

Drone de pulverização na cultura do trigo: impacto da altura de voo e da taxa de aplicação na deposição de gotas

Fernando Padilha Mathias^{1*}; Helton Aparecido Rosa¹

¹ Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*} contato.fernandomths@gmail.com

Resumo: A seleção da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é uma estratégia essencial no controle de pragas e doenças. O uso de drones pulverizadores está se consolidando como uma alternativa promissora em diversas culturas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a deposição de gotas na cultura do trigo utilizando um drone pulverizador. O experimento foi conduzido no município de Cascavel, PR, utilizando a cultivar TBio Astro, na fase de maturação das plantas. A pulverização foi realizada com um drone pulverizador, modelo DJI Agras T50, utilizando água e o adjuvante FORSPRAY. A pesquisa foi estruturada em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e 25 repetições. Foram avaliadas duas alturas de voo (4 m e 6 m) e dois volumes de aplicação (10 L ha⁻¹ e 15 L ha⁻¹), com cinco repetições cada. A coleta de dados foi realizada por meio de papéis hidrossensíveis posicionados nos pedúnculos das plantas de trigo. Como os dados não apresentaram normalidade, realizou-se transformação utilizando a equação $(X + 0,5)^{0,5}$, para calcular a análise de variância (ANOVA). Quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software GENES. O tratamento T3 foi o mais eficiente para a aplicação, pois apresentou melhor desempenho em termos de área coberta, densidade e quantidade de gotas, com volume adequado e gotas de diâmetro intermediário, favorecendo a cobertura e a eficácia da pulverização.

Palavras-chave: RPA; tecnologia de aplicação; distribuição de calda.

Drone spraying in wheat crops: impact of flight height and application rate on droplet deposition

Abstract: The selection of pesticide application technology is a key strategy in pest and disease control. The use of spraying drones has emerged as a promising alternative across various crops. This study aimed to evaluate droplet deposition in wheat cultivation using a spraying drone. The experiment was conducted in the municipality of Cascavel, Paraná, using the TBio Astro cultivar during the plant maturation stage. Spraying was performed with a DJI Agras T50 drone, using water and the adjuvant FORSPRAY. The experiment followed a completely randomized design (CRD), with four treatments and 25 replications. Two flight heights (4 m and 6 m) and two application volumes (10 L ha⁻¹ and 15 L ha⁻¹) were evaluated, with five replications each. Data collection was carried out using water-sensitive papers placed on the peduncles of wheat plants. Since the data did not meet normality assumptions, a transformation was applied using the equation $(X + 0.5)^{0.5}$ for analysis of variance (ANOVA). When significant, means were compared using Duncan's test at a 5% significance level. Statistical analyses were performed using GENES software. Treatment T3 was the most efficient, showing better performance in terms of coverage area, droplet density, and quantity, with an adequate spray volume and intermediate droplet size, enhancing coverage and spraying effectiveness.

Keywords: RPA; Application technology; Spray distribution.

Introdução

Entre as décadas de 1970 e 1990, o agronegócio brasileiro foi amplamente impulsionado pelo avanço da ciência e da tecnologia, permitindo o aproveitamento de áreas anteriormente consideradas inadequadas para a agropecuária. Como resultado, o Brasil se consolidou como um protagonista na agricultura, elevando sua competitividade no mercado internacional (Ferreira *et al.*, 2022). O sucesso do agronegócio foi tão significativo que, de importador de produtos agropecuários na década de 1970, o país ascendeu ao ranking dos maiores produtores de alimentos do mundo (Montoya e Finamore, 2019).

O trigo desempenha um papel de grande importância no cenário agrícola brasileiro, sendo um dos cereais mais essenciais para a alimentação humana. Embora o manejo dessa cultura tenha avançado ao longo dos anos, ainda requer cuidados específicos, especialmente no combate a pragas e doenças, o que torna necessária a aplicação de defensivos químicos para o seu controle (EMBRAPA, 2022).

O avanço de novas tecnologias no combate às doenças que acometem o trigo tem oferecido novas perspectivas para o manejo da cultura, incorporando técnicas e equipamentos que auxiliam os produtores na otimização dos processos e na obtenção de um controle mais eficiente (Castro, Biazotto e Romão, 2019). Nesse contexto, os drones de pulverização surgem como uma ferramenta crucial, ampliando as possibilidades da agricultura moderna.

Embora o uso de drones para pulverização seja relativamente recente, apresenta grande potencial de mercado (Chen *et al.*, 2022). Esses equipamentos se destacam pela excelente manobrabilidade, dispensando pistas para decolagem e aterrissagem, além de serem leves e apresentarem baixo custo operacional (Tafernaberri, 2023). Podem operar em baixas altitudes e em terrenos acidentados, reduzindo o risco de intoxicação do operador, a compactação do solo e os danos às culturas, que, em alguns casos, podem resultar em perdas de 2% a 5% da produção (Instituto AGRIS, 2022). Além disso, os drones podem ser programados para aplicar defensivos em taxas variáveis ou apenas em áreas específicas, promovendo a otimização e a economia de produtos por meio de mapeamento (Bernardo, Cornago Jr. e Denadai, 2019).

Conforme Wang *et al.* (2020), o uso de drones no monitoramento de lavouras oferece várias vantagens, como agilidade na coleta de dados, redução de custos e maior eficiência na tomada de decisões. Ademais, esses equipamentos podem ser equipados com diversos sensores, como câmeras multiespectrais e termográficas, que fornecem informações mais precisas sobre as condições das plantas e do solo. A utilização de drones aprimora a precisão operacional na aplicação de produtos para o controle de pragas, plantas daninhas e doenças. No entanto, ainda existem lacunas na literatura quanto à otimização dessa técnica, especialmente no que se refere à qualidade das aplicações

(Richardson *et al.*, 2020).

A compreensão de fatores como altura, velocidade e deposição das gotas na pulverização com drones é crucial para a eficiência do processo. Em aplicações de baixa vazão, torna-se indispensável focar na efetividade da operação, frequentemente avaliada pela cobertura do alvo atingido (Cunha e Silva, 2023). Para aumentar a cobertura, é necessário reduzir o tamanho das gotas; no entanto, isso as torna mais suscetíveis à deriva (Mewes *et al.*, 2013).

Com o avanço tecnológico e o aumento no porte dos drones, a força gerada pelas hélices também se intensificou, tornando crucial avaliar o desempenho da aplicação em maiores alturas. A quantidade de água na calda pode impactar tanto a cobertura quanto a deposição das gotas nos alvos, assim como o uso de maiores altitudes de voo. Portanto, é fundamental compreender os fatores que influenciam a qualidade da aplicação, a fim de avançar nos estudos sobre pulverização com aeronaves remotamente pilotadas (Cunha e Silva, 2021).

Diante desse cenário, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a deposição de gotas na cultura do trigo utilizando um drone pulverizador, considerando diferentes variáveis de aplicação.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na comunidade Gramadinho, em uma área de 0,33 hectares localizada no município de Cascavel, Paraná, nas coordenadas geográficas (Latitude: 25.1077653° S e Longitude: 53.5356290° W).

Figura 1- Área de aplicação dos tratamentos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Utilizou-se a cultivar de trigo superprecoce Tbio Astro, da Biotrigo, na fase de maturação das plantas. As condições climáticas no momento da aplicação eram de temperatura média de 25 °C, umidade relativa do ar de 60% e velocidade do vento de 5 km h⁻¹. A Figura 1 representa a área onde foram aplicados os tratamentos utilizados no experimento.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e 25 repetições. As variáveis avaliadas foram duas alturas de voo (4 m e 6 m) e dois volumes de aplicação (10 L ha⁻¹ e 15 L ha⁻¹), utilizando água e o adjuvante FORSPRAY, totalizando cinco repetições por combinação. A Tabela 1 apresenta as configurações dos parâmetros de voo para cada tratamento.

Tabela 1 - Parâmetros da regulação do equipamento utilizado em cada tratamento.

Tratamento	T1	T2	T3	T4
Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	10	10	15	15
Velocidade de voo (km h ⁻¹)	36	36	36	36
Espaçamento de rotas (m)	11	11	11	11
Altura em relação a cultura (m)	4	6	4	6

Na área experimental, foi elaborado o plano de voo e aleatoriamente selecionadas cinco plantas de trigo para a coleta das amostras de depósito da pulverização. O mapeamento foi realizado por meio de caminhamento, com a marcação dos pontos baseada na geolocalização do controle remoto.

A pulverização das plantas foi realizada com um drone de pulverização modelo DJI Agras T50, com oito rotores, projetado para operações automáticas de pulverização aérea. Para a avaliação da deposição de gotas, foram utilizados papéis hidrossensíveis da marca WSPaper, com dimensões de 26 x 76 mm, compatíveis com o aparelho de medição. Os papéis hidrossensíveis (PHS) foram fixados com grampos no pedúnculo das plantas de trigo em cada ponto de amostragem na área experimental, conforme Figura 2. As especificações técnicas da aeronave estão detalhadas na Tabela 2.

Figura 2 - Disposição e localização das amostras dos PHS nas folhas de trigo.



Tabela 2 - Especificações técnicas do drone

Principais características	Especificações
Tipo	Drone Multirrotor
Modelo	DJI Agras T50
Tamanho da fuselagem desdobrável, (C × L × A)	2800 × 3085 × 820 mm
Fonte de energia	Bateria de Lítio (30000mAh-52,22V)
Volume tanque de pulverização (L)	40 L
Tipo de bico de pulverização	Centrifugo
Modelo do aspersor	LX8060SZ
Quantidade de aspersores	2
Tamanho da gota (µm)	50 a 500 µm
Vazão máxima do equipamento (L/min)	16 L/min (2 bicos); 24 L/min (4 bicos)
Largura máxima de faixa de pulverização (m)	11 m
Altitude máxima (m)	100 m
Velocidade máxima em operação (m/s)	10 m/s

A cobertura e o tamanho das gotas foram avaliados por meio do equipamento DropScope, da marca SprayX, que permite analisar a qualidade da aplicação de agroquímicos em pulverizações, utilizando um microscópio digital para a leitura das gotas depositadas em papéis hidrossensíveis. Este dispositivo foi projetado para oferecer resultados rápidos e precisos diretamente no campo, em conjunto com o aplicativo móvel e offline da mesma marca.

A pulverização foi realizada com água e o adjuvante FORSPRAY. Para uma taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹, utilizou-se uma dosagem de 40 mL do adjuvante, enquanto para a vazão de 15 L ha⁻¹, a dosagem foi de 60 mL. Todos os tratamentos utilizaram o padrão de gota grossa, com diâmetros de 320 µm. Após a aplicação de cada tratamento, os PHS foram cuidadosamente recolhidos e armazenados para análise posterior.

A leitura com o DropScope foi realizada em cada PHS, inseridos sequencialmente, analisando todo o papel. Áreas com interferências externas no resultado foram desconsideradas por meio do aplicativo. Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, sendo considerados não normais. A seguir realizou-se transformação dos dados, utilizando a equação $(X + 0,5)/0,5$ para calcular a análise de variância (ANOVA). Quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software GENES (Cruz, 2016).

Resultados e discussão

O percentual de cobertura das gotas pulverizadas é um parâmetro essencial para avaliar a deposição e, conseqüentemente, a qualidade da aplicação. No presente estudo, verificou-se que os tratamentos T1 (0,92%) e T3 (1,28%) apresentaram as maiores áreas cobertas por gotas, com valores

estatisticamente semelhantes entre si e ao T4 (1,19%), segundo o teste de Duncan (Tabela 3). O tratamento T2 (0,66%) apresentou a menor área coberta, diferenciando-se estatisticamente dos demais. Isso sugere que a configuração utilizada no T2 foi menos eficiente na cobertura da superfície-alvo.

Tabela 3 - Teste de comparação de médias de Duncan para a avaliação da deposição de gotas na cultura do trigo utilizando drone pulverizador, considerando diferentes variáveis de aplicação.

Tratamentos	Área coberta (%)	Volume aplicado ($\mu\text{L cm}^{-2}$)	Densidade de gotas (gotas cm^{-2})	Quantidade de gotas	Diâmetro médio (μm)
T1	0,92 ab	0,09 ab	13,78 ab	110,40 ab	183,91 b
T2	0,66 b	0,07 b	8,86 b	70,96 b	195,93 ab
T3	1,28 a	0,12 a	15,71 a	125,88 a	189,78 b
T4	1,19 a	0,13 a	12,25 ab	98,16 ab	215,90 a
DMS	0,53	0,06	6,28	50,29	24,16
CV	25,46	6,95	35,50	36,98	13,99

Letras seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste Duncan a 5% de significância.

De acordo com Courshee (1967), a área de cobertura pode ser influenciada pela quantidade de área foliar da cultura; à medida que a área foliar aumenta, mantendo-se constantes as demais variáveis, o percentual de cobertura tende a diminuir. Por essa razão, é essencial que as aplicações acompanhem o desenvolvimento fenológico da cultura e o conseqüente aumento da área foliar, a fim de garantir uma cobertura adequada ao longo do ciclo da planta, prática indispensável para assegurar a eficácia biológica do produto aplicado (Antuniassi e Baio, 2008). No presente estudo, embora a aplicação tenha sido realizada após o estágio fenológico ideal para a cultura do trigo, quando as folhas já se encontravam em estado de senescência, o percentual de cobertura não foi prejudicado, pois a quantidade de área foliar analisada não havia diminuído.

Ao avaliar o volume aplicado, observou-se que os valores variaram de 0,07 $\mu\text{L cm}^{-2}$ no tratamento T2 a 0,13 $\mu\text{L cm}^{-2}$ no tratamento T4. Os tratamentos T3 (0,12 $\mu\text{L cm}^{-2}$) e T4 (0,13 $\mu\text{L cm}^{-2}$) apresentaram os maiores volumes, enquanto T2 foi o que aplicou a menor quantidade de calda. De acordo com o teste de Duncan, T1, T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si, sendo o T2 o único tratamento com valor significativamente inferior. Esse menor volume aplicado em T2 pode ter contribuído para a menor área coberta verificada nesse tratamento, o que corrobora os achados de Ruppenthal *et al.* (2024), que observaram redução na cobertura à medida que a altura de voo do drone aumentava, comportamento também identificado por Woldt; Martin; Latheef (2018) em ambos os modelos de drone analisados.

A densidade de gotas foi maior em T3 (15,71 gotas cm^{-2}), seguido de T1 (13,78 gotas cm^{-2}). Ambos apresentaram valores superiores e estatisticamente diferentes de T2 (8,86 gotas cm^{-2}), o qual

teve a menor densidade. T4 (12,25 gotas cm^{-2}) apresentou valor intermediário, não se diferenciando significativamente dos demais. Isso sugere que T3 foi o mais eficiente em termos de número de gotas depositadas por unidade de área.

No estudo de Ruppenthal *et al.* (2024), realizado na cultura do milho e sob os mesmos parâmetros analisados, o aumento da altitude resultou em uma leve redução na quantidade de gotas por centímetro quadrado em cada papel hidrossensível (PHS), resultado semelhante ao verificado no presente estudo. É importante destacar que a trajetória das gotas pode ser influenciada por diversos fatores externos, como vento, umidade, temperatura, empuxo gerado pela aeronave, e a quantidade de área foliar presente nas plantas, interferindo especialmente nos terços médio e inferior da planta.

A quantidade total de gotas foi mais alta no tratamento T3 (125,88), sendo estatisticamente semelhante ao T1 (110,40) e T4 (98,16), mas superior ao T2 (70,96), que apresentou o menor valor e foi estatisticamente diferente dos demais. Isso confirma a baixa eficiência do T2 também nessa variável, o que pode impactar negativamente na eficácia da aplicação.

Por fim, em relação ao diâmetro médio das gotas, o maior valor foi observado em T4 (215,90 μm), seguido por T2 (195,93 μm) e T3 (189,78 μm). O menor diâmetro foi registrado em T1 (183,91 μm). O teste de Duncan indica que T3 e T1 formam um grupo estatisticamente distinto de T4, que teve gotas significativamente maiores. Gotas maiores tendem a reduzir a deriva, porém podem comprometer a cobertura, o que deve ser considerado na escolha da configuração.

De maneira geral, os resultados obtidos evidenciam que as variáveis de aplicação influenciam diretamente na deposição de gotas na cultura do trigo. Os tratamentos com maior volume aplicado (T3 e T4) apresentaram melhores desempenhos em termos de densidade e quantidade de gotas, além de maior área coberta, com exceção do diâmetro médio das gotas, que foi mais elevado em T4. O tratamento T2, que aplicou o menor volume, foi o menos eficiente em praticamente todos os parâmetros avaliados, apresentando a menor área coberta, menor densidade e quantidade de gotas, o que pode comprometer a eficácia da pulverização.

Portanto, para garantir o sucesso da pulverização com drone, é essencial ter o conhecimento correto sobre a forma de aplicação, a fim de assegurar que o produto atinja o alvo de maneira eficiente e uniforme (Cunha e Silva, 2023).

Conclusão

O tratamento T3 foi o mais eficiente para a aplicação, pois apresentou melhor desempenho em termos de área coberta, densidade e quantidade de gotas, com volume adequado e gotas de diâmetro intermediário, favorecendo a cobertura e a eficácia da pulverização.

Referências

- ANTUNIASSI, U.R.; BAILO, F.H.R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas Passo Fundo**: Embrapa Trigo, 2008. p.174-175.
- BERNARDO, R.; CORNAGO JUNIOR, V. M.; DENADAI, M. S. **Uso de drones para aplicações de defensivos agrícolas**. In: VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2019.
- CARLESSO, A; BARIVIERA, R. **Avaliação da qualidade de pulverização com drone, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, SC, 2022.
- CASTRO, J. R.; BIAZOTTO, K. F.; ROMÃO, M. P. **Tecnologias aplicadas à agricultura: utilização de drones para atividades agrícolas**. X Fateclog - Logística 4.0 & a Sociedade do Conhecimento. Guarulhos/SP, 2019.
- CHEN, H; LAN, Y; FRITZ, B; HOFFMANN, H; LIU, S. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, China, v. 1, n. 14, p. 38-49, 2021.
- CHEN, P; DOUZALS, J; LAN, Y; COTTEUX, E. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: a review. **Frontiers In Plant Science**, Suíça, v. 13, p. 1-16, 2022.
- COURSHEE, R. J. **Application and use of foliar fungicides**. In: TORGESON, D. C. (Ed.) **Fungicide: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p.239-86.
- CRUZ, C.D. **Genes Software** – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v.38, n.4, p.547-552, 2016.
- CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Deposition of spray applied to a soybean crop using an unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 4, n. 2, p. 8-13, 2021.
- CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v. 54, n. 1, p. 1-8, 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa Trigo. Informações técnicas para trigo e triticale: 14ª reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de trigo e triticale**. Castro, PR: Fundação ABC e Biotrigo Genética, 2022.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- HUNTER, J; GANNON, T; YELVERTON F; RICHARDSON, R; LEON, R. Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. **Pest Management Science**, Reino Unido, v. 76, n. 4, p. 1386-1392, 2019.
- LOU, Z; LAN, Y; XIN, F; HAN, X; DUAN, T; FU, W. Effect of Unmanned Aerial Vehicle Flight Height on Droplet Distribution, Drift and Control of Cotton Aphids and Spider Mites. **Agronomy**, Reino Unido, v. 8, n. 9, p. 187, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy8090187>.

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZANUNCIO, J. C.; ALVARENGA, C. B. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando Pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, v. 37, p. 347-353, 2013.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. F. A. **As relações intersetoriais dos recursos hídricos na economia brasileira**. n. 11, 2019.

REIS, E. M.; REIS, A.C; ZANATTA, M. **Cancros da haste em soja na safra 2022/23: estudo de caso**. Passo Fundo, RS: Instituto Agris, 2023.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020.

RUPPENTHAL, J; SANTOS, R; COSTA, N; TOKURA, L. Deposição de gotas na cultura do milho (*Zea mays*) com uso de drone em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação. **Revista Caribenha de Ciências Sociais, Miami**, v. 13, n. 5, p. 1–20, 2024. ISSN 2254-7630.

TAFERNABERRI JUNIOR, V. **Avaliação da pulverização com drone em diferentes alturas e velocidades de voo**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Cachoeira do Sul, RS, 2023.

WANG, Z; LAN, L; HE, X; HERBST, A. Dynamic evaporation of droplet with adjuvants under different environment conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, China, v. 13, n. 2, p. 1-6, 2020.

WOLDT, W. W.; MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. Field Evaluation of Commercially Available Small Unmanned Aircraft Crop Spray Systems. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2018.