



AVALIAÇÃO DA DERIVA NA PULVERIZAÇÃO AÉREA DE HERBICIDAS COM O USO DE DRONE

EVALUATION OF DRIFT IN AERIAL SPRAYING OF HERBICIDES USING DRONES.

Gabriel Benedito Fernandes¹; Gustavo Souza Rodrigues²

RESUMO

O avanço das tecnologias de aplicação aérea tem impulsionado o uso de drones na pulverização agrícola, apresentando potencial para maior eficiência e menor impacto ambiental. Contudo, ainda há lacunas quanto à uniformidade de deposição e ao risco de deriva sob diferentes condições operacionais. Este estudo teve como objetivo avaliar a deriva e a qualidade da pulverização de herbicidas, com e sem adjuvante, por meio de drones com manobras de mudança de faixa em diferentes espaçamentos da borda, analisando o comportamento das variáveis densidade de gotas, número de gotas e diâmetro mediano volumétrico (DMV). O experimento foi conduzido na Fazenda Engenho Novo, em Campanha (MG), utilizando o drone DJI Agras T20P, equipado com bicos centrífugos duplos, em delineamento fatorial 2×4 (presença/ausência de adjuvante e distâncias de 0 a 3 m). As condições meteorológicas foram monitoradas por termo-higro-anemômetro digital, e as análises estatísticas realizadas pelo software Sisvar 5.6. Os resultados indicaram que não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) para o uso de adjuvante ou interação tratamento × distância; contudo, observou-se tendência de redução da densidade e do número de gotas com o aumento da distância da borda ($p \approx 0,056$), evidenciando padrão de deriva compatível com pulverizações aéreas. O uso de adjuvante proporcionou leve aumento na densidade e estabilidade das gotas até 2 m da borda, em concordância com a literatura que destaca a função dos adjuvantes na redução da tensão superficial e na mitigação da deriva primária. O DMV manteve-se estável entre tratamentos, confirmando a eficiência do sistema de pulverização centrífugo do drone. Conclui-se que a pulverização apresentou redução da deriva com o aumento da distância da borda e que o uso do adjuvante melhora a uniformidade da cobertura nas zonas próximas à aplicação, contribuindo para maior eficiência e segurança operacional.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Adjuvantes agrícolas; Aplicação aérea; Defensivos agrícolas; Deriva de gotas.

ABSTRACT

¹ Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Centro Universitário do Sul de Minas – UNISMG. E-mail: gabriel.benedito@alunos.unis.edu.br

² Doutorado em Agricultura Sustentável pela Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS; Mestre em Sistema de Produção Agropecuária pela UNIFENAS; e Graduado em Engenharia Agrônoma pelo Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado. E-mail: gustavo.rodrigues@professor.unis.edu.br

The advancement of aerial application technologies has driven the use of drones in agricultural spraying, offering potential for greater efficiency and reduced environmental impact. However, gaps remain regarding deposition uniformity and drift risk under different operational conditions. This study aimed to evaluate the drift and spray quality of herbicides, with and without adjuvants, using drones with swath-change maneuvers at different edge spacings, analyzing the behavior of the variables droplet density, droplet number, and volumetric median diameter (VMD). The experiment was conducted at Engenho Novo Farm, in Campanha (MG), using a DJI Agras T20P drone equipped with dual centrifugal nozzles, under a 2×4 factorial design (presence/absence of adjuvant and distances from 0 to 3 m). Meteorological conditions were monitored using a digital thermo-hygro-anemometer, and statistical analyses were performed with *Sisvar* 5.6 software. Results indicated no significant statistical difference ($p > 0.05$) for adjuvant use or treatment × distance interaction; however, a trend toward decreased droplet density and count was observed with increasing distance from the edge ($p \approx 0.056$), demonstrating a drift pattern consistent with aerial applications. The use of adjuvant provided a slight increase in droplet density and stability up to 2 m from the edge, consistent with literature emphasizing the role of adjuvants in reducing surface tension and mitigating primary drift. The VMD remained stable among treatments, confirming the efficiency of the drone's centrifugal spraying system. It was concluded that the spraying operation showed a reduction in drift as the distance from the field edge increased, and that the use of the adjuvant improved coverage uniformity in areas close to the application, contributing to greater operational efficiency and safety.

Keywords: Precision agriculture; Agricultural adjuvants; Aerial application; Pesticides; Droplet drift.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação aérea tem se consolidado como ferramenta estratégica na agricultura de precisão brasileira, especialmente em culturas de larga escala como soja, milho e algodão. Conforme Talaeizadeh et al. (2025), drones agrícolas proporcionam monitoramento em tempo real e pulverizações mais precisas, enquanto Singh et al. (2025) destacam sua crescente adoção da tecnologia em sistemas agrícolas. Apesar dos avanços, persistem desafios técnicos, regulatórios e operacionais, como autonomia limitada, risco de deriva e necessidade de capacitação. Assim, a pulverização aérea demanda integração entre tecnologia, boas práticas agrônômicas e sustentabilidade ambiental, visando a uma maior eficiência e um menor impacto ao ecossistema, como aponta Talaeizadeh et al. (2025).

Diferentes métodos tecnológicos, como os drones, estão sendo importantes para a pulverização de herbicidas na agricultura (Kaya et al., 2025). O uso de drones na agricultura é uma tecnologia que coleta, processa, analisa e transmite dados das lavouras, simultaneamente, o que corrobora com a fiscalização do ambiente e também da produção (Mainardi, 2015), estimula o interesse dos profissionais e proprietários rurais (Calderone et al., 2025). O drone, por ser capaz de coletar informações, contribui para que uma solução seja previamente tomada para solucionar problemas na produtividade como a identificação de pragas e a aplicação de herbicidas e defensores corretivos para reduzir as perdas na lavoura e, consequentemente, aumentar a produção.

Para inibir o crescimento indesejável de plantas em uma lavoura, usa-se, como manejo nos sistemas agrícolas modernos, agentes químicos como os herbicidas que garantem a produtividade eficiente em larga escala, mas, também, podem apresentar

riscos ambientais relevantes como, por exemplo, a contaminação do solo e da água. Os herbicidas podem ser classificados quanto a seletividade para controlar plantas daninhas sem prejudicar a cultura principal, local de ação, momento de aplicação e mecanismo de ação (Carvalho, 2013). Pode-se utilizar drones para a pulverização de herbicidas, tendo em vista que as vantagens incluem tempos de pulverização mais curtos em comparação aos métodos tradicionais, a capacidade de pulverizar mesmo em terrenos desafiadores, bem como fornecer pulverização uniforme e o baixo custo de pulverização (Kaya et al., 2025), além das boas manobras e baixo peso (Qin et al., 2016).

Na agricultura, a deriva é um movimento intencional das gotas de herbicidas para fora da área-alvo durante ou imediatamente após sua aplicação e isso pode acontecer devido a fatores como o vento ou atmosféricos. Esse processo compreende tanto a exo-deriva que é a dispersão física para áreas adjacentes, quanto a endo-deriva, quando o produto atinge a zona de aplicação, mas não o alvo biológico, podendo contaminar solos ou recursos hídricos com impactos ambientais adversos (Khan et al., 2024).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a deriva e a qualidade da pulverização de herbicidas, com e sem adjuvante, por meio de drones com manobras de mudança de faixa em diferentes espaçamentos da borda, analisando o comportamento das variáveis densidade de gotas, número de gotas e diâmetro mediano volumétrico (DMV).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 APLICAÇÃO ÁREA NA AGRICULTURA BRASILEIRA

A aplicação aérea no Brasil tem-se consolidado como componente estratégico da agricultura de precisão, especialmente em culturas extensivas como soja, milho e algodão. Conforme destacado por Talaeizadeh et al. (2025), os drones agrícolas permitem monitoramento em tempo real, pulverizações mais uniformes e intervenções mais rápidas em relação aos métodos convencionais. No contexto brasileiro, conforme Singh et al. (2025), observa-se que os drones vêm ganhando espaço nas áreas agrícolas brasileiras e tornando-se uma opção para produtores rurais e prestadores de serviços. Assim, a tecnologia de pulverização aérea, seja por aeronaves, helicópteros ou veículos aéreos não tripuláveis (VANTs), está passando por transformações relevantes, combinando eficiência operacional com exigências regulatórias e ambientais.

Entretanto, há desafios técnicos, operacionais e regulatórios que impactam a adoção e o desempenho da pulverização aérea no Brasil. Conforme análise de Singh et al. (2025), embora o uso de sistemas não tripulados (USNT) apresente vantagens como redução de exposição do operador e acesso a terrenos de difícil manejo, limitações como autonomia de voo, capacidade de carga, variabilidade na cobertura e risco de deriva ainda necessitam atenção.

No Brasil, além disso, a dependência de equipamentos importados, os custos de manutenção, e a necessidade de mão de obra capacitada também figuram como barreiras. Dessa forma, a pulverização aérea requer não apenas tecnologia, mas também infraestrutura, suporte técnico e regulamentação adequada, pois do ponto de vista agrônomo e ambiental, a aplicação aérea deve ser vista como parte de estratégias integradas de manejo de insumos, visando aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e minimizar os impactos ambientais. A literatura internacional aponta que a pulverização aérea pode contribuir para a sustentabilidade ao permitir aplicações localizadas, menor volume de caldo, controle mais preciso e menor necessidade de movimentação de solo ou implementos pesados (Portillo et al., 2025).

No Brasil, esse potencial ganha ainda mais relevância quando se considera a variabilidade de relevo, clima e tamanho de propriedade, bem como as exigências crescentes de mercado quanto a rastreabilidade e à conformidade ambiental. O grande desafio será combinar aplicação técnica de alto nível com boas práticas agrônômicas, calibração adequada, monitoramento da deriva e treinamento de profissionais para garantir resultados consistentes e responsáveis (Singh et al., 2025).

2.1.1 Tecnologias de aplicação aérea para pulverização na agricultura

Para alcançar a produtividade agrícola, tornando-a mais lucrativa e eficaz, é essencial a adoção de tecnologias inovadoras. Por meio delas, os agricultores podem realizar a aplicação de insumos de maneira mais racional e econômica, reduzindo impactos ambientais e diminuindo o esforço físico, já que passam a empregar métodos mais inteligentes e automatizados como os drones (Pegorari, 2023).

Há uma ampla variedade de drones disponíveis no mercado voltados à pulverização agrícola, e entre eles destaca-se, de acordo com Timber (2024), o modelo P60, que representa uma evolução tecnológica significativa dentro da linha de drones agrícolas voltados à pulverização de precisão. O equipamento mantém os princípios de alta eficiência e autonomia operacional observados em versões anteriores, porém incorpora melhorias estruturais e de desempenho que o tornam mais adequado para grandes áreas e condições de campo variadas. O XAG P60 ou New Holland P60 apresenta sistema duplo de pulverização, com capacidade ampliada de tanque (20 L para líquidos e 30 L para grânulos), o que otimiza o tempo entre reabastecimentos e aumenta a produtividade por hora trabalhada. Seu sistema de navegação *Real Time Kinematic* (RTK) continua garantindo precisão centimétrica, fundamental para a aplicação homogênea de defensivos, fertilizantes ou bioinsumos. Além disso, o modelo dispõe de radares duplos e sensores ultrassônicos de relevo, que ajustam automaticamente a altura de voo conforme a topografia, assegurando uniformidade na deposição do produto. As pontas rotativas de pulverização do P60 permitem ajuste dinâmico do diâmetro de gota, variando de 50 a 450 micras, diretamente via aplicativo móvel, o que possibilita adequar o tamanho das gotas ao tipo de produto e à condição climática. O drone conta ainda com proteção IP67, a qual garante resistência à poeira e à umidade, e sua autonomia de voo atinge cerca de 15 minutos, com recarga rápida por imersão em sistema de resfriamento líquido.

O DJI Agras MG-1P é um drone agrícola multirrotor de oito hélices projetado especificamente para pulverização de defensivos agrícolas, fertilizantes líquidos e bioinsumos, combinando alta precisão operacional e automatização do processo de aplicação. O modelo descrito está equipado com quatro pontas Teejet nº 1 do tipo cone vazio, que são bicos hidráulicos de pulverização com ângulo de abertura cônico e centro oco. Esses bicos produzem gotas finas e uniformes, favorecendo uma distribuição homogênea da calda sobre o dossel da cultura e é o tipo cone vazio indicado para aplicações em que se busca melhor cobertura foliar, especialmente em culturas com arquitetura densa ou irregular. As pontas Teejet nº 1 operam com vazão reduzida, o que permite um controle preciso da dosagem de calda, minimizando o desperdício e o risco de deriva. Além disso, podem ser combinadas com controladores de vazão eletrônicos e sensores de altitude e velocidade do drone, garantindo estabilidade do volume aplicado por hectare ($L \cdot ha^{-1}$). O drone possui um tanque de 10 litros de calda, adequado para aplicações localizadas ou áreas de pequena a média extensão e essa capacidade é compatível com operações de precisão, permitindo reabastecimento rápido e alta produtividade em ciclos curtos de voo. O DJI Agras MG-1P é equipado com *Global Navigation Satellite System com Real Time Kinematic* (GNSS/RTK), proporcionando

precisão centimétrica na rota de voo e repetibilidade nas aplicações. O sistema MG Intelligent Operation Planning permite planejar rotas automáticas, ajustar faixas de aplicação e monitorar o desempenho em tempo real (Genilhu; Rosa, 2021).

O DJI Agras T20P é um drone agrícola moderno, projetado para realizar pulverizações com alta precisão, eficiência e autonomia operacional. Possui um tanque com capacidade de 20 litros e sistema inteligente de controle de voo que permite planejamento automático de rotas, garantindo cobertura uniforme das áreas cultivadas. Equipado com navegação RTK, radares tridimensionais e sensores binoculares, o T20P ajusta sua altura conforme o relevo e evita obstáculos com segurança. Sua estrutura resistente (IP67) assegura proteção contra poeira e umidade, tornando-o ideal para diferentes condições de campo (Yumnam et al., 2025), e com autonomia média de 9 a 12 minutos por voo, o drone é capaz de cobrir até 15 hectares por hora, otimizando o tempo e reduzindo custos de aplicação. O sistema de pulverização do T20P utiliza bicos centrífugos duplos, tecnologia que garante formação uniforme de gotas com tamanho ajustável entre 50 e 500 micras, permitindo adequação conforme o tipo de cultura e o produto aplicado. Essa configuração reduz, significativamente, a deriva de agrotóxicos, melhora a deposição das gotas sobre o alvo e diminui o desperdício de calda. Por ser totalmente automatizado e de fácil operação, o DJI Agras T20P representa um avanço importante na agricultura de precisão, unindo desempenho, sustentabilidade e qualidade na aplicação de defensivos e fertilizantes líquidos (Calderone et al., 2025).

2.1.2 Faixa de aplicação na pulverização com drone

De acordo com Byers et al. (2024), a limitação da amplitude na pulverização de herbicidas com drones está ligada, diretamente, à uniformidade da deposição. A largura de faixa efetiva deve ser definida de modo que o coeficiente de variação (CV) da deposição transversal não ultrapasse valores críticos, geralmente maior ou igual à 25%, pois acima disso há falhas na cobertura e risco de surgimento de faixas sem herbicida. Além disso, a deriva, fora-alvo, aumenta com maiores alturas de voo e menor sobreposição, elevando riscos ambientais e reduzindo a eficácia da pulverização.

Um dos principais problemas relacionados ao limite da amplitude na pulverização de herbicidas com drones é a uniformidade da deposição ao longo da faixa de aplicação. Estudos recentes mostram que a interação entre altura de voo e velocidade pode provocar grandes variações de deposição, fazendo com que a largura efetiva seja bem menor do que a largura geométrica da faixa pulverizada, e isso limita a eficiência operacional e exige calibração cuidadosa para cada modelo de drone e condição ambiental (Byers et al., 2024). Segundo Sinha et al. (2022), outro problema relevante é a deriva fora-alvo e o impacto na eficácia do herbicida. À medida que se amplia a faixa de trabalho, a tendência é operar em maiores alturas e menores sobreposições, o que aumenta o potencial de deriva. Isso não apenas reduz a eficiência do controle nas bordas da faixa, mas também eleva os riscos ambientais e regulatórios. Ensaios recentes indicam que a largura efetiva deve ser ajustada, considerando tanto a deriva quanto o modo de ação do herbicida para garantir eficiência agrônômica sem comprometer a segurança ambiental.

A eficácia do herbicida, especialmente nas bordas da faixa, fundamenta a necessidade de conter a amplitude. Revisões e ensaios atuais confirmam essa distinção entre herbicidas de contato e sistêmico, mostrando que, em aplicações com drones, é possível manter o controle equivalente ao convencional com volumes baixos em aproximadamente 30–45 L ha⁻¹, reforçando que a amplitude só pode ser ampliada quando a uniformidade e a deriva não comprometem a eficácia de determinada área e os

herbicidas sistêmicos, em média, são menos sensíveis ao tamanho da gota e podem manter eficácia com menor cobertura (Calderone et al., 2025).

2.1.3 A deriva na agricultura

A deriva de agrotóxicos continua sendo um desafio na agricultura. Trata-se do deslocamento de partículas químicas pulverizadas que, levadas pelo vento, atingem áreas não desejadas como lavouras vizinhas ou zonas de preservação, causando prejuízos ambientais e reduzindo a eficiência da aplicação.

Segundo Pegorari (2023), esse fenômeno está diretamente ligado ao tamanho das gotas e às condições climáticas no momento da pulverização. Para reduzir a deriva, é essencial conhecer as condições locais, ajustar o espectro de gotas e adotar tecnologias de aplicação mais precisas, como bicos eletrostáticos e sistemas de redução de deriva, além de escolher produtos com menor potencial de dispersão.

Durante a pulverização, a calda é lançada no ar em forma de gotas, cuja trajetória e velocidade são influenciadas por fatores como diâmetro, densidade e condições do ar. Esses fatores determinam o tempo de queda e o risco de evaporação antes que a gota atinja o alvo (Martini et al., 2016).

O adjuvante é um composto incorporado à calda de pulverização com a finalidade de alterar suas propriedades físico-químicas, aprimorando o desempenho da aplicação e a eficácia do produto fitossanitário sobre o alvo desejado. Essas substâncias não exercem efeito direto sobre insetos, patógenos ou plantas daninhas, mas atuam otimizando características como a redução da tensão superficial, o aumento da aderência, a uniformidade das gotas e a estabilidade da mistura, resultando em melhor deposição e menor possibilidade de deriva (Adegas; Gazziero 2020).

Conforme destacado por Martini et al. (2016), a trajetória e a velocidade das gotas durante a pulverização são influenciadas por fatores como tamanho, densidade e condições meteorológicas, que afetam o risco de evaporação e a capacidade de atingir o alvo. Nesse cenário, o adjuvante exerce papel fundamental ao modificar o comportamento físico das gotas e favorecer sua fixação nas superfícies foliares, minimizando perdas por evaporação e deriva. Em aplicações aéreas e com o uso de drones, a utilização desses produtos se torna ainda mais indispensável, visto que a pulverização ocorre em ambientes mais sujeitos à ação do vento e às variações de temperatura, exigindo maior controle das propriedades da calda e da dinâmica das gotas. Dessa maneira, os adjuvantes contribuem, significativamente, para elevar a eficiência agrônômica, reduzir impactos ambientais e aumentar a segurança das operações de pulverização (Adegas; Gazziero 2020).

2.2 HERBICIDAS E A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Tradicionalmente, acredita-se que o controle químico das plantas daninhas é indispensável para garantir a alta produtividade. No entanto, essa visão simplificada ignora a complexidade dos sistemas agrícolas e a influência de fatores ecológicos, climáticos e de manejo. Assim, a produtividade não pode ser atribuída, unicamente, à aplicação de herbicidas, mas sim a um conjunto de práticas integradas que determinam o equilíbrio do agroecossistema (Colbach et al., 2020).

Ainda segundo Colbach et al. (2020), a ausência de métodos consistentes para avaliar o impacto das plantas daninhas sobre o rendimento das culturas leva a interpretações equivocadas e decisões de manejo pouco precisas. Muitas vezes, áreas com baixa infestação recebem o mesmo tratamento químico que áreas altamente infestadas, o que resulta em desperdício de recursos e impacto ambiental desnecessário. Essa falta de

rigor na quantificação dos efeitos reais das plantas daninhas reforça a necessidade de abordagens mais científicas e contextualizadas.

A influência dos fatores ecológicos e agronômicos na competição entre plantas daninhas e culturas agrícolas, segundo Sinha et al. (2022), depende da densidade das plantas, da disponibilidade de recursos e do estágio de desenvolvimento das espécies cultivadas. Em muitos casos, estratégias culturais, como a rotação de culturas, o aumento da densidade de semeadura e o uso de coberturas vegetais, podem reduzir a pressão das plantas daninhas de forma tão eficiente quanto o controle químico. Colbach et al. (2020) defendem que o sucesso do manejo depende da integração entre diferentes práticas e não da aplicação isolada de herbicidas.

Outro ponto central, refere-se às consequências do uso intensivo e contínuo de herbicidas. A dependência excessiva de poucos modos de ação químicos tem levado ao surgimento de resistência em diversas espécies de plantas daninhas, tornando o controle menos eficaz e mais oneroso ao longo do tempo. Além disso, o uso prolongado desses produtos pode causar contaminação ambiental, afetando o solo e os recursos hídricos. Kaya et al. (2025), alertam que a sustentabilidade dos sistemas agrícolas está ameaçada quando o controle químico é empregado sem considerar seus impactos ecológicos e a necessidade de diversificação de métodos. Por fim, os herbicidas devem ser compreendidos como uma ferramenta dentro de um conjunto de estratégias de manejo integrado de plantas daninhas.

A agricultura moderna precisa abandonar a dependência exclusiva do controle químico e adotar uma abordagem sistêmica, baseada em dados científicos e na integração de diferentes práticas agronômicas (Kaya et al., 2025), pois o futuro da produção agrícola sustentável está na combinação equilibrada entre tecnologia, conhecimento ecológico e manejo racional dos insumos químicos, de modo a garantir produtividade, rentabilidade e conservação ambiental de longo prazo (Yumnam et al., 2025).

2.2.1 Deriva de herbicidas na aplicação com drone

A deriva de herbicidas em pulverizações realizadas com drones tem sido amplamente discutida. Esse fenômeno decorre da interação entre variáveis operacionais como altitude de voo, velocidade e tamanho das gotas, fatores meteorológicos (vento, temperatura e umidade relativa) e propriedades físico-químicas das formulações (viscosidade, tensão superficial e volatilidade). Conforme Barros Lima (2024), os drones operam com parâmetros automatizados, o que exige calibrações constantes e controle rigoroso das condições de aplicação para garantir segurança e precisão. A qualidade da pulverização depende, portanto, do ajuste fino dos sistemas embarcados e da validação dos resultados em campo.

A aplicação de herbicidas como glifosato e glufosinato via drones pode alcançar eficiência comparável à pulverização terrestre em baixas doses, desde que o manejo minimize a evaporação e o transporte das gotas. O fluxo de ar gerado pelas hélices dos drones favorece a penetração do produto em dosséis mais densos, embora, em ambientes secos e com gotas muito pequenas, o risco de deriva aumente consideravelmente. Assim, a escolha correta dos bicos, a definição adequada da altura de voo e o monitoramento das condições ambientais são fatores decisivos para reduzir perdas e otimizar a deposição do herbicida.

Na área de formulações e adjuvantes, Iost (2008) demonstra que o uso de agentes antideriva e modificadores da calda aumenta o diâmetro médio das gotas e reduz a fração de partículas muito finas, justamente aquelas mais suscetíveis à deriva, e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 µm está diretamente associada ao potencial de

dispersão indesejada. Dessa forma, produtos que elevam a viscosidade ou alteram a tensão superficial da calda se tornam aliados importantes na aplicação aérea de baixo volume, especialmente em sistemas automatizados como os VANTs.

Por fim, ressalta-se que a mitigação da deriva deve integrar diversas práticas complementares, como o uso de pontas de pulverização de baixa suscetibilidade, a criação de faixas de proteção em áreas sensíveis, a calibração periódica dos equipamentos e o planejamento operacional com base em condições climáticas favoráveis. Tais medidas contribuem para conciliar a eficiência agrônômica com a conservação ambiental e a segurança das culturas vizinhas. Assim, o uso de drones na aplicação de herbicidas deve ser compreendido dentro de um contexto de manejo integrado, unindo tecnologia, conhecimento técnico e responsabilidade ecológica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Engenho Novo, localizada no município de Campanha – MG, sob coordenadas geográficas 21°50'00.8"S (Latitude) e 45°22'41.1"W (Longitude). A área experimental encontrava-se cultivada com mix de cobertura de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), braquiária (*Urochloa brizantha* [Hochst. ex A. Rich.] R.D. Webster) e feijão-guandu (*Cajanus cajan* [L.] Millsp.).

Antes da aplicação, foi realizado o mapeamento da área para definição das linhas de voo e posicionamento dos cartões hidrossensíveis, sendo a área utilizada de 600 m². A pulverização foi realizada com o drone agrícola DJI AGRAS T20P (Figura 1), equipado com tanque de 20 L, sensores binoculares e radar tridimensional. No sistema de pulverização foram utilizados bicos centrífugos duplos (Figura 2), responsáveis pela atomização uniforme da calda e pela redução da suscetibilidade à deriva. A aplicação foi conduzida com altura de voo de 5 m, faixa de 6 m, velocidade de 18 m s⁻¹ com o tamanho de gota média configurada em aproximadamente 226 a 325 µm (micrômetros).

Figura 1 - Drone DJI AGRAS T20P



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Figura 2 - Bicos centrífugos (seta branca) duplos do Drone DJI AGRAS T20P

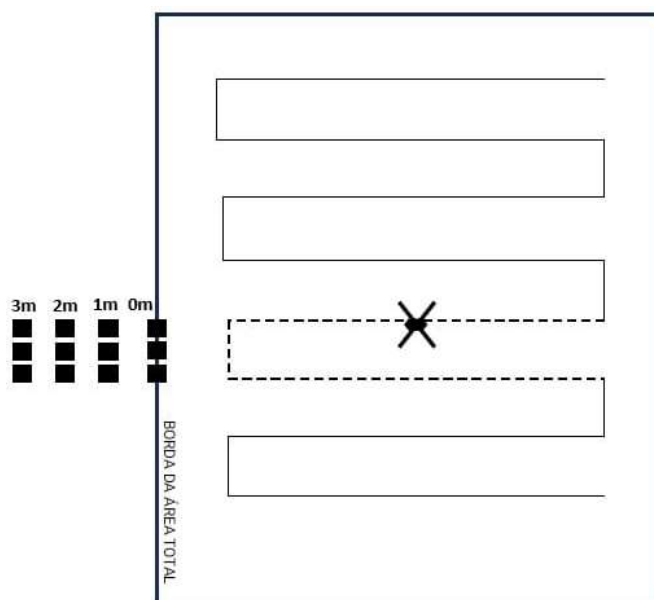


Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Foram utilizados cartões hidrossensíveis (26×76 mm) fixados por estaca horizontalmente a 0,7 m do solo. No total, 12 cartões foram usados por repetição, totalizando 96 cartões analisados.

A faixa operacional do drone é de 6 m, porém, durante a manobra de retorno, o sistema desliga automaticamente um dos bicos, mantendo apenas 3 m de aplicação ativa. A figura 3 demonstra como os cartões foram posicionados: 0 m – início da manobra; 1,5 m – meio da manobra; e 3 m – final da manobra.

Figura 3 - Esquema do mapeamento da área.



Fonte: Arquivo pessoal (2025). Legenda: na linha preta escura observam-se as bordas; na linha preta clara observa-se o caminho percorrido pelo drone; na linha pontilhada observa-se a manobra do drone; nos quadrados pretos são os papéis hidrossensíveis; e o X sobre a linha pontilhada refere-se ao drone.

Para medir a deriva lateral, cartões adicionais foram instalados fora da área aplicada nas distâncias 0 m, 1 m, 2 m e 3 m além da borda. Durante as aplicações, registraram-se temperatura do ar (30°C), umidade relativa (35%) e velocidade do vento

(0 a 5km/h) por meio de termo-higro-anemômetro digital calibrado. As medições ocorreram imediatamente antes e durante cada repetição.

Foram avaliados dois tratamentos referentes ao uso de adjuvante, sendo o tratamento 1 com calda composta de: água + LI-700 (20 mL) + glifosato WG (1 kg); e o tratamento 2 com calda sem adjuvante: água + glifosato WG (1 kg), e o volume aplicado foi de 20 L ha⁻¹ em ambos os casos.

Como parte da avaliação da deposição e da deriva, os cartões hidrossensíveis foram posicionados tanto dentro da faixa correspondente à manobra de curva do drone quanto fora da borda da área aplicada, permitindo medir a deriva horizontal após cada configuração de voo.

Para isso, os voos foram planejados e executados de forma independente para cada amplitude de manobra. Foram realizados quatro voos distintos, correspondentes às diferentes distâncias utilizadas como margem interna antes da borda da área: 1º voo – manobra com amplitude de 0 m; 2º voo – manobra com amplitude de 1 m; 3º voo – manobra com amplitude de 2 m; 4º voo – manobra com amplitude de 3 m. Em cada um desses voos, o drone executou a curva de mudança de faixa conforme a amplitude definida, mantendo a operação real de desligamento de um dos bicos durante a manobra, o que reduz a faixa aplicada para 3 m.

Durante cada voo, avaliou-se a deposição dentro da área de manobra, por meio dos cartões instalados nos pontos de 0 m, 1,5 m e 3 m; bem como a deriva gerada para fora da borda, analisada nos cartões posicionados a 0 m, 1 m, 2 m e 3 m após os limites externos da área aplicada. Assim, cada configuração de amplitude permitiu mensurar como a distância da manobra em relação à borda influencia o deslocamento lateral das gotas e a quantidade de calda que ultrapassa os limites da área.

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), estruturado em dois tratamentos principais, correspondentes ao uso ou não do adjuvante na calda de pulverização. Cada tratamento foi repetido quatro vezes, totalizando oito tratamentos, uma vez que cada repetição correspondeu a um voo independente realizado com amplitudes diferentes de manobra do drone. As amplitudes utilizadas foram de 0, 1, 2 e 3 metros para dentro da borda da área e cada uma delas representou um novo voo e, portanto, uma repetição experimental distinta. A escolha do voo como unidade experimental se justifica porque cada aplicação aérea constitui um evento independente, sujeito a variações reais de deslocamento, vento, atomização e comportamento da deriva, garantindo assim a independência estatística necessária ao delineamento.

Após cada voo, os cartões hidrossensíveis foram recolhidos, identificados e fotografados para posterior processamento. As imagens foram analisadas com o software DropScope® (Figura 4), que realizou a leitura digital dos impactos de gotas sobre cada cartão. Esse processamento permitiu quantificar as principais variáveis relacionadas à deposição e à deriva, incluindo a densidade de gotas (gotas/cm²), o número total de gotas depositadas e o diâmetro mediano volumétrico (DMV), que representa o tamanho de gota predominante na aplicação. As informações obtidas pelo DropScope® foram utilizadas como base para compor os resultados de cada repetição (voo), permitindo a comparação entre os tratamentos e a avaliação do efeito do uso do adjuvante e das amplitudes de manobra do drone.

Figura 4 - DropScope®.



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística no software Sisvar (Ferreira, 2019), utilizando o modelo de DIC em esquema fatorial 2×4 , composto pelos dois tipos de calda (com e sem adjuvante) e pelas quatro repetições representadas pelos voos independentes. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada com teste F ao nível de 5% de probabilidade. Nos casos em que não se observou significância estatística, as variáveis foram interpretadas por meio da análise descritiva do comportamento das médias e das representações gráficas, considerando as condições reais de deposição e deriva obtidas em cada voo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitiram avaliar o comportamento da deposição e do potencial de deriva na pulverização com drone, considerando o uso do adjuvante LI-700 e diferentes distâncias em relação à borda da faixa aplicada.

Pelos relatórios do *DropScope*®, todos com LI-700, a lógica de amostragem foi posicionar papéis hidrossensíveis a partir da borda e observar o gradiente de deposição em 0, 1, 2 e 3 m após a margem, com voos em sentidos e amplitudes de margem distintos. No relatório denominado de T0 (drone programado para a linha da borda a 0 m), observa-se um padrão nítido de queda da densidade de gotas conforme se afasta da margem. A posição mais próxima registra as maiores cargas como, por exemplo, 257,6 gotas cm^{-2} com DMV $\sim 190 \mu\text{m}$, classificação fina, reduzindo para $\sim 113,2$ gotas cm^{-2} e depois $\sim 50,6$ gotas cm^{-2} , até valores próximos de $\sim 13,3$ gotas cm^{-2} no ponto mais distante; o conjunto traz diâmetro mediano numérico (DMN) na faixa de 63-86 μm e diâmetros caracterizados de fina a muito fina, coerente com alta contagem e gotas menores nos pontos mais internos. Esses números confirmam que, quando o voo tangencia a margem, a deposição domina os primeiros metros e decai rapidamente com a distância. Comparando os cenários com amplitude de margem de 1 m no relatório T1 (mesmo sentido do T0, porém deslocado a 1 m para dentro) ainda mostra um pico inicial de deposição e queda

progressiva em $\sim 155,7 - 39,2$ e $12,6$ gotas cm^{-2} ao avançar para 3 m, com DMV de 169-174 μm (fina a muito fina), indicando que o deslocamento atenua, mas não elimina a carga logo após a margem. Já no relatório T2 (deslocado a 2 m para dentro), mantendo o sentido e amplitude, a deposição cai drasticamente com densidade geral de $\sim 12,5$ gotas cm^{-2} ; os papéis hidrossensíveis em sequência com $\sim 25,1 - 18,9 - 6,0$ e 0 gotas cm^{-2} , com DMV $\sim 115-120$ μm (muito fina), evidenciando que a deriva efetiva se extingue antes de 3 m naquele arranjo. Em T3 (avaliação de deriva com amplitude de 3 m), a captura de gotas é praticamente nula, apenas uma gota ocasional ($0,02-0,06$ gotas cm^{-2}) com DMV ~ 221 μm , reforçando que, nesse sentido/posicionamento, a nuvem não alcançou os papéis hidrossensíveis de avaliação de forma mensurável. No conjunto, os quatro testes descrevem um gradiente espacial claro: máxima deposição junto à margem no voo tangente, redução acentuada quando o voo se desloca 1 m para dentro e ausência quando se mede para fora, compatível com contenção da deriva nos primeiros metros a partir da borda.

Nos relatórios gerados pelo *DropScope*®, sem adjuvante LI 700, observa-se uma queda marcante na densidade de gotas e na uniformidade de deposição, indicando menor eficiência na cobertura e maior irregularidade na pulverização. No T0, a densidade variou de 95,9 gotas/ cm^2 no ponto mais próximo da margem apenas 10,6 gotas/ cm^2 a 3 m, com DMV entre 158 e 163 μm e DMN em torno de 86-68 μm , gotas classificadas como finas a muito finas, mais suscetíveis à deriva e evaporação. Isso evidencia que, mesmo na borda, o padrão de deposição foi instável e inferior ao obtido com o uso de adjuvante, refletindo em menor retenção do produto e perda de eficiência da pulverização. Nos tratamentos seguintes (T1, T2 e T3), sem LI 700, a queda na quantidade e no alcance da deriva é ainda mais expressiva. O T1 apresentou densidade média geral de apenas 3,64 gotas/ cm^2 , com os papéis hidrossensíveis mais distantes registrando valores mínimos ($0,26$ gotas/ cm^2) e diâmetros predominantemente muito finos (DMN 74-97 μm). No T2, o padrão se manteve com densidades inferiores a 3 gotas/ cm^2 e total ausência de gotas após 2 metros da margem. Já no T3, praticamente não houve deposição detectável com valores máximos e próximos de 0,8 gotas/ cm^2 . Em conjunto, os dados demonstram que a ausência do LI 700 reduziu drasticamente a uniformidade, a penetração e o alcance da pulverização, confirmando o papel essencial do adjuvante na formação de gotas mais estáveis, na redução da deriva e na melhora da cobertura sobre o alvo.

4.1 DENSIDADE MÉDIA DE GOTAS

A análise de variância da densidade de gotas (gotas/ cm^2) (Tabela 1) não indicou efeito significativo ($p > 0,05$) para o fator tratamento (uso de adjuvante) nem para a interação tratamento x distância. Contudo, o fator distância apresentou tendência à significância ($p = 0,0565$), valor próximo ao limite adotado de 5%. Embora não tenha sido detectada diferença estatística formal, observa-se que a densidade de gotas diminuiu progressivamente com o aumento da distância da borda, comportamento coerente com o padrão esperado em aplicações aéreas.

Tabela 1 – Resumo da ANOVA das médias dos efeitos de tratamento, distância e interação tratamento x distância sobre a densidade de gotas (gotas/ cm^2). Campanha/MG, 2025.

Fonte	Soma de Quadrados ⁽¹⁾	Graus de liberdade ⁽²⁾	Quadrado Médio ⁽³⁾	Estatística de Fisher ⁽⁴⁾	p-valor ⁽⁵⁾
C(tratamento)	87.552.836.281	1	87.552.836.281	3,553	0,0716

C(distância)	213.335.245.844	3	71.111.748.615	2,886	0,0565
C(tratamento):C(distância)	72.753.004.844	3	24.251.001.615	0,984	0,4168
Residual	591.378.666.250	24	24.640.777.760	..	..

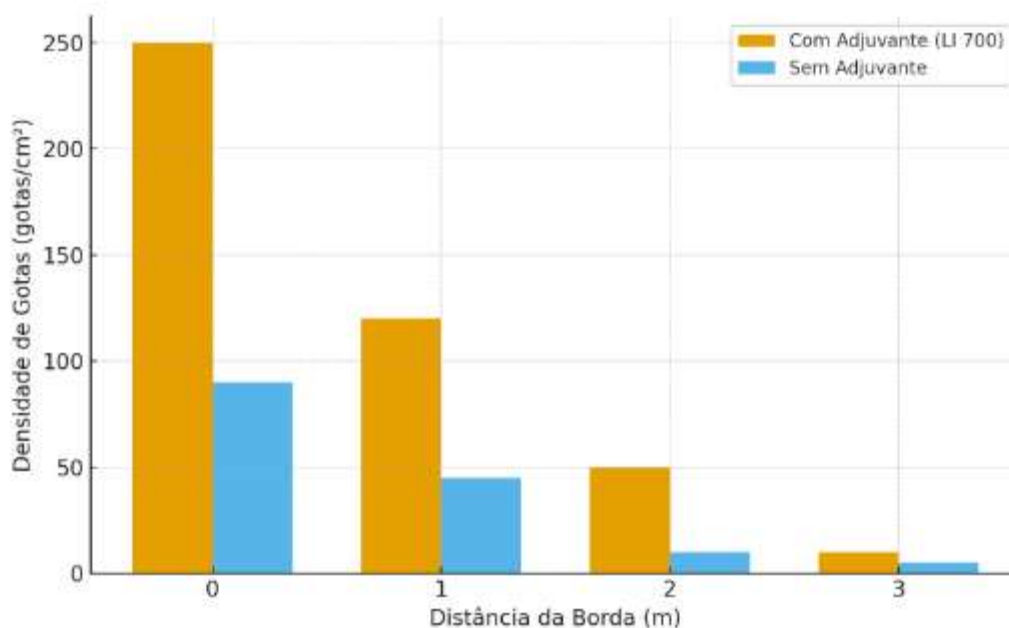
Fonte: Próprio autor (2025).

Notas:

- (1) Indica a variação total explicada por cada fator;
- (2) Número de comparações independentes;
- (3) Relação entre SQ e GL;
- (4) Compara o QM do fator com o QM do erro;
- (5) Probabilidade de significância estatística ($p < 0,05$ indica efeito significativo).

O gráfico de tendência (Figura 5) mostra uma redução gradual da densidade média de gotas à medida que a distância aumenta, independentemente do uso de adjuvante. Esse comportamento corrobora com os achados de Byers et al. (2024), que descrevem decréscimos exponenciais na deposição quando a distância excede a faixa efetiva de 5-6 metros em pulverizações com drones multirrottores. Da mesma forma, Adegas e Gazziero (2020) destacam que a densidade de gotas tende a diminuir acentuadamente com a distância quando predominam gotas finas, condição comum em aplicações de baixo volume.

Figura 5 – Densidade média de gotas por distância e tratamento, Campanha/MG, 2025.



Fonte: Próprio autor.

O uso do adjuvante LI-700 proporcionou maior estabilidade das gotas nas distâncias mais próximas, o que corrobora com os achados de Kaya et al. (2025) e Pegorari (2023), pois relatam que agentes redutores de tensão superficial aumentam a coesão das gotas e reduzem perdas por deriva primária. Como não houve diferença estatisticamente significativa, a tendência observada confirma impacto operacional do adjuvante no desempenho da pulverização. Assim, os resultados estão de acordo com a literatura ao evidenciar que a deposição é altamente dependente da distância e beneficiada pela presença de adjuvantes.

4.2 NÚMERO TOTAL DE GOTAS

Na variável número total de gotas (Tabela 2), os resultados $F = 3,374$; $p = 0,0787$ apresentaram tendência semelhante à observada para a densidade, com valores próximos da significância para o fator tratamento e para a distância ($p = 0,0605$). Esses valores indicam que, embora as diferenças não sejam estatisticamente significativas ao nível de 5%, há uma clara influência do adjuvante na formação e na manutenção do número de gotas detectadas nos cartões hidrossensíveis.

Tabela 2 – Resumo da ANOVA das médias dos efeitos de tratamento, distância e interação tratamento x distância sobre o número total de gotas. Campanha/MG, 2025.

Fonte	Soma de Quadrados ⁽¹⁾	Graus de liberdade ⁽²⁾	Quadrado Médio ⁽³⁾	Estatística de Fisher ⁽⁴⁾	p-valor ⁽⁵⁾
C(tratamento)	2.037.675.781	1	2.037.675.781	3,374	0,0787
C(distância)	5.107.451.844	3	1.702.483.948	2,819	0,0605
C(tratamento):C(distância)	1.831.971.844	3	610.657.281	1,011	0,4051
Residual	14.495.860.750	24	603.994.198	..	..

Fonte: Próprio autor (2025).

Notas:

⁽¹⁾ Indica a variação total explicada por cada fator;

⁽²⁾ Número de comparações independentes;

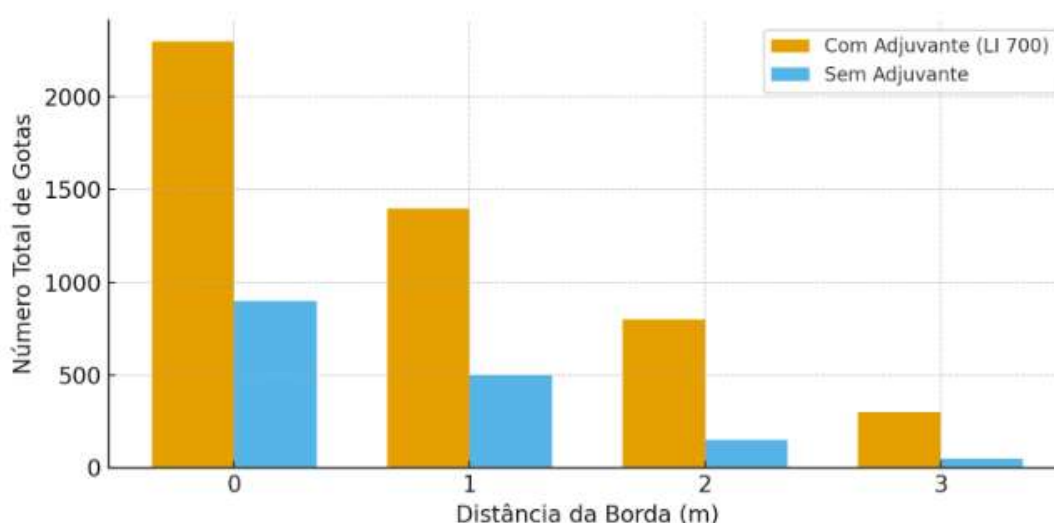
⁽³⁾ Relação entre SQ e GL;

⁽⁴⁾ Compara o QM do fator com o QM do erro;

⁽⁵⁾ Probabilidade de significância estatística ($p < 0,05$ indica efeito significativo).

Conforme evidencia a figura 6, houve maior número médio de gotas nos tratamentos com adjuvante até aproximadamente 2 m de distância, seguido de redução acentuada nas faixas subsequentes. Esse comportamento é compatível com os estudos de Timber (2023) e Martini et al. (2016), que relatam que o tamanho e o número de gotas estão diretamente ligados à energia cinética e à viscosidade da calda. Assim, o adjuvante provavelmente aumentou a coesão das gotas, permitindo maior persistência e menor evaporação no trajeto até o alvo.

Figura 6 – Número total médio de gotas por distância e tratamento, Campanha/MG, 2025.



Fonte: Próprio autor.

Em contrapartida, na ausência de adjuvante, observou-se dispersão mais irregular e redução abrupta no número de gotas após 2 m, o que reforça a hipótese de deriva for-alvo nas zonas mais distantes. Esses resultados estão alinhados com Sinha et al. (2022), que afirmam que, à medida que aumenta a distância e diminui o tamanho das gotas, há tendência de redução do número de impactos efetivos sobre o alvo. Em síntese, assim como na densidade, observou-se que o comportamento das médias indica vantagem operacional do uso do adjuvante, reforçando a coerência dos resultados com o comportamento físico-operacional das gotas descrito na literatura.

4.3 DIÂMETRO MEDIANO VOLUMÉTRICO

A variável diâmetro mediano volumétrico (DMV), conforme mostra a tabela 3, apresentou valores de F muito baixos e p-valores altos ($p > 0,43$ para todos os fatores), indicando ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos e as distâncias. A análise dos resultados (Figura 7) demonstra que o tamanho médio das gotas permaneceu relativamente estável entre as diferentes distâncias avaliadas, tanto com a presença do adjuvante, quanto com a ausência dele.

Tabela 3 – Resumo da ANOVA das médias dos efeitos de tratamento, distância e interação tratamento x distância sobre o diâmetro mediano volumétrico. Campanha/MG, 2025.

Fonte	Soma de Quadrados ⁽¹⁾	Graus de liberdade ⁽²⁾	Quadrado Médio ⁽³⁾	Estatística de Fisher ⁽⁴⁾	p-valor ⁽⁵⁾
C(tratamento)	5.212.413.281	1	5.212.413.281	0,100	0,7547
C(distância)	148.401.786.344	3	49.467.262.115	0,948	0,4330
C(tratamento):C(distância)	60.637.080.594	3	20.212.360.198	0,387	0,7630
Residual	1.251.928.358.750	24	52.163.681.615	..	..

Fonte: Próprio autor (2025).

Notas:

⁽¹⁾ Indica a variação total explicada por cada fator;

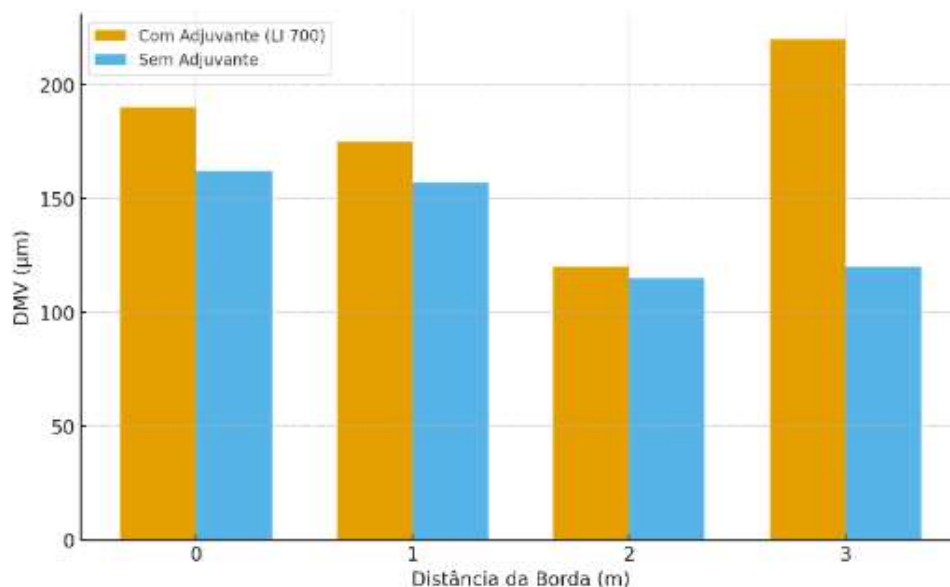
⁽²⁾ Número de comparações independentes;

(3) Relação entre SQ e GL;

(4) Compara o QM do fator com o QM do erro;

(5) Probabilidade de significância estatística ($p < 0,05$ indica efeito significativo).

Figura 7 – Diâmetro mediano volumétrico médio por distância e tratamento, Campanha/MG, 2025.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Adegas e Gazziero (2020), aplicações pós-emergentes demandam espectro de gotas que proporcione equilíbrio entre cobertura e mitigação da deriva. Considerando essa orientação, observou-se que apenas o tratamento com adjuvante manteve os valores dentro de uma faixa técnica mais adequada.

Observou-se que, aos 3 metros de distância, ocorreu um aumento expressivo do DMV. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, nessa distância, o número de gotas reduziu-se drasticamente em função de fatores externos e do próprio efeito do adjuvante. Dessa forma, a deposição ocasional de gotas de maior diâmetro, de maneira isolada, passou a exercer influência desproporcional sobre o cálculo da mediana volumétrica, elevando artificialmente o valor do parâmetro, gerando distorções pontuais nos resultados. Ainda assim, o comportamento geral do DMV manteve-se coerente com os demais pontos avaliados, preservando o padrão de maiores valores de DMV na presença do adjuvante, embora sem grandes diferenças estatísticas.

Como relata Yumnam et al. (2025), os bicos centrífugos em drones tendem a gerar espectro de gotas mais uniformes, padrão observado nesta variável. Com isso, a estabilidade do DMV ao longo das distâncias reflete uma pulverização controlada e eficiente, sem alterações estruturais relevantes na atomização.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados analisados, verifica-se que a pulverização de herbicidas com drone apresentou redução da deriva com o aumento da distância da borda, evidenciando bom controle da aplicação especialmente em 3 metros, sendo essa faixa de segurança o mínimo ideal para reduzir o risco de deriva.

O uso do adjuvante mostrou-se vantajoso, promovendo maior estabilidade das gotas e melhor qualidade da pulverização, reduzindo a irregularidade da deposição.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: **Tecnologias de produção de soja – Sistemas de Produção 17**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 281-292.
- BARROS LIMA, Gabriel Pastor de. **Análise física de misturas em tanque para pulverização com aeronaves remotamente pilotadas**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/313773>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- 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**, v. 6, 2024, art. 1418623.
- CALDERONE, G.; FERRO, M. V.; CATANIA, P. A systematic literature review on recent unmanned aerial application systems. **Smart Agricultural Technology**, v. 10, art. 100708, 2025.
- CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. Botucatu: UNESP/FCAV, 2013. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/leonardobiancodecarvalho/livro_herbicidas.pdf. Acesso em: 3 set. 2025.
- COLBACH, N.; PETIT, S.; CHAUVEL, B.; DEYTIEUX, V.; LECHENET, M.; MUNIER-JOLAIN, N.; CORDEAU, S. The pitfalls of relating weeds, herbicide use, and crop yield: don't fall into the trap! **Frontiers in Agronomy**, v. 2, art. 615470, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.
- GENILHU, M. R. D. J.; ROSA, D. M. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) na agricultura: revisão de literatura**. Ariquemes-RO: FAEMA, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Disponível em: <https://repositorio.unifaema.edu.br/handle/123456789/3113>. Acesso em: 1 out. 2025.
- IOST, Cristina Abi Rached. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Proteção de Plantas) — Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/97153>. Acesso em: 1 out. 2025.
- KAYA, Y.; YİĞİT, N.; BAŞARAN, B.; MENNAN, H.; ÇÖMLEK, R. Determination of the Effects of Possible Drift to Adjacent Plots During Herbicide Applications with Agricultural Drones in Rice Cultivation. **Turkish Journal of Weed Science**, v. 28, n. 2, p. 16–24, 2025.

KHAN, F. A.; KHORSANDI, F.; ALI, M. ; GHAFOR, A.; KHAN, R.; UMAIR, M.; REHMAN, A.; HUSSAIN, Z. Spray drift reduction management in agriculture: A review. **Progress in Agricultural Engineering Sciences**, v. 20, n. 1, p. 1–36, 2024.

MAINARDI, Leonardo Cezar. **Viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura orizícola**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4821/MAINARDI%2C%20LEONARDO%20CEZAR.pdf>. Acesso em: 4 set. 2025.

MARTINI, A. T.; ÁVILA, L. A. de; CAMARGO, E. R.; HELGUEIRA, D. B.; BASTIANI, M. O.; LOECK, A. E. Deriva de agrotóxicos aplicados via aérea com sistema eletrostático e bicos hidráulicos com pontas cônicas. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1678–1682, 2016.

PEGORARI, I. **A importância e o avanço da tecnologia na agricultura!** 2023. Disponível em: <https://www.pegorari.com.br/agricola/a-importancia-e-o-avanco-da-tecnologia-na-agricultura/>. Acesso em: 1 out. 2025.

PORTILLO, H.; BARBOSA, R.; BECKWITH, M.; GULLEN, T.; HAYNIE, R.; HOVINGA, S.; KESAVARAJU, B.; LANG, E.; LIVINGSTON, P.; NEWTON, N.; OOSTLANDER, M.; WATSON, G.; SINHA, R. Industry (UAPASTF) Response to Pesticide Regulators “State of the Knowledge” Review of Drone Use for Pesticide Application: Best Practices for Safe and Effective Application of Pesticides. **Drones**, v. 9, n. 6, art. 388, 2025.

SINGH, T.; MUKHOPADHYAY, R.; RAVITA, S. K. S.; DEEP, N.; TARANNUM, S. C.; PARAMJITA, D.; GOUTAL, A.; SURPREET, S. Drone-assisted agronomy: Monitoring, spraying and precision application in the field. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 8, n. 6, p. 717–727, 2025.

SINHA, R.; JOHNSON, J.; POWER, K.; MOODIE, A.; WARHURST, E.; BARBOSA, R. Understanding spray attributes of commercial UAAS as impacted by operational and design parameters. **Drones**, v. 6, 2022, art. 281.

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

TALAEIZADEH, A.; SHARIFI, I.; ALASTY, A.; GHATREHSAMANI, S. Agricultural spraying drones: A comprehensive review, **Smart Agricultural Technology**, v. 12, 2025, art. 101519.

TIMBER. **XAG P60 ou New Holland P60**. 2024. Disponível em: <https://www.agriculture.grupotimber.com.br/timber-agriculture-curvelo>. Acesso em: 7 nov. 2025.

YUMNAM, C.; MARAK, A. B.; KUMAR, M.; KHATRI, S.; KUMAR, S.; SONI, S.; KABIL, K.; BALAJI, V.; SAHNI, R. K.; KUMAR, S. P.; CHAUDHARY, V. P.

Utilising drones in agriculture: a review on remote sensors, image processing and their application. **Modern Agriculture**, v. 3, n. 2, 2025.