

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE EM CACHOEIRA DO SUL – RS  
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**VILMAR TAFERNABERRI JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES  
ALTURAS E VELOCIDADES DE VOO**

**CACHOEIRA DO SUL - RS**

**2023**

**VILMAR TAFERNABERRI JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES ALTURAS E  
VELOCIDADES DE VOO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção de título de Bacharel em  
Agronomia na Universidade Estadual do  
Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alberto E. Knies

**CACHOEIRA DO SUL - RS**

**2023**

### Catálogo de Publicação na Fonte

T124a Tafernaberi Junior, Vilmar.

Avaliação da pulverização com drone em diferentes alturas e velocidades de voo. / Vilmar Tafernaberi Junior. – Cachoeira do Sul, 2023.

40 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Eduardo Knies

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Bacharelado em Agronomia, Unidade em Cachoeira do Sul, 2023.

1. VANTs. 2. Drones. 3. Pulverização agrícola. 4. Tecnologias na agricultura I. Knies, Alberto Eduardo. II. Título.

**VILMAR TAFERNABERRI JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES ALTURAS E  
VELOCIDADES DE VOO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção de título de Bacharel em  
Agronomia na Universidade Estadual do Rio  
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Eduardo Knies

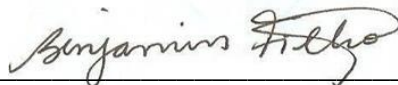
Aprovada em: 14 / 07 / 2023

**BANCA EXAMINADORA:**



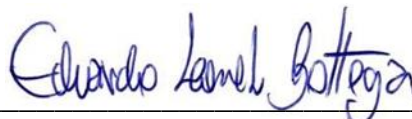
---

Orientador: Prof. Dr. Alberto Eduardo Knies  
UERGS Unidade em Cachoeira do Sul



---

Prof. Dr. Benjamin Dias Osório Filho  
UERGS Unidade em Cachoeira do Sul



---

Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega  
UFSM Campus Cachoeira do Sul

# **AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES ALTURAS E VELOCIDADES DE VOO**

Estudante: Vilmar Tafernaberry Junior

Orientador: Prof. Dr. Alberto Eduardo Knies

## **RESUMO**

O uso de drones para pulverização agrícola tem despertado interesse tanto nos profissionais técnicos quanto nos produtores rurais, sendo uma opção para competir com os pulverizadores agrícolas terrestres e a aviação agrícola. Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho da pulverização com um drone em diferentes alturas e velocidades de voo. Foram realizadas avaliações à campo, na Estação Agronômica Uergs localizada em Cachoeira do Sul - RS, do desempenho da pulverização de drone voando em três alturas (3,0; 4,5 e 6,0 m) e três velocidades (4,0; 6,0 e 8,0  $\text{ms}^{-1}$ ) em uma faixa de aplicação de 10 m. Para avaliar o desempenho da pulverização foram utilizados cartões hidrossensíveis, a partir dos quais com auxílio do Software DropLeaf foram avaliados o número de gotas que atingiram o alvo, diâmetro médio das gotas, índice de área de cobertura (IAC), densidade de gotas (número de gotas por  $\text{cm}^2$ ), diâmetro volumétrico 10% (DV 0,1), diâmetro volumétrico 50% (DV 0,5 ou DMV) e o diâmetro volumétrico 90% (DV 0,9). Os resultados indicaram maior IAC para a altura de 3,0 metros e velocidade de 4,0  $\text{ms}^{-1}$ . Os maiores valores de DV 0,1 foram obtidos na maior altura de voo e, para o DMV, apenas na velocidade de deslocamento de 4,0  $\text{ms}^{-1}$  a altura influenciou, com melhores resultados também na maior altura. Assim, ressalta-se a importância de conhecer os parâmetros do desempenho na pulverização com drones, para que tenhamos uma aplicação segura, com mínimos impactos ao meio ambiente e que atinja o alvo com eficiência.

**Palavras-chave:** VANTs; drone; pulverização agrícola; tecnologias.

# EVALUATION OF SPRAYING WITH DRONE AT DIFFERENT FLIGHT HEIGHTS AND SPEEDS

Student: Vilmar Tafernaberri Junior

Advisor: Prof. Dr. Alberto Eduardo Knies

## ABSTRACT

The use of drones for agricultural spraying has aroused interest both in technical professionals and in rural producers, being an option to compete with terrestrial agricultural sprayers and agricultural aviation. Therefore, the general objective of this work is to evaluate the performance of spraying with a drone at different heights and flight speeds. Field evaluations were carried out at the Uergs Agronomic Station located in Cachoeira do Sul - RS, of the performance of spraying from a drone flying at three heights (3.0; 4.5 and 6.0 m) and three speeds (4.0; 6.0 and 8.0  $\text{ms}^{-1}$ ) in an application range of 10 m. To evaluate the spraying performance, hydrosensitive cards were used, from which, with the help of the DropLeaf Software, the number of drops that reached the target, average diameter of the drops, coverage area index (IAC - %), drop density (number of drops per  $\text{cm}^2$ ), volumetric diameter 10% (DV 0.1), volumetric diameter 50% (DV 0.5 or DMV) and volumetric diameter 90% (DV 0.9). The results indicated a higher IAC for the height of 3.0 meters and velocity of 4.0  $\text{ms}^{-1}$ . The highest values of DV 0.1 were obtained at the highest flight height and, for the DMV, only at the displacement speed of 4.0  $\text{ms}^{-1}$  did the height influence, with better results also at the highest height. Thus, it is important to know the performance parameters in spraying with drones, so that we have a safe application, with minimal impacts on the environment and that reaches the target efficiently.

**Keywords:** UAVs, drones; agricultural spraying; technologies.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA .....	10
2.2 O USO DE DRONES NA AGRICULTURA .....	12
2.3 USO DE DRONES PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍOLA.....	14
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
5.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO MOMENTO DA APLICAÇÃO.....	26
5.2 NÚMERO DE GOTAS QUE ATINGIRAM O ALVO.....	27
5.3 DIÂMETRO MÉDIO DAS GOTAS .....	27
5.4 ÍNDICE DE ÁREA DE COBERTURA (IAC) .....	28
5.5 DENSIDADE DE GOTAS .....	30
5.6 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 10% (DV 0,1) .....	33
5.7 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 50% (DV 0,5 OU DMV) .....	34
5.8 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 90% (DV 0,9) .....	34
5.9 DIFICULDADES NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	35
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um marco na evolução humana foi o desenvolvimento da agricultura, que surgiu quando os homens deixaram de ser nômades, fixando-se em determinado lugar, resultando em uma nova forma de obtenção de alimentos, que não fossem apenas fornecidos espontaneamente pela natureza. Com isso, o homem começa a produzir seu próprio alimento, plantando sementes na terra, cultivando alimentos e criando animais, por esta razão inicia-se o sistema de cultivos de alimentos (MAZOYER; ROUDART, 2010).

A revolução verde foi um grande salto na evolução agrícola, pois apresentou um conjunto de inovações tecnológicas no campo da agricultura, como fertilizantes, agrotóxicos, seleção de sementes, entre outras melhorias. Estas inovações permitiram um expressivo aumento na produção de alimentos, porém gerou uma série de impactos ambientais, os quais limitariam novamente o sistema de cultivo até então adotado.

Este cenário exigiu o desenvolvimento de novas tecnologias, visando mitigar os impactos ambientais e aumentar a produção agrícola, garantindo a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental. Haja visto que a necessidade de produzir alimentos acompanha o crescimento populacional, demandando investimentos em estudos e pesquisas, objetivando o uso mais racional dos meios de produção. Com isso a preocupação com o meio ambiente e o aumento da produção, exige uma constante evolução nos processos produtivos.

Nas últimas décadas, a produção de alimentos e fibras, tem sido drasticamente transformada pelos avanços da ciência, sendo cada vez mais intenso o uso de novas tecnologia na agricultura. No Brasil e no mundo, se fez necessário o aprofundamento nos conhecimentos de inovações que revolucionaram a agricultura, como o melhoramento genético, mecanização, plantio direto, defensivos agrícolas, entre outras. Na contribuição da produção de alimentos sustentável, é de suma importância, a introdução de ferramentas tecnológicas incorporadas ao campo, como por exemplo a biotecnologia, a agricultura de precisão e a agricultura digital.

Entre as inovações no campo, está o uso de aeronaves remotamente pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft System*, RPAS), os populares VANT e DRONE, sendo que aproximadamente 25% do faturamento mundial desses equipamentos, provém do agronegócio. Os VANT's possuem diversas funções, como por exemplo,



sistema de segurança, em locais com maior incidência do roubo de gado (ITARC, 2023), distribuição de sementes e fertilizantes, distribuição de produtos químicos e biológicos, aerolevante multifinalitário, sensoriamento remoto, etc.

Para garantir a segurança alimentar para a população, necessita-se de novas tecnologias, buscando uma produção mais rentável e eficiente. As plantações modernas e as operações agrícolas são realizadas de maneiras muito diferentes quando comparadas às praticadas há algumas décadas atrás. A utilização de drones tem se tornado uma alternativa viável para a agricultura, sendo a implantação tecnológica mais recente no setor, devido a capacidade de coletar dados e gerenciar diversos processos em tempo real, otimizando o tempo e a tomada de decisões.

Na topografia o uso do drone já é consolidado, pois através dos mesmos pode-se fazer mapas de Modelos Digitais de Terrenos (MDT) e/ou Modelos Digitais de Superfícies (MDS), com altíssima precisão, utilizando câmeras (aerofotogrametria) ou com a utilização de sensores de refletância, que emitem pulsos de luzes, como o sensor Lidar (Light Detection and Ranging). Na agricultura, o uso de câmera multiespectral instalada em VANT, auxilia o agricultor oferecendo uma visão geral da lavoura, permitindo-o avaliar a sanidade das plantas, entre outros parâmetros. Essas câmeras são capazes de mensurar diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas, como luz visível, infravermelha, ultravioleta, raio-X ou qualquer outra faixa do espectro, e com a ajuda de softwares específicos podem gerar mapas que identificam os locais com maior ou menor taxa fotossintética.

Outra inovação na agricultura é o uso de drone na pulverização de defensivos agrícolas, otimizando o tempo e diminuindo perdas na lavoura, pois permitem que o produtor aplique em áreas que não se pode entrar com mecanização ou aviação convencional, devido ao relevo, tamanho da área ou proximidades de residências. Outro fator a considerar é que esses equipamentos não provocam amassamento das plantas, que em algumas culturas podem gerar um prejuízo de 2 a 5 % da produção (INSTITUTO AGRIS, 2022).

O uso dos drones destaca-se pela boa manobrabilidade, não exigindo pista para aterrissagem e decolagem, baixo peso, baixo custo de operação, podendo pulverizar em altitude baixa e em terreno acidentado, oferece menor risco de intoxicação ao operador e evitam compactação do solo e danos na cultura como

esmagamento. Porém, no Brasil existe poucos estudos relacionados a utilização de drone na pulverização de defensivos e insumos agrícolas, demandando muitos conhecimentos técnicos e científicos para utilizar as novas tecnologias de forma adequada.

A UERGS, através do Curso de Agronomia, da Unidade de Cachoeira do Sul, tem se preocupado com futuros trabalhos, relacionados com essas tecnologias, buscando o interesse dos alunos e fazendo parcerias com empresas privadas. Uma das empresas privadas parceira da UERGS é o Grupo Timber que é especializado em promover a competitividade em operações florestais, construção civil, mineração e movimentação de materiais, desde 2002. Além desses ramos de atividade o Grupo Timber é a representante oficial da marca XAG no Brasil, que é a maior fabricante de veículos autônomos com aplicação à agricultura e silvicultura, incluindo drones de pulverização agrícola e veículos terrestres.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA

Com o hábito de achar o alimento e depois plantar, os humanos deixaram de serem nômades e começaram há estabelecer uma moradia fixa, em determinado lugar, formando núcleos, pequenos grupos, que foram evoluindo para tribos, aldeias, vilas, cidades até se tornarem grandes centros (CASTANHO; TEIXEIRA, 2017). Segundo Castanho; Teixeira (2017) através deste processo simples começaram a produzir seus próprios alimentos, não somente para seu próprio consumo, mas também para fornecer a esses núcleos. Para satisfazer a necessidade do homem, a agricultura obrigou-se a evoluir, e desde então vem desenvolvendo novas técnicas e metodologias para o cultivo de alimentos.

Com o passar dos anos a produção agrícola, necessitou novas técnicas, para aumentar a oferta de alimentos, e garantir a segurança alimentar para a população. Em 1960 a Revolução Verde implicou na criação e no desenvolvimento de novas atividades de produção de insumos (químicos, mecânicos e biológicos) ligados à agricultura, que resultou em um novo modelo tecnológico de produção agrícola (ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

Contudo na década de 1980, com a diminuição do ritmo de inovações, esse modelo tecnológico passou a apresentar limites de crescimento, e demonstrar impactos ambientais advindos do uso intensivo desses insumos, em especial dos agrotóxicos. Desde então surgiu a necessidade de novas técnicas para superar esses limites, como a biotecnologia baseada na utilização da engenharia genética, que proporcionou os organismos geneticamente modificados, apresentando maior resistência a determinados agrotóxicos ou até mesmo que substituem o seu uso (ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

De acordo com Lopes (2013) em 2050 o cenário global previsto é crítico, pois a população atingirá nove bilhões de habitantes, aumentando a necessidades de alimentos no mundo, crescendo a escassez dos recursos da terra e água, gerando eventos extremos como as mudanças climáticas. Com isso a agricultura mundial sofre forte pressão para garantir a segurança alimentar, utilizar e fornecer energia limpa de forma sustentável.

Para se obter um aumento da produção agrícola, tornando-a mais rentável e eficiente, é fundamental o uso de novas tecnologias. Através destas os produtores, podem aplicar insumos agrícolas, de forma mais racional e econômica, gerando menos prejuízos ao meio ambiente e ocasionando menos esforço, uma vez que podem utilizar processos mais inteligentes e automatizados (PEGORARI, 2023).

Existem tecnologias específicas disponíveis para cada situação, desde o melhoramento genético, GPS (em inglês global positioning system), agricultura de precisão (AP), utilização de aplicativos, que monitoram plantações remotamente, agricultura digital, entre outras. Sendo que uma das tecnologias mais recente é a utilização de drones na agricultura, tanto para identificação de taxa fotossintética da lavoura, que permite o produtor conferir a sanidade das plantas, quanto a aplicação de insumo como pulverização de líquidos e sólidos (PEGORARI, 2023).

Na AP considera que cada área deve ser manejada de forma diferente, pois trata a área de forma heterogênea, considerando que existe variação espacial e temporal de nutrientes, tipos de solo, ataques de pragas e doenças no cultivo, fazendo o gerenciamento de campos produtivos metro a metro, visando informações agrícolas exatas e precisas (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

As plantações modernas e as operações agrícolas são realizadas de maneiras muito diferentes quando comparadas às praticadas algumas décadas atrás. No Brasil, um tema muito atual é a agricultura de precisão, pois vêm ganhando espaço frente à agricultura tradicional, visto que, essas tecnologias possibilitam alternativas que ajude a obter uma maior produtividade e gerando maior rentabilidade, otimizando o custo de produção (OLIVEIRA et al., 2020).

Com o passar dos anos, novas tecnologias, vêm se consolidando nas atividades agrícolas, como tratores guiados por GPS, piloto automático, semeadoras e colhedoras com monitoramento de aplicação ou colheita, implementos com aplicação de defensivos ou adubo com taxa variável, com sistemas de dados integrados, permitindo que o produtor acompanhe em tempo real através de aplicativos remotos, via smartphone, computadores ou tablets (JACTO, 2022).

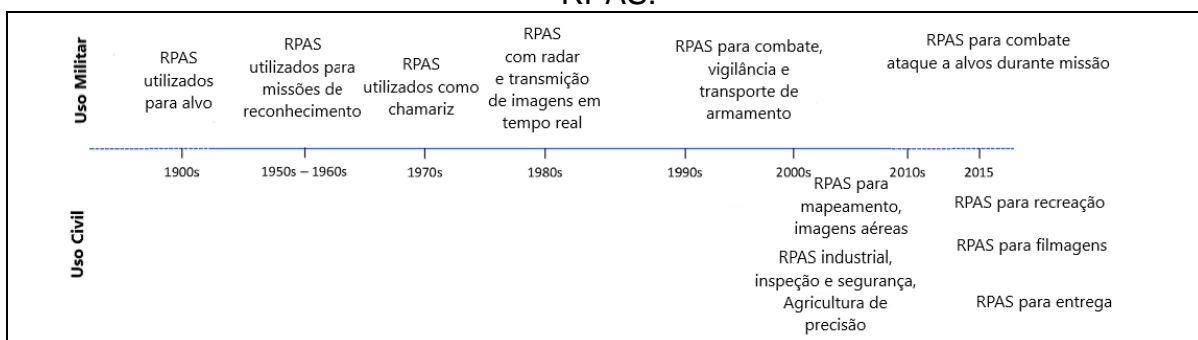
A agricultura vêm evoluindo com o passar dos anos, marcando cada fase como: Agricultura 1.0 que utilizava a tração animal para desenvolvimento das atividades no campo; Agricultura 2.0 que substituiu a tração animal pelo motor a combustão, ocasionando o desenvolvimento de máquinas agrícolas; Agricultura 3.0 com o desenvolvimento do sistema GPS; Agricultura 4.0, a mais recente,

incorporação da conectividade e automação, utilizando máquinas, veículos, veículos aéreos não tripulados (VANTs)/drones, robôs e animais com sensores, sendo cada vez mais utilizado esse termo nos últimos anos (ESPERIDIÃO et al., 2019).

## 2.2 O USO DE DRONES NA AGRICULTURA

Remotely Piloted Aircraft (RPA) é o termo técnico para Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), sendo aeronaves remotamente pilotadas com elevado grau de automação e são utilizadas para fins comerciais, experimentais e institucionais. O termo Drone é um sinônimo de VANT, foi empregado devido ao fato que algumas aeronaves, quando estão voando, emitem um som parecido com enxame de abelhas ou um zangão, dando origem ao emprego do termo para estas aeronaves. O uso dos RPAS, primeiramente foi para fins militares nos EUA, sendo mencionados pela primeira vez em 1900, aumentando a importância destas máquinas em operações militares e conflitos armados (Figura 1) (GIONES; BREM, 2017).

Figura 1. Linha do tempo de usos militares e civis dos RPAS.



Fonte: Giones; Brem (2017).

A utilização de drones tem se tornado uma alternativa viável para a agricultura, pois esta tecnologia é capaz de coletar, processar, analisar e transmitir informações das lavouras em tempo real, colaborando com o monitoramento da produção e ambiental (MAINARDI, 2015). Segundo Gonçalves e Cavichioli (2021), os drones se tornaram essenciais, na agricultura, destacando-se devido a possibilidade de manter o controle da plantação, monitorar propriedades entre outras atividades, de forma remota e/ou em tempo real.

A utilização de drones na agricultura, é a implantação tecnológica, mais recente no setor. Devido a capacidade de coletar dados, em diversos processos em

tempo real, otimizando o tempo de tomada de decisões. Com isso solucionando problemas na produção, como identificação de pragas, aplicação de defensivos e corretivos, reduzindo perdas e aumentando a performance da produção (SILVA, 2020).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta tecnológica muito importante na AP. As plataformas mais comuns para sensoriamento remoto incluem satélites, aviões, balões e helicópteros. Sensores ópticos são instalados nestas plataformas e as informações derivadas das imagens destes sensores oferecem diversas aplicações, por exemplo, a biomassa, índice de área foliar, doenças, estresse hídrico entre outras informações, gerando dados em alta resolução espacial (ZHANG; KOVACS, 2012).

Os sensores proximais, que são capazes de realizar medições por sensores ativos de refletância do dossel por câmeras multiespectrais, acopladas em drones. A leitura desses sensores é feita através da sincronização com os sensores de posicionamento que atualizam as coordenadas. O número total de observações por área, varia em função da velocidade de operação (RABELLO et al. 2014).

As imagens capturadas por pequenos RPAS é alternativa mais viável, para o produtor, quando comparadas com as imagens de alta resolução capturadas por satélites e outras plataformas, pois estas possuem um alto custo de aquisição. Outro fator importante é que os RPAS possuem baixo custo de operação, com alta resolução espacial e temporal. Resultando em vários estudos de imagens capturadas, nos últimos anos, para aplicação na AP (ZHANG; KOVACS, 2012).

Caturegli et al., (2016), comparando a refletância espectral, de imagens feitas por RPA, de três gramados, demonstrou que essas máquinas são excelentes ferramentas para capturar imagens aéreas em tempo real podendo otimizar o gerenciamento dos gramados. Uma vez que, foi possível formular um mapa com a resposta da planta a diferentes concentrações de aplicação de nitrogênio. Segundo Primicerio et al., (2012), as imagens multiespectrais, capturadas por RPA VIPTero®, na determinação do potencial enológico em vinhedos, demonstraram a heterogeneidade de cada vinhedo analisado.

Huang et al., (2018), utilizando imagens de alta resolução, capturadas através de RPA, na comparação de diferentes métodos de avaliação de plantas daninhas da cultura do arroz, obtiveram mapeamento preciso das plantas daninhas com maior

eficiência, porem menciona há necessidade de uma grande quantidade de imagens de alta resolução.

Para projetar tratamentos de controle de ervas daninhas, o uso de imagens remotas capturadas, por veículos aéreos não tripulados, tem um grande potencial, desde a pré-emergência até a pós-emergência da cultura, o que não era possível anteriormente com imagens aéreas ou de satélite convencionais (PEÑA et al., 2013). Segundo os mesmos autores, a estimativa da cobertura de plantas daninhas, na cultura do milho, a partir da análise dessas imagens apresentou resultados satisfatórios. Através destas informações, é possível otimizar o uso de herbicidas dosando adequadamente aos níveis de infestações.

### 2.3 USO DE DRONES PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍOLA

Apesar de inicialmente ser uma tecnologia voltada ao setor de defesa, em 1991 o Japão começou a operar remotamente helicópteros, e na década passada já utilizava mais de 2000 VANTs em aplicações no setor agrícola. Buscando obter uma agricultura mais eficiente e melhor, levando a evolução dessas máquinas e a um aumento da automação para substituir o trabalho puramente manual (ENDERLE, 2002). Até 2016 no trabalho de controle de pragas e doenças nos campos de arroz, trigo, milho, algodão e cana, a China, já possuía mais de 200 fabricantes de RPA e mais de 169 tipos de VANTs para aplicação química no mercado (XIONGKUI et al., 2017).

O uso de drones para pulverização agrícola está em constante crescimento, devido as grandes evoluções dos equipamentos e do crescimento no mercado do agronegócio, tendo grandes impactos benéficos e ajudando dia a dia do produtor no campo. Essa tecnologia desperta interesse tanto nos profissionais técnicos, quanto nos produtores rurais, sendo uma opção para competir com os pulverizadores agrícolas autopropelidos e a aviação agrícola convencional (CASTILHO et al., 2023).

No Brasil, assim como a Rússia, Austrália, Canadá e EUA a aviação agrícola é bem desenvolvida, pois possuem grandes áreas agricultáveis que permitem o uso da aviação convencional. Em contrapartida no Japão, Coreia e China onde a topografia do terreno é mais acidentada, a utilização da aviação agrícola é inviável. Com isso, o uso de RPAS são de suma importância, uma vez que além de capturar imagens de alta resolução, são utilizados para pulverização aérea (QIN et al., 2016).

Essa tecnologia também mostra ser uma solução, para pequenas e médias propriedades, com relevos mais acidentados aqui no Brasil.

Segundo Qin et al. (2016), a pulverização com a utilização de RPAS possuem algumas vantagens quando comparado a aviação convencional pois possuem boa manobrabilidade, não exigindo pista para aterrissagem e decolagem, tem baixo peso, baixo custo de operação, podendo pulverizar em altitude baixa e em terreno acidentado. Na comparação com aplicações terrestres, oferecem menor risco de intoxicação ao operador e evitam compactação do solo e danos na cultura como esmagamento.

Existem diversos drones no mercado para pulverização agrícola, entre eles está o V40, da marca XAG, que tem sido uma ótima opção, para os produtores rurais, devido a sua alta tecnologia com um custo acessível. Segundo o fabricante o V40 possui precisão de aplicação centimétrica com auxílio de Real Time Kinematic (RTK), Sonar para leitura do terreno e radar frontal de detecção de obstáculos.

A faixa de aplicação varia de 5 a 10 metros, com capacidade de carga para 16 litros líquidos e 25 litros para sólidos, sua bateria tem autonomia de 12 minutos, mas o carregamento é ultrarrápido, também de 12 minutos (imerso em tanque com água). As pontas de pulverização são rotativas com ajuste de tamanho de gotas pelo smartphone durante o voo, podendo variar de 60 a 400 micras. Este equipamento possui proteção IP67, contra poeira e umidade, e sua eficiência de aplicação é de 6 ha.h<sup>-1</sup> (em condições desfavoráveis) a 17 ha.h<sup>-1</sup> (em condições favoráveis), sendo um drone de totalmente autônomo e de fácil operação (TIMBER, 2023).

Porém, no Brasil existe poucos estudos relacionados a utilização de drone na pulverização de defensivos e insumos agrícolas, demandando muitos conhecimentos técnicos e científicos para utilizar as novas tecnologias de forma adequada. É de grande importância, tanto para a produção agrícola, quanto para o meio ambiente, que otimizamos ao máximo o uso dessas tecnologias, sendo necessário alto investimento em pesquisa tanto da parte acadêmica quanto de empresas privadas.



### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho da pulverização com um drone em diferentes alturas e velocidades de voo.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o número de gotas, diâmetro médio das gotas ( $\mu\text{m}$ ), índice de área de cobertura (%) e densidade de gotas ( $\text{gotas cm}^{-2}$ ) a partir da pulverização com um drone voando em diferentes alturas e velocidades;

Estimar o diâmetro volumétrico 10% ( $D_v 0,1$ ) ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro volumétrico 50% ( $D_v 0,5$  ou DMV) ( $\mu\text{m}$ ) e diâmetro volumétrico 90% ( $D_v 0,9$ ) ( $\mu\text{m}$ ) a partir da pulverização de um drone em diferentes alturas e velocidades de deslocamento;

Determinar qual a altura e velocidade de deslocamento do drone que resultam em melhor desempenho na aplicação.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Estação Agronômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), da Unidade em Cachoeira do Sul – RS, localizada no distrito de Três Vendas, interior do município, latitude 29°53'06,04"S e longitude 53°00'32,76"O (Figura 2).

Figura 2. Local de realização do experimento.



Fonte: Google Earth adaptado pelo autor (2023).

Para pulverização foi utilizado um drone bi motor da marca XAG, modelo V40 (Figura 3), com capacidade de carga de 16 litros para líquidos e 25 litros para sólidos, equipado com sistemas de pontas rotativas (Figura 4), com ajuste do tamanho da gota por smartphone (60-400  $\mu\text{m}$ ). Para todos os voos foram ajustado um volume de calda, para pulverização, de 10  $\text{Lha}^{-1}$ , composto por água e adjuvante (na concentração de 4 ml por litro), com o tamanho da gota de 110  $\mu\text{m}$  (Figura 5).

Foram realizados voos com três alturas diferentes, em relação ao solo, sendo elas 3,0 m, 4,5 m e 6,0 m, em cada altura realizou três velocidades de voos (4, 6 e 8

$\text{ms}^{-1}$ ) parâmetros estes configurados no aplicativo XAG One, que permite configurar a altura e velocidade do voo, entre outros parâmetros (Figura 6). Foi avaliado apenas uma faixa de aplicação (largura de 10 metros) para as diferentes alturas e velocidades.

Figura 3. Drone da marca XAG modelo V40 utilizado no experimento.



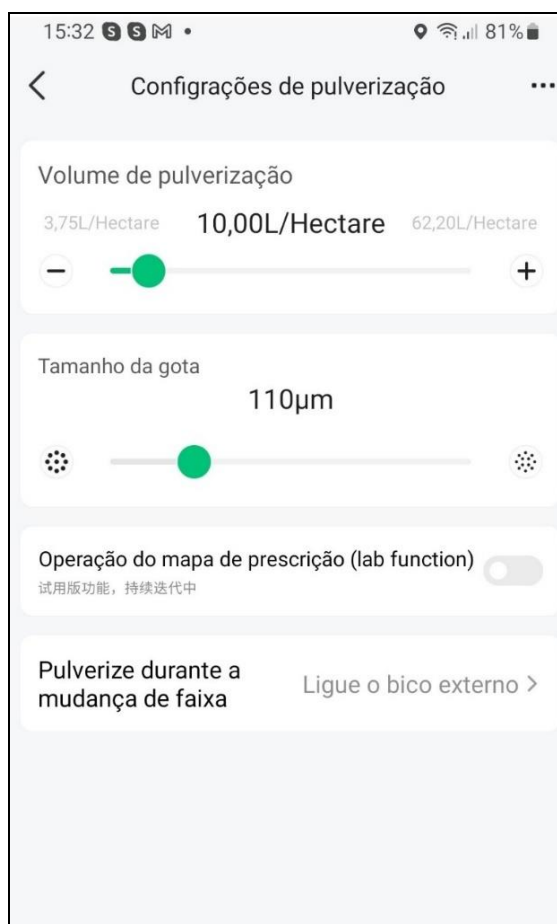
Fonte: Autor (2023).

Figura 4. Ponta de pulverização rotativa.



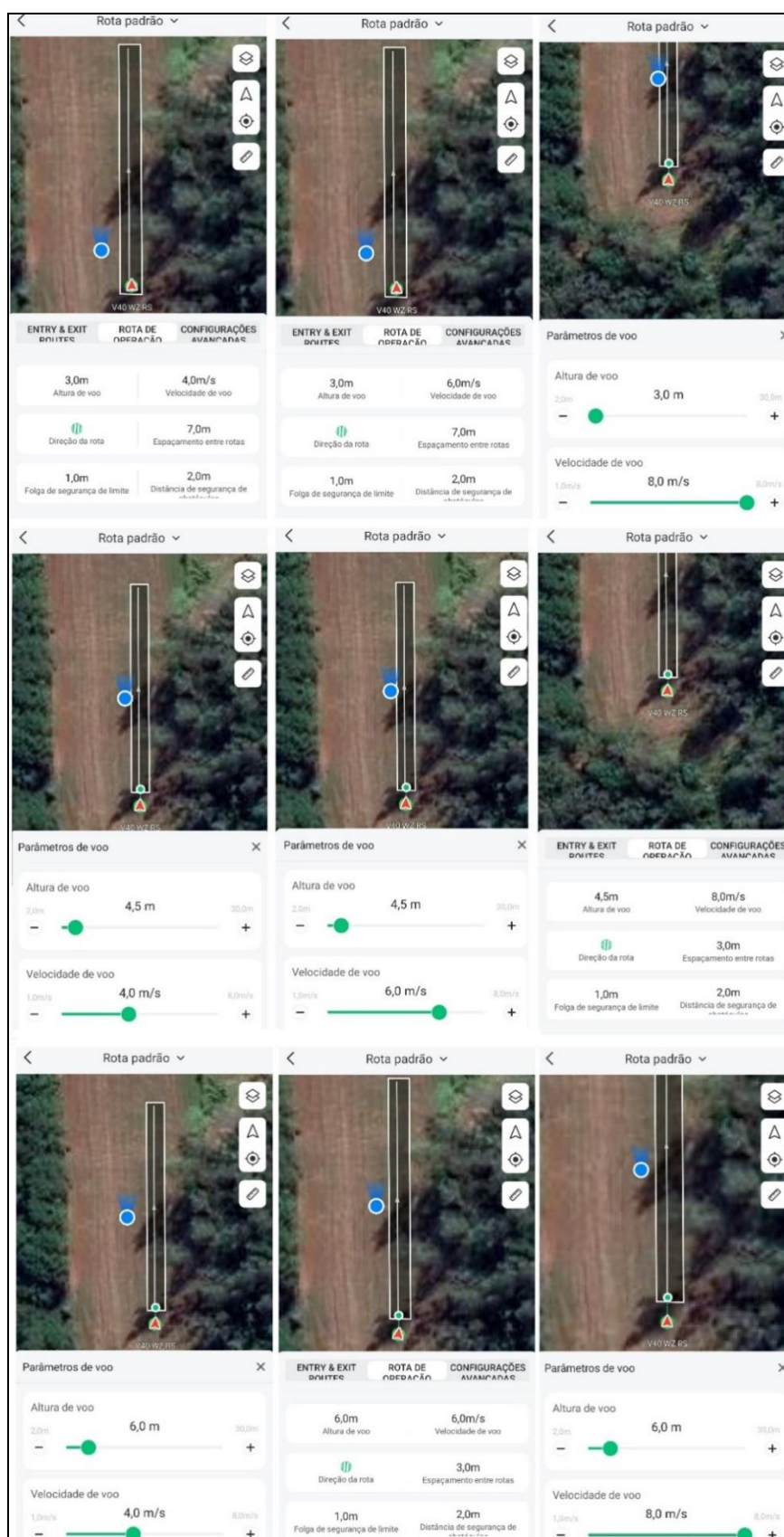
Fonte: Autor (2023).

Figura 5. Tela do aplicativo de operação de voo do drone, mostrando a configuração do volume de pulverização e tamanho da gota.



Fonte: Autor (2023).

Figura 6. Imagens da tela do aplicativo XAG One, indicando a configuração do voo do drone.



Fonte: Autor (2023).

Para simular uma situação real de aplicação e não ocasionar danos ao meio ambiente e riscos de intoxicação, utilizou-se somente água e um adjuvante comercial na calda de pulverização. A adição do adjuvante é recomendada, para proporcionar maior densidade para as gotas e mitigar os efeitos de deriva.

Para analisar o desempenho da aplicação utilizou-se papéis sensíveis a água, marca WSPAPER, com tamanho de 26 x 76 mm (Figura 7). Esses papéis hidrossensíveis são cartões, amarelos com uma camada de azul de bromofenol, que se torna azul quando em contato com líquidos. Assim, permitindo identificar o volume pulverizado, a quantidade e o tamanho das gotas depositadas sobre o papel, entre outras características.

Figura 7. Papel hidrossensível, marca WSPAPER.



Fonte: Autor (2023).

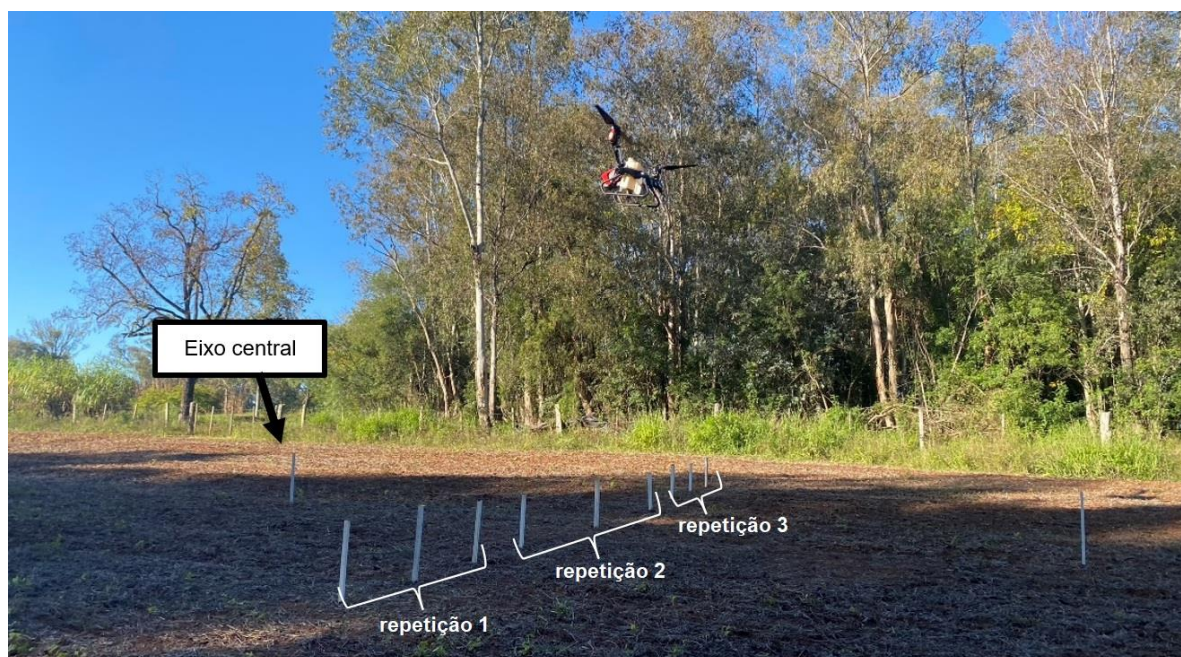
Os cartões hidrossensíveis, foram instalados em estacas de madeira a uma altura de 0,7 m do solo (Figura 8), na tentativa de imitar o dossel das plantas. Implantou-se os mesmos em linha, sendo um central (no eixo) e os demais a uma distância de 2 m, 3 m, 4 m e 5 m para ambos os lados do eixo central (Figura 9). Sendo demonstrada a nomenclatura e localização de cada amostra na tabela 1.

Figura 8. Papel hidrossensível instalado a uma altura de 0,7 m do solo.



Fonte: Autor (2023).

Figura 9. Posição das estacas com papel hidrossensível e composição das repetições utilizadas na avaliação da faixa de pulverização para cada altura de voo e velocidade de deslocamento do drone.



Fonte: Autor (2023).

Tabela 1. Localização das amostras na linha, altura de voo e velocidade de deslocamento do voo.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	Localização das amostras									
		E5	E4	E3	E2	C	D2	D3	D4	D5	
3,0	4,0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	
	6,0	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	
	8,0	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	
4,5	4,0	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	
	6,0	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	
	8,0	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	
6,0	4,0	A55	A56	A57	A58	A59	A60	A61	A62	A63	
	6,0	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	A71	A72	
	8,0	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	A81	

Onde: C – Eixo, E2 – esquerda a 2m do eixo, E3 – esquerda a 3m do eixo, E4 – esquerda a 4m do eixo, E5 – esquerda a 5m do eixo, D2 – direita a 2m do eixo, D3 – direita a 3m do eixo, D4 – direita a 4m do eixo, D5 – direita a 5m do eixo, A<sub>n</sub> – Amostra *n*. Fonte: Autor (2023).

Para verificar as condições meteorológicas no momento da aplicação, foram mensuradas a temperatura do ar (T°), velocidade do vento (VV) e umidade relativa do ar (UR), com a ajuda de um termo-higro-anemômetro digital. No momento da aplicação a temperatura era de 18,1° C, a velocidade do vento era nula e a umidade relativa do ar era de 67 % (Figura 10).

Figura 10. Termo-higro-anemômetro utilizado para verificar as condições meteorológicas no momento da realização do experimento.



Fonte: Autor (2023).



Em cada voo do drone, nas diferentes alturas e velocidades avaliadas, foram colocados os papéis hidrossensíveis, a partir dos quais, foram avaliados o número de gotas que atingiram o alvo, diâmetro médio das gotas, índice de área de cobertura (IAC - %), densidade de gotas (número de gotas por  $\text{cm}^2$ ), diâmetro volumétrico 10% (DV 0,1), diâmetro volumétrico 50% (DV 0,5 ou DMV) e o diâmetro volumétrico 90% (DV 0,9).

O número de gotas que atingiram o alvo refere-se ao número total de gotas encontrado em toda a superfície da amostra. Sendo uma informação é importante para a confiabilidade dos resultados, pois, quanto maior o número de gotas da amostra, mais confiável é o resultado da análise (CHAIM, 2000).

O diâmetro médio das gotas, é a média dos diâmetros de gotas que atingiram a amostra, indica a média do tamanho das gotas. O tamanho da gota é classificado e categorizado de acordo com um padrão internacional, permitindo que comparações sejam feitas entre diferentes tipos de pontas de pulverização e muito importante na escolha de quais tipo de defensivos agrícolas a ser utilizado (CHAIM, 2000).

O índice de área de cobertura (IAC - %) significa a porcentagem de área coberta pela mancha das gotas em relação a área total da amostra. O IAC ajuda na escolha do produto a ser utilizado, para um controle mais eficiente, como por exemplo, a utilização de defensivos de contato, deve possuir um IAC maior que os sistêmicos que se transloca dentro da planta (CHAIM, 2000).

A densidade de gotas representa quantas gotas atingiram uma área equivalente a um centímetro quadrado. Sendo um parâmetro internacionalmente indicado para a calibração da pulverização, pois os fabricantes, de defensivos agrícolas, indicam a densidade de gotas para o controle de determinada praga. Um exemplo é para o controle de plantas espontâneas, com utilização de herbicida pré-emergente sistêmico, a densidade de gotas é de 20 a 30 gotas $\text{cm}^{-2}$ , já para utilização de herbicida pré-emergente de contato, a densidade de gotas é de 30 a 40 gotas $\text{cm}^{-2}$  (CHAIM, 2000).

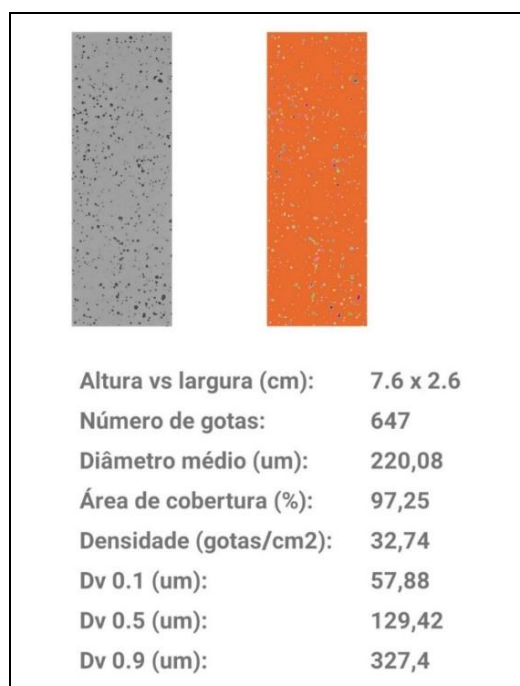
O diâmetro volumétrico 10% (DV 0,1-  $\mu\text{m}$ ) representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que DV 0,1 compõem 10%, do volume total de líquido da amostra. O diâmetro volumétrico 50% (DV 0,5 ou DMV) é o diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho maior ou menor que esse valor, também conhecido

como diâmetro mediano volumétrico (DMV). O DMV é muito importante para a calibração da deposição, pois expressa o padrão de diâmetro de gotas que atingiu a amostra. O diâmetro volumétrico 90% (DV 0,9) representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que Dv 0,9 compõem 90% do volume total de líquido da amostra (amplitude relativa) (CHAIM, 2000).

Todos os papéis hidrosensíveis foram fotografados com câmera em boa qualidade e analisados pelo Software DropLeaf (BRANDOLI et. al.,2021) conforme apresentado na Figura11. O DropLeaf é um software livre, para smartphone, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP), sendo uma ferramenta de sistema de análise de deposição de agrotóxicos.

O delineamento experimental adotado foi o fatorial 3x3, com três repetições. Os fatores de variação foram compostos pelas três alturas de voo e pelas três velocidades de deslocamento do drone. As médias dos parâmetros de pulverização estudados foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro ( $p \leq 0,05$ ). A análise estatística foi realizada no software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

Figura 11. Exemplo de uma amostra analisada pelo Software DropLeaf.



Fonte: Autor (2023).

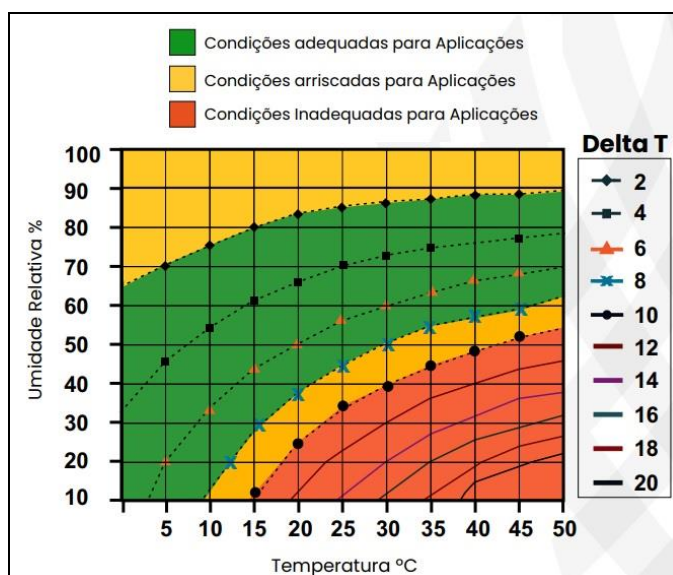
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO MOMENTO DA APLICAÇÃO

Antes de realizar aplicação de defensivos agrícolas, é de suma importância a avaliação das condições climáticas. Pois se a mesma não estiver favorável, principalmente temperatura, umidade relativa do ar, vento, radiação, umidade do solo, a aplicação pode gerar um grande prejuízo, devido à deriva, que pode atingir lavoura de terceiros e o responsável/proprietário arcar com os custos do prejuízo. Outro fator que deve ser levado em conta é a velocidade do vento, que também pode ocasionar deriva, umidade relativa do ar e temperatura, esses últimos podem fazer com que as gotas se evaporem antes de chegar ao alvo.

As condições climáticas no momento dos voos de aplicação, eram muito boas, estando de acordo com a tabela do Delta T (Figura 12), estando dentro da faixa verde, o que significa melhores condições de aplicação. A tabela do delta T faz uma avaliação de aplicação, analisando as condições de umidade relativa (%) com a temperatura (C°), com a classificação verde (condições ótimas), amarela (condições arriscadas) e vermelha (condição não indicada para aplicação). No momento do experimento a temperatura estava em 18,1° C, umidade relativa de 67 % e velocidade do vento nula.

Figura 12. Tabela Delta T para tomada de decisão para aplicações de agrotóxicos.



Fonte: Tecnofiltros (2023).

## 5.2 NÚMERO DE GOTAS QUE ATINGIRAM O ALVO

Avaliando o número de gotas que atingiram os catões hidrossensíveis, foi possível identificar uma grande variação entre as amostras, com média geral de 97,07 gotas, número mínimo de 12,33 gotas e máximo de 573,33 gotas (Tabela 2). Outro fator importante observado, foi o coeficiente de variação (CV), que aumentou, independente da altura de voo, com o aumento da velocidade de deslocamento do drone. Indicando que o aumento da velocidade de deslocamento, aumenta a variabilidade dos dados em relação à média. Demonstrando uma influência, do deslocamento de ar, provocado pela rotação das hélices do drone. Contudo não apresentou diferença estatística significativa, em relação à altura e a velocidade de voo.

Tabela 2. Número de gotas que atingiram os cartões hidrossensíveis nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

<b>Altura de voo (m)</b>	<b>Velocidade (ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>3,0</b>	<b>4,0</b>	301,44	23,33	573,33	275,05	91,24
	<b>6,0</b>	75,78	14,33	170,33	83,10	109,67
	<b>8,0</b>	67,89	23,33	157,00	77,17	113,67
<b>4,5</b>	<b>4,0</b>	85,56	18,67	176,00	81,27	94,99
	<b>6,0</b>	109,89	29,67	225,00	102,23	93,03
	<b>8,0</b>	72,33	30,00	154,67	71,31	98,59
<b>6,0</b>	<b>4,0</b>	69,56	40,33	121,33	44,96	64,65
	<b>6,0</b>	55,00	26,00	108,67	46,53	84,59
	<b>8,0</b>	36,22	12,33	80,33	38,25	105,59
<b>Geral</b>		97,07	12,33	573,33		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

## 5.3 DIÂMETRO MÉDIO DAS GOTAS

Avaliando o diâmetro médio das gotas, identificou-se média geral do diâmetro das gotas foi de tamanho médio (211,10  $\mu\text{m}$ ). A Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF), classifica as gotas como grandes quando seu diâmetro é maior que 400  $\mu\text{m}$ , gotas médias variando entre 200 a 400 $\mu\text{m}$  e gotas pequenas menores que 200  $\mu\text{m}$  (RAMOS, 2004). Diante dessa classificação, as aplicações obtiveram variações entre gotas do tamanho pequeno a médio (Tabela 3), indicando a utilização de defensivos agrícola como inseticida de contato, herbicida de contato

pós-emergente e fungicida sistêmico (Figura 13). Mas não apresentaram diferença estatística significativa, em relação às alturas e velocidades de voo.

A velocidade de deslocamento do drone de  $6 \text{ m s}^{-1}$ , na altura de 3 m, apresentou aplicações mais uniformes quanto ao tamanho das gotas ( $\text{CV}\% = 2,38$ ). Porém a média do tamanho das gotas foi de 195,25, considerada gotas de tamanho pequeno, de acordo com a ANDEF. Para defensivos agrícolas, que permitem esse tamanho de gotas, o voo mais indicado seria nessa configuração, pois a 3 m de altura o drone tem menos risco de danos, em uma eventual queda e, a velocidade de  $6 \text{ m s}^{-1}$  confere uma maior capacidade operacional, devido a rápida velocidade.

Tabela 3. Diâmetro médio das gotas que atingiram os cartões hidrossensíveis ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{ms}^{-1}$ )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	207,97	141,29	268,17	63,69	30,62
	6,0	195,25	191,06	200,25	4,65	2,38
	8,0	215,60	179,70	240,98	31,96	14,83
4,5	4,0	202,30	182,94	216,07	17,26	8,53
	6,0	228,10	201,20	256,91	27,90	12,23
	8,0	218,06	151,40	255,14	57,85	26,53
6,0	4,0	226,28	197,40	245,69	25,50	11,27
	6,0	198,32	186,33	208,27	11,11	5,60
	8,0	208,00	161,51	234,38	40,39	19,42
<b>Geral</b>		211,10	141,29	268,17		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

#### 5.4 ÍNDICE DE ÁREA DE COBERTURA (IAC)

Analisando o índice de área de cobertura (IAC), identificou-se um percentual médio de 8,64%, com um mínimo de 0,03% e máximo de 65,19% (Tabela 4). Apesar do voo na altura de 3 m com velocidade de  $4 \text{ m s}^{-1}$ , apresentar maior desuniformidade, para o índice de área de cobertura, que os voos a 6 m de altura com velocidades de 4 e  $6 \text{ m s}^{-1}$ , é o mais indicado pois apresenta maior média de índice de área de cobertura.

Quando comparamos a velocidade do voo, na altura de 3 metros do solo, houve uma diferença significativa (Tabela 5), indicando que quanto menor a velocidade maior percentual de área de cobertura foi atingido. Outro fator que apresentou diferença significativa foi quando comparamos as diferentes alturas,

referente a velocidade do voo de  $4 \text{ ms}^{-1}$  (Tabela 6), demonstrando que para esta velocidade quanto menor a altura maior será o IAC.

Tabela 4. Índice de área de cobertura (IAC-%) das gotas de pulverização nas diferentes alturas e velocidades de deslocamento do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{ms}^{-1}$ )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	43,22	0,06	65,19	37,38	86,49
	6,0	0,34	0,06	0,78	0,39	112,12
	8,0	10,84	0,10	32,20	18,58	171,42
4,5	4,0	0,39	0,43	0,08	0,88	108,93
	6,0	11,13	0,16	32,88	18,84	169,32
	8,0	10,97	0,09	32,65	18,77	171,05
6,0	4,0	0,42	0,24	0,75	0,29	67,27
	6,0	0,24	0,12	0,47	0,20	83,79
	8,0	0,20	0,03	0,47	0,24	123,97
<b>Geral</b>		8,64	0,03	65,19		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Tabela 5. Resultado do teste de médias de Tukey para a variável IAC (%) para voo a 3,0 m de altura nas diferentes velocidades de deslocamento estudadas.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Média
3,0	6,0	0,34 a*
	8,0	10,84 a b
	4,0	43,22 b
<b>DMS</b>	34,40	

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
Fonte: Autor (2023).

Tabela 6. Resultado do teste de médias de Tukey para a variável IAC (%) nas diferentes alturas para a velocidade de deslocamento de  $4 \text{ ms}^{-1}$ .

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Média
3,0	4,0	43,22 b*
4,5	4,0	0,39 a
6,0	4,0	0,42 a
<b>DMS</b>	34,40	

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
Fonte: Autor (2023).

Analisando o conjunto de dados nas amostras individuais verificou-se que A5, A6, A7, A8, A41e A50 (Tabela 1), obtiveram cobertura superior a 95%, e nas amostras A14, A23, A32 e A40, o índice de cobertura variou de 1,33% a 1,63%, tendo para as demais amostras um índice inferior a 1%. O índice de cobertura está

diretamente relacionado ao volume de aplicação, fator de espalhamento de gotas, área foliar e diâmetro da gota.

A amostra A5, estava localizado no eixo do voo com altura de 3,0 m com velocidade de  $4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a A6, A7 e A8 pertenceram a mesma condição de voo que a A5, porem suas localizações estavam à direita do eixo, isso pode ter ocorrido devido a um deslocamento a direita, do equipamento, em relação ao eixo. Essa condição de voo foi a única que apresentou mais de uma amostra com índice de cobertura superior a 95%, indicando que para esta variável a menor altura e menor velocidade do voo garantiu uma maior cobertura. Contudo na prática implica menor rendimento por hectare, sendo necessário maior tempo de voo na aplicação de defensivos, o que pode inviabilizar a aplicação em grandes lavouras.

Outras amostras que obtiveram índice de cobertura superior a 95% foi a A41 e A50, localizadas no eixo do voo de 4,5 m de altura com velocidades de 6 e  $8 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente. Como estavam no eixo demonstra a importância do transpasse da ponta de aplicação, pois o eixo recebe gotas tanto da ponta esquerda quanto da ponta direita, isso também ocorre no transpasse entre as faixas de aplicação.

A localização das amostras que tiveram uma variação de 1,33% a 1,63%, no índice de cobertura, também foi no eixo dos voos, com altura de 3 m e velocidades de 6 e  $8 \text{ ms}^{-1}$ , e altura de 4,5 m com velocidade de  $4 \text{ ms}^{-1}$ , com exceção da A40, que estava localizada a esquerda do eixo do voo de 4,5 m de altura com velocidades de  $6 \text{ ms}^{-1}$ . Como foi utilizado adjuvante na calda, esse índice de cobertura está de acordo com o trabalho de Carlesso; Bariviera (2022), que ao avaliar o índice de cobertura, na qualidade da pulverização com drone, com vazão de  $10 \text{ Lha}^{-1}$ , utilizando adjuvante na calda, obteve índice de 1,10%.

## 5.5 DENSIDADE DE GOTAS

Para a densidade de gotas ( $\text{gotas}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) foi possível identificar um número médio de  $6,42 \text{ gotas}\cdot\text{cm}^{-2}$ , apresentando um mínimo de  $0,62 \text{ gotas}\cdot\text{cm}^{-2}$  e um máximo de  $43,09 \text{ gotas}\cdot\text{cm}^{-2}$  (Tabela 7). Contudo não apresentou diferença estatística significativa, em relação às alturas e a velocidades de voo.

Tabela 7. Densidade de gotas (gotasc $m^{-2}$ ) nas diferentes alturas e velocidades de deslocamento do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s $^{-1}$ )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	15,25	1,18	29,01	13,92	91,25
	6,0	3,83	0,72	8,62	4,21	109,74
	8,0	3,44	1,18	7,95	3,91	113,65
4,5	4,0	4,33	0,95	8,91	4,11	94,98
	6,0	5,56	1,50	11,39	5,17	93,03
	8,0	3,66	1,52	7,83	3,61	98,57
6,0	4,0	17,09	2,04	43,09	22,61	132,28
	6,0	2,78	1,31	5,50	2,36	84,62
	8,0	1,83	0,62	4,07	1,94	105,62
<b>Geral</b>		6,42	0,62	43,09		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).















Segundo a Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF), a densidade de gotas recomendada para aplicação de defensivos agrícolas deve ser maior que 20 gotasc $m^{-2}$ , variando conforme a Figura 13. Os drones utilizam baixo volume de calda, nesse experimento (10 Lha $^{-1}$ ) e, conseqüentemente, a concentração de produto ativo é maior, necessitando fazer uma recomendação específica para pulverizações com drones.

Se levarmos em consideração a Figura 10, podemos afirmar que apenas as amostras A5, A6 e A7, obtiveram número de gotasc $m^{-2}$  superior a 20, ambas correspondente ao voo de 3,0 m de altura a uma velocidade de 4,0 ms $^{-1}$ , tendo uma faixa de aproximadamente 5,0 m. Outro fator que deve ser observado é o fato da sobreposição de aplicação, o que pode aumentar o número de gotas em determinado lugar. Se consideramos o transpasse de aplicação podemos ver que as amostras que obtiveram um número maior que 10 gotasc $m^{-2}$ , A8, A14, A15, A23, A24, A 31, A32, A40, A41, A50, podem duplicar o seu número de gotas através do transpasse.

Neste trabalho utilizou-se adjuvante na calda, o que pode ter diminuído a densidade de gotasc $m^{-2}$ , pois o mesmo ocorreu com o trabalho de Carlesso e Bariviera (2022), que ao avaliar a densidade de gotas, na qualidade de aplicação da pulverização com drone, o tratamento que utilizou o adjuvante obteve densidade em torno de 90% menor que o tratamento sem o uso de adjuvante.



Figura 13. Tamanho e número de gotas/cm<sup>2</sup> para cada defensivo agrícola. Adaptado de ANDEF.

PRODUTO	GOTAS cm <sup>2</sup>	TAMANHO DE GOTAS
 Inseticida sistêmico	20 a 30	 Médias e grossas.
 Inseticida contato	50 a 70	 Finas e médias
 Herbicida: pré-emergente	20 a 30	 Médias e grossas a grossas e muito grossas
 Herbicida: pós-emergente sistêmico	20 a 30	 Médias e grossas a grossas e muito grossas
 Herbicida: pós-emergente contato	30 a 40	 Finas e médias a médias e grossas
 Fungicida sistêmico	50 a 70	 Finas e médias
 Fungicida contato	> 70	 Muito finas e finas

Fonte: ANDEF (2004).

## 5.6 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 10% (DV 0,1)

Para o DV 0,1 (Tabela 8) na comparação das médias de velocidade para cada altura, a análise demonstrou que houve diferença significativa para o DV 0,1, indicando que quanto maior a altura maior será o DV 0,1 (Tabela 9). Isso reforça a ideia, da influência do deslocamento de ar, gerado pela rotação das hélices, na aplicação de defensivos e insumos agrícolas. Pois no momento do voo a velocidade do vento era nula, a umidade relativa estava adequada e quanto mais alto o voo maior é o DV 0,1, demonstrando que as gotas com diâmetros menores que atingiram o alvo em altitude mais baixas sofreram deriva.

Tabela 8. Variação do DV 0,1 ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	80,65	72,57	86,13	7,14	8,86
	6,0	86,81	83,44	93,53	5,83	6,71
	8,0	103,09	85,63	116,21	15,74	15,27
4,5	4,0	99,89	94,89	108,77	7,71	7,72
	6,0	102,59	94,33	107,81	7,23	7,05
	8,0	113,49	90,42	145,80	28,83	25,40
6,0	4,0	105,14	92,32	114,63	11,52	10,96
	6,0	106,59	97,80	123,45	14,61	13,71
	8,0	111,89	95,31	122,05	14,48	12,94
<b>Geral</b>		101,13	72,57	145,80		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Tabela 9. Resultado do teste de médias de Tukey para a variável DV 0,1 ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes velocidades de deslocamento para cada altura de voo do drone.

Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Altura de voo (m)		
	3,0	4,5	6,0
4,0	80,65	99,89	105,14
6,0	86,81	102,59	106,59
8,0	103,09	113,49	111,89
<b>Média</b>	90,18 a*	105,32 a b	107,87 b
<b>DMS</b>	17,17		

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
Fonte: Autor (2023).

### 5.7 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 50% (DV 0,5 OU DMV)

O DMV (Tabela 10), na comparação das diferentes alturas para velocidade de  $4 \text{ ms}^{-1}$ , a análise demonstrou que houve diferença significativa, indicando que, para esta velocidade, quanto maior a altura maior será o DMV (Tabela 11).

Tabela 10. Variação do DV 0,5 ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	151,18	121,32	169,15	26,03	17,22
	6,0	188,11	175,50	203,35	14,11	7,50
	8,0	200,22	151,55	231,96	42,80	21,38
4,5	4,0	185,36	163,78	200,80	19,26	10,39
	6,0	205,25	191,05	218,22	13,62	6,64
	8,0	183,26	150,69	211,64	30,69	16,75
6,0	4,0	214,92	198,02	228,95	15,66	7,29
	6,0	187,57	164,92	208,84	21,99	11,73
	8,0	205,06	171,33	227,30	29,70	14,49
<b>Geral</b>		191,21	121,32	231,96		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Tabela 11. Comparação do DMV ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes alturas na velocidade  $4 \text{ ms}^{-1}$  de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Média
3,0	4,0	151,18a*
4,5	4,0	185,36 a b
6,0	4,0	214,92 b
<b>DMS</b>	58,01	

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
Fonte: Autor (2023).

### 5.8 DIÂMETRO VOLUMÉTRICO 90% (DV 0,9)

Para o DV 0,9(Tabela 12), a análise estatística não apresentou diferença significativa em relação às alturas e velocidades de voo.

Tabela 12. Variação do DV 0,9 ( $\mu\text{m}$ ) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	325,58	274,30	383,63	54,98	16,89
	6,0	349,43	319,12	378,16	29,55	8,46
	8,0	383,50	351,58	425,89	38,25	9,97
4,5	4,0	358,27	345,79	378,29	17,52	4,89
	6,0	396,01	320,46	485,28	83,26	21,02
	8,0	342,41	243,00	534,67	166,53	48,64
6,0	4,0	358,34	326,85	378,45	27,62	7,71
	6,0	345,68	334,01	359,58	12,93	3,74
	8,0	333,89	228,89	406,36	93,10	27,88
<b>Geral</b>		354,79	228,89	485,28		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

## 5.9 DIFICULDADES NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A maior dificuldade para implantação do projeto é referente ao custo, pois contamos com poucos recursos. Um drone para pulverização agrícola, igual ao utilizado custa mais de R\$ 180.000,00, cada cartão hidrossensível custa em média R\$ 4,00 e os aparelhos para analisar os cartões são aproximadamente R\$ 6.000,00. Sendo assim, o projeto só foi possível devido a empresas parceiras que forneceram o drone para o desenvolvimento do experimento.

Apesar do Grupo Timber fornecer um piloto habilitado e com alto grau de conhecimento, tivemos dificuldade no alinhamento do drone em cima do eixo principal, o que demandou grande parte do tempo para começar a execução do experimento. Através disto, demonstrou que o equipamento deve ser manuseado por pessoas habilitadas, e que apesar de ser um equipamento autônomo e de fácil operação, exige um nível de conhecimento e dedicação na nova tecnologia, o que não é diferente de outras tecnologias. Na grande maioria das vezes, quem manuseia o equipamento, é o próprio produtor, que adquiriu o mesmo, mas obteve apenas poucas horas de treinamento. Ou ainda, ele mesmo importou direto e nem se quer obteve algum treinamento.

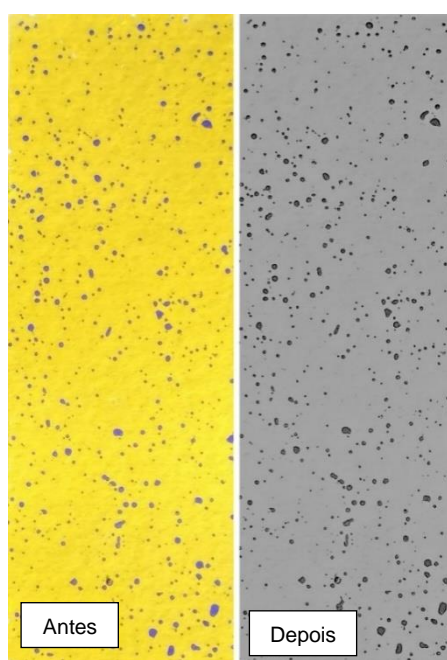
Devido à complexidade dessa nova tecnologia, se não obtiver um total controle e conhecimento do seu manuseio, pode-se provocar grandes problemas, gerando riscos ao meio ambiente e às lavouras vizinhas. Pois pode ocorrer deriva na aplicação, causando problemas de fitotoxicidade, levando ao desinteresse no uso,

bem como riscos de indenizações. Diante disso, se fazem necessários mais trabalho futuros para avaliar a deriva de produtos, condições ambientais ideias para aplicação e que não pode-se utilizar o equipamento, tipos de produtos mais indicados com alta concentração, entre outros temas.

Para a interpretação do papel hidrossensível, primeiramente foi utilizado o software GOTAS, que é um software livre desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Porém, foi necessário fazer um tratamento das imagens do cartão hidrossensível para o software as interpretar. Em cada imagem foi necessário a aplicação de um filtro, do próprio Windows (software “Fotos”), aplicando o filtro Ardósia, com o aprimore sua foto na posição 13 e a intensidade do filtro em 100%, conforme apresentado na Figura 14.

Após o tratamento das imagens dos cartões, o software GOTAS apresentou melhor desempenho na identificação do número de gotas, densidade de gotas e volume aplicado por hectare. Contudo, o GOTAS não permite que alteramos o tamanho do cartão, o que gerou um erro referente ao percentual de cobertura e densidade de gotas. Com isso precisamos procurar outro software livre, para analisar os cartões, foi então que chegamos no DropLeaf, que permite alterar o tamanho cartão, e entrega os resultados mais coerentes.

Figura 14. Cartão hidrossensível antes e depois do tratamento de imagem.



Fonte: Autor (2023).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pulverização com drone demonstrou diferenças significativas para índice de área de cobertura, sendo que, o melhor resultado foi encontrado para a altura de aplicação de 3,0 metros e velocidade de deslocamento de  $4,0\text{ms}^{-1}$ .

A altura de voo influenciou os resultados do Diâmetro volumétrico 0,1 (DV 0,1), sendo que, quanto maior a altura de voo maior seu valor. Já para o Diâmetro volumétrico 0,5 (DMV), apenas na velocidade de deslocamento de  $4,0\text{ms}^{-1}$  a altura influenciou, apresentando maior DMV para maior altura (6 metros).

As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas em relação as alturas e velocidades de voo do drone de pulverização avaliadas.

## REFERÊNCIAS

- ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, jan./jun. 2007. Editora UFPR
- ANDEF-associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**, v. 52, n. 10.1029, 2004. Disponível em: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acesso em 01/07/2023.
- BRANDOLI, B.; SPADON, G.; ESAU, T.; HENNESSY, P.; CARVALHO, A. C. P. L.; AMER-YAHIA, S.; RODRIGUES, JR., J. F. **DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage**. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 180, 105906, January 2021. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105906>
- CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. **Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação**. São Miguel do Oeste, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Agrônomo) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus De São Miguel Do Oeste.
- CASTANHO, R. B.; TEIXEIRA, M. E. S. A evolução da agricultura no mundo. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 8, n. 1, p. 136-146, jan./jun. 2017. Página | 137.
- CASTILHO, M. R., ROCHA, G. S., WEBBER, W., JACOMASSO, KATER. USO DE DRONES EM PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA. **ANAIS** da XI Mostra científica. FACEM. Sorriso – MT, Fev. 2023. ISBN: 978-65-00-64001-4
- CATUREGLI, L., CORNIGLIA, M., GAETANI, M., GROSSI, N., MAGNI, S., MIGLIAZZI, M. Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. **PLoS ONE**, n. 11, v. 6, 2016.
- CHAIM, A. LDEMIR., CAMARGO NETO, J., GATTAZ, N. C., VISOLI, M. C. **Gotas programa de análise de deposição de agrotóxicos: manual de utilização**. EMPRAPA, 2000. Disponível em: <[https://www.cnpma.embrapa.br/down\\_site/gotas/ManualGotasV2.pdf](https://www.cnpma.embrapa.br/down_site/gotas/ManualGotasV2.pdf)> Acesso em 01 jul. 2023.
- ENDERLE, B., **Commercial applications of uav's in japanese agriculture**. In 1st UAV Conference. Portsmouth, Virginia, 2002.
- ESPERIDIÃO, T. L.; SANTOS, T. C.; AMARANTE, M. S. Agricultura 4.0: Software de Gerenciamento de Produção. **Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 4, 2019.
- 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.
- GIONES, F., BREM, A. From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. **Business Horizons**, 60, 875-884, 2017.

GONÇALVES, Vinícius Parlangeli; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Estudo das funcionalidades dos drones na agricultura. **Rev. Da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga**, [S. l.], p. 11, 2021.

HUANG, H., DENG, J., LAN, Y., YANG, A., DENG, X., ZHANG, L. A. A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. **PLoS ONE**, v. 13, n. 4, 2018.

INSTITUTO AGRIS PESQUISA E CONSULTORIA AGRÍCOLA. **Perdas da soja por amassamento**. 2002. Disponível em: <<https://institutoagris.com.br/perda-da-soja-por-amassamento/#:~:text=Nesse%20potencial%20de%20rendimento%2C%20em%20sacos%20de%20soja%2Fha.>>. Acesso em 01 jul. 2023.

ITARC. **Aprenda sobre o uso de drones na agricultura** Disponível em: <<https://itarc.org/uso-de-drones-na-agricultura/>>. Acesso em 01 jun. 2023.

JACTO. 2022. Blog Jacto: **GPS em máquinas agrícolas: por que usar?** Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/gps-em-maquinas-agricolas-por-que-usar/>>. Acesso em 02 jun. 2023.

LOPES. M. A. **Sistema de Inteligência Estratégica para a Agropecuária Brasileira**. 2013. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/apresentacao-mauricio-lobes-2a-reuniao-cedes>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

MAINARDI, L.C. **Viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura orizícola**. Santa Maria: UFSM, 2015.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. [Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira]. São Paulo: UNESP, 2010.

OLIVEIRA, Altacis Junior de et al. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Braz. J. of Develop**, v. 5, n. 2, 2020.

PEGORARI, Indústria. **A importância e o avanço da tecnologia na agricultura** Disponível em: <<https://www.pegorari.com.br/agricola/a-importancia-e-o-avanco-da-tecnologia-na-agricultura/>>. Acesso em 01 jun. 2023.

PEÑA; J. M., SÁNCHEZ, J.T., CASTRO, A.I., KELLY, M., LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, 2013.

PRIMICERIO, J., DI GENNARO, S. F., FIORILLO, E., GENESIO, L., LUGATO, E., MATESE, A., VACCARI, F. P. A. Flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 2, n. 4, 2012.

QIN, W.C., QIU, B.J., XUE, X, Y., CHEN, C., XU, Z.F., ZHOU, Q.Q. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79-88, 2016.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014.

SILVA, Adriano Pereira da. **Uso de drone na agricultura 4.0**. VILHENA: Faculdade da Amazônia (FAMA), 2020.



TECNOFILTROS. **Tabela Delta T**. Disponível em:

<<https://materiais.tecnofiltros.ind.br/tabela-delta-t>>. Acesso em 01 jul. 2023.

TIMBER. Disponível em <<https://www.grupotimber.com.br/timber-smart-solutions/drone-v40-2021/>>. Acesso em 02 jul. 2023.

TSCHIEDEL, M., FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, 2002.

XIONGKUI, H., BONDS, J., HERBST A., LANGENAKENS J. 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.

ZHANG, C., KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 693–712, 2012.