

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NA QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE GOTAS EM APLICAÇÕES AGRÍCOLAS

Diego José Bernardo de Oliveira¹; Luiz Vitor Crepaldi Sanches²

¹Graduando do Curso de Engenharia Agrônômica – Faculdade Galileu - Botucatu/SP; ²Docentes da Faculdade Galileu - Botucatu/SP

E-mail do aluno: diegaooliv@gmail.com

RESUMO

A eficiência na aplicação de defensivos agrícolas é um dos principais fatores que determinam o sucesso das práticas fitossanitárias e a sustentabilidade da produção agrícola. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da pressão de pulverização e da velocidade de deslocamento sobre a qualidade e a eficiência da pulverização em condições controladas de campo. O experimento foi conduzido na fazenda experimental Luiz Lourenço Lança, em Taguaí (SP), utilizando um pulverizador de barras equipado com bicos do tipo leque (Jacto JSF 11003). Adotou-se delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial 4×4 , combinando quatro níveis de pressão (1, 2, 3 e 4 bar) e quatro velocidades de deslocamento (3, 5, 7 e 9 km h⁻¹). As avaliações foram realizadas por meio da análise de cartões hidrossensíveis e processadas com o software Gotas (EMBRAPA), obtendo-se variáveis como vazão, cobertura, densidade, fator de dispersão e diâmetro volumétrico médio (D50). Os dados foram submetidos a modelos lineares generalizados (GLM) para análise dos efeitos principais e de interação entre pressão e velocidade. Os resultados indicaram que o aumento da pressão elevou significativamente a vazão ($p < 0,001$) e a cobertura ($p < 0,001$), porém reduziu a densidade de gotas ($p = 0,048$), demonstrando um equilíbrio delicado entre volume aplicado e deposição efetiva. A velocidade exerceu efeito negativo sobre a vazão, mas contribuiu positivamente para a cobertura quando combinada a pressões moderadas. Houve interação significativa entre pressão e velocidade para as variáveis de densidade e cobertura, evidenciando que o ajuste isolado de um único parâmetro pode comprometer a eficiência da aplicação. A análise do D50 mostrou que pressões elevadas aumentaram o tamanho médio das gotas, enquanto velocidades maiores intensificaram sua fragmentação. De modo geral, pressões intermediárias (2–3 bar) associadas a velocidades médias (5–7 km h⁻¹)

proporcionaram o melhor equilíbrio entre uniformidade, densidade e cobertura, favorecendo a eficiência e reduzindo riscos de deriva e escoamento. Conclui-se que o manejo integrado da pressão e da velocidade é essencial para a calibração de pulverizadores, otimizando a deposição e contribuindo para o uso racional de defensivos agrícolas e a sustentabilidade das práticas fitossanitárias.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação, deposição de gotas, pressão de trabalho, velocidade de deslocamento, eficiência operacional.

ABSTRACT

The efficiency of pesticide application is one of the key factors determining the success of crop protection practices and the sustainability of agricultural production. This study aimed to evaluate the effects of spray pressure and travel speed on spray quality and operational performance under controlled field conditions. The experiment was carried out at the Luiz Lourenço Lança Experimental Farm, in Taguaí, São Paulo, using a boom sprayer equipped with flat-fan nozzles (Jacto JSF 11003). A randomized block design was adopted, with four replications, in a 4×4 factorial arrangement combining four pressure levels (1, 2, 3, and 4 bar) and four travel speeds (3, 5, 7, and 9 km h⁻¹). Evaluations were performed using water-sensitive papers, analyzed with the Gotas software (EMBRAPA), generating variables such as flow rate, coverage, droplet density, droplet size dispersion factor, and volumetric median diameter (D50). Data were analyzed using generalized linear models (GLM) to assess main and interaction effects between pressure and speed. Results showed that increasing spray pressure significantly raised flow rate ($p < 0.001$) and coverage ($p < 0.001$), but reduced droplet density ($p = 0.048$), highlighting a delicate balance between applied volume and effective deposition. Travel speed had a negative effect on flow rate but positively influenced coverage when combined with moderate pressures. A significant interaction between pressure and speed was observed for droplet density and coverage, indicating that adjusting a single parameter in isolation may compromise application efficiency. The analysis of D50 revealed that higher pressures produced larger droplets, whereas higher speeds enhanced droplet fragmentation. Overall, intermediate pressures (2–3 bar) combined with medium travel speeds (5–7 km h⁻¹) provided the best balance between uniformity, density, and coverage, enhancing application efficiency and

reducing drift and runoff risks. It is concluded that the integrated management of spray pressure and travel speed is essential for accurate sprayer calibration, promoting efficient droplet deposition and contributing to the rational use of pesticides and sustainable crop protection practices.

Keywords: application technology, droplet deposition, spray pressure, travel speed, operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A interação entre condições de solo, clima e relevo, aliada aos avanços científicos e tecnológicos, às políticas públicas e ao empreendedorismo dos produtores rurais, permitiu que o Brasil se destacasse como um dos líderes mundiais na produção e exportação de alimentos (MASSRUHÁ et al., 2020). Apesar dos desafios impostos pela presença de organismos patogênicos nas lavouras, a agropecuária nacional se destaca entre as maiores do mundo e exerce papel estratégico na economia do país. Em 2023, o setor registrou crescimento de 15,1%, contribuindo para a elevação de 2,9% no Produto Interno Bruto brasileiro em comparação ao ano anterior, totalizando R\$ 10,9 trilhões (IBGE, 2024).

Diante desse cenário de elevada produtividade e expansão agrícola, a eficiência no uso de tecnologias aplicadas à proteção das plantas torna-se essencial para manter os níveis de produção e assegurar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Nesse contexto, a eficiência na aplicação de defensivos agrícolas desponta como um fator determinante para o sucesso das práticas fitossanitárias, garantindo o controle eficaz de pragas, doenças e plantas daninhas, além de reduzir perdas e minimizar riscos de contaminação ambiental (SANTOS; SANTOS, 2023; VERMELHO et al., 2024). A qualidade da pulverização, por sua vez, depende diretamente da interação entre variáveis operacionais e ambientais, como o tipo de ponta, a pressão de trabalho, a velocidade de deslocamento e as condições meteorológicas durante a aplicação (MOURA; STRYHALSKI; PAHOLSKI, 2020).

A pressão de serviço dos pulverizadores exerce papel fundamental na formação das gotas, influenciando o diâmetro médio, a cobertura e o potencial de deriva; pressões elevadas produzem gotas finas, mais suscetíveis à evaporação e ao desvio pelo vento, enquanto pressões baixas geram gotas

grandes, com maior tendência ao escorrimento, exigindo ajustes que considerem o tipo de ponta, o defensivo e as condições climáticas (CUNHA et al., 2003; PEREIRA et al., 2022; QUIRINO et al., 2013; SCHNEIDER et al., 2013; SOUZA; CASTRO; PALLADINI, 2007). A velocidade de deslocamento também influencia a eficiência da aplicação, afetando o padrão de deposição e a uniformidade da cobertura foliar, de modo que a seleção da velocidade ideal deve considerar o tipo de cultura, a densidade do dossel e o sistema de aplicação (BENASSI et al., 2019; DIERINGS, 2020; RAETANO; BAUER, 2003). Além disso, a interação entre pressão e velocidade afeta diretamente a deriva, definida como a fração da calda que não atinge o alvo, sendo influenciada por fatores como tipo de ponta, intensidade do vento e regulagens inadequadas; pontas de indução de ar reduzem o potencial de deriva, ao passo que pontas de jato cônico vazio tendem a gerar maiores perdas fora do alvo (BUOSI et al., 2024; COSTA et al., 2007; CUNHA et al., 2003; DA CUNHA, 2008; MASCARA, 2017; VARGAS et al., 2025).

Portanto, compreender e manejar adequadamente as variáveis operacionais da pulverização, especialmente a pressão e a velocidade, é essencial para aprimorar a eficiência de aplicação de defensivos agrícolas. O ajuste preciso desses parâmetros permite maximizar a deposição no alvo, reduzir perdas por deriva e aumentar a eficácia do controle de pragas e doenças, promovendo aplicações mais seguras e sustentáveis (COSTA et al., 2007; QUIRINO et al., 2013; BENASSI et al., 2019).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de variáveis operacionais, como pressão de pulverização e velocidade de deslocamento, sobre as características da pulverização e a eficiência de deposição de gotas, visando otimizar a aplicação de defensivos agrícolas. Busca-se, assim, identificar parâmetros que promovam maior uniformidade de cobertura, redução de perdas e incremento na sustentabilidade das práticas fitossanitárias, contribuindo para o uso racional de insumos e o fortalecimento da produtividade agrícola. Especificamente, o estudo visa quantificar os efeitos das diferentes pressões e velocidades na formação e deposição das gotas, analisar a interação entre esses fatores, determinar o potencial de deriva associado às condições operacionais avaliadas e identificar combinações que resultem em maior eficiência de aplicação, contribuindo para o uso racional de defensivos e o fortalecimento da produtividade agrícola.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Uso de defensivos agrícolas no manejo de culturas

Os defensivos agrícolas, também denominados pesticidas ou agrotóxicos, englobam um conjunto de substâncias químicas, biológicas ou microbiológicas utilizadas para prevenir, controlar ou eliminar organismos considerados nocivos às culturas agrícolas, sendo frequentemente imprescindíveis para manter a produtividade e a qualidade das lavouras (POPP; PETŐ; NAGY, 2013) (FAO, 2023).

Estimativas globais indicam que as perdas por pragas, doenças e plantas daninhas podem variar entre 20% e 40% da produção potencial, o que reforça a importância de medidas de proteção química quando inseridas em programas de manejo integrado de pragas (MIP) e boas práticas agrícolas (FAO, 2023; OERKE, 2006). Além do papel direto na redução de danos, o uso correto de defensivos possibilita a manutenção de padrões de produção estáveis e a viabilização econômica de muitas culturas comerciais (POPP; PETŐ; NAGY, 2013).

Em 2023, o uso total de pesticidas na agricultura mundial foi estimado em 3,73 milhões de toneladas (Mt) de ingredientes ativos, correspondendo a uma queda de 2% em relação a 2022. Apesar dessa redução pontual, o volume utilizado representa um crescimento de 14% na última década e o dobro do observado em 1990 (FAO, 2023).

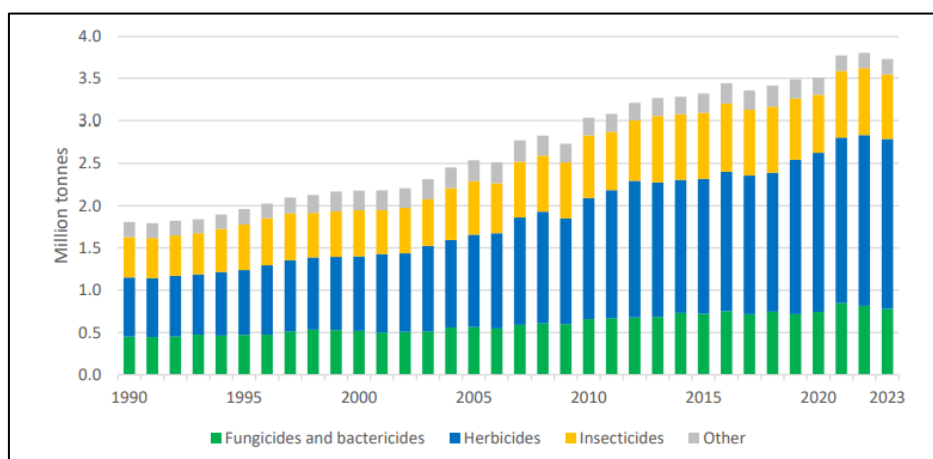


Figura 1. Uso global de pesticidas por categoria (■ Fungicidas e bactericidas, ■ Herbicidas, ■ Inseticidas, ■ Outros). **Fonte:** FAO. 2025. FAOSTAT: Pesticides Use. [Acesso setembro 2025]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Licence:

CC-BY-4.0.

Desde meados da década de 1990, as Américas têm sido a região com maior uso de pesticidas na agricultura em comparação a Ásia, Europa, África e Oceania (Figura 2)(FAO, 2023). Dentro desse contexto regional, o Brasil se consolidou como o maior usuário mundial de pesticidas em 2023, com 801 mil toneladas aplicados para uso agrícola, valor cerca de 86% superior ao dos Estados Unidos (430 mil toneladas), que ocupou a segunda posição (Figura 3)(FAO, 2023).

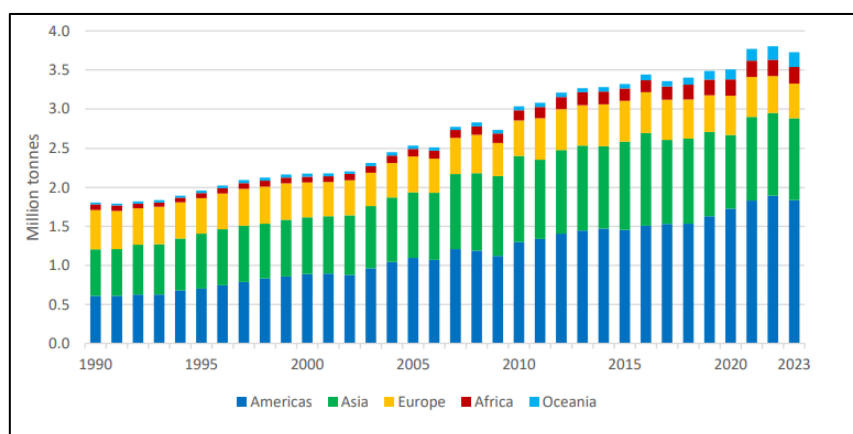


Figura 2. Total de pesticidas usados por região (■ Américas, ■ Ásia, ■ Europa, ■ África, ■ Oceania). **Fonte:** FAO. 2025. FAOSTAT: Pesticides Use. [Acesso setembro 2025]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Licence: CC-BY-4.0.

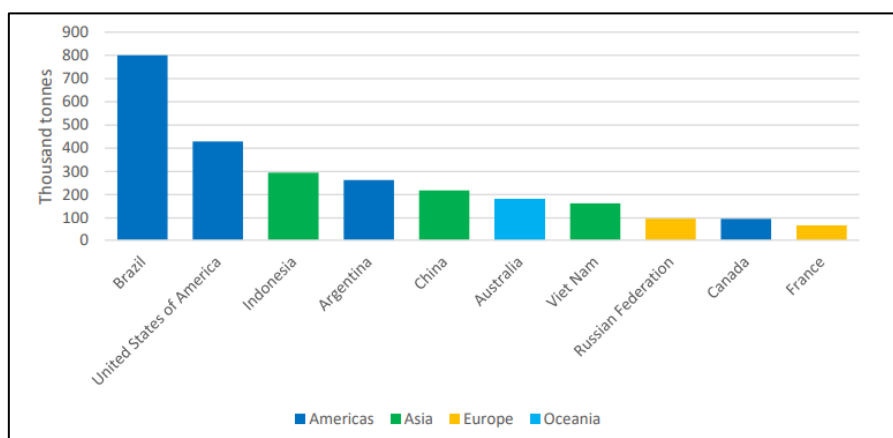


Figura 3. Uso de pesticidas, principais países (2023) (■ Américas, ■ Ásia, ■ Europa, ■ Oceania). **Fonte:** FAO. 2025. FAOSTAT: Pesticides Use. [Acesso setembro 2025]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Licence: CC-BY-4.0.

Esses dados evidenciam a expressiva dependência de defensivos agrícolas nas Américas e, particularmente, no Brasil, como reflexo da intensificação produtiva, da expansão agrícola voltada ao cultivo de commodities e das condições tropicais que favorecem a ocorrência de pragas e doenças. Esse cenário destaca não apenas o papel estratégico desses insumos no manejo fitossanitário em larga escala, mas também os desafios associados à sustentabilidade do modelo agrícola brasileiro. Em 2023, a área tratada com defensivos agrícolas no Brasil aumentou 10,5% em relação ao ano anterior, totalizando 1.424.588 toneladas aplicadas em 2,240 bilhões de hectares, impulsionadas pela expansão da área cultivada e pelas condições climáticas favoráveis ao surgimento de pragas e doenças (FAO, 2023; SINDIVEG, 2023).

Embora os defensivos agrícolas sejam essenciais para manter a produtividade e a viabilidade econômica das culturas, seu uso apresenta desafios significativos relacionados à eficiência e ao impacto ambiental. A aplicação inadequada, seja por excesso de dose, escolha incorreta de equipamentos ou condições climáticas desfavoráveis, pode resultar em perdas do produto, contaminação de solos e corpos d'água, além de afetar organismos não-alvo e a biodiversidade (AZEVEDO; FREIRE, 2006; GABRIEL; BAIO, 2013). Nesse contexto, a eficiência do uso de defensivos depende da adoção de tecnologias de aplicação mais precisas, como pulverizadores com pontas calibradas, sensores e sistemas de monitoramento climático, aliados a práticas de manejo integrado de pragas (MIP) (CONTIERO et al., 2018). Assim, o desafio do setor agrícola reside em equilibrar a proteção das lavouras e a produtividade com a redução dos impactos ambientais, promovendo o uso racional e sustentável desses insumos (POPP; PETŐ; NAGY, 2013).

Tecnologias de aplicação de defensivos

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas refere-se ao conjunto de práticas e equipamentos empregados para distribuir insumos fitossanitários de forma eficiente, segura e econômica. O objetivo principal é garantir a cobertura adequada das plantas, minimizar perdas e reduzir impactos ambientais (CONTIERO et al., 2018). Estudos indicam que, no Brasil, aproximadamente 46% das aplicações de defensivos agrícolas são desperdiçadas devido a falhas na calibração dos equipamentos e na escolha

inadequada das condições climáticas para aplicação (AZEVEDO; FREIRE, 2006; CONTIERO et al., 2018; ECKER et al., 2024).

Os principais equipamentos utilizados na aplicação de defensivos agrícolas incluem:

Pulverizadores Costais

Os pulverizadores costais são equipamentos de uso difundido em áreas pequenas ou de difícil acesso, como hortas e pomares, devido à sua simplicidade, baixo custo e facilidade de operação. Apesar de apresentarem menor capacidade operacional quando comparados a sistemas mecanizados, esses equipamentos permitem aplicações direcionadas e de baixo volume, sendo fundamentais para pequenos produtores e cultivos de base familiar. Estudos mostram que a eficiência da aplicação pode variar em função de fatores como a pressão de trabalho, o tipo de ponta de pulverização e o modo de acionamento, seja manual ou motorizado, influenciando diretamente a cobertura foliar e a uniformidade da deposição (JÚNIOR; COSTA; MILAN, 2021; RODRIGUES et al., 2015; SILVA et al., 2024).

Pulverizadores de Barra

Os pulverizadores de barra são amplamente empregados em culturas extensivas, como soja, milho e algodão, devido à sua elevada capacidade operacional e à possibilidade de cobrir grandes áreas em menor tempo. Esses equipamentos são montados em tratores e possuem barras com múltiplos bicos distribuídos ao longo de sua extensão, permitindo a aplicação uniforme dos defensivos sobre a cultura. A eficiência da pulverização depende diretamente de fatores como altura da barra, pressão de trabalho, tipo de ponta utilizada e velocidade de deslocamento do trator, que influenciam tanto a deposição quanto a deriva das gotas (DA CUNHA; DE MORAIS SILVA, 2010; MATOS et al., 2023; VIANA et al., 2010). Nesse sentido, o uso de pulverizadores de barra, associado a boas práticas de calibração e regulação, é essencial para otimizar a eficácia do controle fitossanitário e reduzir impactos ambientais.

Pulverizadores Autopropelidos

Os pulverizadores autopropelidos constituem equipamentos de alta capacidade operacional, especialmente indicados para culturas extensivas como soja, milho e algodão, em grandes áreas de cultivo. Diferentemente dos pulverizadores acoplados a tratores, estes possuem tração própria, maior

autonomia de deslocamento e possibilidade de regular com precisão a altura da barra, a pressão e o tipo de bico utilizado, garantindo uniformidade na aplicação e redução de perdas de defensivos (MACHADO; QUEIROZ; REYNALDO, 2015). Além disso, a integração de sistemas de controle eletrônico, GPS e sensores de taxa variável permite aplicações localizadas de defensivos e fertilizantes, aumentando a eficiência operacional e contribuindo para a agricultura de precisão (VERGARA; CRUZ, 2025). Estudos indicam que pulverizadores autopropelidos bem regulados e operados segundo boas práticas de calibração podem reduzir significativamente a deriva, melhorar a cobertura foliar e otimizar o uso de insumos, promovendo sustentabilidade econômica e ambiental no manejo fitossanitário (ANDRES et al., 2020; BAESSO et al., 2014).

Drones Agrícolas

Os drones agrícolas, ou veículos aéreos não tripulados (VANTs), representam uma inovação crescente no contexto da agricultura de precisão, permitindo maior eficiência no monitoramento e manejo das lavouras (ALARCÃO JÚNIOR; NUÑEZ, 2023). Estruturados por sistemas de propulsão, navegação, comunicação e controle, esses equipamentos podem operar remotamente ou por rotas pré-programadas. Suas aplicações incluem o monitoramento do desenvolvimento das culturas, o mapeamento de áreas produtivas, a detecção precoce de pragas e doenças, além da pulverização de defensivos e fertilizantes de forma localizada. Estudos recentes demonstram que o uso de drones possibilita maior uniformidade de deposição, redução de desperdícios de insumos e menor exposição do trabalhador rural, configurando-se como alternativa promissora aos métodos convencionais (ALARCÃO JÚNIOR; NUÑEZ, 2023; LOPES; CUNHA; NOMELINI, 2023; SASSU et al., 2024).

Os pulverizadores agrícolas, sejam costais, de barra, autopropelidos ou drones, são compostos por diversos componentes fundamentais que determinam a eficiência e a uniformidade da aplicação de defensivos. Entre esses elementos, destacam-se: as pontas de pulverização, responsáveis pela formação, tamanho e padrão de distribuição das gotas sobre o alvo; os manômetros, que permitem o monitoramento preciso da pressão de trabalho, assegurando a constância da vazão; as bombas, que promovem o fluxo contínuo da calda, mantendo a pressão adequada para o funcionamento do sistema; os bicos, que definem o tipo de jato e influenciam diretamente a cobertura e a

deposição; e os filtros, que retêm impurezas, prevenindo entupimentos e garantindo a estabilidade operacional (BAESSO et al., 2014; DA CUNHA; DE MORAIS SILVA, 2010).

Uma aplicação tecnicamente eficiente e ambientalmente segura é aquela que assegura a deposição adequada do produto no alvo biológico, na dose correta e de forma uniforme, com mínimas perdas por deriva, escorrimento ou evaporação, evitando a contaminação do solo, da água e de organismos não alvos (BAESSO et al., 2014; DA CUNHA, 2008; LI et al., 2022). Para alcançar esse padrão, é indispensável a seleção apropriada, calibração e manutenção periódica dos componentes, aliadas às boas práticas de manejo e às tecnologias de aplicação de precisão, que contribuem para o uso racional dos defensivos e para a sustentabilidade ambiental da produção agrícola (LIPÍŃSKI et al., 2025; ZANIN et al., 2022).

3. Fatores que influenciam a eficiência da aplicação

A eficiência da aplicação de defensivos agrícolas resulta da interação entre condições ambientais, características físico-químicas da calda e regulação adequada do equipamento.

As condições meteorológicas no momento da pulverização exercem influência crítica sobre a eficiência da aplicação de defensivos. A velocidade e direção do vento podem provocar deriva das gotas antes de atingirem o alvo, desviando-as da trajetória planejada e causando perdas de produto. Já baixa umidade relativa do ar favorece a evaporação rápida das gotas, reduzindo seu tamanho e peso, o que aumenta o risco de deriva ou até o desaparecimento da gota antes do contato com o alvo. Em dias com temperaturas elevadas, além da evaporação aumentar, há a formação de correntes térmicas ascendentes que podem manter as gotas em suspensão ou desviá-las, prejudicando a deposição. Nesse contexto, condições ideais para a pulverização normalmente incluem temperaturas moderadas, umidade relativa relativamente alta (por exemplo, > 50 %) e vento leve (em torno de 3 a 6,5 km/h) (CONTIERO et al., 2018; DA CUNHA et al., 2017).

Além das condições ambientais, as características físicas das gotas pulverizadas também desempenham papel determinante na eficiência da deposição. O espectro de gotas, que representa a distribuição dos diferentes

tamanhos gerados pelos bicos sob determinada pressão e vazão, influencia diretamente o alcance e a fixação do produto sobre o alvo. Gotas muito finas tendem a evaporar ou derivar antes de atingir o alvo, enquanto gotas muito grossas podem escorrer ou não se fixar adequadamente (CONTIERO et al., 2018). O espectro ideal é aquele que oferece bom balanceamento entre cobertura e retenção do alvo e das condições ambientais, visto que o estudo com bicos hidráulicos mostra que fatores como pressão de trabalho, ângulo de pulverização e vazão influenciam significativamente o espectro de gotas (CUNHA et al., 2004). Da mesma forma, experimentos comparando diferentes volumes de calda verificaram que ao se reduzir o volume, há aumento da percentagem de gotas finas, o que eleva o risco de deriva, alterando o perfil de deposição (FERRARI; ROGGIA; FELIX, F, 2014). Outra característica da calda como a viscosidade ou uso de adjuvantes também modula a formação de gotas, podendo auxiliar a manter gotas com tamanhos mais favoráveis sob condições adversas (CONTIERO et al., 2018).

Entretanto, a eficiência de aplicação não depende apenas do ambiente e das características da calda, mas também da condição operacional e regulação do pulverizador. Mesmo sob condições meteorológicas adequadas e com espectro de gotas bem ajustado, falhas na calibração, desgaste das pontas, variação de pressão ou filtros obstruídos podem comprometer a uniformidade da distribuição e aumentar perdas por deriva ou escorrimento (CONTIERO et al., 2018). O manual de tecnologia de aplicação da Embrapa recomenda que as pontas de pulverização sejam avaliadas periodicamente, comparando sua vazão real com os valores de catálogo, variações superiores a 10% justificam substituição (CHAIM, 2009; CONTIERO et al., 2018; SOUZA, 2008). Assim, a calibração sistemática, envolvendo medição de vazão, ajuste de pressão e verificação da uniformidade de aplicação, constitui uma das práticas mais importantes para garantir uma pulverização tecnicamente eficiente e ambientalmente segura.

4. Pressão de serviço na pulverização

A pressão de serviço é um dos principais parâmetros operacionais que determinam a qualidade e a eficiência da aplicação de defensivos agrícolas. Trata-se da força exercida pelo sistema de bombeamento para impulsionar a

calda até os bicos de pulverização, influenciando diretamente o volume aplicado, a velocidade de saída do jato e, conseqüentemente, o tamanho das gotas geradas (CUNHA et al., 2004; MARANGONI JR, 2018). A variação da pressão de trabalho altera o espectro de gotas visto que, pressões elevadas produzem gotas menores e tendem a proporcionar melhor cobertura do alvo, porém apresentam maior suscetibilidade à deriva e à evaporação. Já pressões reduzidas, geram gotas maiores menos propensas à deriva e com menor capacidade de cobertura foliar (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; CONTIERO et al., 2018).

Estudos demonstram que o equilíbrio entre a pressão e o tipo de bico utilizado é fundamental para alcançar uma pulverização tecnicamente eficiente e ambientalmente segura. Cunha et al. (2004) verificaram que o aumento da pressão em bicos hidráulicos de jato plano ampliou o percentual de gotas finas e reduziu a uniformidade da deposição, aumentando o risco de deriva. De modo semelhante, trabalho conduzido por Boller e Machry (2007) evidenciou que pressões superiores a 400 kPa em pulverizadores de barra promoveram perdas significativas de produto fora do alvo, comprometendo a eficiência do controle e a segurança ambiental. Assim, a definição da pressão ideal deve considerar o tipo de ponta de pulverização, a viscosidade da calda e as condições meteorológicas vigentes, de forma a otimizar a cobertura sem aumentar o potencial de deriva (ARAÚJO, 2019; COSTA et al., 2007).

A pressão inadequada, seja por calibração incorreta ou desgaste dos componentes, pode comprometer significativamente o desempenho da aplicação. Pressões muito altas aceleram o desgaste das pontas, aumentam a formação de névoa e intensificam o consumo energético, enquanto pressões abaixo do recomendado resultam em gotas grandes e deposição irregular, diminuindo a eficácia do defensivo sobre o alvo biológico (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; CONSTANTIN; SALES; MACIEL, 2012). A calibração periódica do equipamento, associada à medição da vazão e à verificação da uniformidade de distribuição entre os bicos, é essencial para assegurar que a pressão de serviço esteja dentro da faixa operacional ideal. Além disso, o uso de manômetros precisos e em bom estado de conservação permite monitorar variações instantâneas e evitar falhas de aplicação (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; CONTIERO et al., 2018).

Assim, a pressão de serviço atua como variável determinante na interação entre o equipamento, o produto e o ambiente, afetando diretamente a eficiência agrônômica, a segurança ambiental e o custo operacional da pulverização. A adoção de boas práticas de regulação e calibração, aliada ao uso de tecnologias modernas de controle de pressão e bicos de baixa deriva, representa uma estratégia indispensável para otimizar o uso de defensivos e promover a sustentabilidade da produção agrícola.

5. Velocidade de deslocamento do equipamento

A velocidade de deslocamento do pulverizador agrícola é um fator determinante na eficiência da aplicação de defensivos, influenciando diretamente o volume de calda aplicado por hectare. Estudos indicam que o aumento da velocidade sem o devido ajuste da vazão dos bicos pode resultar na redução do volume aplicado, comprometendo a eficácia do controle de pragas e doenças (MELO, 2022). Por outro lado, velocidades muito baixas podem provocar sobreposição excessiva de faixas, elevando o risco de fitotoxicidade e desperdício de defensivos (DAI et al., 2023).

Além do volume aplicado, a velocidade também afeta a cobertura e a uniformidade da distribuição da calda. Pesquisas demonstram que velocidades elevadas podem reduzir a densidade de gotas e prejudicar a uniformidade, comprometendo a eficiência do controle agrícola. Adicionalmente, a dinâmica da barra de pulverização, incluindo acelerações e variações de altura, intensifica os efeitos da velocidade sobre a uniformidade da aplicação (BYERS et al., 2024).

Do ponto de vista técnico, a velocidade ideal do pulverizador varia conforme o tipo de cultura, topografia e condições do solo, sendo recomendadas velocidades entre 4 e 6 km/h para a maioria das aplicações. A largura da faixa de pulverização deve ser compatível com a capacidade do equipamento e com a necessidade de cobertura da cultura; faixas muito largas podem gerar aplicação desigual, enquanto faixas muito estreitas aumentam o número de passagens e o custo operacional (CHAIM; PESSOA, 2002).

Para otimizar a aplicação e minimizar impactos ambientais, algumas recomendações práticas são essenciais. A calibração periódica do pulverizador é fundamental para garantir que a vazão dos bicos esteja dentro das especificações e que o volume aplicado por hectare seja o adequado (CHAIM;

PESSOA, 2006). O monitoramento da velocidade, por meio de GPS ou controladores, permite manter um deslocamento constante, evitando variações indesejadas na aplicação (CHAGAS et al., 2012). Além disso, é necessário ajustar a pressão dos bicos, o tipo de ponta de pulverização e a altura da barra conforme as condições específicas da cultura e do ambiente. Por fim, o treinamento dos operadores é imprescindível para assegurar que compreendam a influência da velocidade sobre a aplicação e saibam realizar os ajustes necessários (CHAGAS et al., 2012).

Mediante ao exposto, a velocidade de deslocamento do pulverizador se apresenta como um parâmetro crítico que influencia simultaneamente o volume aplicado, a cobertura e a uniformidade da distribuição. A compreensão de seus efeitos, aliada à adoção de boas práticas operacionais e técnicas, é essencial para otimizar a eficiência da aplicação de defensivos agrícolas e reduzir impactos ambientais adversos.

6. Relação entre pressão e velocidade

A relação entre pressão de pulverização e velocidade de deslocamento é determinante para a deposição da calda fitossanitária, influenciando diretamente a eficiência de controle, o consumo de insumos e os impactos ambientais. O ajuste inadequado entre esses parâmetros compromete a cobertura do alvo e a eficácia biológica da aplicação (DAI et al., 2023).

O aumento da velocidade sem compensação na pressão ou vazão reduz a deposição de gotas por unidade de área, prejudicando a cobertura. Sapkota et al. (2023) observaram que pulverizadores sem controlador de taxa apresentaram significativa queda na deposição em maiores velocidades, enquanto equipamentos com controle automático ajustaram a pressão para manter cobertura uniforme. Resultados semelhantes foram reportados por Dai et al. (2023), que verificaram redução da penetração e da uniformidade da aplicação em vinhedos operando a altas velocidades, evidenciando a importância do equilíbrio entre velocidade, pressão e distância entre bicos.

O equilíbrio entre eficiência e economia depende de encontrar um ponto ótimo entre pressão suficiente para boa atomização e velocidade adequada para cobertura homogênea. Pressões excessivas geram gotas muito finas, propensas à deriva e evaporação sendo que pressões baixas, combinadas a velocidades

elevadas, produzem gotas grandes e cobertura insuficiente (MCGINTY et al., 2019). O uso de controladores automáticos de taxa, conforme demonstrado por Sapkota et al. (2023), reduz a variabilidade da cobertura e o desperdício de produto, favorecendo uma aplicação mais eficiente e sustentável.

Combinações inadequadas de pressão e velocidade resultam em perda de eficácia, custos elevados e contaminação ambiental. Sehseh (2020) mostrou que, em pulverizações aéreas, a combinação de alta pressão e velocidade acentuou a deriva e reduziu a deposição efetiva. Assim, o manejo integrado desses fatores, aliado à calibração periódica do equipamento, é essencial para otimizar a aplicação, reduzir custos e mitigar impactos ambientais (NEGRI; BARBOSA, 2017).

7. Sustentabilidade e boas práticas de aplicação

A sustentabilidade na aplicação de defensivos agrícolas depende da integração de práticas responsáveis, tecnologias inovadoras e regulamentações eficazes. O uso racional de defensivos é essencial para reduzir impactos sobre a saúde humana, a biodiversidade e o meio ambiente, garantindo que a aplicação seja eficiente e segura (CHAIM, 2025) MAPA, 2025). Órgãos reguladores como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelecem normas técnicas e fiscalizam o uso adequado desses produtos, enquanto programas como o Sistema de Agregação de Valor à Agricultura (SAV) promovem práticas agrícolas sustentáveis e o uso responsável de insumos (ANVISA, 2025; MAPA, 2025).

Iniciativas técnicas, como o Programa Gotas da Embrapa, fornecem ferramentas para calibrar pulverizadores e avaliar a qualidade da aplicação, permitindo aos produtores otimizar a cobertura da calda e reduzir perdas (CHAIM; NETO; PESSOA, 2006). Além disso, a Embrapa oferece manuais e treinamentos que orientam sobre a escolha adequada de bicos, condições climáticas ideais para aplicação e ajustes de pressão e vazão, minimizando deriva e contaminação ambiental (CHAIM, 2006; CHAIM; NETO; PESSOA, 2006; PESSOA; CHAIM; HERMES, 1999).

A incorporação de tecnologias emergentes também tem potencial transformador. Sistemas de pulverização de precisão, equipados com sensores

e GPS, permitem aplicações direcionadas e mais eficientes, reduzindo o consumo de defensivos e o impacto ambiental. O uso de drones para monitoramento e aplicação possibilita maior rapidez e precisão na gestão das lavouras, enquanto ferramentas baseadas em inteligência artificial ajudam a prever surtos de pragas e doenças, otimizando o momento e a quantidade de defensivo a ser aplicado (CHAIM, 2006; CHAIM; NETO; PESSOA, 2006; PESSOA; CHAIM; HERMES, 1999).

Portanto, a sustentabilidade na aplicação de defensivos agrícolas exige uma abordagem integrada que combine uso racional, regulamentação, boas práticas e tecnologias inovadoras. Essas medidas não apenas aumentam a eficiência do uso de insumos, mas também contribuem para a preservação ambiental, a saúde pública e a rentabilidade das lavouras, promovendo uma agricultura mais sustentável e responsável.

8. Síntese e lacunas de conhecimento

Os estudos sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas têm avançado significativamente nas últimas décadas, com destaque para o desenvolvimento de novas pontas de pulverização, aprimoramento de equipamentos e uso de tecnologias embarcadas que permitem maior controle e precisão durante as operações (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; CUNHA; TEIXEIRA; VIEIRA, 2005). Esses avanços têm contribuído para reduzir perdas por deriva e melhorar a deposição no alvo, favorecendo a eficiência no controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

Entretanto, a eficiência da aplicação ainda é fortemente influenciada por fatores operacionais, como a pressão de trabalho e a velocidade de deslocamento, cujos efeitos variam de acordo com o tipo de ponta, o volume de calda e as condições meteorológicas no momento da aplicação (BENASSI et al., 2019; MOURA; STRYHALSKI; PAHOLSKI, 2020). Apesar de existirem recomendações gerais para o ajuste desses parâmetros, a literatura mostra divergências quanto às combinações ideais que garantam máxima eficiência com mínima deriva, especialmente sob condições de campo variáveis.

Além disso, a maioria dos estudos disponíveis concentra-se em culturas específicas ou em condições experimentais controladas, o que limita a extrapolação dos resultados para diferentes sistemas produtivos e realidades

regionais (BENASSI et al., 2019; DIERINGS, 2020). Há, portanto, uma lacuna quanto à avaliação integrada dos efeitos da pressão e da velocidade em condições reais de operação, considerando parâmetros como densidade e uniformidade de gotas, deposição no alvo e perdas por deriva.

Dessa forma, torna-se essencial aprofundar a investigação sobre a interação entre essas variáveis operacionais, visando estabelecer faixas ideais de ajuste que otimizem a eficiência de aplicação e garantam sustentabilidade ambiental. O presente estudo busca contribuir para esse avanço, fornecendo informações aplicáveis ao manejo racional de pulverizações agrícolas e ao aprimoramento das práticas de campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Local do estudo e equipamentos utilizados

O experimento foi instalado e conduzido na fazenda experimental Luiz Lourenço Lança, no município de Taguaí/SP, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°27'13,32 "S", longitude 49°23'9,88 "O" e altitude de 595 metros.

Foi empregado um trator Massey Ferguson, modelo 4410, com 105 cv de potência, juntamente com um pulverizador de barras da marca INCOMAGRI, modelo ATTACK, que possui capacidade para 600 litros. O equipamento conta com barras de 12 metros de comprimento e bicos do tipo leque da marca Jacto, modelo JSF 11003, dispostos a cada 50 cm, totalizando 24 bicos. A cultura presente no local de aplicação foi a cultura de milho.

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos da pressão de pulverização e da velocidade de deslocamento sobre as características da pulverização e a eficiência de deposição de gotas. Para determinar o tempo necessário para percorrer uma distância de 50 metros, o solo foi previamente demarcado com estacas, possibilitando o cálculo da velocidade de trabalho a partir do tempo gasto no trajeto. Antes do início das medições, o trator foi posicionado a 8 metros da primeira estaca, garantindo que atingisse a velocidade constante estipulada no momento em que cruzasse o ponto inicial. A velocidade foi determinada com o auxílio de um cronômetro digital.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com tratamentos definidos pelas combinações entre pressão e velocidade de aplicação. Cada tratamento foi repetido quatro vezes, assegurando representatividade estatística e controle das variações experimentais.

As variáveis operacionais e de desempenho avaliadas foram:

- Pressão de trabalho (bar): 1, 2, 3 e 4 bar;
- Velocidade de deslocamento (km h^{-1}): 3, 5, 7 e 9 km h^{-1} ;
- Tempo de percurso (s): registrado para o deslocamento de 50 m, utilizado no cálculo da velocidade real;
- Consumo de calda (L h^{-1}): obtido pela relação entre volume aplicado e tempo de aplicação;
- Volume aplicado (L ha^{-1}): calculado a partir da vazão e da velocidade de deslocamento.

A avaliação da qualidade da pulverização foi realizada por meio da deposição das gotas sobre cartões hidrossensíveis posicionados na área de interesse (região foliar do milho). Foram utilizados papéis hidrossensíveis (Water Sensitive Paper – WSPAPER®, 26 × 76 mm, São Paulo, Brasil), fixados horizontal e verticalmente em diferentes posições no dossel. Após a pulverização, os cartões foram coletados, digitalizados e analisados para determinação das características das gotas (densidade, diâmetro e cobertura) (Figura 4).

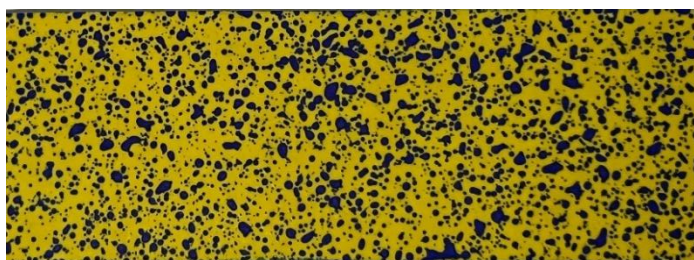


Figura 4. Imagem obtida do cartão hidrossensível após a pulverização na pressão de 1 BAR a 3 km/hora.

As imagens dos papéis hidrossensíveis foram digitalizadas e analisadas com o software Gotas (EMBRAPA, versão 1.0, São Carlos, SP, Brasil) (Figura 5), que permite calcular o diâmetro e a densidade de gotas, bem como a cobertura e o fator de dispersão, obtendo-se as seguintes variáveis de resposta:

- Número de gotas (gotas cm^{-2});
- Densidade de gotas (gotas cm^{-2});
- Cobertura da superfície (%);
- Diâmetros médios volumétricos (D10, D50 e D90, μm);
- Fator de dispersão do tamanho de gotas (FDTG), indicador da uniformidade da pulverização;
- Volume de calda depositado (L ha^{-1}), estimado a partir da deposição sobre o alvo.

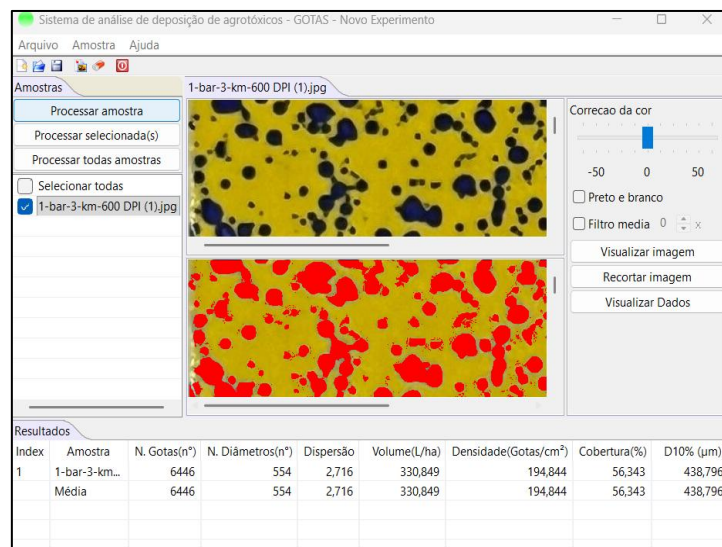


Figura 5. Imagem do software Gotas (EMBRAPA, versão 1.0, São Carlos, SP, Brasil) demonstrando como os dados são gerados pelo programa.

Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise estatística, considerando os efeitos principais e de interação entre a pressão e a velocidade de deslocamento sobre as variáveis de pulverização e deposição.

Análise de dados

A análise da variação do tamanho das gotas foi realizada pelo uso de papel hidrossensível Syngenta e pelo uso do programa computacional Gotas (EMBRAPA, 2015). Antes da modelagem, foi realizada uma verificação da normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk para as variáveis contínuas analisadas: volume real, porcentagem de cobertura, fator de dispersão

de tamanho de gotas, densidade de gotas e diâmetro volumétrico D50. Os resultados indicaram que a maioria das variáveis não seguia uma distribuição normal ($p < 0,05$), o que motivou o uso de um modelo linear generalizado (GLM) para avaliar os efeitos da pressão de trabalho e da velocidade de aplicação, bem como sua interação, sobre as diferentes variáveis de resposta. Em todos os modelos pressão e velocidade foram tratadas como variáveis contínuas.

Para as variáveis volume real, porcentagem de cobertura, fator de dispersão de tamanho de gotas e diâmetro volumétrico D50, foi utilizado um modelo GLM com distribuição Gama e função de ligação logarítmica ($\text{link} = \text{"log"}$) devido à natureza positiva e assimétrica dessas variáveis. Para a variável Densidade de gotas, foi aplicado um modelo com distribuição normal (gaussian) após transformação por raiz quadrada.

A significância dos efeitos principais (pressão e velocidade) e da interação foi avaliada por meio do valor de p associado ao teste t , considerando-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). A avaliação final dos modelos foi conduzida por meio da inspeção gráfica dos resíduos e no critério de informação de Akaike (AIC). Os resultados dos modelos foram reportados por meio dos coeficientes estimados (β), erros-padrão, valores de p e, quando apropriado.

Curvas preditivas de vazão real foram geradas para serem utilizadas em futuras aplicações. Com este objetivo, a equação obtida através do GLM foi utilizada para gerar previsões da vazão real ao longo de uma faixa contínua de valores de velocidade, variando entre os limites observados no experimento (3 a 9 km/h), com incrementos regulares de 0,06 km/h. Essas previsões foram calculadas para cada nível de pressão testado (1, 2, 3 e 4 BAR). As estimativas foram inicialmente obtidas na escala logarítmica do modelo e, posteriormente, transformadas de volta à escala original da variável por meio da função exponencial ($\exp$). Além disso, foram calculados intervalos de confiança de 95% para cada valor predito, permitindo representar a incerteza associada às estimativas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados brutos de vazão são apresentados na Figura 6, enquanto as curvas de previsão geradas a partir da equação do modelo de regressão estão na Figura 7. A análise de regressão, revelou que o aumento da pressão de

trabalho no bico esteve associado a um incremento significativo na vazão real ($\beta = 0,198 \pm 0.019 \log \text{ mL}$; $p < 0,001$). Por outro lado, o aumento da velocidade de deslocamento teve um efeito negativo e significativo sobre a vazão ($\beta = -0,189 \pm 0.008 \log \text{ mL}$; $p < 0,001$). A interação entre pressão e velocidade não foi estatisticamente significativa ($\beta = 0,0007 \pm 0.0029 \log \text{ mL}$; $p = 0,819$), indicando que os efeitos principais dessas variáveis atuam de forma independente. Esses resultados sugerem que ajustes em pressão e velocidade influenciam a vazão real de maneira direta e oposta, devendo, portanto, ser considerados com atenção para garantir o desempenho desejado na aplicação.

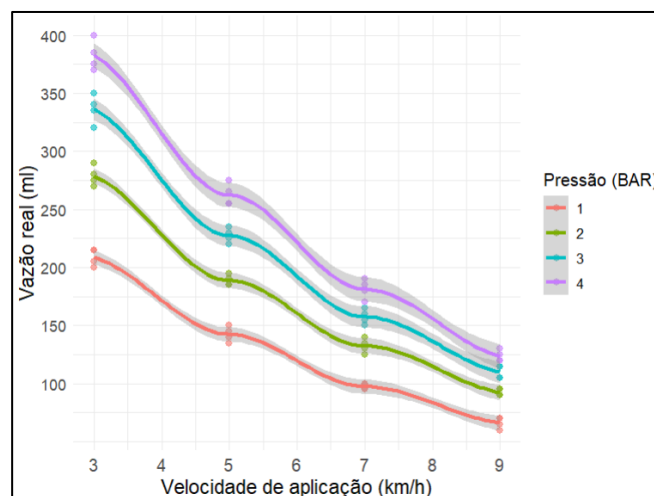


Figura 6. Vazão real (mL) observada em função da velocidade de aplicação (km/h) para diferentes pressões de trabalho (1, 2, 3 e 4 BAR), representadas pelas cores. Os pontos indicam os dados brutos coletados durante o experimento, enquanto as linhas foram ajustadas por meio de regressão local (LOESS) com parâmetro de suavidade (*span*) de 0,75. As faixas sombreadas representam os intervalos de confiança de 95%.

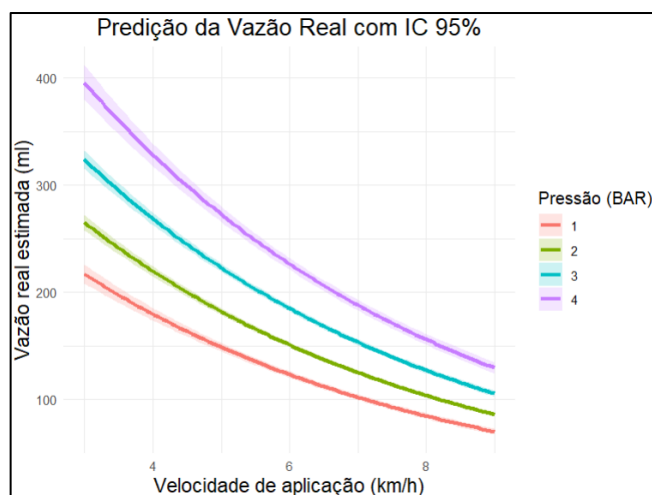


Figura 7. Vazão real (mL) predita em função da velocidade de aplicação (km/h), sob diferentes pressões de trabalho (1, 2, 3 e 4 BAR), conforme indicado pelas cores. As linhas representam as predições obtidas por meio de um modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação logarítmica. A equação ajustada foi: $\log(\text{Volume_real}) = 5,745 + 0,198 \cdot \text{Pressão} - 0,188 \cdot \text{Velocidade} + 0,0006 \cdot \text{Pressão} \cdot \text{Velocidade}$. Sendo os valores convertidos de volta para a escala original por meio da função exponencial (exp). As faixas ao redor das linhas representam os intervalos de confiança de 95% para as predições.

O aumento da pressão resultou em maior vazão, o que está em concordância com estudos sobre pulverização agrícola e outros sistemas hidráulicos, nos quais a vazão ou taxa de descarga aumentam com a pressão operante (JADAV; JAIN; KHODIFAD, 2019). Por outro lado, a redução da vazão com o aumento da velocidade de avanço reforça a lógica operacional de que maior deslocamento reduz o tempo durante o qual o bico aplica líquido sobre a área-alvo, e também encontra respaldo em estudos que observam correlações entre velocidade, fluxo e pressão em equipamentos com controle variável de aplicação (KARADOL et al., 2024).

A não detecção de interação significativa sugere que, no intervalo de pressões (e velocidades) estudado, os efeitos da pressão e da velocidade sobre a vazão atuam de forma aditiva e independente, o que simplifica a calibração e o ajuste operacional. Isto significa que o operador pode ajustar pressão ou velocidade isoladamente e prever o efeito na vazão sem necessidade de tabela de ajuste cruzado.

No entanto, França et al (2018) adverte que o aumento indiscriminado da pressão pode alterar outras características de pulverização (como tamanho de gotícula, largura de jato e deriva), o que implica em contraposições que vão além da simples vazão. Igualmente, em sistemas mais extremos (pressões muito altas, velocidades muito elevadas, bicos de diferentes tipos ou grandes larguras de barra) a independência dos efeitos pode não se manter, sendo necessário cuidado na extrapolação dos resultados, visto que a variabilidade no fluxo entre bicos pode tornar-se significativa em pressões baixas ou velocidades elevadas (MARTIN, 2013).

Em termos práticos, os resultados obtidos permitem construir tabelas de calibração em que, para uma pressão dada, se pode prever a vazão conforme a velocidade de avanço, e vice-versa, o que facilita o planejamento de pulverização em campo. Recomenda-se que, para manter a vazão desejada, se evite operar com velocidades mais altas sem aumento compensatório de pressão ou ajuste dos bicos, e se monitore eventuais efeitos colaterais relacionados ao tamanho de gotícula ou cobertura.

A relação entre a velocidade de deslocamento, pressão de pulverização do bico e o fator de dispersão do tamanho de gotas (FDTG) é apresentada na figura 8. A análise do fator de dispersão das gotas revelou que a pressão de pulverização teve efeito significativo sobre a uniformidade do tamanho das gotas. O aumento da pressão resultou em redução significativa do fator de dispersão ($\beta = -0,264 \pm 0.094 \log \text{FDTG}$; $p = 0,007$), indicando maior uniformidade entre as gotas geradas. Por outro lado, nem a velocidade de aplicação ($\beta = -0.005 \pm 0.040 \log \text{FDTG}$; $p = 0.903$) nem a interação deste com a pressão ($\beta = 0.017 \pm 0.015 \log \text{FDTG}$; $p = 0.264$) apresentaram efeito significativo sobre a uniformidade do tamanho das gotas.

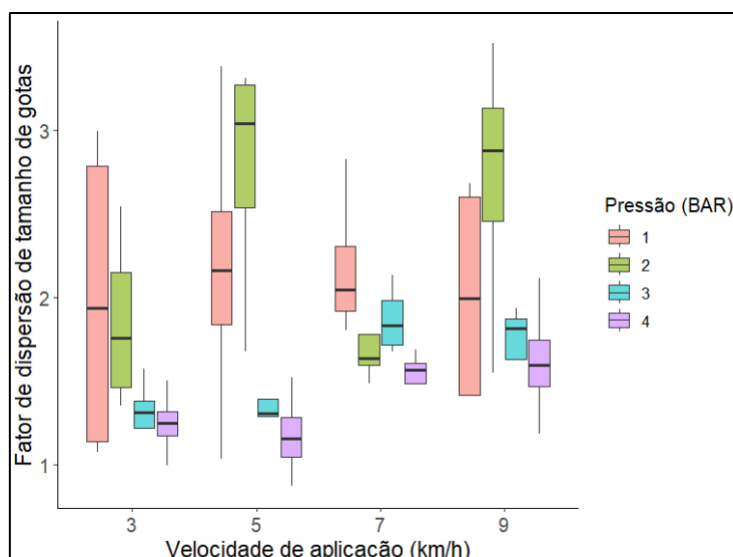


Figura 8. Fator de dispersão do tamanho das gotas (FDTG) em diferentes velocidades de aplicação (km/h) e pressões de trabalho (BAR). Os boxplots representam a variação do fator de dispersão $[(D90 - D10) / D50]$ para cada combinação de pressão e velocidade, indicando a uniformidade no tamanho das gotas produzidas. Valores mais baixos indicam maior uniformidade, enquanto valores mais altos indicam maior variabilidade no diâmetro das gotas. A cor das caixas indica a pressão aplicada no bico pulverizador.

A pressão de pulverização influenciou significativamente o fator de dispersão do tamanho de gotas, de forma que o aumento da pressão reduziu o FDTG e, conseqüentemente, aumentou a uniformidade da pulverização. Esses resultados divergem de estudos anteriores, que reportaram aumento da variabilidade das gotas sob pressões mais elevadas, atribuindo esse efeito à intensificação da fragmentação do jato líquido e à maior proporção de gotas finas geradas (CERRUTO et al., 2021; CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007; MCGINTY et al., 2019; NUYTENS et al., 2007)

Uma possível explicação é que, nas condições experimentais deste estudo, levando em consideração o tipo de bico, a faixa de pressão e as propriedades físico-químicas da calda, a elevação da pressão tenha favorecido um regime de atomização mais estável, com quebra mais controlada do jato líquido. Esse comportamento sugere que a relação entre pressão e uniformidade de gotas pode não ser linear, dependendo do design do bico e do fluido utilizado (MCGINTY et al., 2019; NUYTENS et al., 2007).

A ausência de efeito significativo da velocidade e da interação pressão × velocidade reforça a ideia de que a uniformidade do espectro de gotas é determinada principalmente pela energia de atomização e não pela dinâmica do deslocamento do equipamento. Esses achados indicam que, sob determinadas condições, é possível operar com pressões mais altas sem comprometer a uniformidade das gotas, embora seja necessário avaliar os riscos de deriva e evaporação associados (KRUGER et al., 2019).

O aumento da pressão de pulverização resultou em uma redução significativa da densidade de gotas ($\beta = -3,55 \pm 1,76 \sqrt{n^\circ/cm^2}$; $p = 0,048$). A velocidade de aplicação, por si só, não apresentou efeito significativo sobre a densidade ($\beta = -0,93 \pm 0,75 \sqrt{n^\circ/cm^2}$; $p = 0,221$). No entanto, observou-se uma interação significativa entre pressão e velocidade ($\beta = 0,74 \pm 0,27 \sqrt{n^\circ/cm^2}$; $p = 0,009$), indicando que o efeito da pressão sobre a densidade de gotas varia de acordo com a velocidade de deslocamento. Essa interação pode ser visualizada na Figura 9: enquanto os bicos operando a 1 e 2 BAR mantêm uma densidade de gotas relativamente constante entre diferentes velocidades, os bicos com 3 e 4 BAR apresentam aumento expressivo na densidade quando a velocidade aumenta de 3 para 5 e 7 km/h.

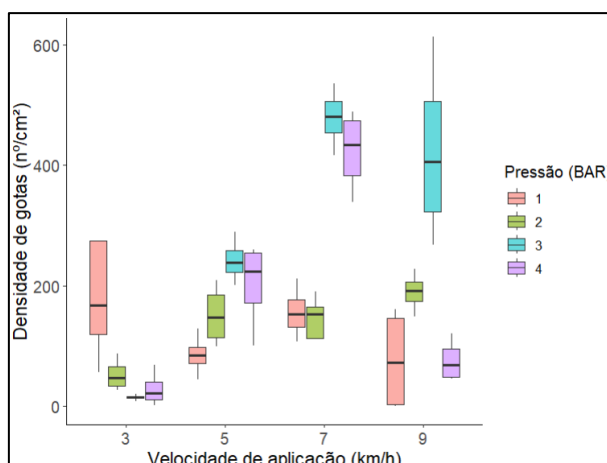


Figura 9. Densidade de gotas (n°/cm^2) das gotas em diferentes velocidades de aplicação (km/h) e pressões de trabalho (BAR). Cada boxplot representa a dispersão dos valores de densidade de gotas para um determinado nível de pressão e velocidade, enquanto a coloração indica a pressão aplicada durante a pulverização.

Os resultados experimentais indicam que o aumento da pressão de pulverização reduziu significativamente a densidade de gotas, enquanto a velocidade de aplicação isoladamente não teve efeito significativo. No entanto, observou-se uma interação significativa entre pressão e velocidade, sugerindo que o efeito da pressão sobre a densidade de gotas varia conforme a velocidade de deslocamento. Esse achado é consistente com o conhecimento estabelecido na Tecnologia de Aplicação, uma vez que o aumento da pressão geralmente está associado à produção de gotas mais finas (menor Diâmetro Mediano Volumétrico - DMV), que são mais suscetíveis à deriva e/ou evaporação antes de atingir o alvo, resultando em menor densidade de gotas efetivamente depositadas (ANTUNIASI; BOLLER, 2019; CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). Portanto, ao ajustar a pressão, é necessário considerar a velocidade de aplicação para otimizar a densidade de gotas e a eficácia do tratamento.

Tanto a pressão de aplicação ($\beta = 0,32 \pm 0,09 \log\%$; $p < 0,001$) quanto a velocidade de deslocamento ($\beta = 0,09 \pm 0,04 \log\%$; $p = 0,021$) exerceram efeitos positivos e estatisticamente significativos sobre a cobertura da pulverização. No entanto, a interação entre essas variáveis foi negativa e também significativa ($\beta = -0,04 \pm 0,01 \log\%$; $p = 0,003$), indicando que o efeito da pressão sobre a cobertura não é uniforme ao longo das diferentes velocidades de deslocamento. Por exemplo, a área coberta tende a aumentar conforme a pressão do bico aumenta nas velocidades de 3 e 5 km/h (Figura 10); contudo, essa mesma tendência não é observada nas velocidades de 7 e 9 km/h.

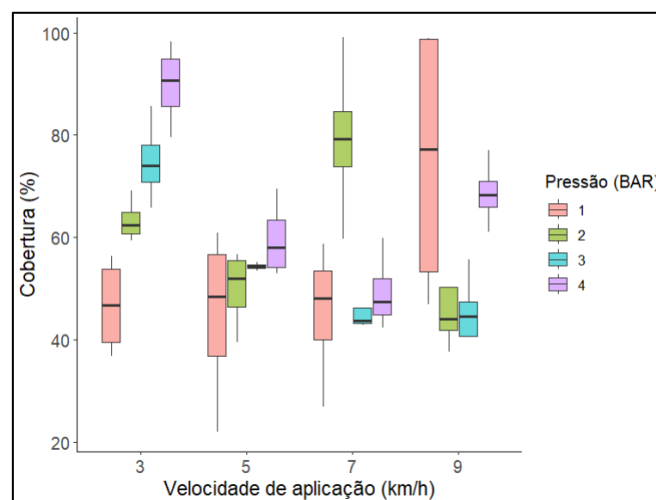


Figura 10. Área coberta (%) pelas gotas em diferentes velocidades de aplicação (km/h) e pressões de trabalho (BAR). Cada boxplot representa a dispersão dos

valores de área coberta para um determinado nível de pressão e velocidade, enquanto a coloração indica a pressão aplicada durante a pulverização.

A cobertura da pulverização é fortemente influenciada pelos parâmetros operacionais, especialmente pela pressão de aplicação e velocidade de deslocamento, que determinam o tamanho, a quantidade e a uniformidade das gotas formadas (CUNHA; TEIXEIRA; VIEIRA, 2005; MOURA; STRYHALSKI; PAHOLSKI, 2020). No presente estudo, ambos os fatores apresentaram efeitos positivos e significativos sobre a cobertura, indicando que o aumento da pressão e da velocidade, até certo ponto, favorece a fragmentação do jato e amplia a distribuição das gotas sobre o alvo. Resultados semelhantes foram relatados por Boller e Machry (2007) e Nuytens et al. (2007), que observaram incremento da cobertura foliar em pulverizações realizadas sob pressões mais elevadas, em razão da formação de gotas menores e maior densidade de deposição.

Entretanto, a interação negativa entre pressão e velocidade evidencia que esses fatores não atuam de forma independente, e que o aumento simultâneo de ambos pode comprometer a eficiência da aplicação. Em velocidades mais altas, o tempo de exposição do jato sobre o alvo é reduzido, o que limita a deposição e pode acentuar a deriva, especialmente quando combinada com pressões elevadas que geram gotas (COSTA et al., 2007; NUYTTENS et al., 2007). Essa tendência foi observada nas velocidades de 7 e 9 km h⁻¹, nas quais o incremento de pressão não resultou em aumento da cobertura, corroborando achados de Baesso et al. (2014), que destacam a necessidade de ajustar a pressão conforme a velocidade para evitar perdas por deriva e escorrimento, aumentando a eficácia do controle e menor contaminação ambiental.

De modo geral, a máxima eficiência na cobertura é obtida quando há equilíbrio entre pressão e velocidade, garantindo a formação de gotas com diâmetro adequado para o alvo e as condições ambientais da aplicação (CUNHA; TEIXEIRA; VIEIRA, 2005). Assim, pressões moderadas associadas a velocidades intermediárias tendem a otimizar a deposição e reduzir perdas, reforçando a importância do manejo integrado das variáveis operacionais para o uso racional dos defensivos agrícolas e a sustentabilidade das práticas fitossanitárias (SANTOS; SANTOS, 2023; VERMELHO et al., 2024).

A análise de regressão também revelou efeitos significativos da pressão e da interação entre pressão e velocidade sobre o D50 das gotas pulverizadas. O aumento da pressão resultou em um incremento significativo no D50 ($\beta = 0,36 \pm 0,17 \log \mu\text{m}$; $p = 0,032$), indicando a formação de gotas maiores. A velocidade de deslocamento apresentou um efeito positivo marginalmente significativo ($\beta = 0,12 \pm 0,07 \log \mu\text{m}$; $p = 0,087$), sugerindo uma tendência de aumento no diâmetro médio com velocidades mais elevadas. No entanto, a interação entre pressão e velocidade teve um efeito negativo significativo ($\beta = -0,06 \pm 0,03 \log \mu\text{m}$; $p = 0,032$), indicando que o efeito da velocidade sobre o D50 varia conforme a pressão aplicada, visto que enquanto pressões mais altas resultaram em gotas maiores nas velocidades de 3 e 5 km/h, esse mesmo efeito não foi observado nas velocidades de 7 e 9 km/h (Figura 11).

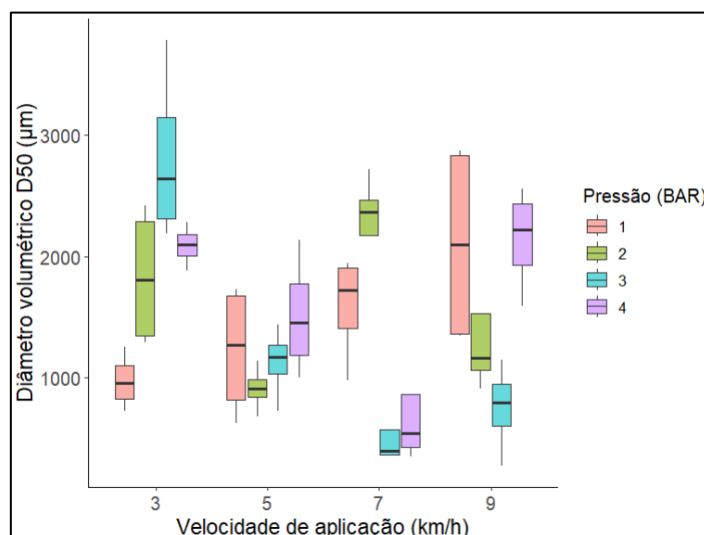


Figura 11. Distribuição do diâmetro volumétrico médio (D50, em μm) das gotas em diferentes velocidades de aplicação (km/h) e pressões de trabalho (BAR). Cada boxplot representa a dispersão dos valores de D50 para um determinado nível de pressão e velocidade, enquanto a coloração indica a pressão aplicada durante a pulverização.

A análise do diâmetro volumétrico médio das gotas (D50) em função da velocidade de aplicação e pressão de pulverização revela tendências consistentes com estudos anteriores. Observa-se que, em velocidades mais baixas (3 km/h), o aumento da pressão tende a gerar gotas maiores, possivelmente devido ao maior volume de calda e menor efeito de atomização causado pela baixa resistência do ar (NUYTTENS et al., 2007). Em velocidades

intermediárias (5–7 km/h), há maior variabilidade do D50 entre pressões, sugerindo que pequenas alterações na pressão podem ter efeito pronunciado sobre o tamanho das gotas, dependendo do balanço entre força de saída do bico e velocidade do ar. Já em velocidades mais altas (9 km/h), observa-se uma redução significativa do D50 em pressões mais elevadas, indicando que o aumento da velocidade do ar pode intensificar a quebra das gotas, reduzindo seu tamanho (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; CUNHA; TEIXEIRA, 2001; CUNHA; TEIXEIRA; VIEIRA, 2005).

Esses resultados corroboram a literatura que aponta a importância de equilibrar pressão e velocidade de aplicação para otimizar o tamanho das gotas e garantir eficiência na cobertura, minimizando tanto a deriva quanto o escorrimento (BAESSO et al., 2014). A grande variação observada em algumas combinações sugere que, na prática, ajustes finos na pressão são necessários para cada velocidade de deslocamento, reforçando a utilidade de tabelas de calibração como ferramenta para o planejamento de pulverizações em campo.

Além disso, os dados indicam que pressões muito altas em velocidades baixas podem gerar gotas excessivamente grandes, reduzindo a cobertura uniforme, enquanto velocidades elevadas com baixa pressão tendem a produzir gotas muito pequenas, aumentando o risco de deriva (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019; NUYTENS et al., 2007). Portanto, a seleção adequada de parâmetros deve considerar não apenas o diâmetro médio das gotas, mas também a dispersão e uniformidade, que influenciam diretamente a eficácia da pulverização.

5. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a pressão de pulverização e a velocidade de deslocamento influenciam de forma significativa e interdependente o desempenho operacional da aplicação. O aumento da pressão elevou a vazão e a cobertura, mas reduziu a densidade de gotas, enquanto a velocidade afetou negativamente a vazão e modificou o efeito da pressão sobre a deposição. Em faixas moderadas, essas variáveis atuaram de forma aditiva, permitindo ajustes simples de calibração; entretanto, em condições extremas, suas interações alteraram o padrão de distribuição e tamanho das gotas, exigindo controle operacional mais preciso.

De modo geral, pressões intermediárias associadas a velocidades médias proporcionaram o melhor equilíbrio entre uniformidade, densidade e cobertura, garantindo maior eficiência e menor risco de deriva ou escorrimento. Esses achados reforçam a importância do manejo conjunto de parâmetros hidráulicos e operacionais na calibração dos pulverizadores, contribuindo para o uso racional de defensivos agrícolas e maior sustentabilidade das práticas fitossanitárias.

6. REFERÊNCIAS

- ALARCÃO JÚNIOR, J. C. De; NUÑEZ, D. N. C. O uso de drones na agricultura 4.0. **Brazilian Journal of Science**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1–13, 2023.
- ANDRES, A.; SCHREIBER, F.; MARTINS, J. F. da S.; MATTOS, M. L. T.; BOTTA, R. A.; MARTINS, M. B.; CRUVINEL, P. E.; APLICAÇÃO. Influência de Equipamentos e Taxas de Aplicação Aérea na Deriva de Glifosato em Área Orizícola do Rio Grande do Sul : Estudo de Caso. **Circular Técnica 213-EMBRAPA**, [s. l.], p. 1–9, 2020.
- ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação de defensivos: fundamentos e práticas. Botucatu: 2019.** [s.l: s.n.].
- ANVISA. Biblioteca de agrotóxicos. [s. l.], p. 1–12, 2025.
- ARAÚJO, E. C. De. Considerações Sobre Deriva E Outros Fundamentos Técnicos Na Aplicação Aérea E Terrestre De Agrotóxicos. [s. l.], p. 1–40, 2019.
- AZEVEDO, F. R. De; FREIRE, F. das C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Embrapa Agroindústria Tropical**, [s. l.], p. 48, 2006.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 61, p. 780–785, 2014.
- BENASSI, B. J. P. M.; PEREIRA, G. do C.; ALMEIDA, G. R. R.; CUNHA, L. T. Da. INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE NA PULVERIZAÇÃO FOLIAR DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NO CAFEEIRO Bruno. [s. l.], v. 3, n. 8, p. 395–396, 2019.
- BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e de modelos de pontas de pulverização sobre a eficiência de herbicida de contato em soja. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 722–727, 2007.
- BUOSI, G. G. P.; NETO, A. D. R.; LOPES, P. R. M.; FERRARI, S.; GUERREIRO, J. C.; FILHO, P. J. F.; LIMA, R. C.; NASCIMENTO, V.; FUNICHELLO, M.; RAETANO, C. G.; PRADO, E. P. Droplet size and hydraulic spray nozzles in peanut plant spray deposition. **Journal of Plant Diseases and Protection**, [s. l.], v. 131, n. 1, p. 27–33, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s41348-023-00796-8>>
- BYERS, C.; VIRK, S.; RAINS, G.; LI, S. Spray deposition and uniformity assessment of unmanned aerial application systems (UAAS) at varying operational parameters. **Frontiers in Agronomy**, [s. l.], v. 6, n. June, p. 1–15, 2024.
- CERRUTO, E.; MANETTO, G.; PAPA, R.; LONGO, D. Modelling spray pressure effects on droplet size distribution from agricultural nozzles. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 19, 2021.
- CHAGAS, K.; NETO, F. C. R.; RODRIGUES, J. de O.; NASCIMENTO, A. F.; VITÓRIA, E. L. Da. Rendimento operacional de um pulverizador de barras em diferentes pressões de serviço e velocidade. **Cnetro Cinetífico Conhever**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 827–832, 2012.
- CHAIM, A. Documentos 57 - Pulverização Eletrostática: Principais Processos Utilizados para Eletrificação de Gotas. **Embrapa**, [s. l.], p. 1–18, 2006.
- CHAIM, A. **Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos.** [s.l: s.n.].
- CHAIM, A. Boas práticas agrícolas: Aplicação de agrotóxicos e meio ambiente.

EMBRAPA. **Embrapa**, [s. l.], p. 1–16, 2025. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID19.pdf>>

CHAIM, A.; NETO, J. C.; PESSOA, M. C. P. Y. Uso do Programa Computacional GOTAS. **Embrapa**, [s. l.], p. 1–23, 2006.

CHAIM, A.; PESSOA, M. Método para Calibração de Pulverizadores utilizados em Videiras. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Comunicado Técnico**, [s. l.], p. 1–5, 2002.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y. Métodos para Calibração de Pulverizadores. **Recomendações básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar**, [s. l.], p. 171–181, 2006. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1025756/1/2006PL049.pdf>>

CONSTANTIN, J.; SALES, J. G. C.; MACIEL, C. D. de G. Característica da deposição e distribuição da calda de pulverização na cultura da soja em estágio fenológico V6. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 530–541, 2012.

CONTIERO, R. L.; CONTIERO, R. L.; FERNANDO, D.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. [s.l.: s.n.].

COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; SILVA, F. M. L. EFEITO DA INTENSIDADE DO VENTO, DA PRESSÃO E DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO NA DERIVA DE APLICAÇÕES DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA. **Planta Daninha**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 203–210, 2007.

CUNHA, J. P. A. R. Da; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 334–348, 2001.

CUNHA, J. P. A. R. DA; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. AVALIAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICAS UTILIZANDO A TÉCNICA DA DIFRAÇÃO DO RAIO LASER. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 27, p. 10–15, 2007.

CUNHA, J. P. A. R. Da; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1069–1074, 2005.

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

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 325–332, 2003.

DA CUNHA, J. P. A. R. Pesticide drift simulation under different spray conditions. **Ciencia e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 1616–1621, 2008.

DA CUNHA, J. P. A. R.; BARIZON, R. R. M.; FERRACINI, V. L.; ASSALIN, M. R.; ANTUNIASI, U. R. Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 493–501, 2017.

DA CUNHA, J. P. A. R.; DE MORAIS SILVA, R. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 52–58, 2010.

DAI, S.; OU, M.; DU, W.; YANG, X.; DONG, X.; JIANG, L.; ZHANG, T.; DING, S.; JIA, W. Effects of sprayer speed, spray distance, and nozzle arrangement angle on low-flow air-assisted spray deposition. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 14, n. May, p. 1–10, 2023.

DIERINGS, C. A. Impactos da velocidade de aplicação na distribuição de gotas em diferentes sistemas de pulverização na cultura da soja (*Glycine max* L.). **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ CURSO DE AGRONOMIA**, [s. l.], v. 2507, n. February, p. 1–28, 2020.

ECKER, A. E. do A.; RAMOS, C. de O.; SILVA; LIMA, E. De. O USO DAS

TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS APLICADAS NO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS. UM LEVANTAMENTO SOBRE OS MODELOS APLICADOS NO BRASIL. **REVISTA TÓPICOS**, [s. l.], v. 2, n. 15, p. 1–29, 2024.

EMBRAPA. **Gotas: Programa de Calibração de Pulverização.**, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1421/gotas---programa-de-calibracao-de-pulverizacao---gotas>>

FAO. Pesticides Use and Trade 1990-2021. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat Analytical Brief 70**, [s. l.], v. 70, p. 1–12, 2023.

FERRARI, F.; ROGGIA, S.; FELIX, F. L. Efeito do volume de calda, adjuvante e horário de aplicação sobre a eficiência de controle de percevejos em soja. [s. l.], v. d, p. 111-118., 2014. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/994012>>

FRANÇA, J. A. L.; CUNHA, J. P. A. R.; ANTUNIASSI, U. R. SPECTRUM AND VELOCITY OF DROPLETS OF SPRAY NOZZLES WITH AND WITHOUT AIR INDUCTION by nozzles with and without air induction , under different pressures and flow rates . The experiment was conducted in a completely randomized design with five replications . [s. l.], v. 4430, p. 232–237, 2018.

GABRIEL, R. R. F.; BAIO, F. H. R. Interação entre pressão e tamanho de gota por instrumentação eletrônica em pulverizador pressurizado por CO₂. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 164–169, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [s. l.], 2024.

JADAV, C. V.; JAIN, K. K.; KHODIFAD, B. C. Spray of Chemicals as Affected by Different Parameters of Air Assisted Sprayer: A Review. **Current Agriculture Research Journal**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 289–295, 2019.

JÚNIOR, C. D. G.; COSTA, M. A. F. DA; MILAN, M. DESEMPENHO DE UM PULVERIZADOR PNEUMÁTICO COSTAL MOTORIZADO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES1 CASIMIRO. [s. l.], v. 24, n. 3, p. 712–719, 2021.

KARADOL, H.; AYBEK, A.; UCGUL, M.; KUZU, H.; GUNES, M. Field Sprayer with Application Rate Control Using Fast Response Proportional Valves under Variable Speed Conditions. **Agriculture (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 3, 2024.

KRUGER, G. R.; KLEIN, R. N.; OGG, C. L.; VIEIRA, B. C. Spray Drift of Pesticides. **G1773 · Index: Pesticides, General Equipment. Nebraska Extension**, [s. l.], 2019.

LI, L.; HU, Z.; LIU, Q.; YI, T.; HAN, P.; ZHANG, R.; PAN, L. Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, n. September, p. 1–16, 2022.

LIPÍŃSKI, S.; KALINIEWICZ, Z.; MARKOWSKI, P.; SZCZYGLAK, P. Evaluation of Air-Assisted Spraying Technology for Pesticide Drift Reduction. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 17, n. 11, 2025.

LOPES, L. de L.; CUNHA, J. P. A. R. Da; NOMELINI, Q. S. S. Use of Unmanned Aerial Vehicle for Pesticide Application in Soybean Crop. **AgriEngineering**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 2049–2063, 2023.

MACHADO, T. M.; QUEIROZ, D. G. B.; REYNALDO, É. F. DESEMPENHO OPERACIONAL DE PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO DE BARRAS NO MUNICÍPIO DE SINOP- MT. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p. 875**, [s. l.], v. 11, n. 22, p. 875–887, 2015. Disponível em:

<<http://www.antaq.gov.br/porta/DesempenhoPortuario/2009/DesempenhoOperacional.htm>>

MAPA. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Sistema de Agregação de Valor à Agricultura (SAV).**, 2025.

MARANGONI JR, A. Influência da pressão e da ponta de pulverização na distribuição de caldas em pulverizadores costais manuais. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CÂMPUS DE JABOTICABAL**, [s. l.], p. 30, 2018.

MARTIN, D. E. Flow variability of an aerial variable-rate nozzle at constant pressures.

Applied Engineering in Agriculture, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 483–488, 2013.

MASCARA, I. Avaliação de deriva na pulverização agrícola. [s. l.], p. 24, 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F.; LEITE, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; MEIRA, C. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, É. L. **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

MATOS, L. De; RAMOS, C. A. R.; SOUZA, L. H. De; LUZ, A. M. M.; FERNANDES, V. L. Avaliação Técnica De Pulverizadores De Barra. **Meio ambiente e ciências agrárias: desafios e soluções para um futuro sustentável**, [s. l.], p. 292–298, 2023.

MCGINTY, J. A.; MORGAN, G. D.; DOTRAY, P. A.; BAUMANN, P. A. Herbicide Formulation, Spray Nozzle Design, and Operating Pressure Affects the Droplet Size Spectra of Agricultural Sprays. **Journal of Experimental Agriculture International**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 1–7, 2019.

MELO, D. Aferição de taxa de aplicação de pulverizadores de barra na comunidade rio correntes, Lebon Regis-SC. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 1–38, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20935/AL189%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://thinkasia.org/handle/11540/8282%0Ahttp>

MOURA, C. R.; STRYHALSKI, J.; PAHOLSKI, V. Avaliação da pressão e velocidade de fluídos: Um estudo de caso sobre atomizadores e ar tipo canhão bananeiro. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 3399–3417, 2020.

NEGRI, J. C. e S.; BARBOSA, R. Z. Avaliação da vazão na interação de diferentes produtos e modelos de ponta de pulverização. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE AGRONOMIA**, [s. l.], n. 31, p. 1–9, 2017.

NUYTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 97, n. 3, p. 333–345, 2007.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 31–43, 2006.

PEREIRA, P. S.; FERNANDES, H. C.; CECON, P. R.; SOUZA, L. M. R. De; TEIXEIRA, C. C. Avaliação da deposição de defensivos agrícolas sobre o aplicador e a influência de parâmetros meteorológicos. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. e24311124889, 2022.

PESSOA, M. C. R.; CHAIM, A.; HERMES, L. C. GOTAS PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ESTIMAR UNIFORMIDADE DE GOTAS E VOLUME DE DEPOSIÇÃO DE CALDA PULVERIZADA (VERSÃO 0.5). **EMBRAPA**, [s. l.], p. 1–34, 1999.

POPP, J.; PETŐ, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 243–255, 2013.

QUIRINO, A. L. da S.; TEIXEIRA, M.; FERNANDES, H.; FERREIRA, L. Parâmetros da pulverização de defensivos agrícolas visando a redução da contaminação ambiental e do aplicador. **Agrarian**, [s. l.], v. 6, n. 20, p. 161–166, 2013.

RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Effect of the air speed in air-assisted sprayer on bean crop pesticide spray deposition. **Bragantia**, [s. l.], v. 62, n. 2, p. 329–334, 2003.

RODRIGUES, E. B.; ABI-SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A.; OLIVEIRA, R. B. De; HASEGAWA, M. M. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Deriva de equipamentos costais na aplicação de glyphosate Drift of glyphosate application using backpack sprayers. [s. l.], p. 1012–1017, 2015.

SANTOS, J. da C.; SANTOS, M. I. G. Consequências do uso de agrotóxicos na agricultura: Uma revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. e111121043556, 2023.

SAPKOTA, M.; VIRK, S.; RAINS, G. Spray Deposition and Quality Assessment at Varying Ground Speeds for an Agricultural Sprayer with and without a Rate Controller.

AgriEngineering, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 506–519, 2023.

SASSU, A.; PSIROUKIS, V.; BETTUCCI, F.; GHIANI, L.; FOUNTAS, S.; GAMBELLA, F. **Unmanned aerial system plant protection products spraying performance evaluation on a vineyard**. [s.l.] : Springer US, 2024. v. 25 Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-024-10155-8>>

SCHNEIDER, J. L.; OLIVEIRA, G. M. De; BALAN, R. E.; CANTERI, M. G.; SAAB, O. J. G. A. Cobertura de gotas de pulverização obtida com diferentes pontas e taxas de aplicação na parte aérea da cana-de-açúcar. **Ciencia Rural**, [s. l.], v. 43, n. 5, p. 797–802, 2013.

SEHSAH, E. M. E. Study on Helicopter Aerial Spraying Under Field Canola Conditions. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 893–910, 2020.

SILVA, L. Da; MACHADO, T. de A.; VELLOSO, N. S.; BARROS, M. M. De; COSTA, A. G.; CUNHA, J. P. B.; LIMA, W. M. Qualidade da pulverização na cultura do quiabeiro utilizando equipamento costal. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. e3538, 2024.

SINDIVEG. Uso de defensivos agrícolas no Brasil aumenta 10,5% em 2023, revela pesquisa do Sindiveg. **Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. Portal do Agronegócio**, [s. l.], 2023.

SOUZA, R. T. De. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. **INFOTECA-E (EMBRAPA)**, [s. l.], p. 157–167, 2008.

SOUZA, R. T. DE; CASTRO, R. D. DE; PALLADINI, L. A. DEPÓSITO DE PULVERIZAÇÃO COM DIFERENTES PADRÕES DE GOTAS EM APLICAÇÕES NA CULTURA DO ALGODOEIRO. **Eng. Agrícola, Jaboticabal**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 75–82, 2007.

VARGAS, B. C.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; CECON, P. R.; DA VITÓRIA, E. L.; SASAKI, R. S. Determining drift in spray tips evaluated under different wind speeds. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 56, p. 01–10, 2025.

VERGARA, W. R. H.; CRUZ, R. F. Da. Viabilidade econômico-financeira de pulverizadores: autopropelido e drones. **Revista Sítio Novo**, [s. l.], v. 9, p. e1693, 2025.

VERMELHO, A. B.; MOREIRA, J. V.; AKAMINE, I. T.; CARDOSO, V. S.; MANSOLDO, F. R. P. Agricultural Pest Management: The Role of Microorganisms in Biopesticides and Soil Bioremediation. **Plants**, [s. l.], v. 13, n. 19, p. 1–49, 2024.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI, S. L. D.; MACHADO, A. F. L. Volumetric Distribution and Droplet Spectrum by Low Drift Spray Nozzles. **Planta Daninha**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 439–446, 2010.

ZANIN, A. R. A.; NEVES, D. C.; TEODORO, L. P. R.; DA SILVA JÚNIOR, C. A.; DA SILVA, S. P.; TEODORO, P. E.; BAILO, F. H. R.; LIPÍŃSKI, S.; KALINIEWICZ, Z.; MARKOWSKI, P.; SZCZYGLAK, P. Reduction of pesticide application via real-time precision spraying. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 1–12, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-022-09607-w>>