



PEDRO VICTOR VICENTE QUINUTE TEIXEIRA

**VIABILIDADE AGRONÔMICA NO USO DE DRONE
PULVERIZADOR VISANDO O CONTROLE DE DOENÇAS
NA CULTURA DA SOJA**

**LAVRAS - MG
2024**

PEDRO VICTOR VICENTE QUINUTE TEIXEIRA

**VIABILIDADE AGRONÔMICA NO USO DE DRONE PULVERIZADOR VISANDO
O CONTROLE DE DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Proteção de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros
Orientadora

**LAVRAS - MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Teixeira, Pedro Victor Vicente Quinute.

Viabilidade agrônômica no uso de drone pulverizador visando o controle de doenças na cultura da soja / Pedro Victor Vicente Quinute Teixeira. - 2023.

54 p. : il.

Orientador(a): Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Fitossanitários. 2. Produtividade. 3. Tecnologias de aplicação.
I. Medeiros, Fernanda Carvalho Lopes de. II. Título.

PEDRO VICTOR VICENTE QUINUTE TEIXEIRA

**VIABILIDADE AGRONÔMICA NO USO DE DRONE PULVERIZADOR VISANDO
O CONTROLE DE DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA**

**AGRONOMIC FEASIBILITY IN THE USE OF A SPRAYER DRONE FOR THE
CONTROL OF DISEASES IN SOYBEAN CROP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Proteção de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 22 de agosto de 2023

Dr. Filipe Almendagna Rodrigues

UFLA

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins

EPAMIG

Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros (Suplente) UFLA

Prof. Dr. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros

(Orientadora)

**LAVRAS - MG
2024**

À minha mãe, pelo apoio em todas as etapas da vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

À minha mãe por todo apoio e ensinamentos.

Ao Ricardo (Tantan) por todo apoio e incentivo.

À Professora Orientadora Dra. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros, pela oportunidade, paciência, exemplo e amizade. Muito obrigado por acreditar em mim e por tornar possível a concretização desse sonho.

Aos grandes amigos da República Treme Terra.

Aos colegas do Núcleo de Estudos em Sementes, Grupo de Estudos em Proteção de Plantas, Terra Júnior Consultoria Agropecuária, Terras Gerais Consultoria, AgroCarregal Pesquisa em Proteção de Plantas e Gertens Farms/Greenhouse por sempre me auxiliarem e fomentar meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os funcionários do Grupo Quinute & Barros Consultoria, Pesquisa e Serviços Agrícolas, por todo auxílio prestado na execução do experimento de campo.

Aos professores e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia e à UFLA.

Por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

“Os desafios não são tão fáceis quanto parecem, e nem tão difíceis quanto te dizem, apenas dê o seu melhor e verá que nada vence o trabalho e a dedicação.”

(Lew Gerten)

RESUMO

A soja é a principal cultura do Brasil e o país se destaca por ser o primeiro no ranking dos maiores produtores do mundo. Para manter a competitividade e acelerar a produção, é imprescindível controlar fatores que afetam negativamente a cultura. Um ponto importante é a elevação da eficiência dos métodos de controle e das tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas, dentre os quais, destacam-se os Drones. A utilização de Drones pulverizadores é uma prática recente para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas nas lavouras, sendo prevista uma expansão dessa tecnologia nos próximos anos. São diversas as vantagens listadas para a pulverização com drones, no entanto, por se tratar de uma tecnologia recente e em avaliação, objetivou-se com este trabalho avaliar a campo a eficiência agrônômica do drone pulverizador em comparação ao pulverizador autopropelido, definir se o drone permite controle satisfatório das principais doenças na cultura da soja, e qual o volume de calda adequado para utilização no drone. O estudo foi conduzido em duas etapas para validação. O primeiro ensaio foi realizado Três Corações e o segundo em São Bento Abade, ambos localizados na região sul do estado de Minas Gerais. As pulverizações foram realizadas com pulverizador autopropelido com bicos do tipo cônico e leque, em vazão de 150 L ha⁻¹ (PQ150C e PQ150L) e com drone pulverizador com bicos do tipo cônico e leque e vazão de 10 L ha⁻¹ (Q10C e Q10L) e 15 L ha⁻¹ (Q15C e Q15L). Foram realizados manejos agrônômicos iguais em todos os modelos de pulverização e foram avaliadas variáveis: diâmetro médio volumétrico, densidade de gotas, porcentagem de área coberta, severidade das principais doenças e produtividade. Os experimentos foram realizados em um DBC com quatro repetições e analisados com o *Software* SISVAR. Os maiores diâmetros médios volumétricos e as maiores porcentagens de área coberta foram observados com PQ150L, PQ150C e Q10C. Em relação a densidade de gotas, o bico do tipo cônico mostrou-se mais eficiente. Quanto às severidades de ataque de ferrugem, as menores vazões (Q10C e Q10L) foram as mais ineficientes, independente do bico utilizado. No controle do mofo branco, Q15C, Q15L e Q10C mostraram-se mais eficientes frente ao Q10L e não diferiram dos pulverizadores autopropelidos. Apenas Q10L não foi eficiente no controle das doenças de final de ciclo. Os efeitos dos tratamentos são refletidos na produtividade, que alcançou média de 79 vs 84sc ha⁻¹ no ensaio 1; e 80 vs 90 sc ha⁻¹ no ensaio 2. Assim, conclui-se que a aplicação com drone apresenta resultados distintos a depender da vazão e tipo de bico utilizado, e representa uma tecnologia eficiente para a pulverização. A pulverização com drone em vazão de 15 L ha⁻¹, em especial com uso do bico cônico, entrega resultados semelhantes em diversos parâmetros ao pulverizador autopropelido com vazão de 150 L ha⁻¹, sendo, portanto, uma alternativa eficaz para o alcance do sucesso no manejo fitossanitário, entregando resultados

satisfatórios em termos de produtividade, além de potencialmente reduzir danos negativos ao ambiente.

Palavras-chave: Fitossanitários; produtividade; tecnologias de aplicação; VANTs.

ABSTRACT

Soybean is the main crop in Brazil and the country stands out for being the first in the ranking of the largest producers in the world. To maintain competitiveness and accelerate production, it is essential to control factors that negatively affect the culture. An important point is the increase in the efficiency of control methods and technologies for the application of agricultural defensives, among which Drones stand out. The use of spray drones is a recent practice for controlling pests, diseases and weeds in crops, and expansion is expected in the coming years. There are several advantages listed for spraying with drones, however, as it is a recent technology and under evaluation, the objective of this study was to evaluate in the field the agronomic efficiency of the drone sprayer compared to the self-propelled sprayer, to define whether the drone allows satisfactory control of the main diseases in the soybean crop and what is the adequate volume of syrup in the drone. The study was conducted in two stages for validation. The first test was carried out in Três Corações and the second in São Bento Abade, both located in the southern region of the state of Minas Gerais. The sprayings were carried out with a self-propelled sprayer with a conical and fan nozzle, at a flow rate of 150 L ha⁻¹ (PQ150C and PQ150L) and with a drone sprayer with a conical and fan nozzle and a flow rate of 10 L ha⁻¹ (Q10C and Q10L) and 15 L ha⁻¹ (Q15C and Q15L). Equal agronomic managements were carried out in all spraying models and variables were evaluated: average volumetric diameter, droplet density, percentage of covered area, severity of the main diseases and productivity. The experiments were carried out in a DBC with four replications and analyzed with the SISVAR Software. The largest volumetric mean diameters and percentage of covered area were observed in PQ150L, PQ150C and Q10C. Regarding droplet density, the conical nozzle was more efficient. As for the severity of rust attack, the lowest flow rates (Q10C and Q10L) were the most inefficient, regardless of the nozzle used. In the control of white mold, the Q15C, Q15L and Q10C drones are efficient compared to the Q10L and did not differ from the self-propelled sprayers. As already observed in the control of rust and white mold, only Q10L was not efficient in controlling end-of-cycle diseases. The results reflect the productivity that reached an average of 79 vs 84sc ha⁻¹ in test 1; and 80 vs 90sc ha⁻¹ in test 2. Therefore, it is concluded that the application with a drone presents different results and presents itself as an efficient technology for spraying. Spraying with a drone at a flow rate of 15 L ha⁻¹, especially using the conical nozzle, culminates in similar results in several parameters to the self-propelled sprayer with a flow rate of 150 L ha⁻¹, thus being an effective alternative for achieving success in phytosanitary management, providing satisfactory results in terms of productivity in addition to potentially reducing negative damage to the environment.

Keywords: Phytosanitary; productivity; application technologies; UAVs.

INDICADORES DE IMPACTO

O trabalho desenvolvido sobre a “Viabilidade agrônômica no uso de drone pulverizador visando o controle de doenças na cultura da soja” possui diversos indicadores de impacto. Em relação aos impactos sociais, a implementação dessa tecnologia pode promover uma redução significativa na exposição dos agricultores a produtos químicos nocivos, contribuindo assim para a melhoria das condições de trabalho e saúde desses profissionais. Além disso, ao evitar o amassamento das culturas, os drones ajudam a minimizar perdas na produção, o que pode ter um impacto positivo na renda dos agricultores e na segurança alimentar da população. Do ponto de vista tecnológico, a adoção de drones para pulverização representa um avanço significativo na agricultura, permitindo uma aplicação mais eficiente dos defensivos agrícolas. Essa tecnologia proporciona maior flexibilidade operacional, possibilitando a pulverização em condições desfavoráveis para os equipamentos terrestres, como áreas de difícil acesso ou situações climáticas adversas. No aspecto econômico, a utilização de drones pode resultar em ganhos de produtividade e redução de custos para os agricultores, uma vez que esses equipamentos são capazes de cobrir grandes áreas de forma rápida e precisa, otimizando o uso de insumos e recursos. Além disso, a redução das perdas na produção e a melhoria da qualidade dos produtos podem contribuir para o aumento da rentabilidade das atividades agrícolas. Quanto aos impactos culturais, a introdução de novas tecnologias na agricultura, como os drones, pode promover mudanças significativas nas práticas e no conhecimento tradicional dos agricultores, exigindo adaptações e capacitação para o uso adequado desses equipamentos. Essa transição para métodos mais tecnológicos também pode influenciar a percepção da comunidade sobre a agricultura e o meio ambiente, destacando a importância da inovação e sustentabilidade no setor agrícola. Em relação aos indicadores específicos de impacto, destaca-se a redução da exposição dos agricultores a produtos químicos, a diminuição das perdas na produção devido ao amassamento das culturas, o aumento da eficiência na aplicação de defensivos agrícolas, a melhoria da rentabilidade das atividades agrícolas e a promoção da inovação e da sustentabilidade na agricultura. Esses impactos estão alinhados com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), contribuindo para o cumprimento da Agenda 2030 no Brasil. Sendo assim, o estudo sobre a eficiência agrônômica do drone pulverizador na cultura da soja não apenas busca fornecer dados comparativos sobre os métodos de aplicação de defensivos, mas também avaliar os impactos sociais, tecnológicos, econômicos

e culturais dessa tecnologia, considerando tanto os benefícios diretos para os agricultores quanto os potenciais efeitos para a sociedade e o meio ambiente

IMPACT INDICATORS

The study developed on the “Agronomic feasibility in the use of a sprayer drone for the control of diseases in soybean crops” has several impact indicators. Regarding social impacts, the implementation of this technology can promote a significant reduction in farmers exposure to harmful chemicals, thus contributing to improving the working and health conditions of these farmers. Furthermore, by preventing crushing of crops, drones help minimize production losses, which can have a positive impact on income and the population's food security. From a technological point, the adoption of drones for spraying represents a significant advance in agriculture, allowing for a more efficient application of agricultural pesticides. This technology provides greater operational flexibility, enabling spraying in unfavorable conditions for ground equipment, such in areas that are difficult to access or adverse weather situations. In the economic aspect, the use of drones can result in productivity gains and cost reductions for farmers, since this equipment is capable of covering large areas quickly and accurately, optimizing the use of inputs and resources. Furthermore, reducing production losses and improving product quality can contribute to increasing the profitability of agricultural activities. As for cultural impacts, the introduction of new technologies in agriculture, such as drones, can promote significant changes in farmers practices and traditional knowledge, once requiring adaptations and training for the proper use of this equipment. This transition to more technological methods can also influence the community's perception of agriculture and the environment, highlighting the importance of innovation and sustainability in the agricultural sector. In relation to specific impact indicators, the highlights are the reduction in farmers' exposure to chemical products, the reduction in production losses due to crop crushing, the increase in efficiency in the application of agricultural pesticides, the improvement in the profitability of agricultural activities and promoting innovation and sustainability in agriculture. These impacts are aligned with several goals of ONU, such as SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), SDG 3 (Health and Wellbeing), SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) and SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), contributing to the fulfillment of the 2030 Agenda in Brazil. Therefore, the study on the agronomic efficiency of drone spraying in soybean crops not only seeks to provide comparative data on pesticide application methods, but also promote the social, technological, economic and cultural impacts of this technology, considering both the direct benefits for farmers and the potential effects on society and the environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala diagramática de severidade da ferrugem da soja (<i>Glycine max</i>) de acordo com a porcentagem de área foliar doente.	30
Figura 2 - Escala diagramática de severidade do mofo branco da soja (<i>Glycine max</i>) de acordo com a porcentagem de área foliar doente.	30
Figura 3 - Escala diagramática de severidade das doenças de final de ciclo (DFCs) da soja (<i>Glycine max</i>) causadas por <i>Septoria glycines</i> e <i>Cercospora kikuchii</i> de acordo com a porcentagem de área foliar doente. No painel superior os sintomas são apresentados de forma agregada, e no inferior aleatoriamente distribuídos.....	31
Figura 4 - Severidade de ataque de Ferrugem (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.	38
Figura 5 - Severidade de ataque de Ferrugem (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.	39
Figura 6 - Severidade de ataque de Mofo Branco (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.....	40
Figura 7 - Severidade de ataque de Mofo Branco (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.....	41
Figura 8 - Severidade de ataque de Doenças de Final de Ciclo (DFCs; %) avaliadas em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.....	42
Figura 9 - Severidade de ataque de Doenças de Final de Ciclo (DFCs; %) avaliadas em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Manejos de doenças realizados nos ensaios 1 e 2 para a cultura da soja.	28
Tabela 2 - Distribuição dos tratamentos de acordo com o modo de pulverização, vazão e tipo de bico aplicador.....	29
Tabela 3 - Diâmetro médio volumétrico (DMV; μm) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.....	33
Tabela 4 - Densidade de gotas (gotas/cm ²) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.....	34
Tabela 5 - Porcentagem de área coberta (%) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.....	35
Tabela 6 - Produtividade da soja (sc ha ⁻¹) sob diferentes modelos de pulverização.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Cultura da Soja	15
2.2 Principais doenças e estratégias de controle.....	18
2.2.1 Ferrugem Asiática.....	18
2.2.2 Mofo Branco.....	19
2.2.3 Doenças de Final de Ciclo da Soja (DFCs)	20
2.3 Tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas	22
2.4 Pulverização aérea e o uso de Drones (VANTs)	24
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Local e condições experimentais	27
3.2 Pulverização.....	28
3.2 Variáveis Analisadas	29
3.3 Delineamento Experimental e Análise Estatística.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção de grãos no Brasil ao longo dos últimos anos somente foi possível devido aos grandes avanços em produtividade das grandes culturas. Os principais fatores que influenciaram no incremento de produtividade foram o desenvolvimento materiais genéticos mais produtivos e a melhoria nos manejos do solo e dos estresses bióticos.

Segundo a CONAB na safra 2002/2003 a área cultivada com soja era de apenas 18 milhões de hectares, enquanto que na safra 2020/2021 a soja ocupou 37,7 milhões de hectares. Nesse intervalo de tempo, não foi somente a área cultivada que mudou, o país saltou de produtividades próximas a 1.800 kg de soja por hectare e aos poucos a pesquisa gerou informações suficientes para que fossem produzidos mais de 5.400 kg de soja por hectare, contornando os grandes problemas com doenças extremamente agressivas, pragas altamente prolíferas e crescentes registros de plantas daninhas resistentes. São muitas as pragas e doenças que afetam negativamente a cultura, tirando do produtor a lucratividade da atividade. Exatamente por esse motivo os órgãos públicos e privados investem incessantemente na geração de novas tecnologias e informações para promover a proteção de plantas na cultura da soja.

Tendo em vista a dificuldade do controle das doenças na cultura da soja, bem como a importância desta para o cenário agrícola brasileiro, é importante elevar a eficiência dos métodos de controle envolvendo ingredientes ativos e tecnologia de aplicação. A tecnologia de aplicação ainda apresenta muitas falhas e ajustes necessários a campo, a missão de depositar a gota da calda no alvo torna-se a cada ano um desafio a ser compreendido devido a tendência de adoção de menores volumes de calda por hectare e novos equipamentos de aplicação como aviões agrícolas, helicópteros agrícolas e drones pulverizadores, que surgem visando a agilidade das operações e acesso às lavouras sem depender da umidade do solo e/ou topografia. A eficiência do controle químico de doenças e pragas na cultura da soja, além de outros fatores, está associada ao uso da técnica de aplicação de defensivos mais adequada.

Com base no exposto, entende-se como “Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários” o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionam a correta colocação do produto ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990). De acordo com McCracken (2015), a tecnologia de aplicação de agroquímicos infelizmente não foi desenvolvida no mesmo nível que os agrotóxicos. Por isso, muitas vezes, a pulverização executada de forma inadequada pode reduzir a eficiência e a eficácia no controle de uma praga ou doença na lavoura.

Entre as mais recentes técnicas de aplicação de defensivos, desenvolvidas pensando na eficiência do processo, destacam-se os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que são utilizados principalmente para obtenção de imagens, elaboração de mapas temáticos e topográficos e para pulverização aérea. A utilização de VANTs e Drones para pulverização é uma prática relativamente recente no controle de pragas, doenças e plantas daninhas nas lavouras, sendo prevista uma grande expansão para os próximos anos. Dessa forma, os Drones estão se tornando cada vez mais comuns no vocabulário das pessoas e nas lavouras, exigindo estudos sobre sua viabilidade técnica e econômica.

Drones possuem grandes vantagens em relação aos equipamentos de aplicação terrestres. Dentre elas destaca-se o não amassamento nas culturas, evitando perdas na produção que podem chegar a 4,9% por amassamento em lavoura de soja com produtividade de 3,2 toneladas por hectare (REIS; ZANATTA, 2017). O uso de Drones possibilita a realização da pulverização em condições desfavoráveis para a aplicação terrestre como as de solo na capacidade de campo, em fases finais do ciclo de algumas culturas e em locais de difícil acesso por vias terrestres. Esses equipamentos podem cobrir grandes áreas de terras agrícolas com rapidez e precisão. Isso pode economizar muito tempo e esforço, permitindo que os agricultores façam mais em menos tempo. Ademais, o fator segurança deve ser considerado, uma vez que com o uso de Drones, reduz-se o risco de exposição a produtos químicos nocivos para agricultores e trabalhadores agrícolas, uma vez que não precisam estar próximos aos produtos enquanto estão sendo pulverizados (TALOS DRONES, 2023).

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a campo a eficiência agrônômica do drone pulverizador em comparação com o pulverizador autopropelido, gerando informações comparativas entre taxa de vazão e tipo de bico aplicador. Assim, as hipóteses levantadas são que o uso do drone como pulverizador agrícola é viável agronomicamente para a cultura da soja, permite controle satisfatório das principais doenças na cultura da soja e que o volume de calda adequado no drone agrícola pulverizador permite deposição da calda na parte inferior da planta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da Soja

Indiscutivelmente, a soja é a principal cultura do Brasil, seja considerada a área ou a produção, no entanto, o cenário nem sempre foi este. A soja chegou ao Brasil, trazida dos Estados Unidos da América (EUA), em 1882. Ela entrou por Salvador, Bahia (região Nordeste),

onde a latitude é baixa (em torno de 12°S a 13°S) e o clima é tropical. As cultivares americanas testadas foram adaptadas ao clima temperado (latitudes próximas ou superiores a 30°), por isso floresceram precocemente, não se desenvolveram de forma satisfatória e resultaram em baixos rendimentos. Por esta razão, até 1980, a soja estava restrita ao sul do país (região temperada e subtropical) e era considerada como uma cultura menos expressiva (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018). Dados anteriores, datados de 1960, indicavam uma produção média de 200.000 toneladas métricas (t). Naquela época, os EUA já era o primeiro produtor do mundo com uma produção de 15 milhões de toneladas (Mt) e a China consagrava-se como o segundo maior produtor, com 8,5 Mt. Dados publicados em 2017 ainda traziam os EUA como o maior produtor, mas seguido de perto pelo Brasil, e em sequência pela Argentina, que ocupava o terceiro lugar (USDA/NASS, 2017; CONAB, 2017). Em 2020, os três países continuavam sendo os maiores produtores de soja do mundo, no entanto, neste ano, o Brasil passou a ser o maior entre eles. De acordo com os dados publicados em 2022, o cenário atual inclui o Brasil em primeiro lugar (com 125,8 Mt) e os EUA em segundo (com 123,6 Mt). Combinados, os dois países respondem por mais de dois terços da produção mundial de soja. Em terceiro lugar mantém-se a Argentina (com 37,7 Mt). O restante da produção de soja está disperso por vários outros continentes (CONAB, 2022).

Para a próxima temporada, a Conab aponta um cenário recorde na produção, sendo projetada em 150,36 Mt. Os preços do grão devem continuar atrativos, uma vez que a oferta e a demanda mundial da soja seguem ajustadas, refletindo em tendência de crescimento de 3,54% de área para a cultura, podendo chegar a 42,4 milhões de hectares. Com a melhora esperada na produtividade, a estimativa realizada pela Conab é que a maior disponibilidade do grão deve propiciar exportações na ordem de 92 Mt, aumento de 22,2% em relação à safra 2021/22, um recorde para a cultura. Mesmo com a estimativa de aumento dos embarques, os estoques para a temporada 2022/23 também devem crescer em torno de 3,9 Mt em relação ao que é previsto para o ciclo atual, sendo projetados em 9,89 Mt (CONAB, 2022).

A soja é considerada uma das culturas alimentares mais importantes do mundo atual. É classificada como uma leguminosa e consagra-se como uma das poucas plantas que possuem uma gama completa de aminoácidos em sua composição proteica, consideradas proteínas “completas”. Os produtos comercialmente importantes feitos de soja incluem proteínas em pó, proteína vegetal texturizada, óleo vegetal de soja, edamame, feijão seco, brotos, ração animal, farinha sem glúten, natto, tempeh, tofu, leite de soja, queijo de soja, entre outros (ALVES, 2022).

Devido ao clima tropical e a extensa área cultivada, o Brasil enfrenta um grande desafio para controlar as pragas e doenças que afetam seus campos de produção. Como a soja é cultivada em sua maioria no sistema de plantio direto, é necessário o uso generalizado de herbicidas para dessecar a área, antes do estabelecimento da lavoura e para o controle de plantas daninhas (GAZZONI; CATTELAN; NOGUEIRA, 2019). Outro grande desafio é a ferrugem asiática da soja, doença extremamente agressiva em condições tropicais e, portanto, responsável pelo consumo da maior parte dos fungicidas pulverizados no Brasil. Para reduzir a quantidade de inóculo do fungo causador da doença (*Phakopsora pachyrhizi*), o Brasil adota o vazio sanitário, período de 60 a 90 dias em que o agricultor é proibido semear ou manter plantas vivas de soja no campo, a fim de diminuir o inóculo do fungo (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018).

Pesquisadores trabalham intensamente na busca de cultivares mais resistentes às doenças que atacam a cultura da soja, por mais que até o momento o sucesso nessa busca seja parcial, esta é uma estratégia relevante para maximizar a eficiência de pulverização fungicida. Por muitas vezes tem sido relatado que o Brasil é um dos maiores consumidores de defensivos agrícolas do mundo, segundo dados do SINDIVEG (MERTEN, 2016) e da *Phillips McDougall International Consulting*, em 2015 as vendas desses produtos no Brasil corresponderam a 18,5% em relação ao total mundial. O que não deve ser feito é desconsiderar o fato do país ser um dos maiores produtores agrícolas do mundo, com cerca de 63.994.479 hectares de área cultivada (NASA; USGS, 2017); tal explicação corrobora os dados disponíveis sobre o consumo de defensivos no mundo, que mostram que o Brasil utiliza menos produto por área quando comparado aos maiores países produtores agrícolas do mundo (MERTEN; BANZATO, 2016). O ponto relevante é que a utilização de defensivos agrícolas para atingir bons níveis de produtividade na agricultura convencional tem sido indispensável, uma vez que a incidência de pragas, doenças e plantas daninhas é expressiva (RUAS et al., 2014), e além da doença mais importante, a já citada ferrugem asiática da soja, a cultura pode ser atacada por mais de 40 doenças (FIALLOS, 2011). Com isso, encara-se a impactante necessidade atual de utilizar de forma eficiente esses recursos disponíveis para intensificar o aumento da produção e tornar as lavouras mais saudáveis (SABARÁ, 2018), sem desconsiderar que o uso efetivo dos defensivos na agricultura, está relacionado tanto com a eficácia desses produtos, quanto com a tecnologia de aplicação utilizada no controle sobre pragas, doenças e plantas daninhas (REYNALDO; MACHADO, 2017).

2.2 Principais doenças e estratégias de controle

A soja é cultivada no Brasil em larga escala, e o desenvolvimento de doenças é um dos principais problemas enfrentados pelos produtores, uma vez que pode desencadear perdas significativas em relação à produtividade e assim aumentar dos custos de produção dos grãos e sementes, principalmente devido à utilização de defensivos nas lavouras. Nesse sentido, abordaremos a seguir as principais doenças encontradas na cultura da soja.

2.2.1 Ferrugem Asiática

A ferrugem asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* tem sido relatada como uma doença grave na Ásia por muitas décadas. A doença surgiu na África em 1997 e apareceu nas plantações das Américas em 2001. Nos EUA, o primeiro relato foi realizado no final de 2004 e sugere que, provavelmente, tenha sido trazida por um furacão. A ameaça foi considerada tão grande, que foi listada como uma possível arma de bioterrorismo. A ferrugem da soja pode se espalhar rapidamente pelo vento por longas distâncias, o que faz com que seu desenvolvimento seja tão expressivo, capaz de causar uma perda tão rápida de produtividade, que a doença é considerada como uma das mais temidas no cultivo mundial da soja (JULIATTI; AZEVEDO; JULIATTI, 2017).

Conhecidamente pelo seu potencial destrutivo, que prejudica o atual sistema de produção de soja no Brasil, a ferrugem asiática da soja pode causar perdas de rendimento de até 90%. A doença foi relatada pela primeira vez no Brasil em áreas de campo aberto em 2001. A importância da doença pode ser avaliada por sua rápida expansão, virulência e quantidade de perdas. Situações de destruição por ferrugem asiática eram comum nas regiões do Cerrado e Sul do país, locais onde o clima favorece a doença, dificulta seu controle e as grandes extensões de lavouras representam mais um desafio na pulverização (BALARDIN et al., 2006; YORINORI; YUYAMA, 2008).

A ferrugem asiática da soja é uma doença de ocorrência recente (pouco mais de 20 anos) e a limitada disponibilidade de informações sobre as influências climáticas das regiões de cultivo da soja influenciam na severidade da doença a cada ano, o que torna difícil uma recomendação genérica de controle para satisfazer todas as regiões (BALARDIN et al., 2006; AZEVEDO, 2005). As estratégias de controle da ferrugem asiática da soja requerem uma combinação de práticas de manejo para evitar ou minimizar perdas (YORINORI; YUYAMA, 2008).

As principais medidas adotadas devem ser: o aumento da área de rotação com culturas não hospedeiras de ferrugem asiática, como milho e algodão por exemplo; semeadura de cultivares de grupos de maturidade mais precoces, concentrando as semeaduras no início do período indicado para cada região: semeaduras mais precoces geralmente se desenvolvem em condições menos favoráveis à ferrugem; evitar o plantio em várias épocas e cultivares tardias, pois a soja plantada mais tarde (ou de ciclo longo) será mais prejudicada pela carga de esporos multiplicados nas primeiras safras; semeadura com densidade de plantas que favoreça uma boa aeração foliar para otimizar a penetração e cobertura foliar de fungicidas e o uso racional de fungicidas seguindo critérios epidemiológicos e estratégias de manejo da resistência (JULIATTI; AZEVEDO; JULIATTI, 2017).

2.2.2 Mofo Branco

A doença do mofo branco é causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, um patógeno necrotrófico e polífago que possui um vasto espectro de hospedeiros, aproximadamente 408 culturas agrícolas, das quais as mais importantes economicamente são a soja, o feijão comum e o algodão (BOLAND; HALL, 1994; BOLTON et al., 2006). A doença tem ampla disseminação e está presente por todo o Brasil, com grande distribuição nos estados do sul, centro-oeste e sudeste, e algumas áreas do Nordeste (JULIATTI et al., 2013). O fungo *S. sclerotiorum* possui uma capacidade natural de formar estruturas de resistência, denominadas escleródios, que podem sobreviver no solo por um período de tempo variável (3 a 8 anos), mesmo sob condições ambientais adversas (STEADMAN, 1983; BOLTON et al., 2006).

O mofo branco é uma doença endêmica e desencadeada principalmente pelas condições meteorológicas, principalmente pelo microclima gerado pela arquitetura da copa das plantas e pela quantidade de inóculos iniciais presentes na superfície do solo. Em suma, regimes de temperatura do ar entre 5°C e 30°C, altos níveis de umidade relativa do ar e alta concentração de vapor d'água na superfície das plantas (recorrente entre 12 e 16 horas para produzir um molhamento foliar com duração de 42 a 72 horas), juntamente com a ocorrência de precipitações ao longo da fase de rebaixamento da estação de crescimento da cultura são os principais fatores no desenvolvimento do mofo branco (STEADMAN, 1983).

Diferentes práticas de manejo podem interferir tanto nas medidas de controle da doença quanto na sua intensificação nos campos de produção (WORKNEH; YANG, 2000; MILA et al., 2003; HARIKRISHNAN; DEL RIO, 2008). O aumento do espaçamento entre linhas pode ser visto como uma prática de manejo que favorece o controle do mofo branco da soja (CHUN

et al., 1987; HOFFMAN et al., 1998), altas populações de plantas também podem favorecer a ocorrência e o desenvolvimento do mofo branco. De acordo com Chad et al. (2005), o esgotamento da população de plantas para a cultura da soja é um método eficiente para controlar o mofo branco em comparação com tratamentos de espaçamento entre linhas. Além disso, Mila et al. (2003) associaram a alta incidência e severidade de *S. sclerotiorum* às altas populações de plantas para a cultura em estudo. Outras práticas para controle do mofo branco incluem a utilização de fungicidas, rotação de culturas, controle biológico e práticas culturais (LOBO JÚNIOR, 2011; LOVATO et al., 2018).

2.2.3 Doenças de Final de Ciclo da Soja (DFCs)

O alto potencial produtivo da cultura da soja é definido a partir de um conjunto de fatores bióticos e abióticos. As doenças se destacam como fatores bióticos, e quando atacam a cultura da soja no final do ciclo de desenvolvimento, são denominadas Doenças de Final de Ciclo (DFCs). Dentre as DFCs da soja, destacam-se a antracnose, a mancha-da-folha e a cercosporiose (BRODERICK; JACKSON-ZIEMS, 2020).

A antracnose, causada pelos fungos *Colletotrichum truncatum*, *C. plurivorum*, *C. musicola* e *C. sojae* (ROGÉRIO et al., 2020), é considerada uma das doenças mais frequentes e nocivas, principalmente no cerrado brasileiro. As perdas podem chegar a 100% quando medidas de controle não são adotadas (DIAS; DIAS-NETO; SANTOS, 2019; ROGÉRIO; GLADIEUX; MASSOLA JUNIOR, 2019). Em altas temperaturas e umidade, principalmente em anos chuvosos, o patógeno causa uma falha na germinação das sementes ou reduz seu vigor promovendo, comprometendo o estande final da soja. O patógeno também pode afetar pecíolos e nervuras foliares, além de caules e vagens em qualquer estágio fenológico da cultura, causando necrose. Abortamento severo de sementes, perda de vagens e deterioração dos grãos são responsáveis pelas maiores perdas na cultura quando as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno (ALMEIDA; FERREIRA; YORINORI, 2005; DIAS; PINHEIRO; CAFÉ-FILHO, 2016; ROGÉRIO; CIAMPIGUILLARDI; BARBIERI, 2016; BORAH, 2019; NATARAJ et al., 2020).

As principais estratégias de controle da antracnose da soja são o uso de sementes saudáveis, rotação de culturas, limitação da população de plantas para reduzir a formação de microclima, manejo adequado do solo, adubação balanceada, tratamento de sementes, tratamento com agentes químicos ou biológicos (HENNING et al., 2014; SILVA et al., 2020). O tratamento de

sementes e a pulverização aérea com fungicidas são as principais medidas de controle da antracnose da soja (PEREIRA et al., 2009; PESQUEIRA; BACCHI; GAVASSONI, 2016).

As doenças causadas pelos fungos *Septoria glycines* (Hemmi) e *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasu; MARTINS et al., 2004), também consideradas como DFCs por ocorrerem simultaneamente e pelas dificuldades que apresentam nas avaliações individuais, estão presentes em todas as regiões produtoras de soja do Brasil, causando desfolhamento prematuro da lavoura, podendo reduzir a produtividade da soja em mais de 20% (GODOY; CANTERI, 2004). No Brasil, fungicidas têm sido utilizados na cultura da soja como o principal método de controle para essas doenças (GODOY et al., 2009; JULIATTI et al., 2019).

A queima das folhas causada pelo fungo *Cercospora kikuchii* é frequentemente observada. Os sintomas foliares geralmente são observados no início da formação das sementes e ocorrem na copa superior das folhas expostas ao sol. As folhas são tipicamente descoloridas apenas na superfície superior, com sintomas que variam de roxo claro, manchas pontuais a manchas maiores e de formato irregular. As folhas afetadas podem ficar coriáceas e roxas escuras com reflexos bronze. Os sintomas podem ser confundidos com queimaduras solares, que geralmente ocorrem na parte inferior da folha. O clima quente e úmido favorece o contágio e o desenvolvimento da doença (MARTINS, 2003).

O fungo *Septoria glycines* é responsável por causar a doença conhecida como mancha parda ou septoriose. A doença se desenvolve em condições úmidas e quentes. Segundo Picinini e Fernandes (1998), o patógeno é capaz de sobreviver em temperaturas baixas e em temperaturas altas, típicas das regiões tropicais. Para a dispersão e fixação do fungo, as chuvas frequentes são essenciais. O impacto da gota de chuva sobre lesões das folhas faz com que os pincídios de *S. glycines* liberem uma massa de esporos, que quando suspensos nessas gotas, podem ser disseminados (HOFFMANN, 2002). Os sintomas nas folhas trifoliadas surgem nas nervuras ou próximos a elas, na forma de manchas castanho-avermelhadas, que evoluem e foram manchas com halos amarelados, de coloração parda na face superior e rosada na parte inferior (MARTINS, 2003). Estudos conduzidos há mais tempo indicam que a doença pode se manifestar também na haste e nas vagens, como lesões marrons, indefinidamente margeadas e de tamanho variável (LEHMAN; WOLF, 1926). Próximo ao estágio de maturação, é comum que a doença se associe com a doença causada pelo *Cercospora kikuchii*, o que pode acelerar a desfolha das plantas (ITO; TANAKA, 1993).

2.3 Tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas

Defensivos agrícolas são produtos químicos, físicos ou biológicos usados no controle de seres vivos nocivos às criações e plantações. São também conhecidos por agrotóxicos, pesticidas, praguicidas ou produtos fitossanitários. Dentre estes termos, o termo agrotóxico é o termo utilizado pela legislação brasileira. Entre os defensivos agrícolas ou agrotóxicos são encontrados produtos que controlam plantas invasoras (herbicidas), insetos (inseticidas), fungos (fungicidas), bactérias (bactericidas), ácaros (acaricidas) e ratos (rodenticidas; BERNARDES et al., 2015). É aceito que os defensivos desempenham um papel importante no desenvolvimento agrícola porque podem reduzir as perdas de produtos agrícolas e melhorar o rendimento acessível e a qualidade dos alimentos (AKTAR et al., 2008; FENIK; TANKIEWICZ; BIZIUK, 2011; STRASSEMAYER et al., 2017).

Devido à urgência de melhorar a produção de alimentos e controlar as doenças transmitidas por insetos, o desenvolvimento de defensivos aumentou durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Além disso, a partir da década de 1940, o aumento do uso de produtos químicos sintéticos para proteção de cultivos permitiu um aumento ainda maior na produção de alimentos (BERNARDES et al., 2015). Aproximadamente três bilhões de quilos de pesticidas são usados em todo o mundo anualmente (HAYES et al., 2017), enquanto apenas 1% do total de pesticidas é efetivamente usado para controlar pragas de insetos em plantas-alvo (BERNARDES et al., 2015). As grandes quantidades de pesticidas remanescentes penetram ou atingem plantas não-alvo e meios ambientais, por tal razão, é preciso considerar modos de aplicação eficientes, que permitam uma aplicação direcionada e efetiva, visando um controle eficiente, uma menor contaminação ambiental e menos desperdício do produto, que representa um prejuízo econômico para o produtor (BERNARDES et al., 2015).

As práticas convencionais de aplicação de defensivos agrícolas desenvolveram uma contradição entre o aumento do rendimento, custo-efetividade e proteção ambiental (DOU et al., 2018), sendo assim, defensivos agrícolas devem ser aplicados usando sistemas de pulverização adequados, nas últimas décadas, os métodos e tecnologias de pulverização têm evoluído continuamente (GIL; JIMÉNEZ; RAMOS, 2014). Os pulverizadores convencionais eram muito trabalhosos e exigiam maquinário muito pesado para operá-los no campo. Inicialmente, houveram sérios problemas na uniformidade de pulverização e perda de pulverização na forma de deriva de pulverização, que não era mensurada com pulverizadores convencionais, como pulverizadores costais e pulverizadores acionados por tomada de força. Com o avanço nas tecnologias de pulverização, a medição desses parâmetros tornou-se fácil

com o uso da tecnologia de sensores. Assim, o avanço na pulverização mudou a tecnologia de aplicação de defensivos.

Com o uso de pulverizadores avançados, o efeito da exposição a pesticidas no meio ambiente, água e contaminação do solo foi reduzido pela redução da deriva de pulverização e overdose de aplicação de defensivos. Além disso, o avanço nas tecnologias de aplicação de pulverização aumentou a produção agrícola e reduziu o problema da demora para reabastecimento do tanque com o uso de pulverizadores de volume ultrabaixo e bicos de pulverização de gotas finas. No mercado existem muitas maneiras de realizar a aplicação de defensivos agrícolas, desde o uso de pulverizadores simples, como é o caso dos pulverizadores costais manuais até equipamentos mais tecnológicos como os pulverizadores automotrizes e equipamentos de aplicação aérea de defensivos (SILVA NETO et al., 2021). A escolha do equipamento ou do método que será utilizado para a aplicação depende das características da cultura, tamanho da área e do alvo a ser atingido.

Pode-se considerar que a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas baseia-se na utilização dos conhecimentos científicos para proporcionar a correta deposição do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de outras áreas (CONTIERO et al., 2018). Considerando que a pulverização é um processo físico-mecânico de transformação de uma substância sólida ou líquida em partículas ou gotas quanto mais uniformes e homogêneas possíveis, é importante considerar também todos os fatores que influenciarão no sucesso da pulverização, sendo eles o tipo de bico, volume de aplicação e fatores climáticos (SANTOS, 2002; RAMOS; PIO, 2003). O bico é o conjunto completo composto de corpo, capa, filtro, ponta e difusor, fixado ou em uso em qualquer que seja o equipamento de pulverização utilizado. O bico representa a parte mais importante do pulverizador e suas pontas devem produzir gotas da forma mais homogênea possível, apresentar distribuição uniforme e precisa do volume escolhido. Bicos com pontas desgastadas, irregulares ou inadequadas são responsáveis por perdas de até 50% do produto ou da pulverização. Os bicos podem ser do tipo jato cônico, jato leque de impacto e jato leque (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

As gotas de pulverização são geradas e liberadas pelos bicos de pulverização. Esse processo resulta da expulsão rápida e explosiva de um fluxo líquido sob pressão via orifício calibrado, gerando uma grande quantidade de gotas de diâmetros variados, pesos diferenciados e trajetórias e velocidades diferentes entre si, sob maior ou menor influência meteorológica ambiental, refletindo em uma maior ou menor coleta das gotas pelo alvo a ser atingido

(AZEVEDO; FREIRE, 2006). Gotas finas ou mais leves são melhores depositadas e penetram mais facilmente nos alvos ou superfícies de deposição verticais e estreita. Por outro lado, são mais sujeitas a derivas mais longas e a perdas por evaporação. Gotas grossas ou mais pesadas são melhores depositadas nas áreas mais largas e posicionadas mais horizontalmente, possuem facilidade de deposição na parte externa das plantas e grande dificuldade de penetração dentro das culturas; apresentam menor perda por evaporação, porém, com grandes riscos de perdas por escorrimento (ANDEF, 2014).

O volume de pulverização a ser utilizado será sempre consequência da aplicação eficaz e nunca uma condição pré-estabelecida, dado a sua dependência de fatores como o alvo desejado, o tipo de bico utilizado, as condições climáticas, a arquitetura da planta e o tipo de produto a ser aplicado. Portanto, não existe número pré-definido para volume de calda apenas em função do produto. O importante é colocar o produto de forma correta no alvo com o mínimo de desperdício e contaminação do ambiente. Por questões econômicas, busca-se aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, trabalhando com o menor consumo de líquido por hectare (AZEVEDO; FREIRE, 2006; ANDEF, 2014).

2.4 Pulverização aérea e o uso de Drones (VANTs)

Nos dias atuais cresce continuamente a busca por altas produtividades e custos mais baixos, para que os produtores consigam o retorno financeiro esperado (MAMMARELLA et al., 2021). Para alcançar tais objetivos, são incorporados à agricultura anualmente novas tecnologias que são lançadas no mercado. E dentre esses temas de inovação tecnológica, a aplicação aérea ganha cada vez mais destaque. A utilização de aeronaves agrícolas na substituição de pulverizadores autopropelidos e de arrasto sobre as principais culturas nacionais (soja e milho) tem aumentado por apresentar maior rendimento na aplicação, especialmente em grande escala de áreas. Regionalmente, a aplicação aérea de fungicidas na cultura do milho é uma realidade, principalmente pela característica morfológica das plantas, que impede fisicamente a entrada de equipamentos terrestres na lavoura (CUNHA; JULIATTI; REIS, 2014).

Pode-se dizer que a pulverização aérea é uma tecnologia que, em termos teórico-práticos, oferece grandes vantagens quando comparada a pulverização tratorizada, principalmente na parte de produtividade, pois reduz as perdas por amassamento causadas pelos pneus dos tratores (ANTONELLO et al., 2020). Perdas em produtividade devido aos danos causados pelo tráfego de pulverizadores terrestres são relatadas por Carvalho et al. (2013), que

afirmam que os danos por amassamento de plantas e a compactação do solo durante o ciclo das culturas estão em torno de 5 a 10 %. O principal fator que delimita a utilização do manejo aéreo é a qualidade de aplicação, relacionado com o volume de calda e dose de ingrediente ativo, além do modo de ação, que deve atingir o alvo específico nas plantas. Uma das maiores dificuldades da área de tecnologia de aplicação é de alcançar as partes baixas das plantas, nas quais se concentram a maioria das doenças e onde a aplicação é prioridade visando o combate mais eficiente de pragas (CUNHA; JULIATTI; REIS, 2014; MACHADO, 2014).

De modo geral as aeronaves ocupam cada vez mais um lugar considerável na sociedade, seja para uso como transporte, quanto para as operações de trabalho, possuindo um admirável destaque e impacto na agricultura. De acordo com os dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (2022), o Brasil possui a segunda maior frota do mundo, com cerca de 2.432 aeronaves, distribuídas por 23 estados brasileiros, representando uma importante ferramenta de apoio ao agronegócio. A aviação agrícola no Brasil começou no ano de 1947, e até então, muita coisa mudou, principalmente no que se refere a tecnologia, pois hoje a aviação agrícola conta com aviões adequados, rápidos e que possuem grande capacidade de carga, além de equipamentos mais sofisticados como o DGPS (*Differential Global Positioning System*) e o fluxômetro (equipamento capaz de ajustar adequadamente o volume aplicado pela área aplicada; MAPA, 2022). O avanço da aviação agrícola não se limitou a aeronaves tripuladas, a tecnologia expandiu e atualmente está cada vez maior o número de aeronaves remotamente pilotadas sobrevoando as lavouras brasileiras, com o objetivo de produzir cada vez mais e com mais eficiência e sustentabilidade.

Uma aeronave remotamente pilotada é uma aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com uma finalidade diferente da recreação (ANAC, 2017). Essas aeronaves são comumente chamadas de drones, mas, no que diz respeito à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), são conhecidas como aeronaves remotamente pilotadas (RPAs). A sigla ARP (sigla em português para aeronave remotamente pilotada) não é utilizada pela ANAC porque se refere ao ponto de referência do aeródromo. Outro termo usado é veículo aéreo não tripulado (VANT).

O Brasil é um dos pioneiros no uso de drones na agricultura. Pela sua capacidade de substituir aviões ou satélites e produzir fotos georreferenciadas em propriedades rurais de forma mais barata, suas múltiplas funcionalidades têm feito o equipamento se destacar. Algumas das funções que os drones podem executar são: dimensionamento de áreas de reserva legal ou de proteção permanente, localização de focos de incêndio e de nascentes de água, geração de

mapas topográficos e modelos para nivelamento e drenagem, mensuração de altura de plantas e condições gerais da lavoura, localização de plantas daninhas e infestações de pragas, transporte de cargas, liberação de parasitóides, aplicação de defensivos, utilização de sensores para identificações técnicas, detecção de deficiências de macronutrientes como o nitrogênio, e uma das maiores vantagens é a possibilidade de aplicação em áreas de difícil acesso, como locais muito íngremes ou com obstáculos, nos quais os demais pulverizadores não conseguiriam operar (LUCHETTI, 2019). Atualmente, existe também a tendência de redução da taxa de aplicação de defensivos, pois os volumes praticados na agricultura, em muitos casos, são muito maiores que aqueles necessários para o controle dos agentes nocivos às plantas. A redução da taxa de aplicação requer otimização da tecnologia de aplicação para assegurar a manutenção da eficiência das aplicações (CUNHA et al., 2008), tal otimização é passível de obtenção com o uso de drones pulverizadores.

De acordo com Passos et al. (2014) a pulverização com drones é semelhante ao uso de pulverizadores autopropelidos ou de arrasto, mas podem ser feitas com ou sem o auxílio de um controlador. Inicialmente é feita a avaliação do alvo e o estágio da cultura, na sequência define-se qual a ponta será utilizada, a forma do jato e a vazão adequada, e em seguida o preparo da calda. Quando se deseja realizar qualquer aplicação de um produto fitossanitário, é necessário sempre consultar a bula do mesmo, para averiguar se o produto é recomendado para aquela modalidade de aplicação (LUCHETTI, 2019). Embora seja grande a importância de uma boa cobertura da calda fungicida, a literatura científica contém poucos relatos referentes à taxa de aplicação mais adequada para cada problema fitossanitário (ARMSTRONG-CHO et al., 2008).

Quando consideramos a aplicação de defensivos agrícolas via drone não devemos deixar de considerar também as condições ambientais como a temperatura, umidade e vento, uma vez que essas condições são responsáveis pelo sucesso na aplicação, tanto na terrestre como na aérea. A temperatura ideal não deve ser superior a 30°C, umidade maior que 50% e ventos entre 3 a 10 km h⁻¹ devem ser respeitados (ANDEF, 2014). Estas condições ambientais ideais são a garantia de sucesso no controle fitossanitário.

Crítérios normativos também devem ser seguidos neste modelo de aplicação de defensivos. Entre todas as funcionalidades de um drone, a ANAC estabelece, através de diretrizes na legislação, as condições técnicas e operacionais das aeronaves, bem como a capacitação dos pilotos. Na regulamentação da ANAC (2019), o piloto de qualquer tipo de drone deverá ter mais de 18 anos e fazer um seguro com cobertura de danos a terceiros, variando conforme o drone, como o de uma tonelada, que deve seguir as mesmas regras que se aplicam

a uma aeronave tripulada, com o registro e certificação da aeronave e habilitação do piloto. Já para operar drones menores, que pesam até 25 kg é necessário apenas o cadastro do aparelho e uma habilitação emitida pela ANAC, caso queira levar o drone a uma altitude superior a 120 metros, pois a partir deste nível, há um risco maior de colisão com outras aeronaves. Ainda segundo a ANAC, é proibido o uso de drones a menos de 30 metros de pessoas que não estejam cientes do voo no local, assim como a pilotagem sobre áreas de segurança, presídios, aeroportos e aglomerações e atividades ilícitas ou que levem à invasão de privacidade, sujeitas a penalidades previstas nos códigos Civil e Penal (ANAC, 2019). Outro órgão definidor do controle do espaço aéreo é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), ligado ao Comando da Aeronáutica, que limita drones de até 2 quilos voarem a, no máximo, 55 quilômetros por hora e os de peso entre 2 kg e 25 kg devem ter velocidade máxima de 110 quilômetros por hora. Além disso, os drones devem manter distância de 5,5 km de aeroportos.

Por fim, os drones têm diferentes papéis a desempenhar na agricultura, sempre objetivando a produtividade agrícola e o melhor rendimento das culturas ao prover informações, interpretadas de modo técnico, que auxiliam no manejo agrícola. O investimento nessa ferramenta, junto do seu uso assertivo no campo, pode proporcionar grandes avanços na lavoura.

3 METODOLOGIA

3.1 Local e condições experimentais

O estudo foi conduzido de outubro de 2022 a fevereiro de 2023 em duas áreas experimentais da empresa Quinute & Barros Consultoria, Pesquisa e Serviços Agrícolas. O primeiro ensaio foi realizado no município de Três Corações (Latitude 21° 42' 29" Sul, Longitude 45° 16' 10" Oeste; altitude média de 839 m), na região sul do estado de Minas Gerais (DANTAS, 2007; IBGE, 2022). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, temperado suave (mesotérmico) ou tropical de altitude, com inverno seco e verão chuvoso. O segundo ensaio foi realizado no município de São Bento Abade (Latitude 21° 34' 7" Sul, Longitude 45° 5' 11" Oeste; altitude média de 962 m), na região sul do estado de Minas Gerais (CIDADE BRASIL, 2021; IBGE, 2022), a cerca de 25 km de distância de Três Corações. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, temperado suave (mesotérmico) ou tropical de altitude, com inverno seco e verão chuvoso. De maneira geral, as condições climáticas de temperatura e umidade foram favoráveis para o

desenvolvimento da cultura e não ocorreram condições extremas que pudessem comprometer o desenvolvimento das plantas.

Ambos os estudos foram realizados para a cultura da soja (*Glycine max (L) Merrill*), cultivar BMX Zeus Ipro (Ensaio 1 – Lote P346L59; Ensaio 2 – Lote P345L65), semeadas no dia 16/10/2022 (Ensaio 1) e 25/10/2022 (Ensaio 2), no espaçamento de 0,50m entre linhas e densidade populacional de 360.000 plantas ha⁻¹. A adubação de semeadura com MAP (11 52 00) e KCl (00 00 60) foi realizada com base na análise química do solo da área onde foi implantado o ensaio. A área experimental foi sistematicamente monitorada por meio de visitas rotineiras para a coleta de dados. Na medida em que foram necessários, adotaram-se os tratamentos culturais recomendados para a cultura da soja, sendo que estes não diferiram entre os ensaios experimentais (Tabela 1).

Tabela 1 – Manejos de doenças realizados nos ensaios 1 e 2 para a cultura da soja.

Data		Estágio	Manejo
Ensaio 01	Ensaio 02		
22/11/2022	29/11/2022	V4/V6	Score Flexi 150mL + Bravonil 720 1L + Procimidona 1L
05/12/2022	17/12/2022	R1	Alade 500mL + Fluazinam 500 1L
21/12/2022	05/01/2023	R1+15	Fox Xpro 500mL + Bravonil 720 1L
07/01/2022	23/01/2023	R1+30	Fusão 600mL + Bravonil 720 1L

Fonte: Do Autor (2023).

3.2 Pulverização

Para as pulverizações utilizou-se o pulverizador autopropelido da marca Jacto modelo Uniport 3030 com capacidade de vazão de 200 L ha⁻¹ e o drone pulverizador da marca DJI modelo Agras T30 com capacidade de vazão de 30 L ha⁻¹. Os tratamentos foram constituídos de acordo com o disposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição dos tratamentos de acordo com o modo de pulverização, vazão e tipo de bico aplicador.

Tratamento	Modo de pulverização	Vazão (L ha ⁻¹)	Bico de aplicação
1 – Q15L	Drone	15	Leque
2 – Q10L	Drone	10	Leque
3 – Q15C	Drone	15	Cone
4 – Q10C	Drone	10	Cone
5 – PQ150C	Pulverizador Autopropelido	150	Cone
6 – PQ150L	Pulverizador Autopropelido	150	Leque

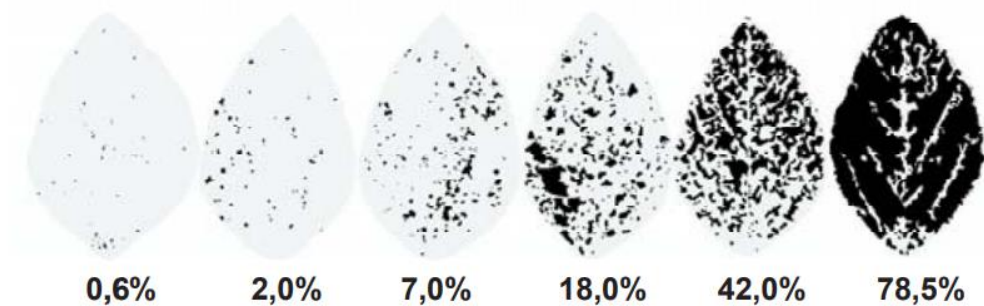
Fonte: Do Autor (2023).

3.2 Variáveis Analisadas

Foram realizados manejos agrônômicos iguais via pulverizador autopropelido e via drone agrícola pulverizador e foram avaliadas as variáveis diâmetro médio volumétrico (DMV) na parte superior e inferior das plantas, densidade de gotas (gotas/cm²) na parte superior e inferior, área coberta na parte superior e inferior, severidade das doenças (porcentagem de área foliar danificada) ferrugem, mofo branco e doenças de final de ciclo (DFCs) e produtividade em sc ha⁻¹. Em todas as aplicações, a quantidade de gotas/cm² e a eficiência quantitativa da tecnologia de aplicação foi avaliada utilizando o *SPOTON* e *DROPSCOPE*. O *SPOTON* é um fluxômetro que permite obter a vazão instantânea do equipamento e aferição ponta a ponta antes da aplicação, visando assertividade na taxa de aplicação e revisão do equipamento. O *DROPSCOPE* por sua vez é um microscópio digital para papéis hidrossensíveis que permite afimar se, como, onde e quanto de pulverização atingiu o alvo, além de conseguir quantificar número de gotas de tamanhos invisíveis ao olho nu. Os papéis hidrossensíveis foram posicionados em todas as unidades experimentais, sendo analisadas a densidade e a quantidade de gotas aplicadas por meio do *software* Gotas (CHAIM; CAMARGO NETO; PESSOA, 2006).

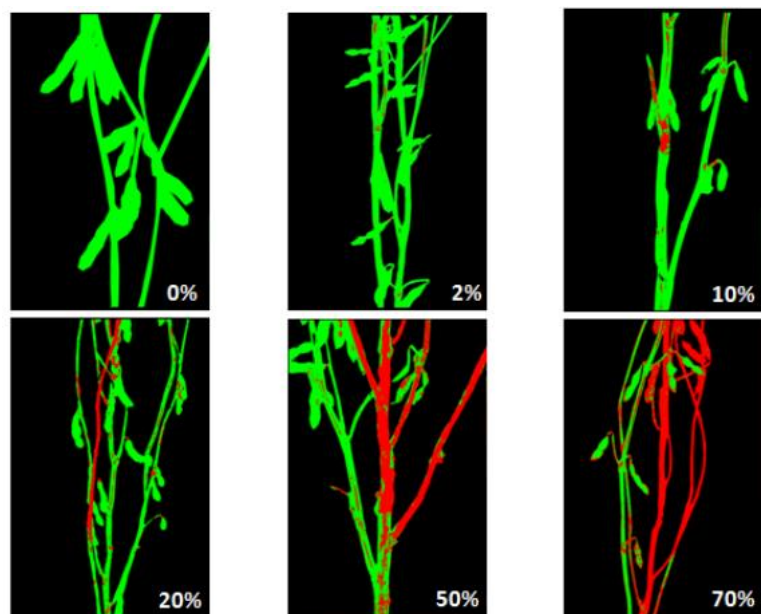
Com relação à severidade das doenças listadas, avaliou-se o percentual de área foliar injuriada em duas partes da planta (inferior e superior) utilizando as escalas diagramáticas propostas por Godoy, Koga e Canteri (2006) para ferrugem, por Juliatti et al. (2013) para mofo branco e por Martins et al. (2004) para DFCs, conforme ilustrado respectivamente nas Figuras 1, 2 e 3. Para a avaliação, 25 plantas foram amostradas na área útil de cada unidade experimental e então calculada a severidade média na planta.

Figura 1 - Escala diagramática de severidade da ferrugem da soja (*Glycine max*) de acordo com a porcentagem de área foliar doente.



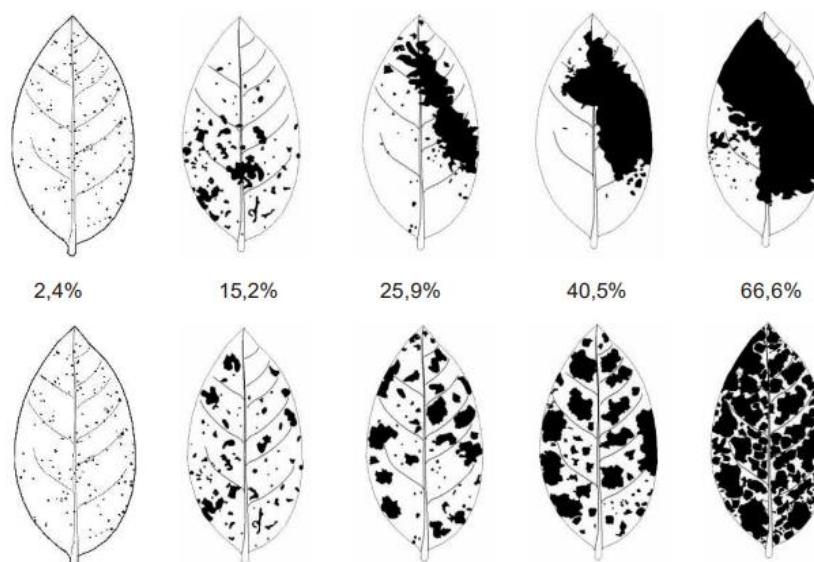
Fonte: Godoy, Koga e Canteri (2006).

Figura 2 - Escala diagramática de severidade do mofo branco da soja (*Glycine max*) de acordo com a porcentagem de área foliar doente.



Fonte: Juliatti et al. (2013).

Figura 3 - Escala diagramática de severidade das doenças de final de ciclo (DFCs) da soja (*Glycine max*) causadas por *Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii* de acordo com a porcentagem de área foliar doente. No painel superior os sintomas são apresentados de forma agregada, e no inferior aleatoriamente distribuídos.



Fonte: Martins et al. (2004).

Nas avaliações supracitadas, a severidade das doenças foi avaliada sempre em folhas trifoliadas dispostas na mesma altura da planta em todos os tratamentos, utilizando-se a segunda folha trifoliada totalmente expandida do ápice à base. Após a colheita, realizada em 10/02/2023 no Ensaio 1, e em 20/02/2023 no Ensaio 2, os grãos foram limpos e acondicionados em sacos para determinar a produtividade em sacos de 60 kg por hectare (sc ha⁻¹).

3.3 Delineamento Experimental e Análise Estatística

Os experimentos foram realizados em um delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As parcelas experimentais constituíram-se de 18 linhas de plantio com 30 m de comprimento cada, espaçadas entre si por 0,50 m totalizando uma área de 270 m². Entretanto, as avaliações foram conduzidas somente nas 14 linhas centrais, descartando-se 5 m em cada uma das extremidades das linhas, somando uma área útil de 210 m².

As variáveis DMV, densidade de gotas, porcentagem de área coberta, severidade de ferrugem, mofo branco e DFCs e produtividade (sc ha⁻¹) foram analisadas utilizando o *Software* estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2019). Após submetidos à análise de variância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Veliz (2007), o DMV é o tamanho da gota dentro do espectro da pulverização que divide o volume em duas partes iguais, uma metade do volume pulverizado com diâmetros maiores e a outra com diâmetros menores que o DMV. Verifica-se que a variação no DMV no primeiro ensaio foi de 110,75 a 175 μm na parte superior da planta; e de 104,75 a 166,75 μm na parte inferior. No segundo ensaio as variações foram de 108 a 175 μm e 105,25 a 159,50 μm nas partes superior e inferior, respectivamente (Tabela 3).

Um diâmetro de gotas muito grande gera baixa cobertura superficial e escorrimento; por outro lado, essas gotas são menos propensas ao deslocamento pelo vento. Gotas pequenas, embora permitam boa cobertura do alvo, levam a problemas com deriva e evaporação. A pulverização realizada com pulverizador autopropelido proporcionou o maior diâmetro de gotas em todas as análises, no entanto, no ensaio 2, o DMV proporcionado pelo pulverizador PQ150C não diferiu da pulverização com drone no tratamento Q10C. O menor DMV foi proporcionado pela pulverização dos tratamentos Q15L e Q15C, na parte inferior do ensaio 1 e na parte superior avaliada nos dois ensaios.

O DMV não é um parâmetro que deve ser avaliado de forma isolada e independente da aplicação sempre existirão gotas de todos os tamanhos, com variação na proporção de cada uma delas. Segundo Li et al. (2021), os parâmetros baseados no diâmetro da gota são variáveis diretamente controláveis antes de qualquer evento de pulverização por meio da seleção adequada dos parâmetros de pulverização, como tipo de bico, tamanho do orifício e ajuste da pressão operacional, portanto, diz pouco em comparação de diferentes modos de aplicação. Utilizando o DMV como valor de referência, se não houver qualquer indicação na bula do produto fitossanitário, a recomendação é para a utilização de gotas medianas (200-400 μm), com o objetivo de reduzir a probabilidade de erros na aplicação. No caso do estudo em questão, todas os tratamentos, apesar de alguns diferirem entre si, proporcionaram a pulverização de gotas pequenas (<200 μm ; ANDEF, 2014).

O uso de drones pulverizadores está comumente associado a diâmetros de gotas pequenos, menores que 150 μm (WANG et al., 2018a) e taxas de aplicações reduzidas (WANG et al., 2020a). Tais fatores são responsáveis por amentar a deriva. A deriva de ingredientes ativos é um dos principais problemas em aplicação em áreas agrícolas (GODINHO JÚNIOR et al., 2018). Isso pode ser definido sucintamente como o processo de movimento físico das gotas para fora da área de aplicação (WANG et al., 2020b). Este problema tem sido estudado em aplicações que realizam pulverização via drone (WANG et al., 2018a).

Li et al. (2021) compararam o uso de drone pulverizador *versus* pulverização aérea tradicional no controle de pragas da alfafa, ambos em diferentes volumes de pulverização (93,5 L ha⁻¹ e 46,8 L ha⁻¹) e também constataram que o uso de tamanhos de gotas menores liberados em condições de volume de pulverização baixo e ultrabaixo para obter eficiência operacional extra pode aumentar a responsabilidade dos produtores e prestadores de serviços de pulverização, a menos que sejam conduzidos estudos adicionais de modelagem do destino da gota. Os autores optaram por um DMV de gotas em tamanho médio e demonstraram que um pequeno drone de carga útil pode alcançar cobertura adequada, minimizando a produção de pequenas gotas à deriva.

O uso de adjuvantes agrícolas também é uma ferramenta essencial no manejo da deriva. Wang et al. (2018b) avaliaram diferentes adjuvantes e concluíram que o uso de concentrações adequadas pode reduzir a deriva em até 65%. Os mesmos autores, usando drones de motores de combustão, observaram desvios de mais de 10 m na ausência de adjuvantes.

Tabela 3 - Diâmetro médio volumétrico (DMV; μm) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.

Modelo de pulverização	DMV – Ensaio 01		DMV – Ensaio 02	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Q15L	113,25 \pm 4,65 d	111,0 \pm 5,1 c	117,75 \pm 5,06 d	105,25 \pm 17,3 b
Q10L	144,5 \pm 2,08 c	129,75 \pm 8,22 b	145,5 \pm 11,36 c	123,0 \pm 16,95 b
Q15C	110,75 \pm 3,5 d	104,75 \pm 6,29 c	108,0 \pm 3,3 d	108,75 \pm 3,3 b
Q10C	155,5 \pm 6,08 b	136,5 \pm 4,2 b	151,5 \pm 8,91 bc	132,0 \pm 8,91 ab
PQ150C	172,0 \pm 7,12 a	159,25 \pm 8,73 a	171,0 \pm 6,98 ab	157,0 \pm 11,75 a
PQ150L	175,0 \pm 5,1 a	166,75 \pm 10,5 a	175,0 \pm 6,98 a	159,5 \pm 17,54 a
CV (%)	3,02	5,18	6,02	10,91

Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; as médias são seguidas pelo desvio padrão.

Em relação a densidade de gotas, entende-se que a melhor densidade é obtida com o trabalho com gotas de menor tamanho, o que aumenta a densidade de gotas. Ajustar o espectro de gotas é essencial para atingir a máxima eficiência técnica do produto que está sendo utilizado (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018). No presente trabalho, a maior densidade de gotas foi observada quando utilizado o PQ150C, com exceção da avaliação na parte superior da planta no ensaio 1, em que não houve diferença entre os tratamentos PQ150C e PQ150L,

sendo nesta avaliação, portanto, indiferente o uso do bico cônico ou em leque (Tabela 4). O uso de drone pulverizador, independente da vazão e tipo de aplicador (leque ou cônico) só manifestou diferença quando considerada a avaliação na parte inferior da planta no ensaio 1, nessa situação, com vazão de 15 L ha⁻¹ o uso do bico cônico é mais eficiente do que o uso em leque. Vale ressaltar que este também não é um parâmetro que deve ser avaliado de forma isolada para definir a eficácia do controle químico (OLIVEIRA, 2010).

Martinez-Guanter et al. (2020) compararam dois modos de pulverização em olivais e citros. Ao comparar a aplicação via drone ou pulverizador autopropelido, os autores chegaram a resultados diferentes ao observados neste estudo. A maior densidade de gotas no alvo foi obtida com a pulverização via drone, além de da obtenção de gotas em diâmetros mais uniformes.

Tabela 4 - Densidade de gotas (gotas/cm²) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.

Modelo de pulverização	Gotas/cm ² - Ensaio 1		Gotas/cm ² - Ensaio 2	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Q15L	188,75±9,64 b	93,75±6,24 d	187,75±15,46 c	97,25±4,99 c
Q10L	169,25±8,38 b	153,75±9,14 cd	169,75±10,14 c	141,5±13,63 c
Q15C	187,75±7,18 b	170,0±7,44 c	198,25±10,87 c	161,75±11,56 c
Q10C	159,0±6,22 b	140,5±13,18 cd	169,50±4,12 c	134,25±23,39 c
PQ150C	728,25±66,27 a	653,5±44,97 a	765,5±55,91 a	704,0±69,12 a
PQ150L	685,25±33,19 a	550,5±39,87 b	648,25±53,40 b	523,0±53,29 b
CV (%)	8,66	8,98	9,72	11,81

Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; as médias são seguidas pelo desvio padrão.

A porcentagem de área coberta está relacionada com o tamanho de gotas, quando menores, diz-se que a cobertura é maior; por sua vez, quanto maior a porcentagem de área coberta, maior o indicativo de melhor eficiência do controle químico, uma vez que a pulverização atinge uma maior área da planta (RAETANO, 2019). É importante considerar que a porcentagem de área coberta também pode variar de acordo com as condições de manejo da cultura, com as condições ambientais, e que outros fatores devem ainda ser considerados para uma avaliação completa da produtividade da cultura da soja.

A maior porcentagem de área coberta na parte superior do ensaio 1 foi expressa com o uso dos tratamentos PQ150C, seguida dos tratamentos PQ150L e Q15C. Ainda avaliando o ensaio 1, mas considerando a parte inferior da planta, as maiores porcentagens de área coberta foram obtidas com os tratamentos PQ150C, PQ150L, Q15C. Os demais tratamentos não diferiram entre si (Tabela 5).

A medida que a cultura se desenvolve, há um aumento da quantidade de galhos e área foliar das plantas. Em culturas anuais, como a da soja, ocorre também o fechamento da entre linha do plantio, com isso, a dificuldade da aplicação aumenta, comparado ao momento que a cultura está em menor estágio de desenvolvimento, sendo assim, uma aplicação que obtenha alta cobertura na parte inferior (que apresenta maior dificuldade de acesso), é eficiente (RAETANO, 2019). Segundo Matuo (1990), o aumento do volume de calda ($L\ ha^{-1}$) e a redução do tamanho das gotas (RAETANO, 2019) são opções para melhorar a cobertura do alvo. Com o uso do drone pulverizador no tratamento Q15C, mesmo com um volume de vazão 10 vezes menor, não houve diferença em relação a cobertura quando comparado aos pulverizadores autopropelidos.

Tabela 5 - Porcentagem de área coberta (%) na parte superior e inferior de plantas de soja sob diferentes modelos de pulverização.

Modelo de pulverização	% Área coberta – Ensaio 1		% Área coberta – Ensaio 2	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Q15L	11,97±1,56 c	9,14±0,77 b	11,99±1,32 bc	8,11±0,51 c
Q10L	8,02±0,72 d	8,62±0,91 b	8,48±1,07 d	8,12±0,91 c
Q15C	15,13±0,91 b	13,64±1,51 a	15,46±0,73 a	12,43±1,43 b
Q10C	9,58±0,67 d	8,90±0,73 b	9,35±0,78 cd	8,75±0,35 c
PQ150C	17,92±0,53 a	16,25±0,49 a	16,27±1,85 a	15,83±1,31 a
PQ150L	14,99±0,99 b	14,85±2,04 a	14,71±2,08 ab	12,89±1,10 b
CV (%)	7,68	9,84	10,81	7,88

Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; as médias são seguidas pelo desvio padrão.

Ao avaliar o ensaio 2 (Tabela 5), constata-se que o resultado é semelhante ao discutido anteriormente sobre a parte inferior da planta. Os tratamentos PQ150C, PQ150L e Q15C não diferem entre si, porém, o tratamento PQ150L também não difere do tratamento Q15L. A avaliação da parte inferior indica uma maior porcentagem de área coberta com o uso do

tratamento PQ150C, seguido dos tratamentos PQ150L e Q15C, sendo que estes não diferem entre si. A maior porcentagem de área coberta nesta avaliação com o uso do PQ150C pode ser explicada pelo tipo de bico, que produz um jato de pulverização em forma de cone, o que permite que a pulverização mais direcionada e concentrada. Em 75% das avaliações de porcentagem de área coberta (ensaio 1 e parte superior do ensaio 2), o tratamento Q10L mostrou-se como a opção menos eficiente para pulverização. Por outro lado, o uso do Q15C, que utiliza uma tecnologia com diversas vantagens, obtém outro destaque quando se considera a porcentagem de cobertura semelhante aos pulverizadores autopropelidos. Tal porcentagem indica diversos benefícios pois é um indicativo de que a pulverização atingiu uma maior área da planta.

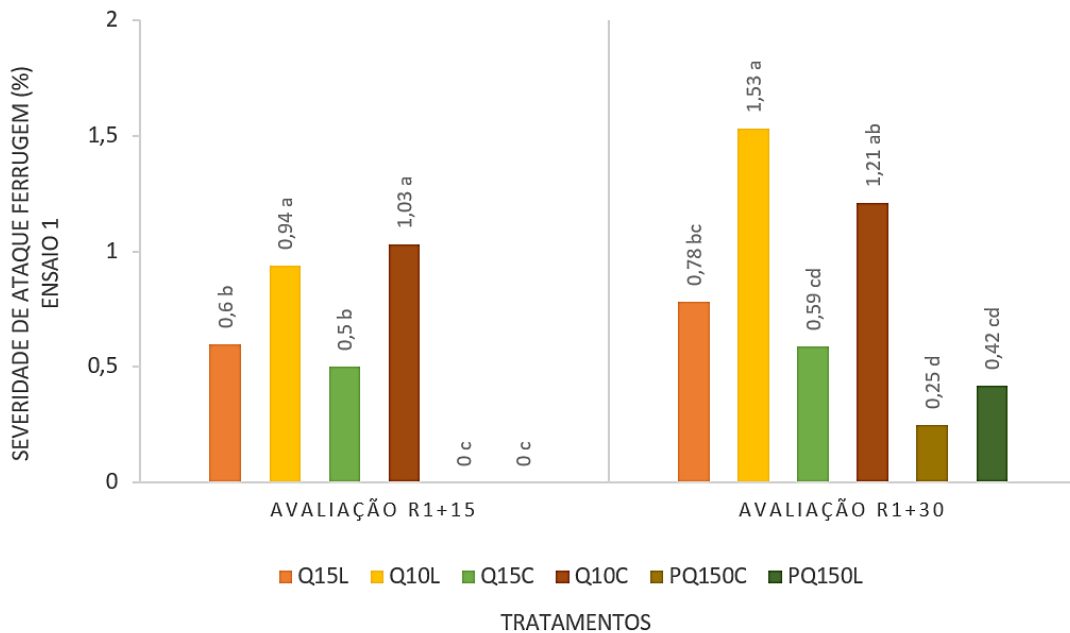
A maior cobertura em área foliar permite melhor estado sanitário até que a planta atinja os estágios finais da cultura, garantindo o maior acúmulo e translocação de carboidratos durante os períodos vegetativos e reprodutivos, o que por sua vez culminará em maior peso específico de grãos e conseqüentemente ganhos em produtividade (RAETANO, 2019). Em uma avaliação do potencial da pulverização via drone *vs* pulverização terrestre tradicional para proteção da cultura da amendoeira, Li et al. (2020) constataram que o uso de drones para pulverização em um maior volume de calda de 93,5 L ha⁻¹ proporcionou uma porcentagem de cobertura maior do que o menor volume de calda de 46,8 L ha⁻¹. Este resultado corrobora o que foi verificado neste estudo com a baixa cobertura quando a vazão utilizada foi a de 10 L ha⁻¹. Os resultados indicam ainda a necessidade de verificar as recomendações do rótulo de volume de pulverização, que são críticas no controle de pragas, mesmo para o novo método de aplicação via drones. O potencial do uso dos drones na vazão de 15 L ha⁻¹ sugerem que mais dados focados na proteção de cultivos são necessários para confirmar a eficácia do método de aplicação via drones em diferentes volumes de pulverização. Lan e Chen (2018) também discutiram a necessidade de mais estudos sobre o uso de drones visando a proteção de cultivos especialmente devido às taxas reduzidas de aplicação.

A proteção de cultivos comercialmente eficaz contra insetos, doenças e ervas daninhas é frequentemente considerada a medida conclusiva de sucesso para qualquer método de aplicação de pesticidas (LI et al., 2021). As severidades de ataque da ferrugem, mofo branco e DFCs foram avaliadas nos estágios R1+15 e R1+30, avaliações em estágios anteriores foram inviabilizadas em decorrência das chuvas nos dias de análise.

A ferrugem asiática é considerada a principal doença da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*. A severidade de ferrugem na soja pode variar de acordo com vários fatores, como o estágio de desenvolvimento da cultura e a intensidade do ataque. A doença reduz a área foliar sadia e, em alta intensidade, acelera a senescência e a desfolha das folhas. A proporção de área foliar doente (severidade) é a principal variável usada para comparar tratamentos (como fungicidas, modo de aplicação de fungicidas e cultivares; SCHERM et al., 2009 ; GODOY et al., 2016 ; DALLA LANA et al., 2018).

No ensaio 1 (Figura 4), a maior severidade de ataque foi observada nos tratamentos que utilizaram as menores vazões (Q10C e Q10L), nos dois momentos de avaliação e independente da ponta utilizada para pulverização. Na primeira avaliação de severidade, avaliada no estágio R1+15 (coef. var. 21,68%), os tratamentos PQ150C e PQ150L impediram o ataque de ferrugem asiática perceptível na soja. Quando avaliada no estágio R1+30 (coef. var. 25,34), os melhores resultados, ou seja, aqueles com menor severidade de ataque foram observados nos tratamentos, PQ150C, PQ150L e Q15C, sendo que os dois últimos também não diferiram em comparação ao tratamento Q15L.

Figura 4 - Severidade de ataque de Ferrugem (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.



Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

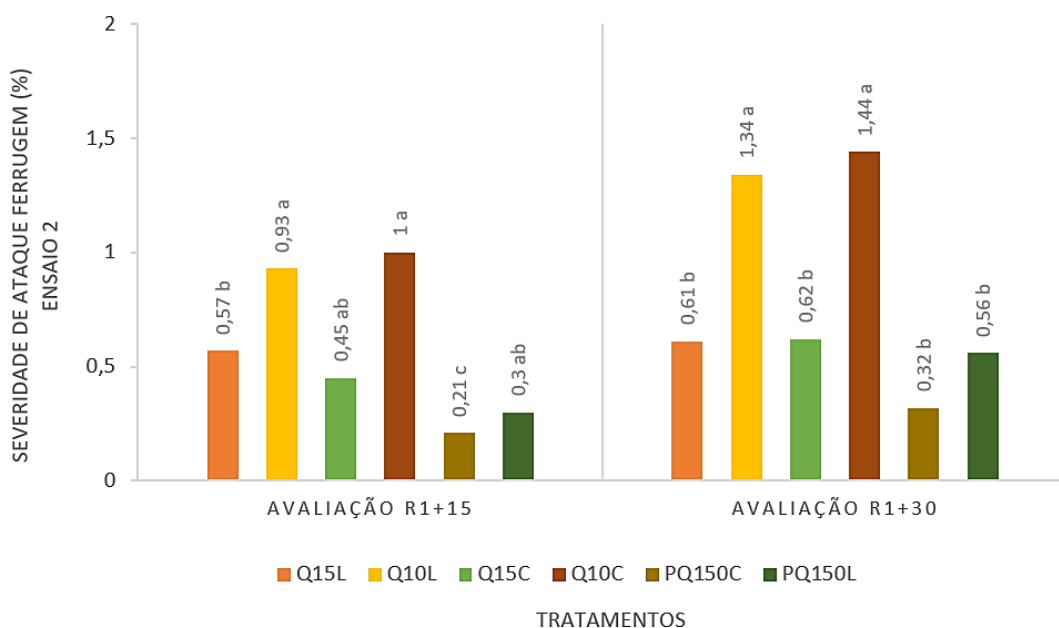
Fonte: Autor (2023).

Resultados semelhantes foram observados no ataque de ferrugem no ensaio 2, como demonstrado nos gráficos geradas na Figura 5. Neste ensaio, os tratamentos P150C e PQ150L não inibiram por completo o ataque de ferrugem na soja, no entanto, em conjunto com os tratamentos Q15L e Q15C, foram os mais eficientes no controle da doença. De acordo com os dados do ensaio 2, considera-se que a pulverização via drone é eficiente no controle da principal doença da soja, desde que utilizado em uma vazão de 15 L ha⁻¹, considerando em conjunto os dados do ensaio 1, pode-se afirmar que para melhor eficiência, a indicação é que seja utilizado o bico do tipo cônico.

Apesar da severidade da ferrugem asiática apresentar potencial de redução com o equilíbrio nutricional da soja, como o incremento nas doses de cálcio (MOCHKO, 2017), a pulverização é uma das principais formas de controle da ferrugem asiática nesta cultura, portanto, a escolha correta da forma de pulverização pode influenciar diretamente na eficiência do controle químico da doença (CUNHA et al., 2008; CUNHA; PERES, 2010; GODOY et al., 2020), como foi o caso demonstrado neste estudo. De uma maneira geral a pulverização controlou de forma eficiente a severidade de ataque da ferrugem na cultura da soja em ambos os ensaios, e com exceção das pulverizações realizadas com drone em baixa vazão (10 L ha⁻¹),

a pulverização com drone (vazão 15 L ha⁻¹) e pulverizador autopropelido apresentou severidade de ataque menor que 1%.

Figura 5 - Severidade de ataque de Ferrugem (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.



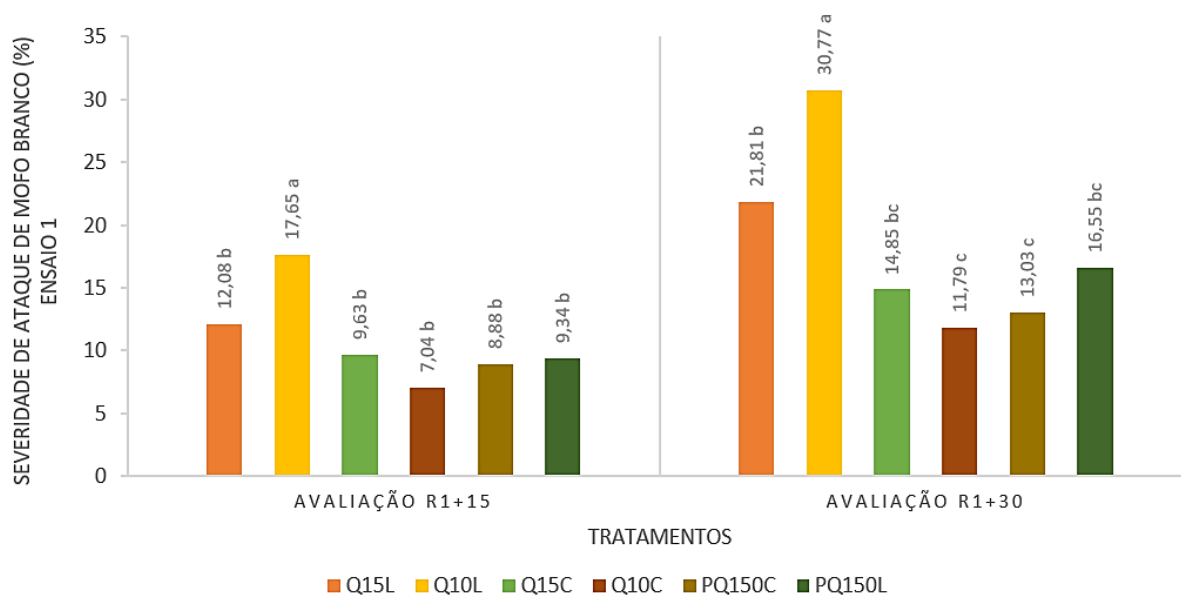
Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2023).

A segunda doença avaliada foi o mofo branco. A doença é causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, e é uma das doenças mais antigas da soja, conhecida por causar potenciais perdas na produtividade (HENNING et al., 2014). O controle do mofo branco na cultura da soja é difícil e complexo devido à estrutura de resistência do fungo no solo, entre outras particularidades. De acordo com Meyer et al. (2018), a aplicação de fungicidas foliares é a medida mais eficiente para proteção das plantas da infecção pelo patógeno. No ensaio 1 (Figura 6), em ambos os estágios de avaliação, a pulverização Q10L mostrou-se como inferior no controle da severidade de ataque a cultura da soja, com 82,35% de eficiência de controle no estágio R1+15 e 69,23% no estágio R1+30. No estágio R1+15, os demais tratamentos não diferiram entre si, sendo que os tratamentos com drone em pulverização de bico cônico (Q10C e Q15C) e os com pulverizador autopropelido apresentaram eficiências superiores a 90%. Em relação à avaliação realizada no estágio R1+30 os tratamentos Q10C e PQ150C apresentaram as melhores eficiências contra a severidade de ataque de mofo branco, mas por sua vez, não

diferiram dos tratamentos Q15C e PQ150L, os quatro tratamentos apresentaram eficiência média de aproximadamente 86%.

Figura 6 - Severidade de ataque de Mofo Branco (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.



Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

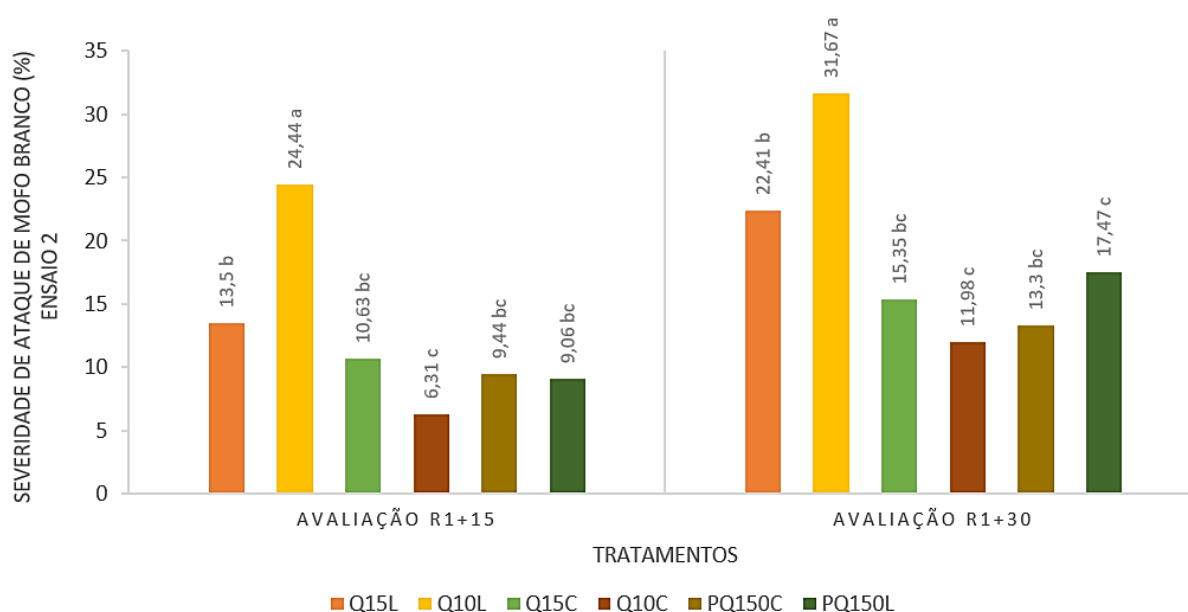
Fonte: Autor (2023).

No ensaio 2 (Figura 7) foram observados resultados semelhantes, assim como para avaliação da severidade de ataque de ferrugem, em uma análise gráfica, os ensaios 1 e 2 não demonstram diferenças nas barras, como já era esperado. Na avaliação de severidade do mofo branco, independente do aumento já esperado da severidade na avaliação em estágio mais avançado (R1+30), os tratamentos se comportaram de forma semelhante nos dois estágios. O tratamento Q10L demonstrou a menor eficiência, refletindo uma severidade de ataque de 24,44 e 31,67% nos estágios R1+15 e R1+30, respectivamente. As maiores eficiências foram observadas quando a pulverização foi realizada no tratamento Q10C, mas este por sua vez, não diferiu dos tratamentos Q15C, PQ150L e PQ150C. Em média a eficiência observada foi de 85%.

Segundo o que foi demonstrado por Meyer et al. (2020) em seu experimento, a severidade média de mofo branco sem aplicação de fungicidas foi de 54,1%. No presente experimento, nas avaliações mais tardias, a maior severidade foi relatada com a pulverização

do tratamento Q10L, com 30,77% de severidade no ensaio 1, e 31,67% no ensaio 2, ainda na avaliação tardia, a severidade de ataque mais baixa foi de aproximadamente 12%, expressa pelo tratamento Q10C considerando os dois ensaios. O resultado frente ao ataque de mofo branco sugere a diferença entre a aplicação com bico do tipo cônico e do tipo leque, sendo o cônico aparentemente mais eficiente se usado em baixa vazão, e neste caso, o tipo leque não seria recomendado. Os resultados das porcentagens de ataque de mofo branco em grupos tratados com fungicidas são semelhantes aos relatados por Meyer et al. (2020).

Figura 7 - Severidade de ataque de Mofo Branco (%) avaliada em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.



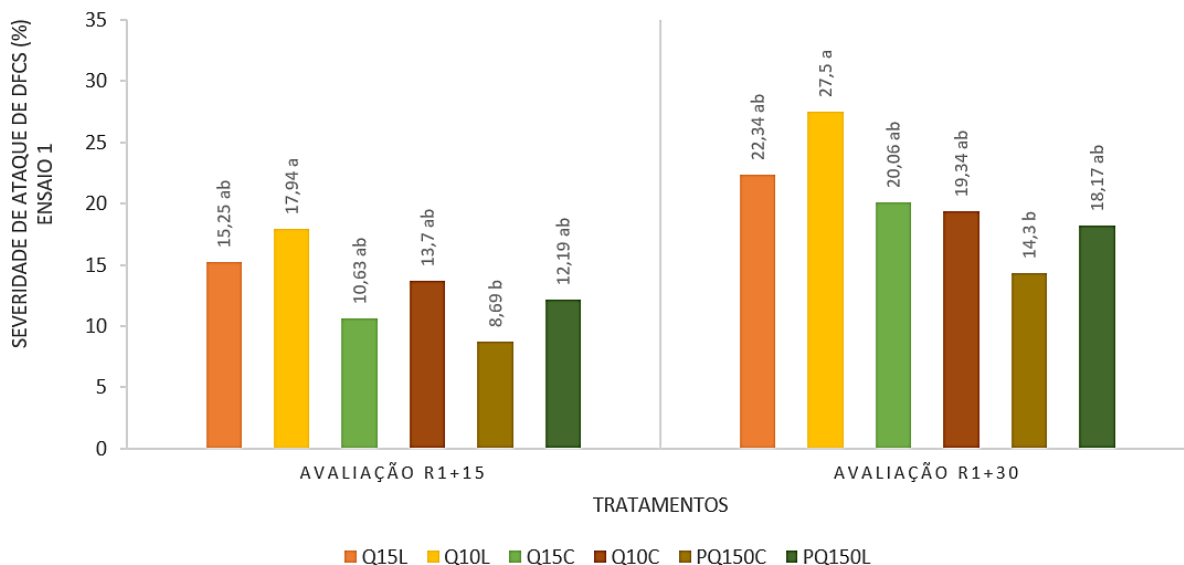
Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2023).

A severidade de ataque de DFCs foi a que menos diferiu em relação aos modos de pulverização, por outro lado, foi a doença com as maiores severidades de ataque dentre as três avaliadas. No ensaio 1 (Figura 8) a única diferença observada foi entre a pulverização com Q10L e PQ150C, sendo o Q10L inferior no controle das DFCs. Os demais tratamentos não diferiram entre si. No estágio R1+15% a maior severidade (17,94%) foi observada com o tratamento Q10L, e a menor severidade (8,69%) com o tratamento PQ150C. No estágio R1+30 o padrão expresso é semelhante, com um aumento na severidade, sendo a maior de 27,5% e a menor de 14,3%, nos tratamentos Q10L e PQ150C, respectivamente. Os resultados indicam a

eficiência do drone pulverizador, uma vez que se utilizado na pulverização com vazão de 15L ha⁻¹ em bico cônico ou leque ou até com vazão de 10L ha⁻¹ em bico cônico, não difere do tratamento PQ150C, detentor da maior eficiência.

Figura 8 - Severidade de ataque de Doenças de Final de Ciclo (DFCs; %) avaliadas em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 1.

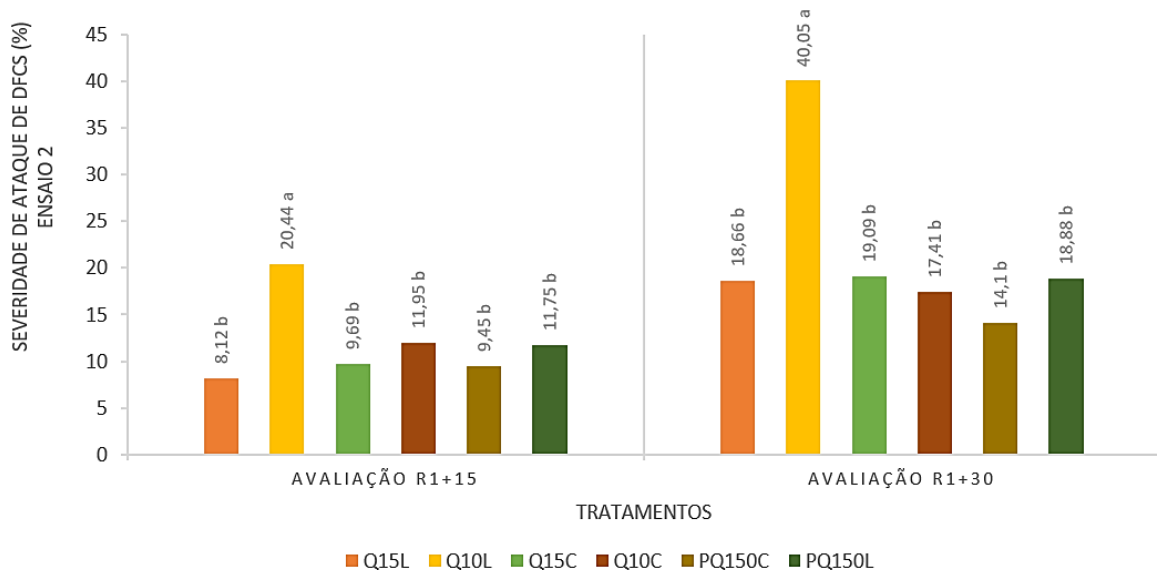


Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2023).

Em relação à severidade de ataque de DFCs na cultura da soja avaliada no ensaio 2 (Figura 9), em ambos os estágios de desenvolvimento, apenas o tratamento Q10L diferiu dos demais tratamentos de pulverização. Assim como observado para as demais doenças avaliadas, o tratamento de pulverização com vazão de 10 L ha⁻¹ foi o responsável pela menor eficiência de controle, refletindo em uma severidade de ataque superior a 40% na avaliação tardia, neste mesmo estágio de avaliação, os demais tratamentos apresentaram severidade média de 17,62%.

Figura 9 - Severidade de ataque de Doenças de Final de Ciclo (DFCs; %) avaliadas em dois estágios de desenvolvimento (R1+15 e R1+30) no Ensaio 2.



Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra em cada momento de avaliação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2023).

Diversos fatores interferem na qualidade da aplicação de fungicidas utilizando drones. Entre eles estão altura e velocidade de voo, tamanho da gota e elementos geradores, taxa de aplicação e propriedades da calda. Assim, é fundamental conhecer o efeito desses fatores na eficácia dos tratamentos; entretanto, especialmente no Brasil, a disponibilidade de pesquisas científicas ainda é mínima e não foram encontrados na cultura da soja, até o momento, dados na literatura para fundamentar essa discussão.

Na cultura do trigo, ao comparar a pulverização via drone com outros métodos de aplicação (pulverizador costal e pulverizador autopropelido), Xiao et al. (2020a) constataram que a aplicação com drone resultou em maiores depósitos de fungicida em todos os terços das plantas de trigo, garantindo a melhor eficácia contra *Fusarium graminearum* e a redução da concentração de micotoxinas. Além disso, a pulverização via drone resultou na menor perda de fungicida para o solo, que foi de apenas 21%. Em contrapartida, aplicações com pulverizador costal e pulverizador autopropelido levaram a perdas de 59% e 73%, respectivamente. Essa redução na perda de produto está relacionada à maior densidade de gotas e cobertura do alvo, características das aplicações de drone, que utilizam gotas finas.

Wang et al. (2019) avaliaram a eficácia dos drones no controle de oídio e pulgões no trigo e observaram que a utilização de drone com vazão de 18 L ha⁻¹ resultou em maior eficácia

de controle do oídio e pulgões do que a dose de 9 L ha⁻¹. De forma similar, Wang et al. (2020c) estudaram o impacto da taxa de aplicação e da adição de adjuvantes na eficácia de controle de fungicidas e inseticidas aplicados via drone e pulverizador costal. Os autores concluíram que a densidade e a cobertura de gotas aumentaram com o aumento da taxa de aplicação de 9 L ha⁻¹ para 18 L ha⁻¹ e com a adição de adjuvantes (óleo metilado) e que o controle era mais eficiente quando realizado com drones do que com a aplicação com pulverizador costal. Avaliando a eficácia do drone pulverizador no cultivo de pimenta, Xiao et al (2020b) obtiveram menor densidade de gotas e uniformidade de deposição com o uso de drones, e ainda assim, a eficácia contra *Phytophthora capsici* foi semelhante ou ligeiramente menor do que com pulverizador costal.

Em relação a produtividade, avaliada em sc ha⁻¹, no ensaio 1 (Tabela 6), a única diferença observada foi entre PQ150C e Q10L, e assim como em outros parâmetros avaliados anteriormente, PQ150C foi mais eficaz, se comparado somente ao Q10L (87 vs 74 sc ha⁻¹), já que frente aos outros tratamentos, a produtividade não diferiu. Os demais tratamentos não diferiram entre si, e entre os dois modos de pulverização citados. No ensaio 2 (Tabela 6), o único tratamento que diferiu dos demais foi PQ150C, com a maior produtividade alcançada entre os modos de pulverização, culminando em aproximadamente 99 sc ha⁻¹. Os demais tratamentos não diferiram entre si. A produtividade geral variou de 80,4 (ensaio 2) a 99 sc ha⁻¹ (ensaio 2), com um coeficiente de variação de aproximadamente 6%, considerando os dois ensaios.

Tabela 6 - Produtividade da soja (sc ha⁻¹) sob diferentes modelos de pulverização.

Modelo de pulverização	Produtividade em sc/há	
	Ensaio 1	Ensaio 2
Q15L	82,26 ab	80,40 b
Q10L	74,49 b	75,29 b
Q15C	82,03 ab	85,43 b
Q10C	77,94 ab	76,30 b
PQ150C	86,97 a	98,99 a
PQ150L	80,63 ab	80,63 b
CV (%)	5,69	6,10

Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; as médias são seguidas pelo desvio padrão.

As técnicas para melhorar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas estão em constante desenvolvimento e as doenças estão entre os fatores que mais depreciam a produtividade da cultura da soja no Brasil, com destaque para as doenças foliares causadas por fungos (DEBONA, 2022). Dados gerais a respeito da produtividade da soja no Brasil na safra 2020/21 com aplicação de quatro manejos fungicidas indicaram uma produtividade média 3.299 kg ha⁻¹ (DEBONA, 2022), em relação a safra de 2022/23, com levantamento realizado em junho, a produtividade média foi de 3.508 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). No estudo em questão, a produtividade média alcançada por todos os manejos foi superior à produtividade média do Brasil na última safra, indicando o potencial dos tratamentos utilizados.

São escassos os trabalhos que avaliaram a produtividade de culturas com a pulverização via drone. Ao trabalhar com a comparação entre a pulverização via drone e pulverizador costal na cultura do trigo, Zhang et al. (2020) constataram que a aplicação via drone proporcionou maiores rendimentos de trigo e foi mais eficiente do que a aplicação via pulverizador costal. O número de espigas e grãos por espiga não foi diretamente afetado pelos diferentes métodos de pulverização. Porém, a aplicação com drone aumentou a massa de 1.000 grãos, resultando em um aumento de 14,6% na produtividade do trigo.

É importante destacar que além das funcionalidades citadas ao longo do trabalho, o valor comercial de aquisição de um drone como o utilizado no estudo em questão representa 12,7% do valor do mesmo pulverizador autopropeleido utilizado (R\$ 1.850.000,00 e R\$ 235.000,00; COTAÇÃO FORNECEDOR, 2023), ou seja, considerando a similaridade no contexto produtivo, e que o método de aplicação avaliado neste estudo está em desenvolvimento (o que explica o conjunto limitado de dados científicos publicados relacionados à eficácia e qualidade da aplicação, em comparação com um método convencional de aplicação), os dados aqui publicados fornecerão embasamento para estudos futuros e indica que seria interessante uma avaliação considerando o caráter econômico para atestar não só a viabilidade técnica, mas econômica do drone pulverizador.

5 CONCLUSÃO

A aplicação com drone demonstrou distintos resultados entre os tratamentos em relação ao bico do tipo cônico e tipo leque, bem como a vazão de 15 e 10 L ha⁻¹ a escolha da ponta de aplicação e da vazão pode trazer resultados distintos em controle de doenças e também em produtividade.

O tratamento com drone pulverizador com bico cônico e vazão de 15 L ha⁻¹ obteve melhores resultados dentre os estudados, sendo semelhante em diversos parâmetros ao pulverizador autopropelido com vazão de 150 L ha⁻¹ comprovando que a tecnologia permitiu ao drone obter resultados no controle de doenças e produtividade próximo ao promovido pelo pulverizador autopropelido.

Por outro lado, o uso da pulverização com drone em vazão de 10 L ha⁻¹ apresentou resultados de menor eficiência comparado aos demais, culminando nas maiores severidades de doenças.

Apesar de resultar nos menores números de sc ha⁻¹, não houve diferença para atestar a menor produtividade. Em relação aos pulverizadores autopropelidos, o bico cônico por vezes indica melhores resultados. Vale ressaltar que a tecnologia de pulverização via drone é um novo método de aplicação e oferece uma ferramenta adicional para proteção de cultivos. Pesquisas adicionais são necessárias para entender e modelar melhor o movimento das gotas e otimizar as configurações do sistema de pulverização que irão melhorar esta oferta tecnológica, tornando-a mais valiosa para uso agrícola. Entretanto, desde já com o presente trabalho fica evidenciado o potencial do uso de drones pulverizadores frente aos pulverizadores autopropelidos desde que se trabalhe com vazão e pontas de aplicação adequadas, pois a sua variação pode trazer resultados com grande amplitude de controle e produtividade.

REFERÊNCIAS

- AKTAR, W., SENGUPTA, D., CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary toxicology**, v. 2, p. 1–12, 2009.
- ALMEIDA, A. M. R. et al. Doenças da soja (*Glycine max*). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (Eds.). Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. **Agrônômica Ceres**, v. 1, p. 569-588. 2005.
- ALVES, D. **Os 50 maiores produtores de soja do mundo**. Disponível em: <https://socioficial.com.br/os-50-maiores-produtores-de-soja-do-mundo/> Acesso em: 15 fev. 2023.
- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso geral**. 2017, 26p.
- ANAC - Agência nacional de aviação civil. **Regras de órgãos brasileiros sobre operação de drones**. 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/regras-de-todos-os-orgaosbrasilios-sobre-operacao-de-drones> Acesso em: 10 jul. 2023.
- ANDEF – Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. São Paulo: Línea Creativa, 2014. 76 p.
- ANTONELLO, G. P. et al. Aplicação aérea x aplicação terrestre: benefícios visando eficiência e produtividade. **Anais do Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2020.1p.
- ARMSTRONG-CHO, C. et al. The effect of carrier volume on ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) control on chickpea. **Crop Protection**, v. 27, p. 1020-1030, 2008.
- AZEVEDO, L. A. S. et al. **Resistência parcial de genótipos de soja a *Phakopsora pachyrhizi* e sua interação com fungicidas**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jabotical, 2005. 68f.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. C. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**, Embrapa Agroindústria Tropical (Documentos Embrapa) n.102, 2006. 48p.
- BALARDIN, R. S. et al. Como decifrar o enigma: ferrugem asiática. **Cultivar: Grandes Culturas**, v. 7, n. 78, p. 4-15, 2006.
- BERNARDES, M. F. F. et al. Impact of pesticides on environmental and human health. In Toxicology Studies — Cells, Drugs and Environment, **IntechOpen**, p. 195–233, 2015.
- BOLAND, G.; HALL, R. Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 16, p. 93-108, 1994.
- BOLTON, M. D.; THOMMA, B. P.; NELSON, B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. **Molecular Plant Pathology**, v. 7, p. 1-16, 2006.

- BORAH, M. Identification of soybean diseases in Assam. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 10, p. 34154-34159, 2019.
- BRODERICK, K.; ZIEMS-JACKSON, T. Soybean Disease Update. **Crop production clinic proceedings**, 2020. Disponível em: <https://cropwatch.unl.edu/2020/soybean-disease-update> Acesso em: 17 jun. 2023.
- CARVALHO, F. et al. Adjuvantes na deposição de aplicações aéreas e terrestres. **Energia na Agricultura**, v. 28, p. 215-221, 2013.
- CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, D102, 2018. 12 p.
- CHAD, D. L. et al. Glyphosate-resistant soybean management system effect on Sclerotinia stem rot. **Weed Technology**, v. 19, p. 580-588. 2005.
- CHAIM, A.; CAMARGO NETO, J.; PESSOA, M. C. P. Y. **Uso do programa computacional Gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas**. Embrapa Meio Ambiente. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento) n. 39, 2006, 18p.
- CHUN, D.; KAO, L. B.; LOCKWOOD, J. L. Laboratory and field assessment of resistance in soybean to stem rot caused by Sclerotinia sclerotiorum. **Plant Disease**, v. 71, p. 811-815. 1987.
- CIDADE BRASIL. **Município São Bento Abade**. 2019. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-sao-bento-abade.html> Acesso em: 11 dez. 2022.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. A produtividade da soja: análise e perspectivas. **Compêndio de estudos Conab**, v. 10, 2017, 35p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Conab prevê novo recorde na produção de grãos em 312,4 milhões de toneladas na safra 2022/23**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4774-conab-preve-novo-recorde-na-producao-de-graos-em-312-4-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23> Acesso em: 15 mar. 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjunturas da agropecuária – Safra 2022/2023**. 2023, 1p.
- CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. **SciELO Books**, 2018. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/bv3jx/pdf/brandao-9786586383010-15.pdf> Acesso em: 05 fev. 2023.
- CUNHA, J. P. et al. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R., PERES, T. C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem-asiática. **Acta Scientiarum**, v. 32, n. 4, p. 597-602, 2010.
- CUNHA, J. P.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. Tecnologia de aplicação no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 950-957, 2014.

- CUNHA, J. P. A. R. et al Efeitos de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.
- DALLA LANA, F. et al. Meta-analytic modeling of the decline in performance of fungicides for managing soybean rust after a decade of use in Brazil. **Plant Disease**, v. 102, p. 807–817, 2018.
- DANTAS, A. A, A.; Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG e região. **Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 6, p-1862, 2007.
- DEBONA, D. **Impacto do número de aplicações de fungicida na produtividade da soja**, Elevagro, 2023. Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/direto-da-pesquisa/impacto-do-numero-de-aplicacoes-de-fungicida-na-produtividade-da-soja> Acesso em: 05 ago. 2023.
- DIAS, M. D.; DIAS-NETO, J. J.; SANTOS, M. D. M. Current status of soybean anthracnose associated with *Colletotrichum truncatum* in Brazil and Argentina. **Plants**, v. 8, p. 1-19, 2019.
- DIAS, M. D.; PINHEIRO, V. F.; CAFÉ-FILHO, A. C. Impact of anthracnose on the yield of soybean subjected to chemical control in the north region of Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 42, p. 18-23, 2016.
- FIALLOS, F. R. G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. *Ciencia y Tecnología*, **Garcés**, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2011.
- FENIK, J., TANKIEWICZ, M., BIZIUK, M. Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 30, p. 814–826. 2011.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- GAZZONI, D. L.; CATTELAN, A. J.; NOGUEIRA, M. A. Does the Brazilian soybean production increase pose a threat on the Amazon rainforest? *Embrapa Soja (Documentos)* n. 418, 2019, 30 p.
- GIL, E.; JIMÉNEZ, Á.; RAMOS, F. J. G. **Manual for inspection of sprayers in use and PRITEAF, dedicated software for inspection of sprayers: success tools developed for the inspector's training process in Spain**. In: 5th European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection os Sprayers in Europe – SPISE 5. Montpellier – France, p. 15-17, 2014.
- GODINHO JÚNIOR, J. D. et al. Reduction in the spray drift of 2,4-D in tomato using hydraulic nozzles with air induction and LI-700 adjuvant. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 134-139, 2018.
- GODOY, C. V.; CANTERI, M. G. Efeito da severidade de oídio e crestamento foliar de cercospora na produtividade da cultura da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 526-531, 2004.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja. **Fitopatologia brasileira**, v. 31, 2006.

GODOY, C. V. et al. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 56-61, 2009.

GODOY, C. V. et al. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 407–421, 2016.

GODOY, C. V. et al. Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Embrapa Soja (Documentos) (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213614/1/DOC-428.pdf> Acesso em 08 mai. 2023.

HARIKRISHNAN, R.; DEL RÍO, L. E. A logistic regression model for predicting risk of white mold incidence on dry bean in North Dakota. **Plant Disease**, v. 92, p. 42-46. 2008.

HAYES, T. B. et al. From silent spring to silent night: Agrochemicals and the anthropocene. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 5, p. 1–24. 2017.

HENNING, A. A. et al. **Manual de identificação de doenças de soja**. Embrapa Soja, (Documentos) n. 256. 2014. 76 p.

HOFFMAN, D. D. et al. Yield and seed quality of soybean cultivars infected with *Sclerotinia sclerotiorum*. **Plant Disease**, v. 82, p. 826-829. 1998.

HOFFMANN, L. L. **Controle de oídio e doenças de final de ciclo em soja**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2002, 168p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conheça cidades e estados do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 12 set. 2022.

ITO, M. F.; TANAKA, M. A. de S. Soja: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematoides. **Fundação cargill**, 1993. 48p.

JULIATTI, F. C. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade de mofo branco em soja. **Bioscience Journal** [online], v. 29, p.676–680, 2013.

JULIATTI, F. C.; AZEVEDO, L. A. S.; JULIATTI, F. C. Strategies of Chemical Protection for Controlling Soybean Rust. **The Basis of Yield, Biomass and Productivity**, InTech, 2017.

JULIATTI, F. C. et al. Characterization of soybean genotypes showing partial resistance to soybean rust. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n.3, p. 313-319, 2019.

LAN, Y. B.; CHEN, S. D. Current status and trends of plant production UAV and its spraying technology in China. **Journal of Precision Agricultural Aviation**, v.1, p.1-9, 2018.

LEHMAN, S. G.; WOLF, F. A. Soybean anthracnose. **Journal of Agriculture Research**, v. 22, p. 381-390, 1926.

LI, X. et al. Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. **Pest Management Science**, v. 77, p. 527-537, 2020.

- LI, X. et al. Comparison of UAV and fixed-wing aerial application for alfalfa insect pest control: evaluating efficacy, residues, and spray quality. **Pest Management Science**, v. 77, p. 4980-4992, 2021.
- LOBO JUNIOR, M. **Manejo do mofo branco**. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, Goiânia. Anais... Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.
- LOVATO, F. et al. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian journal of food technology**, v. 21, p. e2017068, 2018.
- LUCHETTI, A. Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro. **Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual**, 2019.
- MACHADO, T. M. Inspeção periódica de pulverizadores de barras na região de guarapuava – pr. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19; p. 1225-1233, 2014.
- MAMMARELLA, M. et al. Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: A theoretical framework. **Biosystems Engineering**, 2021.
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. **Aviação agrícola**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacao-agricola> Acesso em: 01 ago. 2023.
- MARTINEZ-GUANter, J. et al. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 226-234, 2020.
- MARTINS, M. C. Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsuo. & Tomoyasu) Gardner com e sem controle químico. (Tese de Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2003, 116p.
- MARTINS, M. C. et al. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 179-184, 2004.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139p.
- McCRACKEN, A. **Mais eficiência, menor volume**. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/mais-eficiencia-menor-volume> Acesso em: 15 jul. 2023.
- MERTEN, J. O. **Consumo de produtos fitossanitários no Brasil**. 2016. Disponível em: <http://sindiveg.org.br/consumo-de-produtos-fitossanitarios-no-brasil/> Disponível em: 2023.
- MERTEN J. O, BANZATO, T. C. 2016. **Setor de produtos fitossanitários no Brasil**. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Casimiro/LFN/AULA%20ESALQ%20-%20SETOR%20DE%20PRODUTOS%20FITOSSANITARIOS%20-20agosto%202016.pdf> Disponível em: 2023.

- MEYER, M. C. et al. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2017/18: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja. (Circular técnica), n. 140, 6p. 2018.
- MEYER, M. C. et al. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2020/2021: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja. (Circular técnica), n. 173, 10p. 2020.
- MILA, A. L. et al. Impact of management practices on prevalence of soybean *Sclerotinia* stem rot in the north-central United States and on farmers' decisions under uncertainty. **Plant Disease**, v. 87, p. 1048- 1058. 2003.
- MOCHKO, A. C. R. **Fertilização do solo na severidade da ferrugem asiática da soja.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Viçosa, 2017, 86p.
- NATARAJ, V. et al. Genetic inheritance and identification of germplasm sources for anthracnose resistance in soybean [*Glycine max*(L.) Merr.]. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, p. 1449-1456, 2020.
- OLIVEIRA, A. G. **Caracterização da distribuição do tamanho de gotas em emulsões água e óleo utilizando diferentes técnicas de medição.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Itajubá - Instituto de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Itajubá, 2010.
- PASSOS, A. G.; CAVALCANTI, L. B.; OLIVEIRA, R. S. **Projeto de veículo aéreo não tripulado (VANT) agrícola.** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.
- PEREIRA, C. E. et al. Tratamento fungicida de sementes de soja inoculadas com *Colletotrichum truncatum*. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2390-2395, 2009.
- PESQUEIRA, A. S.; BACCHI, L. M. A.; GAVASSONI, W. L. Associação de fungicidas no controle da antracnose da soja no Mato Grosso do Sul. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 203-212, 2016.
- PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. **Controle químico de oídio e de doenças de fim de ciclo na cultura de soja na safra 1998/1999.** Embrapa Trigo. (Documentos) n. 4, p. 199-204, 1999.
- 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. p. 17-27, 2019.
- RAMOS, H. H.; PIO, L. C. **Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.** In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. UFV: Viçosa, p. 133-202, 2003.
- REIS, E. M.; ZANATTA, M. Cálculo do dano do amassamento, na cultura do trigo, pelo rodado do equipamento na primeira aplicação de defensivos. 2017. Disponível em:

<https://www.orsementes.com.br/cockpit/storage/uploads/2021/11/07/618830fef159bAmassamento-clculo-dano.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2023.

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

ROGÉRIO, F.; CIAMPI-GUILLARDI, M.; BARBIERI, M. C. G. Phylogeny and variability of *Colletotrichum truncatum* associated with soybean anthracnose in Brazil. **Journal of Applied Microbiology**, v. 122, p. 402-415, 2016.

ROGÉRIO, F.; GLADIEUX, P.; MASSOLA JUNIOR, N. S. et al. Multiple introductions without admixture of *Colletotrichum truncatum* associated with soybean anthracnose in Brazil. **Phytopathology**, v. 109, p. 681-689, 2019.

ROGÉRIO, F. et al. Genome Sequence Resources of *Colletotrichum truncatum*, *C. plurivorum*, *C. musicola*, and *C. sojae*: Four Species Pathogenic to Soybean (*Glycine max*). **Phytopathology**, v. 110, p. 1497-1499, 2020.

RUAS, R. A. A. et al. Condições operacionais das aplicações de agrotóxicos empregando-se pulverizadores hidráulicos. **Global Science Technology**, v. 07, p.115-128. 2014.

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

SANTOS, J. M. F. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. São Paulo: **Instituto Biológico**, 2002. 62 p.

SCHERM, H. et al. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v. 28, p. 774–782, 2009.

SILVA, H. F. et al. Bioprospection of *Trichoderma* spp. originating from a Cerrado-Caatinga ecotone on *Colletotrichum truncatum*, in soybean. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, v. 15, p. 1-7, 2020.

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021.

STEADMAN, J. R., White mold - a serious yield - limiting disease of bean. **Plant disease**, v. 67, p. 346-350, 1983.

STRASSEMeyer, J. et al. SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. **Crop Protection**, v. 97, p. 28–44, 2017.

TALLOS DRONES. **DJI Agricultural Sprayer Drones Advantages over Manual Ground Spraying**. 2023. Disponível em: <https://talosdrones.com/blogs/blog/dji-agricultural-sprayer-drones-advantages-over-manual-ground-spraying> Acesso em: 05 jun. 2023.

UNITED STATES. **Department of Agriculture. Oilseeds: world markets and trade.** 2017. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-oilseeds-and-products-update-15> Acesso em: 12 mai. 2023.

USGS. **Science for a Changing World. India has the highest net cropland area while South Asia and Europe are considered agricultural capitals of the world.** 2017. Disponível em: <https://www.usgs.gov/news/featured-story/new-map-worldwide-croplands-supports-food-and-water-security> Acesso em: 2023.

XIAO, J. et al. Application method affects pesticide efficiency and effectiveness in wheat fields. **Pest Management Science**, v. 76, p. 1256-1264, 2020a.

XIAO, Q. et al. Comparison of droplet deposition control efficacy on phytophthora capsica and aphids in the processing pepper field of the unmanned aerial vehicle and knapsack sprayer. **Agronomy**, v. 10, e:10020215, 2020b.

ZHANG, K. et al. Evaluation of herbicides aerially applied from a small unmanned aerial vehicle over wheat field. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, p. 49-53, 2020.

WANG, J. et al. Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, p. 5-12, 2018a.

WANG, X. et al. Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, p. 54-58, 2018b.

WANG, G. et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, p. 1546-1555, 2019.

WANG, C. et al. Spray drift characteristics test of unmanned aerial vehicle spray unit under wind tunnel conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 13, p. 13-21, 2020a.

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, e. 139793, 2020b.

WANG, G. et al. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, p. 65-72, 2020c.

WORKNEH, F.; YANG, X. B. Prevalence of Sclerotinia stem rot of soybean in north central United States in relation to tillage, climate, and latitudinal positions. **Phytopathology**, v. 90, p. 1375-1382. 2000.

YORINORI, J. T.; YUYAMA, M. M. Doenças da soja. Boletim de pesquisa de soja. **Fundação MT**, n. 12, p. 98-122. 2008.