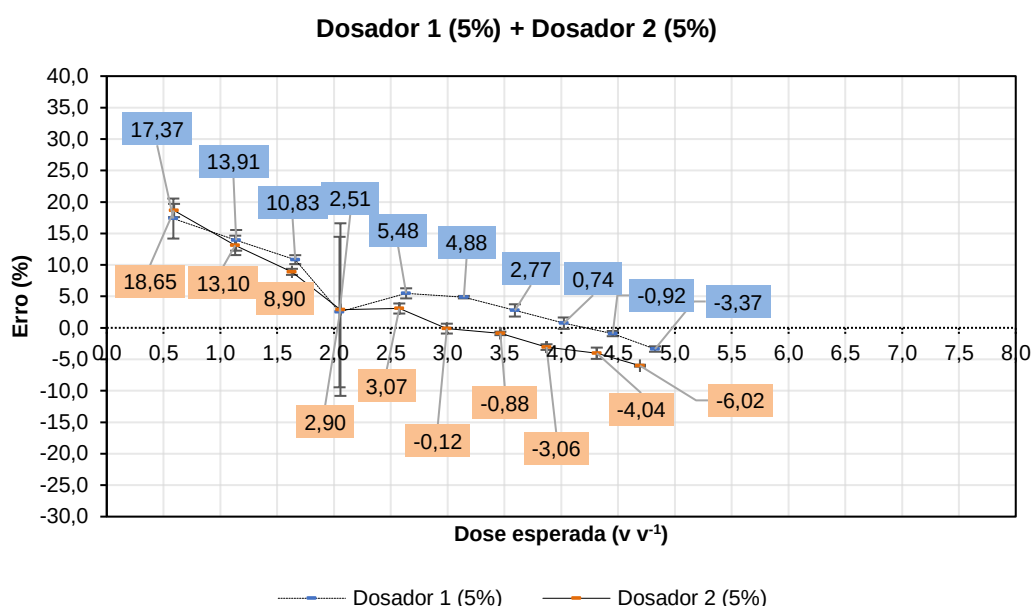
**Figura 15 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 1+2 e os erros de acurácia para cada dose**



As doses obtidas pelo Dosador 2 (conjunto 1+2) que estão acuradas foram 3 (-0,12% de erro) e 4 (-0,88%), respectivamente e com precisão na linearidade do aumento das dosagens de 0,5% para 5%.

Ao observar todas as doses, estas se diferenciam do Dosador 2 isolado mostrando uma diminuição do volume succionado, o que não ocorre para o Dosador 1. Para estes dosadores tem-se a seguinte comparação, dosagem de 0,5% para 5% erros de 36,89% para -0,55%, respectivos ao Dosador 2 isolado e erros de 18,65% para -6,02% ao Dosador 2 no conjunto 1+2. A linha de tendência em ambos continuou sendo do maior para o menor erro permitindo uma precisão de acordo com o aumento das dosagens de 0,5% para 5%.

**Figura 16 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) e 2 (5%) na configuração dos dosadores 1+2 e os erros de acurácia para cada dose**



Para a determinação da acurácia de todos os demais dosadores também houve a necessidade de avaliar outros conjuntos. A Tabela 8 e Figura 17 mostram os dados isolados obtidos pelo Dosador 1 (5%) funcionando em conjunto com o Dosador 3 (10%) e a Tabela 9 com a Figura 18 mostram os dados isolados do Dosador 3, o que foi denominado de conjunto 1 + 3 (Figura 19).

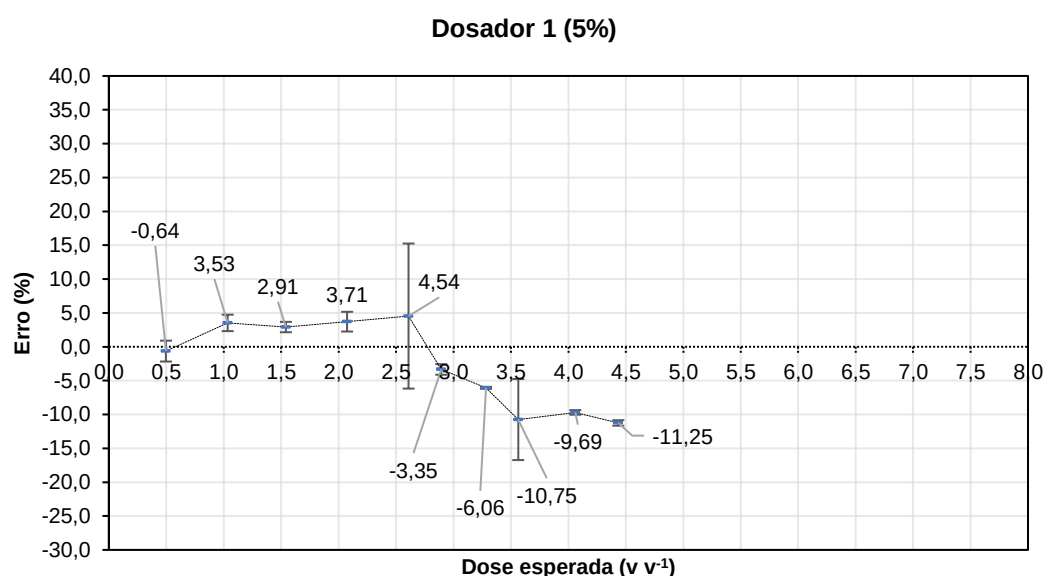
Ao observar os dados anteriores de cada dosador trabalhando individualmente, observa-se que há uma redução linear de erro das dosagens succionadas, para o Dosador 1 trabalhando em conjunto com o de número 3 mostrou comportamento diferente de quando isolado ou mesmo em conjunto com Dosador 2 (Tabela 8 e Figura 17), nenhuma dosagem se comportou de maneira regular as demais já obtidas. Os erros obtidos ficaram fora da acurácia limite de 2,5%, com exceção a dosagem de 0,5%, a qual a dose real obtida foi de 0,497 L, representando erro de -0,64% com relação a dose esperada de 0,5 litros.

**Tabela 8 – Dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 1 (5%) |                           |               |               |                   |               |                |                |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|----------------|
| Trat.          | Dose (v v <sup>-1</sup> ) | Dose esp. (L) | Dose real (L) | Média do erro (%) | Desvio padrão | Média esp. (L) | Média real (L) |
| 1              | 0,500                     | 0,500         | 0,497         | -0,639            | 1,541         | 0,500          | 0,497          |
| 2              | 1,000                     | 1,000         | 1,034         | 3,528             | 1,214         | 0,999          | 1,034          |
| 3              | 1,500                     | 1,500         | 1,541         | 2,914             | 0,767         | 1,497          | 1,541          |
| 4              | 2,000                     | 2,000         | 2,074         | 3,709             | 1,455         | 1,999          | 2,074          |
| 5              | 2,500                     | 2,500         | 2,609         | 4,536             | 10,713        | 2,496          | 2,609          |
| 6              | 3,000                     | 3,000         | 2,893         | -3,350            | 0,780         | 2,993          | 2,893          |
| 7              | 3,500                     | 3,500         | 3,283         | -6,061            | 0,145         | 3,495          | 3,283          |
| 8              | 4,000                     | 4,000         | 3,563         | -10,748           | 5,986         | 3,992          | 3,563          |
| 9              | 4,500                     | 4,500         | 4,060         | -9,693            | 0,335         | 4,496          | 4,060          |
| 10             | 5,000                     | 5,000         | 4,434         | -11,249           | 0,406         | 4,996          | 4,434          |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 17 – Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+3 e os erros de acurácia para cada dose**



A Tabela 9 e Figura 18 correspondem aos dados do Dosador 3 no conjunto 1+3, nota-se que não houve divergências nas doses obtidas como ocorreram com o Dosador 1. O padrão foi o mesmo do que trabalhando isoladamente, manteve-se a

linha de tendência para a precisão das doses e algumas doses com o erro de segurança para a acurácia, as quais foram 5,073 L com erro de 1,64% da dose esperada de 5 litros para a dosagem de 5% e 5,906 L com erro de -1,35% da dose esperada de 6 litros para a dosagem de 6% do dosador.

**Tabela 9 - Dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 3 (10%) |                              |                  |                  |                      |                  |                   |                   |
|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Trat.           | Dose<br>(v v <sup>-1</sup> ) | Dose<br>esp. (L) | Dose<br>real (L) | Média do<br>erro (%) | Desvio<br>padrão | Média<br>esp. (L) | Média<br>real (L) |
| 1               | 1,000                        | 1,000            | 1,326            | 32,547               | 2,314            | 1,000             | 1,326             |
| 2               | 2,000                        | 2,000            | 2,227            | 11,528               | 1,548            | 1,997             | 2,227             |
| 3               | 3,000                        | 3,000            | 3,209            | 7,155                | 0,447            | 2,995             | 3,209             |
| 4               | 4,000                        | 4,000            | 4,185            | 4,654                | 1,816            | 3,999             | 4,185             |
| 5               | 5,000                        | 5,000            | 5,073            | 1,639                | 2,138            | 4,991             | 5,073             |
| 6               | 6,000                        | 6,000            | 5,906            | -1,346               | 0,786            | 5,987             | 5,906             |
| 7               | 7,000                        | 7,000            | 6,773            | -3,099               | 0,529            | 6,990             | 6,773             |
| 8               | 8,000                        | 8,000            | 7,618            | -4,584               | 0,182            | 7,984             | 7,618             |
| 9               | 9,000                        | 9,000            | 8,487            | -5,611               | 0,264            | 8,992             | 8,487             |
| 10              | 10,000                       | 10,000           | 9,290            | -7,029               | 0,282            | 9,992             | 9,290             |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 18 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+3 e os erros de acurácia para cada dose**

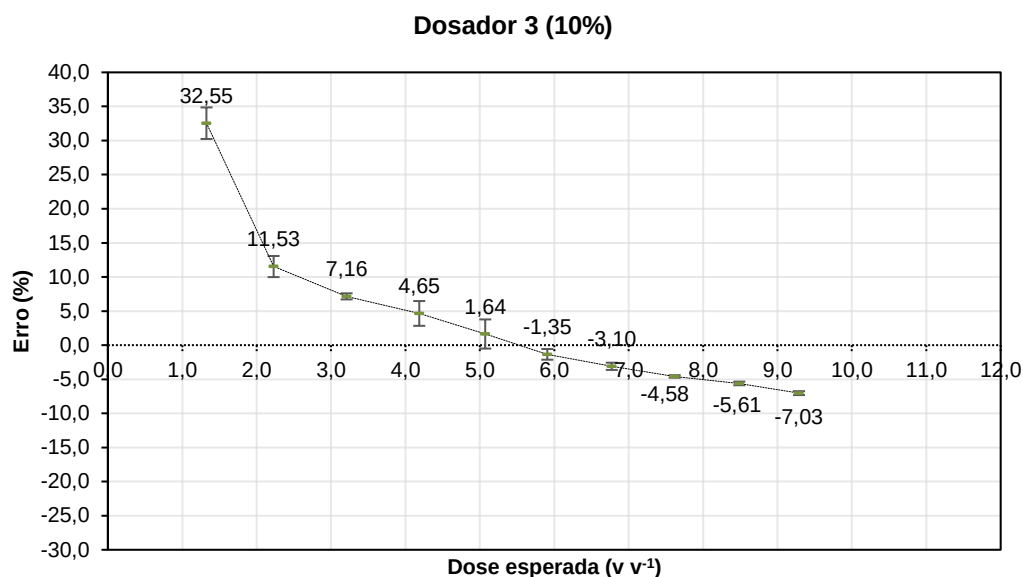
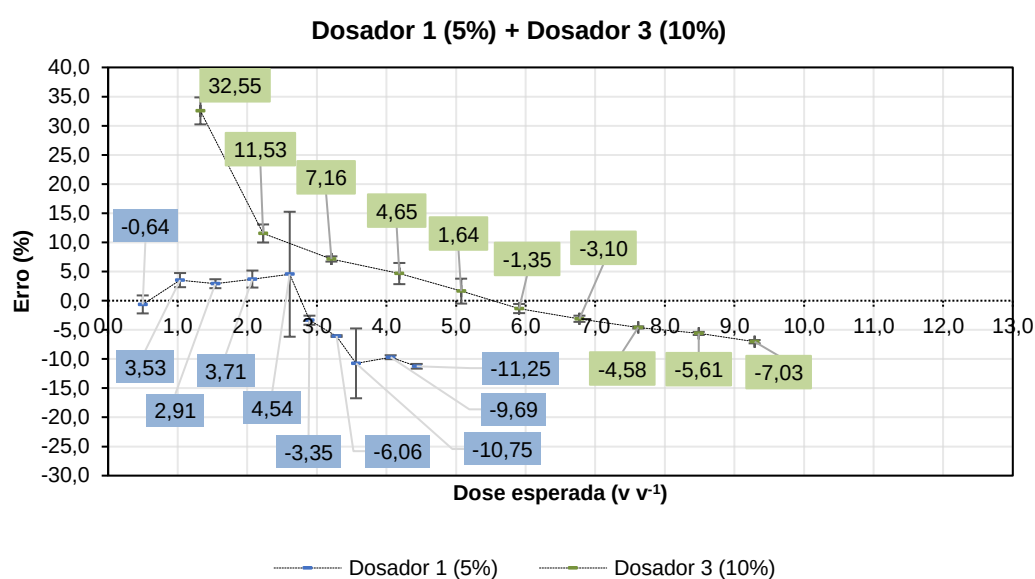


**Figura 19 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) e 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+3 e os erros de acurácia para cada dose**



A Tabela 10 e Figura 20 mostram os dados isolados obtidos pelo Dosador 2 (5%) funcionando em conjunto com o Dosador 3 (10%) e a Tabela 11 com a Figura 21 mostram os dados isolados do Dosador 3, o que foi denominado de conjunto 1 + 3 (Figura 22). Ao observar os dados anteriores de cada dosador trabalhando individualmente, observa-se que há uma redução linear do erro. Individualmente e em conjunto com o Dosador 1. Dosador 2 apresentou duas dosagens acuradas

trabalhando em conjunto com o Dosador 3, sendo 3 e 3,5% acuradas e as demais não.

**Tabela 10 - Dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 2+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| Dosador 2 (5%) |                              |                  |                  |                      |                  |                   |                   |
|----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Trat.          | Dose<br>(v v <sup>-1</sup> ) | Dose<br>esp. (L) | Dose<br>real (L) | Média do<br>erro (%) | Desvio<br>padrão | Média<br>esp. (L) | Média<br>real (L) |
| 1              | 0,500                        | 0,500            | 0,675            | 35,162               | 30,677           | 0,499             | 0,675             |
| 2              | 1,000                        | 1,000            | 1,090            | 9,028                | 2,030            | 0,999             | 1,090             |
| 3              | 1,500                        | 1,500            | 1,594            | 6,452                | 1,419            | 1,497             | 1,594             |
| 4              | 2,000                        | 2,000            | 2,089            | 4,577                | 0,449            | 1,998             | 2,089             |
| 5              | 2,500                        | 2,500            | 2,506            | 0,377                | 0,490            | 2,497             | 2,506             |
| 6              | 3,000                        | 3,000            | 2,957            | -1,298               | 0,625            | 2,996             | 2,957             |
| 7              | 3,500                        | 3,500            | 3,329            | -4,743               | 0,987            | 3,495             | 3,329             |
| 8              | 4,000                        | 4,000            | 3,708            | -7,109               | 0,327            | 3,991             | 3,708             |
| 9              | 4,500                        | 4,500            | 4,141            | -7,890               | 0,303            | 4,496             | 4,141             |
| 10             | 5,000                        | 5,000            | 4,501            | -9,868               | 0,538            | 4,994             | 4,501             |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 20 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 2+3 e os erros de acurácia para cada dose**

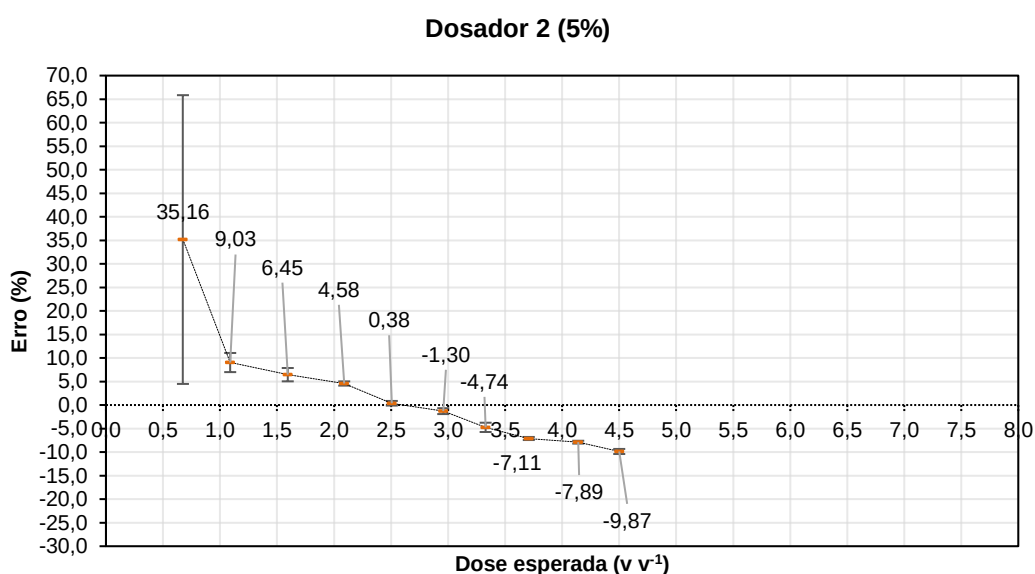


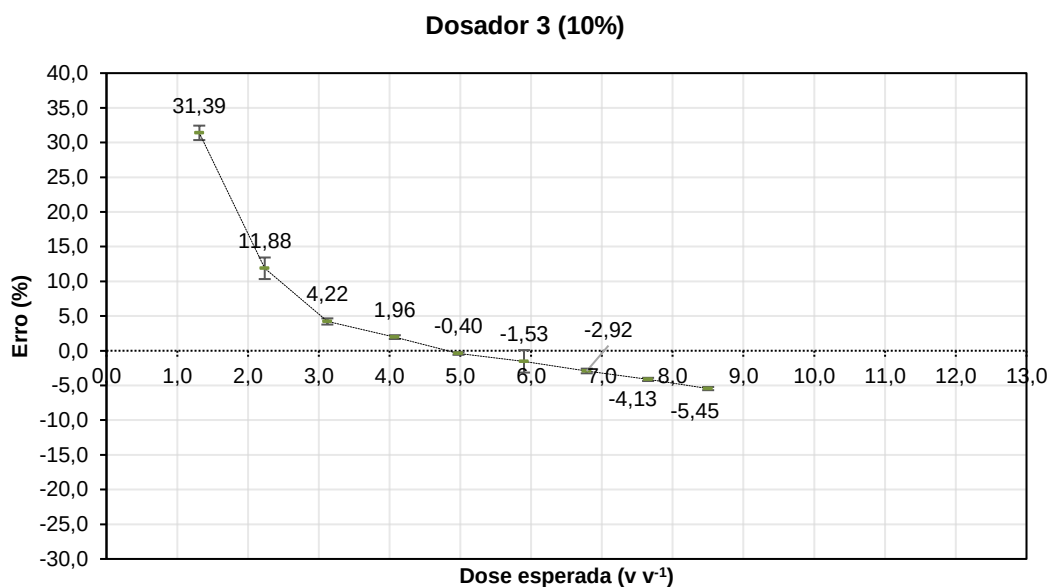
**Tabela 11 - Dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 2+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| <b>Dosador 3 (10%)</b> |                                    |                          |                          |                              |                          |                           |                           |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Trat.</b>           | <b>Dose<br/>(v v<sup>-1</sup>)</b> | <b>Dose<br/>esp. (L)</b> | <b>Dose<br/>real (L)</b> | <b>Média do<br/>erro (%)</b> | <b>Desvio<br/>padrão</b> | <b>Média<br/>esp. (L)</b> | <b>Média<br/>real (L)</b> |
| 1                      | 1,000                              | 1,000                    | 1,311                    | 31,394                       | 1,040                    | 0,998                     | 1,311                     |
| 2                      | 2,000                              | 2,000                    | 2,236                    | 11,881                       | 1,553                    | 1,999                     | 2,236                     |
| 3                      | 3,000                              | 3,000                    | 3,121                    | 4,217                        | 0,445                    | 2,995                     | 3,121                     |
| 4                      | 4,000                              | 4,000                    | 4,074                    | 1,964                        | 0,273                    | 3,996                     | 4,074                     |
| 5                      | 5,000                              | 5,000                    | 4,974                    | -0,401                       | 0,186                    | 4,994                     | 4,974                     |
| 6                      | 6,000                              | 6,000                    | 5,901                    | -1,528                       | 1,613                    | 5,993                     | 5,901                     |
| 7                      | 7,000                              | 7,000                    | 6,786                    | -2,917                       | 0,333                    | 6,990                     | 6,786                     |
| 8                      | 8,000                              | 8,000                    | 7,653                    | -4,130                       | 0,230                    | 7,983                     | 7,653                     |
| 9                      | 9,000                              | 9,000                    | 8,502                    | -5,448                       | 0,230                    | 8,992                     | 8,502                     |
| 10                     | 10,000                             | 10,000                   | 9,377                    | -6,108                       | 0,232                    | 9,987                     | 9,377                     |

**Fonte:** Tabela autoral (2022).

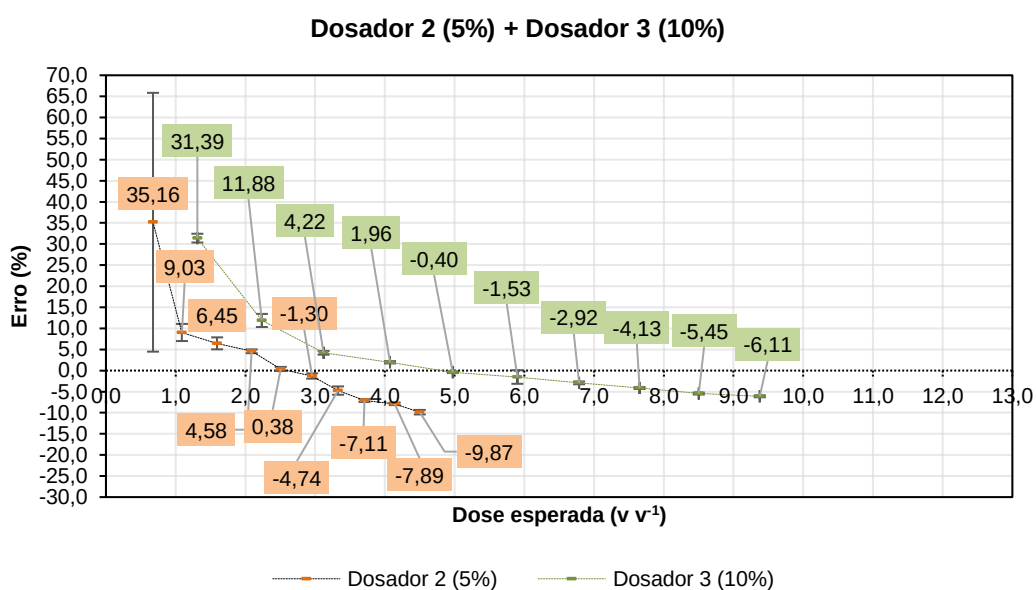
O Dosador 3 no conjunto 2+3 mostrou as mesmas dosagens como erro de 2,5% trabalhando com o Dosador 1, que foram 5 e 6%, porém os valores foram menores, de 1,64% para -0,40% para a dose de 5 litros e de -1,53 para -1,35 para a dose de 6 litros.

**Figura 21 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 2+3 e os erros de acurácia para cada dose**



Comparando a linearidade como a precisão das doses reais obtidas, o conjunto 2+3 mostrou-se mais homogêneo com as dosagens selecionadas do que o conjunto 1+3, podendo haver alguma relação do Dosador 1 apresentar alguma falha de sucção devido ao fluxo de água no sistema e/ou no pistão de sua dosagem.

**Figura 22 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 2 (5%) e 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+3 e os erros de acurácia para cada dose**



Ao adotar o trabalho em conjunto dos 3 dosadores tem-se que as Tabelas 12, 13 e 14 e Figuras 23, 24 e 25 mostraram que todas as doses não obtidas e observa-se que há uma redução linear de erro das porcentagens em todos os dosadores trabalhando em conjunto, e a representação da Figura 26 mostra essa linearidade com os dados.

Na Tabela 12 e Figura 23, o Dosador 1 apresentou uma divergência quanto a dosagem de 0,5%, o valor do erro foi de -19,89%, mais abaixo que o esperado de acordo com os dados deste dosador obtidos isoladamente e nos conjuntos 1+2 e 1+3. A partir da dosagem de 1% a tendência retorna ao eixo do maior para menor, o que demonstra sem acurácia e sem precisão para obter uma dose de 0,5 litros para este conjunto 1+2+3. Com relação a margem de acurácia segura pode-se notar que as doses de 2 e 2,5 litros estão acuradas por apresentarem erros de 0,01% e 0,52%, respectivamente.

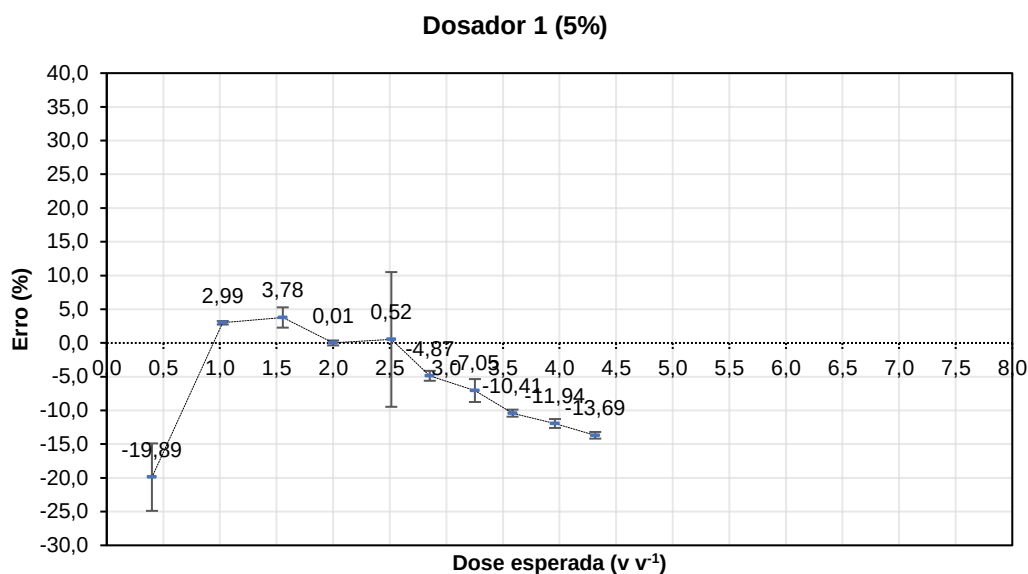
Além disso, este dosador apresentou na última dosagem 5% um erro maior que os anteriores para este parâmetro, erros de -2,04% (isolado), -3,37% (1+2), -11,25% (1+3) e -13,685% (conjunto 1+2+3), determinando que a sucção diminui ainda mais se colocado 1 ou mais dosadores em conjunto, como o exemplo de dosar 5 litros.

**Tabela 12 - Dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| Trat. | Dosador 1 (5%)               |                  |                  |                      |                  |                   |                   |
|-------|------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Dose<br>(v v <sup>-1</sup> ) | Dose<br>esp. (L) | Dose<br>real (L) | Média do<br>erro (%) | Desvio<br>padrão | Média<br>esp. (L) | Média<br>real (L) |
| 1     | 0,500                        | 0,500            | 0,400            | -19,888              | 5,000            | 0,499             | 0,400             |
| 2     | 1,000                        | 1,000            | 1,030            | 2,992                | 0,254            | 0,995             | 1,025             |
| 3     | 1,500                        | 1,500            | 1,560            | 3,776                | 1,504            | 1,498             | 1,555             |
| 4     | 2,000                        | 2,000            | 2,000            | 0,006                | 0,365            | 2,000             | 2,000             |
| 5     | 2,500                        | 2,500            | 2,510            | 0,522                | 9,986            | 2,501             | 2,514             |
| 6     | 3,000                        | 3,000            | 2,850            | -4,867               | 0,737            | 3,000             | 2,854             |
| 7     | 3,500                        | 3,500            | 3,250            | -7,051               | 1,697            | 3,500             | 3,253             |
| 8     | 4,000                        | 4,000            | 3,590            | -10,407              | 0,522            | 4,001             | 3,585             |
| 9     | 4,500                        | 4,500            | 3,960            | -11,937              | 0,658            | 4,497             | 3,960             |
| 10    | 5,000                        | 5,000            | 4,320            | -13,685              | 0,491            | 5,000             | 4,316             |

Fonte: Tabela autoral (2022).

**Figura 23. Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e os erros de acurácia para cada dose**



Para o Dosador 2, não houve nenhuma divergência quanto a linearidade dos erros, somente um valor se enquadrou na margem de segurança de acurácia, que foi -0,84% para a dosagem de 2,5%. Para o Dosador 2 também ocorre a influência de mais um dosador conectado diminuir a sucção e aumentar o erro das doses, seguindo como o exemplo a dosagem de 5%, tem-se que o erro foi de -0,55% (isolado), -6,02% (1+2), -9,87 (2+3) e -11,76% (1+2+3), de acordo com a adição de mais dosadores, respectivamente.

Tabela 13 - Dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e seus respectivos erros de acurácia

| Dosador 2 (5%) |                              |                  |                  |                      |                  |                   |                   |
|----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Trat.          | Dose<br>(v v <sup>-1</sup> ) | Dose<br>esp. (L) | Dose<br>real (L) | Média do<br>erro (%) | Desvio<br>padrão | Média<br>esp. (L) | Média<br>real (L) |
| 1              | 0,500                        | 0,500            | 0,576            | 15,361               | 1,605            | 0,499             | 0,576             |
| 2              | 1,000                        | 1,000            | 1,114            | 11,945               | 1,733            | 0,995             | 1,114             |
| 3              | 1,500                        | 1,500            | 1,636            | 9,298                | 1,048            | 1,497             | 1,636             |
| 4              | 2,000                        | 2,000            | 2,060            | 3,128                | 0,387            | 1,998             | 2,060             |
| 5              | 2,500                        | 2,500            | 2,477            | -0,845               | 0,267            | 2,498             | 2,477             |
| 6              | 3,000                        | 3,000            | 2,871            | -4,226               | 0,716            | 2,998             | 2,871             |
| 7              | 3,500                        | 3,500            | 3,242            | -7,366               | 0,939            | 3,500             | 3,242             |
| 8              | 4,000                        | 4,000            | 3,584            | -10,432              | 0,968            | 4,001             | 3,584             |
| 9              | 4,500                        | 4,500            | 3,899            | -13,293              | 0,485            | 4,497             | 3,899             |
| 10             | 5,000                        | 5,000            | 4,412            | -11,764              | 9,464            | 5,000             | 4,412             |

Fonte: Tabela autoral (2022).

Figura 24 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 2 (5%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e os erros de acurácia para cada dose

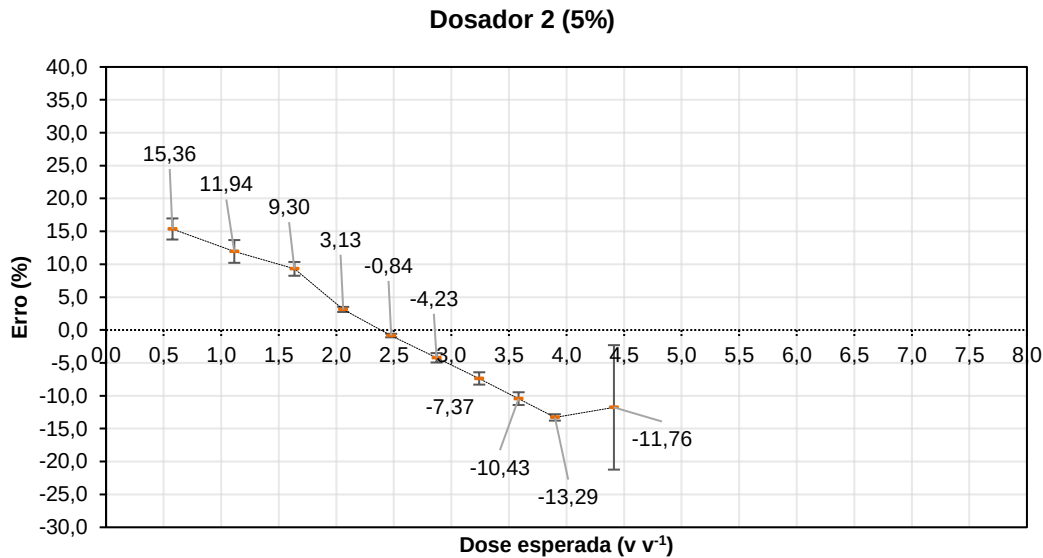


**Tabela 14 - Dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e seus respectivos erros de acurácia**

| <b>Dosador 3 (10%)</b> |                                    |                          |                          |                              |                          |                           |                           |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Trat.</b>           | <b>Dose<br/>(v v<sup>-1</sup>)</b> | <b>Dose<br/>esp. (L)</b> | <b>Dose<br/>real (L)</b> | <b>Média do<br/>erro (%)</b> | <b>Desvio<br/>padrão</b> | <b>Média<br/>esp. (L)</b> | <b>Média<br/>real (L)</b> |
| 1                      | 1,000                              | 1,000                    | 1,166                    | 16,880                       | 1,619                    | 0,998                     | 1,166                     |
| 2                      | 2,000                              | 2,000                    | 2,189                    | 9,648                        | 0,424                    | 1,996                     | 2,189                     |
| 3                      | 3,000                              | 3,000                    | 3,220                    | 7,185                        | 0,526                    | 3,004                     | 3,220                     |
| 4                      | 4,000                              | 4,000                    | 4,128                    | 3,283                        | 0,303                    | 3,997                     | 4,128                     |
| 5                      | 5,000                              | 5,000                    | 5,013                    | 0,193                        | 0,527                    | 5,003                     | 5,013                     |
| 6                      | 6,000                              | 6,000                    | 6,247                    | 4,255                        | 12,157                   | 5,992                     | 6,247                     |
| 7                      | 7,000                              | 7,000                    | 6,831                    | -2,321                       | 0,547                    | 6,993                     | 6,831                     |
| 8                      | 8,000                              | 8,000                    | 7,710                    | -3,532                       | 0,137                    | 7,992                     | 7,710                     |
| 9                      | 9,000                              | 9,000                    | 4,998                    | -44,498                      | 4,228                    | 9,005                     | 4,998                     |
| 10                     | 10,000                             | 10,000                   | 9,340                    | -6,480                       | 0,870                    | 9,987                     | 9,340                     |

**Fonte:** Tabela autoral (2022).

Para o Dosador 3, houve uma divergência quanto a dosagem de 9%, representando um erro de -44,50% de erro para dosar 9 litros, succionando apenas 4,998 litros. Esse erro obtido não respeitou a linearidade desse dosador, demonstrando-se sem acurácia e sem precisão para a realização da dosagem esperada. A única dose que se enquadrou na margem de acurácia apresentando erros de 0,19% foi a de 5%.

E o que nesse conjunto mostrou uma tendência o aumento do erro de acordo com a adição de mais dosadores, o Dosador 3 não apresentou oscilações parecidas quanto o aumento das dosagens. Podendo relacionar que o aumento da capacidade de sucção desse dosador não é interferida pelo aumento do fluxo e volume de água que passou por ele, assim como interfere os dosadores de 5% de capacidade total de sucção.

**Figura 25 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e os erros de acurácia para cada dose**

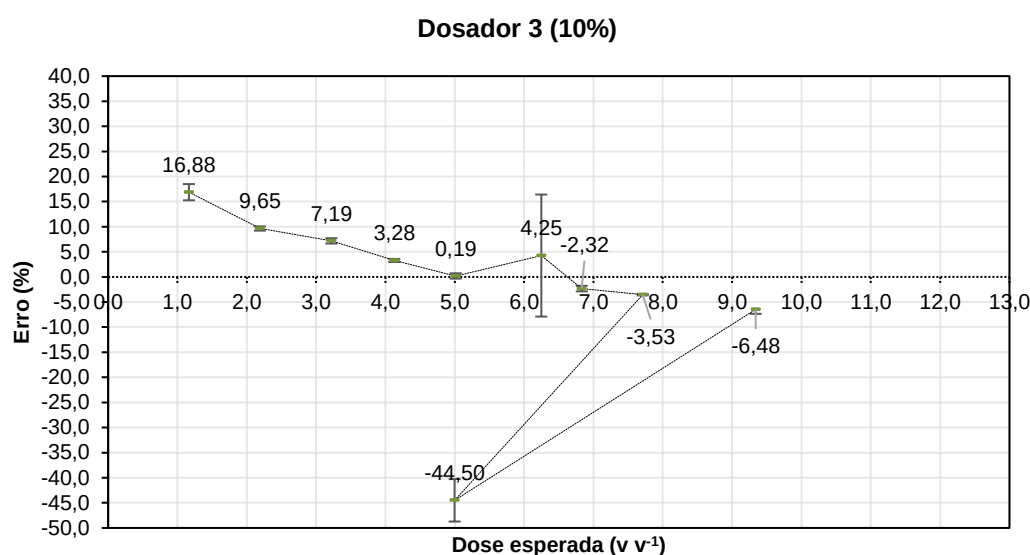
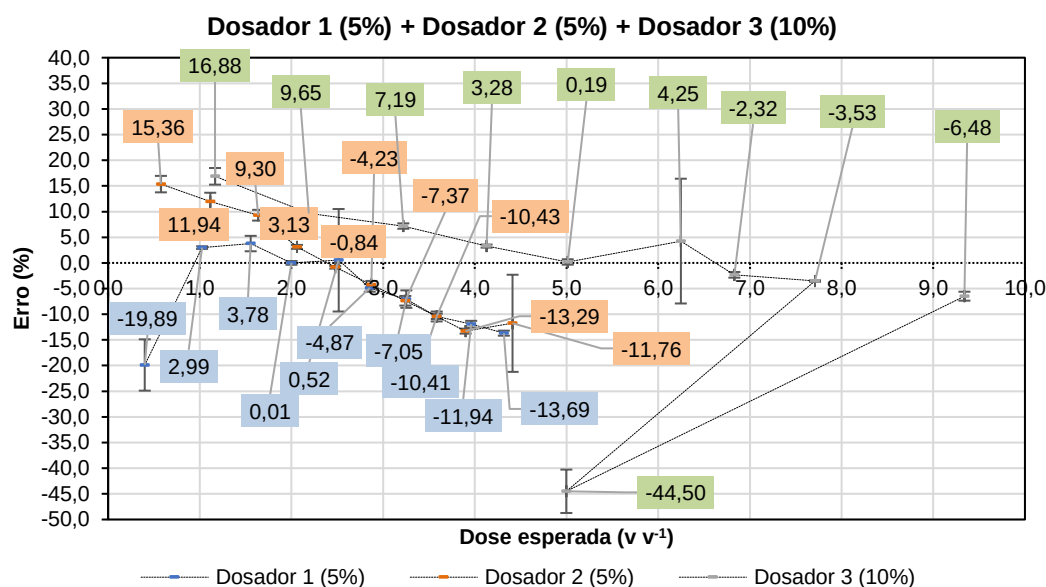


**Figura 26 - Gráfico dos dados obtidos do Dosador 1 (5%), Dosador 2 (5%) e Dosador 3 (10%) na configuração dos dosadores 1+2+3 e os erros de acurácia para cada dose**



Por haver divergências quanto as doses seguras (acuradas) do real quanto as esperadas ainda precisam de mais estudos para determinar o fluxo e a seleção manualmente ou determinar se os erros estão ocorrendo pelo erro do próprio modelo de dosadores estudados e comparar se novos tenderiam aos resultados obtidos nesse trabalho. Um aplicativo para tal pode ser desenvolvido e utilizar as doses acuradas como parâmetro e assim, calibrar o sistema antes de iniciar alguma dosagem. De

acordo com Randall et al. (2014) relata sobre a utilização de sistemas de transferência e que necessitam de calibrações constantes para manter a acurácia.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, a precisão para os dosadores pode ser determinada de acordo com a tendência dos valores das doses apresentarem erros maiores em baixas dosagens seguidos pela diminuição do erro com o aumento das dosagens selecionadas. As doses obtidas determinaram duas faixas, uma com maior segurança na acurácia e outra com menor segurança de acurácia, a precisão ocorre por haver em todos os dosadores uma faixa de segurança contendo de 1 a 3 dosagens que respeitam as doses esperadas com as doses obtidas.

O erro deveria ser menor para todos, se enquadrando na margem de segurança de 2,5%, porém isso não ocorre, por se dizer que não estão totalmente acurados, porém precisos até mesmo aos erros. Para as doses que se enquadram na margem de segurança estão acurados e precisos. Outro fator relacionado com a acurácia do sistema é sua limitação em manter os erros dos dosadores contínuos, nota-se que em cada situação de dosagem os erros se alteram, atingindo o erro permitido de 2,5% em poucas dosagens e em conjunto com outros dosadores o erro extrapola esse limite.

## 6 CONCLUSÕES

Conclui-se que por se tratar do desenvolvimento de um sistema fechado de transferência e dosagem, é comum se deparar com erros dentro de um sistema manual (analógico), os quais foram obtidos pelos três dosadores, trabalhando individualmente ou coletivamente.

O sistema fechado de transferência de dosagem mostrou ser acurado e preciso em algumas faixas de dosagem, em outras não houve acurácia, porém, preciso em determinar uma tendência de valores de erros de maior para o menor de acordo com o aumento das dosagens.

Com a seleção de porcentagens menores há o risco de succionar maior quantidade de volume esperado e com maiores porcentagens há o risco de não succionar a quantidade de volume esperado, mostrando que há acurácia dos dosadores nesse sistema apenas em algumas dosagens específicas.

Em estudos futuros deve-se focar em um sistema eletrônico (automatizado) para reduzir os erros obtidos, pois com este tipo de sistema pode-se fornecer ajustes mais precisos utilizando softwares de abertura e fechamento de válvulas para o processo de sucção dos dosadores e assim, correlacionar com os dados obtidos de maneira analógica. E avaliar as características de cada dosador e entender como dosar diferentes defensivos agrícolas, os quais possuem características físico-químicas diferentes da água.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. **Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 13, n. 3, p. 245-251, 2014.
- ALMEIDA, D. P. TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. **Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALMEIDA, D. P.; AGOSTINI, A. R.; YAMAUCHI, A. K.; DECARO JÚNIOR, S. T.; Ferreira, M. C. **Application volumes and sizes of droplets for the application of diquat herbicide in the control of *Eichhornia crassipes*.** Planta Daninha, v. 34, n. 1, p. 171-179, 2016.
- ALMEIDA, G. M. **Sistemas hidráulicos prediais: um novo método de dimensionamento.** Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Uberlândia, 177 p., 2018.
- ANTUNIASSI, U. R. **Adjuvantes e formulações: tecnologia dentro do tanque.** Boletim de Pesquisa de Soja 2015/2016. Rondonópolis: Fundação MT, v. 1, p. 474-507, 2015.
- ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. **Entendendo a tecnologia de aplicação.** Botucatu: Fepaf, 52 p. 2017.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Reclassificação toxicológica dos agrotóxicos.** Brasília, 2019.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL- ANDEF. **Manual de segurança e saúde do aplicador de produtos fitossanitários.** Campinas, SP: Linea Creativa, 2006.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL – ANDEF. **Manual de Boas Práticas no Uso de EPIs.** São Paulo, 2013.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica.** 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. C. O. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. 47 p.** Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 102. Fortaleza: Embrapa, 2006.
- BONADIO, J. A. B., NETO, R. A., DA COSTA, N. V., RAMELLA, J. R. P. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas: inovações.** Ciências Agrárias, p. 207, 2015.

BRACY, R. P.; PARISH, R. L.; ROSENDALE, R. M. **Fertigation uniformity affected by injector type**. Horttechnology, v. 13, p. 103–105, 2003.

BRAMLEY A. **Flow Stress, Flow Curve**. In: Laperrière L., Reinhart G. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016.

CARVALHO, F. K.; CHECHETO, R. G.; MOTA, A. A. B; ANTUNIASSI, U. R. **Entendendo a tecnologia de aplicação – Caldas fitossanitárias e descontaminação de pulverizadores**. Botucatu: FEPAF, 84 p. 2019.

CHECHETTO, R. G. et al. **Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37- 46, 2013.

CHOI, J.; CUI, M.; LEE, Y.; KIM, J.; SON, Y.; KHIM, J. **Hydrodynamic cavitation and activated persulfate oxidation for degradation of bisphenol A: kinetics and mechanism**. Chemical Engineering Journal, v. 338, p. 323-332, 2018.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T. FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. comps. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

COSTA, L. L. et al. **Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 292-301, 2017.

CUNHA, J. P. A. R.; PERES, T. C. M. **Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 32, n. 4, p. 597- 602, 2010.

CROCKER, M. J. **Handbook of noise and vibration control**. 3. ed. New Jersey: Wiley, 2007.

DEBORTOLI, M. P. et al. **Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem asiática da soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 7, p. 920-927, 2012.

DOS REIS, E. F., DE QUEIROZ, D. M., DA CUNHA, J. P.; ALVES, S. M. **Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (Glycine max L.)**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 5, 2016.

DOSATRON INTERNATIONAL S. A. S. Manual de utilização dosatron D3. Dosatron, 2021.

FERREIRA, E. E. et. al. **Reologia de suspensões minerais: uma revisão**. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto. v. 58., p. 83-87, 2005.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. **Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e**

**adaptado para plantas altas.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 29, Suplemento 1, p. 1539-1548, nov. 2013.

FREITAS, D. S. D. **Avaliação da integração e reabilitação de dutos: Corrosão fundamentos.** Rio de Janeiro: PUC, 2012.

GAZZIERO, D. L. P. **Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades do Brasil.** Planta Dinha, Viçosa-MG, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; Walker, J. **Fundamentos de Física.** 9. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2012.

HELENE, O. A. M.; VANIM, V. R. **Tratamento estatístico de dados em física experimental.** Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP. 1981.

HLOBEŇ, P. **Study on the Response Time of Direct Injection Systems for Variable Rate Application of Herbicides.** Dissertação, Universidade Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2008.

HUGHES, I.; HASE, T. **Measurements and their Uncertainties: A practical guide to modern error analysis.** Oxford University Press, 2010.

INMETRO, SBM. **Guia para expressão da incerteza de medição.** ABNT, Rio de Janeiro. p.120, 1998.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. **Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatante em superfícies artificiais e naturais.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 670-680, 2010.

ISO 21191. **Closed Transfer Systems Performance Specifications.** 2021.

JUNIOR, S. T. D.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O. **Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 588-600, maio/jun., 2015.

JUNIOR, S. T. D. **Dinâmica da calda fitossanitária no reservatório do pulverizador.** In: COSTA, L. L. Tecnologia de aplicação de caldas fitossanitárias. 1. ed. Jaboticabal – SP. Funep, p. 38 -56, 2019.

JONH R. T. **An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements.** University Science Books; 2nd edition, 1996.

KULDEEP; SAHARAN, V. K. **Computational study of different venturi and orifice type hydrodynamic cavitating devices.** Journal of Hydrodynamics, v. 28, n. 2, p. 293-305, 2016.

LI, J. S.; DU, Z.; LI, Y. **Field evaluation of fertigation uniformity for subsurface drip irrigation systems.** Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., v. 24, p. 83–87, 2008.

Li, J.S.; Meng, Y.B.; Li, B. **Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters**. Irrig. Sci., v. 25, p. 117–125, 2007.

LI, H.; ZHANG, Q. K.; TANG, P.; SUN, C. Z. **Performance analysis and test of valve-regulated proportional fertilization pumps**. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., v. 36, p. 34–41, 2020.

LI, Y. B.; LIU, J. P. **Prospects for development of water saving irrigation equipment and technology in China**. J. Drain. Irrig. Mach. Eng., v. 38, p. 738–742, 2020.

LOPES, L. L. **Caracterização físico-química, espectro de gotas e deposição de calda de pulverização com uso de adjuvantes na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) – Câmpus - Anápolis CET, Universidade Estadual de Goiás, 91 p., 2018.

MACIEL, C. D. G. et al. **Eficiência e qualidade da aplicação de misturas em tanque com adjuvantes na dessecação de corda-de-viola**. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 4, p. 704-715, 2011.

MACHADO, J. C.V. **Reologia e escoamento de fluidos, ênfase na indústria do petróleo**. 1.a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

MACHADO NETO, L. G.; MACHADO, R. F. **Segurança e saúde no trabalho rural e o e-social**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2. ed. Passo Fundo, Aldeia Norte; Botucatu, FEPAF, p. 331-354, 2019.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Funep, 1990.

MIRANDA, G. R. B.; RAETANO, C. G.; SILVA, V. C.; CUNHA, M. D. Q.; CARVALHO, R. H.; PINHEIRO, J. M.; GONÇALVES, M. P.; REINATO, C. H. R.; PAIVA, L. C.; ARAÚJO, D. **Avaliação dos depósitos da pulverização em frutos de cafeeiro utilizando dois equipamentos associados a diferentes volumes de calda**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 15-20, abr. 2012.

MONQUERO, P. A.; INÁCIO, E. M.; SILVA, A. C. **Levantamento de agrotóxicos e utilização de equipamento de proteção individual entre os agricultores da região de Araras**. Comunicação Científica, Arq. Inst. Biol., v. 76, n. 1, 2009.

MORAES, E. D.; SAAB, O. J. A.; GANDOLFO, M. A.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GANDOLFO, U. D. **Potencial risco de deriva de pontas de pulverização de jato plano inclinado**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. v. 23, n. 3, 2019.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Uma introdução concisa à mecânica dos fluidos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. Tese (Doutorado em Energia Na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 122 f., 2011.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. **Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n. 1 p. 109, 2015.

PAI, N. et al. **Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density**. St. Joseph: ASAE, 2008.

PATIL, P. N.; BOTE, S. D.; GOGATE, P. R. **Degradation of imidacloprid using combined advanced oxidation processes based on hydrodynamic cavitation**. Ultrasonics Sonochemistry, v. 21, n. 5, p. 1770-1777, 2014.

PAWAR, S. K.; MAHULKAR, A. V.; PANDIT, A. B.; ROY, K.; MOHOLKAR, V. S. **Sonochemical effect induced by hydrodynamic cavitation: comparison of venturi/orifice flow geometries**. AIChE Journal. American Institute of Chemical Engineers, v. 63, n. 10, p. 4705-4716, 2017.

PIMENTA, C. F. **Curso de hidráulica geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v. 1, 1981.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2. ed. Passo Fundo, Aldeia Norte; Botucatu, FEPAF. p. 15- 27. 2019.

RAETANO, C. G.; CHECHETTO, R. G. **Adjuvantes e formulações**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2. ed. Passo Fundo, Aldeia Norte; Botucatu, FEPAF, p. 29- 47, 2019.

RANDALL et al. National Pesticide Applicator Certification. Core manual. National Association of State Departments of Agriculture Research Foundation. 2. ed. 206 p., 2014.

REEKMANS, S. Novel surfactants and adjuvants for agrochemicals. In: Chemistry and technology of agrochemical formulations. Kent: Kluwer Academic Publisher. P. 179-231, 1998.

RIEDER, A. **Indicadores de riscos de contaminação e de danos ao ambiente e a saúde humana por pesticidas às bordas do Alto Pantanal**. Tese Doutorado, UFMT, Cuiabá, 1999.

SAHARAN, V. K.; BADVE, M. P.; PANDIT, A. B. **Degradation of reactive red 120 dye using hydrodynamic cavitation**. Chemical Engineering Journal, v. 178, p. 100-107, 2011.

SILVA, A. A.; FREITAS, F. M.; FERREIRA, L. R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A.F. **Aplicações sequenciais, épocas e doses e aplicação de herbicidas em mistura com chlorpirifos no milho e em plantas daninhas.** Planta daninha, v. 23, n. 3, p.527-534, 2005.

SILVA, P. H. L. **Introdução aos conceitos de mecânica dos fluidos e de reologia em produtos do cotidiano.** Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 37, p. 33-44, ago. 2018.

SILVA, U. A.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; LIMA, S. F. **Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de Urochloa.** Revista Brasileira de Herbicidas, v.12, n.2, p. 202-209, 2013.

SILVA, U. R. **Glyphosate effectiveness in the burndown of signalgrass at two levels of biomass.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 15, n. 4, p. 313-322, 2016.

SNE, M. **Micro irrigation in arid and semi-arid regions. Guidelines for planning and design.** Ed. by S.A. Kulkarni. ICID-CIID. International Commission on Irrigation and Drainage. New Delhi, India, 2006.

TAYEL, M.Y.; ELDARDIRY, E.I.; SHAABAN, S.M.; SABREEN, K.P. **Effect of injector types and irrigation and nitrogen levels on, III-cost analysis of garlic production.** J. Appl. Sci. Res., v. 6, p. 822–829, 2010.

TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; RAMOS, A. R.; FELISBERTO, P. A. C.; LIMA, S. F.; VEIGA, M. M.; DUARTE, F. J. C. M.; MEIRELLES, L. A.; GARRIGOU, A.; BALDI, I. **A contaminação por agrotóxicos e os Equipamentos de Proteção Individual.** Rev. bras. saúde ocup., v. 32, n. 116, 2007.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros.** Ed. Edgard Blücher São Paulo, SP. 2a Ed., 1992.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos.** 6 ed. Porto Alegre, AMGH, 2011.

YAN, H. J.; CHU, X. Y. **Numerical Simulation for Influence of Throat Diameter on Venturi Injector Performance.** J. Drain. Irrig. Mach. Eng., v. 29, n. 4, p. 359–363, 2011.

ZAMBOLIM, L.; PICANÇO, M.C.; SILVA, A. A. **O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários.** 4. ed. Viçosa: Suprema Grafica e Editora, 564 p., 2014.

ZOU, L. Y.; CHEN, Z.; DUAN, F. Y.; MA, C. Y.; FAN, Y. S. **Effects of water-fertilizer interaltion with planting density on water and nitrogen use eciency and yield of winter wheat under sprinkler irrigation system.** J. Drain. Irrig. Mach. Eng., v. 38, p. 632–636, 2020.