BICOS DE PULVERIZAÇÃO E ESPECTRO DE GOTAS NA EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS

Felipe Pereira Aguiar Cunha de Almeida, Gabriela Dias Zerboni, Isaías Flório Ramos Júnior, Lucas Jordão Santana Tigre, Renan Curty da Silva, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, Guararema, 29500-000 – Alegre – ES, Brasil, fpalmeida1103@gmail.com, gabrielazerboni2006@gmail.com, isaiasflorioramosjr@gmail.com, lucasjst01@gmail.com, curty.renan@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br.

Resumo

A eficácia dos fungicidas depende não apenas das características do ingrediente ativo, mas também da eficiência com que a calda é fragmentada, transportada e depositada no alvo. Objetivou-se com este trabalho analisar a relação entre bicos de pulverização, espectro de gotas, cobertura, deposição e mobilidade dos fungicidas, priorizando artigos publicados entre 2020 e 2026. Bicos, pressão, vazão e composição da calda alteram o tamanho e a uniformidade das gotas, com reflexos sobre cobertura, penetração no dossel, deriva e retenção. Gotas menores podem ampliar a área coberta, porém são mais suscetíveis a perdas, já gotas maiores reduzem a deriva, mas podem limitar a cobertura em determinados alvos. Fungicidas de contato tendem a depender mais da distribuição superficial, enquanto a mobilidade translaminar ou sistêmica pode modificar essa relação sem eliminar a necessidade de deposição adequada. Conclui-se que não existe espectro universalmente ideal; a escolha do bico de pulverização deve integrar fungicida, alvo, arquitetura da cultura, volume de aplicação e ambiente.

Palavras-chave: Deposição. Cobertura. Deriva. Fitossanidade. Controle.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agronomia

Introdução

As doenças de plantas reduzem a estabilidade da produção agrícola e, em diversos sistemas de cultivo, o uso de fungicidas permanece como componente relevante do manejo integrado. Entretanto, o desempenho de um produto fitossanitário não é determinado exclusivamente por seu mecanismo bioquímico: o ingrediente ativo precisa alcançar o tecido de interesse em quantidade, distribuição e momento compatíveis com a proteção pretendida. McLaughlin *et al*. (2023) destacam que fungicidas diferem quanto à permanência na superfície e à mobilidade nos tecidos vegetais, o que modifica a forma como a deposição inicial se relaciona com a proteção do alvo.

Nesse contexto, a tecnologia de aplicação reúne a seleção e a regulagem de equipamentos, volume de calda, pressão, vazão, velocidade, formulação, adjuvantes e condições ambientais. Entre esses fatores, o bico de pulverização exerce papel central na atomização da calda. Nuyttens *et al*. (2007) demonstraram que tipo de bico, tamanho do orifício e pressão alteram significativamente o espectro e a velocidade das gotas. Em estudo mais recente, Griesang *et al*. (2022) mostraram que o modelo do bico, a vazão e a composição da calda fungicida modificam tanto o tamanho quanto a uniformidade do espectro, afetando a fração de gotas suscetíveis à deriva e a qualidade de cobertura do dossel.

O resultado prático decorre de um compromisso entre cobertura e perdas. Gotas menores, para um mesmo volume, tendem a gerar maior número de gotas depositadas, mas apresentam menor massa e maior suscetibilidade ao transporte pelo vento e à evaporação. Gotas maiores têm menor potencial de deriva, porém podem reduzir o número de gotas no alvo e a uniformidade de distribuição. Essa relação ainda é modulada pela mobilidade do fungicida: produtos predominantemente de contato dependem mais da distribuição superficial, enquanto fungicidas com ação translaminar ou sistêmica podem redistribuir-se após a deposição, em graus distintos (Warneke *et al*., 2020). Assim, o objetivo desta revisão foi analisar a influência dos diferentes bicos sobre o espectro de gotas e discutir como

essa interação afeta cobertura, deposição e eficiência da aplicação de fungicidas com diferentes tipos de mobilidade.

Metodologia

Foi realizada revisão narrativa da literatura, priorizando artigos revisados por pares publicados entre 2020 e 2026. Foram utilizados termos como: bico de pulverização, tipo de bico, bico com indução de ar, bico de cone vazio, tamanho de gotas, espectro de gotas, deposição da pulverização, cobertura da pulverização, fungicida, eficácia de fungicidas e doenças de plantas. A seleção concentrou-se em estudos disponíveis em periódicos indexados e portais científicos, incluindo SciELO, ScienceDirect e periódicos MDPI. Foram incluídos trabalhos que relacionassem pelo menos dois dos seguintes componentes: tipo de bico, tamanho ou espectro de gotas, cobertura, deposição, penetração no dossel, deriva, fungicidas e resposta de controle de doenças. Trabalhos que conectaram parâmetros físicos da pulverização à eficácia biológica foram mais priorizados.

Resultados

Os estudos indicam que o espectro de gotas é resultado da interação entre geometria do bico, orifício, pressão e propriedades da calda. Bicos de cone e de jato plano convencional tendem, em condições comparáveis, a produzir maior proporção de gotas menores que bicos de baixa deriva e de indução de ar; entretanto, a classificação pode mudar com a pressão e a vazão (Nuyttens *et al*., 2007). Nos bicos de indução de ar, o mecanismo Venturi incorpora ar ao líquido e favorece gotas mais grossas. Alidoost Dafsari *et al*. (2021) observaram que alterações geométricas nesses bicos modificam o tamanho das gotas e seu comportamento, com redução do potencial de deriva e menor possibilidade de não retenção após o impacto (ricochete) em determinadas configurações. Além do bico, a composição da calda interfere na atomização: Zhang e Xiong (2021) demonstraram que adjuvantes podem alterar o tamanho de gotas por mudanças nas propriedades viscoelásticas da emulsão, enquanto Griesang *et al*. (2022) verificaram resposta distinta do espectro conforme a solução fungicida empregada.

A distribuição do tamanho das gotas pode ser descrita por parâmetros volumétricos como Dv10, Dv50 e Dv90, correspondentes aos diâmetros abaixo dos quais se encontram, respectivamente, 10%, 50% e 90% do volume pulverizado. O Dv50 representa o diâmetro mediano volumétrico, enquanto a amplitude relativa, frequentemente expressa por (Dv90 - Dv10)/Dv50, informa a uniformidade do espectro. Espectros menos uniformes podem combinar simultaneamente gotas muito finas, com alto risco de deriva, e gotas muito grossas, com menor contribuição para cobertura. Por isso, Griesang *et al*. (2022) propõem que a uniformidade do espectro seja considerada juntamente com o tamanho mediano na seleção dos bicos.

A arquitetura do dossel limita a correspondência direta entre tamanho de gotas e deposição. Viegas Neto *et al*. (2021), avaliando ferrugem-asiática em cultivares de soja, observaram diferenças de deposição entre bicos e cultivares, mas os três bicos avaliados proporcionaram manejo superior ao tratamento sem fungicida. Em amendoim, Sapkota *et al*. (2025) verificaram maior cobertura nos terços superior e médio com maior volume de calda e com bico que produzia gotas médias; todavia, o efeito sobre doenças variou entre anos e não se refletiu em diferenças de produtividade. Em túnel de vento com soja, Theodoro *et al*. (2025) confirmaram que a maior parte da calda é interceptada no topo do dossel e que a deposição nas regiões inferiores permanece limitada, mesmo quando se altera a classe de gotas. No mesmo estudo, bicos que produziram gotas ultragrossas reduziram acentuadamente a deriva aérea em comparação com espectros mais finos.

Quando a análise inclui a mobilidade do fungicida, a relação entre cobertura e eficácia de controle torna-se menos linear. Fungicidas predominantemente de contato permanecem na superfície tratada e, por isso, áreas sem depósito podem constituir pontos desprotegidos. Produtos com atividade translaminar atravessam o limbo e fungicidas com mobilidade sistêmica podem redistribuir-se a partir do local de absorção, embora a extensão desse movimento varie entre ingredientes ativos (McLaughlin *et al*., 2023). Warneke *et al*. (2020) demonstraram diferenças expressivas de redistribuição translaminar e via xilema entre fungicidas empregados contra o oídio da videira, evidenciando que “sistêmico” não representa uma característica binária e que a mobilidade precisa ser considerada produto a produto.

Os trabalhos que conectam diretamente o espectro de gotas ao controle de doenças mostram respostas dependentes do contexto. Em pepino cultivado em ambiente protegido, Qin *et al*. (2023)

observaram maior deposição e melhor controle do oídio com gotas menores, em torno de 100 a 150 µm, nas condições e concentrações testadas. Para fusariose da espiga do trigo duro, Vučajnk *et al*. (2024) verificaram que bicos duplo jato com maior vazão aumentaram a cobertura das espigas e reduziram a contaminação por deoxinivalenol. Em contraste, Vitória *et al*. (2023) registraram cobertura e deposição muito superiores com pulverizador pneumático em cafeeiro de montanha quando comparado ao Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), mas os indicadores de eficácia no controle de ferrugem e cercosporiose permaneceram semelhantes entre estratégias. Em conjunto, esses resultados indicam que parâmetros físicos associados à eficiência da aplicação são essenciais para interpretar o processo, porém não podem ser usados isoladamente como equivalentes da eficácia biológica do fungicida.

Discussão

A principal implicação da literatura é que não existe um bico ou classe de gotas universalmente superior para fungicidas. O tamanho de gotas deve ser interpretado como parte de um sistema que inclui volume de aplicação, pressão, formulação, alvo, dossel e ambiente. Em soja, Chechetto *et al*. (2022) verificaram que diferentes formatos de jato não alteraram significativamente a cobertura foliar, enquanto o aumento do volume de aplicação de 100 para 200 L ha^{-1} elevou a cobertura nos estratos avaliados, reforçando que o desempenho da aplicação não depende isoladamente do formato do jato. O uso de gotas finas pode elevar a densidade de gotas depositadas e favorecer alvos que exigem ampla cobertura, mas o ganho potencial é reduzido quando a evaporação e o transporte para fora do alvo (deriva) aumentam. Por outro lado, gotas muito grossas reduzem o risco de deriva, mas podem diminuir a uniformidade de cobertura em superfícies extensas ou em estruturas vegetais pouco expostas. Theodoro *et al*. (2025) mostraram que o aumento da velocidade do vento intensifica a deriva e que bicos de maior classe de gotas apresentam vantagem clara para mitigá-la, reforçando que a escolha deve considerar a condição meteorológica real da aplicação.

Para fungicidas de contato, a dependência de cobertura é mais direta porque a ação se concentra no tecido atingido. Isso não significa, entretanto, que a recomendação deva ser simplesmente por gotas finas. Bicos de indução de ar, apesar de produzirem gotas maiores, podem apresentar boa retenção e menor ricochete em determinadas superfícies, além de reduzir perdas fora do alvo (Alidoost Dafsari *et al*., 2021). Em aplicações com drones, Yu *et al*. (2023) observaram menor deriva com bicos de indução de ar e maior cobertura em comparação aos bicos de jato plano, sem diferença significativa na penetração da pulverização, na produtividade ou na eficácia de controle entre os tipos de bico. Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, o emprego de gotas maiores não comprometeu a eficácia do controle fitossanitário. Para fungicidas sistêmicos e translaminares, a mobilidade pode ampliar a margem operacional em relação à cobertura, mas não substitui a necessidade de que uma dose biologicamente efetiva atinja a planta. A absorção e a redistribuição ocorrem somente após a deposição, e folhas internas ou estruturas reprodutivas pouco atingidas podem continuar sendo pontos críticos.

A comparação entre Viegas Neto *et al*. (2021), Vitória *et al*. (2023) e Sapkota *et al*. (2025) evidencia ainda que maior cobertura não resulta necessariamente em maior produtividade ou melhor controle em todas as situações. A resposta pode ser mascarada por pressão de doença baixa ou moderada, mobilidade do ingrediente ativo, momento da aplicação e quantidade de depósito ainda acima do limiar necessário para controle. Dessa forma, a avaliação de tecnologia de aplicação deveria integrar indicadores físicos (Dv50, amplitude do espectro, densidade de gotas, cobertura e depósito) com indicadores epidemiológicos, como incidência, severidade, área abaixo da curva de progresso da doença e produtividade. Essa integração permite distinguir diferenças estatisticamente detectáveis de deposição de diferenças biologicamente relevantes.

Outro ponto crítico é que o espectro produzido em água não representa necessariamente o espectro da calda comercial. Griesang *et al*. (2022) demonstraram interação entre bico, vazão e composição da solução fungicida, e Zhang e Xiong (2021) mostraram que adjuvantes alteram a fragmentação do jato por mudanças reológicas. Consequentemente, recomendações baseadas apenas na ficha técnica do bico podem ser insuficientes quando formulações e adjuvantes modificam o comportamento da pulverização. Também permanecem importantes as condições ambientais: temperatura, umidade relativa e vento alteram o tempo de vida e a trajetória das gotas, com maior efeito sobre os menores diâmetros.

A literatura recente apresenta lacunas claras. Ainda são poucos os experimentos de campo que comparam, no mesmo arranjo, bicos contrastantes, espectros medidos da calda real e fungicidas classificados quanto à mobilidade, acompanhando simultaneamente deposição, deriva e controle da doença. Há também heterogeneidade de métodos para medir cobertura e deposição, dificultando a comparação entre estudos. São necessários trabalhos em dosséis densos e diferentes arquiteturas de plantas, avaliações específicas com fungicidas e estudos que considerem a interação de formulações e adjuvantes com bicos de redução de deriva. Tecnologias como pulverização por VANT, sensores e aplicações localizadas ampliam as possibilidades operacionais, mas sua adoção deve ser acompanhada por critérios que preservem a dose efetivamente depositada no alvo.

Conclusão

A escolha do bico e do espectro de gotas deve integrar fungicida, alvo, arquitetura do dossel, taxa de aplicação e ambiente. Bicos e condições operacionais modificam o tamanho e a uniformidade das gotas, alterando cobertura, deposição, penetração e deriva. Gotas menores podem elevar a densidade de gotas depositadas, mas aumentam a vulnerabilidade a perdas; por outro lado, gotas maiores estão menos sujeitas à deriva, embora possam limitar a cobertura em determinados alvos. Fungicidas de contato tendem a exigir distribuição superficial mais uniforme, enquanto a mobilidade de produtos translaminares e sistêmicos pode modificar essa relação, sem dispensar deposição adequada. Portanto, não existe espectro universalmente ideal, e a eficácia biológica deve ser interpretada em conjunto com os parâmetros físicos da pulverização.

Referências

ALIDOOST DAFSARI, R.; YU, S. H.; CHOI, Y.; LEE, J. Effect of geometrical parameters of air-induction nozzles on droplet characteristics and behaviour. **Biosystems Engineering,** v. 209, p. 14-29, 2021. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.013.

CHECHETTO, A. M.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; ARAÚJO, V. C. R.; CARVALHO, F. K. Cobertura das folhas de soja utilizando pontas de pulverização com diferentes formatos dos jatos. **Energia na Agricultura**, v. 37, n. 2, p. 12-21, 2022. DOI: 10.17224/EnergAgric.2022v37n2p12-21.

GRIESANG, F.; FERREIRA, M. C.; SPADONI, A. B. D.; DELLA VECHIA, J. F.; SANTOS, R. T. S.; SANTOS, C. A. M. How do the droplet spectrum uniformity and spray volume of flat-fan nozzles influence fungicide spray distribution quality in soybeans? **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 2, e20210122, 2022. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n2e20210122/2022.

MCLAUGHLIN, M. S.; ROY, M.; ABBASI, P. A.; CARISSE, O.; YURGEL, S. N.; ALI, S. Why do we need alternative methods for fungal disease management in plants? **Plants**, v. 12, n. 22, 3822, 2023. DOI: 10.3390/plants12223822.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.001.

QIN, W.; CHEN, X.; CHEN, P. “H” sprayer effect on liquid deposition on cucumber leaves and powdery mildew prevention in the shed. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1175939, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1175939.

SAPKOTA, M.; VIRK, S. S.; KEMERAIT, R. C.; PROSTKO, E. P.; BUTTS, T. R. Effect of carrier volume and nozzle type on spray deposition within the canopy, disease control and yield in peanut. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 11, n. 1, e70028, 2025. DOI: 10.1002/cft2.70028.

THEODORO, J. G. C.; ZHU, H.; OZKAN, E.; JEON, H. Spray deposition on soybeans and airborne drift from nozzles on a moving boom in a wind tunnel. **Journal of the ASABE**, v. 68, n. 6, p. 1041-1052, 2025. DOI: 10.13031/ja.16442.

VIEGAS NETO, A. L.; SOUZA, C. M. A.; LIMA JÚNIOR, I. S.; PILETTI, L. M. M. S.; MARTINS, K. J. E.; BERTONCELLO, B. F. Spray solution deposition and Asian rust control in soybean cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 12, p. 862-867, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p862-867.

VITÓRIA, E. L.; KROHLING, C. A.; BORGES, F. R. P.; RIBEIRO, L. F. O.; RIBEIRO, M. E. A.; CHEN, P.; LAN, Y.; WANG, S.; MORAES, H. M. F.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Efficiency of fungicide application using an unmanned aerial vehicle and pneumatic sprayer for control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in mountain coffee crops. **Agronomy**, v. 13, n. 2, 340, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13020340.

VUČAJNK, F.; SPANIC, V.; TRDAN, S.; KOŠIR, I. J.; OCVIRK, M.; VIDRIH, M. Performance of symmetric double flat fan nozzles against *Fusarium* head blight in durum wheat. **Agriculture**, v. 14, n. 3, 343, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14030343.

WARNEKE, B.; THIESSEN, L. D.; MAHAFFEE, W. F. Effect of fungicide mobility and application timing on the management of grape powdery mildew. **Plant Disease**, v. 104, n. 4, p. 1167-1174, 2020. DOI: 10.1094/PDIS-06-19-1285-RE.

YU, S. H.; KANG, Y.; LEE, C. G. Comparison of the spray effects of air induction nozzles and flat fan nozzles installed on agricultural drones. **Applied Sciences**, v. 13, n. 20, 11552, 2023. DOI: 10.3390/app132011552.

ZHANG, X.; XIONG, L. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. Colloids and Surfaces A: **Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 619, 126557, 2021. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126557.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, pelo apoio institucional, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.