

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CRISTIANO PEREIRA

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO COM USO DE DRONE E  
PULVERIZADOR TERRESTRE**

MEDIANEIRA

2023

CRISTIANO PEREIRA

# EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO COM USO DE DRONE E PULVERIZADOR TERRESTRE

**Efficiency of application using drones and ground sprayers**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Moisés Bertollo

MEDIANEIRA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira**



CRISTIANO PEREIRA

### **EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO COM USO DE DRONE E PULVERIZADOR TERRESTRE**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologias Computacionais Para O Agronegócio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Computacionais Aplicadas À Produção Agrícola E Agroindústria.

Data de aprovação: 13 de Dezembro de 2023

Dr. Gilvan Moises Bertollo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alfran Tellechea Martini, Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria (Ufsm)

Daniel Debona, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 13/12/2023.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

À minha esposa, minha inspiradora pelo mundo da pesquisa, e que tanto me incentivou. Receba minha gratidão, pela compreensão e apoio incansável ao longo desse período. Sempre vencemos juntos e, por isso, esta conquista também é sua!

Ao meu filho Pietro, que muitas vezes cuidou da irmã Bianca para que eu pudesse escrever.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gilvan Moisés Bertollo, meu maior respeito e gratidão. Sua atuação como docente e pesquisador será sempre um grande exemplo! Agradeço sua acolhida.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA por tanto conhecimento técnico-científico transmitido.

A todos os amigos, aqui não nomeados, que torceram por mim, minha eterna gratidão pelo incentivo.

Muito Obrigado!

## RESUMO

O uso de drones para pulverizações agrícolas é uma tecnologia em crescimento, que pode integrar-se a outros métodos de aplicação buscando melhorar o desempenho e eficiência dos sistemas de pulverização. Este trabalho teve como objetivo avaliar a deposição de calda em diferentes locais da planta de soja utilizando drone em diferentes volumes e velocidades de aplicação relacionando com aplicação terrestre com pulverizador de barras. O trabalho foi desenvolvido em lavoura comercial, localizada no município de São Miguel do Iguazu - PR. A implantação do experimento foi realizada na cultura da soja no estágio fenológico R5. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em um arranjo fatorial  $3 \times 3 + 3$ . O primeiro fator foi volume (7, 11 e  $15 \text{ L ha}^{-1}$ ), e o segundo três velocidades (10, 15 e  $20 \text{ km h}^{-1}$ ). Também foi utilizado o autopropelido para fins de comparação, considerando-se os volumes de 70, 110 e  $150 \text{ L ha}^{-1}$ , com quatro repetições. Observou-se três locais de coleta na planta (terço superior, médio e inferior). O tamanho das parcelas foi de 15 metros de comprimento por 8,5 metros de largura que coincide com a faixa de pulverização do drone. Para a coleta da deposição da calda em cada repetição, foi instalado papéis hidrossensíveis. Para as aplicações aéreas foi utilizado a aeronave DJI AGRAS T 30; na pulverização terrestre foi o pulverizador autopropelido da marca Montana Kuhn, modelo Boxer 2000. Após as pulverizações os cartões foram recolhidos, devidamente identificados e acondicionados em sacos plásticos. Posteriormente foram escaneados e suas imagens armazenadas para avaliação no software Gotas<sup>®</sup> quanto ao fator de dispersão do tamanho de gotas, densidade de gotas, porcentagem de cobertura e diâmetro médio volumétrico. Observou-se que a densidade de gotas na aplicação terrestre é maior em todas as posições entre todas as velocidades da aplicação aérea. A posição superior tem a maior densidade entre todas as velocidades do drone e do autopropelido. A posição superior teve maior cobertura de gotas no volume de  $11 \text{ L ha}^{-1}$  na velocidade  $15 \text{ km h}^{-1}$  na aplicação aérea, e no volume de  $150 \text{ L ha}^{-1}$  no autopropelido. A aplicação terrestre obteve melhor eficiência na deposição de gotas em relação a aplicação com drone.

**Palavras-Chave:** tecnologia de aplicação; agricultura de precisão; sustentabilidade.

## ABSTRACT

The use of drones for agricultural spraying is a growing application technology that can integrate with other application methods to enhance the performance and efficiency of spraying systems. This study aimed to assess spray deposition at different locations on soybean plants using drones with varying volumes and application speeds, comparing them with ground application using a boom sprayer. The research was conducted in a commercial farm located in São Miguel do Iguaçu - PR. The experiment was implemented in soybean crops at the R5 growth stage, following a randomized block design in a 3 x 3 + 3 factorial arrangement. The first factor was the volume (7, 11, and 15 L ha<sup>-1</sup>), and the second factor was three speeds (10, 15, and 20 km h<sup>-1</sup>). Additionally, a self-propelled sprayer was used for comparison, considering volumes of 70, 110, and 150 L ha<sup>-1</sup>, with four replications. Three collection locations on the plant were observed (upper, middle, and lower thirds). Plot size was 15 meters in length by 8.5 meters in width, matching the drone's spray swath. Hydro-sensitive papers were installed for spray deposition collection in each repetition. The DJI AGRAS T 30 drone was used for aerial applications, and the self-propelled sprayer was the Montana Kuhn Boxer 2000 model for ground spraying. After the applications, the cards were collected, properly identified, and stored in plastic bags. Subsequently, they were scanned, and images were stored for evaluation in the Gotas® software regarding droplet size distribution, droplet density, coverage percentage, and volumetric mean diameter (VMD). It was observed that droplet density in ground applications is higher at all positions across all aerial application speeds. The upper position had the highest density among all drone and self-propelled speeds. The upper position exhibited greater droplet coverage at a volume of 11 L ha<sup>-1</sup> and a speed of 15 km h<sup>-1</sup> in aerial applications and at a volume of 150 L ha<sup>-1</sup> in the self-propelled sprayer. The ground application achieved better efficiency in drop deposition compared to the drone application.

**Keywords:** application technology; precision agriculture; operational efficiency; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do número de drones registrado no sistema da ANAC no estado do Paraná, 2022.....	22
Figura 2 - Demonstração de um esquema para determinação do DMV.....	28
Figura 3 – Descrição da localização da área em estudo ao Oeste do Estado do Paraná no município de São Miguel do Iguaçu.....	31
Figura 4 – (a) Preparo da haste de madeira em suporte de PVC e (b) Haste fixada para coleta da deposição da calda.....	33
Figura 5 - Drone modelo DJI AGRAS T 30.....	34
Figura 6 – Plano de voo na área do experimento.....	35
Figura 7 - Pulverizador Montana Kuhn, modelo Boxer 2000.....	36
Figura 8 – Saco plástico com amostra de papel hidrossensível.....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo do delineamento experimental com 12 tratamentos e 4 repetições.....	32
Quadro 2 – Tratamentos realizados.....	32



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Análise de variância para os fatores de variação velocidade, volume posição e suas interações nas variáveis: dispersão, densidade, cobertura e diâmetro médio volumétrico (DMV).....	40
Tabela 02 – Teste de médias para dispersão de sólidos nas velocidades testadas.....	41
Tabela 03 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para variável densidade de gotas.....	42
Tabela 04 - Análise do desdobramento de volume e posição para variável densidade de gotas.....	43
Tabela 05 - Análise do desdobramento de velocidade dentro de cada nível de volume e do desdobramento de volume dentro de cada nível de velocidade para variável cobertura (%)......	45
Tabela 06 - Análise do desdobramento de volume e posição para a variável cobertura de gotas.....	46
Tabela 7 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para o diâmetro médio volumétrico das gotas.....	48
Tabela 8 - Análise do desdobramento de volume e posição para o diâmetro médio volumétrico de gotas.....	49
Tabela 09 – Análise de variância para os fatores de variação velocidade, volume, posição e suas interações nas variáveis dispersão, densidade, cobertura e diâmetro médio volumétrico (DMV).....	51
Tabela 10 – Teste de médias para dispersão nas velocidades testadas.....	52
Tabela 11 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para variável densidade de gotas.....	53
Tabela 12 - Análise do desdobramento de volume e posição para variável densidade de gotas.....	54
Tabela 13 - Análise do desdobramento do volume, posição e velocidade com autopropelido para variável cobertura (%)......	56
Tabela 14 - Análise do desdobramento do volume, posição e velocidade com autopropelido para variável DMV (D50 $\mu$ m)......	58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AR	Amplitude Relativa
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
Cm	Centímetros
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DMV	Diâmetro Mediano Volumétrico
FD	Fator de dispersão
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Ha	Hectare
L	Litro
Km	Quilômetros
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PH	Potencial de Hidrogênio
PVC	Policloreto de vinila
RTK	Real Time Kinematic
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	16
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	17
2.2 TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS.....	19
2.3 APLICAÇÃO AÉREA .....	20
<b>2.3.1 Drones</b> .....	<b>23</b>
2.4 PULVERIZAÇÃO TERRESTRE .....	24
2.5 ESPECTRO DE GOTAS .....	27
2.5.1 Avaliação do espectro de gotas.....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE PESQUISADO .....	31
3.2 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	31
3.3. APLICAÇÃO AÉREA .....	33
3.4 PULVERIZAÇÃO TERRESTRE .....	35
3.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS .....	36
3.6 ANÁLISE DAS IMAGENS.....	37
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
4.1 APLICAÇÃO AÉREA .....	39
4.1.1 Dispersão .....	40
4.1.2 Densidade .....	42
4.1.3 Cobertura (%).....	45
4.1.4 DMV (D50).....	48
4.2 COMPARAÇÃO DRONE E AUTOPROPELIDO .....	50
4.2.1 Dispersão .....	51
4.2.2 Densidade .....	52
4.2.3 Cobertura (%).....	55
4.4.4. DMV (D50) .....	56
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cultivo da soja (*Glycine max*) é uma das atividades econômicas que tem apresentado evidente crescimento nas últimas décadas, apresenta importância por ser uma rica fonte de proteína vegetal, especialmente para atender as demandas crescentes dos setores que realizam a produção de produtos de origem animal e vegetal, desenvolvimento e oferta de tecnologias que viabilizaram a expansão da exploração de mercado para diversas regiões do mundo (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). É a principal oleaginosa cultivada no mundo, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil tornou-se o maior produtor mundial do grão, na safra 2022/2023 a produção brasileira de grãos foi de 322,5 milhões de toneladas, com estimativa de 317,5 para a safra 2023/2024 (CONAB, 2023).

Com a soja em evidência, a expansão agrícola e a demanda cada vez maior pela produção da cultura, são observadas a intensificação da cultura e também práticas de manejo inadequadas, fatores estes que podem comprometer a produtividade (BOTELHO, 2014). Trata-se de uma cultura com numerosos desafios para uma produção com qualidade e alta produtividade, e, dentre estes, está o controle de pragas e doenças (CUNHA et al., 2011).

Para diminuir estes problemas e atender à demanda do mercado, se faz necessário o uso de estratégias buscando aumento do rendimento das culturas (BOTELHO, 2014). Na produção da soja, grandes índices de produtividade têm sido obtidos nos últimos anos, em consequência de estudos e avanços científicos na área da agricultura e da tecnologia de aplicação. Assim, para uma boa aplicação é necessário avaliar o produto que será utilizado e garantir a forma adequada de aplicação, a fim de atestar que o produto alcance o destino de forma eficiente, minimizando as perdas e reduzindo a contaminação do ambiente (CUNHA, 2008).

Observa-se cada vez mais a busca por altas produtividades e menores custos, para que os produtores consigam o retorno financeiro esperado (MAMMARELLA et al., 2021). Para alcançar esses objetivos, são incorporadas à agricultura anualmente novas tecnologias que são lançadas no mercado, como ferramentas de inovação tecnológica tem-se o exemplo os novos métodos de aplicação aérea. Esta é uma tecnologia que oferece grandes vantagens quando comparada a pulverização

terrestre, principalmente na parte de produtividade das culturas, pois reduz as perdas por amassamento causadas pelos rodados do conjunto trator-pulverizador ou dos pulverizadores autopropelidos (ANTONELLO et al., 2020).

Assim, faz-se necessário um cultivo que combine tecnologia, sustentabilidade e crescimento de produção. Considerando as principais tecnologias utilizadas está a aplicação de produtos fitossanitários e fertilizantes empregando aeronaves remotamente pilotadas (RPA). Essa técnica vem sendo adotada para diversos tipos de cultivos (MARTINEZ-GUANTHER et al., 2020). No entanto, de acordo com Silva (2022) há poucos dados de pesquisa disponíveis sobre este tipo de pulverização, principalmente no cultivo da soja. Para Oliveira et al. (2020), o uso de drones para pulverizações agrícolas é uma tecnologia em ascensão que pode se integrar a outros métodos de aplicação, mas que demanda estudos para justificar seu correto uso.

Atualmente no mercado existem diversas formas de realizar a aplicação de agrotóxicos (NETO; SASAKI; ALVARENGA, et al., 2021), onde, a escolha do equipamento ou do método que será utilizado para a aplicação é dependente do tamanho da área, das características da cultura bem como do alvo a ser atingido (ZAGONEL, 2022).

A pulverização realizada com aeronaves não tripuláveis normalmente utiliza baixo volume de calda  $\text{ha}^{-1}$ , em torno de  $10 \text{ L ha}^{-1}$ , velocidade de deslocamento entre  $10\text{-}20 \text{ km h}^{-1}$ , e uma combinação de ponta e pressão de trabalho que produz gotas finas. Além disso, o efeito das hélices impulsiona a calda de pulverização para baixo e movimenta as folhas do topo das plantas, o que pode melhorar a deposição de calda para os estratos inferiores da planta (RAMOS et al., 2010).

A utilização de drones contribui para uma precisão operacional maior no que diz respeito à tecnologia de aplicação de produtos para controle de pragas, plantas daninhas e doenças. Contudo, ainda existem lacunas na literatura em termos de otimização do uso dessa técnica, como a indeterminação quanto à qualidade das aplicações (RICHARDSON et al., 2020).

Ainda, conhecer as medidas de altura de aplicação, velocidade, uniformidade padrão, e características como espectro das gotículas através da utilização de drones nas pulverizações se faz essencial na literatura científica para que se definam protocolos operacionais, para a classificação de potência de cada um desses veículos, que impactarão no desempenho e na eficiência dos sistemas de pulverização

(MARTIN et al., 2019). Portanto, é importante o conhecimento do efeito dos fatores que interferem na qualidade da aplicação, para que se possa estudar a pulverização com as aeronaves remotamente pilotadas (CUNHA et al., 2021).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a deposição de calda em diferentes locais da planta de soja utilizando drone em diferentes volumes e velocidades de aplicação relacionando com aplicação terrestre com pulverizador de barras.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar a deposição da calda em diferentes partes da planta de soja utilizando drone e autopropelido;

Estimar a deposição da calda com drone em diferentes velocidades combinada a diferentes volumes;

Analisar a eficiência na deposição das gotas da aplicação com o drone em relação a pulverização terrestre.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de aeronave remotamente pilotada pode ser uma alternativa eficiente na aplicação de agrotóxicos. Porém, ainda existem lacunas na literatura em termos de otimização do uso dessa estratégia, como a incerteza quanto à qualidade das aplicações (RICHARDSON et al., 2020).

Além disso, saber a altura de aplicação, velocidade, uniformidade padrão, e características como espectro das gotas por meio do emprego de UAS se faz essencial na literatura para que se desenvolvam protocolos operacionais, para a classificação de potência de cada um desses veículos, que impactarão no desempenho e na eficiência dos sistemas de pulverização (MARTIN et al., 2019). Portanto, é de suma importância o conhecimento do efeito dos fatores que interferem na qualidade da aplicação, para que se possa estudar a pulverização com as aeronaves remotamente pilotadas (CUNHA et al., 2021).

Cometer erros no momento da aplicação dos defensivos agrícolas pode gerar queda na produtividade da cultura, caso os produtos sejam aplicados sem a cobertura mínima do alvo e a atividade não atinja o nível de controle satisfatório (BALEOTTI, 2008).

Essa pesquisa se faz necessária para contribuir com o conhecimento relacionado a pulverização com drone, para uma melhor utilização da tecnologia de aplicação e uma maior assertividade na eficiência e eficácia no controle de pragas, doenças ou plantas daninhas na cultura da soja.



## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão teve sua origem antes do período da revolução industrial, sendo realizado por camponeses, através da observação e conhecimento de suas áreas cultivadas, o que possibilitava realizar os tratos culturais, como as adubações de forma manual, observando a planta de maneira individual ou em parcelas. Com o início e ampliação da mecanização agrícola, a agricultura de precisão passou a ser pouco utilizada, já que as intervenções passaram a ser realizadas de forma padronizada e uniforme em todos os espaços de lavouras. Entretanto, em 1920, a agricultura de precisão voltou a ganhar evidência com a implementação da agricultura moderna, que tem por objetivo aumentar a eficiência do manejo de técnicas agrícolas (BISCARO; GARZELLA, 2006).

A partir da década de 1980, ocorreu a difusão mundial da Agricultura de precisão, através da elaboração de sensores e softwares que passaram a contribuir no processamento dos dados da lavoura, juntamente com as coordenadas geográficas possibilitando a integração das informações geradas nas diferentes operações agrícolas com localização espacial, através do uso do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) que é um conjunto mundial de constelações de navegação por satélite, ampliações da aviação civil e equipamentos de usuário (HEGARTY; CHATRE, 2008). Até o ano de 2000, esta tecnologia era limitada, pois o sinal do Sistema de Posicionamento Global (GPS) que era controlado pelas forças armadas dos Estados Unidos da América, possuía um erro de 45 m. Com o passar do tempo, este sinal começou a ser liberado gratuitamente, com redução gradual do erro que possuía inicialmente, facilitando o trabalho com esta tecnologia (CARLESSO; BARIVIERA, 2022).

Com a mecanização agrícola, foi possível realizar economicamente a produção de culturas em grandes áreas utilizando estratégias como identificação dos fatores de produção, instrumentos de suporte a decisão e aplicação correta e localizada de insumos agrícolas (ANTUNIASSI; BAIO, 2008).

No Brasil, a agricultura de precisão teve início no ano de 2000, no Estado do Rio Grande do Sul, sendo as iniciativas pioneiras realizadas em uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e empresas privadas, no cultivo de soja, difundindo-se gradualmente para as outras regiões do país, moldando-se às diferentes situações e realidades de clima e relevo de cada local onde está sendo utilizada (CARLESSO; BARIVIERA, 2022).

O agronegócio possui grande importância para o crescimento da economia nacional e, em vista da grande área territorial disponível no Brasil, a fim de continuar garantindo a eficiência na produção, é necessário o investimento constante em técnicas de precisão. Essa tecnologia engloba várias áreas, cada qual contribui de uma forma para que a produção de alimentos aumente consideravelmente, devido a que cada vez mais os produtores buscam por maneiras mais fáceis e tecnológicas para realizar a produção (FRIHA et al., 2021).

É um sistema de gerenciamento agrícola que utiliza informações e decisões exatas e precisas, sendo o principal conceito aplicar os insumos no local correto, no momento e em quantidades adequadas à produção agrícola, para áreas homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (MARTELLO, 2015).

Conforme a literatura as práticas mais comuns de agricultura de precisão realizadas por pesquisadores, instituições de ensino e áreas experimentais são: direcionamento via satélite, mapeamento e monitoramento de produtividade, variação de taxas de insumos, mapeamento de fertilidade e zonas de manejo (REZENDE, 2010).

Possibilitando novas estratégias, a agricultura de precisão vem obtendo maior espaço e cada vez mais tem se tornando algo indispensável para a realização de um plantio saudável e com melhores resultados. Trata-se da utilização da tecnologia no campo, visando um melhor desempenho, contribuindo para um aumento na produtividade e uma apuração de resultados mais precisos. A implementação das técnicas de agricultura de precisão influencia diversos fatores na produção da cultura como diminuição do uso de insumos, redução dos custos de operação no campo, facilitação da tomada de decisão e conservação do meio ambiente (SABARÁ, 2018).

## 2.2 TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

Na produção agrícola é importante que se busque meios para aumentar a produtividade e realizar o combate de insetos, plantas daninhas e doenças e o principal meio para isto é a utilização de agrotóxicos, sendo esta a ferramenta mais utilizada, pois é capaz de proteger as lavouras de forma rápida, por meio da pulverização (FERREIRA et al., 2013).

A tecnologia de aplicação é o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1998). Trata-se de uma importante ferramenta para potencializar a produtividade quando esta é usada de forma correta (CUNHA et al., 2011). A falta de qualidade nas aplicações pode um fator de insucesso das aplicações dos agrotóxicos, ou seja, há fatores que afetam esta qualidade de pulverização como clima, hospedeiro, alvo biológico, ingrediente ativo e veículo para o preparo de calda (REPKE; TEIXEIRA, 2013).

De acordo com Zambianco (2013), as condições climáticas interferem na aplicação dos agrotóxicos, porque interrompem o sistema de operação. Como por exemplo, os eventos de correntes de vento, que afastam as gotas dependendo do seu tamanho e de sua massa, assim, a velocidade ideal dos ventos deve variar de 2 a 10 km h<sup>-1</sup>, e a chuva após a aplicação do agrotóxico que pode causar o a perda por escorrimento dos produtos antes da completa absorção pela planta.

Os fatores climáticos, que causam maiores perdas dos agrotóxicos por evaporação são: a temperatura e umidade relativa do ar. O diâmetro da gota está relacionado com a maior ou menor perda, porque quanto menor o tamanho das gotas maior será a superfície de contato com o meio e, conseqüentemente, maior será o risco de evaporarem. Para evitar estas perdas é indicado realizar as aplicações quando a temperatura do ar for menor que 30° C e quando a umidade relativa do ar estiver acima de 60% (BOLLER, FERREIRA, COSTA; 2011).

Com relação as temperaturas, menores que 15°C podem reduzir a eficiência dos produtos. Já temperaturas mais elevadas, acima de 30°C, juntamente com baixa umidade relativa do ar afetam o tempo de duração das gotas, a velocidade de

absorção pelos tecidos vegetais e a atuação dos agrotóxicos aplicados (BOLLER, FERREIRA, COSTA; 2011). Assim, é indicada a realização das aplicações nas primeiras horas da manhã ou ao final da tarde.

Para maior eficiência da ação dos agrotóxicos é necessário que os escopos estejam bem definidos em termos de espaço e de tempo, para que, a quantidade de produto utilizado no controle das pragas, plantas daninhas ou doenças possa ser determinada. Ainda, para se definir o alvo biológico é importante o conhecimento da biologia da praga, o que possibilita determinar em qual estágio de desenvolvimento o controle será mais eficiente (CHAIM, 2009).

Conforme Repke e Teixeira (2013) para se atingir qualidade na pulverização dependerá da cobertura do alvo, que será representado pelo número, tamanho e uniformidade de distribuição das gotas, bem como, da penetração destas na lavoura. Ainda, de acordo com esses autores a massa foliar da cultura interfere na cobertura e na penetração das gotas, quando o alvo pretendido não está localizado no terço superior da cultura.

A cobertura refere-se à quantidade de gotas por  $\text{cm}^2$  depositada em uma determinada área no momento da aplicação. Por isso que para cada tipo de produto utilizado recomenda-se uma quantidade mínima de gotas, ou seja, para controle de doenças o indicado por técnicos para fungicidas sistêmicos são gotas finas ou médias de 50 a 70 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ; para os fungicidas de contato são indicados gotas finas a muito finas com equivalente a mais de 70 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ; inseticidas sistêmicos gotas médias a grossas variando de 20 a 30 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ; inseticida de contato gotas médias a finas de 50 a 70 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ; herbicidas pré-emergentes e pós-emergentes sistêmicos gotas médias/grossas a grossas/muitos grossas de 20 a 30 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ; e para herbicidas pré-emergentes de contato gotas finas/médias a médias/grossas de 30 a 40 gotas  $\text{cm}^{-2}$  (JACTO, 2014).

### 2.3 APLICAÇÃO AÉREA

A aplicação aérea é importante no ganho de produtividade, devido a sua rapidez e eficácia na cobertura dos alvos (MINGUELA; CUNHA, 2013). A prática da

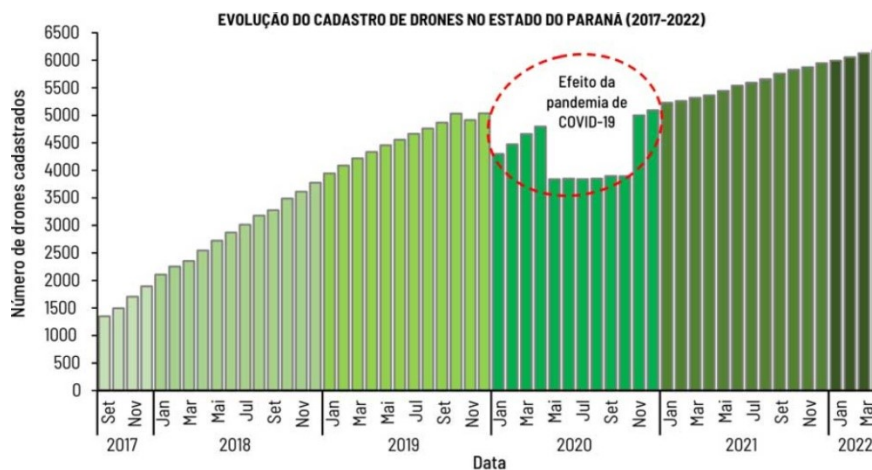
pulverização aérea tem passado por diversas transformações a favor da proteção das lavouras e cuidados com o meio ambiente.

De acordo com dados recentes da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), referentes a junho de 2023, o Brasil conta com um total de 116.253 drones registrados no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), sendo utilizados em diversas áreas, incluindo uso recreativo, aeroagrícola, aerofotografia, aerolevantamento, entre outras (ANAC, 2023). Destes, um total de 3.254 equipamentos estão registrados para uso na área aeroagrícola, drones para pulverização, mapeamento aéreo e monitoramento de lavouras, sendo que 1.627 drones estão cadastrados para aplicações de defensivos agrícolas (ANAC, 2023).

Com relação ao estado do Paraná, o mercado de drones encontra-se em expansão. Dados da ANAC revelam um aumento significativo de 193,12% no número de drones registrados no estado, passando de 2.108 drones em 2018 para 6.179 em 2022, evidenciando o crescimento contínuo e o potencial desse setor (ANAC, 2022). No ano de 2022, no Paraná, do total de drones registrados na ANAC, 204 equipamentos são destinados ao uso aeroagrícola (ANAC, 2022). A partir de abril de 2022, a ANAC deixou de registrar e apresentar os dados de drones cadastrados por cidade e unidade federativa, visando simplificar o processo de cadastro do usuário e levando em consideração que a certidão gerada no SISANT tem validade em todo o território nacional (DANIEL; DALBIANCO, 2023).

A Pandemia do COVID-19 teve um impacto significativo na redução do número de drones cadastrados no Paraná em 2020, conforme figura 1. Com as restrições impostas pela pandemia, muitas atividades foram interrompidas ou reduzidas, afetando também o uso e o registro de drones (MARCELINO et al., 2020). As medidas de distanciamento social, fechamento de empresas e restrições de deslocamento limitaram as atividades comerciais e agrícolas, resultando em menor demanda pelo uso de drones.

**Figura 1 – Evolução do número de drones registrado no sistema da ANAC no estado do Paraná, 2022**



**Fonte: Daniel e Dalbianco (2023)**

Além disso, as incertezas econômicas causadas pela pandemia também podem ter levado à redução de investimentos em novos equipamentos. Como resultado, ocorreu a redução no número de drones cadastrados no Paraná durante o ano de 2020. Com a adaptação às restrições e a retomada gradual das atividades, tanto no setor comercial quanto agrícola, houve um aumento na demanda e no uso de drones a partir de 2021.

Dentre as principais vantagens da atividade aero agrícola está o alto rendimento operacional, permitindo soluções rápidas, em maiores extensões de área, tornando-se possível alcançar resultados positivos com custos econômicos acessíveis, desde que sejam adotados todos os procedimentos técnicos adequados (BAYER et al., 2011).

Por outro lado, Minguela e Cunha (2013) relatam que se a operação de aplicação não for bem executada, conforme os parâmetros técnicos poderão ocorrer deriva dos produtos para áreas próximas, tornando-se um problema importante, pois haverá perda de produto a ser pulverizado e contaminação ambiental.

Com a finalidade de diminuir a contaminação ambiental provocada pelas aplicações quando realizadas de forma errada, o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento) regulamenta e fiscaliza a operação. Tendo como

regras: operar a 250 metros de mananciais de rios e a 500 metros da população, e o acompanhamento de um técnico agrícola executor, a coordenação de um engenheiro agrônomo e um piloto agrícola especializado, com mais de 400 horas de voo (VIEGAS, 2011).

Os drones são utilizados na agricultura de precisão devido a contribuição que o mesmo traz nas tomadas de decisões. A sua facilidade de manuseio, permite capturas de imagens mais próximas da lavoura, resultando em uma avaliação mais eficiente. Seu uso no campo tem promovido informações mais rápidas e precisas, através de imagens e sensores que permitem identificar falhas na plantação, na saúde da planta, na demanda por água, bem como identificação de pragas, auxiliando assim o uso correto de agrotóxicos (SABARÁ, 2018).

### 2.3.1 Drones

De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), uma aeronave remotamente pilotada é aquela em que a pilotagem ocorre remotamente, sem propósito de recreação, sendo conhecida como RPA (Aeronaves Remotamente Pilotadas) (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, 2017; CUNHA, 2021). Outro termo que tem sido amplamente utilizado nas áreas de engenharia e de computação, é veículo aéreo não tripulado (VANT) (ANAC, 2017; CUNHA, 2021).

No Brasil, as aeronaves remotamente pilotadas foram regulamentadas por meio da portaria N° 298, de 22 de setembro de 2021, onde o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu as regras para operação dessas aeronaves para à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Tais regras definem que os operadores precisam de registro junto ao MAPA, de certificação de conclusão do Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR), e que as aeronaves remotamente pilotadas estejam em situação regular na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Além disso, para efeito de segurança operacional, a aplicação aeroagrícola com RPA fica restrita à área-alvo da intervenção, bem como é de suma relevância o registro dos dados relativos a cada aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes (MAPA, 2021).

Em 2021, o Brasil possuía menos de 2% de drones em uso agrícola, entre os 79.673 aparelhos de uso geral cadastrados no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SINSANT), da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (Sindicato Nacional Das Empresas De Aviação Agrícola - SINDAG, 2021).

Com o surgimento e aprimoramento da tecnologia, existe uma grande diversidade de aeronaves remotamente pilotadas na agricultura, uma vez que é considerada como vantagem a sua eficiência, velocidade e amplitude em voo vertical e bom desempenho em voos de baixa altitude, facilitando a movimentação em áreas pequenas ou inclinadas, possibilitando sua aplicação em áreas específicas, podendo também reduzir os custos e os riscos dos operadores com contaminação (XIONGKUI et al., 2017), além da redução da compactação do solo e amassamento da cultura. Suas desvantagens podem ser expressas no alto custo do equipamento, no fato de ter um volume reduzido da capacidade de carga no tanque de agrotóxico, altura de voo e durabilidade da carga da bateria e estar regulamentado nas normas da aviação civil (BERNER; CHOJNACKI, 2017), bem como habilitação técnica para pilotar o equipamento e manipular os produtos fitossanitários.

## 2.4 PULVERIZAÇÃO TERRESTRE

Os pulverizadores são máquinas que tem a função de produzir gotas através de pressão hidráulica por intermédio dos bicos hidráulicos ou atomizadores rotativos, do produto a ser aplicado (MACHADO et al., 2005).

Klaver et al. (2012) afirmam que o mercado fornece uma enorme variedade de máquinas agrícolas, com diversidade de modelos e características. Desta forma, o produtor deve tomar conhecimento dos maquinários mais convenientes a sua necessidade de serviço e em adequação a influência para o desenvolvimento da cultura, pois em determinadas ocasiões, como na cultura do milho, dependendo do estágio vegetativo, poderá ocorrer amassamento de plantas, acarretando em perda da produtividade da lavoura. Os maquinários vêm oferecendo maior praticidade e comodidade ao produtor no serviço operacional, mas também maior exatidão e economia com algumas funcionalidades, como durante as aplicações de agrotóxicos, com o sistema antigotejo. Outros casos, no entanto, dispõem de transmissão



hidrostática 4x4, possibilitando a redução do amassamento da cultura. Diante disso, para operações agrícolas como pulverizações o emprego da tecnologia de aplicação adequada é tão importante como a escolha correta do pulverizador.

Para Minguela e Cunha (2013), os pulverizadores hidráulicos são equipamentos que apresentam pulverização da calda através da pressão hidráulica ou rotação dos atomizadores em orifícios calibrados, situados na parte inferior dos elementos especiais, sendo denominadas de pontas. A referência a estes é apenas a denominação de pulverizadores. Este grupo de máquinas pode ser classificado, para efeitos práticos, em: quanto a potência tração animal, tratorizado, autopropelido e manual; equipamentos sobre veículos especiais e estacionários.

Os pulverizados tratorizados são acoplados ao trator, podendo ser arrastados (barra de tração), montados (acoplados ao sistema hidráulico de três pontos) e semimontado (sistema hidráulico de dois pontos). Podem estar equipados com sistemas de controle eletrônicos ou mecânicos. Já os pulverizadores autopropelidos são dotados de motor próprio para o deslocamento, mais sofisticados, possuindo normalmente um controle de sistema eletrônico. Por sua vez, os equipamentos manuais podem ser acionados manualmente, ou mecanicamente através de dispositivos específicos como rodas de solo, etc. São transportados nas costas, frontais ou sobre chassis com rodas (carrinho). Os equipamentos sobre veículos especiais são semelhantes aos pulverizadores tratorizados, porém são colocados sobre veículos específicos (camionetes por exemplo). Equipamentos estacionários são classificados desta forma pelo tipo de acionamento da bomba, sendo normalmente motor elétrico ou de combustão interna. E, por último, os equipamentos de tração animal que na maioria são acionados por sistemas elétricos com utilização de baterias (MINGUELA; CUNHA, 2013).

As pulverizações terrestres são realizadas pelo próprio agricultor ou por funcionários, utilizando o próprio pulverizador que pode ser autopropelido ou pulverizador acoplados ao trator. A aplicação gera custos que podem ser variáveis em função de alguns componentes como: combustíveis, mão-de-obra do aplicador e do seu auxiliar, além do uso de equipamentos de proteção individual, depreciação do equipamento e a manutenção deste, além do amassamento da cultura, gerado pelo trânsito dessas máquinas, como no caso da cultura da soja pode reduzir a produtividade entre 0,5 e 4,0% (SCHRÖDER, 2015).

Conforme Costa (2009) o volume de calda aplicado é por unidade de comprimento, área, peso ou volume. É o fator resultante da classe com tamanho e densidade de gotas que serão necessárias para uma aplicação eficiente, com adequada cobertura do alvo. Todavia deve-se levar em consideração características da cultura como arquitetura da planta que será pulverizada. Portanto, o melhor volume de calda na pulverização terrestre não se limita apenas ao valor exato, mas também, depende das condições climáticas, da cultura e do tipo de pulverizador. Exemplo disso foi a condução de um experimento no Estado do Paraná com aplicação terrestre nas culturas da soja, feijão, batata e milho, no qual foi utilizado baixos volumes de calda, entre 80 e 130 L ha<sup>-1</sup>, os resultados encontrados garantiram eficiência agrônômica e confiabilidade para o controle de doenças (REZENDE, 2010). Porém como já citado anteriormente quanto menor o tamanho das gotas, mais implicações apresentarão, estando então mais sujeitas a evaporação e derivas.

Conforme Souza, Cunha e Pavinin (2012), menores volumes de calda proporcionam capacidade operacional maior em pulverizadores apresentando como vantagens a redução dos custos operacionais e menores desgastes do maquinário, além da redução da quantidade de combustível e mão-de-obra, sendo favorável, principalmente, em condições climáticas boas.

Dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, a aplicação terrestre pode ocasionar a redução do estande da lavoura, área fotossintética e, conseqüentemente, perdas de grãos, reduzindo significativamente a produção pelo amassamento (SILVA, 2004). No momento em que as aplicações de fungicidas proporcionam maior resposta técnica e econômica, o porte das plantas dificulta ou até impede o deslocamento das máquinas convencionais no interior das lavouras (BOLLER et al., 2008).

Os principais fatores que afetam a quantidade de agrotóxico aplicado estão relacionados à falta de cuidados com a velocidade de deslocamento, espaçamento, tipo e tamanho de bico, e a pressão de trabalho que é previamente estabelecida pelo fabricante do pulverizador. Com relação ao bico de aplicação, a vazão pode ter variação de acordo com a pressão solicitada durante a operação, assim, o aumento de pressão faz crescer o desgaste das pontas, reduzindo o formato das gotas e do ângulo do jato de aplicação (MACHADO et al., 2005).

Assim, a calibração do pulverizador e a verificação do estado de conservação são necessárias, visto que a aplicação de maneira uniforme do volume de calda em uma determinada área é um fator extremamente importante para uma aplicação eficiente de defensivos, além de, a determinação da altura mínima que a barra do pulverizador deve estar durante a aplicação em relação ao alvo, pois essa medida tem influência direta na sobreposição necessária entre o jato de um bico e o jato bico seguinte para que parte do alvo não fique sem aplicação, sendo esse valor de sobreposição rotineiramente indicado pelo fabricante (MACHADO et al., 2005).

## 2.5 ESPECTRO DE GOTAS

A literatura tem mostrado dados promissores quanto ao uso de aeronaves remotamente pilotadas para pulverização, principalmente relacionado a qualidade e segurança de aplicação (ANTUNIASSI, 2012). Contudo, uma aplicação de qualidade envolve diversos fatores, como seleção correta de pontas de pulverização, ajuste de volume da calda, parâmetros operacionais e climáticos e momento oportuno da aplicação de acordo com as recomendações técnicas (ANTUNIASSI; BAIIO, 2008).

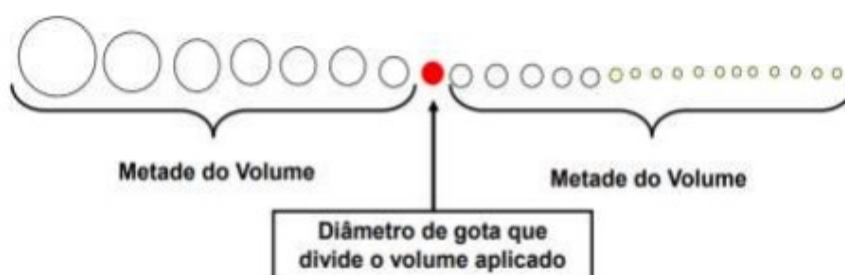
Dentre as tecnologias disponíveis, as pontas de pulverização exercem um papel importante, pois determinam o espectro de gotas e auxiliam na escolha do volume que será aplicado (ANTUNIASSI, 2012). A seleção apropriada das pontas é essencial para a correta aplicação, sendo o fator principal determinante da quantidade aplicada por área, da uniformidade de aplicação, da cobertura obtida e do risco potencial de deriva (JOHNSON; SWETNAM, 1996).

A utilização de pontas de pulverização de boa qualidade, que proporcionem cobertura homogênea com espectro de gotas uniforme, é importante para obtenção de uma eficiente aplicação de agrotóxico. Assim, o estudo do espectro de gotas produzidas pelas pontas de pulverização assume grande importância na eficiência de aplicação de produtos fitossanitários (CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

Conforme Antuniassi et al. (2005), o tamanho da gota é de fundamental importância para o sucesso na aplicação de agrotóxicos, influenciando sobre a intensidade de deposição no alvo e sobre as perdas por deriva. Segundo Antuniassi (2004), as gotas produzidas por uma ponta podem ser classificadas em muito finas,

finas, médias, grossas e muito grossas. Para a classificação de uma determinada ponta utiliza-se o conceito do diâmetro mediano volumétrico (DMV). O DMV é diâmetro de gotas que divide em duas partes a massa de gotas pulverizadas, sendo a soma do volume da parte das gotas maiores igual à soma do volume das partes das gotas menores (ANTUNIASSI, 2004) (Figura 2).

**Figura 2 – Demonstração de um esquema para determinação do DMV**



**Fonte: Antuniassi (2004)**

Conforme Antuniassi et al. (2005), a classe de tamanho de gotas ajuda na capacidade da pulverização em cobrir o alvo e penetrar na massa das folhas. As gotas finas podem ser mais sensíveis à evaporação e aos processos de deriva, sendo que, as gotas grossas e muito grossas, em qualquer tipo de sistema de produção, são mais usadas para aplicação de herbicidas de grande ação sistêmica utilizados para dessecação, enquanto as gotas finas são usadas para inseticidas, fungicidas e outros produtos de menor sistemicidade.

Os parâmetros de importância para a determinação da população de gotas são o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$ . Estas são características que definem o potencial de deriva de gotas, a homogeneidade de gotas e o diâmetro característico das gotas originado por uma ponta de pulverização. Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR), mais heterogêneo será o espectro das gotas pulverizadas, já o espectro de gotas menos heterogêneo tem valor de amplitude relativa que tende a zero. Os valores de DMV e AR podem ser analisados juntamente para a caracterização da pulverização. Conforme Cunha, Teixeira e Fernandes (2007), o DMV é um valor de referência e não determina a dispersão dos dados em torno deste valor.

### 2.5.1 Avaliação do espectro de gotas

Para avaliar a cobertura proporcionada por uma aplicação, uma das melhores formas é pelo uso do cartão de papéis hidrossensíveis (sensível a água), que mostra a quantidade e a característica das gotas depositadas sobre o mesmo (NASCIMENTO et al., 2013).

Em toda aplicação de produtos fitossanitários na forma líquida, seja ela efetuada por pulverizadores terrestres ou aéreos, é imprescindível poder avaliar a cobertura da superfície tratada. Os parâmetros mais comumente utilizados são: a) Diâmetro médio de gota (expressa a dimensão média das gotas depositadas); b) Densidade de gotas (expressa em gotas  $\text{cm}^{-2}$ , define a intensidade da cobertura da área); c) Espectro de gotas: expressa a uniformidade das gotas, mediante o desvio do diâmetro médio, Amplitude Relativa é um parâmetro estatístico para expressar numericamente o espectro de gotas; d) Volume de aplicação (ou taxa de aplicação): consiste no volume de calda do produto aplicado por unidade de superfície. É calculado mediante fórmulas que correlacionam a vazão aplicada ( $\text{L min}^{-1}$ ) com a largura da faixa de deposição e velocidade do equipamento aplicador.

O volume de aplicação pode, também, ser estimado pela análise da Densidade de Gotas e Diâmetro médio de gotas, acima referidos. e) Percentual de recuperação: é a diferença, expressa em percentagem, entre o volume que realmente atingiu o alvo e o volume aplicado. As diferenças (perdas), geralmente são devidas à evaporação e arraste (deriva) para fora do alvo, por ação do vento, temperatura e umidade relativa do ar. f) Percentual de recobrimento: é a relação entre a área total do coletor e a área efetivamente coberta pela aplicação.

Os cartões de papéis hidrossensíveis são caracterizados por serem papéis semirrígidos, com uma camada composta de azul de bromofenol, refletindo a cor amarela, que se torna azul quando entrar em contato com a água, devido a mudança de pH de 2,8 para 4,6 (TURNER; HUNTINGTON, 1970).

Atualmente, para se avaliar o espectro de gotas de acordo com a literatura analisada pode se utilizar o software Gotas<sup>®</sup> e o analisador de gotas em tempo real. Este software foi desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária em parceria

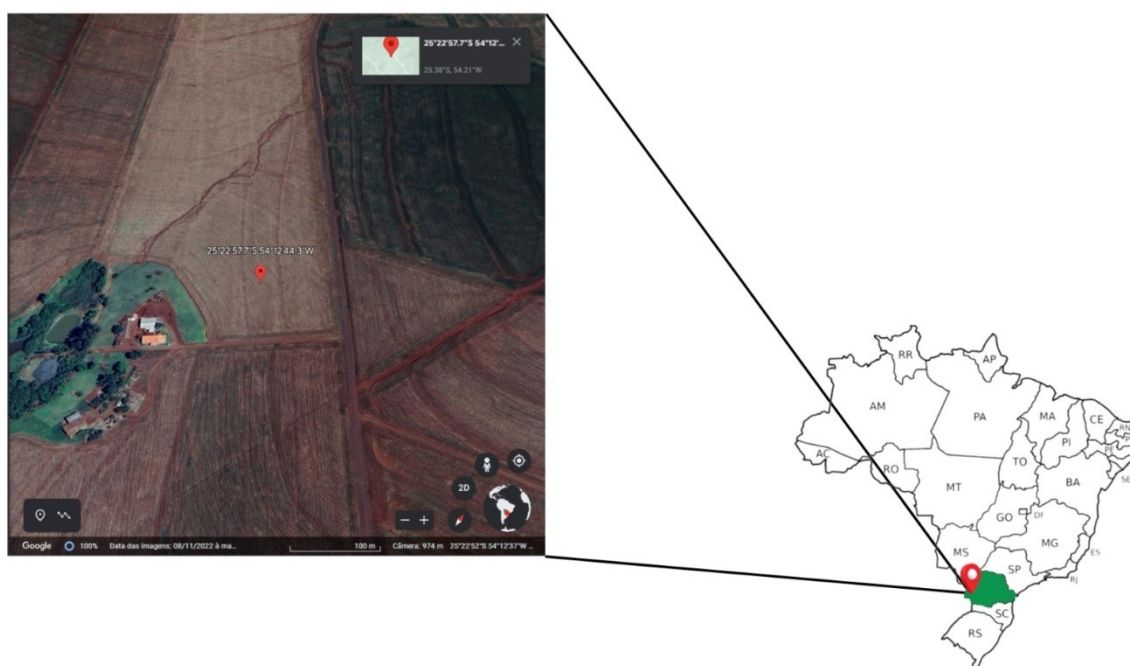
com a Embrapa Meio Ambiente e permite analisar amostras de deposição de gotas em papel hidrossensível, utilizadas para calibração de pulverizações agrícolas (CANTERI et al., 2001). Com as amostras coletadas nos papéis hidrossensíveis, o software automaticamente calcula a densidade da deposição, o tamanho real e a uniformidade das gotas, além do volume de calda depositado em litros por hectare, por meio da medição e contagem das manchas das gotas sobre o papel (CHAIM; NETO, 2000). E o analisador de gotas em tempo real realiza a medição da luz (feixe de raio laser) difratada durante a passagem das gotas pulverizadas pela região de amostragem do aparelho (CUNHA; BUENO; FERREIRA, 2010). O equipamento dispõe de unidade óptica que detecta o padrão de difração da luz ao passar por um conjunto de partículas, apresentando capacidade de mensuração de gotas com diâmetro entre 0,5 e 1.000  $\mu\text{m}$ . O desvio que o feixe de laser sofre depende do tamanho da partícula. Quanto menor a partícula, maior é o grau de difração que o raio de luz sofre (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE PESQUISADO

O trabalho foi desenvolvido em lavoura comercial, localizada no município de São Miguel do Iguçu - PR, pertencente a Região Oeste do Estado do Paraná, situada nas coordenadas geográficas 25.382858°S e 54.212239° W (Figura 3). A coleta dos dados ocorreu nos dias 17 de janeiro de 2022 (coleta aérea) e 18 de janeiro de 2022 (coleta terrestre). A implantação do experimento foi realizada na cultura da soja, variedade P96Y90, espaçamento 0,45 metros no estágio fenológico R5, momento em que a cultura se encontrava.

**Figura 3 – Descrição da localização da área em estudo ao Oeste do Estado do Paraná no município de São Miguel do Iguçu**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 3.2 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Para a coleta de dados foi realizado a instalação da parcela experimental na área selecionada (Quadro 1). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso,

em um arranjo fatorial  $3 \times 3 + 3$ . Para a aplicação área considerou-se dois fatores: volume (7, 11 e 15 L ha<sup>-1</sup>) e velocidade (10, 15 e 20 km h<sup>-1</sup>). E três tratamentos para pulverização terrestre (70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>) (Quadro 2). Observou-se três locais de coleta na planta (terço superior, médio e inferior) com quatro repetições. O tamanho das parcelas foi de 15 metros de comprimento por 8,5 metros de largura, que coincide com a faixa de pulverização do drone, totalizando 127,5 m<sup>2</sup>.

**Quadro 1 - Modelo do delineamento experimental com 12 tratamentos e 4 repetições**

	Tratamentos											
<b>Bloco 1</b>	T3	T1	T5	T10	T8	T11	T7	T2	T12	T4	T9	T6
<b>Bloco 2</b>	T9	T2	T4	T3	T7	T10	T6	T5	T11	T8	T1	T12
<b>Bloco 3</b>	T7	T11	T1	T10	T2	T6	T5	T3	T8	T4	T12	T9
<b>Bloco 4</b>	T10	T8	T12	T7	T4	T3	T5	T9	T11	T1	T6	T2

Fonte: Autoria própria (2023)

**Quadro 2 – Tratamentos realizados**

Tratamentos	Áereo/Vol/Vel	Terrestre/Vol
T1	7 L ha <sup>-1</sup> x 15 km h <sup>-1</sup>	
T2	7 L ha <sup>-1</sup> x 20 km h <sup>-1</sup>	
T3	7 L ha <sup>-1</sup> x 25 km h <sup>-1</sup>	
T4	11 L ha <sup>-1</sup> x 15 km h <sup>-1</sup>	
T5	11 L ha <sup>-1</sup> x 20 km h <sup>-1</sup>	
T6	11 L ha <sup>-1</sup> a x 25 km h <sup>-1</sup>	
T7	15 L ha <sup>-1</sup> x 15 km h <sup>-1</sup>	
T8	15 L ha <sup>-1</sup> x 20 km h <sup>-1</sup>	
T9	15 L ha <sup>-1</sup> x 25 km h <sup>-1</sup>	
T10		70 L ha <sup>-1</sup>
T11		110 L ha <sup>-1</sup>
T12		150 L ha <sup>-1</sup>

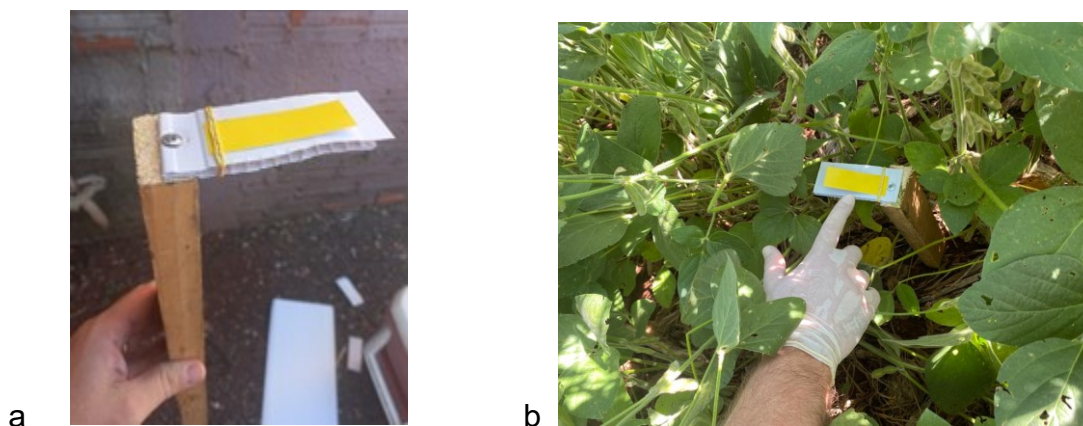
Fonte: Autoria própria (2023)

Para a coleta da deposição da calda em cada repetição foi instalado papéis hidrossensíveis no tamanho de 26 x 76 mm, na quantidade de 1 papel por posição por



tratamento na planta, fixados numa haste de madeira em um suporte de PVC (Figura 4) respeitando a altura do terço superior, médio e inferior do dossel das plantas.

**Figura 4 – (a) Preparo da haste de madeira em suporte de PVC e (b) Haste fixada para coleta da deposição da calda**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

A calda utilizada para a pulverização aérea e terrestre foi de água pura com uso do adjuvante sintético siliconado que atua visando a ação antievaporante e protetiva das gotas de pulverização sobre condições de altas temperaturas, baixa umidade relativa e ventos, melhorando a cobertura da aplicação sobre a epiderme da folha.

### 3.3. APLICAÇÃO AÉREA

Para as aplicações aéreas foi utilizado a aeronave DJI AGRAS T 30 (Figura 5), equipada com um sistema de radar omnidirecional incorporado um módulo de posicionamento preciso *Real Time Kinematic* (RTK). A aeronave possui câmaras dual fpv integradas é à prova d'água e com um grau de proteção ip67. Tem aproximadamente 3 m (2858 x 2685 x 770 mm, o que permite capacidade de carga de 30 L de calda. O DJI AGRAS T30 possui 16 bicos para tratamentos líquidos que são alimentadas através de 8 jogos de válvulas solenóides independentes, que regulam o fluxo de pulverização. As pontas de pulverização utilizada foram as selecionadas pelo próprio produtor de uso contínuo em suas aplicações de manejo,

da marca *Teejet Technologies*, ponta de pulverização de Jato Cônico Vazio, modelo TXA8001VK.

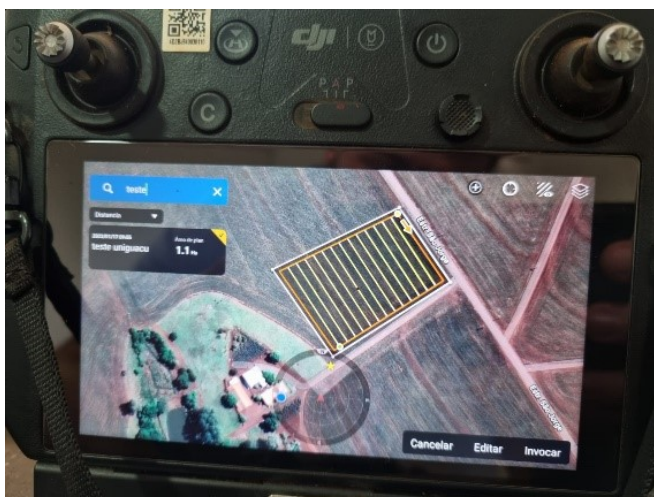
**Figura 5 - Drone modelo DJI AGRAS T 30**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O voo com a aeronave foi realizado com as condições climáticas favoráveis com ventos entre 4 e 8 Km h<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar entre 72% e 65% e temperatura entre 25 e 29°C. O voo ocorreu de forma autônoma com o uso do aplicativo DJI GO 4 e o *software* DJI AGRAS T30 *Assistant* da própria aeronave, o qual mantém a altura de voo de três metros, faixa de aplicação de 8,5 m de comprimento e velocidade de voo de 15, 20 e 25 km h<sup>-1</sup> conforme o planejamento do voo (Figura 6).

**Figura 6 – Plano de voo na área do experimento**



Fonte: Autoria própria (2023)

Para definir os tratamentos, utilizaram-se os valores médios empregados pelas empresas prestadoras de serviços e produtores que já utilizam a tecnologia na região, e, a partir deles e da capacidade da aeronave, definiu-se um valor acima e outro abaixo deste valor médio de referência para todas as variáveis.

### 3.4 PULVERIZAÇÃO TERRESTRE

Para a pulverização terrestre foi utilizado um pulverizador autopropelido da marca Montana Kuhn, modelo *Boxer 2000*, com comprimento das barras de 27 m, reservatório de água de 2000 L (Figura 7), com pontas de pulverização da marca Magno Jet modelo MGA 02 com ângulo de 90° tipo cone vazio, espaçamento entre pontas de 0,5 m, altura de barra 0,5 m do dossel da cultura.

**Figura 7 - Pulverizador Montana Kuhn, modelo Boxer 2000**



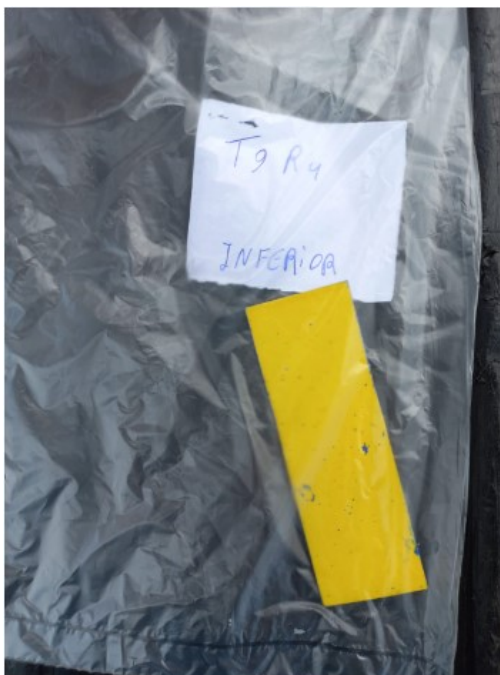
**Fonte: Autoria própria (2023)**

A pulverização foi realizada em condições favoráveis com ventos de 3 a 7 Km h<sup>-1</sup>, umidade relativa do ar entre 58 a 65%, e temperatura entre 26 à 30°C.

### 3.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Após as pulverizações os cartões foram recolhidos e devidamente identificados e acondicionados em sacos plásticos (Figura 8), para evitar contato com água e contaminação da amostra para posterior avaliação.

**Figura 8 – Saco plástico com amostra de papel hidrossensível**



**Fonte: A autoria própria (2023)**

Os cartões hidrossensíveis foram digitalizados e suas imagens armazenadas. Para avaliação das imagens dos cartões foi usado o *software* Gotas<sup>®</sup>, desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária e Embrapa Meio Ambiente, um sistema desenvolvido para dar suporte à avaliação quantitativa, qualitativa e espacial da deposição de gotas de pulverização, disponível de maneira gratuita.

### 3.6 ANÁLISE DAS IMAGENS

Para avaliação da deposição da calda foi utilizado para a análise, às leituras dos seguintes valores: 1. Fator de dispersão do tamanho de gotas, 2. Densidade de gotas em ( $n^{\circ} \text{ cm}^{-2}$ ), 3. Porcentagem de cobertura e 4. Diâmetro volumétrico D50 ( $\mu\text{m}$ ), também conhecido como DMV (diâmetro mediano volumétrico). De acordo com Chain, Neto e Pessoa (2006):

1. Fator de dispersão de tamanho de gotas. Esse parâmetro oferece informações das dispersões dos tamanhos das gotas dentro de uma amostra. A dispersão relativa é uma medida de quão diferentes são as dimensões de gotículas de uma determinada pulverização. É definida como  $Fd = (D90 - D10)/D50$ . Por exemplo, se todas as gotas

de uma amostra apresentam 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro o fator de dispersão será:  $F_d = (100 - 100)/100 = 0$ , ou seja, todas as gotas da amostras são iguais. Os bicos hidráulicos são conhecidos por produzirem gotas de tamanhos diferentes, ou seja, são polidispersas, mas dentro de certos limites, definidos por fabricantes. Nos bicos hidráulicos desgastados a dispersão é maior, bem como, quando a pressão de trabalho está fora daquela recomenda pelo fabricante dos bicos.

2. Densidade de gotas ( $\text{n}^\circ \text{cm}^{-2}$ ). Esse indicador fornece informações de quantas gotas atingiram uma área equivalente a um centímetro quadrado. Esse é um parâmetro internacionalmente indicado para a calibração da deposição, mas apresenta muitas falhas.

3. Porcentagem de cobertura representa a porcentagem de área coberta pela mancha das gotas em relação a área total da amostra.

4. Diâmetro volumétrico D50 ( $\mu\text{m}$ ). Representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D50 compõem 50% do volume total de líquido da amostra. Esse parâmetro também é conhecido como diâmetro mediano volumétrico e é muito importante para a calibração da deposição, pois expressa o padrão de diâmetro de gotas que atingiu a amostra.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). Em caso de significância, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o *software* Sisvar, versão 5.3 (FERREIRA, 2019).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 APLICAÇÃO AÉREA

Durante o experimento, observou-se que a umidade do ar esteve variando entre 65 e 72%, a temperatura de 25 a 29° C e a velocidade do vento entre 4 e 8 km h<sup>-1</sup>. De acordo com a proposta de padronização dos resultados de trabalhos em tecnologia de aplicação apresentado por Balan et al. (2012), os autores sugerem que as informações sobre as características da pulverização e condições meteorológicas no momento da aplicação sejam apresentadas.

Na realização de aplicações de agrotóxico é fundamental que as condições climáticas sejam adequadas, pois se o clima não estiver favorável, o sucesso de aplicação estará comprometido, sendo desta forma, crucial o acompanhamento do clima antes de realizar as aplicações (CARLESSO; BARIVIERA, 2022).

Os resultados das interações entre os fatores estudados não demonstram interação significativa entre os três fatores (velocidade, volume e posição) (Tabela 1). No entanto, as interações entre dois fatores são significativas para o volume x posição e para velocidade x volume nas variáveis densidades, cobertura e diâmetro médio volumétrico. A interação entre velocidade e posição não apresentou interação significativa em nenhuma variável.

**Tabela 01 – Análise de variância para os fatores de variação velocidade, volume posição e suas interações nas variáveis: dispersão, densidade, cobertura e diâmetro médio volumétrico (DMV)**

Fatores de variação	Quadrados médios			
	Dispersão	Densidade	Cobertura	DMV
Velocidade (Ve)	0,19*	28,29	2,59	7561,09*
Volume (Vol)	0,07	286,70*	12,20*	105,76
Posição (P)	0,06	619,26*	31,20*	1989,06*
Ve * Vol	0,02	58,95*	3,82*	11040,23*
Ve * P	0,05	8,29	1,80	934,23
Vol * P	0,10	70,59*	4,05*	9964,33*
Ve * Vol * P	0,08	16,03	1,74	3635,73
CV (%)	32,17			

\* Efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.1.1 Dispersão

A maior dispersão de produto foi observada na velocidade de 15 km h<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente da velocidade de 25 km h<sup>-1</sup> (Tabela 2). As propriedades físico-químicas da calda de pulverização desempenham um papel importante na determinação do tamanho das gotas, o que pode levar a diferentes valores de dispersão. Conforme observado por Griesang et al. (2017), a presença de adjuvantes em mistura de tanque geralmente resulta em variações significativas no espectro das gotas pulverizadas.



**Tabela 02 – Teste de médias para dispersão nas velocidades testadas**

Velocidades	Dispersão
15	0,78 a
20	0,64 b
25	0,66 ab

DMS: 0,12

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Segundo Matthews et al. (2016) o coeficiente de dispersão representa a variação do tamanho das gotas, e quanto maior o seu valor, mais heterogêneas serão as dimensões das gotas. Valores de amplitude relativa próximos de zero implicam em um espectro de gotas menos heterogêneo. Nesse aspecto os valores de dispersão compreendidos entre 0,64 a 0,78 verificados no presente estudo, sugere um padrão de gotas menos heterogêneas.

De acordo com Dos Reis et al. (2010), para aumentar a qualidade da pulverização, os padrões de gotas aplicados devem ser melhorados, principalmente relacionado à homogeneidade do espectro de gotas. Todavia, os valores de amplitude relativa das gotas depositadas no alvo também estão diretamente relacionados ao tipo de ponta de pulverização, bem como o tipo de calda utilizada e as condições de temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar no momento da aplicação (VIEIRA et al., 2019).

Ao se analisar os valores de dispersão, o resultado mais próximo de zero (0,64) foi observado quando se empregou a velocidade de 20 km h<sup>-1</sup>. Os valores compreendidos entre 0,64 a 0,78 são similares a faixa de valores de Ahmad et al. (2020) que encontrou 0,70 a 1,03 e de 0,32 a 0,97 verificados por Cao et al. (2021).

Contudo, as observações relacionadas à dispersão quando realizadas separadamente podem equivocadamente ser compreendida como se as escolhas desses níveis para os respectivos fatores resultariam em uma aplicação com qualidade superior. Por isso, faz-se necessário ressaltar a importância de se analisar também a deposição da pulverização no alvo e a deriva gerada nas aplicações de

acordo com cada tratamento, para poder se adotar os parâmetros mais adequados para o processo de tratamento das lavouras (MORAES, 2022).

#### 4.1.2 Densidade

A densidade de gotas apresentou diferença significativa no volume de 11 L ha<sup>-1</sup> sendo a maior densidade na velocidade 15 km h<sup>-1</sup>, não diferindo estatisticamente da velocidade 20 km h<sup>-1</sup> (Tabela 3). Os demais volumes não apresentaram diferença significativa nas velocidades estudadas.

**Tabela 03 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para variável densidade de gotas**

Velocidade	Densidade de gotas / n° cm <sup>-2</sup>		
	Volume L ha <sup>-1</sup>		
	7	11	15
15	2,95 aB*	12,12 aA	5,48 aB
20	4,30 aB	8,57 abA	5,81 a AB
25	2,28 aB	5,75 bAB	7,27 aA

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Analisando a densidade de gotas, observa-se que nas menores velocidades (15 e 20 km h<sup>-1</sup>), a maior densidade ocorre nos volumes de 11 L ha<sup>-1</sup>, não diferindo do volume de 15 L ha<sup>-1</sup> na velocidade de 20 km h<sup>-1</sup>. Na velocidade de 25 km h<sup>-1</sup> a maior densidade ocorre no volume de 25 L ha<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente da volume de 11 L ha<sup>-1</sup>.

Com relação aos resultados referentes a menor velocidade testada apresentar a maior densidade de gotas corrobora com Hunter III et al. (2019) que analisaram os efeitos da velocidade de voo da RPA na extensão de cobertura do alvo, e constataram que os valores mais significativos foram registrados quando adotaram a menor

velocidade (3,6 Km h<sup>-1</sup>), ao passo que a maior velocidade (25,2 Km h<sup>-1</sup>) resultou em menor cobertura.

A densidade de gotas na posição superior e médio foi maior no volume de 11 L ha<sup>-1</sup> em comparação aos demais volume, com exceção do volume de 15 L ha<sup>-1</sup> que na posição média não diferiu estatisticamente do volume de 11 L ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Na posição inferior não houve diferença na densidade de gotas em função do volume aplicada.

**Tabela 04 - Análise do desdobramento de volume e posição para variável densidade de gotas**

Volume (L ha <sup>-1</sup> )	Densidade de gotas / n <sup>o</sup> cm <sup>-2</sup>		
	Posição		
	Superior	Médio	Inferior
7	4,96 cA*	2,39 bA	2,17 aA
11	15,27 aA	8,05 aB	3,12 aC
15	11,30 bA	5,63 abB	1,63 aC

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Os volumes de 11 e 15 L ha<sup>-1</sup> apresentaram a maior densidade de gotas na posição superior em relação às posições médio e inferior (Tabela 4). No volume de 7 L ha<sup>-1</sup> não foi observado diferença significativa nas posições. Achado correlato ao estudo de Moraes (2022), onde a maior densidade de gotas foi obtida no terço superior em relação ao terço inferior. Esse fenômeno é resultado da ação de proteção concedida pelas folhas superiores e médias sobre as folhas inferiores, o que é comumente comparado a um efeito de guarda-chuva, conforme observado por Cunha et al. (2010).

Ao analisar individualmente as médias de densidades de gotas (n<sup>o</sup>.cm<sup>-2</sup>) verificamos o maior n<sup>o</sup> de gotas cm<sup>-2</sup> na posição superior o que corrobora com os resultados de Silva (2022) que ao pesquisar a deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja também obteve na parte superior maior densidade de gotas representada por 52,1 gotas cm<sup>-2</sup>, e na posição

média 6,6 gotas  $\text{cm}^{-2}$  valor próximo ao encontrado nessa pesquisa no volume de 15 L  $\text{ha}^{-1}$  foi de 5,63 gotas  $\text{cm}^{-2}$ .

No presente estudo os valores de densidade de gotas variaram de 1,63 a 15,27 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , valores estes próximos ao intervalo de resultados encontrados por Wang et al. (2019) estudando o desempenho de quatro diferentes tipos de ARPs na cultura do trigo de 1,9 a 109,5 gotas  $\text{cm}^{-2}$ . Essa alta variabilidade dos valores para densidade de gotas, sempre esteve presente nos estudos que incluem a avaliação da pulverização. Tal valor também se enquadra dentro de uma faixa de resultados observada em outras pesquisas como 2,0 a 11,3 gotas  $\text{cm}^{-2}$  na cultura do algodão (CHEN et al., 2020). Segundo esses mesmos autores, esses resultados foram satisfatórios para o controle quando foi utilizado produto sistêmico.

De acordo com Zhang et al. (2020b), a quantidade adequada de gotas depositadas sobre o alvo é essencial para garantir um controle satisfatório de pragas ou doenças. Segundo Muhammad et al. (2019), o aumento no volume de calda aplicado resulta em uma tendência de incremento na densidade de gotas depositadas no alvo. Segundo Wang et al. (2019), relataram que o dossel superior recebe um número muito maior de depósitos de pulverização do que o dossel médio, especialmente para tratamentos com ARP.

Conforme Ballarotti et al. (2013), o uso de papel sensível à água apresenta limitações na captura de gotas com diâmetros menores que 30  $\mu\text{m}$ . Além disso, Hoffmann e Hewitt (2005) afirmam que há restrições técnicas na medição de gotas em papéis hidrossensíveis quando essas são menores que 50  $\mu\text{m}$ , pois o volume de líquido não é suficiente para marcar visivelmente o papel. Esses fatos são relevantes em ensaios experimentais nos quais há um aumento no volume de aplicação devido ao aumento da pressão utilizando a mesma ponta, uma vez que o aumento da pressão resulta em uma porcentagem maior de gotas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$ , o que pode mascarar os resultados da deposição.

Embora a densidade de gotas obtidas com a RPA possa ser suficiente para que determinados produtos sistêmicos possam agir na planta, segundo a recomendação de Mewes et al. (2013) apesar da ausência de valores pré-definidos para uma cobertura ideal por classe de produto, observou-se nessa pesquisa uma baixa cobertura do alvo, o que pode comprometer o desempenho de tratamentos com produtos de contato ou com baixa sistematicidade.

Os fungicidas sistêmicos, quando aplicados em plantas de soja, têm uma translocação limitada e requerem distribuição adequada em todo dossel. Portanto, para garantir o sucesso da aplicação, é essencial ter o conhecimento correto sobre a forma de aplicação, a fim de assegurar que o produto atinja o alvo de maneira eficiente e uniforme, conforme destacado por Cunha et al. (2014).

#### 4.1.3 Cobertura (%)

A porcentagem de cobertura de gotas no volume de 11 L ha<sup>-1</sup> foi maior na menor velocidade (15 kmh<sup>-1</sup>) em comparação as demais (Tabela 5). Os demais volumes não apresentaram diferença significativa entre as velocidades.

**Tabela 05 - Análise do desdobramento de velocidade dentro de cada nível de volume e do desdobramento de volume dentro de cada nível de velocidade para variável cobertura (%)**

VELOCIDADE Km h <sup>-1</sup>	MÉDIAS COBERTURAS (%)		
	VOLUME L ha <sup>-1</sup>		
	7	11	15
15	0,68 a B*	2,87 a A	1,43 a B
20	1,00 a A	1,64 b A	1,19 a A
25	0,55 a C	1,20 b AB	1,67 a A

DMS: 1,01

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤ 0,05).

Em relação a velocidade, observa-se que na menor velocidade, a cobertura de gotas foi maior no volume de 11 L ha<sup>-1</sup> em comparação aos demais volumes (Tabela 5). Na maior velocidade estudada, 25 Km h<sup>-1</sup>, a maior cobertura de gotas, acontece no maior volume (15 L ha<sup>-1</sup>), não diferindo estatisticamente do volume intermediário de 11 L ha<sup>-1</sup>. Na velocidade de 20 km h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre os volumes (Tabela 5).

O índice de cobertura reflete o percentual do tecido vegetal que é coberto pela calda de pulverização (CARLESSO; BARIVIERA, 2022). Alves et al., (2020) e Santinato et al., (2017) verificaram ser possível reduzir a taxa de aplicação de produtos fitossanitários, sem perdas na deposição e na porcentagem de cobertura.

Os volumes de 11 e 15 L ha<sup>-1</sup> apresentaram a melhor cobertura de gotas na posição superior. Na posição média, o volume de 11 L ha<sup>-1</sup> apresentou a melhor cobertura, não diferindo estatisticamente do volume 15 L ha<sup>-1</sup>. Na posição inferior, o volume não interferiu na cobertura de gotas (Tabela 6).

**Tabela 06 - Análise do desdobramento de volume e posição para a variável cobertura de gotas**

VOLUME L ha <sup>-1</sup>	MÉDIA COBERTURA (%)		
	POSIÇÃO NA PLANTA		
	SUPERIOR	MÉDIO	INFERIOR
7	1,10 b A*	0,54 b A	0,59 a A
11	3,31 a A	1,77 a B	0,63 a C
15	2,69 a A	1,23 ab B	0,38 a B

DMS: 1,01

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Para que ocorra uma pulverização eficiente tem-se que alcançar uma boa cobertura na deposição da calda, alguns produtos são mais exigentes que outros em relação a cobertura, os fungicidas sistêmicos, exibem uma translocação restrita quando aplicados em plantas de soja exigindo uma distribuição equitativa ao longo do dossel a assegurar a eficácia e uniforme chegada do produto ao alvo visado, conforme discutido por Cunha et al. (2014).

Os fungicidas sistêmicos, quando aplicados em plantas de soja, têm uma translocação limitada e requerem uma boa distribuição adequada em todo dossel. Portanto, para garantir o sucesso da aplicação, é essencial ter o conhecimento correto sobre a forma de aplicação, a fim de assegurar que o produto atinja o alvo de maneira eficiente e uniforme, conforme destacado por Cunha et al. (2014).

Um parâmetro de extrema importância para uma boa pulverização é a porcentagem de cobertura de gotas, o presente estudo demonstrou aumento de cobertura de gotas nos volumes  $7 \text{ L ha}^{-1}$  e  $11 \text{ L ha}^{-1}$ , o resultado corrobora com o estudo Chen et al. (2020), que ao realizarem aplicações com um veículo aéreo não tripulado, observaram que com o aumento do volume de calda houve um aumento na porcentagem de cobertura.

À medida que os depósitos aumentam nos estratos superiores da cultura, observa-se uma diminuição correspondente nos depósitos presentes no terço inferior. Esse fenômeno pode ser compreendido pelo efeito de proteção que as folhas do terço superior exercem sobre as camadas internas da cultura, conhecidas como 'efeito guarda-chuva' (ROMÁN et al., 2009).

A relação entre o diâmetro das gotas e a cobertura dos alvos é significativa. Gotas de menor tamanho, quando pulverizadas em um determinado volume de calda, resultam em maior quantidade de gotas por centímetro quadrado. Isso, por sua vez, amplia a área de contato da calda com o alvo, promovendo um aumento na cobertura. De acordo com a aprovação de Courshee (1967) a cobertura também é influenciada pela quantidade de área foliar produzida pela cultura. Quanto maior a área foliar, mantendo as demais variáveis constantes, menor será a cobertura. Portanto, é essencial que as aplicações acompanhem o desenvolvimento da cultura e o aumento da área foliar. Isso garantirá a manutenção de uma cobertura adequada, essencial para alcançar o efeito biológico desejado do produto (ANTUNIASSI; BAILO, 2008).

O resultado encontrado por Silva (2022) na parte superior da planta a cobertura do alvo proporcionada pela RPA foi menor que o estudo apresentado, 1,3 e 2,37% respectivamente. Na posição média Silva (2021) também encontrou menor valor de cobertura em relação ao presente estudo, 0,2 e 0,53% respectivamente. Ainda que não haja valores estabelecidos previamente para determinar uma cobertura adequada, é importante notar que porcentagens próximas a 1% podem ser problemáticas, especialmente em casos de tratamento com produtos que exigem maior contato para um controle efetivo (ZHU; SALYANI; FOX, 2011).

O estudo de Moraes (2022) demonstrou que o terço da planta analisado apresentou efeito significativo sobre a porcentagem de cobertura com maior valor ocorrendo no terço superior da planta. A densa folhagem da planta, quando combinada ao fechamento da copa, cria uma barreira que dificulta a penetração das

gotas de forma a prejudicar a eficácia dos tratamentos (CUNHA et al., 2014), os resultados encontrados corroboram com esses achados, pois a planta se encontrava com sua máxima folhagem e a copa fechada dificultando a penetração das gotas nas posições média e inferiores. Pesquisas conduzidas por Corrêa e Held (1982) demonstram que a dispersão do líquido sobre o alvo artificial pode ser influenciada pelo seu conteúdo químico, o que afeta o fator cobertura.

#### 4.1.4 DMV (D50)

O DMV foi maior nas velocidades 15 km h<sup>-1</sup> e 20 km h<sup>-1</sup> e no volume de 7 L ha<sup>-1</sup>. No volume de 15 L ha<sup>-1</sup> as velocidades 15 e 25 apresentaram o maior valor de DMV. No volume de 11 L ha<sup>-1</sup> não houve variação do DMV entre as velocidades testadas (Tabela 7).

**Tabela 07 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para o diâmetro médio volumétrico das gotas**

VELOCIDADE Km h <sup>-1</sup>	MÉDIAS DMV (µm)		
	VOLUME L ha <sup>-1</sup>		
	7	11	15
15	337,84 aA	320,08 aA	324,82 aA
20	321,67 aA	308,74 aAB	274,51 bB
25	267,29 bB	307,65 aAB	335,32 aA

DMS: 47,05

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A velocidade de 20 km h<sup>-1</sup> apresenta o maior DMV no volume de 7 L ha<sup>-1</sup> não diferindo do volume de 11 L ha<sup>-1</sup>. Na velocidade de 25 km h<sup>-1</sup> o maior DMV acontece no volume de 15 L ha<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente do volume de 11 L ha<sup>-1</sup>. Na velocidade de 15 km h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre os volumes testados (Tabela 7). No estudo de Silva (2022) como o estudo em questão à velocidade de voo da RPA o DMV não apresentou diferença significativa.



Na posição inferior, o maior DMV foi observado no volume de 7 L ha<sup>-1</sup> não diferindo do volume de 11 L ha<sup>-1</sup> (Tabela 8). Nas demais posições, as velocidades não diferiram estatisticamente.

**Tabela 08 - Análise do desdobramento de volume e posição para o diâmetro médio volumétrico de gotas**

VOLUME L ha <sup>-1</sup>	MÉDIAS DMV (µm)		
	POSIÇÃO NA PLANTA		
	SUPERIOR	MÉDIO	INFERIOR
7	296,87 aA*	301,01 aA	328,91 aA
11	292,11 aA	335,01 aA	309,35 abA
15	338,18 aA	321,15 aAB	275,33 bB

DMS: 47,05

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O volume de 15 L ha<sup>-1</sup> apresenta maior DMV na posição superior, não diferindo estatisticamente da posição média. Os volumes de 7 L ha<sup>-1</sup> e 11 L ha<sup>-1</sup> não apresentaram variação de DMV nas posições da planta (Tabela 8).

No que diz respeito ao Diâmetro Médio Volumétrico (DMV) da gota, refere-se ao diâmetro no qual a massa das gotas pulverizadas é dividida em duas partes iguais de volume, com a soma do volume das gotas maiores equivalente à soma do volume das gotas menores (CHECHETTO et al., 2014).

Conforme as normas ASAE S-572 (2000) que determina as classes de tamanho de gotas, o DMV resultante da aplicação por via aérea, enquadra-se na categoria de gota média (250-350 µm) resultando num espectro mais uniforme de gotas.

De acordo com a pesquisa conduzida por Richardson et al. (2019), a aplicação de pulverização por Aeronaves Remotamente Pilotadas abrange uma variedade de tamanhos de gotas, variando de finas a grossas. A escolha desses tamanhos é influenciada por fatores como as condições climáticas e o padrão de fluxo de ar gerado pelas hélices.

Inúmeros estudos confirmam que, em cenários de cultivo com uma densa cobertura foliar no dossel, como é observado no estágio avançado de vegetação e reprodução da cultura da soja que coincide com o estágio da cultura nesse estudo,

torna-se necessário o uso de maiores volumes de pulverização e gotículas de tamanho reduzido. Isso é essencial para garantir a penetração adequada e a cobertura eficaz do alvo, como documentado por Cunha et al. (2006) e Griesang et al. (2018).

Segundo Antuniassi e Baio (2008), o tamanho das gotas representa um dos elementos essenciais para o sucesso na aplicação de agrotóxicos, uma vez que afeta diretamente a deposição e as perdas devido à deriva. Cunha et al. (2013) compararam quatro programas computacionais, devido as divergências, os investigadores alertam para a incompatibilidade na comparação dos resultados obtidos por programas distintos ao analisar o DMV de gotas.

Conforme apontado por Nascimento et al. (2013), o uso do cartão de papel sensível à água demonstra ser uma ferramenta de considerável resistência em campo para a comparação de variável como a porcentagem de cobertura, densidade de gotas por centímetro quadrado (gotas n<sup>o</sup> cm<sup>-2</sup>) e Diâmetro Médio Volumétrico (DMV), resultantes das gotas provenientes de diferentes bicos de pulverização. No entanto, tanto o papel sensível à água comercial quanto o papel fotográfico alternativo não representaram cientificamente o DMV, o índice de dispersão e percentual de gotas com diâmetro superior a 100 µm em 91,7% dos tratamentos testados.

#### 4.2 COMPARAÇÃO DRONE E AUTOPROPELIDO

Os resultados das interações entre os fatores estudados demonstram interação significativa entre os três fatores (velocidade, volume e posição) (Tabela 9) nas variáveis cobertura e DMV. Os resultados entre os três fatores (velocidade, volume e posição) nas variáveis dispersão e densidade não demonstram interação significativa, no entanto a interação entre dois fatores velocidade x volume e para velocidade x posição foram significativos para a variável densidade. Na variável dispersão, os fatores velocidade e posição isolados diferiram significativamente (Tabela 9).

**Tabela 09 – Análise de variância para os fatores de variação velocidade, volume, posição e suas interações nas variáveis dispersão, densidade, cobertura e diâmetro médio volumétrico (DMV)**

Fatores de variação	Quadrados médios			
	Dispersão	Densidade	Cobertura	DMV
Velocidade (Ve)	0,14*	2262,33*	247,15*	14013,50*
Volume (Vol)	0,06	359,24*	22,30*	191,65*
Posição (P)	0,19*	2142,77*	273,82*	22258,20*
Ve * Vol	0,02	89,11*	6,83*	8034,90*
Ve * P	0,07	314,75*	105,47*	25542,70*
Vol * P	0,0073	64,38	17,83*	17952,25*
Ve * Vol * P	0,07	26,73	8,10*	6598,14*
CV (%)	28,3	60,34	61,10	15,53

\* Efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.1 Dispersão

A maior dispersão de gotas foi observada na velocidade de 15 km h<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente da velocidade de 25 km h<sup>-1</sup> e do autopropelido (Tabela 10). A dispersão indica a homogeneidade do espectro de gotas, tem valor de dispersão tendendo a zero. Em um estudo semelhante Cavalcanti, Müller (2023) analisando aplicações em videira, a única variável observada e analisada que demonstrou um desempenho semelhante entre a pulverização feita por trator e a realizada pelo drone testado foi o 'fator de dispersão' no tamanho das gotas.

**Tabela 10 – Teste de médias para dispersão nas velocidades testadas**

Velocidades	Dispersão
15	0,78 a
20	0,64 b
25	0,66 ab
Autopropelido	0,73 ab

DMS: 0,12

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

No presente trabalho observou-se diferença significativa na dispersão de gotas entre os tratamentos, o mesmo observado por Machado e Reynado (2019), onde encontraram diferença significativa entre os métodos de aplicação, precisamente no caso da posição terço inferior, em que a aplicação aérea demonstrou menor variação no terço inferior em comparação com a aplicação terrestre. Essa discrepância está diretamente relacionada à maneira como o líquido é fragmentado em gotas, resultando em uma maior uniformidade no tamanho das gotas. Ou seja, as gotas tinham um tamanho mais consistente.

Ao avaliar a uniformidade na distribuição da calda proporcionada pelos métodos de aplicação terrestre e aérea, Cunha et al. (2014) constataram que a uniformidade foi baixa. Ainda com relação ao tamanho de gotas, no estudo realizado por Silva (2022) a amplitude relativa média do tamanho de gotas foi de 1,1, sendo que não houve diferença entre os tratamentos aéreo e terrestre.

#### 4.2.2 Densidade

A densidade de gotas apresentada na aplicação com drone foi maior no volume  $11 \text{ L ha}^{-1}$  na velocidade  $15 \text{ km h}^{-1}$  diferindo dos volumes de 7 e  $15 \text{ L ha}^{-1}$  (Tabela 11). Analisando a densidade, observa-se que na aplicação com o autopropelido, ocorre as maiores densidades de gotas (Tabela 11), achados semelhantes foram encontrados por Cunha et. al (2021) em estudos realizados com RPA e pulverizador costal na

cultura do milho em que a densidade de gotas com a RPA foi inferior comparado a aplicação com pulverizador costal, sua média de gotas com a RPA foi de 26 a 39 gotas.cm<sup>-2</sup> número bem superior ao presente estudo.

**Tabela 11 - Análise do desdobramento de velocidade e volume para variável densidade de gotas**

Velocidade	Densidade de gotas (nº cm <sup>-2</sup> )		
	Volume (L ha <sup>-1</sup> )		
	7	11	15
15	2,95 bB	12,12 bA	5,48 bB
20	4,30 bA	8,57 bA	5,81 bA
25	2,28 bA	5,75 bA	7,27 bA
	70	110	150
Autopropelido	17,95 aB	21,13 aAB	26,46 aA

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se que a densidade de gotas variou de 17,95 à 26,46 gotas cm<sup>-2</sup>, com a aplicação terrestre, para 2,28 à 12,12 com a RPA, podendo ser influenciada pelas diferentes taxas de aplicação. De acordo com as descobertas de Zhang et al. (2020a), um controle satisfatório de pragas ou doenças é alcançado quando as gotas são aplicadas em quantidade apropriada sobre o alvo. Entretanto, a quantidade necessária depende do produto fitossanitário utilizado, especialmente em relação à sua capacidade de absorção e translocação.

A densidade de gotas no autopropelido foi maior em todas as posições entre todas as velocidades do drone (Tabela 12). Para Silva (2022), ao analisar a densidade de gotas registrada nos papéis hidrossensíveis na parte superior e média da planta, não exibiu diferença entre as duas velocidades de voo, mas, comparativamente, foi menor do que aquela obtida com a aplicação do pulverizador terrestre.

**Tabela 12 - Análise do desdobramento de volume e posição para variável densidade de gotas**

Velocidade	Densidade de gotas (nº cm <sup>-2</sup> )		
	Posição na Planta		
	Superior	Médio	Inferior
15	12,35 bA	5,33 bB	2,86 bB
20	10,22 bA	6,01 bAB	2,46 bB
25	8,97 bA	4,72 bAB	1,60 bB
Autopropelido	37,49 aA	18,57 aB	9,48 aC

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A posição superior obteve a maior densidade entre todas as velocidades do drone e do autopropelido diferindo das posições médio e inferior (Tabela 12). De acordo com Machado e Reynaldo (2019) em um estudo de comparação do uso de aplicação aérea e terrestre na qualidade de deposição de produtos na cultura de soja o número de gotas foi estatisticamente diferente para as posições do terço superior e terço médio de deposição do produto. A aplicação terrestre apresentou incremento em relação à aplicação aérea nessas duas posições de deposição de produto avaliadas.

Em um estudo avaliando a aplicação com drone e um sistema tratorizado na pulverização da cultura da videira, Cavalcante e Muller (2023) obtiveram os indicadores das pulverizações com drones bem abaixo dos valores apresentados pelo sistema tratorizado.

Um dos principais desafios na área de tecnologia de aplicação reside em atingir efetivamente as regiões mais baixas das plantas, que frequentemente concentram a maior incidência de doenças e, portanto, requerem prioridade na aplicação para um combate mais eficaz contra as pragas (CUNHA; JULIATTI; REIS, 2014; MACHADO, 2014). Em linhas gerais, a pulverização de agrotóxicos resulta em uma deposição reduzida nas regiões mais internas e inferiores do dossel das culturas (REYNALDO; MACHADO, 2017). De acordo com Cunha et al. (2014), tanto a aplicação aérea quanto a terrestre atenderam aos requisitos mínimos de deposição recomendados para a aplicação.

### 4.2.3 Cobertura (%)

A porcentagem de cobertura de gotas foi maior no autopropelido em todas as posições superior e média no volume 70 L.ha<sup>-1</sup>, sendo as maiores coberturas encontradas na posição superior e nos volumes de 150, 110 e 70 L ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 13). Com relação a cobertura do alvo, no estudo de Silva (2022) a cobertura obtida nos papéis hidrossensíveis na posição superior e média não apresentaram diferença entre as duas velocidades de voo, contudo apresentou-se valores inferiores em relação à aplicação usando o pulverizador terrestre, também observada no presente estudo.

**Tabela 13 - Análise do desdobramento do volume, posição (S: superior, M: médio e I: inferior) e velocidade com autopropelido para varável cobertura (%)**

		Volume L ha <sup>-1</sup>								
		7			11			15		
Velocidade	Posição									
	km h <sup>-1</sup>	S	M	I	S	M	I	S	M	I
15	1,19bB1	0,42bA1	0,44aA1	5,72bA1	1,79aA2	1,09aA2	2,64bB1	1,47aA1	0,18aA1	
20	1,30bA1	0,67bA1	1,04aA1	2,37cA1	1,99aA1	0,56aA1	2,41bA1	1,09aA1	0,09aA1	
25	0,82bA1	0,54bA1	0,29aA1	1,86cA1	1,52aA1	0,23aA1	3,01bA1	1,13aA1	0,88aA1	
		Volume L ha <sup>-1</sup>								
		70			110			150		
Autopropelido	Posição									
		S	M	I	S	M	I	S	M	I
		9,51aC1	4,84aA2	1,50aA3	14,7aB1	2,60aA2	1,95aA2	18,81aA1	3,66aA2	1,64aA2

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, maiúscula na linha comparados na mesma posição entre volumes e números na linha entre posições no mesmo volume não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤ 0,05).

A posição superior teve maior cobertura de gotas no volume de 11 L ha<sup>-1</sup> na velocidade 15 km h<sup>-1</sup> na aplicação aérea, e no volume de 15 L ha<sup>-1</sup> no autopropelido (Tabela 13). As posições média e inferior não diferiram entre os volumes nas velocidades testadas (Tabela 13).

Com relação à cobertura de gotas nos diferentes terços da planta foi verificado que na posição superior do dossel da cultura da soja ocorreu maior porcentagem de cobertura, e no terço inferior, menor cobertura de gotas, o que já era esperado, uma vez que o terço superior se encontra mais próximo ao ponto de lançamento da gota, resultados que corroboram com o estudo de Cunha et al. (2010) na cultura de milho e Schroder (2007) na cultura de soja.

De acordo com Schroder (2007) é importante também levar em conta o efeito guarda-chuva proporcionado pelas folhas dos terços médio e superior que pode interferir na distribuição da calda no terço inferior.

Na pulverização com pulverizador autopropelido, a maior cobertura de gotas ocorreu na posição superior em todos os volumes testados (Tabela 13). Assim como Silva (2022) é observada nesta pesquisa diferença entre a cobertura do alvo proporcionada pelo drone e pela aplicação terrestre. Esse fator pode estar relacionado à taxa de aplicação ser maior no tratamento terrestre, visto que o papel é sensibilizado por água.

No presente trabalho o tratamento utilizando a aplicação terrestre apresentou tendência de melhores resultados quando comparados ao modo de aplicação aéreo, consonante a Machado e Reynaldo (2019).

#### 4.4.4. DMV (D50)

Analisando o DMV (D50) das gotas, observa-se que o autopropelido teve o maior valor na posição média e inferior no volume  $70 \text{ L ha}^{-1}$  não diferindo da velocidade de  $15 \text{ km h}^{-1}$  e  $20 \text{ km h}^{-1}$  do drone, e diferindo das três velocidades na posição superior no volume de  $110 \text{ L ha}^{-1}$  e  $150 \text{ L ha}^{-1}$  (Tabela 14).



**Tabela 14 - Análise do desdobramento do volume, posição (S: superior, M: médio e I: inferior) e velocidade com autopropelido para varável DMV (D50  $\mu\text{m}$ )**

		Volume L ha <sup>-1</sup>								
		7			11			15		
Velocidade km h <sup>-1</sup>	Posição									
	S	M	I	S	M	I	S	M	I	
15	304aA1	342abA1	368aA1	313bA1	335aA1	312aAB1	358bA1	352aA1	264abB2	
20	305aA1	304abA1	356aA1	281bA1	344aA1	301aA1	324bA1	282abA12	218bB2	
25	282aA1	257bA1	263bA1	283bA1	326aA1	315aA1	332bA1	329abA1	345aA1	

		Volume L ha <sup>-1</sup>								
		70			110			150		
Autopropelido	Posição									
	S	M	I	S	M	I	S	M	I	
	368aB1	348aA1	356aA1	462aA1	267aB2	274aAB2	506aA1	251bB2	254abB2	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, maiúscula na linha comparados na mesma posição entre volumes, e números na linha entre posições no mesmo volume não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A posição superior apresentou o maior DMV nos volumes de 110 L ha<sup>-1</sup> e 150 L ha<sup>-1</sup> no autopropelido (Tabela 14). Na posição média o volume de 70 L ha<sup>-1</sup> apresentou o maior DMV no autopropelido (Tabela 14). Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et. al (2021) onde, obtiveram diferença significativa no DMV da aplicação com drone em relação a aplicação terrestre na cultura do milho. Conforme as recomendações de Richardson et al. (2019), a utilização de drone abrange um variado espectro no tamanho das gotas, indo desde as mais finas até as mais grossas, com a escolha sendo influenciada pelas condições climáticas e pelo fluxo de ar gerado pelas hélices.

Em um estudo de Machado e Reynaldo (2019) foi possível estabelecer diferenças estatísticas entre os tratamentos de aplicação terrestre e aplicação aérea quando analisado o DMV no terço superior da planta de soja. No terço superior apresentou DMV de 339,21 e 491,34  $\mu\text{m}$  dos tratamentos de aplicação área e

aplicação terrestre respectivamente. Analisando ainda o comportamento do DMV, verifica-se que a aplicação aérea apresenta uma maior uniformidade do tamanho da gota, sendo que na terrestre, como no estudo apresentado, as gotas apresentam DMV maior no terço superior, apresentando tendência de diminuir no terço médio e terço inferior. Vale frisar que um DMV muito alto, também não é vantajoso, pelo fato de causar perdas por escorrimento do produto aplicado sobre o alvo.

Foi identificado o maior DMV no terço superior da planta de soja na aplicação terrestre (506  $\mu\text{m}$ ) e no terço inferior na aplicação aérea (368  $\mu\text{m}$ ). Segundo Silva (2022), verificou que o DMV na posição superior das plantas de soja variou de 152  $\mu\text{m}$ , na aplicação com RPA a 231  $\mu\text{m}$  na aplicação terrestre. Assim como na pesquisa em questão a aplicação com o pulverizador terrestre gerou gotas de maior tamanho.

## 5. CONCLUSÃO

A maior dispersão de gotas na aplicação aérea ocorre na velocidade de 15 km.h<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente da velocidade de 25 km.h<sup>-1</sup> e do autopropelido.

A densidade de gotas na aplicação terrestre é maior em todas as posições entre todas as velocidades da aplicação aérea. A posição superior tem a maior densidade entre todas as velocidades do drone e do autopropelido.

A posição superior tem maior cobertura de gotas no volume de 11 L.ha<sup>-1</sup> na velocidade 15 km.h<sup>-1</sup> na aplicação aérea, e no volume de 150 L.ha<sup>-1</sup> no autopropelido.

A aplicação terrestre obteve melhor eficiência na deposição de gotas em relação a aplicação com drone.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Drones cadastrados**. Painel de Drones Cadastrados. Brasília: ANAC, 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aeronaves/drones-cadastrados>. Acesso em: 30 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Drones cadastrados**. Painel de Drones Cadastrados. Brasília: ANAC, 2023. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aeronaves/drones-cadastrados>. Acesso em: 30 out. 2023.

ALVES, T.C. et al. **Canopy volume and application rate interaction on spray deposition for different phenological stages of coffee crop**. *Coffee Science*, v. 15, n. 1, p. 1–14, 2020.

ANTONELLO, G.P. et al. **Aplicação aérea x aplicação terrestre: benefícios visando eficiência e produtividade**. Anais do Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2020.

ANTUNIASSI, U.R.; BAILO, F. H. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos**. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2008. p. 174-175.

ANTUNIASSI, U.R. **Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências**. In: TOMQUELSKI, G. V. et al. (Eds.). Publicações Fundação Chapadão: Soja e Milho 2011/2012. 5 ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. 2012. cap. 16, p. 113-139.

ANTUNIASSI, U.R. et al. **Desempenho de sistema de aplicação terrestre para controle da ferrugem de soja**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27. 2005, Cornélio Procópio. Resumos... Londrina: EMBRAPA SOJA, 2005. p. 217-218.

ANTUNIASSI, U.R. et al. **Avaliação da cobertura de folhas em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. Anais. Botucatu: FEPAF, 2004. p. 48-51.

BALAN, M.G. et al. **Diagnóstico e proposta de descrição metodológica para artigos técnicos científicos que tratam da avaliação de aplicações de herbicidas**. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 11, n. 1, p. 126- 138, 2012.

BALEOTTI, L. **Tecnologia de aplicação**. *Revista Alcoolbrás*, 2008. Disponível em: [http://www.editoravalete.com.br/site\\_alcoolbras/edicoes/ed\\_117/mc\\_1.html](http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_117/mc_1.html)>. Acesso em: 20 nov. 2022

BALLAROTTI, A.N. et al. **Determinação do tamanho da amostra de papéis hidrossensíveis em experimentos ligados à tecnologia de aplicação.** Semina: Ciências Agrárias. v. 34, 2013.

BAYER, T. et al. **Equipamentos de Pulverização Aérea e Taxas de Aplicação de Fungicida na Cultura do Arroz Irrigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande- PB, v.15, n.2. 2011.

BERNER, B.; CHOJNACKI, J. **Use of drones in crop protection.** 2017. Disponível em: <https://depot.ceon.pl/handle/123456789/14840> Acesso em: 18 set. 2022.

BISCARO, A.S.; GARZELLA, T.C. **Agricultura de precisão: uma valiosa ferramenta para redução de contaminação ambiental decorrente do uso de fertilizantes minerais nitrogenados.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais. Piracicaba: ESALQ, 2006.

BOTELHO, L. da S. **Detecção, transmissão e efeitos de Sclerotinia sclerotiorum em sementes de soja.** 2014. 156 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

BOLLER, W. et al. **Tecnologia de aplicação de fungicidas - parte II.** Revisão Anual de Patologia de Plantas , v. 16, p. 85-132, 2008.

BOLLER, W.; FERREIRA, M. C.; COSTA, D. I. **Condições do Ar e Angulação das Folhas Influenciam a Qualidade das Pulverizações na Cultura da Soja?** Revista Plantio Direto, Passo Fundo- RS, v.121, p.33-37, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA /Gabinete da Ministra. **Portaria MAPA Nº 298**, de 22 de setembro de 2021. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União: Edição 182, Seção 1, n. 298, p. 14, 2021.

CANTERI, M.G. et al. **Contagotas: sistema para análise de eficiência de pulverização.** In: Congresso Paulista de Fitopatologia, 27, 2001. Piracicaba, SP. Anais... Jaboticabal-SP: Grupo Paulista de Fitopatologia, 2001, p.136.

CAO, Y. et al. **Effects of plant protection UAV-based spraying on the vertical distribution of droplet deposition on japonica rice plants in Northeast China.** International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 14, n. 5, p. 27–34, 2021.

CARLESSO, J.A.; BARIVIERA, R. **Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação.** 2022. 30f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, 2022.

CAVALCANTI, F.R.; MULLER, L.E. **Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de condução de videira**. 1 ed. Embrapa Uva e Vinho, Circular técnica, 2023.

CHECHETTO, R.G. et al. **Caracterização da taxa de aplicação e pontas de pulverização utilizadas no Estado de Mato Grosso**. Revista Magistra, v. 26, p. 89-97, 2014.

CHAIM, A; NETO, J. **Gotas**. Programa de calibração de pulverização – Gotas. São Paulo. 2000.

CHAIM, A. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos**. 1. ed. Brasília, 2009. 73 p.

CHEN, S. et al. **Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV**. Agronomy, v. 10, n. 2, p. 195, 2020.

CONAB. **Apresentação de safra – Outubro 2023**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CORRÊA, H.G.; HELD, J. **Produção e utilização de gotas com diâmetro uniforme**. Bragantia, v. 41, n. 1, p. 1-9, 1982.

COSTA, D. **Eficiência e qualidade das aplicações de fungicidas, por vias terrestre e aéreas, no controle de doenças foliares e no rendimento de grãos de soja e milho**. 144f. Doutorado (Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária)- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

COURSHEE, R. J. **Application and use of foliar fungicides**. In: TORGESON, D. C. Fungicide: an advanced treatise. New York: Academic Press, p. 239-86, 1967.

CUNHA, J.P. A. R. et al. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 3, p. 366-372, jul-set, 2010.

CUNHA, J.P.A.R. et al. **Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre**. Engenharia Agrícola [online], v. 31, n. 2, 2011.

CUNHA, J.P.A.R. et al. **Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products**. Engenharia Agrícola, v. 41, p. 245-254, 2021.

CUNHA, J.P.A.R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. Ci. Agrotecnol., v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M. **Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.2, p.344-348, 2001.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H. C. **Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser**. Revista Engenharia Agrícola, v.27, p.10-15, 2007.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. **Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola**. Planta Daninha, v.28, n.esp., p.1153 - 1158, 2010.

CUNHA, J.P.A.R. et al. **Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre**. Engenharia Agrícola, v.31, n.2, p.343-351, 2011.

CUNHA, J.P.A.R.; JULIATTI, F.C.; REIS, E.F. **Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás**. Bioscience Journal, v. 30, n. 4, 2014.

DANIEL, D.F.; DALBIANCO, A.B. **Tecnologia de pulverização com drones: panorama, oportunidades, perspectivas futuras e desafios na agricultura moderna**. Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola, 2023.

DOS REIS, E.F. et al. **Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (Glycine max L.)**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 5, p. 958–966, 2010.

FERREIRA, D.F. **SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. Revista Brasileira de Biometria, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FRIHA, O. et al. **Internet of things for the future of smart agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies**. IEEE CAA J. Autom. Sinica, v. 8, n. 4, p. 718-752, 2021.

GRIESANG F. et al. **Droplet size and uniformity influence on the qualitative and quantitative parameters of agricultural spray**. Aspects of Applied Biology, v. 137, p. 217–222, 2018.

GRIESANG F. et al. **How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying**. American Journal of Plant Sciences v. 08, n.11, p. 2785–2794, 2017.

HEGARTY, C.J.; CHATRE, E. **Evolução do sistema global de navegação por satélite (GNSS)**. Anais do IEEE , v. 12, pág. 1902-1917, 2008.

HIRAKURI, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**, p. 37, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104753/1/O-agronegocio-dasoja-nos-contextos-mundial-e-brasileiro.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2022

HOFFMANN, W.C.; HEWITT, A.J. **Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers**. Applied Engineering in Agriculture, v. 21, n. 6, p. 961–964, 2005.

HUNTER III, J. E. et al. **Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer.** Weed Technology, v. 34, n. 2, 2019.

JACTO. **Conceitos e tecnologias que visam aumentar o controle de pragas e doenças de baixeiro.** Manual de Treinamento, Pompéia, 2014. 15 p. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf> >. Acesso em: 25 nov. 2022.

JOHNSON, M.P.; SWETNAM, L.D. **Sprayer nozzles: selection and calibration.** Lexington: University of Kentucky, 1996. 6 p

KLAVER, P.P.C. et al. **Programa computacional para determinação da capacidade operacional de máquinas agrícolas.** Global science and technology, Rio Verde - GO, v. 05, n. 01, p. 52-58, 2012.

MACHADO, A.L.T. et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais.** 2 ed. Pelotas: Ed. UFEL, 2005. 253p.

MACHADO, T.M. **Inspeção periódica de pulverizadores de barras na região de Guarapuava – PR.** Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 1225-1233, 2014.

MACHADO, T.; REYNALDO, ÉTORE F. **Comparação do uso de aplicação aérea e terrestre na qualidade de deposição de produto na cultura da soja.** Enciclopedia Biosfera, v.16, n.29, 2019.

MAMMARELLA, M. et al. **Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: A theoretical framework.** Biosystems Engineering, 2021.

MARCELINO, J.A. et al. **Impactos iniciais da covid-19 nas micro e pequenas empresas do Estado do Paraná-Brasil.** Boletim de Conjuntura (BOCA), v. 2, n. 5, p. 01-14, 2020.

MARTELLO, M. **Utilização de imagens aéreas obtidas por RPA no monitoramento inicial de Eucalyptus sp.** Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto-SBSR, v. 17, p. 5990-5997, 2015.

MARTIN, D.E. et al. **Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems.** Drones, v. 3, n. 4, p. 83, 2019.

MARTINEZ-GUANter, J. et al. **Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards.** Precision Agriculture, v. 21, p. 226-234, 2020.

MATTHEWS, G.A. et al. **Risk reduction in pesticide application - A conceptual framework, International Advances in Pesticide Application.** Publisher: Association of Applied Biologists, p. 169-176, 2016.



MATUO, T. **Desenvolvimento de um pulverizador intermitente operado fotoeletricamente para tratamento de pomares de citros.** 1988. 167 f. Tese (LivreDocência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1988.

MEWES, W. L.C. et al. **Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando Pulverizador pneumático.** Revista Árvore, v. 37, p. 347-353, 2013.

MINGUELA, J.V.; CUNHA, J. P. **Manual de Aplicação de Produtos Fitossanitários.** 1. ed. Viçosa, 2013. 588 p.

MORAES, H.M.F. **Aplicação de pesticidas com veículos aéreos não tripulados nas culturas de café, citros e feijão** 87f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

MUHAMMAD, M.N. et al. **Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 167, n. May, 2019.

NASCIMENTO, A.B. et al. **Determinação do tamanho da amostra de papéis hidrossensíveis em experimentos ligados à tecnologia de aplicação.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2687-2696, 2013.

NETO, J.O.S.; SASAKI, R.S.; DE ALVARENGA, C.B. **Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico.** Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. e293101220573-e293101220573, 2021.

OLIVEIRA, A.J. et al. **Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.

RAMOS, H. et al. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.** São Paulo: ANDEF; COGAP, 2010. 50 p.

REYNALDO, E.F.; MACHADO, T.M. **Performance of spray nozzles to control fusarium head blight and mycotoxin in the barley crop.** Revista Brasileira. Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.21, n.3, p.209-213, 2017.

REPKE, D.; TEIXEIRA, D.A. **Avaliação da Densidade de Gotas durante a pulverização sobre diferentes arranjos espaciais na cultura do Amendoim.** Centro Paula Souza, Pompeia, Governo de São Paulo, Junho, 2013.

REZENDE, J.L. **Pulverizações de defensivos...volumes de vazões terrestres...qual a melhor escolha afinal?** 2010. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/pulverizacoes-de-defensivos---volumes-de-vazoes-terrestres---qual-a-melhor-escolha-afinal-\\_386057.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/pulverizacoes-de-defensivos---volumes-de-vazoes-terrestres---qual-a-melhor-escolha-afinal-_386057.html)> . Acesso em: 09 dez. 2022.

RICHARDSON, B. et al. **Spray application efficiency from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for aerial pesticide application.** Transactions of the ASABE, v. 62, n. 6, p.1447- 1453, 2019.

RICHARDSON, B. et al. **Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants.** Transactions of the ASABE, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020.

ROMÁN, R.A.A. et al. **Cobertura da cultura da soja pela calda fungicida em função de pontas de pulverização e volumes de aplicação.** Scientia Agraria, v. 10, p. 223-232, 2009.

SABARÁ, H.H.R. **O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) na identificação do percevejo marrom em lavouras de soja usando técnicas de reconhecimento de padrões e aprendizado de máquinas.** 2018. 76f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

SILVA, M.P.L. **Avaliação comparativa dos danos mecânicos às plantas por dois sistemas de aplicação de agrotóxicos líquidos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro. Anais... São Pedro: SBEA, 2004.

SILVA, M.R.A. **Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja.** 2022. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, 2022. Disponível em: <[https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/35061/1/Deposi%C3%A7%C3%A3o CaldaAplicada.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/35061/1/Deposi%C3%A7%C3%A3o%20CaldaAplicada.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2022.

SCHRODER, E.P. **Defesa por terra ou ar.** Revista Cultivar: pulverizadores, Pelotas, jun. 2015.

SCHRODER, E.P. **Pulverizadores.** Cultivar Máquinas, v. 07, n. 64, p. 20-22, 2007.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE AVIAÇÃO AGRÍCOLA- SINDAG. **Especial drones:** China, Brasil e as tendências do mercado. 2021. Disponível em: <[https://sindag.org.br/noticias\\_sindag/especial-drones-china-brasil-e-as-tendencias-domercado/](https://sindag.org.br/noticias_sindag/especial-drones-china-brasil-e-as-tendencias-domercado/)>. Acesso em: 18 set. 2022.

SOUZA, L.A. de; CUNHA, J.P.; PAVININ, L.A. **Deposição do herbicida 2,4 –D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v.43, n.1, p.78-85, 2012.

TURNER, C.R.; HUNTINGTON, K.A. **The use of water sensitive dye for the detection and assessment of small spray droplets.** Journal of Agricultural Engineering Research, Wiltshire, v. 15, p. 385-387, 1970.

VIEGAS, C.; **Pulverização de agrotóxicos por aviões causa polêmica.** 2011. Disponível em: <http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/pulverizacaoagrotoxicos-por-avioes-causa-polemica-5938> >. Acesso em: 17 nov. 2022.

VIEIRA, L.C. et al. **Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de Glifosato.** Energia na Agricultura, v. 34, n. 3, p. 331–340, 2019.

WANG, G. et al. **Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers.** Applied Sciences (Switzerland), v. 9, n. 2, p. 1–16, 2019.

XIONGKUI, H. et al. **Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia.** International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 10, n. 3, p. 18-30, 2017.

ZAGONEL, G. J. **Aplicação aérea de pesticidas agrícolas: histórico, utilização, vantagens e desvantagens.** 2022. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2022.

ZAMBIANCO, E. C. **Avaliação na Qualidade de Pulverização em Plantas de Tomate Utilizando Diferentes Pontas.** 79 f. Mestrado (Engenharia de Sistemas Agrícolas)- Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2013.

ZHANG, H. et al. **Numerical simulation of airflow field from a six-rotor plant protection drone using lattice Boltzmann method.** Biosystems Engineering, v. 197, p. 336-351, 2020a.

ZHANG, X. et al. **Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy.** Sugar Tech, v. 22, n. 4, p. 583-588, 2020b.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. **A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 76, p. 38-43, 2011.