

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária

ISSN 3085-9514

**Eventos Técnicos
& Científicos**

5

Julho, 2025

Resumos expandidos
20ª Jornada Acadêmica
da Embrapa Soja

30 de junho e 1º de julho de 2025
Londrina, PR

Embrapa Soja
Londrina, PR
2025

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral, Caixa postal
4006, CEP 86085-981, Distrito de
Warta, Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações**Presidente**

Roberta Aparecida Carnevalli

Secretária-executiva

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite*

Membros

*Clara Beatriz Hoffmann-Campo,
Claudine Dinali Santos Seixas, Claudio
Guilherme Portela de Carvalho,
Fernando Augusto Henning, Leandro
Eugênio Cardamone Diniz, Liliane
Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina
Neves de Oliveira e Norman Neumaier*

Organização da publicação

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite
Liliane Márcia Mertz-Henning
Kelly Catharin*

Normalização

Valéria de Fátima Cardoso

Capa

Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Diagramação

*Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol e
Marisa Yuri Horikawa*

Publicação digital: PDF**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (20. : 2025: Londrina, PR).

Resumos expandidos [da] XX Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina, PR,
30 de junho e 1 de julho de 2025 – Londrina : Embrapa Soja, 2025.

PDF (153 p.) - (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, ISSN 3085-9514; 5)

1. Soja. 2. Pesquisa agrícola. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 630.2515

Fluxo de ar descendente produzido por drone de pulverização agrícola com diferentes velocidades de trabalho

Rogério Scherlowski Filho⁽¹⁾, Emily Matsubara Medeiros⁽²⁾, Amanda Rodrigues⁽³⁾, Nicoly Barros Ferreira⁽⁴⁾, Gabriela Bes⁽⁵⁾, Ana Júlia Tanko Ribeiro⁽⁶⁾, Nathalia Cuesta dos Santos⁽²⁾, Roberto Rocha Czech⁽⁷⁾, José Renato Bouças Farias⁽⁸⁾, Fernando Storniolo Adegas⁽⁸⁾, Rafael Moreira Soares⁽⁸⁾, Samuel Roggia⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. ⁽²⁾ Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, bolsista de inovação Embrapa/FAPED, Cuiabá, MT. ⁽³⁾ Bióloga, mestre, bolsista DTC-D/CNPq, Londrina, PR. ⁽⁴⁾ Engenheira-agrônoma, assistente de biotecnologia do Grupo Don Mario, Cambé, PR. ⁽⁵⁾ Engenheira-agrônoma, pesquisadora visitante da Kansas State University, Manhattan, KS, EUA. ⁽⁶⁾ Engenheira-agrônoma, estudante de mestrado, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR. ⁽⁷⁾ Engenheiro-agrônomo, diretor comercial da Megadrone Brasil, Campo Grande, MS. ⁽⁸⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Introdução

O uso de drones para pulverização agrícola tem expandido expressivamente a cada ano, consolidando-se como uma tecnologia promissora em escala global (Soares; Schröder, 2025). A viabilidade econômica da prestação de serviço de pulverização com drone está diretamente relacionada com o rendimento operacional, o qual é influenciado pela velocidade de trabalho do equipamento. A velocidade máxima de trabalho é limitada por características técnicas do drone e operacionalmente pela busca de melhor eficiência energética. No entanto, a velocidade de trabalho do drone pode interagir com a qualidade da pulverização realizada, sendo relevante estudar essa interação visando garantir a qualidade das pulverizações, reduzir risco de deriva e aumentar a eficiência de controle fitossanitário.

Diferentes velocidades de trabalho são obtidas pela variação da velocidade de giro das hélices e inclinação horizontal do drone. Em consequência do giro das hélices, para manter a sustentação e proporcionar deslocamento do drone, é produzido um fluxo de ar descendente conhecido como efeito “downwash” (Soares; Schröder, 2025). Esse fluxo de ar pode aumentar a penetração da calda de pulverização para o interior do dossel dos cultivos agrícolas, pela redução da resistência do topo do dossel e pela projeção ativa da calda

de pulverização (Chen et al., 2021). A maior penetração de calda para o interior do dossel dos cultivos agrícolas pode melhorar a eficiência de controle dos produtos fitossanitário utilizados.

Nesse contexto, foi conduzido um experimento com o objetivo de estudar a influência de diferentes velocidades de trabalho de um drone de pulverização agrícola sobre a velocidade do fluxo de ar incidente no topo do dossel de lavoura de soja e uniformidade da distribuição espacial de gotas na planta, no contexto de duas taxas de aplicação (volume de calda/ha) habitualmente utilizados em pulverizações de inseticidas e fungicidas.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Embrapa Soja, Londrina, PR. Os tratamentos consistiram na pulverização realizada com drone em duas velocidades de trabalho e duas taxas de aplicação (volumes de calda/ha). Foram estudados os volumes de calda de 6 e 12 L/ha e as velocidades de 6 e 12 m/s (21,6 e 43,2 km/h). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. A pulverização foi realizada no dia 16/01/2024, sobre parcelas de 15 x 100 m, com área útil de 15 x 25 m centrais. O sentido da pulverização foi norte-sul, com ângulo de aproximadamente 355° em relação à orientação norte.

Foi utilizado um drone de pulverização agrícola da marca XAG, modelo P100 PRO. No sistema operacional do drone foi selecionado o espectro de gotas de 100 micras e altura de voo de 4,5 m, com faixa de aplicação esperada de 8 m de largura. A pulverização foi realizada em parcelas de soja com a cultivar BRS 544RR, no estádio R5.1, que corresponde ao início da formação de grãos. A calda utilizada foi preparada com 1 kg/ha do inseticida biológico Xentari® (54% de *B. thuringiensis* subespécie *aizawai* cepa ABTS-1857), associado a 2 mL/L do adjuvante Silwet* ECO. Foi adicionado à calda o corante fluorescente LUXCOR 100 LRM (laranja amarelado), na dose de 6g/L.

Na área útil de cada parcela, foram instalados três anemômetros em posição horizontal (Figura 1), fixados a uma plataforma metálica a 82 cm do solo, acima do dossel da cultura da soja. O objetivo da instalação dos anemômetros foi registrar a velocidade do vento produzido pelas hélices do drone durante a pulverização. Foram usados anemômetros das marcas/modelos Instrutherm THAL-300, Kestrel

1000, Instrutemp ITAN-700. Imediatamente após a pulverização foi realizada a leitura e anotação da velocidade máxima de vento registrada pelos anemômetros.

Em cada parcela foi realizada coleta de 80 folíolos do topo do dossel e 80 folíolos da porção média da planta. A coleta foi realizada de forma sistematizada em uma grade de 10 x 8 pontos. Sendo consideradas 10 linhas de soja alternadas, com espaçamento de 90 cm entre linhas amostradas. Ao longo de cada linha foi realizada coleta de folíolos em 8 pontos espaçados em 1 m entre si. Em laboratório foram obtidas fotos da face abaxial e adaxial de cada folíolo em campo. Para tal, foi utilizada uma câmara escura com suprimento de luz negra, afim de destacar as gotas depositadas sobre o folíolo contendo o corante fluorescente. Posteriormente, foi realizada a contagem do número de gotas em cada folíolo.

Os dados ambientais de temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, foram obtidas da Estação Meteorológica da Embrapa Soja, localizada na latitude 23°11'37" S, longitude 51°11'03" O e altitude 630m, para o dia 16/01/2024, para o horário de cada pulverização realizada.

Os dados de velocidade do fluxo de ar incidente sobre o dossel da soja e número de gotas por folíolo foram submetidos à análise exploratória para retirada de outliers, pelo método de boxplot. Em seguida, os dados foram transformados, elevando-se cada valor a um expoente mais adequado, visando otimizar a homogeneidade das variâncias e atender ao pressuposto de distribuição normal dos dados, também visando reduzir em módulo a curtose e assimetria dos dados, aproximando-as de zero. Em seguida, os dados transformados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Visando analisar a uniformidade da distribuição espacial de gotas na planta foi calculado: (1) o coeficiente de variação do número de gotas para cada tratamento e estrato da planta (variabilidade horizontal); (2) a taxa (%) de gotas na face inferior da folha (abaxial) em relação a face superior (adaxial) (variabilidade na folha); e (3) a taxa de gotas (%) no estrato médio em relação ao topo do dossel (variabilidade vertical).



Figura 1. Anemômetros utilizados e seu posicionamento em campo para a coleta de dados da velocidade do fluxo de ar descendente produzido por drone de pulverização, com diferentes velocidades de trabalho. Londrina, PR, safra agrícola 2023/2024.

Resultados e Discussão

Foi observado que a velocidade do fluxo de ar incidente sobre o dossel da cultura da soja não é influenciada pela taxa de aplicação (volume de calda/ha) (Tabela 1). Porém, é influenciada pela velocidade de deslocamento do drone, sendo em média de 2,41 m/s na menor velocidade de deslocamento do drone (6 m/s) e de 1,06 m/s na maior velocidade de deslocamento do drone (12 m/s). O que representa

uma velocidade de vento incidente 2,3 vezes maior na velocidade de deslocamento de 6 m/s.

Tabela 1. Velocidade do fluxo de ar incidente no dossel da cultura da soja associados a diferentes velocidades de deslocamento do drone e taxas de aplicação (volume de calda/ha), e descrição dos parâmetros ambientais associados a cada tratamento. Londrina, PR, safra agrícola 2023/2024.

Tratamentos			Parâmetros ambientais associados aos tratamentos ¹				Velocidade do fluxo de ar no dossel (m/s) ³
Velocidade do drone (m/s)	Volume de calda (L/ha)	Horário da pulverização	Velocidade do vento (m/s) ²	Direção do vento (°)	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	
6	12	10h40	2,3 (4,3)	10	30,5	73,8	2,39 a
12	12	10h45	2,0 (4,0)	345	30,4	74,5	1,09 b
6	6	10h55	1,7 (4,0)	337	30,0	77,9	2,42 a
12	6	11h00	2,0 (4,3)	4	30,2	74,8	1,03 b
Média			2,0 (4,2)	354	30,3	75,3	1,73

1. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Soja, para o dia 16/01/2024. 2 Entre parênteses é apresentada a velocidade da rajada de vento. 3 Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; coeficiente de variação: 0,27%; p-valor: <0,000.

O resultado confirma uma hipótese prévia de que, com o aumento da velocidade de deslocamento do drone, há redução da velocidade do fluxo de ar incidente sobre o dossel da cultura. Os dados do presente experimento indicam que, nas condições deste estudo, há uma relação inversamente proporcional entre a velocidade de deslocamento do drone e a velocidade do fluxo de ar incidente no dossel da cultura.

Guo et al. (2025) demonstraram que o aumento da velocidade de voo do drone modifica a inclinação do fluxo descendente, que é direcionado para trás, aumentando a deriva, especialmente de gotas menores. Esse fenômeno foi observado no presente estudo, no qual velocidades mais altas de deslocamento (12 m/s) resultaram em menor velocidade de vento incidente vertical no dossel, reduzindo o potencial de penetração da pulverização.

O trabalho de Tang et al. (2021) mostrou que o fluxo descendente gerado por helicópteros não tripulados é significativamente afetado pela altura de aplicação e pela direção do vento lateral, gerando assimetrias no padrão de deposição. Os autores observaram que alturas

mais baixas, como 1,5 m, potencializam a interação entre vórtices e ventos laterais, promovendo redistribuição não uniforme das gotas.

É importante considerar que, no presente experimento, a direção do vento (354° norte) foi aproximadamente paralela ao sentido de deslocamento do drone (355° norte-sul). Isso deveu-se às dimensões e posicionamento da área experimental, que determinou a demarcação das parcelas no sentido norte-sul e condicionou o deslocamento do drone nesse mesmo sentido. Porém recomenda-se que o sentido do deslocamento do drone seja o mais perpendicular possível à direção do vento (Machado, 2024). Assim, convém que o presente estudo seja realizado em diferentes condições de ângulo entre o sentido do vento e a direção de deslocamento do drone.

Os dados de número de gotas por folíolo (Tabela 2) indicam número médio de gotas um pouco maior no topo do dossel da soja (72 gotas/folíolo) em relação ao estrato médio (45 gotas/folíolo). A concentração de gotas no topo do dossel é habitualmente observada nas pulverizações agrícolas, porém a pulverização com drone pode melhorar a distribuição da calda ao longo do dossel, reduzindo a diferença entre o depósito de calda do estrato superior em relação ao interior do dossel da soja, como observado por Oliveira et al. (2021) estudando comparativamente a aplicação com drone e tatorizada. Estes pesquisadores observaram que a pulverização com drone proporcionou depósito de calda nas folhas do estrato médio equivalente a 84% do depósito das folhas do topo do dossel.

No presente estudo foi avaliado o número de gotas/folíolo, que, apesar de ser um parâmetro diferente do depósito de calda, também é um indicador da distribuição de calda em diferentes estratos da planta. Na média dos tratamentos foi observada taxa de 63% das gotas no estrato médio do dossel da soja em relação ao superior, porém com expressiva variação entre os tratamentos. Indicando que os parâmetros de aplicação podem afetar a distribuição de gotas ao longo do dossel da cultura. Taxas de gotas no estrato médio próximas a 100% indicam melhor distribuição da calda na planta, sendo que os melhores resultados foram observados com a menor velocidade de deslocamento do drone (6 m/s) com taxa de 74% e 103%. Nesse último caso (103%) foi observado número de gotas equivalente entre o estrato médio e superior e foi obtido com o volume de calda de 6 L/ha.

Tabela 2. Variabilidade do número de gotas por folíolo de soja associada a diferentes velocidades de deslocamento do drone e taxas de aplicação (volumes de calda/ha). Londrina, PR, safra agrícola 2023/2024.

Trat. ¹		Número médio de gotas por folíolo no topo do dossel da soja					C.V. (%) ²		Número médio de gotas por folíolo no estrato médio do dossel da soja				C.V. (%) ²		Taxa de gotas (%) no estrato médio/superior
Vel.	Vol.	Abaxial	Adaxial	Total	Ab/Ad ³				Abaxial	Adaxial	Total	Ab/Ad ³			
6	12	43 a	56 a	99 a	77	68			38 a	35 a	73 a	109	76		74
12	12	27 b	45 a	73 b	60	87			22 b	27 b	48 b	81	107		66
6	6	17 c	21 b	38 c	81	75			19 bc	20 c	39 c	95	63		103
12	6	48 a	30 b	78 b	160	80			11 c	9 d	20 d	122	97		26
Média		34	38	72	89	77			22	23	45	96	86		63
C.V. (%) ⁴		18	29	10	-	-			29	20	15	-	-		-

1 Trat. = descrição dos tratamentos, sendo "Vel." a velocidade de deslocamento do drone (m/s) e "Vol." O volume de cada de pulverização (L/ha). 2 C.V. = coeficiente de variação (%) referente ao total de gotas/folíolo (n=80). 3 Ab/Ad = taxa (%) de gotas na face inferior da folha (abaxial) em relação a face superior (adaxial). 4 C.V. = coeficiente de variação (%) referente a comparação entre os tratamentos, a partir da média de 8 amostras da cada uma das 10 linhas amostradas (n=10), médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De modo geral foi observado maior número de gotas nos tratamentos com maior volume de calda (12 L/ha). Sendo que houve redução significativa do número de gotas/folíolo, em ambos estratos da planta (médio e superior), com o aumento da velocidade de deslocamento de 6 m/s para 12 m/s, nas aplicações realizadas com volume de calda de 12 L/ha. É importante destacar que o maior número de gotas associado ao maior volume de calda/ha não significa maior aporte de produto fitossanitário, como discutido por Oliveira et al. (2021). Pois em pulverizações agrícolas, a calda é preparada com quantidade de produto por área, independente do volume de calda/ha. Assim a calda preparada para aplicação com volume de 6 L/ha tem o dobro da concentração de produtos fitossanitários de uma calda preparada para aplicação de 12 L/ha.

A análise da uniformidade de distribuição horizontal de gotas por folíolo indica variabilidade (CV%) do número de gotas um pouco maior no estrato médio (86%) do que no superior (77%) do dossel da cultura. Com exceção do tratamento com velocidade de 6 m/s e volume de calda de 6 L/ha. A menor variabilidade no número de gotas foi

observada para os tratamentos aplicados a 6 m/s, indicando que o maior efeito “downwash” (Tabela 1) não aumentou a variabilidade de distribuição espacial das gotas na cultura. O efeito “downwash” gera turbulência no ar e na calda de pulverização conforme esta é dispensada pela ponta de aplicação do drone, no entanto, ao longo do seu trajeto, até atingir o dossel da cultura, ocorre a dispersão lateral das gotas e estabilização da turbulência (Tang et al., 2021; Guo et al., 2025). Neste contexto, é importante o correto ajuste da altura de aplicação para proporcionar espaço suficiente para a estabilização da distribuição espacial de gotas.

No presente estudo foi observado, em média, maior número de gotas na face superior (adaxial) da folha de soja do que na face inferior (abaxial). Não foi observada uma relação clara da taxa (%) de gotas abaxial/adaxial com os volumes de calda/ha ou com as velocidades de deslocamento. O tratamento com maior taxa (160% e 122%) foi a combinação de velocidade de deslocamento de 12 m/s e volume de calda de 6 L/ha. Os tratamentos aplicados a 6 m/s resultaram em taxas intermediárias, mas próximas a equivalência entre número de gotas na face abaxial e adaxial. O fluxo de ar incidente sobre o dossel da cultura (efeito “downwash”) proporciona movimentação das folhas e pode contribuir para maior exposição da face inferior desta à calda de pulverização. Atingir diretamente a face inferior da folha é relevante principalmente para a pulverização de produtos fitossanitários de contato sobre alvos que utilizam predominantemente a face adaxial da folha, como alguns patógenos, ácaros, tripes e mosca-branca.

A uniformidade da distribuição espacial da calda de pulverização é altamente desejável e pode contribuir para a melhor eficiência de controle fitossanitário, considerando que muitos dos alvos ocorrem de forma concentrada no estrato médio ou inferior. Como exemplo, algumas espécies de lagartas, percevejos, tripes e ácaros, e doenças foliares, sendo que alguns destes alvos ocorrem ou utilizam predominantemente na face inferior (abaxial) da folha. Também no caso de aplicação de herbicida pode ocorrer efeito guarda-chuva, em que plantas pequenas ficam protegidas abaixo de plantas maiores ou do próprio cultivo, o que acarreta em maior dificuldade de serem atingidas pela pulverização de herbicida podendo reduzir a eficiência de controle destas. Assim é importante a utilização de tecnologia de aplicação que proporcione maior penetração de calda para o interior

do dossel da cultura, também que tenha boa uniformidade de distribuição horizontal e em ambas as faces da folha.

Conclusão

A velocidade do fluxo de ar incidente sobre o dossel da cultura de soja, gerado pelas hélices de drone de pulverização agrícola, é inversamente proporcional à sua velocidade de trabalho, na condição de deslocamento paralelo à direção do vento. A taxa de aplicação (volume de calda/ha) não interfere na velocidade do fluxo de ar incidente sobre o dossel da cultura. A redução da velocidade de trabalho do drone melhora a uniformidade de distribuição espacial de gotas de pulverização, horizontalmente ao longo da parcela e verticalmente entre o estrato superior e médio da planta de soja.

Referências

CHEN, H. B.; LAN, Y. B.; FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; LIU, S. B. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 38-49, 2021. DOI: 10.25165/j.ijabe.20211401.5714.

GUO, Q.; ZHU, Y.; TANG, Y.; HOU, C.; FANG, M.; CHEN, X. Numerical simulation of the effects of downwash airflow and crosswinds on the spray performance of quad-rotor agricultural UAVs. **Smart Agricultural Technology**, v. 11, 100940, 2025. DOI: 10.1016/j.atech.2025.100940.

MACHADO, A. W. Condições climáticas ideais para a aplicação aérea de defensivos. **Agrolink**, 18 jan, 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/condicoes-climaticas-ideais-para-a-aplicacao-aerea-de-defensivos_480447.html. Acesso em: 30 maio 2025.

OLIVEIRA, V. R. de; BASSETTO FILHO, J. J.; ESTABELE, D. L.; GOMES, L. R. O.; PINHO, C. A.; MATULAITIS, A. K. Y.; ADEGAS, F. S.; SOARES, R. M.; ROGGIA, S. Depósito de inseticida em diferentes estratos da planta de soja obtido na pulverização com drone. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 16., 2021, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2021. p. 157-162. (Embrapa Soja. Documentos, 440).

SOARES, R. M.; SCHRÖDER, E. P. **Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 83 p. (Embrapa Soja. Documentos, 474).

TANG, Q.; CHEN, L.; ZHANG, R.; DENG, W.; XU, M.; XU, G.; LI, L.; HEWITT, A. Effects of application height and crosswind on the crop spraying performance of unmanned helicopters. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 181, 105961, 2021. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105961.