

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NATHÁLIA LUCINI

**DEPOSIÇÃO DE GOTAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DE VOO DE UM ARP
PULVERIZADOR E DA RESOLUÇÃO DE ESCANEAMENTO DOS PAPÉIS
HIDROSSENSÍVEIS**

PATO BRANCO

2022

NATHÁLIA LUCINI

**DEPOSIÇÃO DE GOTAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DE VOO DE UM ARP
PULVERIZADOR E DA RESOLUÇÃO DE ESCANEAMENTO DOS PAPÉIS
HIDROSSENSÍVEIS**

**Deposition of drops as a function of the flight height of a sprayer ARP and
the scanning resolution of the hydrosensitive papers**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia do Curso de
Bacharelado em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Alcir José Modolo, Prof. Dr.

Coorientador: Adão Robson Elias, Prof. Dr.

PATO BRANCO

2022



[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.

NATHÁLIA LUCINI

**DEPOSIÇÃO DE GOTAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DE VOO DE UM ARP
PULVERIZADOR E DA RESOLUÇÃO DE ESCANEAMENTO DOS PAPÉIS
HIDROSSENSÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia do Curso de
Bacharelado em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 30/novembro/2022

Alcir José Modolo
Doutorado em engenharia agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Diego Fernando Daniel
Mestrado em ambiente e sistemas de produção agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Danielli Batistella
Mestrado em geomática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

Dedico este trabalho à minha família, pelo mérito da conquista, sem vocês nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me acompanhar, e fazer de mim uma pessoa forte diante dos obstáculos, por me permitir concluir o curso, entre meio ao caos em alguns períodos da graduação, ele me manteve forte para que o êxito viesse.

Aos meus pilares, Marli Bortolossi e Lady Lucini, por não medirem esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos e por estarem sempre comigo durante essa longa caminhada, agradeço por tudo de coração, meus amados pais.

Aos meus irmãos, Guilherme Lucini e Victória Lucini por também terem contribuído para que esse dia chegasse.

Ao doutorando Diego Fernando Daniel por toda ajuda e determinação durante o processo de estudos realizados, e orientações determinantes ao aprendizado.

Ao Professor Dr. Alcir José Modolo, pelos ensinamentos no curso e durante o período de desenvolvimento dos estudos, pela determinação durante a orientação e paciência neste tempo, contribuindo assim pela construção do meu profissionalismo.

Agradeço aos meus amigos de graduação, por muito terem feito por mim, contribuindo para que eu não desistisse e chegasse até aqui, obrigada pela parceria.

A UTFPR por todo o suporte educacional durante esse período da graduação, proporcionando aprendizado e condições para que eu pudesse ter uma graduação em ensino superior.

Meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para que eu realizasse meu sonho, fazendo parte do meu crescimento profissional, de todo o meu coração, muito obrigado.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. Einstein (2022).

RESUMO

O avanço das tecnologias de aplicação aérea de fitossanitários busca eficiência e redução do volume de calda, o que pode ocasionar má distribuição e consequente deposição irregular de gotas. Uma das formas de se avaliar a deposição de gotas é por meio de papéis hidrossensíveis. No entanto, há questionamentos, de como a resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis pode interferir nos resultados dos valores de deposição de calda, de modo que a resolução da imagem escaneada pode interferir na nitidez e na qualidade da mesma. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a faixa de aplicação e a deposição de gotas em função da altura de voo e da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis. O experimento foi realizado campus de Pato Branco da UTFPR, onde realizaram-se voos de testes de eficiência de aplicação. Para as avaliações foi utilizado um ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), equipado com pulverizador da marca DJI®, modelo Agras MG-1S, e para a realização das aplicações ajustou-se uma vazão média de líquido de $0,650 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ e velocidade média de deslocamento de voo de $12,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (2x3), duas alturas de voos (2,0 e 3,0 m) e três resoluções de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi). A quantidade e a qualidade da aplicação foram analisadas através da deposição das gotas em papéis hidrossensíveis, fixados na horizontal sobre uma régua de madeira, posicionada ao solo. Os papéis hidrossensíveis foram devidamente espaçados entre si de 0,75 m (-450; -375; -300; -225; -150; -75; 0,0; +75; +150; +225; +300; +375; +450 m), totalizando uma faixa de avaliação de 9,0 m. As pulverizações foram realizadas tomando como ponto de referência de voo, a posição central da faixa de avaliação (0,0) estando está centralizada, onde o sinal negativo significa papéis hidrossensíveis do lado esquerdo e positivo para os papéis posicionadas ao lado direito, respectivamente, levando em consideração o sentido do voo. Após realizadas as pulverizações, os papéis hidrossensíveis foram digitalizados e analisados no software DepositScan para determinar os seguintes parâmetros de deposição de gotas: densidade de gotas, porcentagem de cobertura da pulverização, deposição da calda pulverizada e diâmetro volumétrico ($DV_{0,1}$, $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$). Os melhores resultados foram obtidos com a resolução de 600 dpi. A resolução de 300 dpi subestima os parâmetros de diâmetro mediano volumétrico (DMV) e deposição de calda, enquanto que a resolução de 1200 dpi superestima esses parâmetros. A altura de voo não interfere no DMV. A altura de voo de

3,0 *m* proporciona maior faixa de aplicação, mas reduz a porcentagem de cobertura do alvo.

Palavras-chave: densidade de gotas; espectro de gotas; resolução de imagem; tamanho de gotas; vant pulverizador.

ABSTRACT

Advances in studies on application technology bring new questions, one of which is how the scanning resolution of water-sensitive papers can interfere with the results of the spray deposition values, so that the resolution of the scanned image can interfere with the sharpness and image quality. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the range of application and the deposition of drops as a function of the flight height and the scanning resolution of water-sensitive papers. The experiment was carried out at UTFPR's Pato Branco campus, where application efficiency test flights were carried out. For the evaluations, an RPA (Remotely Piloted Aircraft) was used, equipped with a DJI® brand sprayer, model Agras MG-1S, and for carrying out the applications an average liquid flow of $0.650 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ and average speed flight displacement of $12.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. The study was conducted in a completely randomized design (CRD), in a factorial scheme (2x3), two flight heights (2.0 and 3.0 m) and three scanning resolutions of water-sensitive papers (300, 600 and 1200 dpi). The quantity and quality of the application were analyzed by deposition of the drops on hydrosensitive paper, fixed horizontally on a wooden ruler, positioned on the ground. The water-sensitive papers were spaced 0.75 m apart (-450; -375; -300; -225; -150; -75; 0.0; +75; +150; +225; +300; +375; +450 m), totaling an evaluation range of 9.0 m. The sprays were carried out taking as a flight reference point, the central position of the evaluation strip (0,0) being centralized, where the negative sign means water-sensitive papers on the left side and positive for the papers positioned on the right side, respectively, taking into account the direction of flight. After spraying, the water-sensitive papers were digitized and analyzed using the DepositScan® software to determine the following droplet deposition parameters: droplet density, percentage of spray coverage, deposition of the sprayed solution and volumetric diameter ($DV_{0.1}$, $DV_{0.5}$ and $DV_{0.9}$). The 300 dpi resolution underestimates the volumetric median diameter (VMD) and spray deposition parameters, while the 1200 dpi resolution overestimates these parameters. The flight height does not interfere with the VMD. The 3.0 m flight height provides greater application range but reduces target coverage percentage.

Keywords: droplet density; droplet spectrum; image resolution; droplet size; uav sprayer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral do equipamento DJI AGRAS MG-1S	19
Figura 2 – Croqui (visão geral do experimento)	20
Figura 3 – Distribuição volumétrica por classe de tamanho de gotas observadas e desvio padrão em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)	22
Figura 4 – Deposição da calda pulverizada ($\mu L.cm^{-2}$) em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)	24
Figura 5 – Porcentagem de cobertura em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)	25
Figura 6 – Densidade de gotas (n° gotas cm^{-2}) em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	aeronave remotamente pilotada
ARPs	aeronaves remotamente pilotadas
CV	coeficiente de variação
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DIC	delineamento inteiramente casualizado
DMV	diâmetro médio volumétrico
dpi	dots per inch
RPA	remotely piloted aircraft system
RPAs	remotely piloted aircraft system
UAVs	unmanned aerial vehicles
VANT	veículo aéreo não tripulado
VANTs	veículos aéreos não tripulados

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Latinas

<i>Ha</i>	Hectare	[Ha]
<i>L</i>	Litro	[L]
<i>Min</i>	Minuto	[Min]
μm	Micrômetro	[μm]
<i>v/v</i>	Concentração	[v/v]
<i>ml</i>	Mililitro	[ml]
<i>kg</i>	Quilograma	[kg]
<i>bar</i>	Unidade de Pressão	[bar]
<i>mm</i>	Milímetro	[mm]

Sobrescritos

$g.L^{-1}$	Gramas por litro
$L.ha^{-1}$	Litros por hectare
$km.h^{-1}$	Quilômetros por hora
$m.s^{-1}$	Metros por segundo
$L.min^{-1}$	Litros por minuto
cm^2	Centímetros cúbicos
$\mu L.cm^{-2}$	Micrôlitro por centímetro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Geral	13
1.1.2	Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas	15
2.2	Aeronaves Remotamente Pilotadas	15
2.3	Alturas de voo de ARPs pulverizadores	16
2.4	Análise de papéis hidrossensíveis	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1	Distribuição volumétrica	22
4.2	Deposição de calda	23
4.3	Porcentagem de Cobertura	25
4.4	Densidade de Gotas	26
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Brasil aumentou em grande escala durante os últimos anos e junto com este aumento de produção evidencia-se a prática do controle fitossanitário com o aumento do uso de defensivos agrícolas, onde o uso de pesticidas somado as práticas expansionistas e a utilização de maquinário mais sofisticado, trouxeram ganhos a produtividade (SILVA; COSTA, 2012).

A tecnologia de aplicação de produtos químicos consiste na utilização de um equipamento adequado para que o controle do alvo desejado, seja realizado com eficiência, segurança e economia (EMBRAPA, 2015). A pulverização de fitossanitários é uma ferramenta importante para o manejo de culturas, evitando que fatores bióticos reduzam a produção agrícola, devendo ela ser efetuada de forma correta (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

Com as transformações digitais e o avanço tecnológico no setor agrícola encontram-se ferramentas e tecnologias disponíveis para otimizar a produção. O cenário em que se encontra a agricultura demonstra a necessidade do uso de práticas que promovam o crescimento agrícola para garantir e melhorar a qualidade dos alimentos, bem como a qualidade de vida dos agricultores (EMBRAPA, 2018).

A agricultura de precisão, chamada de agricultura 4.0 trouxe tecnologias cada vez mais precisas ao campo, aperfeiçoando as operações agrícolas (RIBATSKI; SANTOS; NETO, 2018). Desta forma, o emprego de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) impulsionam o desenvolvimento das atividades agrícolas de forma mais eficaz e rentável. De acordo com Richardson, Rolando e Kimberley (2020), o uso de ARPs está trazendo maior precisão operacional no que diz respeito à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Todavia, ainda existem dúvidas quanto a otimização do uso e da qualidade dessa ferramenta, como por exemplo a incerteza quanto à efetividade das aplicações.

Com a crescente demanda e utilização dos ARPs na agricultura, estudos a fim de verificar sua eficácia na aplicação de defensivos agrícolas, são essenciais para maximizar seu potencial, a fim de prover uma melhoria nas pulverizações, beneficiando a produtividade agrícola (CUNHA *et al.*, 2021).

Muitos são os fatores que interferem na qualidade da aplicação de agrotóxicos. De forma geral quanto menores as gotas, mais eficaz será a pulverização, porém pouco seguras quanto à deriva. Outros fatores também interferem na qualidade de aplicação, onde podemos destacar a altura e velocidade de voo empregando aeronave remotamente pilotada (ARP), sendo essencial conhecer o efeito desses fatores na eficácia da aplicação de defensivos agrícolas, para que se desenvolva um protocolo operacional de pulverizações. A altura do voo interfere na largura de deposição, e a redução da taxa de aplicação será possível somente quando houver distribuição transversal uniforme, e uma cobertura homogênea do alvo, sendo está caracterizada por baixos coeficientes de variação ao longo das faixas tratada, que para aplicações aéreas, devem ser inferiores a 25% (MARTIN; WOLDT; LATHEEF, 2019). Logo, se torna imprescindível conhecer

os efeitos dos fatores que interferem na qualidade da aplicação, para que se possa estudar a pulverização com as aeronaves remotamente pilotadas (CUNHA *et al.*, 2021).

A utilização da pulverização para a agricultura não depende somente da eficiência dos agrotóxicos, mas também da tecnologia adequada na aplicação dos mesmos, para que estes tenham maior efeito sobre o alvo (SCHNEIDER *et al.*, 2013; CUNHA *et al.*, 2021). Os ARPs são compactos e ágeis, permitindo assim, realizar aplicações em áreas de interesse bem como doses em taxas variáveis, resultando em uma economia e evitando desperdício de produto (NETO; SASAKI; ALVARENGA, 2021).

Somado a esta tecnologia, se tem papéis hidrossensíveis, sendo amplamente utilizados em testes de qualidade de aplicações de campos, para a determinação de uma série de medidas de cobertura de pulverização, através de softwares computacionais, que avaliam parâmetros importantes para pesquisas relacionadas à tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. No entanto, a resolução de escaneamento desses papéis pode fornecer informações errôneas a respeito da aplicação.

Se tratando da utilização de ARP na aplicação de agrotóxicos, não havendo protocolos para a sua utilização dentro da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, a hipótese deste trabalho é que diferentes alturas de voo de um ARP pulverizador podem afetar a deposição de gotas no alvo. Bem como, pode afetar o espectro de gotas, velocidade de voo, volume de pulverização, frequência de pulverização influenciando assim a qualidade da aplicação de defensivos.

A utilização de ARPs vem sendo vista como uma possível solução na aplicação de defensivos agrícolas com agilidade, qualidade e menor custo, oferecendo oportunidades substanciais de economia e maior eficiência na agricultura. Surgem para complementar e substituir a pulverização de defensivos agrícolas realizada através de pulverizadores terrestres e aviões agrícolas, pois agilizam as atividades, conseguem tratar bordaduras, áreas de difícil acesso nas lavouras e reboleiras, aumentando a segurança e a precisão na aplicação (CUNHA *et al.*, 2017).

Atualmente, a tendência com a utilização de ARP pulverizadores é reduzir a quantidade e o volume nas aplicações, bem como reduzir o contato humano com os produtos químicos, proteger o meio ambiente e melhorar a precisão da pulverização, evitando a presença de produtos químicos fora das áreas projetadas (ANDRADE *et al.*, 2018; FORNARI *et al.*, 2020a).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar a faixa de aplicação e a deposição de gotas em função da altura de voo e da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis.

1.1.2 Específicos

Avaliar o espectro das gotas através do diâmetro médio volumétrico, diâmetro médio numérico, volume aplicado, densidade de gotas, uniformidade e porcentagem de cobertura que cada ponta de aplicação proporcionada na aplicação aérea pelo ARP.

Determinar a melhor altura de voo para otimizar a aplicação, e conseqüentemente a qualidade de aplicação de defensivos agrícolas.

Definir a melhor resolução para escaneamento dos papéis hidrossensíveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas

As tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas vêm ganhando destaque nos últimos anos e, essa evolução resulta em números positivos na produtividade, que elevam a segurança e a qualidade da operação, proporcionando correta aplicação diretamente no alvo desejado, de forma sustentável, aumentando a qualidade dos alimentos comercializados (BA-ESSO *et al.*, 2014).

O sucesso nas aplicações fitossanitárias requer um conjunto de conhecimentos, desde a escolha do produto, preparação da calda, até sua correta aplicação, permitindo assim um eficiente controle. Na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários emprega-se todo conhecimento científico para uma melhor eficiência de aplicação a fim de proporcionar correta aplicação no alvo, em quantidade necessária, econômica, com o mínimo de perdas e contaminação de outras áreas (MATUO, 1990).

A necessidade da utilização de novas tecnologias se deu com o crescente aumento do custo de mão de obra e de energia, o aumento do preço dos agrotóxicos, e preocupações em relação à sustentabilidade ambiental (BRANDÃO *et al.*, 2018). Para isso, se faz necessário a adoção de procedimentos e utilização de equipamentos mais adequados para maior proteção do trabalhador, assim como do meio ambiente.

As operações de pulverizações para aplicação de defensivos agrícolas, se tornam essenciais no controle de pragas e doenças existentes nas culturas, tendo em vista o interesse econômico. Conhecer a natureza do produto, se faz necessário para uma aplicação segura e eficiente, garantindo assim que o produto chegue ao alvo com o mínimo de perdas (CUNHA *et al.*, 2003). Quando se trata de aplicação aérea, conhecer o equipamento e definir volume de aplicação é um critério essencial.

Recentemente, novas tecnologias relacionadas a aplicação aérea têm surgido no mercado, como os *remotely piloted aircraft system* (RPAs) pulverizadores. Estes têm se mostrado eficientes e ágeis, apontados como possível solução para as aplicações, com maior qualidade e menor custo. Apesar dos avanços ocorridos na área de aplicação de defensivos agrícolas, estudos referentes a utilização de novas tecnologias a fim de maximizar a eficácia, são necessários (OLIVEIRA; SABATO; OLIVEIRA, 2017).

2.2 Aeronaves Remotamente Pilotadas

As ARPs, ou veículos aéreos não tripulados (VANTs), também chamados de Drones, em inglês *unmanned aerial vehicles* (UAVs), são aeronaves autônomas ou remotamente pilotadas, tendo várias finalidades na agricultura, entre elas a pulverização de defensivos agrícolas nas

lavouras (ANAC, 2017; FORNARI *et al.*, 2020a). De acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), ARPs, veículo aéreo não tripulado (VANT) ou Drones é definido como o termo utilizado para se referir a todo e qualquer equipamento aéreo que não necessita de um ser humano a bordo para o comando”.

As ARPs são exemplos de ferramentas tecnológica inovadora utilizada para aplicações de defensivos agrícolas, mapeamento de áreas, coleta de imagens aéreas, dentre outras atividades. Muitas vantagens podem ser atribuídas ao seu uso na agricultura, entre elas está o baixo custo financeiro e a alta flexibilidade (ASSAIANTE; CAVICHIOLI, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020; NETO; SASAKI; ALVARENGA, 2021).

As ARPs são divididas em três grupos básicos, sendo os de asa rotativa ou multirotor, de asa fixa e os híbridos (FORNARI *et al.*, 2020b; AHMAD *et al.*, 2020; LEE; KIM; CHU, 2021). As aeronaves de asas rotativas ou multirotores possuem funções de decolagem e aterrissagem na vertical, são leves, fáceis de transportar e oferecem uma série de vantagens técnicas que otimizam seu desempenho. As ARPs de uso agrícola, atualmente exercem tarefas em diferentes ambientes, sendo utilizadas aplicações de maior precisão, tendo acesso onde o maquinário agrícola tem dificuldade de acesso (FORNARI *et al.*, 2020b). São utilizados em diversas culturas, na pulverização onde as demandas estão aumentando constantemente, reduzindo significativamente as horas de trabalho, com maior estabilidade e precisão de trabalho resultando em produtividade (CARVALHO; CUNHA, 2019).

O uso de ARPs é regulamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a qual impõe responsabilidade de danos a terceiros e demais regras aplicáveis, assim como para aeronaves tripuladas (DECEA, 2020). Em 2017, a ANAC aprovou o regulamento para utilização de drones definido de acordo com peso, altitude permitida para voo e, em caso de necessidade de cadastro na ANAC, portar habilitação e a idade mínima para pilotar (ANAC, 2017).

2.3 Alturas de voo de ARPs pulverizadores

As aplicações no geral, têm sido realizadas entre 1,0 a 3,0 *m* de altura, como pode ser observado no trabalho de Wang *et al.* (2020). De acordo com Martin, Woldt e Latheef (2019) para uma cobertura homogênea do alvo, requer distribuição uniforme, tendo baixos coeficientes de variação ao longo das faixas de pulverização, que devem ser inferiores a 25%. A altura do voo também interfere na largura de deposição. A redução da taxa de aplicação só é possível quando há uma distribuição uniforme, que para tal leva em consideração a ponta utilizada, a sobreposição dos jatos e a geometria do sistema de pulverização, desenvolvido para cada tipo de ARP.

Martin, Woldt e Latheef (2019) avaliaram a faixa de deposição de um remotely piloted aircraft system (RPA) DJI AGRAS MG-1S e verificaram que não houve influência da velocidade de voo na largura da faixa de deposição. Já a altura de voo, influenciou este parâmetro, onde

faixa efetiva de deposição (considerando um coeficiente de variação (CV) de 25%), depende da condição operacional.

Hussain *et al.* (2019) ao avaliarem a uniformidade de distribuição de um hexacóptero em diferentes alturas de voo, encontraram boa uniformidade de distribuição na aplicação nas alturas de 1,5 e 2,0 *m*, enquanto que na altura de 3,0 *m* houve uma redução na uniformidade, sendo esta atribuída principalmente ao efeito negativo do vento cruzado, causando uma maior deriva.

2.4 Análise de papéis hidrossensíveis

Os coletores ou papéis hidrossensíveis (papel sensível à água), são utilizados para se ter os dados de qualidade das aplicações de pulverização, sendo estes posicionados na área alvo das plantas para que posteriormente a qualidade seja avaliada (SUNDARAM; MCGUIRE; SCHAJOWICZ, 1987; THÉRIAULT; SALYANI; PANNETON, 2001).

Wolf (2003), Hoffmann e Hewitt (2005), discutiram sobre diferentes métodos de medição de tamanho de ponto (gotas), sendo esses sistemas operados em condições de laboratório para fornecer dados e informações importantes sobre a qualidade da cobertura de pulverização.

Os papéis hidrossensíveis são de coloração amarela e sua superfície fica azulada quando entra em contato com as gotas de água ou calda de pulverização, devido a reação pela ionização do bromofenol, e vem sendo utilizados há mais de 30 anos na agricultura (BAESSO *et al.*, 2014).

Para avaliar a cobertura da pulverização, são utilizados dispositivos de varredura e imagens para medir pontos dos papéis hidrossensíveis e calcular a distribuição, tamanho, área coberta, dentre outras medidas. Após a pulverização, cada papel hidrossensível deve ser corretamente identificado e digitalizado para posterior processamento da imagem (BAESSO *et al.*, 2014; ANDRADE *et al.*, 2018). Esse recurso fornece um registro das gotas aplicadas por meio de manchas formadas no papel, que é um método alternativo e econômico para pesquisas de qualidade de aplicação (BAESSO *et al.*, 2014).

Os papéis hidrossensíveis podem ser analisados visualmente com o auxílio de uma lupa ou com o auxílio de software baseados em análise de imagens que calculam automaticamente os dados da pulverização (GARCIA; RAMOS; JUSTINO, 2004). Esses softwares, são sistemas computacionais de análise de imagens que caracterizam e quantificam a deposição de gotas, com maior precisão e rapidez no processo de análise (CUNHA; FARNESE; OLIVET, 2013; FERGUSON *et al.*, 2016). São exemplos, o software Gotas (EMBRAPA, 2000), DepositScan (ZHU; SALYANI; FOX, 2011), dentre outros softwares que podem ser configurados para análise dos papéis hidrossensíveis, onde a avaliação da qualidade da pulverização aérea, é adquirida por meio de diferentes resoluções.

Para que a leitura das análises de deposição sejam efetivas demonstrando a real qualidade das aplicações, a resolução de *pixels* utilizada para o escaneamento deve ser alta,

para que não ocorra erro de leitura da deposição, quantificando corretamente os dados (ZHU; SALYANI; FOX, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – PR, localizada no Sudoeste Paranaense, no ano de 2022. Para a realização das avaliações, montou-se um experimento, onde foram realizadas aplicações de uma pulverização composta por água + Aureo (Éster metílico de óleo de soja – 720 g/L^{-1} – $0,5\% \text{ v/v}$ – 50 ml para 10 L/ha^{-1}), que posteriormente foi aplicada pelo ARP, em papéis hidrossensíveis distribuídos ao solo, para avaliar a faixa útil e qualidade da pulverização.

Foi utilizado uma ARP pulverizadora modelo DJI AGRAS MG-1S (Figura 1), equipado com tanque de calda de 10 L e com 4 pontas de pulverização, onde foi utilizada a ponta de pulverização da marca Teejet de jato plano (XR11015) (TECHNOLOGIES, 2022).

Figura 1 – Visão geral do equipamento DJI AGRAS MG-1S



Fonte: A autoria própria (2022).

A Aeronave Remotamente Pilotada ARP utilizada no experimento é um octocóptero pulverizador (oito rotores), projetado com a finalidade de aplicação de defensivos/fertilizantes agrícolas. Possui sistema de pulverização de ajuste automático, onde todos os seus comandos são ajustados, ocorrendo assim a aplicação de forma uniforme em toda a lavoura selecionada (DJI LTD., 2016). O modelo DJI Agras MG-1S, possui estrutura toda em fibra de carbono, suas pontas de pulverização podem ser trocadas de acordo com a necessidade, seu tanque reservatório está localizado abaixo da estrutura e rotores, com uma capacidade de até 10 litros, e sua bateria conta com uma autonomia de até 24 minutos de voo, pesando cerca de 4 kg (DJI LTD., 2016).

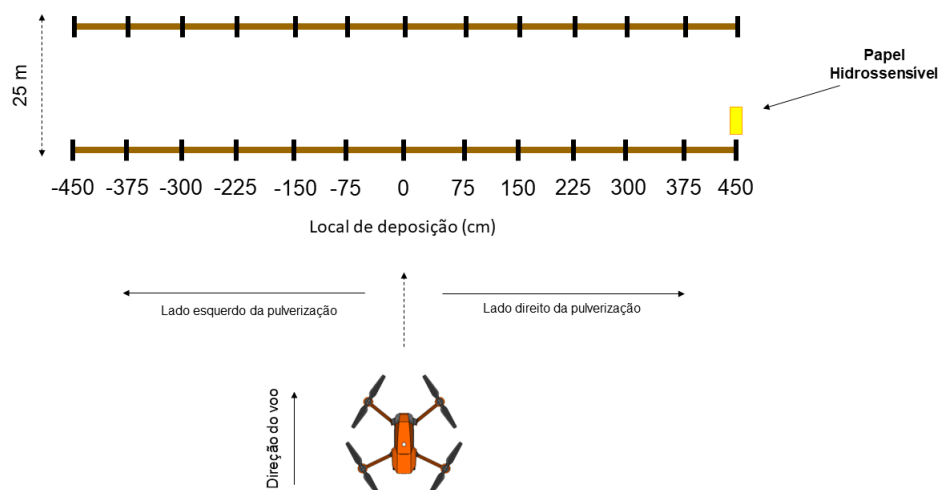
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (2×3), duas alturas de voos ($2,0$ e $3,0 \text{ m}$) e três resoluções de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300 , 600 e $1200 \text{ dots per inch (dpi)}$), com duas repetições. A ARP operou com velocidade média de $12,5 \text{ km.h}^{-1}$ ($3,47 \text{ m.s}^{-1}$), vazão média de líquido de $0,650 \text{ L.min}^{-1}$, com uma pressão de trabalho de $3,65 \text{ bar}$. A ARP trabalhou de forma automática, de acordo com os parâmetros desejados (volume de calda, tipo de ponta de pulverização e alturas

de voo). Durante o experimento, foi isolado e monitorado o tráfego de pessoas e veículos em um raio lateral de no mínimo 100 m do local.

Os papéis hidrossensíveis utilizados foram da marca Syngenta (SYN7626), medindo 26 x 76 *mm*. A quantidade e a qualidade da aplicação foram analisadas através da deposição das gotas em papéis hidrossensíveis, fixados em uma cartolina branca medindo 50 x 100 *mm*, sendo está fixada na horizontal sobre uma régua de madeira posicionada ao solo.

As pulverizações foram realizadas tomando como ponto de referência de voo, a posição central da faixa de avaliação (0,0) estando está centralizada, onde o sinal negativo significa papéis hidrossensíveis do lado esquerdo e positivo para os papéis posicionadas ao lado direito, respectivamente, levando em consideração o sentido do voo. Os papéis hidrossensíveis foram devidamente espaçados entre si em 0,75 *m* (-450; -375; -300; -225; -150; -75; 0,0; +75; +150; +225; +300; +375; +450 *m*), totalizando uma faixa de avaliação de 9,0 *m* (Figura 2).

Figura 2 – Croqui (visão geral do experimento)



13 por linha x 2 linhas: 26 Papéis Hidrossensíveis
2 alturas = 52 PH * 3 resolução (300, 600 e 1200 dpi)

Fonte: Autoria própria (2022).

Em cada distância dentro da faixa de avaliação, foi colocado um papel hidrossensível, totalizando 13 papéis hidrossensíveis para cada avaliação de altura de voo e repetição. Após as pulverizações, os papéis hidrossensíveis já previamente identificados foram levados ao laboratório para avaliação. Após, as folhas contendo os cartões de papel hidrossensível foram embaladas em filme plástico de transparente e armazenadas em local seco, a fim de preservá-las da contaminação pela umidade do ar. Em seguida, os papéis hidrossensíveis foram digitalizados em uma impressora/scanner de alta resolução (HP Deskjet Ink Advantage 2675), em três diferentes resoluções de escaneamento (300, 600 e 1200 dpi).

Posteriormente, as imagens foram analisadas por meio do programa computacional DepositScan, específico para a análise de espectro de gotas e análise de deposição da calda em papéis hidrossensíveis. Esse software permite a análise da distribuição da população de gotas no processo de pulverização para determinar a qualidade da deposição da pulverização de defensivos agrícolas em alvos de pulverização, analisando rapidamente as distribuições de depósitos de pulverização em coletores, como papéis sensíveis à água (ZHU; SALYANI; FOX, 2011). O software DepositScan permite a análise da distribuição da população de gotas no processo de pulverização para dar suporte à avaliação quantitativa, qualitativa e espacial da tecnologia de aplicação (ZHU; SALYANI; FOX, 2011).

O espectro de gotas pulverizadas foi avaliado por meio do $DV_{0,1}$ = diâmetro da gota, para o qual 10% do volume pulverizado apresenta gotas de diâmetro inferior a ele (μm), $DV_{0,5}$ = diâmetro da gota, para o qual 50% do volume pulverizado apresenta gotas de diâmetro inferior a ele (μm), $DV_{0,9}$ = diâmetro da gota, para o qual 90% do volume pulverizado apresenta gotas de diâmetro inferior a ele (μm), densidade de gotas (gotas por cm^2), deposição da calda pulverizada ($\mu L.cm^{-2}$) e porcentagem de cobertura dos papéis hidrossensíveis (%) (FERREIRA; MACHADO, 2007; ZHU; SALYANI; FOX, 2011; QUIRINO *et al.*, 2013; BAESSO *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2020).

Utilizando o equipamento termo-higro-anemômetro digital foram monitoradas as condições meteorológicas durante os testes, sendo elas respectivamente, temperatura do ar (24,8–25,1 °C), umidade do ar (55,4–56,3%) e velocidade do vento (1,9–2,5 $m.s^{-1}$).

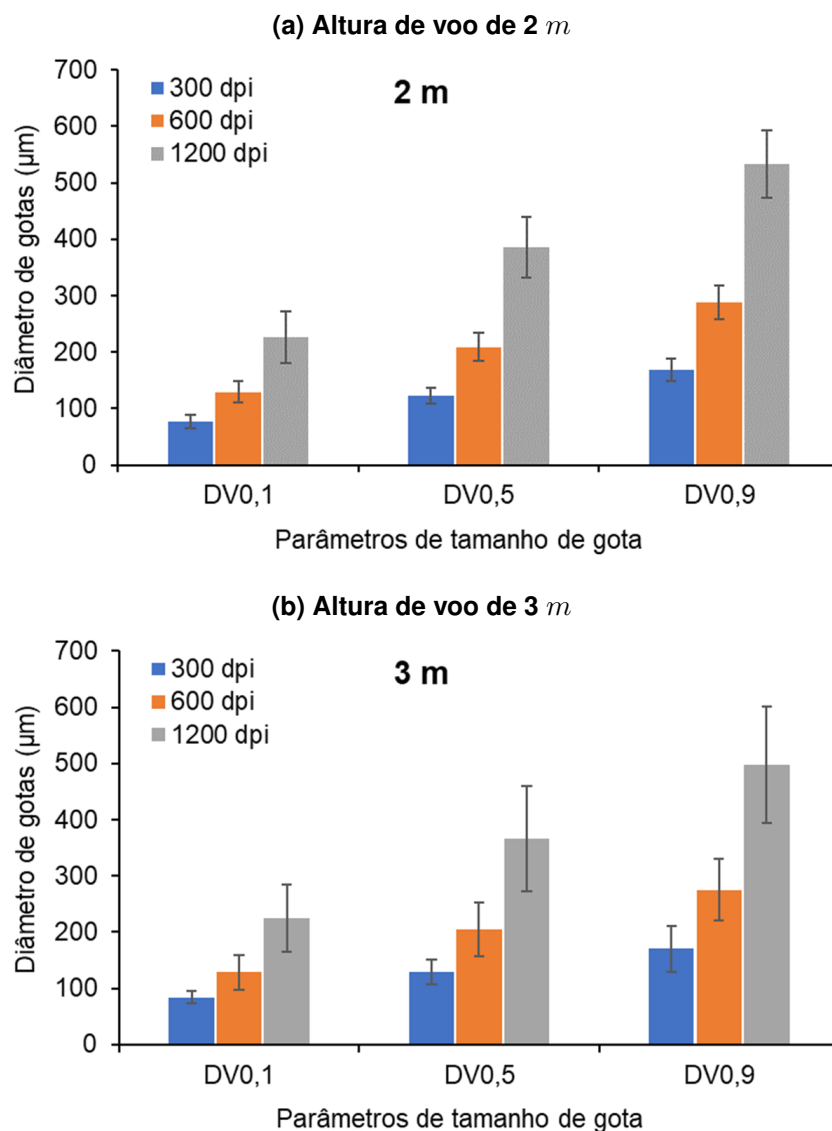
Os dados foram submetidos a uma análise exploratória, através de uma estatística descritiva e os resultados são apresentados em forma de gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Distribuição volumétrica

Na Figura 3, está apresentada a distribuição volumétrica por classe de tamanho de gotas das duas alturas de voo avaliadas pelo ARP pulverizador (2 e 3 m), de acordo com as três resoluções de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi).

Figura 3 – Distribuição volumétrica por classe de tamanho de gotas observadas e desvio padrão em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)



Fonte: Autoria própria (2022).

O $DV_{0,1}$, $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$ foram maiores quando se escaneou os papéis hidrossensíveis na resolução de 1200 dpi, em comparação com as resoluções de 300 e 600 dpi, com valores de 225,92, 288,23 e 532,23 μm para altura de 2 m (Figura 3a) e 224,31 μm , 274,85 e 497,31

μm para a altura de 3 m (Figura 3b), respectivamente, enquanto que a resolução de 300 dpi, proporcionou os menores valores, subestimando os valores de DMV.

Para ambas as alturas de voo, o diâmetro médio volumétrico (DMV) foi de aproximadamente 200 μm na resolução de 600 dpi, valor este dentro do intervalo de classificação de gotas finas (106 a 235 μm) (ASABE, 2009), que é fornecida pela ponta XR110015 utilizada no ensaio.

Em relação a distribuição volumétrica por classe de tamanho de gotas, houve a tendência de gotas maiores serem depositadas nas etiquetas centrais, reduzindo-se o valor deste parâmetro nas extremidades da faixa avaliada. Segundo Richardson, Rolando e Kimberley (2020), a pulverização com RPAs tem sido realizada com amplo espectro de gotas, desde as mais finas até grossas, levando em consideração as condições meteorológicas e fluxo do colchão de ar promovido pelas pás dos rotores. Entretanto, é necessário compreender a relação existente entre a cobertura do alvo e os fatores de interferência.

A escolha da ponta XR110015 para execução do trabalho deu-se por apresentar classe de tamanho de gotas finas a muito finas, que de acordo com o fabricante, para compensar a taxa de aplicação reduzida. Zhang *et al.* (2020), mencionaram em seu trabalho que os tamanhos de gotas entre 50 a 300 μm , como sendo os tamanhos ideais, pois gotas menores estão muito sujeitas à deriva e gotas maiores têm dificuldade de penetração no dossel da cultura.

4.2 Deposição de calda

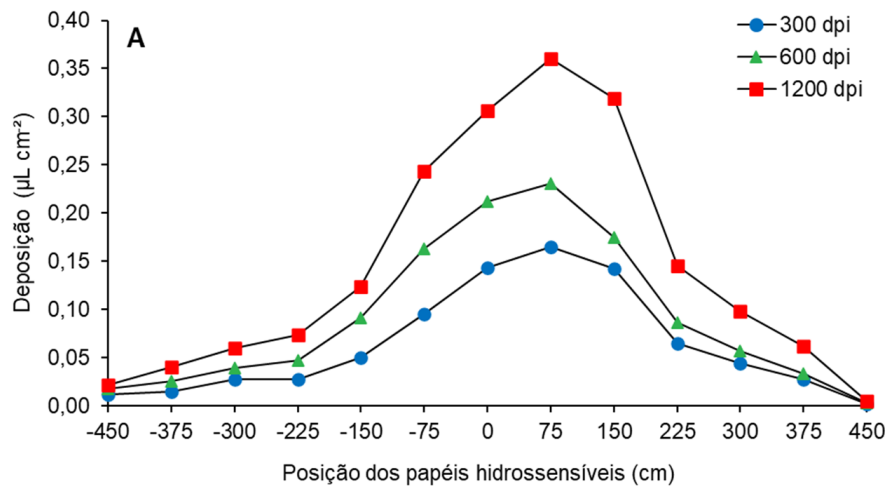
Avaliando o efeito da deposição de calda em função de diferentes resoluções de escaneamento dos papéis hidrossensíveis, observou-se o incremento da deposição com o aumento da resolução de escaneamento avaliada para as duas alturas de voo (Figura 4). Nota-se que a área central recebeu maior quantidade de deposição da calda pulverizada, decrescendo para as laterais, conforme se distancia do centro, ficando as extremidades com menor deposição de calda pulverizada (entre 0,00 a 0,36 $\mu L.cm^{-2}$). Desta maneira, nota-se que a melhor deposição média de gotas ocorreu no intervalo dos pontos -150 e 225 cm, respectivamente, para as três resoluções estudadas. Além disso, a deposição de maior quantidade de gotas se encontra na camada central, com concentração de calda sendo aplicada para o lado direito em relação ao sentido de voo.

A deposição de calda pulverizada foi maior na resolução de 1200 dpi em relação as resoluções de 300 e 600 dpi nas duas alturas de voo (2 e 3 m). A resolução de 600 dpi, é bastante utilizada em trabalhos de deposição de gotas em papéis hidrossensíveis e que condiz com os valores reais de densidade de gotas. Taxas de resolução de escaneamento muito altas, geralmente tendem a introduzir artefatos indesejados (MARÇAL; CUNHA, 2008), como observado neste estudo.

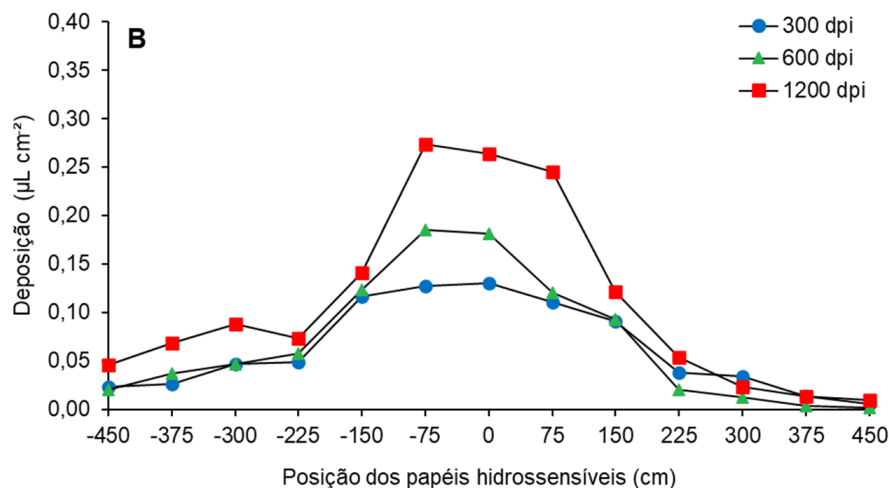
A distribuição da calda de pulverização na altura de voo de 2 m (Figura 4A) foi mais uniforme do que quando pulverizada na altura de 3 m (Figura 4B) sob o mesmo volume de pulverização. Xue *et al.* (2014) e Lou *et al.* (2018) também constataram que a distribuição das

Figura 4 – Deposição da calda pulverizada ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)

(a) Altura de voo de 2 m



(b) Altura de voo de 3 m



Fonte: Autoria própria (2022).

gotas foi afetada pela altura de voo, com maiores quantidades de gotas se afastando do centro quando o ARP pulverizador faz a aplicação em uma altura relativamente maior.

Analisando a faixa total de deposição promovida pela pulverização do RPA, verificou-se que na menor altura de voo a calda concentrou-se na parte mais central, enquanto que na maior altura, ocorreu aumento da largura da faixa. A faixa efetiva de deposição de calda é aquela dentro da faixa de deposição total, onde os níveis de depósitos satisfazem às necessidades requeridas (CARVALHO; CUNHA, 2019).

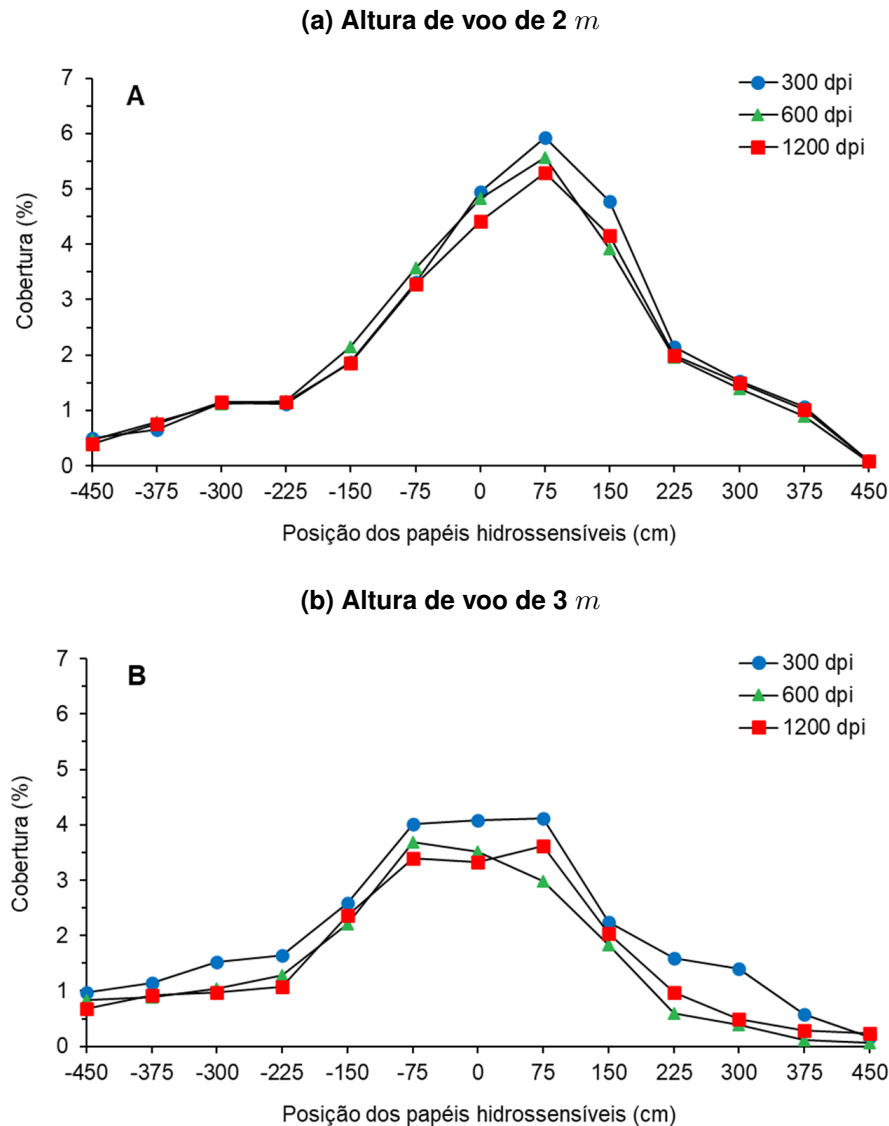
Liu *et al.* (2020) ao estudarem a deposição da calda pulverizada e a perda de gotas em pomares de maçã durante a aplicação com RPA, verificaram que a aplicação reduziu em cinco vezes as perdas de calda para o solo em relação ao pulverizador convencional de pomar de jatos de ar.

4.3 Porcentagem de Cobertura

Na Figura 5, está apresentada a porcentagem de cobertura proporcionada pelas duas alturas de voo (2 e 3 m), de acordo com as três resoluções de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi). Independente da resolução utilizada, nota-se comportamento semelhante na porcentagem de cobertura para cada altura de voo.

A melhor faixa cobertura para a altura de voo de 2 m ocorreu no intervalo dos pontos -150 e 150 cm (largura de 3,0 m), com valor máximo de cobertura de 5,93% (Figura 5a), enquanto que para a altura de voo de 3 m, a melhor faixa de cobertura foi de -225 a 225 cm (largura de 4,5 m), no entanto, tem-se redução da porcentagem de cobertura de 36,5% em relação à altura de voo de 2 m (Figura 5b).

Figura 5 – Porcentagem de cobertura em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)



Fonte: Autoria própria (2022).

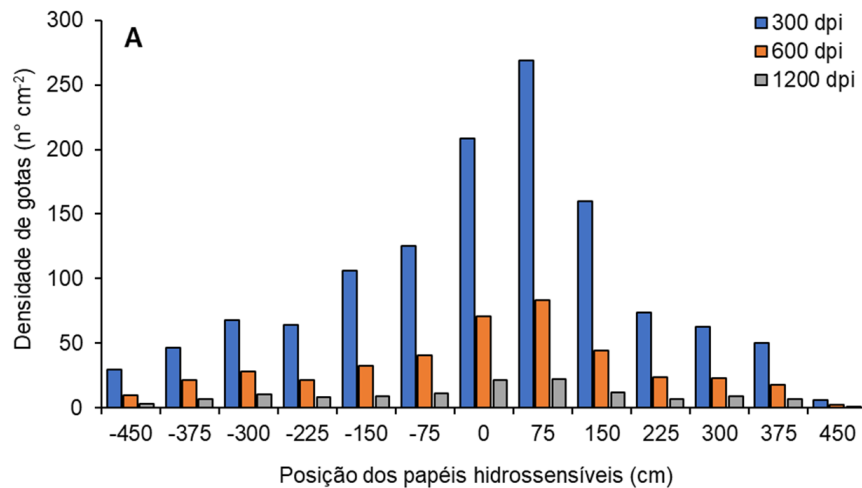
A porcentagem de cobertura das gotas em pulverizações é um parâmetro muito importante para avaliar a qualidade da aplicação. Chen *et al.* (2021) em aplicações com um veículo aéreo não tripulado, observaram que a porcentagem de cobertura aumentou com o aumento do volume de calda.

4.4 Densidade de Gotas

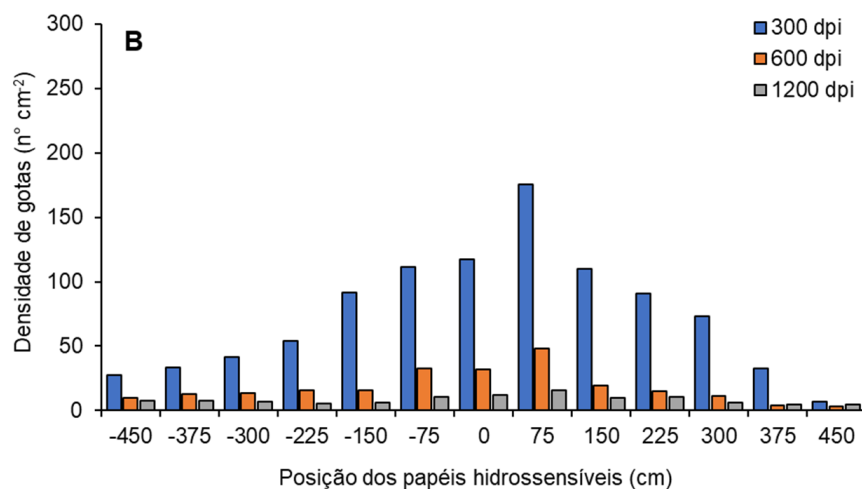
O tamanho de gotas na pulverização de agrotóxicos é um dos parâmetros mais importantes a ser avaliado, uma vez que determina o potencial risco de deriva, potencial risco de perdas por escorrimento, porcentagem de cobertura do alvo e a densidade de gotas (Figura 6).

Figura 6 – Densidade de gotas (n° gotas cm^{-2}) em função da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis (300, 600 e 1200 dpi)

(a) Altura de voo de 2 m



(b) Altura de voo de 3 m



Fonte: Autoria própria (2022).

Independente da altura de voo, a resolução de 300 dpi fornece uma maior densidade de gotas, enquanto que a maior resolução (1200 dpi) uma menor densidade. Isso ocorre devido que se pode ter uma mesma imagem, com os mesmos elementos e as mesmas dimensões de altura e largura, porém com resoluções de, por exemplo, 200 e 300 dpi, respectivamente, deste modo, a diferença entre elas, então, está na densidade de pontos por polegadas. Assim, quanto mais pontos (maior densidade), melhor será a imagem, com mais nitidez e qualidade. Uma hipótese seria que devido está diferença na densidade de pontos por polegadas, nas resoluções de 300 e 1200 dpi, o software superestimou e subestimou, respectivamente, os valores de densidade de gotas encontradas, não condizendo com a realidade de gotas encontradas na resolução de 600 dpi, resolução está bastante utilizada em trabalhos de deposição de gotas em papéis hidrossensíveis e que condiz com os valores reais de densidade de gotas (MARÇAL; CUNHA, 2008).

A resolução de 600 dpi parece ser a escolha mais adequada, pois os perfis de manchas geradas nos papéis hidrossensíveis pelas gotas são muito próximos das reais realizadas por contagem, com carga computacional exigida menor utilizadas em resoluções maiores (MARÇAL; CUNHA, 2008). Como as operações de processamento de imagens são computacionalmente pesadas, a resolução de digitalização de 600 dpi foi considerada a melhor escolha, de acordo com fatores como a precisão e velocidade de processamento (MARÇAL; CUNHA, 2008).

A densidade de gotas (gotas cm^{-2}) é um indicador que fornece informações de quantas gotas atingiram uma área de um centímetro quadrado, sendo parâmetro internacionalmente indicado para a calibração da deposição. De acordo com a ANDEF (2010), o parâmetro de densidade de gotas recomendado para herbicidas pré-emergente e inseticidas, deve ser de 20 a 30 gotas cm^{-2} . Nas pulverizações, a densidade de gotas a serem depositadas no alvo, depende do produto a ser aplicado e ao alvo a ser atingido.

Quando se deseja alterar a densidade de gotas, deve-se ajustar o espectro de gotas e o volume de pulverização. Para um determinado volume de pulverização, Vieira *et al.* (2019) relatam que o aumento do DMV está inversamente relacionado com o aumento da densidade de gotas no alvo. Nas condições avaliadas, observou-se que a densidade de gotas variou entre 0,9 e 20,9 gotas cm^{-2} . Houve variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo. Andrade *et al.* (2018) avaliaram a aplicação de agrotóxicos por meio de RPA e também constataram variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo e tipo de ponta hidráulica.

5 CONCLUSÃO

Os melhores resultados foram obtidos com a resolução de 600 dpi. A resolução de 300 dpi subestima os parâmetros DMV e deposição de calda, enquanto que a resolução de 1200 dpi superestima esses parâmetros. Para a densidade de gotas, ocorre o inverso, a resolução de 300 dpi superestima e a de 1200 dpi a subestima.

A altura de voo de 3,0 *m* proporciona maior faixa de aplicação, mas reduz a porcentagem de cobertura do alvo.

A altura de voo não interfere no DMV.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A. *et al.* Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: a pursuit of sustainability. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 7, 2020. ISSN 2073-4395. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/7>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- ANAC, A. N. d. A. C. **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- ANDEF, A. N. D. D. V. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. p. 52, 2010. Disponível em: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdfvVaw0p9LHblpx0ZUS0LfrVe6jP>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- ANDRADE, J. M. d. A. *et al.* Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Ingeniería y Región**, v. 20, p. 72–77, 2018. ISSN 2216-1325, 1657-6985. Disponível em: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1912>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- ASABE, A. S. o. A. a. B. E. Spray nozzle classification by droplet spectra. **ASAE/ASABE S572.1**, 2009.
- ASSAIANTE, B. A. d. S.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de veículos aéreos não tripulados (vant) na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 444–455, 2020. ISSN 2447-0864, 1807-3980. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/804>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- AZEVEDO, F. R. d.; FREIRE, F. d. C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. n. 1, p. 48, 2006. ISSN 1677-1915. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426350/1/Dc102.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- BAESSO, M. M. *et al.* Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 780–785, 2014. ISSN 0034-737X. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700003&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 06 nov. 2022.
- BRANDÃO, J. U. T. F. *et al.* (Ed.). **Hortaliças-fruto**. EDUEM, 2018. ISBN 9786586383010. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/bv3jx>. Acesso em: 17 maio 2022.
- CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. d. Estudo das faixas de deposição nas aplicações aéreas. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Ed.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. [S.l.]: Passo Fundo, RS, 2019. (2), p. 213–222. ISBN 978-85-89725-08-8.
- CHEN, P. *et al.* Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113324, 2021. ISSN 09266690. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669021000881>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- CUNHA, J.; FARNESE, A.; OLIVET, J. Computer programs for analysis of droplets sprayed on water sensitive papers. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 715–720, 2013. ISSN 0100-8358. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582013000300023&lng=en&tlng=en. Acesso em: 06 nov. 2022.

CUNHA, J. *et al.* Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 325–332, 2003. ISSN 0100-8358. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582003000200019&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 06 nov. 2022.

CUNHA, J. P. A. R. d. *et al.* Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 2, p. 245–254, 2021. ISSN 1809-4430, 0100-6916. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162021000200245&tlng=en. Acesso em: 06 nov. 2022.

CUNHA, J. P. A. R. d. *et al.* Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 3, p. 493–501, 2017. ISSN 0100-6916. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162017000300493&lng=en&tlng=en. Acesso em: 08 nov. 2022.

DECEA, D. d. c. d. e. a. **Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>. Acesso em: 10 abr. 2022.

DJI LTD., D. T. C. **AGRAS MG-1S user manual**. 2016. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/mg1/en/MG1_User_Manual_en_v1.2.pdf. Acesso em: 06 maio 2022.

EINSTEIN, A. “**A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo**”. 2022. Disponível em: <https://salesedson.wordpress.com/2014/07/26/a-menos-que-modifiquemos-nossa-maneira-de-pensar-nao-seremos-capazes-de-resolver-os-problemas-c/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

EMBRAPA, E. B. d. P. A. **Programa de calibração de pulverização - Gotas - portal embrapa**. 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1421/gotas---programa-de-calibracao-de-pulverizacao---gotas>. Acesso em: 19 nov. 2022.

EMBRAPA, E. B. d. P. A. **Sistemas de produção embrapa**. 2015. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_996514994_topicId=1309. Acesso em: 06 nov. 2022.

EMBRAPA, E. B. d. P. A. **Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>. Acesso em: 06 nov. 2022.

FERGUSON, J. C. *et al.* Assessing a novel smartphone application – SnapCard, compared to five imaging systems to quantify droplet deposition on artificial collectors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 128, p. 193–198, 2016. ISSN 01681699. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816991630182X>. Acesso em: 06 nov. 2022.

FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; MACHADO, A. F. L. Tecnologia de aplicação de herbicidas. **Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, p. 326–367, 2007.

FORNARI, M. *et al.* Drones pulverizadores: uma nova tecnologia a favor da agricultura. v. 178, p. 35–39, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347931145_Drones_pulverizadores_uma_nova_tecnologia_a_favor_da_agricultura. Acesso em: 06 nov. 2022.

FORNARI, M. *et al.* Veículos aéreos não tripulados (VANT) sobre o campo. v. 177, n. 1, p. 35–40, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344689431_Veiculos_Aereos_Nao_Tripulados_VANT_sobre_o_campo?enrichId=rgreq-991a56866c23f742cd19794ddabfe117-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzM0NDY4OTQzMTtBUzo5NDcyMzE0NTY3NzIxMDBAMTYwMjg0ODk4Njg5Nw%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

GARCIA, L. C.; RAMOS, H. H.; JUSTINO, A. Avaliação de softwares para análise de parâmetros da pulverização realizada sobre papéis hidrossensíveis. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 2, n. 1, p. 19–28, 2004.

GUO, S. *et al.* Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multi-rotor UAV. **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, 2019. ISSN 1932-6203. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0220024>. Acesso em: 06 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. ISSN 1943-7838. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=20026&CID=aeaj2005&v=21&i=6&T=1>. Acesso em: 06 nov. 2022.

HUSSAIN, S. *et al.* Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agro-chemical applications. p. 897–903, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Saddam-Hussain-5/publication/333175825_Spray_uniformity_testing_of_unmanned_aerial_spraying_system_for_precise_agro-chemical_applications/links/5e5c0feb4585152ce8ff15a4/Spray-uniformity-testing-of-unmanned-aerial-spraying-system-for-precise-agro-chemical-applications.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

LEE, C.; KIM, S.; CHU, B. A survey: flight mechanism and mechanical structure of the UAV. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 22, n. 4, p. 719–743, 2021. ISSN 2234-7593, 2005-4602. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12541-021-00489-y>. Acesso em: 06 nov. 2022.

LIU, Y. *et al.* Assessment of spray deposition and losses in an apple orchard with an unmanned agricultural aircraft system in china. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 3, p. 619–627, 2020. ISSN 2151-0040. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?AID=51603&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=>. Acesso em: 06 nov. 2022.

LOU, Z. *et al.* Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. **Agronomy**, v. 8, n. 9, p. 187, 2018. ISSN 2073-4395. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/187>. Acesso em: 06 nov. 2022.

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. v. 3, n. 4, p. 83, 2019. ISSN 2504-446X. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-446X/3/4/83>. Acesso em: 06 nov. 2022.

MARÇAL, A. R. S.; CUNHA, M. Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 3, p. 811–821, 2008. ISSN 2151-0040. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=24519&CID=t2008&v=51&i=3&T=1>. Acesso em: 06 nov. 2022.

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

NETO, J. O. S.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. d. Aeronave remotamente pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021. ISSN 2525-3409. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20573>. Acesso em: 06 nov. 2022.

OLIVEIRA, A. J. d. *et al.* Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140–64149, 2020. ISSN 25258761, 25258761. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/15976/13095>. Acesso em: 06 nov. 2022.

OLIVEIRA, C. M. d.; SABATO, E. d. O.; OLIVEIRA, C. E. D. O. S. C. M. D. **Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. ISBN 978-85-7035-638-3. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1069468>. Acesso em: 06 nov. 2022.

QUIRINO, A. L. d. S. *et al.* Parâmetros da pulverização de defensivos agrícolas visando a redução da contaminação ambiental e do aplicador. *Revista Agrarian*, 2013. ISSN 19842538. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/24135>. Acesso em: 06 nov. 2022.

RIBATSKI, E. d. O.; SANTOS, F. S. d.; NETO, F. N. Review of uses of RPAs in the agricultural scenario. **Brazilian Journal of Technology**, v. 1, n. 2, p. 313–333, 2018. ISSN 2595-5748. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/view/1146>. Acesso em: 06 nov. 2022.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. 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. ISSN 2151-0040. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?AID=51706&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=>. Acesso em: 06 nov. 2022.

SCHNEIDER, J. L. *et al.* Cobertura de gotas de pulverização obtida com diferentes pontas e taxas de aplicação na parte aérea da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 797–802, 2013. ISSN 0103-8478. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000500007&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 06 nov. 2022.

SILVA, M. F. d. O. e.; COSTA, L. M. d. A indústria de defensivos agrícolas. *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*, v. 35, p. 233–276, 2012. ISSN 1414-9230. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1513>. Acesso em: 06 nov. 2022.

SUNDARAM, M.; MCGUIRE, M.; SCHAJOWICZ, F. Soft-tissue masses: histologic basis for decreased signal (short T2) on T2-weighted MR images. **American Journal of Roentgenology**, v. 148, n. 6, p. 1247–1250, 1987. ISSN 0361-803X, 1546-3141. Disponível em: <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/ajr.148.6.1247>. Acesso em: 06 nov. 2022.

TECHNOLOGIES, T. **Catálogo 51A-PT**. 2022. Disponível em: <https://www.teejet.com/pt-br/-/media/dam/agricultural/brazil/sales-material/catalog/cat51a-pt.pdf>. Acesso em: 05 maio 2022.

THÉRIAULT, R.; SALYANI, M.; PANNETON, B. Spray distribution and recovery in citrus application with a recycling sprayer. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 5, 2001. ISSN 2151-0059. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=6430&CID=t2001&v=44&i=5&T=1>. Acesso em: 06 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. ISSN 2359-6562, 1808-8759. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/3668>. Acesso em: 06 nov. 2022.

WANG, G. *et al.* Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of The Total Environment**, v. 737, p. 139793, 2020. ISSN 00489697. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720333131>. Acesso em: 06 nov. 2022.

WOLF, R. E. Assessing the ability of dropletscan to analyze spray droplets from a ground operated sprayer. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 19, n. 5, 2003. ISSN 1943-7838. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=15310&CID=aeaj2003&v=19&i=5&T=1>. Acesso em: 06 nov. 2022.

XUE, X. *et al.* Effects of spraying parameters of unmanned aerial vehicle on droplets deposition distribution of maize canopies. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 30, n. 5, p. 50–56, 2014.

ZHANG, X.-Q. *et al.* Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 4, p. 583–588, 2020. ISSN 0972-1525, 0974-0740. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12355-019-00792-z>. Acesso em: 06 nov. 2022.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 38–43, 2011. ISSN 01681699. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169911000056>. Acesso em: 06 nov. 2022.