

ADEVAIR BATAIEL SALATTA JUNIOR

ACURÁCIA E PRECISÃO DE CALIBRAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO COM DRONES

Botucatu

2023

ADEVAIR BATAIEL SALATTA JUNIOR

ACURÁCIA E PRECISÃO DE CALIBRAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO COM DRONES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador (a): Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Botucatu

2023

S161a Salatta Junior, Adevair Bataiel
Acurácia e precisão de calibração na pulverização com
drones / Adevair Bataiel Salatta Junior. -- Botucatu, 2023
51 p.

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

1. Título. 2. Modelos de drone. 3. Pulverização aérea. 4.
Processo de calibração. 5. Taxa de aplicação. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ACURÁCIA E PRECISÃO DE CALIBRAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO COM DRONES

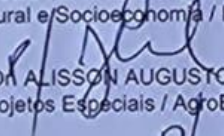
AUTOR: ADEVAIR BATAIEL SALATTA JUNIOR

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

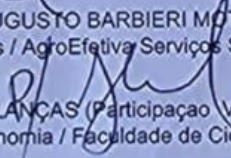
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu UNESP



Pesquisador Dr. ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA (Participação Virtual)
Pesquisa e Projetos Especiais / AgroEfetiva Serviços SS Ltda.



Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 31 de julho de 2023

Ó Deus,

aos meus pais,

aos meus irmãos e

à toda minha família e amigos;

Pela ajuda, compreensão, e a todos os momentos

vividos juntos,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado. Aos meus pais e irmãos, sem eles não seria possível chegar até aqui, vocês me tornaram a pessoa que sou hoje, onde modelaram meu caráter e me ensinaram os princípios de uma família.

Ao Professor Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, pela orientação, ensinamentos, paciência, e apoio durante todo o período da minha pós-graduação, sendo exemplo de pessoa e de orientador.

Aos membros da banca Prof. Dr. Paulo Arbex e Dr. Alisson A. Mota pela participação, comprometimento em minha dissertação, e pelas sugestões apresentadas para melhoria dessa pesquisa.

À equipe da AgroEfetiva (Dr. Alisson A. Mota, Dr. Rodolfo G. Chechetto, Dr. Fernando K. Carvalho), pela amizade e confiança, pelos ensinamentos, pelo auxílio durante essa trajetória, sendo exemplos de profissionais, sem eles não estaria onde estou hoje.

À minha equipe de trabalho (Michael A., Andreia P., Matheus L., Laryssa B., Danielle, Gustavo R., Dante, Vitor C.) pela ajuda no desenvolvimento do meu trabalho, e a todos os outros amigos que contribuiu de forma direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho, e pela amizade que se fortaleceu durante esse período.

Às pessoas incríveis que em um espaço curto de tempo nos tornamos grandes amigos (Westefann S., Eduardo A., Andreia P., Michael A., Gustavo R., Vitor C., Matheus L., Danielle, Laryssa B.)

À minha namorada que sempre me motivou e auxiliou durante a elaboração desta dissertação.

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

RESUMO

Os drones são utilizados na agricultura para a realização de diversas atividades e estão cada vez mais inseridos no contexto de aplicação de defensivos. A pulverização com drones ajuda a otimizar recursos, permitindo a pulverização aérea em locais de difícil acesso, onde pulverizadores terrestres e aeronaves agrícolas convencionais teriam dificuldades, tornando-os uma alternativa interessante à pulverização. Porém, é necessário compreender seu desempenho como máquina de pulverização de defensivos, bem como analisar seu desempenho para garantir uma aplicação eficiente e precisa. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi determinar a acurácia e precisão do processo de calibração da taxa de aplicação de diferentes modelos de drone de pulverização. Foram avaliados os seguintes modelos de drone: DJI MG-1P (carga útil de 10 kg, equipado com bicos hidráulicos), ARPAC (carga útil de 10 kg, equipado com bicos rotativos), DJI T-16 (carga útil de 16 kg, equipado com bicos hidráulicos) e XAG P30 (carga útil de 16 kg, equipado com bicos rotativos). Considerando todos os ensaios, um total de 152 parcelas (repetições) foram pulverizadas. Os dados de calibração dessas parcelas foram divididos em 9 cenários de calibração, considerando o modelo do drone, a taxa de aplicação e o tamanho da área pulverizada. A precisão da calibração foi avaliada medindo a quantidade de líquido usado para pulverizar a área (pesando a solução de pulverização para reabastecimento). Os resultados mostraram que os erros de calibração para os diferentes modelos de drone ocorreram de forma variável, atingindo valores acima de 15% em alguns cenários específicos de calibração. Os erros absolutos médios de calibração variaram de 1,9 a 15,5%, com valores superiores a 10% em 2 dos 9 cenários e valores inferiores a 5% em apenas 3 dos 9 cenários. O desvio padrão em cada cenário de calibração foi encontrado num intervalo entre 1,7 e 9,5%, com valores inferiores a 5% em 7 dos 9 cenários. A precisão e a acurácia do algoritmo de controle de fluxo do drone e dos sistemas de posicionamento GPS podem ser elementos causadores dos erros observados.

Palavras-chave: modelos de drone; pulverização aérea; processo de calibração; taxa de aplicação.

ABSTRACT

Drones are used in agriculture to carry out various activities and are increasingly being used in the context of pesticide application. Spraying with drones helps to optimize resources, allowing aerial spraying in hard-to-reach places where ground sprayers and conventional agricultural aircraft would have difficulties, making them an interesting alternative to spraying. However, it is necessary to understand its performance as a pesticide spraying machine, as well as to analyze its performance to ensure efficient and accurate application. The aim of this study was therefore to determine the accuracy and precision of the application rate calibration process for different models of spraying drone. The following drone models were evaluated: DJI MG-1P (10 kg payload, equipped with hydraulic nozzles), ARPAC (10 kg payload, equipped with rotating nozzles), DJI T-16 (16 kg payload, equipped with hydraulic nozzles) and XAG P30 (16 kg payload, equipped with rotating nozzles). Considering all the trials, a total of 152 plots (repetitions) were sprayed. The calibration data from these plots was divided into 9 calibration scenarios, taking into account the drone model, the application rate and the size of the area sprayed. The accuracy of the calibration was assessed by measuring the amount of liquid used to spray the area (weighing the spray solution for refilling). The results showed that the calibration errors for the different drone models occurred variably, reaching values above 15% in some specific calibration scenarios. The average absolute calibration errors ranged from 1.9 to 15.5%, with values above 10% in 2 of the 9 scenarios and values below 5% in only 3 of the 9 scenarios. The standard deviation in each calibration scenario was found to be between 1.7 and 9.5%, with values of less than 5% in 7 of the 9 scenarios. The precision and accuracy of the drone's flow control algorithm and GPS positioning systems may be the cause of the errors observed.

Keywords: drone models; aerial spraying; calibration process; application rate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Tecnologia de aplicação de defensivos.....	17
2.2	Evolução e inovação da agricultura.....	20
2.3	Uso das aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) na agricultura	22
2.4	Volume de calda e cobertura do alvo.....	25
2.5	Calibração	27
2.6	Acurácia e precisão	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.2	Condução dos ensaios.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola está em constante evolução para atender a demanda de produção necessária para alimentar toda a população, se encontrando atualmente na chamada era da Agricultura 4.0, caracterizada pela automação de ferramentas e o uso de tecnologias digitais para aumentar a produtividade. Assim, a aplicação de defensivos e demais insumos está em constante evolução para acompanhar as necessidades encontradas no campo. Dentro das técnicas de aplicação, têm como modalidades a terrestre, podendo ser com o uso de bombas costais, pulverizadores acoplados a tratores e os autopropelidos, e a aplicação aérea com uso de aviões agrícolas, helicópteros e mais recentemente com o uso de drones. Os drones, conhecidos também como Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), têm como benefícios reduzir custos operacionais, otimizar as operações de aplicações, realizar o controle de alvos em áreas declivosas ou aplicações localizadas, minimizar o contato do agricultor com os defensivos agrícolas e obtenção de imagens.

Um fator indispensável no cultivo agrícola é o uso dos defensivos agrícolas, que irá proporcionar a sanidade e a saúde das lavouras, principalmente quando cultivadas em grandes áreas que necessitam de mais mão de obra. O manuseio desses produtos envolve um conjunto de procedimentos e cuidados, respaldados por normas e leis que garantem a segurança do trabalhador, a saúde do consumidor e o equilíbrio ambiental.

A qualidade e eficácia desses defensivos agrícolas no controle de agentes responsáveis por danos a culturas está associado a múltiplos fatores, como a modalidade de aplicação (terrestre ou aérea), escolha do equipamento e seu estado de funcionamento, escolha da ponta de pulverização, tamanho de gotas, condições meteorológicas, entre outros fatores. Dessa forma, a calibração desses equipamentos é um procedimento indispensável que irá mensurar a quantidade correta de defensivo agrícola que será pulverizado nas lavouras, reduzindo perdas decorrentes durante as operações e consequências ambientais indesejáveis.

Atualmente, para a pulverização terrestre e aérea, existem metodologias pré-estabelecidas para aferição desses equipamentos, diferente da aplicação realizada com drones, cujo procedimento de calibração depende do algoritmo interno de cada modelo.

Estudos que proporcionem informações detalhadas sobre essa tecnologia são fundamentais, incluindo a determinação da acurácia e da precisão do sistema de calibração desses equipamentos, sendo essa informação essencial para realizar aplicações e obter sucesso em sua finalidade.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi determinar a acurácia e precisão do processo de calibração da taxa de aplicação de diferentes modelos de drone de pulverização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tecnologia de aplicação de defensivos

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas se refere ao emprego de todo o conhecimento científico para o aumento da segurança e qualidade no controle de um alvo, seja ele uma praga, doença ou planta daninha em lavouras, distribuindo e direcionando por meio da aplicação em doses corretas os produtos fitossanitários, sem haver desperdícios, contaminação ambiental e risco de deriva (Antuniassi *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2017), transformando assim a atividade agrícola viável financeiramente (Raetano, 2019).

A pulverização apresenta diversos princípios que podem influenciar na qualidade da aplicação, como pressão de trabalho, mudanças das características físico-químicas das caldas, formulações dos agrotóxicos e adjuvantes, pontas de pulverização, equipamento e sua calibração. O entendimento desses fatores é essencial para alcançar o sucesso na aplicação (Chechetto; Antuniassi, 2012).

Para a tomada de decisão relacionada à utilização das técnicas de aplicação, deve-se definir previamente o alvo biológico a ser controlado, analisando a necessidade de modificações das mesmas, como, por exemplo, modificar o volume de calda para promover uma cobertura ideal (Antuniassi, 2005). De acordo com Cunha e Silva Junior (2010), que compararam as taxas de aplicação de 130 L ha⁻¹ e 200 L ha⁻¹, observaram que a aplicação com 200 L ha⁻¹ proporcionou melhor eficiência no controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do sorgo forrageiro. Além dos alvos, os produtos utilizados para o seu controle também influenciam nas características de aplicação, em que os produtos classificados como sistêmicos, que são absorvidos e translocados pelas plantas, possibilitam utilização de gotas maiores quando comparados aos produtos de contato, aqueles que a ação exerce seu efeito somente em contato direto com o local da sua deposição (Antuniassi, 2005).

No processo de formação das gotas na pulverização, elas podem apresentar dimensões distintas, resultando em um espectro de gotas. Esse fator pode ser estipulado por meio de análise de imagens ou métodos de difração a laser. Em razão dessas medidas serem realizadas de forma indireta, a classificação do tamanho das gotas é realizada por meio de normas, como ANSI/ASABE S572.3, a qual usa pontas de pulverização denominadas “pontas de referência” (Antuniassi *et al.*, 2017;

ANSI/ASABE, 2020). Por meio deste critério, as gotas são classificadas como: extremamente finas, muito finas, finas, médias, grossas, muito grossas, extremamente grossas e ultra grossas (Antuniassi *et al.*, 2017; ANSI/ASABE, 2020).

De acordo com Christofolletti (2001), para obter boa cobertura, o diâmetro de gotas gerados pela ponta de pulverização deve ser distribuído de modo similar no alvo, sem causar perda por deriva ou escorrimento. Assim, além de ter o conhecimento do espectro de gotas, o entendimento do alvo e a distribuição no sistema é extremamente importante, consequentemente o conhecimento dos modos de ação dos produtos utilizados e respectivamente suas classes.

Com isso, o processo de pulverização é o recurso mais utilizado para aplicações de defensivos agrícolas. Além do tipo de mecanismo de aplicação, fatores como regulação e calibração dos pulverizadores, seja ela terrestre ou aéreo, devem ser considerados essenciais para garantir que a calda seja distribuída de forma precisa na lavoura (Stefanelo *et al.*, 2014). Nesse cenário, os RPA's (Aeronave Remotamente Pilotadas), conhecidos popularmente como drones, têm se mostrado uma grande ferramenta com capacidade de expandir as perspectivas da agricultura moderna, incluindo o progresso de novas técnicas de aplicação (Fornari *et al.*, 2020). A introdução desta tecnologia no meio agrícola vem proporcionando novas possibilidades no combate de pragas, doença e plantas daninhas (Castro; Biazotto; Romão, 2019).

A deriva, de acordo com Matuo (1990), são as gotas pulverizadas e desviadas do seu alvo durante a trajetória entre a ponta de pulverização e o alvo. Segundo Miller (1993) as perdas por deriva podem ocorrer de maneiras diferentes, por meio da ocorrência do vento sobre as gotas, ou até mesmo aplicações em condições meteorológicas não recomendadas, podendo conduzi-las para áreas vizinhas, ou seja, áreas não alvo da aplicação, desencadeando diversas outras complicações.

As observações das condições meteorológicas são de extrema importância durante a aplicação, pois irão influenciar na qualidade dos tratamentos fitossanitários, garantindo que as gotas pulverizadas cheguem ao alvo sem serem desviadas. A velocidade do vento, a temperatura, a umidade relativa do ar exerce grande papel sobre a eficiência dos defensivos agrícolas (Catapan *et al.*, 2018).

As condições meteorológicas ideais para aplicação podem variar de conforme o produto a ser aplicado, estas informações estão descritas nas bulas dos mesmos, sendo estas informações que devem prevalecer no momento da aplicação, mas em

um contexto geral para uma aplicação segura as condições meteorológicas precisam respeitar os seguintes parâmetros: umidade relativa do ar superior a 50%, temperatura ambiente menor que 30 °C e velocidade do vento em média de 3 a 10 km h⁻¹ (Antuniassi; Cunha, 2019).

O vento pode interferir na movimentação das gotas e na sua deposição sobre o alvo da pulverização, podendo agir negativamente ou positivamente em uma aplicação. Situações que o vento apresenta velocidade inferior a 3 km h⁻¹ ou na ausência dele, não são recomendadas, uma vez que as gotas muito finas têm o potencial de ficar em suspensão devido à estabilidade atmosférica, e em seguida, se distanciam da área alvo (Antuniassi *et al.*, 2017), desde modo, quando a velocidade do vento está dentro do recomendando (3 a 10 km h⁻¹) ele age positivamente, contribuindo no aumento da penetração das gotas no dossel da cultura tratada. Esses parâmetros devem ser observados durante todo o processo de aplicação, já que algumas regiões apresentam condições adversas, e que estão muitas vezes estão acima ou abaixo das condições ideais, podendo inviabilizar a pulverização, caso não houver ajustes no processo de aplicação (Almeida, 2018). Além disso, aplicações com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar pode originar perdas por evaporação das gotas (Matuo, 1990).

Ao utilizar gotas “finas” ou “muito finas”, é necessário ter a atenção redobrada das condições meteorológicas, sendo que essas gotas têm o potencial de ocasionar uma maior perda por deriva e evaporação quando comparadas às gotas “medias ou grossas” (Antuniassi *et al.*, 2017). Em vista disto, torna-se essencial o entendimento do cenário e a combinação do uso de gotas mais seguras para viabilizar a aplicação (Antuniassi; Cunha, 2019).

Em compensação, são comuns relatos de aplicações em momentos que as condições meteorológicas estão impróprias para pulverização (Antuniassi; Cunha, 2019), em razão do tempo reduzido para pulverizações (“janela de trabalho”), consequência do aumento das áreas cultivadas, a escassez de mão de obra e o número de máquinas não apropriado na fazenda. Esta prática muitas vezes é realizada de forma rápida pelo curto espaço tempo, aumentando as chances de erros durante as aplicações (Nansen *et al.*, 2015; Antuniassi; Cunha, 2019).

Por último, a deriva é classificada como exoderiva e endoderiva. A exoderiva atinge áreas fora da área desejada, ou seja, gotas muito finas transportadas da área alvo para áreas vizinhas por ação do vento. Já a endoderiva acontece na área alvo da

aplicação, ou seja, no próprio cultivo, por meio do escoamento da gota devido ao excesso de calda na pulverização ou presença de orvalho no momento da aplicação. Ainda, gotas muito grandes podem acontecer o efeito rebote (momento em que a gota entra em contato com a folha e é ricocheteada em direção ao solo) (Antuniassi *et al.*, 2017).

Portanto, é de extrema importância o entendimento e a compreensão das condições meteorológicas e das técnicas de aplicação, garantindo assim uma boa aplicação.

2.2 Evolução e inovação da agricultura

O desenvolvimento de sensores e softwares a partir da década de 1980 passaram a auxiliar no processamento e entendimento dos dados coletados das lavouras, juntamente com as coordenadas geográficas, integralizando as informações geradas em diferentes operações agrícolas com a localização espacial que contribuíram para difusão mundial da agricultura de precisão. Nos anos 2000, esta tecnologia era limitada, pois o sinal do Sistema de Posicionamento Global (GPS) era controlado pelas forças armadas dos Estados Unidos da América, e, possuía um erro de aproximadamente 45 m. Após esse período, este sistema começou a ser liberado gratuitamente para a população, com redução gradual do erro que havia inicialmente, tornando mais exata sua localização (Carlesso; Bariviera, 2022).

De acordo com Roza (2000), a agricultura de precisão (AP) é o estudo de informações exatas e precisas, que se completam para tomadas de decisões mais decisivas. A agricultura de precisão, também conhecida como AP, é uma maneira de administrar as características distintas existentes dentro em uma mesma área, levando ao entendimento de que cada parte desta área necessita de um gerenciamento específico de acordo com suas características, especificações e necessidades.

O aprimoramento e a evolução da agricultura aconteceram por volta do século 20, com o surgimento da Agricultura 1.0, marcada pelo uso da tração animal nas atividades de campo. Em seguida, surge a agricultura 2.0, em que a tração animal começa a ser substituída pelo uso de motores a combustão, favorecendo o desenvolvimento de máquinas agrícolas (Esperidião *et al.*, 2019).

Anos depois, com o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), nascendo a Agricultura 3.0, sistema ainda em uso atualmente, sendo uma grande criação, produtores adotam o uso de GPS em diversas atividades, principalmente no manejo do plantio. Hoje, a Agricultura 4.0 é difundida, uma agricultura que mistura automação e conectividade, fazendo o uso de máquinas, aeronaves remotamente pilotadas (ARP), tecnologias que estão em constante crescimento e melhorias (Esperidião *et al.*, 2019).

A AP valoriza as técnicas de manejo agrícola, que aborda a variabilidade espacial e trabalha as lavouras por talhões georreferenciados, permitindo a aplicação de insumos em taxas variáveis conforme a necessidade de cada área. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e manejo destas áreas, o gerenciamento das lavouras ocorre de maneira mais exata, gerando benefícios e reduzindo os custos da lavoura (Ribeiro *et al.*, 2020).

Tratando-se da variabilidade existente no campo, com este manejo passamos a tratar de maneira específica coisas que são completamente diferentes, contribuindo de maneira positiva ao agricultor. Esse sistema permite distribuir insumos em áreas que apresentam maior capacidade produtiva, reduzindo a quantidade de adubo distribuído em áreas que exibem pouco potencial produtivo, e, além disso, facilita aplicações localizadas, contribuindo para redução de custos e preserva o meio ambiente pelo menor uso de defensivos. Portanto, as novas tecnologias e os sistemas de gerenciamento têm proporcionado resultados bons e efetivos para o agronegócio, colaborando para evitar desperdícios na produção e maior lucratividade (Giraldeli, 2019).

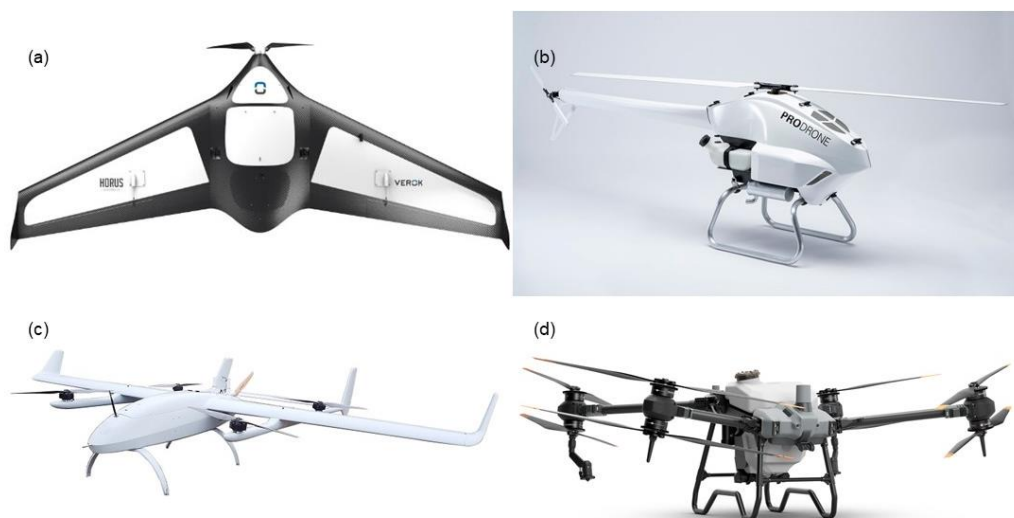
Assim, a agricultura atual e seu gerenciamento são realizados de formas diferentes de anos atrás, devido aos avanços tecnológicos empregados pela agricultura 4.0. Uma das últimas tecnologias implementada na AP foi o uso de drones em numerosos processos na produção agrícola, como, levantamento de dados da colheita, identificação de pragas e doenças, pulverização localizada ou em área total, identificação de plantas alvo (plantas daninhas) e infestação de pragas. Deste modo, otimizando tempo, diminuindo perdas e aumentando o desempenho (Giraldeli, 2019).

2.3 Uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) na agricultura

O termo sugerido adotado para denominação dos drones, segundo a ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC – RBAC – E n°94), é Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), do inglês “Remotely Piloted Aircraft”. Outras terminologias também são usadas no cotidiano, como VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) e UAV (“Unmanned Aerial Vehicle”), mas em princípio estariam em desacordo com a legislação brasileira, por induzir ao entendimento da “não existência” do piloto, mesmo que em caráter remoto. Portanto, utilizou-se neste texto a nomenclatura cotidiana de “drone”, visando aproximar a informação com prática usual de campo (Baio; Antuniassi, 2019).

O uso dos drones vem se popularizando no Brasil após o início da regulamentação do seu uso na agricultura, podendo ser utilizados para diversas finalidades, dentre elas a pulverização das culturas. Um drone tem seu comando de voo realizado de forma direta por um operador humano por meio de comandos de radiofrequência, infravermelho e, até mesmo, através da conquista da sua autonomia, a utilização da tecnologia da operação por piloto automático (Merwe *et al.*, 2020). Atualmente existem quatro principais tipos de RPAs, sendo eles o asa fixa, híbrido, rotor único e o multirotor, sendo o último o tipo utilizado no presente trabalho (Figura 1).

Figura 1 - Principais tipo de RPAs



Fonte: (a) asa fixa, (Horus.global, 2021); (b) rotor único (Aeroexpo.online, 2021); (c) Híbrido (Droneng, 2023); (d) multirotor (Talosdrones, 2023).

A regulamentação do uso de drones dentro do setor da agricultura é embasada na portaria N°298, divulgada em 22 de setembro de 2021, pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que determina normas para a manipulação de Aeronave Remotamente Pilotadas (ARP) atribuídas para a aplicação de defensivos e afins, que definem que os operadores necessitam de registro junto ao MAPA, sejam certificados com o Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR), e que as RPAs se apresentem regularizadas na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (MAPA, 2021).

A ANAC é uma das agências reguladoras federais do país que foi criada para regulamentar e fiscalizar as atividades da aviação civil e a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no país, sendo responsável pelos macroprocessos de certificação, fiscalização, normatização e representação institucional. Conforme a RBAC n° 94/2017 da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, é obrigatório o cadastro de drones acima de 250g no SISANT, tanto para uso recreativo como profissional (ANAC, 2021).

As RPA são classificadas pelos órgãos competentes conforme o peso, estão divididas em três classes, sendo, classe 1 peso máximo de decolagem maior que 150 kg, classe 2 peso máximo de decolagem maior de 25 kg até 150 kg e classe 3 peso máximo de decolagem de até 25 kg, no qual deve ser considerado os pesos da bateria ou combustível do equipamento e da carga eventualmente transportada (ANAC, 2017).

A classificação é aplicável apenas para as RPA e não para aeromodelos. Os aeromodelos são RPA utilizados unicamente para recreação, que apresentam peso inferior a 250g. As normas aplicáveis ao aeromodelismo no Brasil são o RBAC – E 94 (ANAC) e a AIC – N 17 (DECEA) (ANAC, 2017).

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é o órgão responsável por garantir que as RPA operem em frequências compatíveis, para que os voos das aeronaves não causem interferências em outros serviços, como o controle de tráfego aéreo e as redes de comunicação móvel.

O crescimento do uso dos drones e o aumento de pesquisas sobre eles estão relacionados a sua versatilidade, podendo ser utilizadas em várias práticas agrícolas, tais como: mapeamento; distribuição de sementes; monitoramento das culturas, aplicações de produtos fitossanitários; diagnóstico de insetos, pragas e polinizadores (Kim *et al.*, 2019; Clercq *et al.*, 2018).

Tratando-se de pulverização, os drones são uma alternativa principalmente quando existem adversidades no terreno, onde os demais maquinários têm o acesso dificultado ou até mesmo impossível (Hentschke *et al.*, 2018). Os drones apresentam algumas vantagens quando comparado aos demais meios de pulverização, como, por exemplo: aplicações em áreas muito íngremes contendo muitos obstáculos, áreas de difíceis acessos, onde os demais pulverizadores apresentam dificuldades para operar, e que talvez essa seja a maior vantagem de realizar uma aplicação com as RPA, podendo também minimizar os custos e os riscos dos operadores com contaminação, e ainda a redução da compactação do solo e amassamento da cultura (Xiongkui *et al.*, 2017). Estas aplicações podem ser feitas em taxa variável ou localizada, aplicando somente nas áreas de interesse, consequentemente ocorrendo uma economia de produto e tempo.

O uso de taxa de aplicação reduzida viabiliza o uso do drone, possibilitando o aumento da autonomia e capacidade operacional do equipamento. Em trabalho realizado por Bassetto filho *et al.*, (2021) foi constatado que a aplicação com drone utilizando 10 L ha⁻¹, foi semelhante à aplicação de bomba costal utilizando 200 L ha⁻¹, no controle de percevejos *Euschistus heros* na cultura da soja, mostrando que é possível obter bons resultados com volume de calda reduzidos. Já Schalemer (2022) avaliou diferentes taxas de aplicação com drone, concluindo que aplicações com 20 L ha⁻¹ quando comparadas a aplicações de 10 e 15 L ha⁻¹ obtém uma melhor cobertura e houve um aumento na quantidade populacional de gotas sobre a superfície da cultura.

As aplicações aéreas se diferem das aplicações terrestres, devido à altura de voo, velocidade de deslocamento e, geralmente, a taxa de aplicação na modalidade aérea é menor, levando ao uso de gotas menores nesta modalidade, necessitando de uma atenção redobrada das condições meteorológicas e operacionais para que se evite a deriva (Carvalho *et al.*, 2020).

Conforme Luchetti (2019), o desafio do uso dos drones em campo está na autonomia de bateria, possuindo autonomia limitada, principalmente quando se aumenta o peso de decolagem, colocando certa carga útil. Por esta razão, é preciso investir na infraestrutura de baterias, já que cada uma pode fornecer em média 15 minutos de voo, podendo custar até 15% do valor do equipamento. E por utilizar uma baixa taxa de aplicação, os parâmetros de altura de voo e volume de calda devem ser

bem alinhados com a necessidade do alvo, e a acurácia e precisão do processo bem conhecidas, para que se evitem erros nas aplicações.

2.4 Volume de calda e cobertura do alvo

O volume de calda (ou taxa de aplicação) refere-se à quantidade de litros distribuídos em uma determinada área, medido em litros por hectare, sendo um parâmetro importante que irá influenciar na escolha da técnica utilizada no momento da aplicação e na obtenção da cobertura mínima do alvo para a realização do controle (Antuniassi *et al*, 2015). De acordo com Raetano (2019), a qualidade de uma aplicação está ligada diretamente com a disseminação das gotas, densidade e a porcentagem de cobertura em um alvo. Com o aumento do desenvolvimento da cultura, quantidade de galhos e área foliar, se acentua a complexidade da aplicação, quando comparado ao estágio inicial de desenvolvimento, e, nestas ocasiões, é aconselhável ajustar as técnicas de aplicação para evitar perdas de produto e garantir a qualidade da pulverização.

Comparando os índices de área foliar, quanto maior for, mais calda é necessária para obter uma cobertura e penetração adequada, levando à escolha de uma ponta de pulverização que proporciona gotas menores no seu espectro, o que favorece a distribuição da pulverização na planta toda. Culturas que apresentam índice menor são inversamente proporcionais, porém não é regra, já que outros parâmetros devem ser observados no momento da aplicação, podendo ser manipulados para alterar as características da pulverização. Já a redução do volume de calda tem sido realizada com fins de minimizar os custos e aumentar a capacidade operacional (Ferreira *et al.*, 2013; Maciel, 2011).

A redução do volume de calda, além de apresentar uma economia nos custos e aumento da capacidade operacional, também aumenta a concentração do defensivo na calda. Alguns autores demonstraram que aplicações com volumes reduzidos em alguns casos apresentam relação positiva no controle de algumas espécies. Entretanto, ao reduzir o volume de calda pode haver dificuldades na diluição do produto, comprometendo o sistema hidráulico do pulverizador, causando entupimentos nos filtros, pontas e mangueiras, levando a necessidade de interromper a pulverização para realizar a limpeza do sistema, impactando na eficiência

operacional de forma negativa (Almeida *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2016).

Através da equação de Courshee (1967), na qual relacionou a cobertura do alvo com outros critérios conforme a equação 1, é possível estabelecer valores de porcentagem de cobertura.

$$C = \frac{15 V R K^2}{A D} \quad (1)$$

Em que C é a cobertura, V é o volume de calda, R é a taxa de recuperação, K é o fator de espalhamento das gotas, A é a superfície do alvo e D é o diâmetro das gotas.

A redução do tamanho das gotas e o aumento do volume de calda são opções para aumentar a qualidade da cobertura do alvo (Matuo, 1990). Nesse sentido, as gotas finas ou muito finas facilitam a penetração das gotas no dossel das culturas, favorecendo uma melhor cobertura em relação às gotas muito grossas (Antuniassi *et al.*, 2004).

Cunha *et al.* (2016), que analisaram a deposição da calda na cultura da soja em função de diferentes pressões e pontas de pulverizações, concluíram que houve uma redução no tamanho das gotas com o aumento da pressão e consequentemente houve um aumento da cobertura dos alvos.

O entendimento das características e dos produtos são princípios importantes para atingir uma boa cobertura em conjunto com o tipo de alvo. Por exemplo, um herbicida de ação de contato (apresentam pouca mobilidade ou imóveis na planta) são produtos que devem abranger uma cobertura foliar maior, diferentes dos herbicidas sistêmicos que expressam boa mobilidade na planta, fazendo com que a cobertura do alvo seja menor quando comparada aos produtos de contato (Cavenaghi; Carbonari, 2019). Resultados obtidos por Boller e Marchry (2007) permite concluir que o aumento da pressão na aplicação de herbicidas pós-emergente de contato aumenta a eficiência no controle das plantas daninhas, comportamento este que pode ser atribuído à redução do tamanho de gotas e ao aumento da cobertura do alvo.

Quando a aplicação é realizada por meio de drones, esses fatores merecem muita atenção, pois se trabalha com baixo volume de calda que deve desempenhar uma boa cobertura do alvo e consequentemente seu controle, por isso uma aplicação com erros minimizados é fundamental para o sucesso da aplicação.

2.5 Calibração

Para a agricultura moderna e altamente competitiva nos últimos tempos, a manutenção e calibração adequada dos pulverizadores é uma ferramenta indispensável para melhorar a qualidade das aplicações dos defensivos agrícolas e para a redução de efeitos adversos no meio ambiente, garantindo uma distribuição dos defensivos agrícolas nas áreas tratadas, aumentando as chances de combater os agentes patogênicos encontrados nestas áreas (Siqueira, 2009).

A calibração e regulação de pulverizadores e o uso de boas práticas na aplicação de defensivos agrícolas têm sido um desafio para os produtores rurais no campo. As dificuldades levantadas revelam a falta de conhecimento dos aplicadores quanto à manutenção e ao uso de pulverizadores agrícolas, principalmente devido à falta de assistência técnica e orientação no campo (Silva *et al.*, 2016). Segundo Ramos e Pio (2003), a calibração de pulverizadores agrícolas consiste em determinar o volume de calda que o pulverizador aplica por área ou por planta e ajustá-lo para a melhor condição operacional. Em um trabalho realizado por Silva *et al.*, (2016), foi observado que 80% dos operadores tinham o conhecimento da importância da manutenção das máquinas, porém, infelizmente, apenas 25% sabiam calcular a vazão adequada e informar a taxa de aplicação que normalmente é sugerida.

Nesse sentido, mais de 20 países ao redor do mundo realizam inspeção periódica em pulverizadores agrícolas. Nessas avaliações, são atribuídos aos usuários certificados de condições de uso e/ou orientações para otimização do uso e manutenção de máquinas, visando reduzir a quantidade de defensivos utilizados e, assim, reduzir os custos e o impacto ambiental (Antuniassi; Gandolfo, 2005). De acordo com Antuniassi e Gadanha Júnior (2000), é desejável que os sistemas de aplicação para pulverizadores terrestres apresentem variações menores do que 5% com relação à taxa de aplicação esperada. Ainda conforme os autores Antuniassi e Gadanha Júnior (2000), vários fatores podem acarretar erros na taxa de aplicação, como: aferição da velocidade de trabalho, calibração do sistema dos pulverizadores, pontas incorretas e desgastadas.

Um dos métodos mais difundidos no meio agrícola para averiguação da calibração dos pulverizadores de barra, é o do copo calibrador (Figura 2), onde é feita a coleta da vazão da ponta com o copo durante o tempo em segundos que o pulverizador gasta para percorrer uma distância de 50 metros no terreno. Assim,

coleta-se a vazão de algumas pontas de cada seção da barra e realiza-se a média da vazão das pontas, estipulando a vazão para as demais, o que pode ocasionar vários erros (Siqueira, 2009).

Conforme a teoria do erro descrita por Voulo (1996), pode-se determinar que o erro na leitura do copo de calibração se deve a uma avaliação errada da fração mililitro (ml), o grau de inclinação do objeto em relação à escala (ângulo de inclinação do copo de calibração durante a leitura) e a própria escala a ser medida erro.

Figura 2 - Copo calibrador



Fonte: Revista cultivar, 2020.

Outro método que auxilia na inspeção da calibração dos pulverizadores terrestres é o IPP (inspeção periódica de pulverizadores), metodologia mais completa em relação ao copo calibrador. Esse procedimento avalia as condições operacionais dos pulverizadores antes de realizar a coleta da vazão das pontas ($L \text{ min}^{-1}$), analisando alguns pontos importantes como: proteção das partes moveis (Tomada de Potência), tamanho da barra, localização e danos nas mangueiras, entupimentos das pontas e filtros, padrão de igualdade das pontas na barra, espaçamento dos bicos, entre outros, após a análise destes fatores, são distribuídos mangueiras e balde para cada bico na barra, os baldes são colocados à frente das pontas conforme a Figura 3.

Para a coleta da vazão cada balde é posicionado em frente as ponta um a um, logo após essa distribuição é ligado o pulverizador para estabilizar a pressão e vazão em toda a barra, em seguida cada balde é posicionado em baixo das pontas um a um, com uma diferença de 5 segundos entre cada um, passado 2 minutos, inicia-se a retirada desses baldes também a cada 5 segundos, anotando-se o número do balde e da ponta coletada, com isso os baldes são pesados utilizando o método gravimétrico (coleta nos baldes e pesagem) determinando a vazão em $L\ min^{-1}$ de cada ponta, para determinar o erro de vazão do mesmo (Gandolfo, 2001).

Figura 3 - Distribuição dos baldes e mangueira para aferição do pulverizador



Fonte: Salatta Junior, 2023

Desta forma, independente do modo de aplicação (terrestre ou aérea), a calibração é de extrema importância para que as condições operacionais pré-estabelecidas apliquem o volume de calda desejado para determinado alvo biológico.

2.6 Acurácia e precisão

A palavra acurácia é usada para indicar a qualidade de uma grandeza observada ou parâmetro estimado. Com frequência similar, comparece o termo precisão. No entanto, a interpretação deles nem sempre tem sido de acordo com suas definições encontradas na literatura (Monico *et al.*, 2009).

Segundo os autores Mikhail e Ackermann (1976), que denominam a acurácia como o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro), enquanto precisão expressa o grau de consistência da grandeza medida com sua média. Esses autores comentam que a acurácia reflete a proximidade de uma grandeza estatística ao valor do parâmetro para o qual ela foi estimada e que a precisão está diretamente ligada com a dispersão da distribuição das observações.

O erro estatístico ou aleatório é caracterizado pelo fato de que, se uma grandeza física for medida inúmeras vezes, obteremos N resultados diferentes (Helene, 1981; Inmetro, 1998; Taylor, 1996; Vuolo, 1996).

Um desvio padrão alto indica que os valores amostrais ou medidos estão distantes da média, enquanto um desvio padrão pequeno indica que os valores estão mais próximos da média, ou seja, quanto menor o valor do desvio padrão, mais uniforme é a amostra. No método experimental, pode existir uma medida exata e não precisa, outra precisa e não exata, com o propósito de obter melhor precisão e exatidão (Helene, 1981; Inmetro, 1998; Taylor, 1996; Vuolo, 1996).

A precisão de várias medições é o grau de concordância entre diretrizes repetidas e a exatidão. A precisão é maior quando menor for a distância entre as medidas (ou média de determinações repetidas) ou aquele tomado como parâmetro, denominando-se como erro experimental. Para a leitura da precisão de uma amostra, é aconselhável aumentar o número de repetições, com a média de vários dados há maior confiança do que em apenas uma, enquanto, ao mesmo tempo, a exatidão só pode ser obtida, eliminando-se os erros sistemáticos (Helene, 1981; Inmetro, 1998; Taylor, 1996; Vuolo, 1996).

Os erros sistemáticos são aqueles que ocorrem em todas as medidas, sempre na mesma direção e possuindo sempre o mesmo valor. Normalmente surgem em consequência de problemas de calibração do equipamento de medida, diferentemente dos erros aleatórios, que ocorrem em todas as direções e sempre possuem valores diferentes (Helene, 1981; Inmetro, 1998; Taylor, 1996; Vuolo, 1996).

O desenvolvimento de gráficos são formas de simplificar os resultados experimentais, sua elaboração exige fidelidade aos dados obtidos, sendo necessário realizar uma análise e interpretação dos dados que podem ser feitos em softwares. Para interpretação dos gráficos, este deve conter uma escala apropriada, eixos ordenados corretamente por meio da menor incerteza relativa (eixo x) para a maior incerteza (eixo y), feitos com suas respectivas unidades de medidas, o encontro

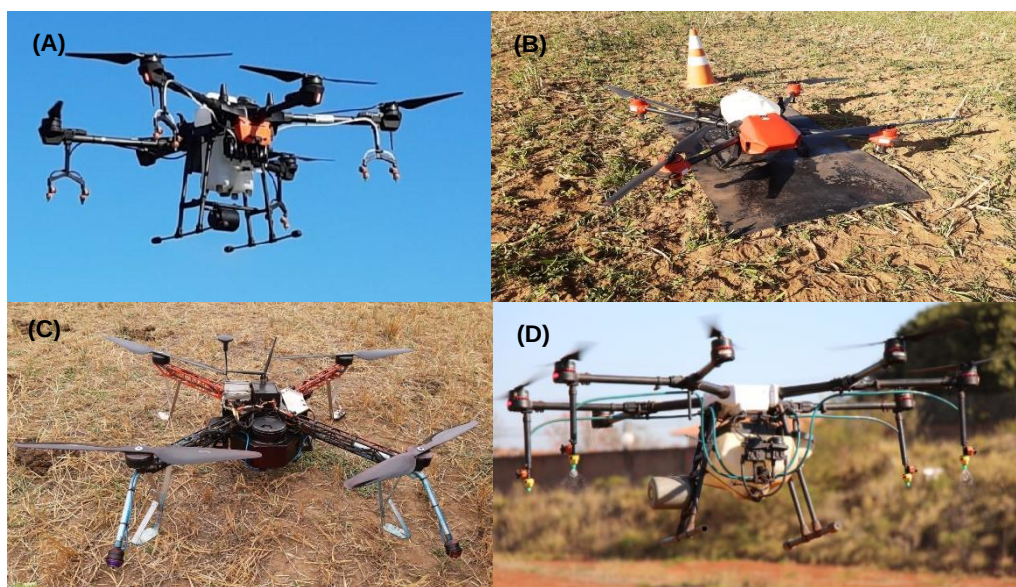
desses eixos é determinado como o ponto de média e aliado como o desvio padrão, demonstrando o quanto a média varia para mais ou para menos no gráfico (Helene, 1981; Inmetro, 1998; Taylor, 1996; Vuolo, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta de dados

O trabalho foi conduzido em três estados brasileiros, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. As coletas de dados foram feitas durante o período de março de 2021 até maio de 2022. As aplicações foram feitas com quatro modelos de drones (Figura 4): DJI MG-1P (carga útil de 10 kg, equipado com bicos hidráulicos), ARPAC (carga útil de 10 kg, equipado com bicos rotativos), DJI T-16 (carga útil de 16 kg, equipado com bicos hidráulicos) e XAG P30 (carga útil de 16 kg, equipado com bicos rotativos).

Figura 4 - Modelos dos drones utilizados no trabalho



Fonte: (A) DJI Agras T-16, (Antuniassi, 2021); (B) XAG P-30 (Antuniassi, 2021); (C) ARPAC (Antuniassi, 2021); (D) DJI Agras MG-1P (Antuniassi, 2021);

As coletas de dados aconteceram durante pesquisas realizadas pela empresa AGROEFETIVA INDUSTRIA E SERVIÇOS LTDA, que gentilmente cedeu os dados para a realização deste trabalho.

Os dados de calibração de cada ensaio foram analisados para determinar a precisão e acurácia da taxa de aplicação, sendo que todas as aplicações fizeram parte de outros ensaios onde o processo de calibração foi uma das etapas do método. Os ensaios foram delineados para ter 5 repetições por tratamento, com tamanhos de

parcela entre 0,075 e 0,5 ha. Os drones foram ajustados para volumes de pulverização de 10 ou 20 L/ha de acordo com cada protocolo de ensaio. Dependendo de como funciona o algoritmo de controle de cada tipo de drone, as coordenadas da área do canto da parcela foram inseridas no controlador do drone antes de cada aplicação de pulverização. Antes de iniciar qualquer trabalho de aplicação, cada modelo de drone foi ajustado e teve seu próprio processo de calibração feito conforme o manual do seu operador. Considerando todos os ensaios, um total de 152 parcelas (repetições) foram pulverizadas. Os dados de calibração dessas parcelas foram divididos em 9 cenários de calibração, considerando o modelo do drone, a taxa de aplicação e o tamanho da área pulverizada (Tabela 1).

Antes de qualquer pulverização, o tanque do drone foi abastecido com a solução de pulverização. A precisão do processo de calibração foi avaliada medindo a quantidade de líquido utilizado para pulverizar cada área da parcela, pesando a calda para reabastecimento do tanque após o término da operação de pulverização (Figura 5). Para estas pesagens foi utilizada uma balança da marca PRIX modelo 9094c/5, que apresenta fundo de escala de $\pm 0,005$ kg.

Tabela 1 - Descrição dos nove cenários de calibração de acordo com as taxas de aplicação, tamanho da parcela e modelo do drone

Cenários de calibração	Drones	Volume De calda (L/ha)	Tamanho das parcelas (ha)	Consumo de calda esperado na parcela (L)	Número de Repetições
1	MG 1P	10	0,075	0,75	25
2	MG 1P	10	0,1	1,00	20
3	MG 1P	20	0,1	2,00	20
4	MG 1P	10	0,5	5,00	10
5	MG 1P	20	0,5	10,00	8
6	ARPAC	20	0,5	10,00	10
7	T16	10	0,5	5,00	9
8	T16	20	0,5	10,00	9
9	XAG P30	10	0,5	5,00	40

Figura 5 - Exemplo de medição da quantidade de líquido utilizado para pulverizar cada área da parcela, pesando a solução de pulverização para reabastecer o tanque após terminar a operação de pulverização



Fonte: Antuniassi, 2021.

Após a coleta dos dados de consumo de calda em cada parcela, os dados foram separados para cada cenário de calibração descrito na Tabela 1. O erro de calibração para cada parcela foi calculado comparando a quantidade de líquido consumido em cada aplicação com a quantidade esperada de consumo de líquido (Tabela 1, Equação 1), que foi obtida a partir do valor da taxa de aplicação e da área pulverizada em cada parcela. Os valores de erro absolutos (considerando todos os erros como valores positivos) foram utilizados para obter o erro médio em cada cenário, e os valores de erro originais de cada parcela (neste caso foram contabilizados os erros positivos e negativos) foram utilizados para calcular o desvio padrão em cada cenário. Neste contexto, o erro médio baseado no valor absoluto dos erros individuais foi considerado como uma medida da acurácia da calibração do drone naquele cenário específico, enquanto o valor do desvio padrão foi considerado uma indicação da precisão do processo de calibração para cada cenário.

Equação 1:

$$\text{ERRO (\%)} = ((\text{quantidade medida} - \text{quantidade esperada}) / \text{quantidade esperada}) * 100$$

Para que se tivesse um parâmetro de comparação, adotou-se como limite de erro o valor de $\pm 5\%$ na taxa de aplicação, a exemplo do que se considera adequado para pulverizadores terrestres (Ozkan, 1987; Antuniassi; Gadanha Júnior, 2000, Gandolfo, 2001; Antuniassi; Gandolfo, 2005, Sichocki, 2013).

3.2 Condução dos ensaios

As parcelas de aplicação foram determinadas a campo com o auxílio de uma trena de 100 metros e demarcadas com quatro bandeiras nas extremidades, assim, determinando o limite da área de aplicação. Em cada ensaio, todas as aplicações foram realizadas em uma única parcela

As bandeiras em cada parcela (Figura 6) serviram como marcação para a elaboração dos planos de voo, sempre considerando uma faixa de deposição efetiva de 5 m. Os drones pousaram e decolaram sempre no mesmo ponto de partida.

Figura 6 - Drone DJI Agras T-16 sobrevoando uma parcela de aplicação, bandeiras demarcando o limite da parcela



Fonte: Antuniassi, 2021.

A sequência da calibração inicial de cada drone varia de um modelo para outro. Em cada modelo, a calibração inicial foi realizada respeitando os procedimentos recomendados pelos fabricantes. Em geral, o processo é semiautomático e a aeronave permanece em solo. Iniciada a sequência de calibração, o sistema interno de controle do drone solicita ao operador para adicionar uma quantidade conhecida de líquido no tanque do drone (por exemplo, 1 litro de água). Em seguida, o drone realiza uma pulverização estática para calibrar a bomba em rotação baixa até o tanque esvaziar. Na sequência, o sistema solicita ao operador a adição de uma segunda quantidade de líquido (por exemplo, 2 litros de água), e novamente o drone realiza a pulverização para calibrar a bomba, desta vez com a rotação alta. A partir desse processo, o controlador faz ajustes no algoritmo que calcula e controla a taxa de aplicação gerada pelo equipamento.

Após o processo de calibração de cada drone, foi realizada uma marcação no solo com um tapete de borracha (Figura 7), para que o drone decolasse e pousasse na mesma posição. Essa marcação evita que o drone realize o pouso em lugares distintos, onde a declividade do solo seja diferente do momento do abastecimento, para não haver diferença na visualização do nível de água no tanque.

Figura 7 - Drone XAG P-30 sobre o tapete de borracha usado para demarcar o local de pouso e voo



Fonte: Antuniassi, 2021.

A calda utilizada no trabalho foi composta por água e corante azul brilhante (Figura 8), sendo que esse traçador era necessário conforme os métodos relativos aos ensaios realizados pela AgroEfetiva, dos quais foram extraídos os dados de calibração. Do ponto de vista prático, o corante também auxiliou na visualização do nível de solução no tanque dos drones.

As aplicações foram realizadas dentro das seguintes condições meteorológicas: umidade relativa entre 50 e 80%, temperatura ambiente entre 18 e 28 °C e velocidade do vento entre 3 e 10 km/h.

Figura 8 - Abastecimento do drone da ARPAC com a calda contendo o corante azul brilhante



Fonte: Antuniassi, 2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados dos erros médios de calibração e do desvio padrão relacionados a cada cenário de calibração, onde valores menores do erro de calibração indicariam um processo mais preciso, enquanto valores menores do desvio padrão indicariam um processo mais preciso.

Analisando todos os cenários, os erros absolutos médios variaram entre 1,9 e 15,5%, com valores superiores a 10% em dois dos nove cenários e valores inferiores a 5% em apenas três dos nove cenários. Neste contexto, o valor limite de 5% de erro poderia ser considerado como referência para o processo de calibração de pulverizadores terrestres (Antuniassi; Gandolfo, 2005). O desvio padrão foi encontrado num intervalo entre 1,7 e 9,5%, com valores inferiores a 5% em sete dos nove cenários.

Tabela 2 - Erro de calibração e desvio padrão relacionado a cada cenário de calibração dos drones

Cenários de calibração	Modelo de Drone	Taxa (L ha ⁻¹)	Parcela (ha)	No. Rep	Consumo médio de calda (L)		Erro médio Absoluto (%)	Desvio Padrão (%)
					Esperado	Real		
1	MG 1P	10	0,075	25	0,75	0,866	15,5	7,8
2	MG 1P	10	0,1	20	1	1,029	5,4	9,5
3	MG 1P	20	0,1	20	2	2,011	1,9	3,7
4	MG 1P	10	0,5	10	5	4,647	7,1	1,7
5	MG 1P	20	0,5	8	10	9,378	6,2	2,4
6	ARPAC	20	0,5	10	10	10,411	4,8	3,5
7	T16	10	0,5	9	5	5,566	11,3	2,3
8	T16	20	0,5	9	10	10,239	3,2	3,3
9	XAG P30	10	0,5	40	5	4,548	9	2,2

As figuras 9 a 12 mostram análises de “*boxplot*” que incluem dados de todas as repetições de calibração, em todos os cenários para cada modelo de drone. Para cada gráfico (ou modelo de drone), os cenários foram identificados pelos valores esperados da quantidade de calda estimada para reabastecimento após cada aplicação.

Figura 9 - Análise de “*boxplot*” incluindo dados de todas as repetições de calibração, em todos os cenários para o modelo DJI MG 1P. Os cenários são identificados pelos valores esperados da quantidade de líquido para reabastecimento após cada aplicação (0,75 L, 1,0 L, 2,0 L, 5,0 L e 10 L)

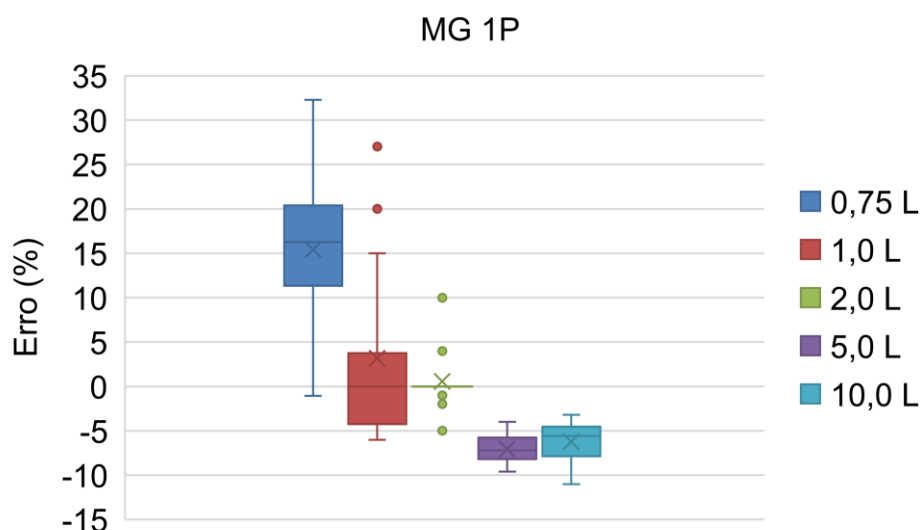


Figura 10 - Análise de “*boxplot*” incluindo dados de todas as repetições de calibração para o modelo ARPAC. Este cenário é identificado pelo valor esperado da quantidade de líquido para reabastecimento após cada aplicação (10 L)

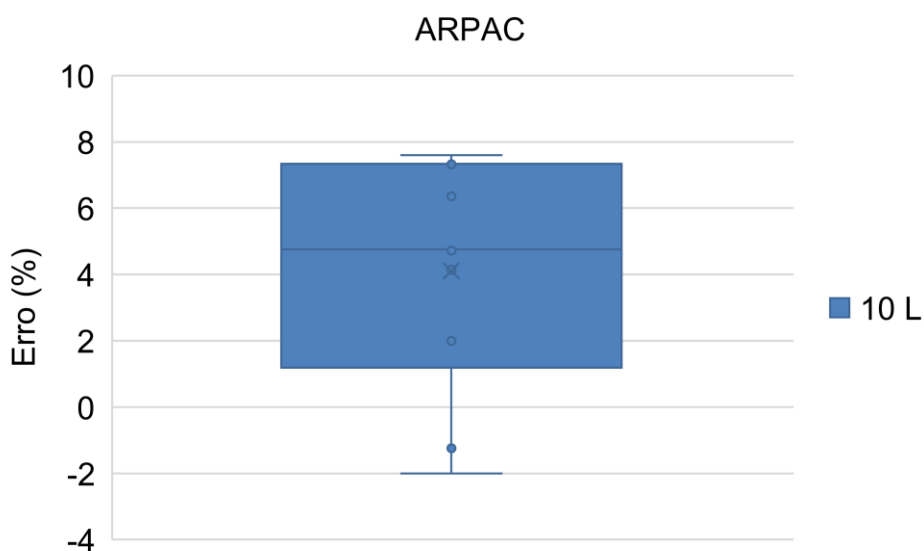


Figura 11 - Análise de “*boxplot*” incluindo dados de todas as repetições de calibração, em todos os cenários para o modelo DJI T16. Os cenários são identificados pelos valores esperados da quantidade de líquido para reabastecimento após cada aplicação (5,0 L e 10 L)

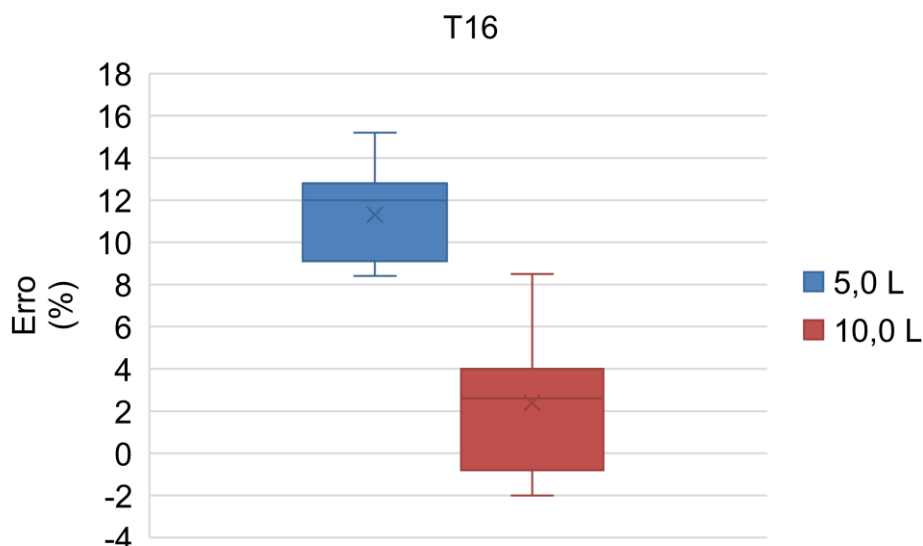
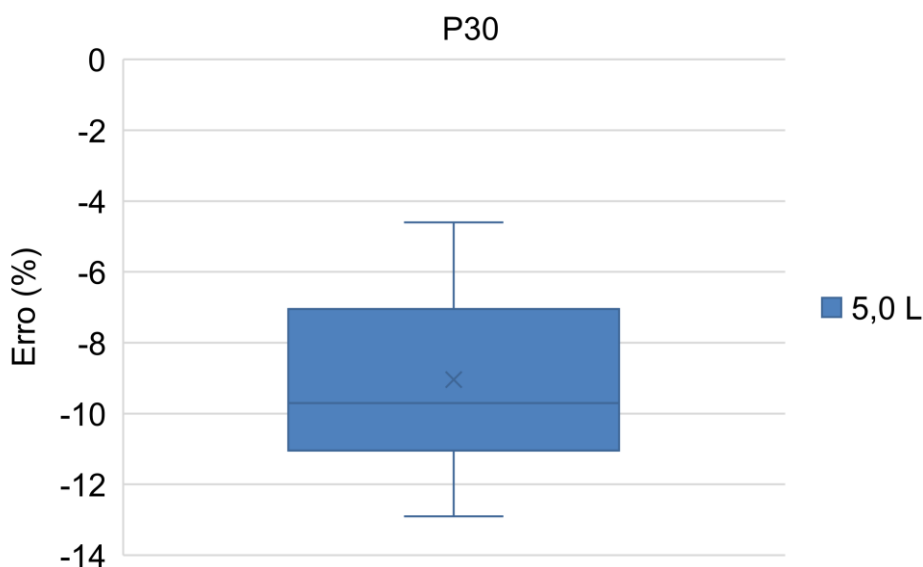


Figura 12 - Análise de “*boxplot*” incluindo dados de todas as repetições de calibração, em todos os cenários para o modelo XAG P30. Este cenário é identificado pelo valor esperado da quantidade de líquido para reabastecimento após cada aplicação (5,0 L)



Assumindo a hipótese de que menores quantidades de líquido utilizadas no processo de calibração tenderiam a gerar processos de calibração menos precisos,

os cenários foram organizados em ordem crescente da quantidade de líquido utilizada no reabastecimento após cada aplicação. Tomando-se esta hipótese como verdadeira, as Figuras 9 e 11 (drones modelos DJI MG 1P e DJI T16) mostram de fato que houve uma tendência para valores de erro médios mais baixos quando a quantidade de líquido consumido para reabastecer o tanque do drone foi maior. Esta hipótese também poderia ser encorajada por questões relacionadas com o nível de acurácia aceitável embutido no próprio algoritmo do drone, ou seja, a acurácia esperada pelo fabricante. Entretanto, esta informação de acurácia não é disponibilizada claramente pelos fabricantes nos modelos avaliados.

Outro ponto que precisa ser levado em consideração é a precisão dos processos de medição de líquidos quando o operador está realizando os procedimentos iniciais de calibração do sistema (rotinas descritas no manual do operador). Como o algoritmo de controle do drone assume como verdadeira e exata a quantidade de líquido abastecida, o uso de métodos imprecisos levará a uma situação na qual o drone assume como verdadeiro um volume de calda errado.

A dispersão dos dados e a forte presença de outliers em alguns cenários também indicam que existem outros fatores importantes que poderiam explicar os erros de calibração observados. Considerando-se que a quantidade de líquido utilizada em uma aplicação é diretamente proporcional à área trabalhada, outra hipótese factível seria que a imprecisão na medida da área aplicada pudesse gerar divergências entre o consumo de líquido real e o consumo esperado.

Pela lógica, quanto menor a área trabalhada, maior seria a interferência da acurácia de posicionamento na estimativa do tamanho da área por parte do algoritmo. Neste caso, questões relativas à exatidão e precisão de posicionamento dos sistemas de navegação (GPS) poderiam ser investigadas, uma vez que nenhum dos modelos de drones avaliados estavam equipados com sistema GPS de alta precisão (sistemas RTK, por exemplo). Considerando que o cálculo de calibração feito pelo algoritmo interno do drone para as áreas menores seria ainda mais afetado pela precisão do posicionamento, a observação de erros maiores nas áreas aplicadas menores (como no cenário 1 apresentado na Tabela 2) faz sentido como outra hipótese para explicar erros de calibração. Entretanto, acurácia e precisão de posicionamento não foram objeto de avaliações dentro da metodologia proposta para este trabalho.

Todas estas questões reforçam a importância de compreender como funcionam os drones de pulverização, incluindo uma correta compreensão do funcionamento dos

seus componentes internos e dos seus algoritmos de controlo, conforme descrito por Hafeez *et al.*, (2023).

5 CONCLUSÕES

Os erros de calibração para os diferentes modelos de drone ocorreram de forma variável, atingindo valores acima de 15% em alguns cenários específicos de calibração. Os erros absolutos médios de calibração variaram de 1,9 a 15,5%, com valores superiores a 10% em 2 dos 9 cenários e valores inferiores a 5% em apenas 3 dos 9 cenários. O desvio padrão em cada cenário de calibração foi encontrado num intervalo entre 1,7 a 9,5%, com valores inferiores a 5% em 7 dos 9 cenários. Precisão e acurácia do algoritmo de controle de fluxo do drone e dos sistemas de posicionamento GPS podem ser elementos causadores dos erros observados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P. **Volume de aplicação reduzido e concentrações de glyphosate na calda em condições meteorológicas distintas para dessecação de cobertura vegetal em sistema de plantio direto**. Tese (doutorado em agronomia/produção vegetal) – Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2018.
- ALMEIDA, D. P.; AGOSTINI, A. R.; YAMAUCHI, A. K.; DECARO JÚNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C. Application volumes and sizes of droplets for the application of diquat herbicide in the control of *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 171-179, 2016.
- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALTHMAN, M. P. F. **Avaliação de deposição em função do modelo de aeronave e volume de calda aplicado**. Dissertação (Mestrando em agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas do Câmpus de Botucatu, 2021.
- ALVARENGA, C. B. **Avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia – MG**. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- ANAC. **Classe de drones (RPA)**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/classes-de-drones>. Acesso em junho de 2023.
- ANTUNIASSI, U. R. **Adjuvantes e formulações: tecnologia dentro do tanque**. Boletim de Pesquisa de Soja 2015/2016. Rondonópolis: Fundação MT, v. 1, p. 474-507, 2015.
- ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: V Congresso Brasileiro de Algodão. Salvador. **Anais [...]**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2008. p. 174-175.
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. p. 221-222.
- ANTUNIASSI, U. R.; CAMARGO, T. V.; VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.; FIGUEIREDO, Z. N.; BONELLI, M. A. O. Controle de ferrugem da soja através de aplicações aéreas e terrestres. In: Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos, 3, 2004, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, 2004, p. 48-51.
- ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2017.

ANTUNIASI, U. R.; CUNHA, J. P. A. R. Boas práticas na tecnologia de aplicação dos defensivos agrícolas. In: ANTUNIASI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2ª ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 355-366.

ANTUNIASI, U. R.; FURLAN, S. H.; MOTA, A. A., CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; SOUSA, S. F. G. Efeito do tamanho de gotas e taxa de aplicação no controle da ferrugem asiática da soja com mancozeb. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 50, 2017, Uberlândia /MG. **Anais** [...]. Uberlândia: SBF, 2017b v.1 p.1.

ANTUNIASI, U. R.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: BORÉM, A. **Agricultura de precisão**. Viçosa - UFV, 2000. p. 181-202.

ANTUNIASI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Periodic inspection on crop sprayers: results according to age of sprayers. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 40, n. 1, p. 195-200.

ANTUNIASI, U.R., GANDOLFO, M. A. Periodic Inspection on Crop Sprayers, **Journal of Environmental Science and Health**, Part B, 40:1, 195-200, DOI:10.1081/PFC-200034325, 2005.

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**. ASAE, 2020.

ASABE - Sociedade americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos. **Teste de calibração e distribuição de equipamentos de aplicação aérea agrícola**. ASAE, 2018.

BASSETTO FILHO, J. J; ESTABELE, D. L; OLIVEIRA, T. L; GOMES, L. R. O; PINHO, C. A.; MATULAITIS, A. K. Y.; ADEGAS, F. S.; SOARES, R. M.; ROGGIA, A. **Controle do percevejo *Euschistus heros* em soja com inseticidas químicos pulverizados com drone**. Resumo expandidos XVI jornada acadêmica da Embrapa soja, ISSN 2176-2937, n. 440, 2021.

BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e de modelos de pontas de pulverização sobre a eficiência de herbicida de contato em soja. **Revista Engenharia Agrícola**, v,27, n.3, p.722-727, set./dez. 2007.

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

CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. **Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidade e faixa de aplicação**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Bacharelado em agronomia, instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus São Miguel do Oeste, 2022.

CARVALHO, F. K.; CHECHETO, R. G.; MOTA, A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Research Information**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020.

CASTRO, J. R.; BIAZOTTO, K. F.; ROMÃO, M. P. **Tecnologias aplicadas à agricultura**: utilização de drones para atividades agrícolas. X Fateclog - Logística 4.0 & a Sociedade do Conhecimento. Guarulhos/SP, 2019. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2019/TECNOLOGIAS%20APLICADAS%20%c3%80%20AGRICULTURA%20UTILIZA%c3%87%c3%83O%20DE%20DRONES%20PARA%20ATIVIDADES%20AGR%c3%8dCOLAS.pdf> Acesso em: 05 jan. 2023.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2ª ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 261-282.

CHECHETO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização**, Botucatu, v.27, n.3, p.130-142, Jul – set, 2012. Disponível em: <https://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/650/308>. Acesso em: 13 jan 2023.

CHRISTOFOLETTI, J. C. Pulverização ou aplicação? **A Granja**, n. 625, p. 35-37, jan. 2001.

CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. **Agriculture 4.0: the future of farming technology**, 2018. Disponível em: <https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2018/november/agriculture-4-0/Oliver-Wyman-Agriculture-4.0.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

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

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

CUNHA, J. P. A. R.; MARQUES, R. S.; ALVES, G. S.; Deposição da calda na cultura da soja em função de diferentes pressões de trabalho e pontas de pulverização. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 761-768, 2016.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; CURY, J. R. **Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA JÚNIOR, A. D. S. Volumes de calda de pontas de pulverização no controle químico de *spodoptera frugiperda* na cultura do sorgo forrageiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 692-699, 2010.

DEBORDI, G. F.; MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; DAMS, R. O.; TRENDIN, R. G.; MACHADO, F. Avaliação técnica-operacional de pulverizadores de barra na região de Pato Branco-PR. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.1, p.144-155, 2014.

DORNELLES, M. E.; SCHLOSSER, J. F.; CASALI, A. L.; BRONDANI, L. B. Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas: histórico e importância. **Ciência Rural**, v.39, p.1600-1605, 2009.

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, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p. 1539-1548, 2013.

FORNARI, M. AMADO, T. J. C.; CARVALHO, L. F.; CHIOMENTO, J. L. T.; HOSS, D. F. Drones pulverizadores: uma nova tecnologia a favor da agricultura. **Revista Plantio Direto**, n. 178, p. 35-39, 2020.

FRITZ, B. K.; MARTIN, D. E. **Measurement and Analysis Methods for Determination of Effective Swath Width from Unmanned Aerial Vehicles**. In: 40th Symposium on Pesticide Formulation and Delivery Systems: Formulation, Application and Adjuvant Innovation on October 22–24, 2019 in Houston, TX. College Station, EUA, 2019.

GANDOLFO, M. A. **Inspeção periódica de pulverizadores agrícolas**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas do Câmpus de Botucatu, 2001.

GIRALDELI, A. L. **Drones na agricultura: como eles te ajudam a lucrar mais**. 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/wp-content/uploads/2021/01/drones-na-agricultura-20210122125124.pdf> Acesso em: 10 fev. 2023.

GONTIJO, G.A.; SICHOCKI, D.; RUAS, R.A.A. Pulverizadores: falta de cuidado. **Cultivar Máquinas**, n.149, p.30-31, 2015.

HAIR, J. F.; BLACK, C. W.; BABIN, B.J.; ROLPH, E. A.; RONALD, L. T. **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009.

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

HENTSCHEKE, M.; FREITAS, E. P.; HENNIG, C. H.; VEIGA, I. C. G. Evaluation of altitude sensors for a crop spraying drone. **Drones**, v. 2, n. 3, 2018.

HUSSAIN, S.; CHEEMA, M. J. M.; ARSHAD, M.; CHATTA, A. A.; LATIF, M. A.; ASHRAF, S.; SIDDIQUE, S. A. Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agrochemical applications. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, n. 4, p. 897-903, 2019.

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

KIM, J.; KIM, S.; JU, C.; SON, H. I. **Unmanned aerial vehicles in agriculture: a review of perspective of platform, control, and applications**. IEEE Access, v. 7, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8782102>. Acesso em: 08 fev. 2023.

LUCHETTI, A. **Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, curso de Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual, 2019.

MACIEL, C. D. G.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; JUSTINIANO, W. **Eficiência e qualidade da aplicação de misturas em tanque com adjuvantes na dessecação de corda-de-viola**. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 4, p. 704-715, 2011.

MARTINI, A. T.; SCHLOSSER, J. F.; BARBIERI, J. P.; BERTOLLO, G. M.; NEGRI, G. M.; BERTINATTO, R. Aspectos relevantes da inspeção de pulverizadores agrícolas: Impactos na precisão das pulverizações de agrotóxicos. Acta Iguazu, v. 6, n. 4, p. 72-82, 2017.

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

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 1976. 497 p.

MILLER, P. C. H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. **Application Technology For Crop Protection**. London, CAB International, 1993.

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. 2009. Boletim de ciências geodésicas, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 469-483, jul. / set. 2009.

NANSEN, C.; FERGUSON, J. C.; MOORE, J.; GROVES, L.; EMERY, R.; GAREL, N.; HEWITT, A. Optimizing pesticide spray coverage using a novel web and smartphone tool SnapCard. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1075–1085. 2015.

OLIVERIA, D. D.; LOPES, J. M.; KOVALESKI, M.; WERNER, V. **Vantagens e desvantagens da aplicação de agroquímicos via aérea e terrestre**. Campos Frederico Westphalen-RS: 2017.

OZKAN, H.E. Sprayer performance evaluation with microcomputers. Appl. **Eng Agric.**, v.3, n.1, p.36-41, 1987.

PAI, N.; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. **Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density**. St. Joseph: ASAE, 2008.

PASIN, M., RODRIGUES, R. S., SCHMIDT, L. A., MACHADO, R. Avaliação Experimental de Acurácia e da Precisão de Tecnologias de Comunicação visando Auto-localização em Redes Veiculares. In: VIII simpósio brasileiro de engenharia de sistemas computacionais. **Anais [...]**. São José dos campos – SP, 2018.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.Rproject.org/>. REED, W. B.; WACKER, E. Determining distribution pattern of dry-fertilizer applicators. **Transactions of the ASAE**, v. 13, n. 1, p. 85-0089, 1970.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para**

culturas anuais. 2ª ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 17-27.

RAETANO, C. G.; MOTA, A. A. B. Pontas de pulverização. In: ANTUNIASI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais.** 2ª ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 67-89.

RAMOS, H. H.; PIO, L. C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z. SANTIAGO, T. (eds). **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 133-201

RIBEIRO, N. N.; OLIVEIRA, A. H. M.; CARVALHO, R. L.; BOTELHO, G. M; **Agricultura de precisão inovando o campo.** Palmas, p. 65. Inovação e universidade: experiência em desenvolvimento – palmas, TO: EDUFT, 2020.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n 11 - jan/fev, 2000. Disponível em: http://www.infogeo.com.br/Revista/materia_11.htm. Acesso em: 08 fev.2023.

SANTOS JÚNIOR, J. L. C. **Posicionamento da faixa efetiva e altura de voo em aeronaves agrícolas.** Dissertação (mestrando em agronomia) – Faculdade de Ciencias Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, 2022.

SCHALEMER, G. D. **Deposição de defensivos agrícolas na cultura da soja: influência do volume de calda e modelos de ponta para aplicação com drone.** 2022. Trabalho de conclusão de curso (graduação em agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, RS.

SCHLOSSER, J. F.; MATINI, A. T.; FARIAS, M. S.; BERTOLLO, G. M.; SANTOS, G. O. dos; BARBIERI, J. P.; Oliveira, L. F.; NEGRI, G. M. Regulagem, calibração, estado de conservação e uso de pulverizadores agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. 2017.

SICHOCKI, D. **Metodologia de inspeção de pulverizadores hidráulicos e hidropneumáticos na região do alto Paranaíba-MG.** 2013. Dissertação (mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Viçosa – Rio Paraíba-MG

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

SILVA, S. M.; NOGUEIRA, P. A. M.; DIAS, R. S.; JORGE, G. L.; MACHADO, W. A. **Inspeção de pulverizadores e qualidade na aplicação de produtos fitossanitários.** Viçosa, MG, v. 24, n.5, set./out. 2016.

SIQUEIRA, J. L. **Inspeção periódica de pulverizadores: análise dos erros de calibração e impacto econômico.** 2019. Tese (doutorado em agronomia (Energia na Agricultura) – Faculdade de ciências Agronômicas da UNESP – Campus Botucatu, 2009.

STEFANELO, M. S.; SARI, B. G.; LENZ, G.; ARRUÉ, A.; PES, M. P.; COSTA, I. F. D. Caracterização da pulverização de fungicida na cultura do trigo com pontas

hidráulicas e atomizadores rotativos de discos. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 1012-1018, 2014.

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

VIANA, R. G; FERREIRA, L. R; FERREIRA, M. C; TEIXEIRA, M. M; ROSELL, J. R; TUFFI SANTOS, L. D MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. Ed. Edgard Blücher São Paulo, SP. 2a Ed., 1996.

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.