

2025

# Variabilidade da cobertura com diferentes modelos de pontas de pulverização na cultura do milho

Silvério, Marcio Aparecido

Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

SILVÉRIO, Marcio Aparecido. Variabilidade da cobertura com diferentes modelos de pontas de pulverização na cultura do milho. Orientador: Rone Batista de Oliveira. 2025. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2025.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/851>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO  
PARANÁ**

***CAMPUS LUIZ MENEGHEL***

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**MARCIO APARECIDO SILVÉRIO**

**VARIABILIDADE DA COBERTURA COM  
DIFERENTES MODELOS DE PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO**

**BANDEIRANTES/PR**

**2025**

MARCIO APARECIDO SILVÉRIO

**VARIABILIDADE DA COBERTURA COM  
DIFERENTES MODELOS DE PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Mestrado em  
Agronomia, da Universidade  
Estadual do Norte do Paraná,  
*Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de  
Oliveira.

MARCIO APARECIDO SILVÉRIO

**VARIABILIDADE DA COBERTURA COM  
DIFERENTES MODELOS DE PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Mestrado em Agronomia, da Universidade  
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz  
Meneghel.

Orientador(a): Prof. Dr. Rone Batista de  
Oliveira

Aprovada em: 24/02/2025

---

**Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira**

---

**Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo**

---

**Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi**

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do *Campus* "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

Silvério, Marcio Aparecido.  
S5879v Variabilidade da cobertura com diferentes modelos de pontas de pulverização na cultura do milho / Marcio Aparecido Silvério. – 2025.  
[66 f.] : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* "Luiz Meneghel", Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. Ângulo foliar - Dissertação. 2. Cobertura de aplicação - Dissertação. 3. Pulverização (modelos de pontas) - Dissertação. 4. Pulverização (tipos de bicos) - Dissertação. 5. Aplicação de pesticidas . I. Oliveira, Rone Batista de. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. *Campus* Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 631.58 (22.ed.)

Bibliotecário Elísio Custódio Brentan Junior (CRB-9/1955)

## AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta etapa tão significativa da minha vida, quero expressar minha mais profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado nesta jornada.

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de força, sabedoria e inspiração. Foi Ele quem me sustentou nos momentos de dificuldades e me guiou em cada passo desta caminhada.

À minha família, minha base e fortaleza, agradeço imensamente por cada palavra de incentivo, pelo apoio incondicional e pelas orações constantes.

À minha esposa, meu porto seguro, não há palavras suficientes para expressar minha gratidão. Sua compreensão, amor e incentivo foram o alicerce que me sustentou durante os momentos mais desafiadores.

Às minhas filhas, que trouxeram leveza e alegria mesmo nos dias mais intensos, obrigado por serem minha motivação e meu motivo de orgulho.

Agradeço também a Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, seu corpo docente, Programa de Pós-Graduação “MESTRADO”, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná “FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA”, demais colaboradores e funcionários, por todas as oportunidades e o apoio, que me proporcionaram ao longo destes dois anos, enfatizando meu orientador, prof. Dr. Rone Batista de Oliveira, por todo o apoio e incentivo durante a realização deste trabalho manifesto meu reconhecimento pela paciência, dedicação e valiosas orientações, seu compromisso com o conhecimento e sua confiança em mim foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Silvio Douglas, pelo apoio em ensinamento extracurriculares, muita sabedoria e experiência de vida,

Aos alunos Elem Espanhol, Evelim Espanhol, Ana Beatriz Motta, Bruno Aguilera, Lucas Eduardo, enfim toda a equipe do Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas (NITEC), O MEU MUITO OBRIGADO.

Aos colegas, por compartilharem comigo desafios, ideias e aprendizagens. O ambiente de colaboração e troca de experiências foi essencial para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a conquista deste título.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Tecnologia de aplicação para defensivos agrícolas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Pontas de pulverização.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Cobertura foliar.....</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Local.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Caracterização do experimento.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Experimento I – Folhas verticais.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Experimento II – Folhas horizontais.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Condições meteorológicas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6 Coleta das folhas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Avaliação da cobertura nas folhas.....</b>	<b>32</b>
<b>3.8 Análise estatística.....</b>	<b>34</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIA.....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelos de pontas de pulverização conforme a sequência da Tabela 1, iniciando com XR11002 e finalizando com MGA9002 .....	23
<b>Figura 2.</b> Representação da disposição das plantas de milho nas parcelas experimentais com a área útil (verde) e bordadura (cinza) .....	25
<b>Figura 3.</b> Ilustração da área de coleta das plantas de milho, evidenciando as amostras analisadas (verde) e os pontos específicos de coleta (vermelho).....	25
<b>Figura 4.</b> Componentes do simulador de pulverização indoor de alta velocidade, incluindo: barra de pulverização (A), corpo do bico modelo QJ360C e pontas (B), painel de controle (C), operação do painel e controle (D), manômetro (E) e bomba (F) .....	26
<b>Figura 5.</b> Folhas da planta de milho na região superior da planta artificial (A), vista vertical da planta artificial (B) e ajuste das folhas na planta artificial (C).....	27
<b>Figura 6.</b> Planta artificial vista lateral .....	28
<b>Figura 7.</b> QRcode para acessar o vídeo da planta artificial.....	28
<b>Figura 8.</b> Fluxograma das partes da planta artificial.....	29
<b>Figura 9.</b> Diagrama da planta de milho com partes das folhas identificadas para análise detalhada .....	32
<b>Figura 10.</b> Diagrama da planta de milho com partes das folhas identificadas para análise detalhada .....	32
<b>Figura 11.</b> Representação do ambiente utilizado para a captura das imagens das folhas da planta de milho aplicadas.....	33
<b>Figura 12.</b> Distribuição de partículas aplicadas em diferentes regiões da folha na planta artificial sob iluminação ultravioleta, considerando: F1 (folha na região superior), F2 (folha na região mediana), F3 (folha na região próxima ao solo), S (parte superior) .....	33
<b>Figura 13.</b> Dendograma referente ao primeiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho. ....	35
<b>Figura 14.</b> Dendograma referente ao primeiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho.....	36
<b>Figura 15.</b> Dendograma referente ao primeiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho. ....	37

<b>Figura 16.</b> Dendograma referente ao segundo experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho. ....	39
<b>Figura 17.</b> Dendograma referente ao terceiro experimento realizado em folhas verticais (campo) com agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho .....	40
<b>Figura 18.</b> Dendograma referente ao terceiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho .....	41
<b>Figura 19.</b> Dendograma referente ao experimento realizado em folha horizontais (laboratório) com agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho. ....	42
<b>Figura 20.</b> Dendograma referente ao experimento realizado em folha horizontais (laboratório) com agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho. ....	43
<b>Figura 21.</b> Porcentagem de cobertura de pulverização nas faces adaxial e abaxial da folha do milho com ângulo vertical em função das pontas.....	58
<b>Figura 22.</b> Porcentagem de cobertura de pulverização nas regiões do cartucho, superior, mediana e inferior da planta do milho em função das pontas .....	59
<b>Figura 23.</b> Porcentagem de cobertura de pulverização nas regiões apical, mediana e basal da folha da planta do milho em função das pontas.....	60
<b>Figura 24.</b> Porcentagem de cobertura de pulverização, nas regiões inferior, mediana e superior da planta artificial nas folhas com ângulos horizontais, com e sem sobreposição das folhas .....	61
<b>Figura 25.</b> Porcentagem de cobertura de pulverização, nas regiões inferior, mediana e superior da planta artificial nas folhas com ângulos horizontais, com e sem sobreposição das folhas .....	62
<b>Figura 26.</b> Diferenças entre pontas de pulverização em função da média geral dos valores de cobertura nas diferentes partes da planta de milho.....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição das pontas de pulverização utilizadas nos experimentos de campo e laboratório.....	23
<b>Tabela 2.</b> Informações dos experimentos .....	30
<b>Tabela 3.</b> Condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento registradas durante a pulverização dos tratamentos.....	30
<b>Tabela 4.</b> Descrição das regiões analisadas na folha da planta de milho no experimento em campo, sendo: F (folha); B (parte basal); M (parte mediana); A (parte apical); AD (posição adaxial) e AB (posição abaxial).....	31
<b>Tabela 5.</b> Descrição das pontas de pulverização utilizadas nos experimentos de campo e laboratório.....	55
<b>Tabela 6.</b> Condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento registradas durante a pulverização dos tratamentos.....	56

## RESUMO

A qualidade da aplicação está diretamente relacionada à escolha do modelo de ponta de pulverização e ao ângulo foliar que a cultura apresenta. Visto que há escassa literatura sobre o assunto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes modelos de pontas de pulverização na cobertura da aplicação em folhas de milho com ângulos de orientação na vertical e horizontal na planta. Os experimentos foram conduzidos em campo e laboratório. Foram analisadas 12 modelos de pontas de pulverização com diferentes formatos de ângulos de projeção: Jato plano simples, jato plano com pré-orifício, jato plano com indução de ar, jato plano com defletor, jato plano duplo, jato plano com ângulo inclinado e jato cônico vazio e cheio. A taxa de aplicação foi padronizada a  $100 \text{ L ha}^{-1}$ , controlada pela pressão, vazão e velocidade de deslocamento da barra de pulverização. A calda utilizada nas aplicações foi composta pelo marcador laranja fluorescente na concentração de  $2,5 \text{ g L}^{-1}$ . O experimento em campo foi em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, seis plantas por repetição em três estágios distintos da cultura (V5/V6, V7 e VT). No experimento em laboratório, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, o qual foi utilizado duas plantas artificiais. Após a aplicação, as folhas foram destacadas, seccionadas e as imagens capturadas em ambiente escuro, iluminado por lâmpadas ultravioleta e processadas automaticamente para quantificação da cobertura das gotas de pulverização. A cobertura foi analisada nas regiões superior, mediana e inferior da planta de milho e da planta artificial, além das regiões adaxial, abaxial, basal, mediana e apical das folhas de milho. Os resultados foram interpretados por meio de dendrograma, utilizando técnicas de análises de dissimilaridade pelo método da distância euclidiana e agrupamento hierárquico completo levando em consideração os modelos de pontas de pulverização e os locais de análise da cobertura. Os experimentos com o alvo ou folhas na orientação vertical apresentaram maior variabilidade entre os grupos, resultando em menor semelhança entre as pontas e entre as regiões avaliadas da planta e nas folhas. Em contrapartida, os experimentos com alvo na horizontal permitiram melhor definição das relações entre as pontas e a cobertura nas diferentes regiões da planta, indicando desempenho semelhante em determinadas regiões, como a inferior e a mediana. A cobertura é bem definida em regiões de menor variabilidade (basal > mediana > apical) e (adaxial > abaxial) em comparação com as de maior variabilidade (cartucho, superior, mediana e inferior). Além disso, existem diferenças entre as pontas dentro da mesma classe de jato plano e cônico, destacando as diferenças dos modelos não somente pela classe de gotas e pressão, mas também pelos formatos dos ângulos de projeção.

**Palavras-chave:** Tecnologia de aplicação. Pulverização. Classe de gotas. Jato cônico. Jato plano

## ABSTRACT

The quality of the application is directly related to the choice of the spray nozzle model and the leaf angle presented by the crop. Given the scarce literature on the subject, this study aimed to evaluate different spray nozzle models in terms of application coverage on corn leaves with vertical and horizontal angles in the plant. The experiments were conducted in both field and laboratory settings. Twelve spray nozzle models with different spray projection angles were analyzed: flat fan, pre-orifice flat fan, air-induction flat fan, deflector flat fan, dual flat fan, inclined-angle flat fan, and hollow and full cone nozzles. The application rate was standardized at 100 L ha<sup>-1</sup>, controlled by pressure, flow rate, and boom travel speed. The spray solution used in the applications was composed of a fluorescent orange tracer at a concentration of 2.5 g L<sup>-1</sup>. The field experiment followed a randomized block design with four replications, six plants per repetition, and three distinct crop stages (V5/V6, V7, and VT). In the laboratory experiment, a completely randomized design was used, with four replications and two artificial plants. After application, the leaves were detached, sectioned, and images were captured in a dark environment under ultraviolet light. The images were then automatically processed to quantify spray droplet coverage. Coverage was analyzed in the upper, middle, and lower regions of the corn plant and the artificial plant, as well as in the adaxial, abaxial, basal, middle, and apical regions of the corn leaves. The results were interpreted using a dendrogram, applying dissimilarity analysis techniques based on the Euclidean distance method and complete hierarchical clustering, considering the spray nozzle models and the coverage analysis locations. Experiments with targets or leaves positioned vertically showed greater variability among groups, resulting in less similarity between nozzles and the evaluated plant and leaf regions. In contrast, experiments with horizontal targets allowed for a better definition of the relationships between nozzles and coverage in different plant regions, indicating similar performance in specific regions such as the lower and middle sections. Coverage was well-defined in regions of lower variability (basal > middle > apical) and (adaxial > abaxial) compared to those with greater variability (whorl, upper, middle, and lower). Additionally, differences exist among nozzles within the same flat-fan and cone-jet classes, highlighting distinctions in nozzle models based on spray angle design, pressure, and droplet classification.

**Keywords:** Application technology. Spray. Droplet size. Cone Spray. Flat spray.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é considerada, sob a perspectiva socioeconômica, um dos três cereais mais importantes globalmente, amplamente utilizado na alimentação animal, na dieta humana e na produção de biocombustíveis. As inovações tecnológicas relacionadas a esta *commodity* estão em contínuo desenvolvimento, com investimentos significativos e aproveitamento das oportunidades de mercado (EMBRAPA, 2024).

Dentre os principais países produtores de milho do mundo, destacam-se os Estados Unidos (32%), a China (23,9%) e o Brasil (10%) (USDA, 2024; CONAB, 2024). Entretanto, a produtividade dessa cultura está vulnerável a condições meteorológicas adversas, incluindo temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e luminosidade que podem afetar diretamente o crescimento e o rendimento da planta. Com o aumento das mudanças climáticas, é esperado uma queda na produtividade do milho, o que intensifica os desafios no controle de fatores que comprometem o desenvolvimento da cultura, como plantas daninhas e doenças. Para uma produção eficiente, é necessário a utilização de defensivos agrícolas para evitar perdas contra estes males.

Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA, 2023), os herbicidas são os mais utilizados (55,93%), seguido pelos fungicidas (17,71%) e inseticidas (12,14%), ao utilizar estes produtos, se torna essencial a escolha correta da técnica de aplicação.

A tecnologia de aplicação constitui um dos fatores cruciais para o sucesso do cultivo da cultura, entretanto, sua definição nem sempre é simples devido à complexidade das variáveis envolvidas no processo, tais como a altura máxima da barra do pulverizador, a seleção apropriada da ponta de pulverização, o efeito “guarda-chuva” em decorrência da disposição das folhas e da altura das plantas, também os locais nas plantas onde as gotas de pulverização devem atingir para alcançar o efeito curativo ou protetor.

Pesquisas realizadas nos Estados Unidos com 181 produtores indicaram que quase 74% destes utilizam dois ou três tipos de pontas de pulverização durante um ciclo da cultura, 16% usam apenas um tipo, e 10% utilizam quatro ou mais tipos em uma única safra de cultivo (Virk & Prostko, 2022). De acordo com os autores, estes dados indicam

que a maioria dos produtores reconhecem a importância de selecionar a ponta adequada para otimizar a eficácia dos produtos aplicados, além de adotar corpos de pulverização com múltiplas pontas, o que facilita e agiliza a troca durante o período da safra.

As pontas de pulverização podem ser caracterizadas com base em diversos critérios, como o tipo de distribuição realizada (em faixa ou em área total), o formato de jato emitido (cônico ou plano), os métodos empregados para gerar as gotas, o volume das gotas aplicadas e a distribuição do tamanho das gotas no espectro.

A seleção das pontas de pulverização tem como objetivo adequar o pulverizador ao tipo de aplicação a ser realizada, visando otimizar tanto o resultado biológico quanto a capacidade da máquina. Portanto, o sucesso da aplicação está diretamente relacionado à escolha correta da ponta, sendo que a aplicação só será eficaz quando as pontas proporcionarem uma distribuição uniforme e uma cobertura foliar ideal.

A cobertura de pulverização refere-se à área coberta pelas gotas da calda de pulverização em um alvo específico (Nansen et al., 2015). Esta cobertura é essencial para que o produto atinja seu objetivo de forma uniforme e eficaz. Dessa forma, a qualidade da aplicação é influenciada por diversos fatores, incluindo a porcentagem de cobertura no alvo.

Em aplicações com alvos específicos para as culturas, deve-se considerar o estágio de desenvolvimento e a arquitetura das plantas (Kalogeropoulos et al., 2024). Ademais, é extremamente importante conhecer as características das plantas, pois, as monocotiledôneas possuem folhas mais estreitas e posicionadas na vertical, enquanto nas dicotiledôneas as folhas são largas e permanecem na horizontal, embora ambas as posições possam causar o efeito “guarda-chuva” (Costa et al., 2018; Zanon et al., 2015; Massola et al., 2018).

Diante o exposto, a qualidade da aplicação está diretamente relacionada à escolha do modelo de ponta de pulverização e ao ângulo foliar que a cultura apresenta. Visto que há escassa literatura sobre o assunto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes modelos de pontas de pulverização na cobertura da aplicação em folhas de milho com ângulos de orientação na vertical e horizontal na planta.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Tecnologia de aplicação para defensivos agrícolas**

Decorrente do crescimento populacional mundial, do aumento das exigências na produção agropecuária, das mudanças climáticas que favorecem a proliferação de pragas e da intensificação de sistemas de monocultura, o uso de defensivos agrícolas torna-se imprescindível para a produção atual e a ampliação da produtividade. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a estimativa para a safra de grãos na temporada 2024/2025 indica que a produção pode chegar a 322,47 milhões de toneladas, representando crescimento de 8,3%, em comparação a safra 2023/2024.

O cultivo do milho destaca-se entre as maiores atividades agrícolas mundiais, com estimativa de colheita total de 119,74 milhões de toneladas, no Brasil representando um acréscimo de 3,5% em comparação ao ciclo anterior (CONAB, 2025). Dentre os principais países produtores de milho no mundo, destacam-se os Estados Unidos (32%), a China (23,9%) e o Brasil (10%) (USDA, 2024). Entretanto, a crescente demanda por maior produtividade torna cada vez mais necessário o uso de defensivos agrícolas, visto que intensifica os desafios no controle dos fatores que comprometem o desenvolvimento da cultura, como plantas daninhas, doenças e pragas (Kouame et al., 2024; Negrisoli et al., 2019; Zampiroli et al., 2020; Lopes et al., 2024).

Ao analisar o consumo agrícola de defensivos em escala global, em 2025 o consumo estimado é de 4.353,98 mil toneladas, prevista em 2027 cerca de 4.407,65 mil toneladas, que representa um aumento acumulado no período (Statista, 2025). Ao levar em consideração a comercialização de defensivos no Brasil, segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA, 2023), os herbicidas são os mais utilizados (55,93%), seguido pelos fungicidas (17,71%) e inseticidas (12,14%).

O uso de defensivos agrícolas é o método de controle mais empregado na agricultura, sendo necessário ser aplicado sobre o alvo biológico de forma econômica, eficiente e segura (Raetano, 2019). Nesse contexto, a tecnologia de aplicação envolve a combinação de conhecimentos com o objetivo de alcançar uma pulverização de qualidade que garante eficiência na colocação e distribuição do defensivo sobre o alvo, sem desperdícios, tornando a operação financeiramente viável e com menor impacto ambiental (Raetano, 2019).

Uma aplicação adequada é aquela que, realizada no momento correto, proporciona cobertura ideal no alvo e neste deposita a quantidade de defensivo necessária para eliminar, com segurança, um determinado problema, evitando danos econômicos (Matuo, 1990). Esta técnica entende-se por economia, nos processos de aplicação, na utilização da quantidade mínima de um produto químico necessária para proporcionar o controle eficaz do agente nocivo (Cavenaghi et al., 2019), que destaca métodos e práticas aplicadas ao alvo da aplicação, trabalhadores envolvidos nas atividades, além do ambiente no local da aplicação e nas áreas circundantes (Gandolfo et al., 2019).

Diversos fatores contribuem para a definição da ciência da tecnologia de aplicação. A pulverização é o fracionamento de uma lâmina líquida em gotas através de um processo mecânico (Christofolletti, 1999) e aplicação se refere ao ato de pulverizar um defensivo agrícola sobre um alvo biológico (Antuniassi et al., 2017).

Em aplicações direcionadas às plantas, deve-se levar em conta o estágio de desenvolvimento e a arquitetura das plantas, além da movimentação, face que se deseja atingir, posição e formato das folhas (Kalogeropoulos et al., 2024). Além disso, as plantas monocotiledôneas possuem folhas, geralmente, mais estreitas e posicionadas verticalmente, enquanto nas dicotiledôneas as folhas são mais largas e permanecem na horizontal, o que define diferente retenção das gotas e penetração de produto (Nery, 2023).

Para garantir uma deposição ideal das gotas no alvo, é necessário analisar todos os fatores envolvidos no processo de aplicação associado às técnicas adequadas para cada objetivo. Entre esses fatores, a escolha da ponta de pulverização, o diâmetro das gotas formadas, os tipos de alvos (folhas, pragas, solos, entre outros) e as características químicas do produto são determinantes para o sucesso da aplicação (Chechetto, 2022; Lamego e Schaedler, 2019).

O processo para formar as gotas para a aplicação ocorre pela pressurização da calda através das pontas de pulverização, de modo que ao passar pelo orifício haja a formação de uma lâmina líquida, a qual se torna instável até se desintegrar para dar origem às gotas (Raetano et al., 2019). Sendo assim, durante o processo de formação das gotas de pulverização, existem diferentes tamanhos de gotas, formando o espectro de gotas.

O tamanho de gotas é classificado de acordo com a norma ASABE S572.3 (ASABE, 2020) nas categorias: extremamente finas, muito finas, médias, grossas, muito grossas, extremamente grossas e ultra grossas. A classificação de uma pulverização é determinada pela comparação dos valores de DV<sub>0,1</sub>, DV<sub>0,9</sub> e DMV com aqueles obtidos

pelas pontas de referência recomendadas pela norma.

O diâmetro mediano volumétrico (DMV) é o parâmetro mais utilizado na análise do espectro de gotas, pois representa o diâmetro que divide a massa das gotas de pulverização em duas partes iguais, onde a soma do volume das gotas maiores é igual à soma do volume das gotas menores (Moniz, 2020).

A Amplitude Relativa (AR) é uma medida utilizada para indicar a dimensão da variação no tamanho das gotas de uma pulverização, onde quanto maior for o valor da AR, mais ampla será a faixa de tamanho das gotas que formam determinado espectro de gotas, na medida que este valor tende a zero, mais homogêneo torna-se o espectro (Christofolletti, 1999).

Assim, AR e DMV devem ser analisados de forma conjunta para melhor avaliação da pulverização gerada por determinado sistema, uma vez que, o DMV fornece apenas o valor de referência, e a dispersão dos dados em torno desse valor é fornecida pela AR, permitindo, no entanto, caracterizar a homogeneidade do tamanho das gotas que geram o espectro (Cunha et al., 2003).

De forma geral, gotas pequenas desaceleram mais rapidamente do que gotas grandes e caem lentamente através do ar, fazendo com que elas sejam mais propensas a serem carregadas para mais longe pelo movimento do ar. Segundo autores, gotas com diâmetros menores que 100  $\mu\text{m}$  são consideradas altamente sujeitas à deriva (Kruger et al., 2019).

Apesar de gotas menores apresentarem maior cobertura, elas obtêm uma taxa de evaporação acelerada devido à maior exposição superficial e menor volume (Oliveira et al., 2019). Sendo assim, é importante o entendimento das classes e modos de ações dos produtos a serem utilizados.

Outro fator relevante para a prevenção de danos causados pela deriva e evaporação das gotas de pulverização é o conhecimento prévio das condições meteorológicas (umidade relativa do ar, temperatura, velocidade média e direção predominante do vento) nos locais onde serão realizadas as aplicações (Raetano, 2019).

As diferentes condições atmosféricas em diferentes horários durante o dia agem sobre o comportamento físico dos produtos pulverizados e o estado fisiológico da planta, que conseqüentemente afetarão na distribuição da calda e na penetração foliar (Currier; Dybing, 1959).

De maneira geral, os critérios exigidos para ideal prática nas aplicações devem respeitar os parâmetros de temperatura do ambiente menor que 30° C, umidade relativa

do ar superior a 50% e a velocidade do vento entre 3 e 10 km h<sup>-1</sup> (Antuniassi et al., 2019). As condições de baixa umidade relativa do ar e alta temperatura proporciona rápida evaporação das gotas e o potencial de deriva, que por sua vez, durante a evaporação, a solução de pulverização geralmente perde mais água do que os demais componentes da calda, resultando em gotas menores com maior concentração de produtos, ou seja, a quantidade de pulverização que evapora da superfície do alvo está relacionada com a quantidade de pulverização depositada sobre a superfície (Kruger et al., 2019).

A deriva de defensivos agrícolas é um dos principais problemas na agricultura, desencadeando diversas complicações. A deriva tem por definição gotas que foram aplicadas na pulverização e não atingiram o alvo desejado (Matuo, 1990). A perda por deriva pode ocorrer de diferentes formas, como a estabilidade da altura da barra de pulverização, a pressão no momento da aplicação e a incidência do vento sobre as gotas, direcionando essas gotas para áreas fora do alvo desejado (Kruger et al., 2019).

De maneira mais detalhada, existem dois tipos de deriva: endoderiva e exoderiva. A endoderiva ocorre dentro da área alvo da aplicação, ou seja, dentro da própria lavoura, através de escurrimto da gota devido ao excesso da calda de pulverização ou tamanhos de gotas muito grandes com perda da gota para outro local dentro da área alvo e a exoderiva, que acontece fora da área alvo da aplicação, podendo acontecer devido ao transporte das gotas muito finas através da ação do vento (Paula et al., 2021).

A deriva pode acarretar diversos problemas, como desperdício de produto, danos nas áreas vizinhas, menor produtividade, colaboração para a seleção de espécies resistentes e até danos sociais (Marubayashi et al., 2021).

## **2.2 Pontas de pulverização**

A ponta de pulverização é responsável por distribuir a calda na área em forma de gotas, controlando tanto o tamanho quanto a uniformidade dessas gotas, processo que ocorre quando o líquido passa por um orifício sob determinada pressão, formando uma lâmina líquida que se fragmenta em gotas de diferentes tamanhos (Matthews et al., 2014).

Através de avaliações do espectro de gotas, é possível caracterizar a população de gotas de uma ponta de pulverização a uma determinada situação, levando em consideração parâmetros com a pressão de trabalho, volume de calda, os tipos de pesticida, mistura em tanque, tensão superficial e densidade da calda e entre outros (Raetano et al., 2019).

As pontas de pulverização podem ser caracterizadas com base em diversos critérios, como o tipo de deposição realizada (em faixa ou em área total), o formato de jato emitido (cônico ou plano), os métodos empregados para gerar as gotas, o volume das gotas aplicadas e a distribuição do tamanho das gotas no espectro gerado (Chechetto et al., 2019; Cunha et al., 2023; Nascimento et al., 2022).

A seleção das pontas de pulverização serve para adequar o pulverizador ao tipo de aplicação que será realizada, no qual busca otimizar o resultado biológico e a capacidade da máquina, sendo assim, o aspecto mais importante para a seleção de pontas de pulverização é a localização do alvo biológico, pois quanto mais detalhado tais conhecimentos das suas características, maior será a eficiência da aplicação (Raetano et al., 2019).

Pesquisas realizadas nos Estados Unidos com 181 produtores indicaram que quase 74% destes utilizam dois ou três tipos de pontas de pulverização durante um ciclo da cultura, 16% usam apenas um tipo, e 10% utilizam quatro ou mais tipos em uma única safra de cultivo (Virk & Prostko, 2022). De acordo com os autores, estes dados indicam que a maioria dos produtores reconhecem a importância de selecionar a ponta adequada para otimizar a eficácia dos produtos aplicados, além de adotar corpos de pulverização com múltiplas pontas, o que facilita e agiliza a troca durante o período da safra.

O mercado disponibiliza atualmente uma ampla gama de pontas de pulverização, projetadas para diferentes situações e necessidades, podendo ser classificadas principalmente em pontas de jatos planos e jatos cônicos.

As pontas de pulverização com jato plano distinguem-se pela presença de um orifício de formato elíptico, o qual gera um jato em formato de leque. Essas pontas podem apresentar variações em sua configuração, como as pontas de jato plano convencional e as de jato plano duplo, que possuem dois jatos orientados a 30° um direcionado para frente e outro para trás otimizando a cobertura da aplicação (Raetano et al., 2019). Estudos que analisam a eficiência de pontas de jato plano mostram que essas variações têm impacto direto na uniformidade de cobertura e na deposição de defensivos, especialmente em culturas de alta densidade (Perkins et al., 2021; Godinho et al., 2020; Morais et al., 2019).

Já as pontas de jato cônico são projetadas para funções específicas que variam conforme sua estrutura interna, sendo compostas por um disco difusor cuja configuração pode incluir ou não um orifício central, resultando em jatos classificados como cônico cheio ou vazio, onde no jato cônico vazio a deposição das gotas ocorre predominantemente na periferia do cone, enquanto no cônico cheio as gotas são

distribuídas de forma homogênea em toda a área circular projetada (Raetano et al., 2019)

Além disso, com objetivo de reduzir o risco de deriva e aumentar a eficiência nas aplicações, a uso de ponta de pulverização com tecnologia de indução de ar tem se destacado. Esse tipo de ponta é equipado com mecanismo que introduz ar no interior das gotas, formando bolhas de ar e gerando gotas de maior diâmetro, mais resistentes ao transporte pelo vento (Raetano et al., 2019). Exemplos de pontas com essa tecnologia incluem os modelos de jato plano das séries TTI, AIXR e AI.

As pontas de pulverização com pré-orifício promovem uma redução significativa na velocidade do líquido, o que resulta na formação de gotas maiores e na diminuição da produção de gotas menores que 200  $\mu\text{m}$ , com essa redução podendo variar entre 50% e 80% em comparação às pontas de jato plano (Raetano et al., 2019). Segundo os mesmos autores, de forma complementar, as pontas com defletor promovem o impacto do líquido contra uma superfície com alto ângulo de incidência para gerar gotas grossas, direcionando o fluxo de maneira eficiente e contribuindo para a formação de gotas de maior diâmetro e reduzindo o risco de deriva durante a aplicação.

Em estudo para avaliação da cobertura proporcionada por diferentes pontas de pulverização na aplicação de herbicidas na cultura do milho, verificou-se que a ponta de jato plano XR apresentou menor cobertura do dossel da planta (60,1%) em comparação à ponta de jato plano com defletor TTI (63,0%) (Brankov et al., 2023). Esses resultados indicam que a ponta TTI, equipada com defletor, proporcionou uma distribuição mais eficiente do produto, resultando em melhor cobertura.

O tamanho e velocidade da gota podem afetar os depósitos de pulverização e o potencial de deriva da calda, que, para eficácia do produto aplicado, é ideal a combinação da ponta com a pressão irá aumentar a eficiência da pulverização na deposição de uma dose no alvo, também acarretando a diminuição das perdas (Nuytens et al., 2007).

Além disso, o sucesso na aplicação está atrelado a correta escolha da ponta de pulverização, pois a aplicação só será possível quando as pontas propiciem a distribuição uniforme, com uma ideal cobertura foliar (Holownicki et al., 2021).

### **2.3 Cobertura foliar**

À medida que a planta se desenvolve, o aumento da quantidade de galhos e da área foliar dificulta a aplicação de produtos em comparação aos estádios iniciais de desenvolvimento, o que exige ajustes nas técnicas de aplicação para assegurar maior

eficiência e qualidade do produto no alvo (Raetano, 2019).

A cobertura de pulverização corresponde à área atingida por gotas da calda de pulverização em um alvo específico, como insetos, folhas e solo (Nansen et al., 2015). Dessa forma, a qualidade da aplicação está diretamente relacionada à porcentagem de cobertura no alvo.

A cobertura do alvo por um volume líquido correlaciona-se vários parâmetros (Courshee, 1967), e pode ser expressa pela equação:

$$C = (15VRK^2)/AD$$

Onde C é a cobertura (porcentagem da área), V é o volume de aplicação ( $L ha^{-1}$ ), R é a taxa de recuperação (porcentagem do volume aplicado, captado pelo alvo), K é o fator de espalhamento das gotas, A é a superfície vegetal existente das gotas, D é o diâmetro das gotas ( $\mu m$ ).

Diversos métodos para a avaliação da cobertura foliar foram desenvolvidos ao longo dos anos, variando de técnicas mais simples, que se baseiam na análise visual qualitativa da pulverização, até métodos mais sofisticados, que empregam tecnologias avançadas para medir com maior precisão a distribuição das gotas sobre as superfícies foliares (Salyani; Whitney, 1988; Jiang; Derksen, 1995). Esses métodos desempenham papel fundamental na otimização das aplicações, pois permitem avaliar a eficiência da pulverização e identificar falhas na cobertura, promovendo ajustes necessários para aumentar a eficácia dos produtos aplicados.

Entre as ferramentas mais utilizadas para análise de cobertura, destacam-se o papel hidrossensível e os marcadores fluorescentes. O papel hidrossensível é amplamente empregado devido à sua simplicidade e capacidade de registrar o impacto das gotas, mudando de cor ao entrar em contato com a calda de pulverização e possibilitando a análise visual da distribuição e do tamanho das gotas, enquanto os marcadores fluorescentes oferecem maior precisão ao permitir a visualização do depósito de gotas em condições específicas, sendo essa técnica introduzida como uma forma eficaz de identificar o padrão de deposição em diferentes superfícies (Raetano et al., 2019).

Estudos demonstraram a aplicação prática desses métodos em condições de campo e laboratório. Na cultura da soja, por exemplo, Rangel et al. (2020) utilizaram marcadores fluorescentes solúveis em água na concentração de 0,6%,  $v v^{-1}$  para avaliar a cobertura foliar em diferentes condições de aplicação. O experimento foi conduzido com a

observação do depósito de gotas em ambiente escuro, utilizando iluminação ultravioleta para evidenciar a distribuição e o alcance da pulverização. Essa técnica permitiu uma análise detalhada da eficiência das gotas na superfície das folhas, destacando a importância de métodos precisos para maximizar a cobertura e, conseqüentemente, a eficácia do controle de pragas e doenças.

Assim, o uso combinado de técnicas simples, como o papel hidrossensível, e métodos mais avançados, como os marcadores fluorescentes, possibilita uma análise abrangente da cobertura foliar. A escolha do método mais adequado depende das condições experimentais e dos objetivos específicos da aplicação, sendo ambos indispensáveis para a avaliação e o aprimoramento das práticas de pulverização.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Local

Foram conduzidos experimentos nesta pesquisa, sendo realizado em campo, na Fazenda Experimental e em laboratório, no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas (NITEC), pertencentes à Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) no *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, Paraná.

#### 3.2 Caracterização do experimento

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas diferentes modelos de pontas de pulverização (Tabela 1 e Figura 1).

**Tabela 1.** Informações dos modelos de pontas de pulverização utilizadas nos experimentos de campo e laboratório.

Pontas <sup>1/</sup>	Modelo	Pressão (kPa)	Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	Classe de gotas
XR11002	Jato plano (JP)	280	0,76	2,50	Fina
ADI11002	JP com pré-orifício	280	0,76	2,50	Média
TT11002	JP com defletor	280	0,76	2,50	Média
AIXR11002	JP com indução de ar	280	0,76	2,50	Grossa
J3D11002	JP inclinado	280	0,76	2,50	Fina
TTJ6011002	JP com duplo leque	280	0,76	2,50	Grossa
AI307002	JP com duplo leque inclinado	280	0,76	2,50	Grossa
AI3070015	JP com duplo leque inclinado	500	0,76	2,50	Média
ATR3.0	Cone vazio	430	0,91	3,00	Fina
JFC8002	Cone cheio	410	0,91	3,00	Fina
BXAP9002	Cone vazio 90°	410	0,91	3,00	Fina
MGA9002	Cone vazio 90°	410	0,91	3,00	Fina

<sup>1/</sup>A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor: Informações das pontas de pulverização retiradas dos catálogos das empresas: TeeJet® Technologies; *Máquinas Agrícolas Jacto S.A.* e *MagnoJet®*.

**Figura 1.** Modelos de pontas de pulverização conforme a sequência da Tabela 1, iniciando com XR11002 e finalizando com MGA9002.



Foto: Arquivo Nitec (2025).

As pontas de pulverização foram selecionadas com base em sua evolução tecnológica, considerando fatores como, perfil de deposição, projeção do jato de pulverização, vazão, pressão de trabalho e recomendações para diferentes culturas, com o intuito de otimizar a cobertura e a eficiência na aplicação sobre o alvo, somado a escassa literatura de pontas de pulverização para a cultura do milho.

Para manter a taxa de aplicação constante de  $100 \text{ L ha}^{-1}$  para todos os modelos de pontas de pulverização, foram realizados ajustes na pressão e velocidade de deslocamento do pulverizador, que tem como objetivo caracterizar os modelos de pontas e seus respectivos efeitos de aplicação na planta de milho.

A calda utilizada nas aplicações foi composta pelo marcador laranja fluorescente (LUXCOR LRM 100<sup>®</sup>) - não acrescentado adjuvante - na concentração de  $2,5 \text{ g L}^{-1}$ . Para o preparo, inicialmente foi adicionada água até atingir a metade da capacidade do tanque do pré-misturador, com 55 L. Em seguida, o marcador foi incorporado, e a mistura foi submetida à homogeneização no pré-misturador (DroneMix 130 LT 12 Volts) por um tempo médio de 40 minutos, a fim de assegurar a diluição e homogeneidade da calda.

Para a aferição das pontas na barra de pulverização, foi coletada a vazão por 60 segundos por ponta e posteriormente pesada em balança de precisão para validar a vazão em função da pressão de pulverização. Esse procedimento permitiu a identificação e exclusão de pontas entupidadas ou desgastadas, com limite de variação de 10%.

Para a avaliação da pesquisa, o estudo foi estruturado em plantas com folhas verticais e colmos alongados (plantas de milho em campo), tem como objetivo fornecer dados sobre a aplicação, considerando a influência da inclinação das folhas mais eretas e experimentos, conduzidos com plantas de porte herbáceo e folhas dispostas horizontalmente (planta artificial em laboratório), buscando neste caso analisar a cobertura da aplicação sobre superfícies foliares planas.

### **3.3 Experimento I – Folhas verticais**

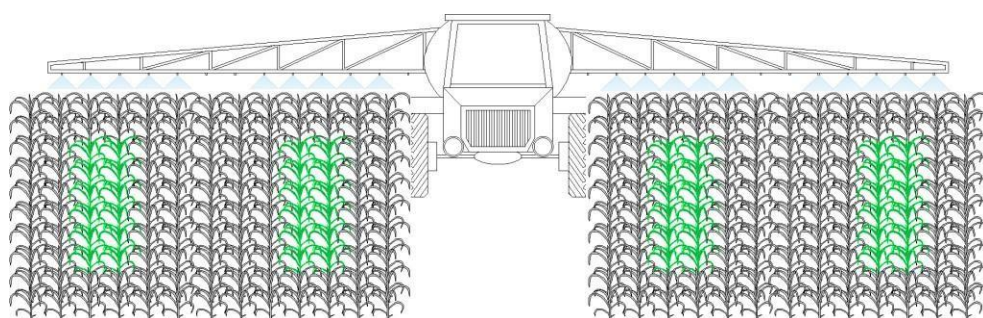
O delineamento experimental para o estudo das folhas com angulações verticais foi realizado em campo, com plantas de milho, em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, seis plantas por repetição em três estágios distintos.

Foi utilizado o milho híbrido MG593PWU, semeado em espaçamento entre linhas de 0,5 m, com uma densidade aproximada de 2,5 plantas por metro linear equivalente a  $50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . A semeadura foi realizada em diferentes épocas, no sistema de plantio

direto. As aplicações dos tratamentos foram realizadas nos estágios fenológicos V5/V6, V7 e VT, utilizou-se um pulverizador acoplado modelo FALCON AM14 (Máquinas Agrícolas Jacto S.A.), composto por um tanque de 600 L, manômetro, barra de 14 m de comprimento com 29 bicos espaçados a 0,5 m entre si, que operou a uma altura de 0,5 m em relação ao dossel da cultura.

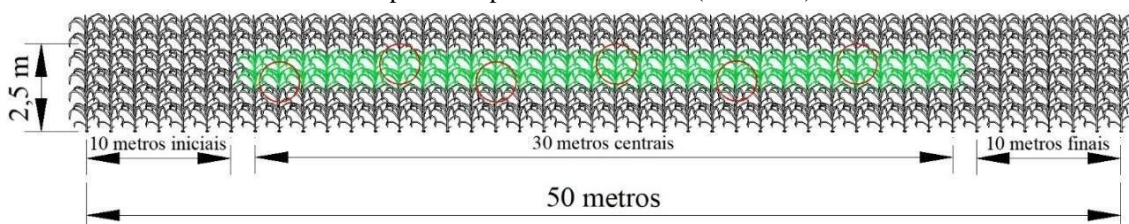
Nas parcelas experimentais, a pulverização foi realizada em quatro linhas de milho para cada tratamento, as duas linhas laterais foram consideradas bordaduras (Figura 2). Foram utilizadas cinco pontas de pulverização por tratamento em cada aplicação. Após a aplicação, foram coletadas seis plantas para avaliação da cobertura por tratamento (Figura 3). As parcelas experimentais possuíam dimensões de 50 m de comprimento por 2,5 m de largura.

**Figura 2.** Representação da disposição das plantas de milho nas parcelas experimentais com a área útil (verde) e bordadura (cinza).



Arquivo Nitec (2025).

**Figura 3.** Ilustração da área de coleta das plantas de milho, evidenciando as amostras analisadas (verde) e os pontos específicos de coleta (vermelho).



Arquivo Nitec (2025).

O pulverizador iniciou a aplicação a 10 m antes de cada parcela, com o intuito de estabilizar a velocidade de deslocamento do equipamento e vazão das pontas de pulverização.

Após a pulverização, as plantas de milho, devidamente separadas por tratamentos

e repetições, foram transportadas ao laboratório, onde as folhas foram seccionadas para posterior avaliação da cobertura da calda. As aplicações foram realizadas em dias consecutivos, visando aplicações em condições meteorológicas semelhantes (temperatura e umidade relativa do ar) e prevenindo a presença de orvalho no início da manhã.

### 3.4 Experimento II – Folhas horizontais

O delineamento experimental para o estudo da área de cobertura em plantas com folhas horizontais foi desenvolvido em laboratório, com arranjo inteiramente casualizado, quatro repetições e doze tratamentos.

A aplicação da calda foi realizada por meio de um simulador de pulverização *indoor* de alta velocidade, controlada por um sistema IHM (interação homem-máquina), com controle de altura da barra, composto por um sistema hidráulico com controlador de pressão manual e bomba hidráulica de três pistões, movido por um motor elétrico de 3,0 CV. O sistema contém um depósito com capacidade de 50 L  $\text{min}^{-1}$  e integrado a um comando hidráulico com regulador de pressão e manômetro. A barra de pulverização, com dois metros de comprimento e altura ajustada para 0,5 m em relação ao alvo (Figura 4), foi equipada com quatro pontas de pulverização espaçadas a 0,5 m, válvulas antigotejo e bicos, constituídos de capas e filtros e válvula solenóide responsáveis pela liberação do fluxo.

**Figura 4.** Componentes do simulador de pulverização indoor de alta velocidade, incluindo: barra de pulverização (A), corpo do bico modelo QJ360C e pontas (B), painel de controle (C), operação do painel e controle (D), manômetro (E) e bomba (F)

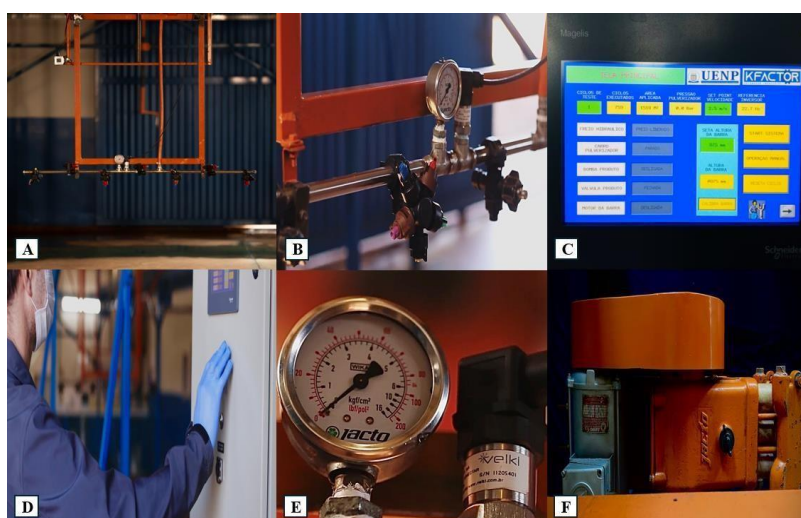


Foto: Arquivo Nitec (2025).

Para a realização do experimento, foi utilizado duas plantas artificiais para analisar a cobertura de gotas que atingem a área-alvo. O modelo de planta, constituída em ferro, consiste em uma haste vertical montada em uma base de suporte, com hastes laterais. Na extremidade das hastes laterais, instalou-se uma base retangular com angulação horizontal em relação ao solo. As dimensões da base retangular são 0,003 m de largura por 0,007 m de comprimento.

As hastes laterais apresentam quatro comprimentos com o objetivo de simular os ramos dos terços superior, mediano e inferior de uma planta (Figuras 5 e 6). A região denominada superior possui distância de 0,9 m em relação ao solo, a região mediana de 0,7 m, e a região inferior de 0,25 m. Dentro de cada terço foi determinada uma medida de 0,15 m entre si. Foram utilizadas duas plantas artificiais localizadas ao centro da passagem do pulverizador e nas bases das hastes foram centralizadas e fixadas folhas de milho seccionadas com 0,01 m de comprimento.

**Figura 5.** Folhas da planta de milho na região superior da planta artificial (A), vista vertical da planta artificial (B) e ajuste das folhas na planta artificial (C).

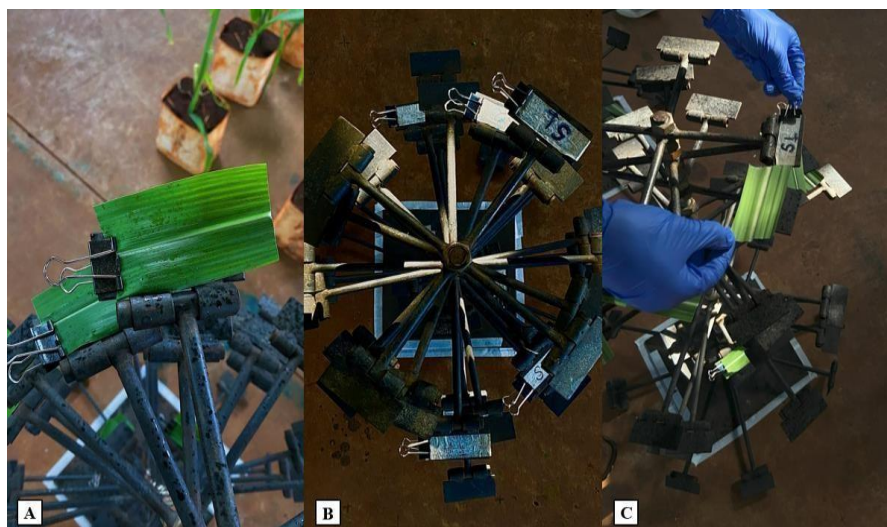


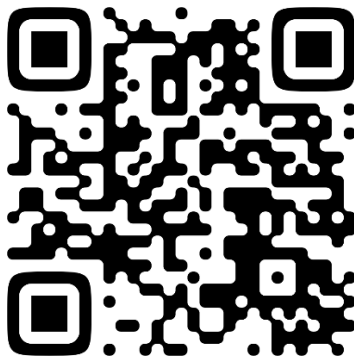
Foto: Arquivo Nitec (2025).

**Figura 6.** Planta artificial vista lateral.

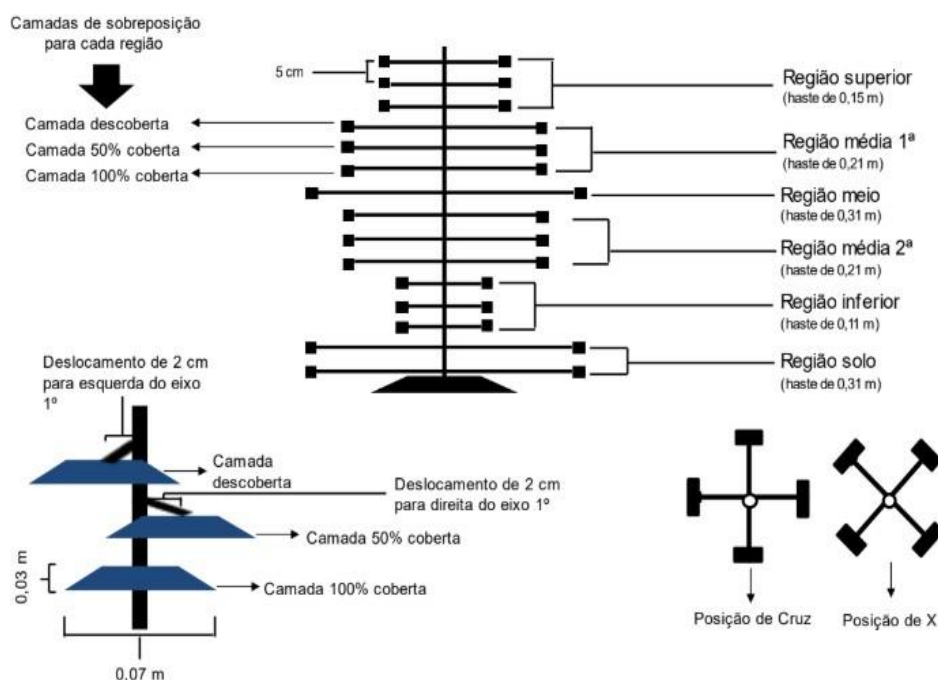


Foto: Arquivo Nitec (2025).

**Figura 7.** QRcode para acessar o vídeo da planta artificial.



**Figura 8.** Fluxograma das partes da planta artificial.



Silva, Adenilson (2021).

Para as amostras que posteriormente foram inseridas na planta artificial, as plantas de milho foram cultivadas em casa de vegetação, sendo semeadas em vasos de 5 L, com uma planta por vaso. Inicialmente, o solo foi devidamente adubado e, após a semeadura, as plantas foram irrigadas e realizado os demais tratos culturais, garantindo seu desenvolvimento subsequente.

### 3.5 Condições meteorológicas

Durante a condução de cada tratamento nos dois experimentos, foram registrados os estágios fenológicos das plantas, as alturas e condições meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), conforme especificado nas Tabelas 2 e 3. Durante as aplicações nos dois experimentos, utilizou-se a estação meteorológica portátil do modelo WH65B (Weather Station) para monitoramento e registro das condições meteorológicas.

**Tabela 2.** Informações dos experimentos.

Experimentos	Data	Condição	Estágio das plantas	Altura (m)
1	09/05/2024	Campo	V7	0,75
2	31/05/2024	Campo	V5/V6	0,44
3	07/06/2024	Campo	VT	1,30
4	20/08/2024	Laboratório	*	0,92
5	11/09/2024	Laboratório	*	0,88

\* Planta artificial.

**Tabela 3.** Condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento registradas durante a pulverização dos tratamentos.

Campo com folhas verticais			
Experimento	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )
1	21,69 (1,11)	78,73 (1,45)	1,29
2	18,03 (1,05)	65,34 (2,53)	-*
3	29,06 (4,02)	45,76 (9,23)	2,67
Laboratório com folhas horizontais			
4	27,75 (1,37)	39,63 (4,37)	-*
5	24,14 (2,44)	47,14 (3,80)	-*

\* Ausência de vento.

### 3.6 Coleta das folhas

No experimento com plantas de folhas verticais, após as aplicações, as plantas de milho foram retiradas do campo e transportadas para o laboratório, onde as folhas foram recortadas nas regiões inferior, mediana e superior, sendo uma folha para cada região. Para cada parte da folha (basal, mediana e apical), foram estabelecidas posições específicas de corte, com seções de 0,007 x 0,003 m, as quais constituíram as unidades experimentais (Figuras 8 e 9). Nos experimentos um e dois, a análise também foi realizada na região do cartucho. No experimento três, devido ao estágio da planta (VT), não foi possível a avaliação no cartucho. A cobertura dos experimentos foi quantificada nas faces adaxial e abaxial das folhas (Tabela 4).

No experimento com plantas de folhas horizontais, as folhas foram inseridas na planta artificial nas regiões inferior, mediana e superior. O corte das amostras ocorreu de forma aleatória, sem considerar o estágio fenológico da planta, sendo as folhas recortadas em seções de 0,007 x 0,003 m e posteriormente posicionadas nas respectivas regiões da planta artificial. Após as aplicações, as folhas recortadas foram retiradas e transportadas para análise. A cobertura do experimento foi quantificada exclusivamente na face adaxial

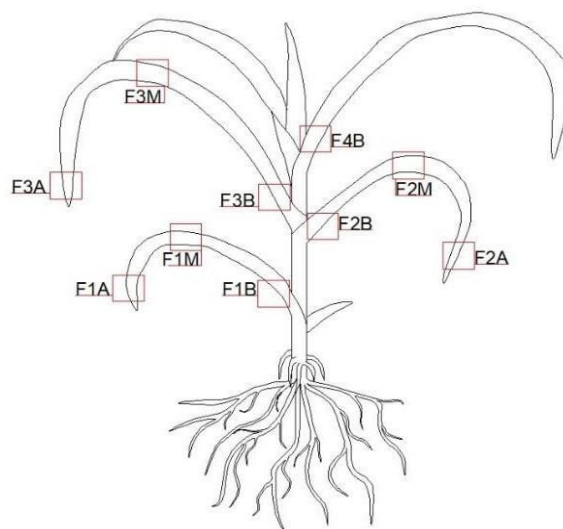
das folhas.

**Tabela 4.** Informações das regiões analisadas na folha da planta de milho no experimento em campo, sendo: F (folha); B (parte basal); M (parte mediana); A (parte apical); AD (posição adaxial) e AB (posição abaxial).

Locais de coleta	Descrição
F1B-AD	Folha da parte basal na posição adaxial
F1B-AB	Folha da parte basal na posição abaxial
F2B-AD	Folha da parte basal na posição adaxial
F2B-AB	Folha da parte basal na posição abaxial
F3B-AD	Folha da parte basal na posição adaxial
F3B-AB	Folha da parte basal na posição abaxial
F1M-AD	Folha da parte mediana na posição adaxial
F1M-AB	Folha da parte mediana na posição abaxial
F2M-AD	Folha da parte mediana na posição adaxial
F2M-AB	Folha da parte mediana na posição abaxial
F2M-AD	Folha da parte mediana na posição adaxial
F3M-AB	Folha da parte mediana na posição abaxial
F1A-AD	Folha da parte apical na posição adaxial
F1A-AB	Folha da parte apical na posição abaxial
F2A-AD	Folha da parte apical na posição adaxial
F2A-AB	Folha da parte apical na posição abaxial
F3A-AD	Folha da parte apical na posição adaxial
F3A-AB	Folha da parte apical na posição abaxial
F4B-AD	Folha da parte basal na posição adaxial
F4B-AB	Folha da parte basal na posição abaxial

\* Posição da folha em relação à planta: F1= Folha na posição mais próxima ao solo; F2= Folha na posição intermediária em relação ao solo; F3 e F4= Folhas do dossel.

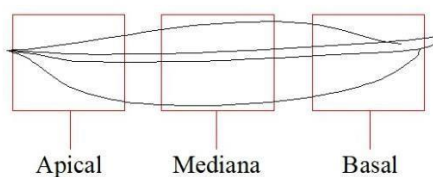
**Figura 9.** Diagrama da planta de milho com partes das folhas identificadas para análise detalhada.



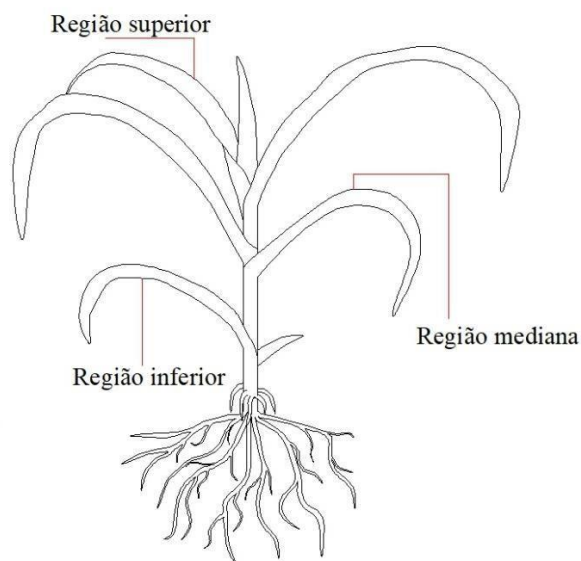
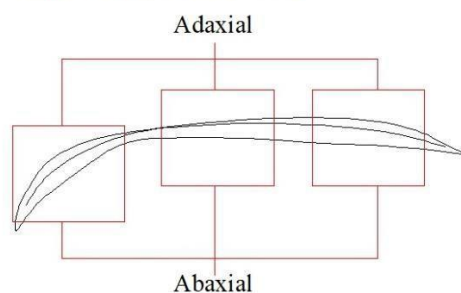
Arquivo Nitec (2025).

**Figura 10.** Diagrama da planta de milho com partes das folhas identificadas para análise detalhada.

#### Vista superior da folha



#### Vista lateral da folha



Arquivo Nitec (2025).

### 3.7 Avaliação da cobertura das folhas

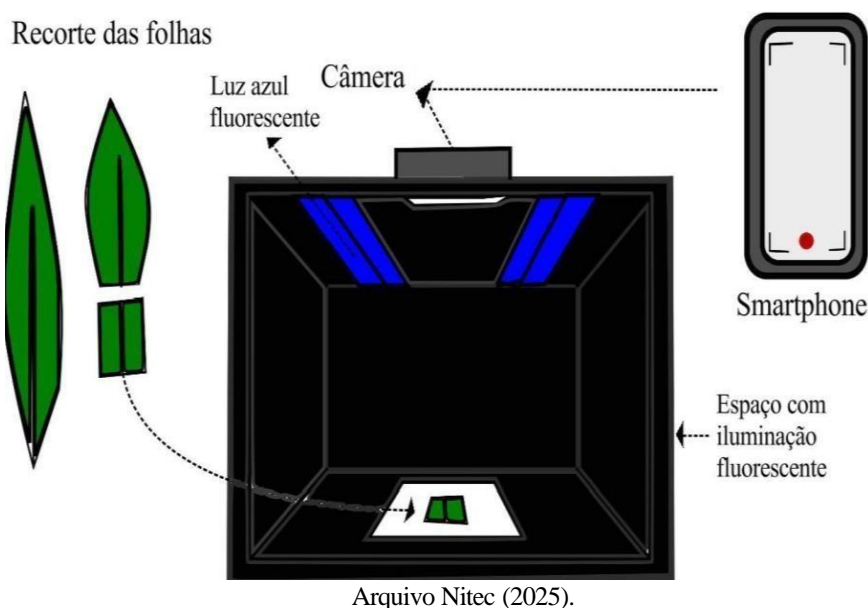
Após a pulverização, as folhas da planta de milho foram destacadas, seccionadas e processadas por meio do sistema de análises por imagens (Windias<sup>®</sup>).

O WinDias<sup>®</sup> mensura a área que foi coberta pela aplicação dos diferentes tratamentos, utilizando técnicas de machine learning, com identificação por RGB na imagem capturada, e já determina o percentual de área coberta pelas gotas depositadas no

alvo.

Para a visualização do marcador laranja fluorescente nas folhas pulverizadas, foi utilizado um ambiente escuro com iluminação, composto por duas lâmpadas ultravioleta (Figuras 10 e 11). A resolução no método de separação do brilho e intensidade da área coberta com o marcador fluorescente foi realizada com o uso de uma câmera digital, configurada por meio do aplicativo FV-5 Lite. Os parâmetros de exposição foram ajustados manualmente para 1/10, com velocidade ISO 2000 e balanceamento de branco (WB) em 3000, sendo as imagens capturadas por um telefone móvel.

**Figura 11.** Representação do ambiente utilizado para a captura das imagens das folhas da planta de milho aplicadas



**Figura 12.** Distribuição de partículas aplicadas em diferentes regiões da folha na planta artificial sob iluminação ultravioleta, considerando: F1 (folha na região superior), F2 (folha na região mediana), F3 (folha na região próxima ao solo), S (parte superior), M (parte mediana) e I (parte inferior).

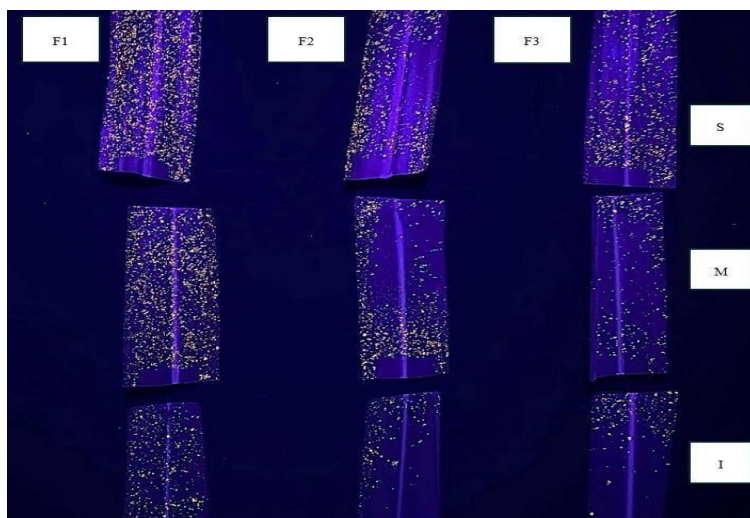


Foto: Arquivo Nitec (2025).

### 3.8 Análise estatística

Os dados foram analisados pela estatística descritiva e exploratória, verificado a presença de *outliers* e interferência na normalidade pelo teste de Shapiro Wilk`s. Os tratamentos foram interpretados por meio de dendrograma, utilizando técnicas de análises de dissimilaridade pelo método da distância euclidiana e agrupamento hierárquico completo levando em consideração os modelos de pontas de pulverização e os locais de coleta da cobertura.

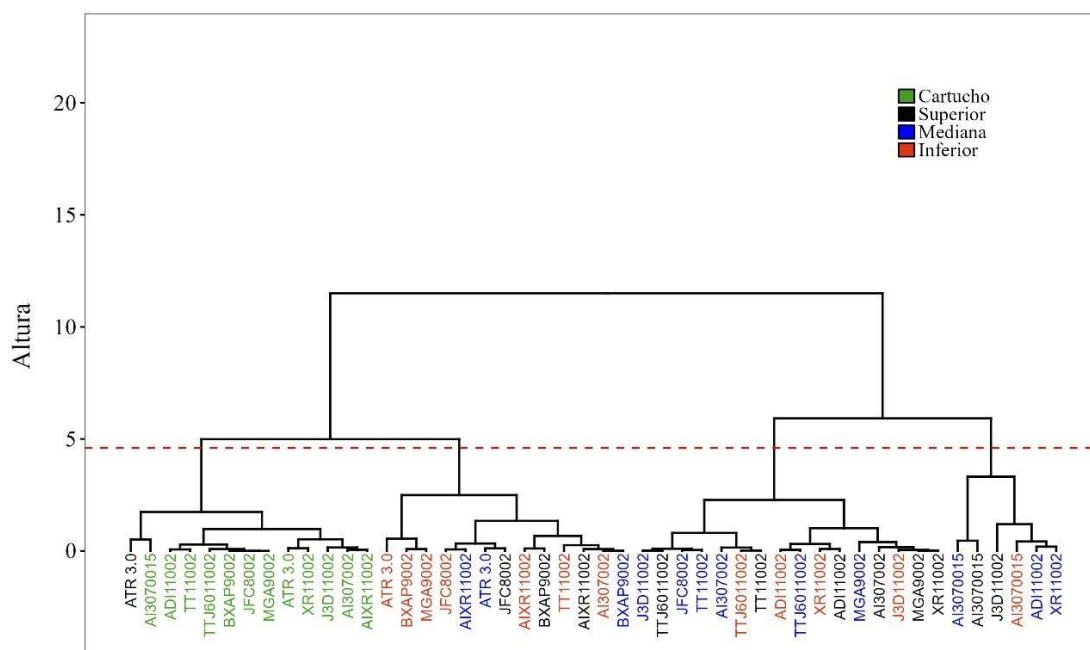
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises realizadas têm como objetivo avaliar a cobertura das diferentes pontas de pulverização nas distintas regiões da planta de milho. Para tanto, foi adotado o método de distâncias euclidianas, a fim de identificar padrões de agrupamento e similaridade entre as pontas de pulverização e as regiões da planta avaliadas.

O dendrograma constitui uma representação gráfica comumente empregada em análises de agrupamento hierárquico que permite ilustrar, de maneira visual, a estrutura de agrupamentos formados com base nas semelhanças entre os objetos analisados. Neste contexto, o dendrograma ilustra o agrupamento dos modelos de pontas de pulverização em função da similaridade nos padrões de cobertura obtidos nas diferentes regiões da planta de milho, nomeadamente nas regiões da planta e da folha de milho. Essa representação hierárquica revela como as pontas de pulverização se agruparam conforme sua na distribuição das gotas nas folhas, no qual os ramos mais próximos indicam maior similaridade nos padrões de cobertura entre os modelos de pontas.

A altura (eixo y) representa as divisões dos grupos, indica que, quanto maior a altura do agrupamento, maior é a dissimilaridade entre os elementos, ou seja, os elementos apresentam características mais distintas. Por outro lado, menores alturas refletem menor diferença entre os grupos formados. Para definir o limite de corte, foi utilizada uma linha pontilhada vermelha, posicionada em alturas variadas nos diferentes experimentos, o que, neste experimento com folhas verticais (Figura 13), resultou na formação de quatro grupos (da esquerda para a direita). Esses grupos evidenciam características comuns das pontas no que se refere à distribuição de cobertura.

**Figura 13.** Dendrograma referente ao primeiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho.



No grupo 1 (Figura 13), observa-se que todas as pontas de pulverização apresentam valores de cobertura semelhantes na região do cartucho. Esses resultados indicam que, independentemente da ponta utilizada, a penetração na parte central da planta de milho concentra-se de forma uniforme nesta região. A ponta ATR, na região superior da planta, apresentou um valor de cobertura semelhante ao observado na região do cartucho, onde todas as pontas de pulverização demonstraram desempenho equivalente.

O grupo 2 apresenta variabilidade entre as pontas de pulverização e as diferentes regiões da planta de milho. As pontas que obtiveram cobertura na região superior (JFC, BXAP e AIXR) apresentaram desempenho semelhante às pontas que alcançaram cobertura na região mediana (AIXR, ATR e BXAP) e na região inferior da planta (ATR, BXAP, MGA, JFC, AIXR, TT e AI). Destaca-se que as pontas BXAP e AIXR alcançaram coberturas semelhantes nas três regiões da planta (superior, mediana e inferior).

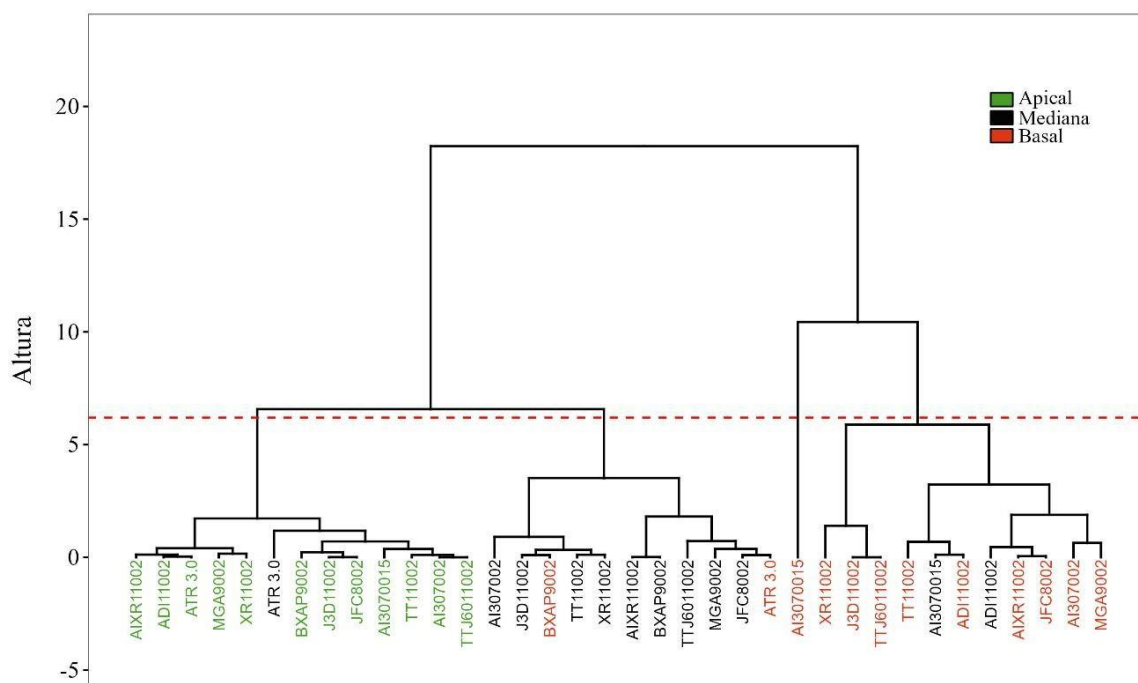
No grupo 3, verificou-se variabilidade entre as pontas de pulverização nas mesmas regiões da planta de milho. A ponta TTJ apresentou valores de cobertura semelhantes nas partes superior, mediana e inferior. As pontas ADI e XR (jatos planos) exibiram valores de cobertura equivalentes nas regiões superior e inferior. Já as pontas TT e MGA demonstraram valores semelhantes nas regiões superior e mediana, enquanto a ponta J3D mostrou cobertura equivalente nas regiões superior e inferior da planta.

Com menor variabilidade entre as pontas de pulverização, o grupo 4 indicou que a ponta AI3070015 apresentou valores de cobertura semelhantes nas regiões superior, mediana e inferior da planta. Além disso, observou-se a presença de pontas de jato plano.

A análise da Figura 1 revelou que algumas pontas de pulverização, como a AI3070015, TTJ, XR, ADI, TT e J3D, apresentaram comportamento semelhante em mais de uma região da planta de milho, o que indica a possibilidade de utilização de forma intercambiável, dependendo do objetivo da aplicação. Em contrapartida, diferenças significativas foram identificadas entre os grupos. Além disso, a formação dos grupos no primeiro experimento sugere que a cobertura varia consideravelmente entre as pontas avaliadas.

No experimento 1 em folhas verticais (Figura 14), a análise do agrupamento das pontas de pulverização para os valores de cobertura nas diferentes regiões da folha de milho resultou na formação de quatro grupos.

**Figura 14.** Dendograma referente ao primeiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho.



O grupo 1 apresentou valores de cobertura semelhantes na região apical da folha para todas as pontas de pulverização. A ponta ATR, na região mediana da folha, demonstrou valor de cobertura similar ao observado para todas as pontas de pulverização na região apical.

No grupo 2, verificou-se uma predominância de semelhança nos valores de cobertura na região mediana da folha. As pontas BXAP e ATR, na região basal, apresentaram valores similares aos das demais pontas de pulverização na região mediana. O modelo de ponta BXAP, nas regiões mediana e basal, exibiu valores de cobertura equivalentes.

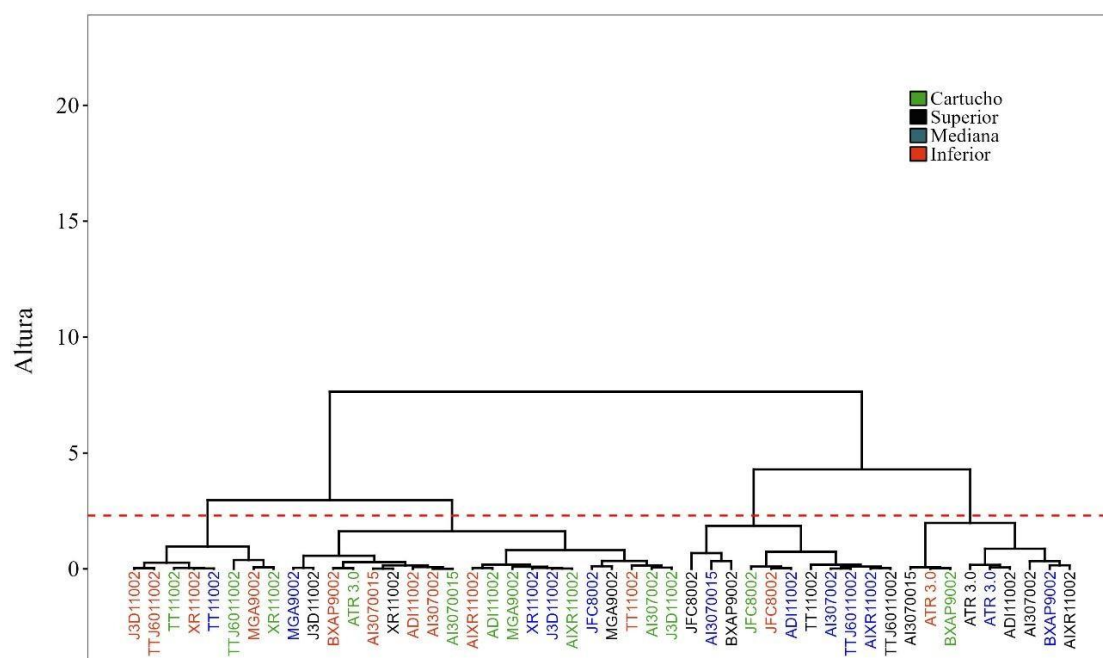
No grupo 3, apenas a ponta AI3070015, localizada na região basal, apresentou valor de cobertura significativamente diferente em relação aos demais grupos de pontas de pulverização.

Observou-se pouca variabilidade entre os modelos de pontas de pulverização e as regiões da folha no grupo 4. A ponta AI3070015 apresentou valores de cobertura semelhantes nas regiões mediana e basal da folha.

No segundo experimento em folhas verticais (Figura 15), o agrupamento de pontas de pulverização na planta de milho resultou na formação de quatro grupos.

No primeiro experimento, a região do cartucho apresentou menor variabilidade, enquanto no segundo experimento observou-se maior variabilidade entre as pontas de pulverização nas regiões atingidas. Essa diferença pode ser atribuída às condições meteorológicas durante as aplicações, uma vez que a velocidade do vento no primeiro experimento foi superior à registrada no segundo.

**Figura 15.** Dendograma referente ao segundo experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho.



No grupo 1, na região inferior, observou-se um maior número de pontas de pulverização com cobertura semelhante. As pontas TTJ (cartucho e inferior) e TT (cartucho e mediana) obtiveram maior frequência dentro do grupo. A ponta TTJ, em estudos que analisaram diferentes pontas de pulverização para avaliar a cobertura nas plantas de milho, demonstrou maior cobertura na superfície no terço inferior da planta, enquanto a ponta TT, no terço superior, resultou em menor densidade de gotas entre as pontas analisadas (Nascimento et al., 2022).

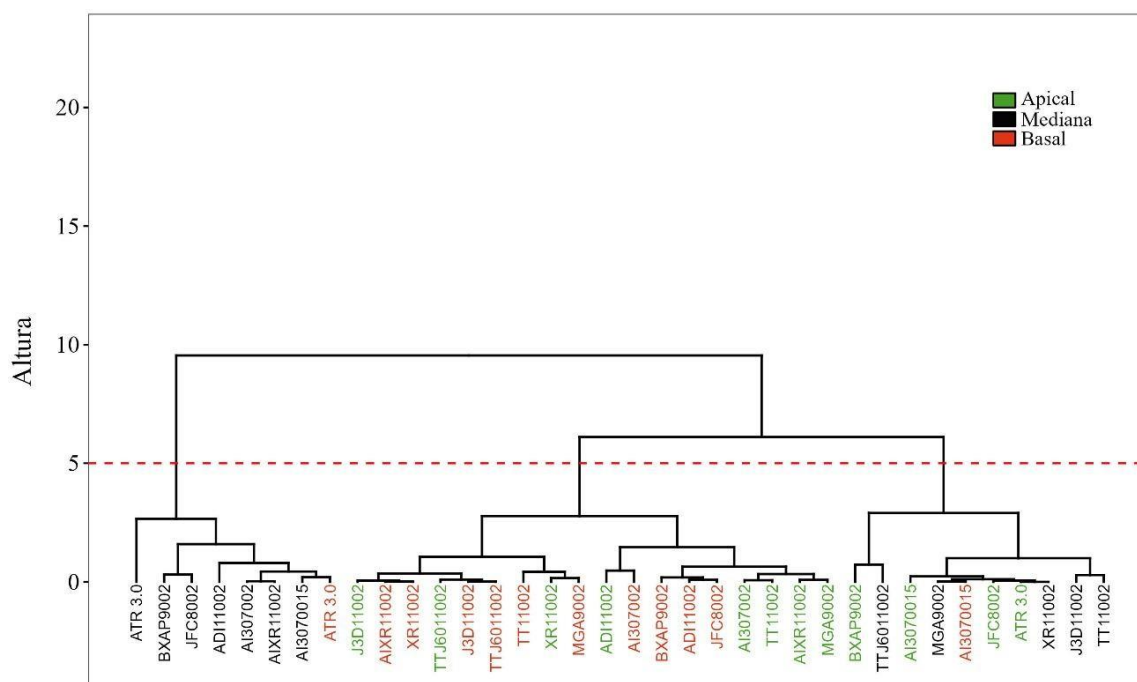
Houve maior variabilidade entre as pontas de pulverização e as regiões da planta no segundo grupo em comparação aos demais grupos. A ponta AI3070015, na região do cartucho, apresentou cobertura semelhante à da região inferior da planta. Por outro lado, a ponta MGA demonstrou cobertura semelhante nas regiões superior e mediana da planta de milho.

No grupo 3, as pontas de pulverização foram avaliadas em todas as regiões da planta de milho. A ponta JFC apresentou cobertura semelhante nas regiões do cartucho, superior e inferior. Por sua vez, a ponta TTJ mostrou cobertura semelhante nas regiões superior e mediana da planta.

No grupo 4, a região superior demonstrou pela maior semelhança de cobertura das pontas de pulverização. A ponta ATR apresentou cobertura semelhante nas regiões superior, mediana e inferior. Em geral, observou-se cobertura em todas as regiões da planta de milho.

No experimento 2 com folhas verticais (Figura 16), a análise do agrupamento das pontas de pulverização para os valores de cobertura nas diferentes regiões da folha de milho resultou na formação de três grupos.

**Figura 16.** Dendrograma referente ao segundo experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho.



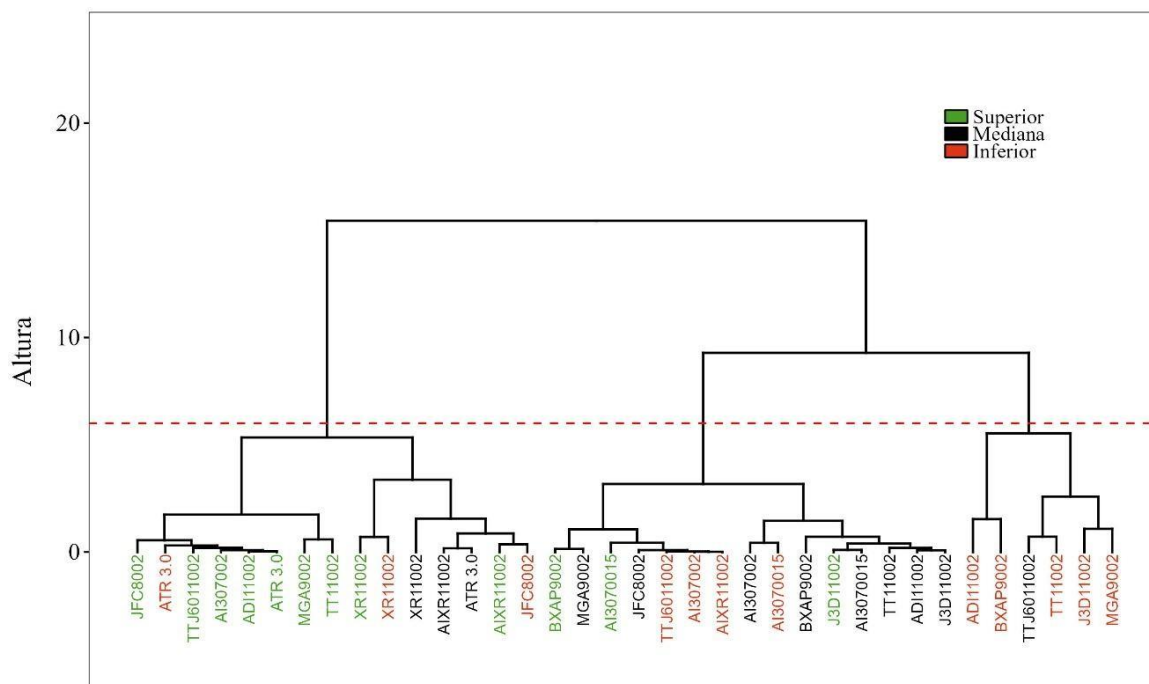
No grupo 1, houve pouca variabilidade entre as pontas de pulverização e as regiões da folha de milho, com predominância na região mediana. A ponta ATR apresentou cobertura semelhante nas regiões mediana e basal da folha. Não houve pontas de pulverização que proporcionam cobertura semelhante na região apical da folha.

No grupo 2, com o maior número de pontas de pulverização agrupadas, destacaram-se aquelas com cobertura semelhante nas regiões apical e basal, sem obter cobertura na região mediana da folha.

O grupo 3 demonstrou cobertura semelhante em todas as regiões da folha, com destaque para a região mediana. A ponta de pulverização AI3070015 apresentou cobertura semelhante tanto na região apical quanto na região basal da folha da planta de milho.

No terceiro experimento em folhas verticais (Figura 17), o agrupamento de pontas de pulverização na planta de milho resultou na formação de três grupos. Não houve análise na região do cartucho devido ao estágio vegetativo da planta e milho.

**Figura 17.** Dendrograma referente ao terceiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho.



O grupo 1 foi composto por quinze pontas de pulverização, sendo que nove delas proporcionaram cobertura semelhante na região inferior da planta. As pontas ATR e XR apresentaram cobertura semelhante nas regiões superior, mediana e inferior da planta. Estudos que utilizaram as pontas XR e AIXR, durante a aplicação de herbicidas na planta de milho, indicam que estas pontas resultaram em maior deposição do produto na planta, em comparação com as pontas AITTJ e TTI (Creech et al., 2017).

No grupo 2, a ponta AI307002 apresentou cobertura semelhante nas regiões superior e mediana. A ponta AI3070015 demonstrou cobertura semelhante nas regiões superior e inferior, evidenciando consistência nos três experimentos realizados. Essa ponta destacou-se pelo comportamento uniforme em relação à cobertura nas diferentes regiões da planta de milho, independentemente do estágio vegetativo ou das condições meteorológicas. A uniformidade da cobertura entre as regiões superior e inferior nos três experimentos indicou que a sobreposição de cobertura não foi um fator limitante.

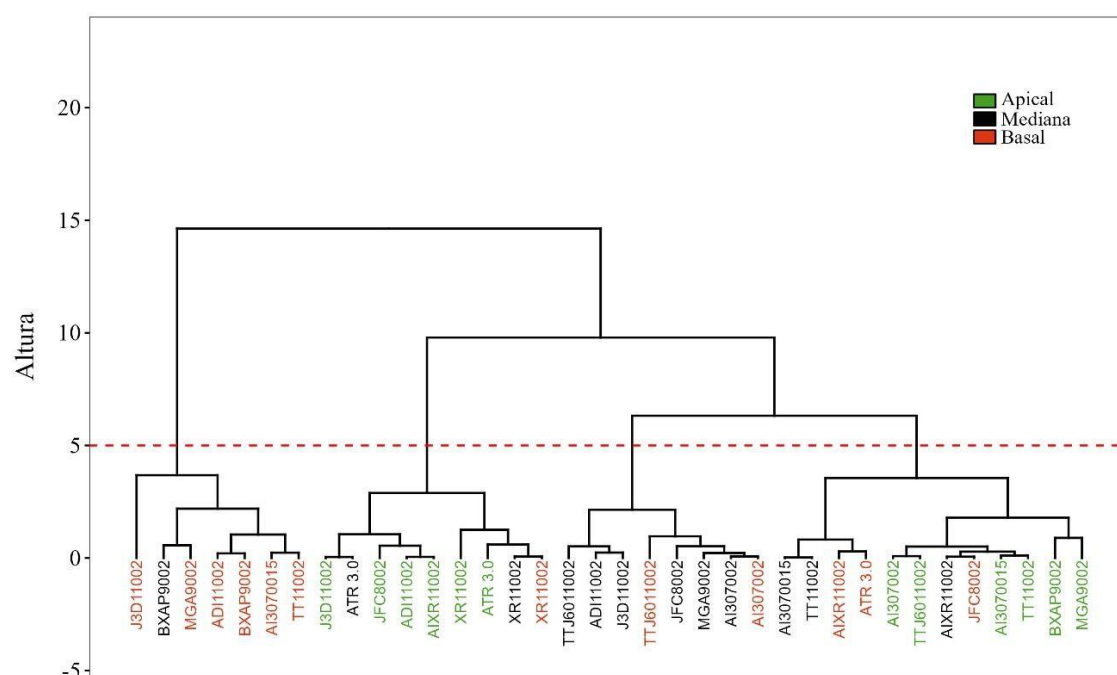
O grupo 3 apresentou o menor número de pontas agrupadas, com cobertura restrita às regiões superior e mediana. Foi o único agrupamento em que todas as pontas de pulverização eram distintas entre si dentro do próprio grupo.

Nos experimentos um e dois, a ponta TTJ apresentou valores de cobertura semelhantes em mais de uma região da planta de milho. No entanto, no terceiro

experimento, essa similaridade não foi observada. Esse comportamento pode ser atribuído ao estágio vegetativo mais avançado das plantas no terceiro experimento, aliado às diferentes condições de temperatura registradas no local durante sua realização.

No experimento 3 (Figura 18), a análise do agrupamento das pontas de pulverização para os valores de cobertura nas diferentes regiões da folha vertical de milho resultou na formação de quatro grupos.

**Figura 18.** Dendograma referente ao terceiro experimento realizado em folhas verticais (campo), com o agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da folha de milho.



No grupo 1, foram observadas pontas com cobertura semelhante nas regiões mediana e basal, exceto na região apical da folha. Somente a ponta BXAP apresentou cobertura semelhante nas regiões mediana e basal.

No grupo 2, a região apical obteve maior concentração de pontas de pulverização com cobertura uniforme, com maior incidência na região apical da folha de milho. A ponta XR, por sua vez, apresentou distribuição de cobertura semelhante nas três regiões da folha.

A ponta ATR demonstrou cobertura consistente nas regiões apical e mediana. No primeiro experimento, na região mediana da folha, apresentou valores de cobertura semelhantes às doze pontas avaliadas na região apical. Nos experimentos dois e três, esta ponta apresentou cobertura em mais de uma região da folha, mesmo com os diferentes

estágios vegetativos das plantas nesses experimentos.

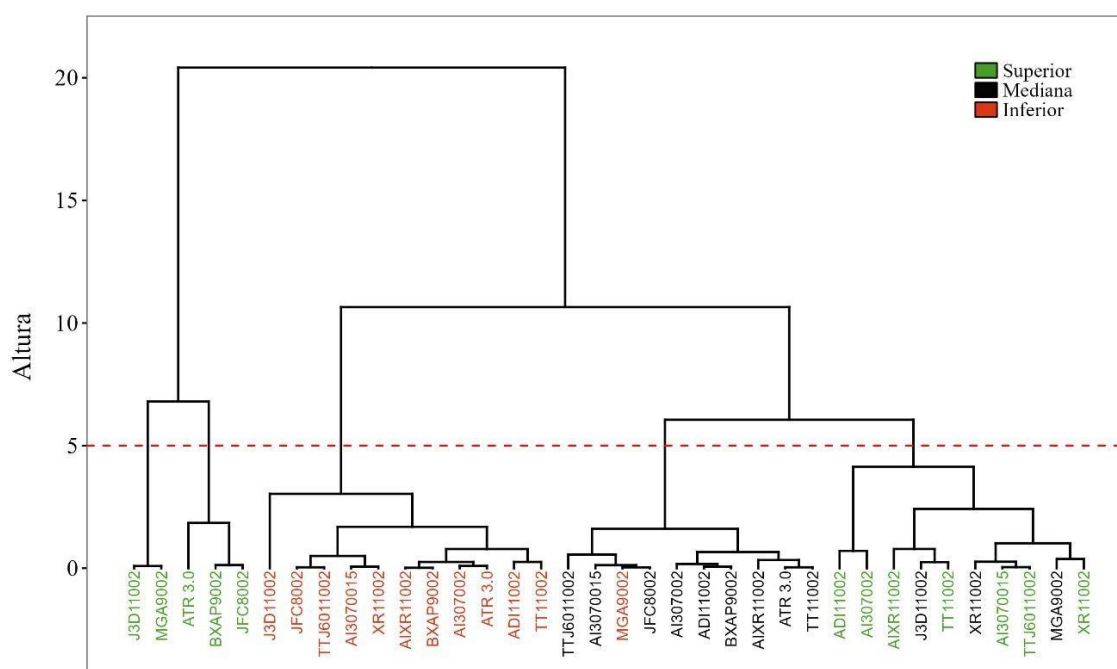
No grupo 3, não foram encontradas pontas com cobertura semelhante na região apical da folha de milho. As pontas AI307002 e TTJ apresentaram cobertura semelhante tanto na região mediana quanto na basal da folha de milho.

No grupo 4, que apresentou o maior número de pontas agrupadas, a ponta de pulverização AI3070015 destacou-se por apresentar cobertura semelhante nas regiões apical e mediana da folha da planta de milho. No primeiro experimento, essa ponta demonstrou um comportamento distinto, agrupando-se de forma isolada na região basal. Nos experimentos dois e três, os valores de cobertura mostraram-se consistentes e semelhantes em mais de uma região da folha, evidenciando maior uniformidade, mesmo com as diferentes condições e estágios vegetativos da planta.

No primeiro experimento, a região apical apresentou valores de cobertura semelhantes para as doze pontas de pulverização. Em contrapartida, nos segundo e terceiro experimentos, constatou-se maior variabilidade entre os grupos, o que pode ser explicado pelas diferenças nas condições meteorológicas e pelos distintos estágios vegetativos das plantas.

No quarto experimento, realizado em laboratório (Figura 19), o agrupamento de pontas de pulverização na planta artificial resultou na formação de quatro grupos.

**Figura 19.** Dendograma referente ao experimento realizado em folha horizontais (laboratório) com agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho.



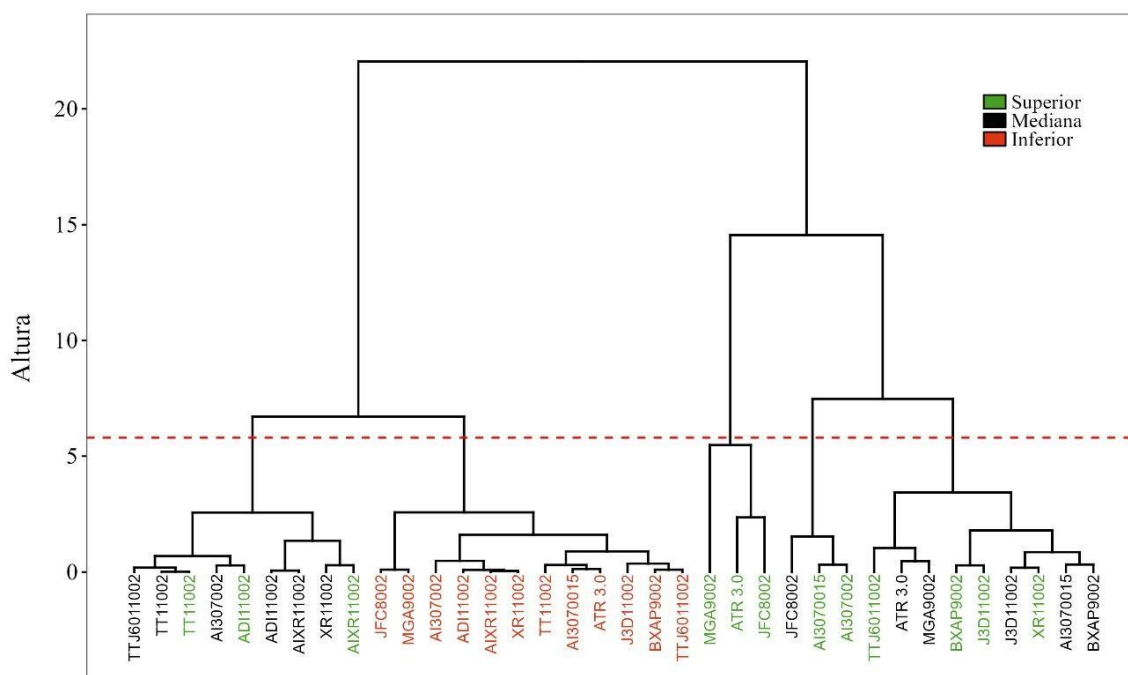
No grupo 1, apenas duas pontas de pulverização na região superior (J3D e MGA) apresentaram valores de cobertura semelhantes. No grupo 2, as pontas ATR, BXAP e JFC, localizadas na região superior da planta, exibiram valores de cobertura similares, caracterizando- se todas como jatos cônicos.

Assim como nos primeiros dois grupos, o terceiro grupo não apresentou ampla variabilidade entre as pontas e as regiões da planta. Esse grupo é composto por onze pontas de pulverização localizadas na região inferior. Das dez pontas analisadas, nove apresentaram cobertura semelhante na região mediana. Somente a ponta MGA, na região inferior, exibiu valores semelhantes aos observados nas pontas da região mediana.

As pontas J3D, XR e MGA, localizadas na região mediana, apresentaram valores semelhantes às pontas que alcançaram a região superior da planta. Em particular, a ponta XR demonstrou cobertura semelhante tanto na região superior quanto na região mediana.

No quinto experimento, realizado em laboratório (Figura 20), o agrupamento de pontas de pulverização na planta artificial resultou na formação de cinco grupos.

**Figura 20.** Dendograma referente ao experimento realizado em folha horizontais (laboratório) com agrupamento das pontas de pulverização com base nos valores de cobertura obtidos nas regiões da planta de milho.



No grupo 1, observou-se similaridade entre as regiões superior e mediana da planta, com destaque para as pontas AI XR, ATR e TT, que apresentaram coberturas equivalentes em ambas as regiões. No grupo 2, com a presença das doze pontas de

pulverização na região inferior da planta, verificou-se similaridade uniforme entre todas as pontas testadas e cobertura obtida na área atingida.

As pontas MGA, ATR e JFC apresentaram os mesmos valores de cobertura na região superior da planta, compondo o terceiro grupo, sendo todos jatos cônicos. No grupo 4, destacaram-se as pontas JFC (na região mediana), AI3070015 e AI307002 (na região superior), que demonstraram resultados semelhantes entre si.

O último grupo foi composto pelas regiões superior e mediana, onde as pontas J3D e BXAP apresentaram valores de cobertura equivalentes em ambas as regiões. Os resultados obtidos nos experimentos 4 e 5 indicaram baixa variabilidade entre os grupos de pontas de pulverização, evidenciando similaridade na cobertura em diferentes regiões da planta.

No experimento 4, onze pontas de pulverização apresentaram valores de cobertura semelhantes na região inferior da planta, enquanto nove pontas demonstraram essa similaridade na região mediana. A ponta XR destacou-se por alcançar cobertura uniforme tanto na região superior quanto na região mediana. No entanto, a ponta AI3070015 não apresentou consistência em nenhuma das regiões avaliadas, mostrando maior variabilidade.

No experimento 5, em geral, os grupos e regiões avaliados apresentaram baixa variabilidade. Todas as doze pontas de pulverização obtiveram valores de cobertura semelhantes na região inferior da planta, demonstrando similaridade nesta região. A ponta AI3070015, diferente do observado no experimento 4, apresentou valores de cobertura semelhantes entre as regiões superior e mediana.

Os experimentos realizados em folhas verticais (campo) apresentaram maior variabilidade entre os grupos, resultando em menor semelhança entre as pontas para cada região da planta, em comparação com os experimentos conduzidos em laboratório. Essa diferença pode ser atribuída às condições controladas do laboratório, que não foram influenciadas pela velocidade do vento e utilizaram superfícies artificiais em vez de folhas de plantas de milho.

Nos experimentos realizados em folhas horizontais, a maior parte das pontas de pulverização apresentaram valores de cobertura semelhantes em regiões específicas, como inferior e mediana. Em contrapartida, no experimento 1 realizado em folhas verticais, observou-se maior semelhança entre todas as pontas utilizadas apenas na região do cartucho.

As pontas AI307002 e AI3070015, embora apresentem valores de vazão diferentes

e sejam classificadas como gotas grossas e gotas médias, respectivamente, pertencem ao mesmo grupo de valores de cobertura em todos os experimentos realizados nas regiões do cartucho, superior, mediana e inferior na planta de milho. Entre os experimentos em folhas verticais, a ponta AI3070015 demonstrou maior consistência nos três experimentos realizados, com semelhança de cobertura, sem que a sobreposição tenha sido um fator limitante. Em folhas horizontais, no entanto, a mesma ponta apresentou valores de cobertura semelhantes apenas no último experimento, com uniformidade entre as regiões superior e mediana.

Esses resultados evidenciam a influência das angulações foliares (vertical e horizontal), as condições ambientais e estruturais nos padrões de cobertura das pontas de pulverização. O ambiente controlado do laboratório com folhas na horizontal favoreceu maior homogeneidade nos resultados, enquanto os experimentos em campo com folhas orientadas na vertical refletem a complexidade das condições reais de aplicação.

## 5. CONCLUSÃO

As folhas ou alvo com orientação vertical proporciona maior variabilidade entre os grupos, resultando em menor semelhança entre as pontas e entre as regiões avaliadas da planta e nas folhas. Em contrapartida, folhas com orientação na horizontal permitem melhor definição das relações entre as pontas e a cobertura nas diferentes regiões da planta, indicando desempenho semelhante em determinadas regiões, como a inferior e a mediana.

Existem diferenças entre as pontas dentro da mesma classe de jato plano e cônico, destacando as diferenças dos modelos não somente pela classe de gotas e pressão, mas também pelos formatos dos ângulos de projeção.

As pontas de jato plano com diferentes inclinações favorecem a cobertura em folhas com orientação vertical, enquanto pontas de jato cônico vazio ou cheio proporcionam maior cobertura em folhas com orientações na horizontal.

Menor cobertura são com pontas com jato plano simples em folhas com orientação vertical e com pontas de jato plano com indução de ar em alvos com orientação na horizontal.

## 6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE S572.3 **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, Michigan, EUA, 2020.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Tecnologia de Aplicação: Definição e Princípios Básicos. In: ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. **Entendendo a Tecnologia de Aplicação**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, p. 9-11, 2017.

ANTUNIASSI, U. R.; CUNHA, J. P. A. R. Boas práticas na tecnologia de aplicação dos defensivos agrícolas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2ª ed. rev. **amp.** - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, p. 355-366, 2019.

BRANKOV, M.; *et al.* Effects of nozzle type and adjuvant selection on common lambsquarters (*Chenopodium album*) and johnsongrass (*Sorghum halepense*) control using nicosulfuron in corn. **Weed Technology**. V. 37, n. 2,;p. 156-164, 2023.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, p. 261-282, 2019.

CHECHETTO, A. M *et al.* Cobertura das folhas de soja utilizando pontas de proteína com diferentes formatos de jatos. **Energia na Agricultura** , Botucatu, v. 2, pág. 21-12, 2022.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 27 nov. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Primeira estimativa para safra de grãos 2024/25 indica produção de 322,47 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5770-primeira-estimativa-para-safra-de-graos-2024-25-indica-producao-de-322-47-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 7 jan. 2025.

COSTA, L. L. *et al.* Insecticide spraying in soybean plants: Different nozzles models and agrometeorological conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 673-679, 2018.

CREECH, Cody F. *et al.* Herbicide spray penetration into corn and soybean canopies using air-induction nozzles and a drift control adjuvant. **Weed Technology**, v. 32, n. 1, p. 72-79, 2018.

- CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217862, 2023.
- OLIVEIRA, R. B. *et al.* Effect of droplet size and leaf surface on retention of 2, 4-D formulations. **Crop Protection**, v. 119, p. 97-101, 2019.
- DE PAULA, D. F. *et al.* **Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas**. 2021.
- DE SOUZA RANGEL, P. H. *et al.* Qualidade da aplicação na cultura da soja em sistema integração lavoura-floresta e monocultura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84299-84311, 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Artigo: Dia Nacional do Milho – A importância do milho para o agronegócio brasileiro**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/89583335/artigo-dia-nacional-do-milho---a-importancia-do-milho-para-o-agronegocio-brasileiro>. Acesso em: 27 nov. 2024.
- GANDOLFO, M. A.; ANTUNIASSI, U. R. IPP – **Inspeção periódica de pulverizadores**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 105-124.
- GODINHO Jr. J. D. *Et al.* Spray nozzles, working pressures and use of adjuvant in reduction of 2,4-D herbicide spray drift. **Planta Daninha**.v. 38, p. e020223622, 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100070>
- HOŁOWNICKI, R. *et al.* Effect of nozzle type and adjuvants on spray coverage on apple leaves. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1790, 2021.
- IBAMA. **Boletins anuais de comercialização de agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 8 jan. 2025.
- JIANG, C.; DERKSEN, R. C. Morphological image processing for spray deposit analysis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 5, p. 1581-1591, 1995.
- KALOGEROPOULOS, G. *et al.* Historical increases of maize leaf area index in the US Corn Belt due primarily to plant density increases. **Field Crops Research**, v. 318, p. 109615, 2024.
- KOUAME, K. B.-J. *et al.* Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control affected by weed size and herbicide spray solution with nozzle type pairings. **Weed Technology**, v. 38, p. e17, 2024.

KRUGER, G. R.; ANTUNIASSI, U. R. Deriva na pulverização em culturas anuais. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. p. 319-329, 2019.

LAMEGO, F. P.; SCHAEGLER, C. P. Fisiologia vegetal e a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. p. 233-260, 2019.

LOPES, R. B. *et al.* Susceptibility of *Dalbulus maidis* to insect-pathogenic fungi: unveiling the protective role of brochosomes and self-cleaning behavior. **Journal of Pest Science**, p. 1-10, 2024.

MARUBAYASHI, Rodrigo YP *et al.* Redução da deriva de inseticida por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, p. 282-287, 2021.

MASSOLA, M. P. *et al.* Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 11, p. 804-809, 2018.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Formulation of pesticides**. In: *Pesticide application methods*. 4 ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2014.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990.

MONIZ, A. **Cobertura das folhas de soja utilizando diferentes pontas de concentração**. f. 55. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, 2020.

MORAES, E. D. de *et al.* Potential risk of drift from inclined fan nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 229-233, 2019.

NANSEN, C. *et al.* Optimizing pesticide spray coverage using a novel web and smartphone tool SnapCard. **Agron. Sust. Dev.** v. 35, p. 1075–1085. 2015.

NASCIMENTO, R. S. M. *et al.* Coverage of corn plants using different hydraulic nozzles and application volume rates. **Journal of Plant Protection Research**, p. 198-206-198-206, 2022.

NEGRISOLI, M. M. *et al.* Performance of new flat fan nozzle design in spray deposition, penetration and control of soybean rust. **European Journal of Plant Pathology**, v. 155, p. 755-767, 2019.

NERY, E. D. DIFERENTES HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades**, Ciências e Educação, v. 9, n. 1, p. 777-794, 2023.

OLIVEIRA, G. M. D. *et al.* Potential drift and injury of herbicides sprayed in a wind tunnel. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 75-82, 2019.

PERKINS, C. M. *et al.* Junglerice control with glyphosate and clethodim as influenced by dicamba and 2, 4-D mixtures. **Weed Technology**, v. 35, n. 3, p. 419-425, 2021.

RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. p. 17-27, 2019.

RAETANO, C.G; MOTA, A. A. B. **Pontas de pulverização hidráulica**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2a ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF. p. 67-90, 2019.

RAMSEY, R. J. L; STEPHENSON, G. R; HALL, J. C. A review of the effects of humidity, humectants and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 82, p. 162-175, 2005.

SALYANI, M.; WHITNEY, J.D. Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p. 390-395, 1988.

STANILAND, L. N. Fluorescent tracer techniques for the study of spray and Dust deposit. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 100-125, 1959.

STATISTA. **Forecast agricultural consumption of pesticides worldwide from 2023 to 2027**. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1401556/global-agricultural-use-of-pesticides-forecast/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Production, Supply and Distribution Online**. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0440000>. Acesso em: 7 jan. 2025.

USDA - **United States Department of Agriculture. World Agricultural Supply and Demand Estimates. Outubro de 2024**. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde1024.pdf>. Acesso em: 26 out. 2024.

VIRK S. S.; PROSTKO, E. P. Survey of pesticide application practices and technologies in Georgia agronomic crops. **Weed Technology**. v. 36, n.5, p.:616-628, 2022.

ZAMPIROLI, R. *et al.* Use of different spray volumes and hydraulic nozzles in air-assisted electrostatic insecticide application technologies to control coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) populations. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, p. e53751, 2022.

ZANON, A. J. *et al.* Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p.

400-411, 2015.

ZILLI, M. *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 740, p. 139384, 2020.

## **Cobertura da aplicação em distintas partes na planta de milho em folhas com orientação vertical e horizontal**

**Resumo** – Apesar dos avanços na tecnologia de aplicação, ainda há escassa literatura sobre pontas de pulverização para otimizar a cobertura foliar em plantas de milho. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes modelos de pontas de pulverização na cobertura da aplicação em distintas partes na planta de milho, incluindo folhas com orientações verticais e horizontais. Os experimentos foram conduzidos em campo e laboratório. Foram analisadas 12 modelos de pontas de pulverização com diferentes formatos de ângulos de projeção: jato plano simples, jato plano com pré-orifício, jato plano com indução de ar, jato plano com defletor, jato plano duplo, jato plano com ângulo inclinado e jato cônico vazio e cheio. A taxa de aplicação foi padronizada a  $100 \text{ L ha}^{-1}$ , controlada pela pressão, vazão e velocidade de deslocamento da barra de pulverização. A calda utilizada nas aplicações foi composta pelo marcador laranja fluorescente na concentração de  $2,5 \text{ g L}^{-1}$ . O experimento em campo foi em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, seis plantas por repetição em três estágios distintos da cultura (V5/V6, V7 e VT). No experimento em laboratório, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, o qual foi utilizado duas plantas artificiais. Após a aplicação, as folhas foram destacadas, seccionadas e as imagens capturadas em ambiente escuro, iluminado por lâmpadas ultravioleta e processadas automaticamente para quantificação da cobertura das gotas de pulverização. A cobertura foi analisada nas regiões superior, mediana e inferior da planta de milho e da planta artificial, além da regiões adaxial, abaxial, basal, mediana e apical das folhas de milho. Os resultados indicaram que predomina a dificuldade de todas as pontas de pulverização em atingir a parte abaxial das folhas, região inferior e cartucho das plantas de milho, porém na parte superior e mediana das plantas e na região basal das folhas são os locais que predominam maior cobertura nas aplicações. Os experimentos com folhas verticais apresentaram maior cobertura com pontas de jato plano com inclinação, e folhas horizontais com pontas de jato cônico. A ponta de jato plano duplo inclinado (AI3070015) proporcionou maior cobertura nas folhas com ângulos verticais, enquanto jato plano simples (XR11002) a menor cobertura. Com base na média geral da cobertura, pontas de jato cônico vazio e cheio proporcionaram maior cobertura nas folhas de milho expostas horizontais, enquanto jato plano simples e com indução de ar a menor cobertura.

**Palavras-chave:** Tecnologia de aplicação. Pulverização. Classe de gotas. Jato cônico. Jato plano.

**Abstract** - The quality of the application is directly related to the choice of the spray nozzle model and the leaf angle presented by the crop. Given the scarce literature on the subject, this study aimed to evaluate different spray nozzle models in terms of application coverage on corn leaves with vertical and horizontal angles in the plant. The experiments were conducted in both field and laboratory settings. Twelve spray nozzle models with different spray projection angles were analyzed: flat fan, pre-orifice flat fan, air-induction flat fan, deflector flat fan, dual flat fan, inclined-angle flat fan, and hollow and full cone nozzles. The application rate was standardized at  $100 \text{ L ha}^{-1}$ , controlled by pressure, flow rate, and boom travel speed. The spray solution used in the applications was composed of a fluorescent orange tracer at a concentration of  $2.5 \text{ g L}^{-1}$ . The field experiment followed a randomized block design with four replications, six plants per repetition, and three distinct crop stages (V5/V6, V7, and VT). In the laboratory experiment, a completely randomized design was used, with four replications and two artificial plants. After application, the leaves were detached, sectioned, and images were captured in a dark environment under

ultraviolet light. The images were then automatically processed to quantify spray droplet coverage. Coverage was analyzed in the upper, middle, and lower regions of the corn plant and the artificial plant, as well as in the adaxial, abaxial, basal, middle, and apical regions of the corn leaves. The results indicated that all the spray nozzles had difficulty reaching the abaxial part of the leaves, the lower region and the cartridge of the corn plants, but the upper and middle parts of the plants and the basal region of the leaves were the places with the greatest coverage in the applications. The experiments with vertical leaves showed greater coverage with inclined flat nozzles, and horizontal leaves with conical spray nozzles. The double inclined flat jet nozzles (AI3070015) provided the greatest coverage on leaves with vertical angles, while the single flat fan (XR11002) provided the least coverage. Based on the overall average coverage, empty and full cone nozzles provided the most coverage on horizontally exposed corn leaves, while single flat fan and air induction provided the least coverage.

**Keywords:** Application technology. Spray. Droplet size. Cone Spray. Flat spray.

## INTRODUÇÃO

A produtividade do milho pode ser comprometida, quando são verificadas em meio a cultura, a presença de doenças, plantas daninhas e pragas, que apresentam potencial de dano (Kouame et al., 2024; Lopes et al., 2024). Consequentemente, faz-se necessário a realização de manejos para evitar possíveis perdas.

Entre as ferramentas que podem ser utilizadas nos manejos, destaca-se o controle químico, com o uso de defensivos agrícolas, por ser o mais empregado. Em princípio, para que a pulverização seja realizada com eficiência na colocação e distribuição do defensivo agrícola, proporcionando cobertura e depósito da calda sobre o alvo, sem desperdícios e com menor impacto ambiental, é necessária atenção com a cultura (Matuo, 1990; Raetano, 2019).

Em aplicações direcionadas às culturas, deve-se considerar o estágio de desenvolvimento e a arquitetura das plantas (Kalogeropoulos et al., 2024). Ademais, é extremamente importante conhecer as características das plantas, pois, as monocotiledôneas possuem folhas, mais estreitas e posicionadas na vertical, enquanto nas dicotiledôneas as folhas largas e permanecem na horizontal, embora ambas as posições possam causar o efeito “guarda-chuva” (Costa et al., 2018; Zanon et al., 2015; Massola et al., 2018).

Portanto, a diferença entre as arquiteturas das plantas e efeito guarda-chuva exige que seja utilizada, pontas de pulverização específicas, para a melhor colocação do defensivo agrícola. Logo, o sucesso da aplicação também depende da escolha da ponta de pulverização, pois, essas pontas serão responsáveis pela distribuição e o tamanho das gotas (Chechetto, 2022; Nascimento et al., 2022).

Geralmente para aplicação de herbicidas, indica-se o uso de pontas de jato plano, que proporciona o jato em forma de leque, enquanto, para aplicações de fungicidas e inseticidas, as pontas de jato cônico cheio ou vazio são mais utilizadas, por proporcionarem coberturas distintas (Antuniassi; Boller, 2019).

Diante dos fatos, uma pesquisa realizada nos EUA, verificou que 74% dos produtores utilizam dois ou três tipos de modelos de pontas de pulverização, durante um ciclo da cultura, enquanto, 10% utilizam quatro ou mais tipos, nas mesmas condições, situação que destaca a necessidade selecionar pontas adequadas para otimizar as aplicações (Virk; Prostko, 2022).

Diante o exposto, a qualidade da aplicação está diretamente relacionada à escolha do modelo de ponta de pulverização e ao ângulo foliar que a cultura apresenta. Visto que há escassa literatura sobre o assunto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes modelos de pontas de pulverização na cobertura da aplicação em folhas de milho com ângulos verticais e horizontais na planta.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido a campo, na Fazenda Experimental pertencente à Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) – *Campus* Luiz Meneghel e no laboratório, no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas (NITEC).

Foram conduzidos experimentos a campo (Experimentos 1, 2 e 3), com o objetivo de avaliar a cobertura em folhas verticais, e em laboratório (Experimentos 4 e 5), visando analisar a cobertura em folhas horizontais. Os tratamentos foram compostos por diferentes modelos de pontas de pulverização, cujas características estão descritas na Tabela 5. Em todos os tratamentos, foi utilizada taxa de aplicação de 100 L ha<sup>-1</sup>, obtida após ajuste na pressão e velocidade de deslocamento do pulverizador.

Para analisar a cobertura da aplicação, foi necessário adicionar junto a calda, o marcador laranja fluorescente (LUXCOR LRM 100<sup>®</sup>). A calda foi preparada no pré-misturador (DroneMix 130 LT), com o objetivo de obter a melhor homogeneização. Nesse processo, inicialmente foi adicionada água até atingir a metade da capacidade do tanque misturador seguindo, a agitação e completando o do volume de água até atingir a capacidade do tanque do premisturador. A calda foi submetida à agitação por 40 minutos.

**Tabela 5.** Descrição das pontas de pulverização utilizadas nos experimentos de campo e laboratório.

Pontas <sup>1/</sup>	Modelo	Pressão (kPa)	Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	Classe de gotas
XR11002	Jato plano (JP)	280	0,76	2,50	Fina
ADI11002	JP com pré-orifício	280	0,76	2,50	Média
TT11002	JP com defletor	280	0,76	2,50	Média
AIXR11002	JP com indução de ar	280	0,76	2,50	Grossa
J3D11002	JP inclinado	280	0,76	2,50	Fina
TTJ6011002	JP com duplo leque	280	0,76	2,50	Grossa
AI307002	JP com duplo leque inclinado	280	0,76	2,50	Grossa
AI3070015	JP com duplo leque inclinado	500	0,76	2,50	Média
ATR3.0	Cone vazio	430	0,91	3,00	Fina
JFC8002	Cone cheio	410	0,91	3,00	Fina
BXAP9002	Cone vazio 90°	410	0,91	3,00	Fina
MGA9002	Cone vazio 90°	410	0,91	3,00	Fina

<sup>1/</sup>A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor. Informações das pontas de pulverização retiradas dos catálogos das empresas: TeeJet® Technologies; Máquinas Agrícolas Jacto S.A. e MagnoJet®.

### Experimento I – Folhas verticais

O experimento com plantas de milho de angulação vertical foi realizado em campo, em blocos casualizados, com quatro repetições, seis plantas por repetição e doze tratamentos aplicados nos estágios fenológicos V5/V6, V7 e VT. Utilizou-se o milho híbrido MG593PWU, com semeadura em sistema de plantio direto e espaçamento de 0,5 m entre linhas, totalizando 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Nas parcelas experimentais, a pulverização foi realizada em quatro linhas de milho por tratamento, sendo as duas linhas laterais consideradas bordaduras. Utilizaram-se cinco pontas de pulverização por tratamento em cada aplicação. Após a aplicação, foram coletadas seis plantas para avaliação da cobertura. As parcelas tinham 50 m de comprimento por 2,5 m de largura.

A aplicação foi feita com pulverizador FALCON AM14, com cinco pontas de pulverização por tratamento, aplicando-se em quatro linhas de milho por parcela.

Após a aplicação, as plantas foram levadas ao laboratório para avaliação da cobertura das gotas de pulverização e expressa em percentual.

## Experimento II – Folhas horizontais

O experimento em plantas com folhas horizontais foi realizado em laboratório, com arranjo inteiramente casualizado, quatro repetições e doze tratamentos. A calda foi aplicada utilizando um simulador de pulverização *indoor* de alta velocidade, controlado por sistema IHM, com altura ajustável da barra e pressão manual. A barra de pulverização, com 2 metros de comprimento e altura de 0,5 m, foi equipada com quatro pontas de pulverização e válvulas antigotejo.

Para o experimento, foram utilizadas duas plantas artificiais, simulando os ramos superior, mediano e inferior de uma planta real, com partes das folhas de milho seccionadas fixadas nas hastes angulação horizontal em relação ao solo. As dimensões da base retangular da planta artificial eram 0,003 m x 0,007 m.

Para as amostras, as plantas de milho foram cultivadas em casa de vegetação, semeadas em vasos de 5 L, com uma planta por vaso. O solo foi adubado e, após a semeadura, as plantas foram irrigadas e receberam os tratos culturais necessários para garantir seu desenvolvimento.

## Condições meteorológicas

Durante a condução dos experimentos, foram registradas as condições meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), com auxílio da estação meteorológica portátil do modelo WH65B (Weather Station), conforme especificado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento registradas durante a pulverização dos tratamentos.

Folhas verticais			
Experimento	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )
1	21,69 (1,11)	78,73 (1,45)	1,29
2	18,03 (1,05)	65,34 (2,53)	-*
3	29,06 (4,02)	45,76 (9,23)	2,67
Folhas horizontais			
4	27,75 (1,37)	39,63 (4,37)	-*
5	24,14 (2,44)	47,14 (3,80)	-*

\* Não houve influência do vento.

### **Coleta das folhas**

No experimento com folhas verticais, após as aplicações, as plantas foram retiradas do campo e levadas ao laboratório, onde as folhas foram recortadas nas regiões inferior, mediana e superior, em seções de 0,007 x 0,003 m, formando as unidades experimentais. A cobertura foi quantificada nas faces adaxial e abaxial. Nos experimentos um e dois, a análise também foi realizada na região do cartucho. No experimento três, devido ao estágio da planta (VT), não foi possível a avaliação no cartucho.

No experimento com folhas horizontais, as folhas foram inseridas na planta artificial nas regiões inferior, mediana e superior. Elas foram recortadas aleatoriamente da planta de milho em seções de 0,007 x 0,003 m e analisadas após as aplicações. A cobertura foi quantificada exclusivamente na face adaxial.

### **Avaliação da cobertura das folhas**

Após a pulverização, as folhas de milho foram seccionadas e analisadas pelo sistema de imagens WinDias®, que utiliza machine learning e identificação RGB para medir a área coberta pelos tratamentos e calcular o percentual de cobertura pelas gotas. Para visualizar o marcador fluorescente laranja, foi utilizado um ambiente escuro com lâmpadas ultravioleta.

A resolução foi ajustada com uma câmera digital configurada no aplicativo FV-5 Lite, com exposição manual em 1/10, ISO 2000 e WB 3000, e as imagens foram capturadas por um telefone móvel.

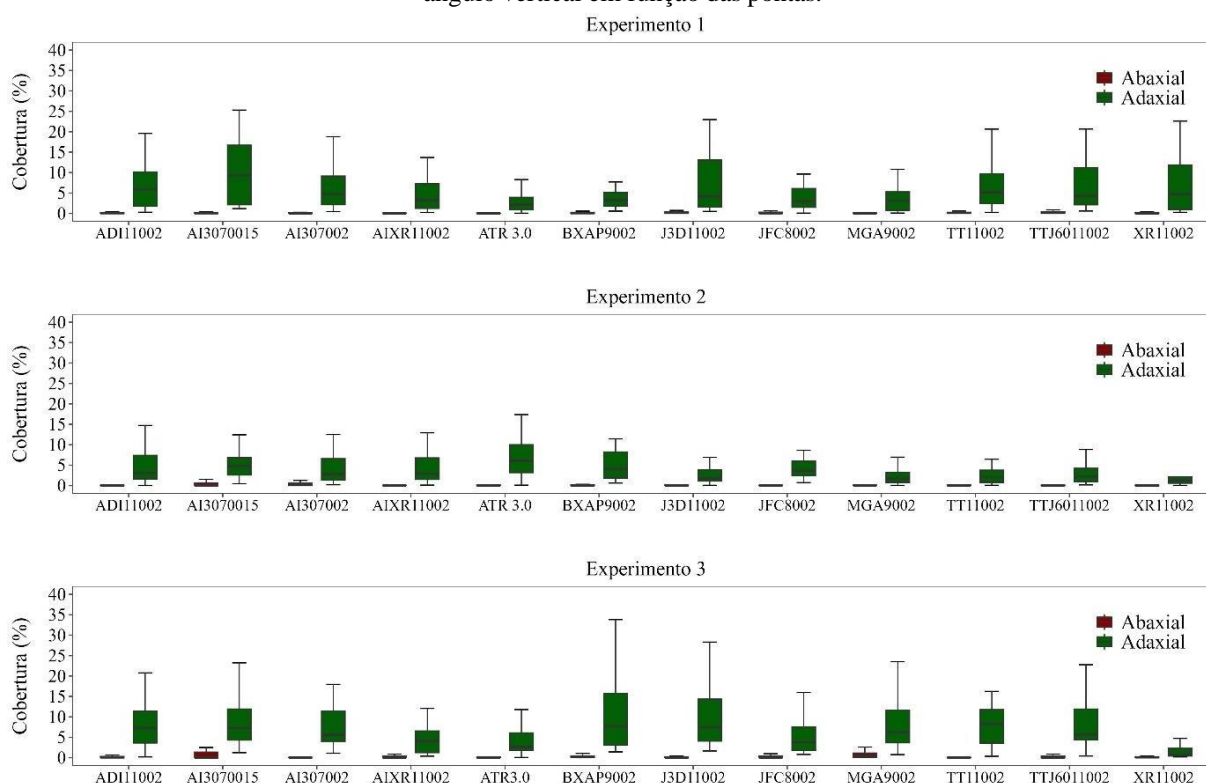
### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos as análises descritivas e exploratória, verificando a presença de outliers e interferência na normalidade pelo teste de Shapiro Wilk`s. A cobertura determinada nos diferentes locais da planta e regiões da folha em função dos diferentes modelos de pontas de pulverização foi analisada por meio de Box-Plot, considerando a mediana dos dados e os percentis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos experimentos 1, 2 e 3 com folhas de ângulos verticais, foi observado maior cobertura da calda sobre a face adaxial das folhas do milho (Figura 21). Os valores de cobertura na face adaxial, superaram em 61,7; 57,2 e 107 vezes, os valores verificados para a abaxial, nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente.

**Figura 21.** Porcentagem de cobertura de pulverização nas faces adaxial e abaxial da folha do milho com ângulo vertical em função das pontas.



A ponta AI3070015 destacou-se como maior valor de cobertura na face adaxial no primeiro experimento. No segundo e terceiro experimentos, a cobertura manteve-se estável, sem grandes variações, com uma média de aproximadamente 5%. Apesar de a ponta XR11002 obter uma cobertura de aproximadamente 5% na face adaxial do primeiro experimento, seu valor diminuiu bruscamente nos segundo e terceiro experimentos, chegando a valores próximos de zero nas duas faces da folha.

As pontas BXAP9002 e J3D11002 apresentaram uma cobertura variando de moderada a alta, com valores entre 5% e 15% nos três experimentos.

Observa-se que pontas de jato plano foram as que obtiveram maior valor de cobertura quando comparadas as pontas de jato cônico. Além disso, pontas com duplo leque, como a AI3070015, J3D11002 e TTJ6011002, proporcionaram cobertura significativa nas folhas,

quando comparadas às pontas de jato plano simples e jato cônico.

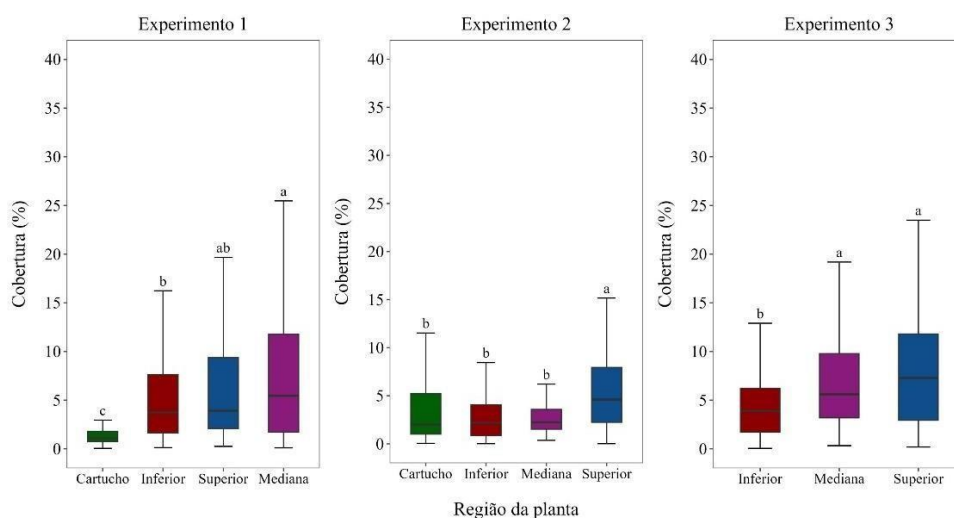
Esse resultado pode ser atribuído ao ângulo do jato, uma vez que, ao se inclinar para frente e para trás, essas pontas oferecem maior capacidade de atingir áreas mais difíceis das folhas, especialmente aquelas com angulação vertical.

Considerando a cobertura da aplicação com plantas de folhas verticais, houve variação da cobertura nos diferentes experimentos nas regiões do cartucho, superior, mediana e inferior da planta do milho (Figura 22). No primeiro experimento (estádio V5), a cobertura da aplicação foi maior na região mediana da planta, com diferença de 1,5; 1,4 e 5,1 vezes, comparado as regiões superior, inferior e do cartucho da planta, respectivamente.

No segundo (estádio V7) e terceiro (estádio VT) experimento, a maior cobertura destacou-se na região superior da planta de milho. A cobertura na região mediana, no experimento 2, foi superior à média das demais regiões da planta, cerca de 2 vezes. No terceiro experimento, as diferenças na cobertura entre a região superior da planta e as demais, foi de 1,9 e 1,3 vezes, compara a região inferior e mediana, respectivamente.

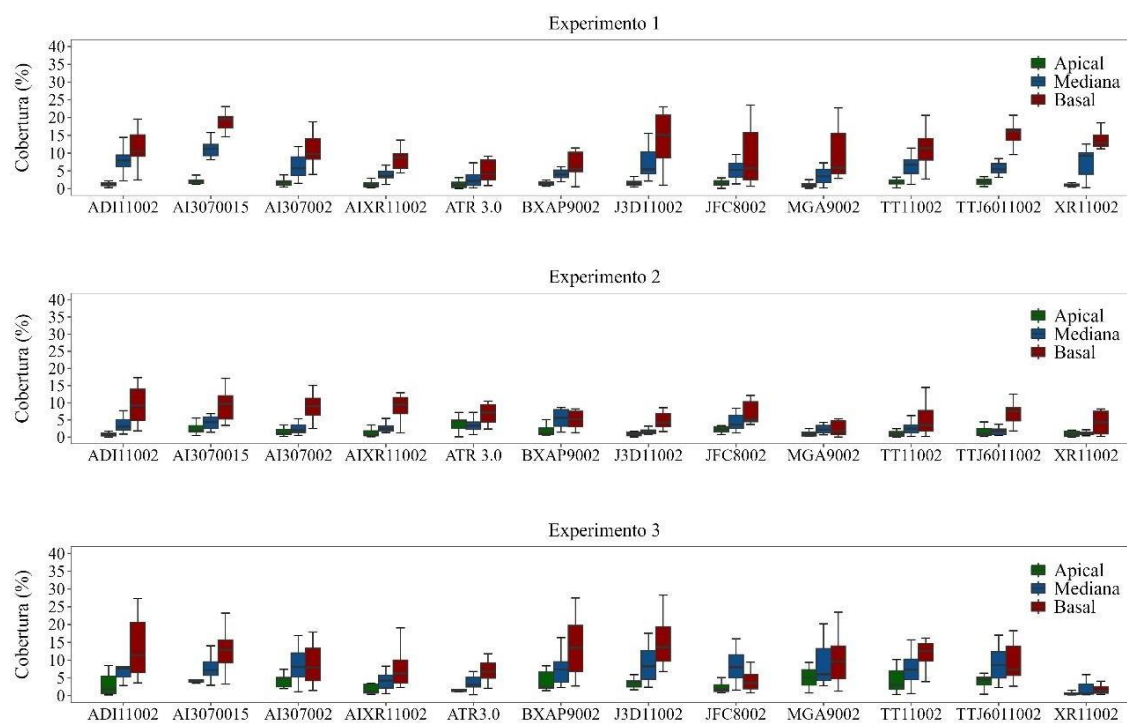
As maiores coberturas na região superior da planta de milho observada a partir do Experimento 2 (estádio V7), tem relação com o maior desenvolvimento da planta e consequente a expansão das folhas. Com isso, destaca-se o “efeito guarda-chuva”, que ocorre quando as camadas superiores da população de plantas se sobrepõem, dificultando a penetração da aplicação nas partes inferiores (Costa et al., 2018).

**Figura 22.** Porcentagem de cobertura de pulverização nas regiões do cartucho, superior, mediana e inferior da planta do milho em função das pontas.



As regiões da folha do milho apresentaram diferenças na cobertura para as parte apical, mediana e basal das folhas nos experimentos (Figura 23).

**Figura 23.** Porcentagem de cobertura de pulverização nas regiões apical, mediana e basal da folha da planta do milho em função das ponto.



Nos experimentos 1, 2 e 3 com folhas de ângulos verticais, foi observado maior cobertura da calda sobre as faces basal da folha, seguida pela mediana e apical.

No experimento 1, observou-se que a ponta AI3070015 apresentou cobertura significativa na face basal da folha vertical, com aproximadamente 20%, mantendo-se estável nos experimentos 2 e 3, com valores entre 10% e 15%. Embora a ponta XR11002 tenha apresentado maior cobertura na face basal no primeiro experimento, com média de 15%, seu desempenho diminuiu significativamente nos dois experimentos subsequentes.

A ponta BXAP9002 destacou-se no terceiro experimento com 15% de cobertura na face basal. No entanto, seu desempenho foi inferior nos experimentos 1 e 2. Por outro lado, a ponta J3D11002 apresentou uma cobertura significativa na face basal nos experimentos 1 e 3, com médias de 15% e 10%, respectivamente, enquanto no segundo experimento não apresentou cobertura significativa.

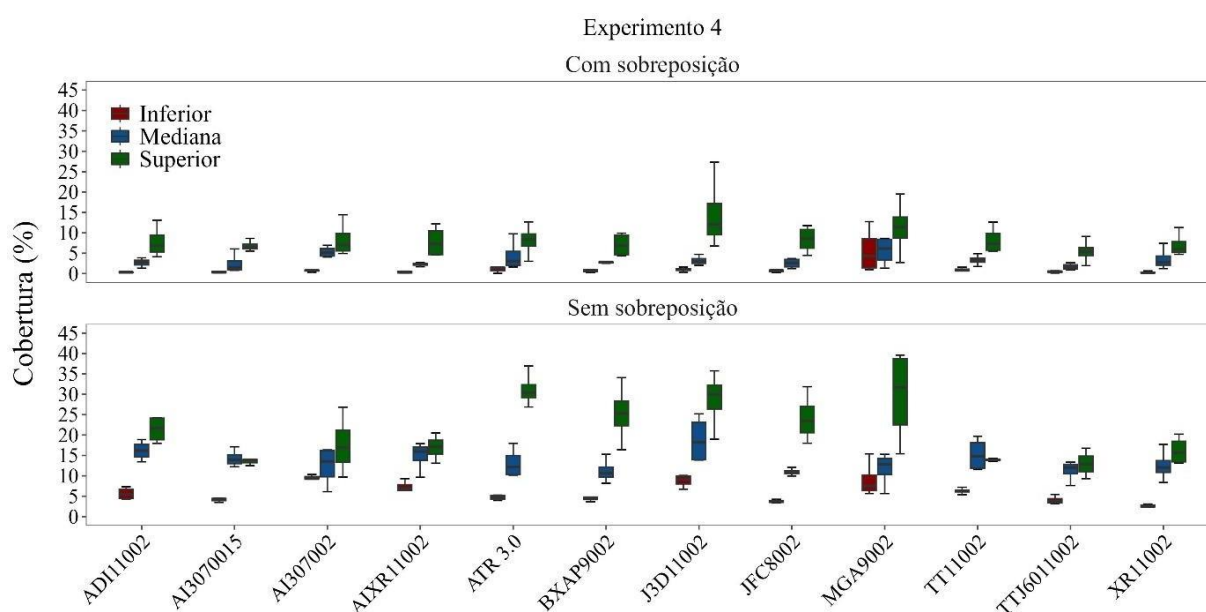
De modo geral, observa-se que, em folhas com angulação vertical, as pontas de jato plano proporcionaram maior cobertura nas faces das folhas, especialmente na face basal,

quando comparadas às pontas de jato cônico.

Além disso, as pontas com duplo leque se destacaram significativamente. Esse resultado pode ser atribuído ao ângulo do jato, uma vez que, ao se inclinar para frente e para trás, essas pontas oferecem maior capacidade de atingir áreas mais difíceis das folhas, especialmente aquelas com angulação vertical.

Nas folhas da planta de milho com ângulos horizontais, a cobertura foi maior na região superior da planta, seguida pela região mediana e inferior, respectivamente, independente se houve ou não a sobreposição das folhas (Figuras 24 e 25). Além disso, observou-se que o valor de cobertura foi significativamente maior quando não houve sobreposição em ambos os experimentos.

**Figura 24.** Porcentagem de cobertura de pulverização, nas regiões inferior, mediana e superior nas folhas com ângulos horizontais, com e sem sobreposição das folhas.



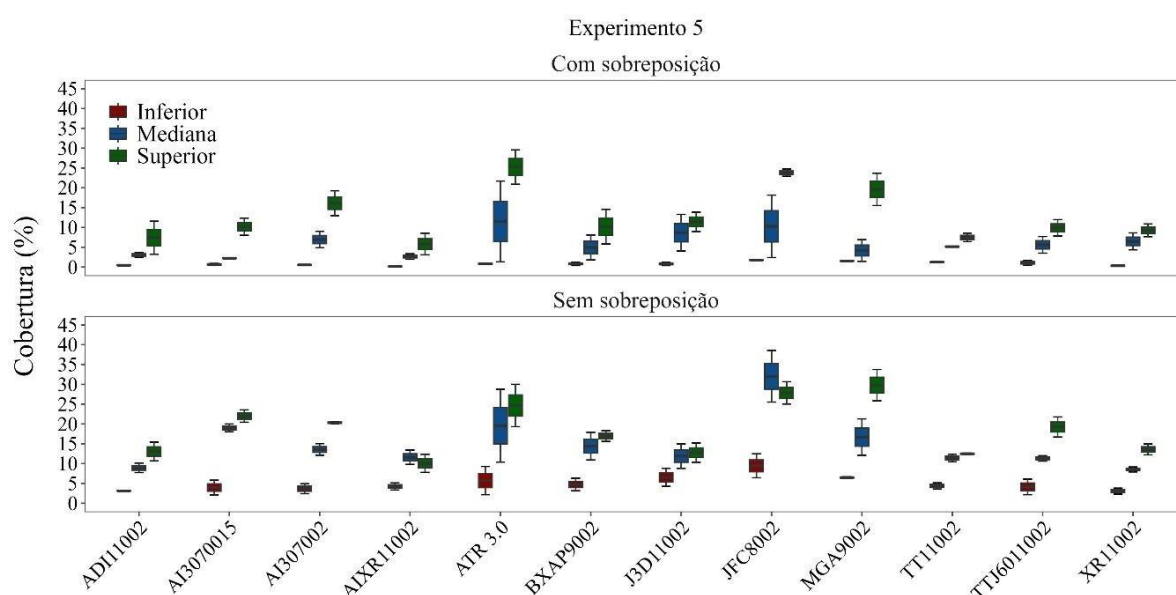
Observou-se que as pontas J3D11002 e ADI11002 apresentaram maior cobertura na folha horizontal, sem sobreposição, com aproximadamente 16%. No entanto, seus valores de cobertura diminuíram consideravelmente quando comparados aos valores obtidos com sobreposição, registrando uma média de 3% de cobertura para ambas.

A ponta MGA9002 apresentou maior valor de cobertura da folha horizontal, com uma média de 15%, sem sobreposição. Embora a ponta ATR3.0 tenha apresentado um valor significativo de cobertura, sem sobreposição, com média de 12%, seu desempenho reduziu consideravelmente ao ser comparada à cobertura com sobreposição, alcançando uma média de apenas 3%.

A ponta AI3070015 apresentou valores de cobertura semelhantes nas regiões mediana e superior da planta, com uma média de 15%, sem sobreposição. Contudo, de maneira geral, não se destacou quando comparada a outros modelos.

No quinto experimento, realizado com folhas dispostas horizontalmente (Figura 24), a sobreposição resultou em uma cobertura variando de 0,6% na região inferior até 11,7% na região superior. Entretanto, sem a sobreposição das folhas os valores de cobertura foram de 4,6% na região inferior e 17,5% na superior.

**Figura 25.** Porcentagem de cobertura de pulverização, nas regiões inferior, mediana e superior nas folhas com ângulos horizontais, com e sem sobreposição das folhas.



A ponta JFC8002 apresentou o maior valor de cobertura no experimento 5 em comparação com todos os modelos de pontas de pulverização, com média de 25% nas regiões inferior, mediana e superior da planta, sem sobreposição, e média de 10% no valor de cobertura das três regiões, com sobreposição. Além disso, a ponta AI3070015 obteve maior valor de cobertura no experimento 5 em relação ao experimento 6.

A ponta MGA9002 apresentou valores significativos de cobertura em plantas com folhas horizontais, com sobreposição, com média de 17% nas três regiões da planta. As pontas TT11002 e TTJ6011002 não mostraram diferenças significativas entre si, com aproximadamente 11% de cobertura com sobreposição e 5% sem sobreposição. Além disso, as pontas AIXR11002, XR11002 e TT11002 não obtiveram valores de cobertura expressivos.

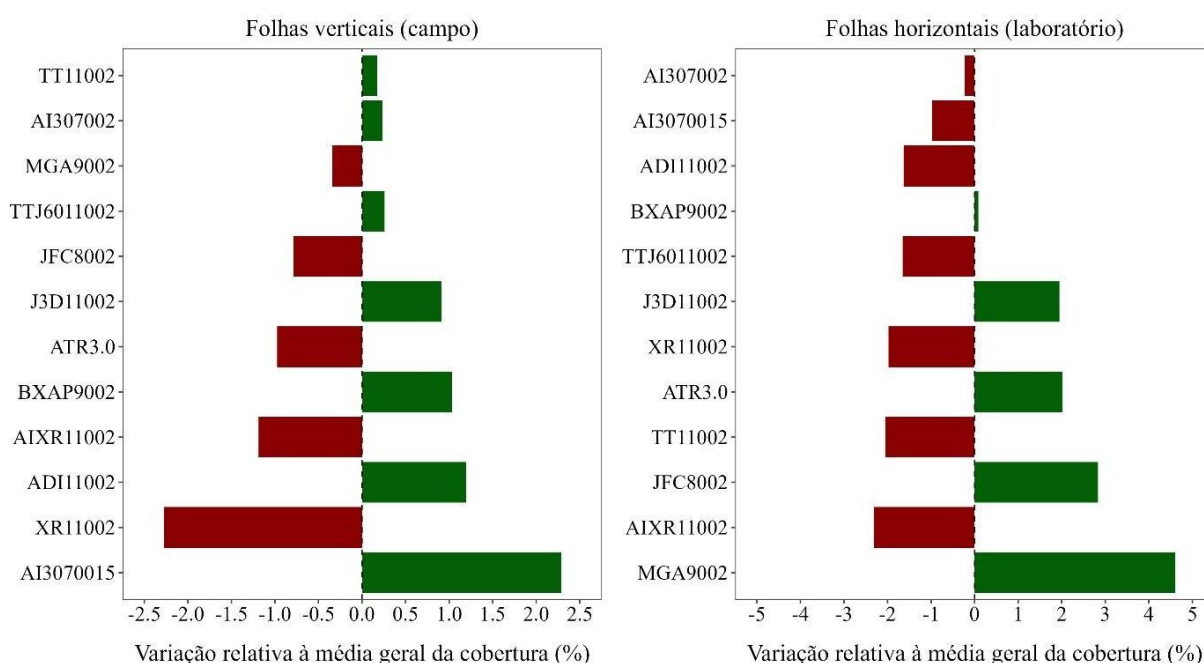
De maneira geral, observou-se que as pontas de jato cônico apresentaram maiores valores de cobertura em folhas com ângulos horizontalizados, quando comparadas às

pontas de jato plano com e sem sobreposição

Esse resultado pode ser justificado pelo ângulo do jato, que, ao se distribuir de forma circular, obtêm maior área para as gotas receptarem as folhas expostas horizontalmente.

Os resultados obtidos para as pontas, com base na média geral de cobertura nas faces da folha, permitiram a classificação em dois grupos: pontas com valores positivos, ou seja, acima da média, e pontas com valores negativos, correspondentes aos valores abaixo da média, tanto para folhas verticais quanto para folhas horizontais (Figura 26).

**Figura 26.** Média geral das diferenças entre as pontas de pulverização em folhas com orientação vertical e horizontal.



Para folhas verticais, considerando os valores positivos, a ponta com maior destaque foi a AI3070015, seguida pela ADII1002, enquanto as menos eficientes positivamente foram as XR11002 e AIXR11002, respectivamente.

Ressalta-se que a ponta AI3070015 apresenta duplo leque inclinado e foi a única ponta que trabalhou com pressão de 5 bar. As inclinações da ponta podem facilitar a direção do jato para a região mediana da planta e a formação de gotas média/finas consegue ampliar a área de cobertura sobre as plantas com folhas verticais. Por outro lado, a ponta XR11002 apresenta leque simples, o que pode resultar em menor cobertura nas folhas verticais, pois não expande sua área de cobertura de maneira significativa.

Para folhas horizontais, considerando os valores positivos, a ponta que se destacou

foi a MGA9002, seguida pela JFC8002. As menos eficientes, em termos positivos, foram as pontas AIXR11002 e TT11002, respectivamente.

Destaca-se que a ponta MGA9002 é um jato cônico com ângulo do jato de  $90^\circ$ , o que implica na direção do jato na região exposta da folha. Além disso, pode-se observar que gerou gotas finas, o que facilita alcançar a área de cobertura no momento da aplicação.

## CONCLUSÃO

Predomina a dificuldade de todas as pontas de pulverização em atingir a parte abaxial das folhas, região inferior e cartucho das plantas de milho.

Alvos com orientação horizontal tem maior potencial de cobertura em comparação com o alvo com orientação na vertical, porém dependentes do ângulo de inclinação das pontas de pulverização.

Na parte superior e mediana das plantas e na região adaxial e basal das folhas são os locais que predominam maior cobertura nas aplicações na planta de milho.

Maior cobertura com pontas de jato plano com inclinação, enquanto folhas com orientações na horizontal com pontas de jato cônico.

Menor cobertura foram com pontas com jato plano simples em folhas com orientação vertical e com pontas de jato plano com indução de ar em alvos com orientação na horizontal.

## REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2<sup>a</sup> ed. rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 319-329.

CHECHETTO, Arianne Moniz et al. 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.

COSTA, L. et al. Insecticide spraying in soybean plants: Different nozzles models and agrometeorological conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 673-679, 2018.

KALOGEROPOULOS, G. et al. Historical increases of maize leaf area index in the US Corn Belt due primarily to plant density increases. **Field Crops Research**, v. 318, p. 109615, 2024.

KOUAME, K. B. et al. *Palmer amaranth* (*Amaranthus palmeri*) control affected by weed size and herbicide spray solution with nozzle type pairings. **Weed Technology**, v. 38, p. e17, 2024.

LOPES, R. B.; FARIA, M.; OLIVEIRA, C.M. Susceptibility of *Dalbulus maidis* to insect-pathogenic fungi: unveiling the protective role of brochosomes and self-cleaning behavior. **Journal of Pest Science**, p. 1-10, 2024.

MASSOLA, M. P. et al. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 11, p. 804-809, 2018.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990.

NASCIMENTO, R. S. M. et al. Coverage of corn plants using different hydraulic nozzles and application volume rates. **Journal of Plant Protection Research**, p. 198-206-198-206, 2022.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2a ed. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 17-27.

VIRK, S. S, PROSTKO, E. P. Survey of pesticide application practices and technologies in Georgia agronomic crops. **Weed Technology**, v.36 n. 5, p.616-628. 2022.

ZANON, A. et al. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015.