

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA UNIFORMIDADE DE GOTAS EM  
PULVERIZAÇÕES POR PONTAS DE ENERGIA  
HIDRÁULICA NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO EM  
CULTURAS DE BAIXO FUSTE E NAS PERDAS POR  
DERIVA**

**Fabiano Griesang  
Doutorando em Agronomia**

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA UNIFORMIDADE DE GOTAS EM  
PULVERIZAÇÕES POR PONTAS DE ENERGIA  
HIDRÁULICA NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO EM  
CULTURAS DE BAIXO FUSTE E NAS PERDAS POR  
DERIVA**

**Discente: Fabiano Griesang**

**Orientador: Dr. Marcelo da Costa Ferreira**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de  
Jaboticabal, como parte das exigências para a  
obtenção do título de Doutor em Produção  
Vegetal**

**2019**

G848e Griesang, Fabiano  
Efeito da uniformidade de gotas em pulverizações por pontas de energia hidráulica na qualidade da aplicação em culturas de baixo fuste e nas perdas por deriva / Fabiano Griesang. Jaboticabal, 2019  
104 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

1. Agricultura; 2. Tratamento Fitossanitário; 3. Tecnologia de Aplicação

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE:** EFEITO DA UNIFORMIDADE DE GOTAS EM PULVERIZAÇÕES POR PONTAS DE ENERGIA HIDRÁULICA NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO EM CULTURAS DE BAIXO FUSTE E NAS PERDAS POR DERIVA

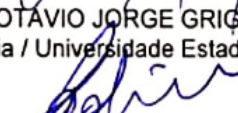
**AUTOR:** FABIANO GRIESANG

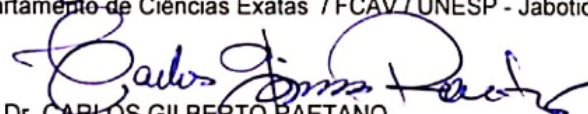
**ORIENTADOR:** MARCELO DA COSTA FERREIRA

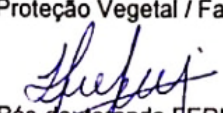
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA  
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB  
Agronomia / Universidade Estadual de Londrina

  
Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO  
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

  
Pós-doutoranda FERNANDA DIAS PEREIRA  
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de julho de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Nascido em Aratiba, pequeno município situado ao Norte do estado do Rio Grande do Sul, no dia 21 de outubro de 1988, filho de agricultores, mãe Lúcia Ely Griesang e pai Valdir Griesang, sendo o terceiro de quatro filhos do casal. Coursou parte inicial do Ensino Fundamental na Escola da Comunidade de Sede Dourado, interior do município, concluído na Escola de Educação Básica de Aratiba. Para o ensino médio, frequentou o Colégio Agrícola Estadual Ângelo Emílio Grando, no município de Erechim/RS, obtendo o título de Técnico em Agropecuária em março de 2006. Sua primeira experiência profissional foi no cargo de vendedor agropecuário na Cooperativa Regional Itaipu entre os anos de 2006 e 2009. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2008 no curso de Agronomia oferecido pela Universidade Comunitária da Região de Chapecó, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em agosto de 2013. Durante a graduação, foi Bolsista de Iniciação Científica entre os anos de 2012 e 2013 com recursos assegurados pelo Artigo 170 da Constituição Estadual de Santa Catarina, com atuação na área de pesquisa de Biologia do Solo e Manejo de Plantas de Cobertura, sob orientação do Prof. Wagner Lopes da Silva. Neste mesmo período realizou estágio na FEPAF/Epagri de Chapecó, sob orientação do pesquisador Leandro do Prado Wildner. Nesta mesma Universidade teve sua segunda experiência profissional, exercendo atividades empregatícias durante o período diurno e frequentando aulas da graduação no período vespertino/noturno. Atuou como paisagista do Câmpus Universitário (2009 - 2010), viveirista agrícola (2010 - 2011) e técnico de laboratório (2011 - 2013). Em março de 2014, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia pelo programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, Paraná, sob orientação do Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab, com bolsa concedida no segundo ano de mestrado (2015) pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Atuou na área de Mecanização Agrícola e Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários. Em março de 2016, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, com bolsa concedida pelo CNPq (março a agosto de 2015)

e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (setembro de 2015 a maio de 2019). Entre os meses de abril e outubro de 2018, realizou estágio no exterior, junto ao Instituto Federal de Pesquisa Alemão “Julius Kuehn Institut – JKI”, na cidade de Braunschweig, região centro-norte da Alemanha, no intuito de obter dados experimentais complementares à Tese. Foi contemplado por bolsa auxílio instalação da “Deutscher Akademischer Austauschdienst - DAAD”. Atua na área de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, sendo integrante do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), localizado no Departamento de Fitossanidade da Unesp Câmpus de Jaboticabal.

## APRESENTAÇÃO

A presente Tese foi desenvolvida no intuito de elucidar a importância da uniformidade de gotas na qualidade de aplicação de produtos fitossanitários na culturas de baixo fuste (experimentos realizados em soja e fava), em condição de denso enfolhamento, considerando os depósitos e cobertura proporcionados em variados estratos do dossel das culturas, além de verificar a importância da uniformidade de gotas na deriva de pulverização.

Para tanto, foram selecionados modelos de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano de diversos fabricantes que produzissem gotas de tamanho similar entre si, pertencentes à mesma classe de tamanho de gotas. A partir do espectro de gotas pulverizado por cada modelo, selecionou-se modelos de pontas de pulverização com maior e menor uniformidade de gotas para as aplicações em plantas e determinação de deriva.

Buscando suprir a demanda por volumes de aplicações reduzidos, utilizou-se também pontas de pulverização com vazão nominal 50% inferior a primeira, de forma que, conservando a mesma velocidade de aplicação e pressão de trabalho, foi possível aplicar os volumes de aplicação de 75 e 150 litros por hectare. Este estudo foi ao encontro com a realidade praticada em diversas propriedades agrícolas brasileiras, cujo objetivo é a redução do consumo de água na agricultura além de otimização do desempenho operacional dos pulverizadores.

Para complementar a caracterização dos modelos de pontas testados, de forma a utilizar modelos de pontas que apresentassem padrão de jato similar entre si nas aplicações em plantas, foi realizada a avaliação da distribuição volumétrica dos exemplares utilizando duas metodologias de determinação da distribuição volumétrica: uma que considera um conjunto de pontas atuando simultaneamente e outra que considera os resultados de distribuição volumétrica obtidos de cada exemplar isoladamente. Ambas as metodologias foram descritas e comparadas em um capítulo específico. De maneira a produzir novas informações a partir dos dados levantados, os resultados obtidos para a metodologia baseada na avaliação de um

único exemplar por vez foram empregados para simular diversos espaçamentos entre bicos visando o espaçamento ideal para cada modelo de ponta.

Tendo ciência de que a constituição da calda pode interferir em suas propriedades físico-químicas e atuar no espectro de gotas, que em conjunto podem alterar o espalhamento das gotas sobre as superfícies onde são depositadas e, enfim, influenciar no controle da doença no campo, utilizou-se fungicida diluído apenas em água, e em duas combinações com adjuvantes, sendo uma calda constituída com o adjuvante recomendado pela fabricante do fungicida e outra calda com adjuvante que apresenta conhecida atuação no espectro de gotas.

Os espectros de gotas produzidos foram analisados em medidor de tamanho de partículas, para a combinação entre nove modelos de pontas, duas vazões e três caldas fitossanitárias. A partir dos resultados, selecionou-se os modelos de pontas com maior e menor uniformidade de gotas para os testes de campo na cultura da soja. Assim, para o experimento de campo, foram avaliados os efeitos de dois extremos de uniformidade de gotas, dois volumes de aplicação e três caldas fitossanitárias na qualidade da aplicação (cobertura e depósitos) em cultura da soja em estádio R4.

No intuito de complementar os resultados obtidos em testes de campo, novos experimentos foram conduzidos em ambiente controlado, com plantas de soja e fava dispostas em vasos. Para o experimento com plantas em condições de ambiente controlado, devido à limitação quanto a utilização de produtos fitossanitários na sala de aplicação, utilizou-se calda constituída de apenas água e marcador corante fluorescente. Nesta etapa foi testada novamente a uniformidade de gotas para ambas as vazões, além de modelo de ponta de jato plano defletor, que produz gotas de tamanho maior, e modelo de ponta de pulverização de jato plano inclinado (45°). Neste experimento foram realizadas aplicações em cultivos de soja e fava em estádio R3.

Para a caracterização dos modelos de pontas de pulverização quanto a predisposição das gotas à deriva, os modelos foram submetidos a teste em túnel de vento de circuito fechado, operando em pressão de trabalho de 3 bar, com a pulverização de calda constituída de água e traçador fluorescente em vento com velocidade de 7,2 km h<sup>-1</sup>. Nesta estrutura, fios de nylon foram utilizados como coletores de deriva.

A Tese está organizada de modo a apresentar inicialmente uma breve revisão bibliográfica, contemplando os assuntos abordados nas avaliações, seguido pela descrição metodológica dos procedimentos experimentais realizados, com o detalhamento de informações suficiente para o entendimento dos resultados e para que os estudos possam ser replicados em pesquisas futuras. Na sequência são apresentados os resultados, na mesma ordem de assuntos abordados na metodologia, complementados por discussão frente a importantes pesquisas relacionadas com o tema. Também é apresentada a conclusão da pesquisa, com a síntese dos principais resultados obtidos e, nas considerações finais, faz-se um apanhado geral da importância desta pesquisa e dá direcionamentos para algumas lacunas de conhecimento que não foram contempladas e poderiam ser abordadas em trabalhos futuros.

A hipótese levantada foi a de que, por se tratar de pontas de pulverização de mesma tecnologia, não sejam encontradas diferenças significativas entre os modelos para tamanho de gotas, vazão, distribuição volumétrica e potencial de risco a ocorrência de deriva, embora a diferença de preço de comercialização dos modelos seja bastante grande. Assim sendo, a presente pesquisa teve como objetivos investigar diferenças na qualidade de pontas de pulverização. Considerando a uniformidade de gotas, investigar se a diferença entre modelos é suficiente para resultar em melhorias significativas sobre as aplicações em cultivos e ocorrência de deriva. Verificou-se também como estes modelos se saíram a partir de outros parâmetros do tamanho de gotas, distribuição volumétrica e vazão das pontas.

## EPÍGRAFE

*“Semeia um pensamento, colhe um ato. Semeia um ato, colhe um hábito.  
Semeia um hábito, colhe um caráter. Semeia um caráter, colhe um destino.”*

Charles Reade

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta Tese à minha família e amigos mais próximos. Sem o apoio destas pessoas, seria impossível dar passos tão importantes em minha contínua evolução profissional e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

À família, pai Valdir e mãe Lúcia, que muito se doaram no intuito de nos proporcionar as condições necessárias para evoluirmos. Minha noiva, Daniela, companheira que a muitos anos vem trilhando uma linda caminhada ao meu lado, passando diariamente palavras amigas e motivadoras. À irmã Adriana, cunhado Rosemar e querida afilhada Valentina, aos irmãos Fernando e Ricardo e suas companheiras Fabiane e Evelin, respectivamente, que também, à distância, torcem por o meu sucesso.

Ao grupo de pesquisa NEDTA, o qual tenho orgulho de fazer parte, representado pelos membros que já passaram por aqui e aos que fazem parte do grupo atual, em especial ao Ricardo Augusto Decaro, Dieimisson Paulo Almeida, Cícero Antonio Mariano dos Santos, Nathalia Garlich, Renata Thaysa da Silva Santos, Jaqueline Franciosi Della Vechia, Jeruska Azevedo Moreira Brenha, Paulo Eduardo Rezende Simino, Aleksandro da Silva Soares, Maria Fernanda Tavares Ramos, Ana Beatriz Dilena Spadoni, Eduardo de Souza dos Santos, Leonardo de Freitas Zechin, Bruno Oliveira Liberato, Nelson Henrique de Lima Roque e Ana Cláudia Zina. A participação de vocês foi essencial para que eu alcançasse êxito neste projeto. Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), onde aproveito para parabenizar e agradecer à Coordenação, liderada pelo Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelo brilhante trabalho que vêm realizando, devendo ser estendido também aos demais professores do programa.

Aos amigos de morada da República "Os Gaudérios": Tiago Darios, Pablo Castagnino, Marcelo Gindri, Paulo Simino, Edenilson Ribeiro, Matheus Borba, Tiago Tavares, Sandro Bomfim e Antônio Alves, pelo convívio diário, ocupando o convívio ora preenchido pela família e que tudo acompanha à distância. Obrigado por tornarem a jornada acadêmica mais leve.

Ao orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, por conceder a oportunidade única de fazer parte deste time que tanto contribui para a Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários no Brasil, iniciada pelo Prof. Dr. Marcos Vilela de Magalhães Monteiro, seguido com maestria pelo Prof. Dr. Tomomassa Matuo.

Prof. Dr. Marcelo tem conduzido com brilhantismo o desafio de seguir fazendo a diferença no desenvolvimento desta importante área. Meu agradecimento por todos os conselhos e oportunidades ao longo destes três anos de NEDTA (Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação), que foram cruciais para a minha evolução pessoal e profissional.

Ao orientador de estágio na Alemanha, Doutor Andreas Herbst, por ter acolhido a nossa proposta de pesquisa. Pela oportunidade concedida obter importantes informações para a presente pesquisa, ampliando a robustez dos dados. Agradeço também a todos os integrantes do Instituto de Tecnologia Aplicada à Proteção dos Cultivos (Alemão: Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz) do Centro Federal de Pesquisa para Plantas Cultivadas (Alemão: Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Inglês: Federal Research Centre for Cultivated Plants), pela receptividade e auxílio com minha adaptação ao local, em especial ao técnico Sven Nolte e aos pesquisadores Prof. Dr. Jens Karl Wegener, Johannes Bröring, Patrick Goff, Hannes Hegewald, Eckhard Immenroth, Hans-Jürgen Osteroth, Lisa-Marie Urso, Dr. Verena Overbeck, Jan-Philip Pohl e Hans-Joachim Wehmann.

Às empresas Jacto (Máquinas Agrícolas Jacto S.A), KGF (Solcera do Brasil Materiais Avançados Ltda), Magnojet (Magno Jet Indústria Ltda), Pentair Hypro e Teejet Spraying Systems Co. por fornecerem os exemplares de pontas de pulverização utilizados na presente pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecimento também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e “*Deutscher Akademischer Austauschdienst*” (DAAD) pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos os que não foram aqui citados, mas que participaram direta ou indiretamente nesta etapa de minha jornada, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA TABELAS .....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Pontas de pulverização.....</i>	4
2.2 <i>Distribuição volumétrica.....</i>	5
2.3 <i>Tamanho de gotas.....</i>	7
2.4 <i>Deriva de pulverização .....</i>	9
2.5 <i>Aplicações em cultivos com elevada densidade foliar .....</i>	10
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
3.1 <i>GERAL: 11</i>	
3.2 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....</i>	11
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
4.1 <i>Tamanho de gotas.....</i>	14
4.2 <i>Deriva de pulverização .....</i>	17
4.3 <i>Distribuição volumétrica.....</i>	19
4.3.1 <i>Distribuição volumétrica para diferentes pressões de trabalho .....</i>	20
4.3.2 <i>Mesa de distribuição para avaliação isolada de cada exemplar .....</i>	21
4.3.3 <i>Espaçamento de bicos e qualidade da distribuição .....</i>	22
4.3.4 <i>Ângulo de abertura e simetria dos jatos .....</i>	23
4.3.5 <i>Vazão .....</i>	23
4.4 <i>Aplicações em cultivos.....</i>	23

4.4.1	Experimentação de campo .....	24
4.4.2	Experimentação em ambiente controlado .....	27
4.5	<i>Análises estatísticas</i> .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
5.1	<i>Tamanho de gotas</i> .....	32
5.2	<i>Deriva de pulverização</i> .....	35
5.3	<i>Distribuição volumétrica</i> .....	38
5.3.1	Pressão de trabalho e distribuição volumétrica .....	38
5.3.2	Distribuição volumétrica para exemplares de mesmo modelo .....	40
5.3.3	Comparativo entre métodos de determinação da distribuição volumétrica .....	44
5.3.4	Distribuição volumétrica para diferentes espaçamentos entre bicos .....	45
5.3.5	Vazão .....	47
5.4	<i>Influência da uniformidade de gotas e o volume de calda na qualidade da distribuição de fungicidas em soja</i> .....	50
5.4.1	Seleção de pontas de pulverização quanto a uniformidade de gotas .....	50
5.4.2	Caracterização de gotas em tamanho, uniformidade e suscetibilidade à deriva .....	53
5.4.3	Cobertura e depósitos de pulverização .....	56
5.5	<i>Influência da uniformidade de gotas, volume de calda e direção do jato na cobertura e depósitos em cultivos conduzidos em vasos</i> .....	60
5.5.1	Tamanho de gotas e seleção de modelos para Span .....	60
5.5.2	Cobertura e depósitos de pulverização .....	63
5.5.3	Avaliações na cultura da fava .....	63
5.5.4	Avaliações na cultura da soja .....	66
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>FINANCIAMENTO</b> .....	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>

## **Efeito da uniformidade de gotas em pulverizações por pontas de energia hidráulica na qualidade da aplicação em culturas de baixo fuste e nas perdas por deriva**

**RESUMO:** Modelos de pontas de pulverização de energia hidráulica construídas na mesma tecnologia apresentam diversas similaridades entre si, porém, o espectro de gotas produzido por cada modelo pode apresentar variações importantes no que se refere a qualidade e segurança das aplicações. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar a importância da uniformidade de gotas de pulverização na qualidade de aplicações em culturas de baixo fuste (soja e fava). Como objetivos específicos, buscou-se avaliar a qualidade de pontas de pulverização de energia hidráulica no que se refere às gotas produzidas, potencial de perdas ocasionadas na forma de deriva, vazão, distribuição volumétrica, ângulo de abertura e simetria dos jatos. Foram utilizados nove modelos de pontas de pulverização de jato plano convencionais e jato plano defletor nas vazões nominais de 0,57 e 1,14 L m<sup>-1</sup> e jato plano inclinado com vazão nominal de 0,95 L m<sup>-1</sup>. Como líquidos de pulverização, foram utilizadas caldas fungicidas acrescidas ou não de adjuvantes para caracterização de gotas e aplicações em campo experimental na cultura da soja. Em ambiente controlado utilizou-se solução constituída de água acrescida de marcador fluorescente para aplicações sobre plantas de soja e fava. Os resultados obtidos para caldas fungicidas confirmam diferenças quanto à uniformidade e tamanho das gotas para modelos de pontas e vazões, intrínsecas para cada calda fungicida pulverizada. A partir dos resultados apresentados neste trabalho, é possível afirmar que o Span influencia no risco de deriva e, em algumas condições na cobertura e depósitos no dossel da cultura. Por isso, é um parâmetro de qualidade que justifica ser considerado e apresentado em catálogos de pontas, para uma melhor seleção do modelo e configuração do pulverizador, visando uma operação técnica que busca uma aplicação de campo segura e eficiente. A qualidade dos jatos também apresenta variações significativas entre os modelos e vazões dentro dos modelos, sendo essas informações importantes para a seleção do modelo de ponta adequado, além de poderem ser utilizados para a correta configuração do pulverizador.

**Palavras-chave:** tecnologia de aplicação, cobertura, depósitos, deriva, Span.

## EFFECT OF DROPLETS UNIFORMITY ON SPRAYING BY HYDRAULIC NOZZLES IN THE QUALITY OF APPLICATION IN LOW STEM CROPS AND LOSSES BY DRIFT

**ABSTRACT:** The quality of the droplets produced by the hydraulic spray nozzles is crucial for various aspects of the application. The main objective of this research was to analyze the importance of spray droplets uniformity in the quality of applications in low stem crops (soybeans and fava beans). The specific objectives were to evaluate the quality of the hydraulic spray nozzles in relation to the droplets produced, potential losses by drift, flow rate, volumetric distribution, opening angle and symmetry of the jets. Nine models of conventional flat nozzles and flat deflector were used at nominal flow rates of 0.57 and 1.14 L m<sup>-1</sup> and inclined flat jet at the nominal flow rate of 0.950 L m<sup>-1</sup>. As liquid spray, mixtures of fungicides with or without additives for experimental field applications in soybean; and a solution composed of water and a fluorescent marker for controlled environment applications in soybean and fava cultures. For spray jet evaluations, only water was used. The results obtained confirm differences in the uniformity and size of the droplets for nozzle models and flow rate, intrinsic to each fungicide spray. From the results presented in this work, it is possible to affirm that the Span influences the risk of drift and in the coverage and deposits in the canopy of the crop. Therefore, it is a quality parameter that justifies being considered and presented in nozzle catalogs for better nozzle selection and spray configuration, for a technical operation that seeks a safe and efficient field application. The quality of the jets also presents significant variations between the models and flows tested, and this information are important parameters for the selection of the appropriate nozzle model, besides being able to be used for the correct configuration of the sprayer.

**Key-words:** technology of application, coverage, deposits, drift, Span.

## LISTA FIGURAS

- Figura 1.** Modelos de pontas de pulverização utilizados nos experimentos. **Fonte:** o autor. 14
- Figura 2.** Equipamentos para determinação de tamanho de partículas: **A.** MasterSizer-S (Unesp Jaboticabal) **Fonte:** o autor; e **B.** VisiSizer (JKI - Alemanha) **Fonte:** Adaptado de Sehsah e Ganzelmeier (2010) ..... 16
- Figura 3.** Túnel de vento de circuito fechado situado no Instituto Federal de Pesquisa da Alemanha JKI (Julius Kuehn Institut). **A.** Vista frontal do equipamento; **B.** Vista interna, com posicionamento dos fios coletores de deriva. **Fonte:** o autor. .... 18
- Figura 4.** Túnel de vento de circuito aberto. **Fonte:** Adaptado de Herbst (2001). .... 19
- Figura 5.** Mesas de distribuição volumétrica, sendo **A** com avaliação simultânea de todos os exemplares de cada modelo de ponta de pulverização e **B** com avaliação de cada exemplar de forma isolada. **Fonte:** o autor. .... 19
- Figura 6.** Mesa de distribuição volumétrica com avaliação simultânea de todos os exemplares de cada modelo de ponta de pulverização. **A.** Visada frontal e **B.** Visada diagonal. **Fonte:** o autor. .... 21
- Figura 7.** Esquema demonstrando distribuição volumétrica produzida por um conjunto de seis pontas de pulverização com simulação de sobreposição dos jatos e volume acumulado, sobre o qual calculou-se o Coeficiente de Variação (%). **Fonte:** o autor. .... 21
- Figura 8A.** Mesa para avaliação de distribuição volumétrica para um exemplar e **B.** Esquema demonstrando distribuição volumétrica produzida por uma ponta de pulverização (em azul), simulação de sobreposição dos jatos (em cinza) e volume acumulado (em preto). **Fonte:** o autor. .... 22
- Figura 9A.** Mesa de distribuição em configuração para a determinação da vazão das pontas. **B.** Adaptador para concentração do jato de pulverização em uma única aleta coletora. **Fonte:** o autor. .... 23

- Figura 10A.** Área experimental de soja conduzida junto a Unesp de Jaboticabal; **B.** Detalhe do pulverizador montado em quadriciclo utilizado na aplicação. **Fonte:** o autor. ....25
- Figura 11A.** Espectrofotômetro de absorção atômica utilizado para determinar a concentração de marcador metálico da calda; **B.** Determinador de área foliar. **Fonte:** o autor. ....26
- Figura 12A.** Condução das plantas em vasos, com capacidade volumétrica inicial de 100 mL e posteriormente transplantados para vasos de 12 L (**B e C**). **Fonte:** o autor. ....27
- Figura 13.** Disposição dos vasos para as aplicações dos tratamentos nas culturas de soja (A) e fava (B). **Fonte:** o autor. ....28
- Figura 14A.** Disposição de coletores para a determinação de depósitos e cobertura na cultura da fava e soja em experimentos laboratoriais, com detalhe para as alturas de posicionamento dos coletores (B) para cobertura (papel hidrossensível) e depósitos (cartão de poliéster) **Fonte:** o autor. ....29
- Figura 15A.** Suporte para papel hidrossensível (cobertura) e lamínula de poliéster (depósitos); **B.** Lamínula disposta em frasco plástico para extração do corante. **Fonte:** o autor. ....30
- Figura 16.** Uniformidade de gotas (Span) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (DMS), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.....32
- Figura 17.** Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey. ....33
- Figura 18.** Percentual volumétrico em gotas de diâmetro inferior a 100 micrometros ( $V% < 100$ ) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na

<i>pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey. ....</i>	<i>34</i>
<b>Figura 19.</b> <i>Correlação entre as duas metodologias de determinação de tamanho de gotas, MasterSizer e VisiSizer para parâmetros Span (A), DMV (B) e %&lt;100 (C). ..</i>	<i>35</i>
<b>Figura 20.</b> <i>Caracterização de tamanho de gotas (dv-10, 50 e 90) e deriva de pulverização em túnel de vento para pontas de pulverização de jato plano nas vazões 015 (0,57 L min<sup>-1</sup>) e 03 (1,14 L min<sup>-1</sup>), na pressão de 300 kPa. Vazão 015 (A e C); Vazão 03 (B e D).....</i>	<i>36</i>
<b>Figura 21.</b> <i>Percentual de deriva de pulverização obtidos a partir de avaliações em túnel de vento de circuito fechado, sendo 110015 para os exemplares de pontas de pulverização com a vazão de 0,570 L min<sup>-1</sup> e 11003 para a vazão 1,140 L min<sup>-1</sup>. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora das delimitações de cada média diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey. ....</i>	<i>36</i>
<b>Figura 22.</b> <i>Percentual de deriva para modelos de pontas de pulverização nas vazões de 015 e 03, cada qual com DMV semelhante.....</i>	<i>38</i>
<b>Figura 23.</b> <i>Simetria dos jatos de pulverização, com correlação dos acumulados volumétricos entre o lado esquerdo e o lado direito do jato. ....</i>	<i>43</i>
<b>Figura 24.</b> <i>Correlação entre Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>), que considera a simetria dos jatos de pulverização, e o Coeficiente de Variação da distribuição volumétrica (CV%) .....</i>	<i>44</i>
<b>Figura 25.</b> <i>Comparação de duas metodologias para determinação de distribuição volumétrica, baseadas em coleta simultânea de 6 pontas de pulverização e a partir do somatório de acumulados de uma única ponta, para 9 modelos de pontas de pulverização nas vazões verde a azul (Visiflo®), na pressão de 300 kPa. ....</i>	<i>45</i>
<b>Figura 26.</b> <i>Coeficiente de Variação da distribuição volumétrica para modelos, vazões e distâncias entre bicos de pulverização para três exemplares de cada modelo de ponta de pulverização. ....</i>	<i>46</i>

- Figura 27.** Coeficiente de variação da vazão calculado entre 07 exemplares de cada modelo de ponta de pulverização.....48
- Figura 28.** Médias de vazão obtidas de 7 exemplares para cada modelo de ponta de pulverização, para as vazões 015 e 03. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora das delimitações de cada média diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.....49
- Figura 29.** Caracterização das gotas por Span (Coeficiente de Uniformidade) para cada modelo de ponta de pulverização e calda fitossanitária utilizada. ....50
- Figura 30.** Caracterização do espectro de gotas para o volume de aplicação, composição da calda de pulverização e uniformidade de gotas. ....53
- Figura 31.** Projeção de variáveis em um plano a partir de uma análise multivariada de componentes principais.....57
- Figura 32.** Percentual de **cobertura** sobre papéis hidrossensíveis na cultura da **fava (Vicia faba)**, proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos na cultura da fava. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 5,3; b= 6,4; c= 2,8; d= 0,6); **CV(%)** (a= 21,8; b= 51,3; c= 152; d= 158).....63
- Figura 33.** **Depósitos** na cultura da **fava (Vicia faba)**, proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos na cultura da fava. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 36; b= 40; c= 15; d= 6); **CV(%)** (a= 19; b= 53; c= 101; d= 104).....65
- Figura 34.** Percentual de **cobertura** sobre papéis hidrossensíveis na cultura da **soja (Glycine max)**, proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D)

*Média geral dos três experimentos. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância.*

**dms** (a= 3,9; b= 5,3; c= 4,9; d= 1,5); **CV(%)** (a= 14,2; b= 28,9; c= 126; d= 162).....66

**Figura 35.** Depósitos na cultura da **soja (Glycine max)**, proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 22,9; b= 24; c= 17; d= 5,5); **CV(%)** (a= 13; b= 18; c= 90; d= 71). .....67

**Figura 36.** Representação da distribuição da pulverização, em escala percentual, apresentado na forma de cobertura e depósitos, para os quatro estratos de coleta e duas culturas. (A) Cobertura em Fava; (B) Cobertura em Soja; (C) Depósitos em Fava; (D) Depósitos em Soja. ....68

## LISTA TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição dos modelos de pontas de pulverização utilizadas nos experimentos.....	13
<b>Tabela 2.</b> Descrição dos tratamentos para avaliações em campo experimental .....	26
<b>Tabela 3.</b> Descrição e detalhamento dos tratamentos utilizados em ambiente controlado.....	28
<b>Tabela 4.</b> Distribuição volumétrica para 9 modelos de pontas de pulverização para quatro pressões de trabalho, utilizando 6 exemplares de cada ponta simultaneamente, nas vazões nominais 0,57 (Verde) e 1,14 L min <sup>-1</sup> (Azul).....	40
<b>Tabela 5.</b> Distribuição volumétrica para 9 modelos de pontas de pulverização, utilizando 1 exemplar de cada ponta e o padrão volumétrico acumulado, considerando-se a sobreposição de seis jatos produzidos por cada exemplar, em espaçamento de 50 centímetros entre si. ....	41
<b>Tabela 6.</b> Médias para a distribuição volumétrica e ângulo de abertura do jato para nove modelos de pontas de pulverização, em duas vazões (0,57 e 1,14 L min <sup>-1</sup> ). ...	42
<b>Tabela 7.</b> Interação entre taxa de vazão do bico e uniformidade de pulverização (Span) .....	55
<b>Tabela 8.</b> Interação entre a pulverização de líquidos e a uniformidade de gotas .....	55
<b>Tabela 9.</b> Cobertura da calda em papéis hidrossensíveis e depósitos em folhas de soja, considerando o volume de aplicação, composição da calda e uniformidade das gotas, observadas nos três estratos da cultura. ....	58
<b>Tabela 10.</b> Detalhamento da caracterização de pontas de pulverização de jato plano, para duas vazões, no intuito de segregar dois modelos para a vazão 015 (gotas mais e menos uniformes) e dois para a vazão 03 (gotas mais e menos uniformes). ....	61
<b>Tabela 11.</b> Caracterização dos seis modelos de pontas de pulverização selecionados para compor o experimento de aplicação em plantas em vasos.....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Para distribuir produtos fitossanitários no campo é comum o uso de pontas hidráulicas. Todavia, em um único espectro pulverizado a uniformidade das gotas pode ser insatisfatória, sendo possível ter uma grande variedade de tamanhos maiores ou menores que o desejado (Ferreira et al., 2013; Sasaki et al., 2015). Gotas muito grandes podem ricochetear ou escorrer da superfície do alvo. Por outro lado, gotas muito pequenas são muito suscetíveis à evaporação e à deriva (Costa et al., 2013; Ferreira et al., 2013). Ambos os casos comprometem o efeito biológico devido à falta de qualidade do depósito e cobertura (Berger-Neto et al., 2017) e aumentam os riscos ao meio ambiente (Craig et al., 2014; Gil e Sinfort, 2005).

Neste sentido, o modelo da ponta, a vazão e a composição da calda podem colaborar para a uniformidade das gotas e distribuição no alvo (Craig et al., 2014). O aprimoramento da uniformidade e distribuição de gotas na cultura tratada pode colaborar para reduzir os volumes de pulverização e o risco de ocorrências de deriva, justificando o uso para otimizar o desempenho operacional dos pulverizadores e para uma aplicação segura.

Efeitos da vazão na uniformidade das gotas já foram verificados (Nuyttens et al., 2013; Womac et al., 1997). Variações na composição da calda também interferem na uniformidade das gotas (Carvalho et al., 2017; Costa et al., 2015; Ferreira et al., 2011). No entanto, devido à complexidade das combinações entre produtos, agravadas pelas interações com as características internas de rugosidade e conformação dos orifícios da ponta de pulverização, os resultados no espectro de gotas não são os mesmos.

Mesmo a uniformidade de gotas tendo sido objeto de estudo em várias pesquisas (Carvalho et al., 2017; Ferguson, Chechetto, Hewitt, et al., 2016; Griesang et al., 2017), a relação dessas informações com a qualidade e segurança das aplicações não foi suficientemente relatada e discutida, especialmente em experimentos com plantas. Como esse fator está relacionado à qualidade do espectro

de gotas produzido, essas informações podem ser incluídas nos catálogos de pontas de pulverização fornecidos pelos fabricantes.

Testou-se a hipótese de que modelos de pontas de pulverização de mesma tecnologia tenham diferenças entre si para uniformidade e tamanho de gotas, vazão, distribuição volumétrica e potencial de risco de ocorrência de deriva. Para tal, a presente pesquisa teve como objetivos avaliar o efeito de modelos de pontas, vazões e caldas fitossanitárias na uniformidade de gotas; investigar o efeito da uniformidade de tamanho de gotas sobre aspectos da distribuição da calda em cultivos de baixo fuste e risco potencial de deriva associado. Considerando a uniformidade de gotas, investigar se a diferença entre modelos é suficiente para resultar em melhorias significativas sobre as aplicações em cultivos e ocorrência de deriva. Verificou-se também como estes modelos se saíram a partir de outros parâmetros do tamanho de gotas, distribuição volumétrica e vazão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agricultura, desde seus primórdios, enfrenta desafios na produção de alimentos frente a ameaças causadas por pragas, doenças e plantas daninhas sobre o estabelecimento de culturas, crescimento e produção, bem como para o armazenamento dos alimentos produzidos. Com o advento dos produtos fitossanitários sintéticos, como o DDT em 1945 e o herbicida glifosato entre 1970 e 1980, a produção agrícola experimentou crescimentos expressivos, já que produtos inovadores possibilitaram o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas de maneira eficiente e a baixos custos, permitindo a manutenção do potencial produtivo das plantas cultivadas (Rhoades, 1963; Unsworth, 2010). Devido a estes promissores resultados alcançados, os produtos fitossanitários sintéticos se tornaram a principal ferramenta para o controle de agentes de danos em culturas.

Para a distribuição destes produtos fitossanitários em extensas áreas cultivadas, cuja dosagem por hectare geralmente é bastante reduzida, chegando em alguns casos a alguns poucos gramas, é conveniente a diluição destes em algum material inerte, de modo a facilitar sua distribuição uniforme na área alvo. Devido a facilidade de acesso e baixo custo, a água vem sendo o principal veículo de aplicação. Para promover a distribuição da calda na área, utiliza-se do seu fracionamento em gotas, utilizando predominantemente a energia hidráulica, na qual a calda pressurizada e forçada a passar pelo orifício de estruturas denominadas pontas de pulverização. O jato de calda é projetado para fora do pulverizador em alta velocidade e, ao chocar-se com o ar, é fracionado em gotas. Devido aos diversos processos envolvidos, a formação de gotas por energia hidráulica é bastante caótica, resultando em gotas de tamanhos variados (Lin e Reitz, 1998). Detalhes da estrutura da ponta de pulverização são decisivos na formação das gotas e podem interagir de diferentes maneiras sobre o processo.

Para aplicações de produtos fitossanitários por meio de pulverizadores terrestres em área total, além do modelo da ponta, participam intensivamente na formação de gotas a pressão de trabalho, a constituição da calda e a vazão nominal

da ponta de pulverização que devem ser considerados para a correta configuração do pulverizador previamente à aplicação (Matthews et al., 2014; Matuo, 1990). Para garantir a qualidade do processo, reduzir a propensão de gotas à deriva e melhorar a distribuição volumétrica de calda na faixa de aplicação são aspectos relevantes.

## **2.1 Pontas de pulverização**

As pontas de pulverização – dispositivos utilizados para a pulverização de produtos fitossanitários – são elementos de suma importância na agricultura atual, uma vez que os produtos fitossanitários, tão importantes neste modelo de agricultura, são sobremaneira aplicados em base aquosa (Matthews et al., 2014). As pontas de pulverização têm a função de permitir a passagem constante e homogênea de calda, projetar este líquido em direção à área alvo na forma de gotas, definir o tamanho das gotas de pulverização, garantindo também a homogeneidade de distribuição volumétrica por unidade de área alvo (Forney et al., 2017). Por todo o exposto, as pontas de pulverização são consideradas os principais componentes de todo o sistema de pulverização.

Frente ao mercado crescente, diversas empresas têm se especializado na produção destes constituintes do sistema de pulverização, disponibilizando modelos munidos de diferentes tecnologias para a formação de gotas, como jatos cônicos (cheio e vazio), jatos planos simples, duplos e múltiplos, jatos planos munidos de pré-orifício, jatos planos defletores e jatos com indução de ar. Esta diversidade de modelos é capaz de produzir tamanhos de gotas e padrões de depósito que atenda as mais variadas necessidades.

A escolha do modelo de ponta de pulverização deve estar embasada no objetivo da aplicação e considerar o local onde estas gotas devem ser depositadas, a distribuição destas gotas no interior do dossel da cultura e a cobertura necessária para que o efeito biológico seja alcançado (Garcerá et al., 2017; Gimenes et al., 2013; Miranda-Fuentes et al., 2016a; Wolf e Daggupati, 2006). Para a aplicação de produtos fitossanitários de ação tóxica (de contato), que apresentam baixa sistemicidade, convém a utilização de gotas de pequeno tamanho, visto que estas proporcionam maior capacidade de penetração no dossel dos cultivos (Silva et al., 2014) e maior potencial de cobertura sobre as superfícies (Courshee, 1967; Ferguson, Chechetto,

Hewitt, et al., 2016; Matuo, 1990), quando comparada ao mesmo volume de calda pulverizado em gotas de maior diâmetro.

A má qualidade das pontas, decorrente do processo de fabricação, ou do desgaste pelo uso, pode comprometer a qualidade da distribuição volumétrica, na vazão e no processo de formação de gotas, predispondo à produção de tamanhos não desejados, como na produção de gotas de pequeno tamanho com alto potencial de deriva e evaporação (Zhu et al., 2016).

## **2.2 Distribuição volumétrica**

A qualidade da distribuição volumétrica proporcionada por uma ponta de pulverização é de suma importância, tendo em vista que todo o produto fitossanitário apresenta uma faixa de dosagem considerada ideal para controlar o agente de dano. Subdosagens de produtos podem acarretar no não controle de alguns organismos menos suscetíveis (Volpe et al., 2012), tendo grande responsabilidade na seleção de populações resistentes. Por outro lado, dosagens superiores às recomendadas, podem causar danos em plantas cultivadas, expressando efeitos fitotóxicos (Albrecht et al., 2014). Uma vez determinada a dosagem do produto fitossanitário e o volume de aplicação a ser adotado, é necessária a correta configuração do pulverizador para distribuir o produto na área na forma mais uniforme possível, de modo a não gerar faixas com sub ou superdosagens.

A uniformidade de distribuição volumétrica é influenciada pela pressão de trabalho, modelo de ponta de pulverização e seu ângulo de pulverização, o espaçamento entre pontas e distância do alvo (Cunha e Silva, 2010; Matthews et al., 2014), que são passíveis de serem modificados com adequações e regulagens do equipamento pulverizador (Bauer e Raetano, 2004; Forney et al., 2017). A má qualidade das pontas, oriunda de imperfeições geradas no processo de produção ou do desgaste decorrente do uso requer a substituição dos exemplares que apresentam problemas ou, em alguns casos, de todo o conjunto de pontas presentes no equipamento.

Para a aplicação em área total, utiliza-se pontas de pulverização que produzem o padrão de jato plano descontínuo, com concentração de maior volume no centro do jato. Assim, a sobreposição entre os jatos em uma barra de pulverização é

indispensável para promover a uniformização do volume aplicado. A qualidade da distribuição volumétrica é condicionada pela correta configuração de fatores como a distribuição simétrica entre os dois lados do jato, a abertura angular do jato pulverizado, a distância entre os bicos e a altura da barra. Para o ângulo de 110 graus e espaçamento entre bicos de 50 centímetros, a altura ideal da barra está em torno de 50 centímetros (Ferreira et al., 2013).

A pressão de trabalho exerce influência em parâmetros muito importantes na aplicação, como na abertura do jato, vazão de calda, tamanho e uniformidade das gotas (Višacki et al., 2016). Pressões inferiores à mínima recomendada pelo fabricante geralmente comprometem a abertura do jato, prejudicando a qualidade de distribuição volumétrica. Pressões acima do limite preconizado podem acarretar desgaste prematuro da ponta e outros componentes do pulverizador, comprometer a qualidade das gotas e afetar a distribuição volumétrica.

A qualidade da distribuição volumétrica pode ser definida quanto ao coeficiente de variação (CV) calculado sobre os volumes acumulados na faixa de aplicação: quanto menor o valor, tendendo a zero, mais uniforme é a distribuição volumétrica, enquanto valores que excedem a 10% são considerados insatisfatórios para pontas de pulverização novas (FAO, 2001). A distribuição volumétrica deficitária, quando atendidas as configurações ideais para espaçamento e altura dos bicos, pode estar relacionada a má formação dos jatos, ou ainda com a sua simetria (Calore et al., 2015). Considerando-se os jatos planos convencionais como os mais utilizados no campo, pouco se tem conhecimento das possíveis diferenças existentes entre os vários modelos de pontas desta categoria bem como a responsividade de cada modelo a variações na pressão de trabalho.

Além da qualidade da distribuição volumétrica intrínseca a cada modelo de ponta de pulverização, a vazão também pode contribuir com a desuniformidade da aplicação. Havendo diferenças na vazão entre exemplares de pontas que equipam uma barra de pulverização, compromete-se a qualidade da distribuição total, mesmo que a distribuição apresentada por cada exemplar seja considerada satisfatória. Seguir com maior ou menor rigor o padrão de distribuição de calda e de produção de gotas é responsabilidade do setor de controle de cada fabricante.

### 2.3 Tamanho de gotas

A escolha do tamanho ideal de gotas para a aplicação deve considerar parâmetros relacionados as propriedades dos produtos utilizados, especialmente quanto a sua sistemicidade na planta; propriedades físico-químicas da calda, especialmente quanto a sua capacidade de espalhamento sobre a superfície alvo; características do alvo, considerando o local que o produto deve atingir para promover o controle satisfatório; distância entre o local em que ocorre a pulverização e o alvo, além das condições ambientais no momento da aplicação, como a velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura (Matuo, 1990). Em algumas situações, o volume de aplicação pode ser considerado um condicionante para a seleção do tamanho de gotas requerido, já que a diminuição no tamanho proporciona incrementos expressivos no número de gotas formado, conforme equação proposta por Matthews (1982), em que o número de gotas pode ser calculado por:

$$n = \frac{60}{\pi} \cdot \left(\frac{100}{d}\right)^3 \cdot Q$$

Em que n= número médio de gotas que caem por cm<sup>2</sup>; d= diâmetro da gota em µm e Q = volume de aplicação em litros por hectare.

Assim sendo, 1 litro de calda em gotas de 200 micrômetros de diâmetro resulta na densidade teórica de 2,38 gotas cm<sup>-2</sup>, enquanto para gotas com o diâmetro de 100 micrometros, a densidade teórica é de 19 gotas cm<sup>2</sup>, em um processo ideal de distribuição uniforme e sem perdas.

Dentre as formas de classificação do tamanho de gotas, o mais empregado é representado pelo diâmetro mediano volumétrico (DMV), cujo valor divide o espectro de gotas em dois volumes iguais, em um lado somente com gotas maiores ao DMV e em outro lado, com gotas menores. Uma vez determinado o tamanho de gota ideal a atingir o alvo, convém destacar que as gotas produzidas por pontas de pulverização de energia hidráulica resulta em grande variedade de tamanhos muito maiores ou menores que aquele desejado (Ferreira et al., 2013; Sasaki et al., 2015). A fração representada pelas gotas menores é a que apresenta maior sensibilidade a perdas por deriva e evaporação, com potencial de contaminação de áreas não alvo (Ferreira et al., 2013). A fração representada pelas gotas maiores apresenta menor potencial para cobrir o alvo e, em alguns casos, pode ser perdida por ricocheteamento ou

escorrimento da superfície aplicada, com potencial fonte de contaminação do solo. Em ambas as situações, a quantidade de produto que atinge o alvo ou nele permanece pode ser reduzida e de distribuição irregular, o que pode comprometer o efeito biológico devido à falta de qualidade do depósito na superfície da planta (Berger-Neto et al., 2017), além de aumentar os riscos ao meio ambiente (Craig et al., 2014; Gil e Sinfort, 2005). Assim, quanto mais uniformes forem as gotas, e seu tamanho próximo ao ideal preconizado para a aplicação, menor será o potencial de perdas.

A uniformidade das gotas pode ser representada pelo Span, que é calculado a partir do tamanho de gotas que separa os 10% de volume com gotas menores ( $dv_{10}$ ), 10% com as gotas maiores ( $dv_{90}$ ) e o DMV. O Span é representado pela razão da diferença entre  $dv_{90}$  e  $dv_{10}$  pelo DMV. Assim, quanto menor é o Span mais uniformes são as gotas.

O aprimoramento da uniformidade e distribuição de gotas na cultura tratada pode colaborar para reduzir os volumes de pulverização e o risco de ocorrência de deriva, justificando o uso para otimizar o desempenho operacional dos pulverizadores e para uma aplicação segura. Mudanças no modelo de ponta, vazão e composição da calda podem colaborar para a uniformidade das gotas e distribuição no alvo (Craig et al., 2014). Alguns pesquisadores encontraram efeitos da vazão na uniformidade das gotas (Nuyttens et al., 2013; Womac et al., 1997), obtendo gotas mais uniformes com vazões menores. No entanto, uma quantidade maior de gotas de tamanho desejável pode não resultar em uma cobertura tão rica quanto com incrementos no volume de aplicação (Courshee, 1967). Além disso, volumes maiores, quando resultam em gotas maiores, podem ser uma vantagem na redução de deriva. No entanto, isso pode resultar em aumento do escorrimento do produto na superfície tratada (Almeida et al., 2016; Miranda-Fuentes et al., 2016b).

Variações na composição da calda também interferem na uniformidade das gotas (Carvalho et al., 2017; Costa et al., 2015; Ferreira et al., 2011). No entanto, devido à complexidade das combinações líquidas, agravadas pelas interações com as características internas de rugosidade e forma dos orifícios da ponta de pulverização, os resultados no espectro de gotas podem ser alterados. Em outras palavras, para um determinada calda de pulverização, o tamanho da gota pode aumentar para um modelo de ponta, enquanto que para outro o tamanho pode diminuir

(Costa et al., 2017). Ao comparar o uso de modelos de ponta de pulverização com e sem indução de ar, esse efeito pode ser ainda maior (Nuyttens et al., 2013).

Mesmo que os dados de uniformidade de gotas já tenham sido apresentados em vários estudos (Carvalho et al., 2017; Ferguson, Chechetto, Hewitt, et al., 2016; Griesang et al., 2017), a relação dessas informações com a qualidade e segurança das aplicações não é de significância elevada, especialmente em experimentos de campo. Havendo resposta significativa da uniformidade quanto aos aspectos almejados numa pulverização, essa informação pode ser considerada importante para constar nos catálogos de pontas de pulverização fornecidos pelos fabricantes.

## **2.4 Deriva de pulverização**

A deriva de produtos fitossanitários é um problema sério que acomete a aplicação de produtos fitossanitários em todo o mundo. Além dos efeitos prejudiciais observados em áreas vizinhas às aplicações, com contaminação de ar, água, culturas não-alvo e humana (Gil e Sinfort, 2005), a porção do produto perdido pode comprometer a eficiência de toda a aplicação, uma vez que a quantidade de produto que atinge o alvo pode ser insuficiente para o controle do agente de dano (Heidary et al., 2014; Hilz e Vermeer, 2013). Subdosagens de produtos podem levar a uma série de consequências negativas, com resultados imediatos no não-controle do agente de dano, o que pode comprometer parte do potencial produtivo da cultura, requerendo-se em alguns casos um custo extra com a necessidade de uma nova aplicação. Isto pode onerar ainda mais o custo de produção, além de propiciar condições para a seleção de indivíduos com menor suscetibilidade ao produto, chegando em alguns casos, a populações resistentes, o que compromete a viabilidade do uso deste ingrediente ativo em aplicações futuras.

Dentre os fatores que mais contribuem para a ocorrência da deriva estão as condições ambientais, como velocidade do vento no momento da aplicação, temperatura e umidade relativa (Nuyttens et al., 2005), configurações da aplicação, como a distância entre a pulverização e o alvo (Višacki et al., 2016), a velocidade da operação (Van de Zande et al., 2004), a direção da projeção do jato de pulverização (Christovam et al., 2010), a constituição da calda (Oliveira et al., 2015) e,

principalmente, o tamanho das gotas (Ferreira et al., 2011; Griesang et al., 2017; Wolf, 2013).

## **2.5 Aplicações em cultivos com elevada densidade foliar**

São comuns perdas expressivas na produtividade de cultivos agrícolas causado por doenças. Em diversos casos, é difícil para o produto pulverizado atingir a região de ocorrência da doença em quantidade e distribuição satisfatórias, aumentando a importância do uso da tecnologia correta (Román et al., 2009). Para o caso da Ferrugem Asiática da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*), doença caracterizada pela facilidade de dispersão, alto potencial de infecção e sérios danos à produção (Embrapa-Soja, 2013), a infecção inicial se dá costumeiramente na porção inferior do dossel, e o efeito de interceptação de gotas grandes pelas folhas superiores (Crick e Parkin, 2011), conhecido como “efeito guarda-chuva” (Román et al., 2009), bem como deriva para pequenas gotas (Griesang et al., 2017), diminuem a quantidade de produto com capacidade de penetrar através do dossel e se depositar nestes estratos menos expostos da cultura. Neste caso, a maior uniformidade de gotas pode significar maior eficiência de gotas em atingir a parte inferior do dossel.

Diversos estudos atestam que, para aplicações em cultivos com dossel foliar denso, como é o caso da cultura da soja em estádios vegetativos avançados e reprodutivo, maiores volumes de aplicação e gotas de tamanho reduzido são requeridos, visando a penetração e cobertura do alvo satisfatórias (Cunha et al., 2006; Griesang et al., 2018). Os modelos de pontas de pulverização que produzem gotas classificadas como “Finas” podem atender bem a essas demandas por penetração e cobertura. Porém, podem resultar em perdas significativas por deriva. Gotas de tamanho maior, classificadas como “Médias” e “Grossas”, podem reduzir significativamente as perdas por deriva. Porém, podem resultar em penetração e cobertura deficitárias (Costa et al., 2013; Ferguson, Chechetto, Hewitt, et al., 2016).

Na busca por melhorias na penetração de gotas no dossel, favorecendo a distribuição satisfatória de produto em toda a planta e reduzindo o potencial de ocorrência de deriva, a inclinação do jato de pulverização pode representar uma alternativa interessante (Christovam et al., 2010).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 GERAL**

Avaliar o efeito de modelos de pontas, vazões e caldas fitossanitárias na uniformidade de gotas, de modo a verificar seus impactos na qualidade da aplicação em cultivos e perdas na forma de deriva.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar a influência da constituição da calda, vazão e modelo de pontas sobre a uniformidade de gotas;

Avaliar a influência da uniformidade de gotas e do volume de aplicação na qualidade da distribuição de gotas no dossel de cultivos;

Avaliar a influência da uniformidade de gotas na ocorrência de deriva;

Avaliar o efeito da pressão de trabalho e de modelos de pontas sobre a qualidade da distribuição volumétrica;

Avaliar a consistência da distribuição volumétrica entre vários exemplares de cada modelo de ponta;

Determinar o espaçamento ideal entre bicos para cada modelo de ponta, visando distribuição volumétrica satisfatória.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS












Para atender aos objetivos de avaliar a influência da uniformidade de gotas na qualidade de aplicações agrícolas, avaliar a ação da composição da calda e a vazão nominal das pontas na uniformidade de gotas, caracterizar modelos de pontas quanto a distribuição volumétrica, vazão, tamanho de gotas, propensão de gotas à deriva e depósitos e cobertura em culturas (cultura de soja em condição de campo, além de soja e fava em condição de ambiente artificial), foram utilizados diversos materiais e metodologias, descritos a seguir.

Para a formação de gotas, utilizou-se modelos de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. Foram avaliados nove modelos de pontas de pulverização de jato plano convencional [Hypro (F e VP), Jacto (API e JSF); KGF (LDB), Magnojet (BD e TP) e Teejet (TP e XR)], nas vazões nominais de 0,57 e 1,14 L min<sup>-1</sup> (0,15 e 0,30 gal min<sup>-1</sup>) que correspondem as cores verde e azul, conforme padrões de cor Visiflo<sup>®</sup>; um modelo de ponta de pulverização de jato plano defletor (Teejet TT) de vazão nominal 1,14 L min<sup>-1</sup>; um modelo de ponta de pulverização com jato plano inclinado (Hypro 3D), de vazão nominal 0,95 L min<sup>-1</sup> (Tabela 1/Figura 1).

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizados diversos materiais e equipamentos, como o corante amarelo fluorescente Pyranin GmbH 65439 (Simon & Werner<sup>®</sup>); Sulfato de Manganês (31% Mn Oxiquímica Agrociência Ltda.); HCl 0.2 N (Qhemis<sup>®</sup>, distribuidor Hexis); Fungicida Elatus<sup>®</sup> WG 300 g p.c. ha<sup>-1</sup> (Azoxystrobin 30%, Benzovindiflupir 15%, outros ingredientes 55%, Syngenta Crop Protection Ltd.); Adjuvantes Nimbus<sup>®</sup> 0,5% v v<sup>-1</sup> (óleo mineral 42,80% m v<sup>-1</sup>, ingredientes inertes 43,55% m v<sup>-1</sup>, Syngenta Crop Protection Ltda.) e Li-700<sup>®</sup> 0.3% v v<sup>-1</sup> (Mistura de Lecitina e Ácido Propiônico 71,28% m v<sup>-1</sup>, ingredientes inertes 30,55% m v<sup>-1</sup>, De Sangosse Agroquímica Ltda.); Sementes de soja de ciclo precoce (Amandine Saatbau e AS 3739 IPRO); Semente de feijão Fava (Fuego<sup>®</sup>); Determinador de tamanho de partículas Mastersizer S<sup>®</sup>; Determinador de tamanho de partículas PDIA VisiSizer<sup>®</sup>; Espectrofotômetro de absorção atômica (Thermo scientific, iCE 3000 Series<sup>®</sup>); Medidor de área foliar (Area Meter LI-3100C, LI-COR<sup>®</sup>); Mesa de distribuição

volumétrica de 12 metros; mesa de distribuição volumétrica de 2,50 metros; Túnel de vento de circuito fechado; pulverizador pressurizado a CO<sub>2</sub> montado em quadriciclo; sala de aplicação de pesticidas, provida de barra de pulverização com sistema Dinajet®; Papéis hidrossensíveis (Syngenta®).

**Tabela 1.** Descrição dos modelos de pontas de pulverização utilizadas nos experimentos

Modelo	Fabricante	Características	Material	Ângulo (graus)	Vazão nominal* (L min <sup>-1</sup> )	Pressão de trabalho (bar)	Vazão de trabalho (L min <sup>-1</sup> )
 Hypro F	Pentair Hypro	Jato plano convencional	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Pentair Hypro	Jato plano convencional	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 Hypro VP	Pentair Hypro	Jato plano convencional	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Pentair Hypro	Jato plano convencional	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 Jacto API	Jacto	Jato plano convencional	Cerâmica	110	0,57	3,00	0,59
	Jacto	Jato plano convencional	Cerâmica	110	1,14	3,00	1,19
 Jacto JSF	Jacto	Jato plano convencional	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Jacto	Jato plano convencional	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 KGF LBD	Solcera	Jato plano pré-orifício	Cerâmica	110	0,57	3,00	0,59
	Solcera	Jato plano pré-orifício	Cerâmica	110	1,14	3,00	1,19
 Magnojet BD	Magnojet	Jato plano pré-orifício	Cerâmica	110	0,57	3,00	0,59
	Magnojet	Jato plano pré-orifício	Cerâmica	110	1,14	3,00	1,19
 Magnojet TP	Magnojet	Jato plano pré-orifício	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Magnojet	Jato plano pré-orifício	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 Teejet TP	Spraying Systems Co.	Jato plano convencional	Cerâmica	110	0,57	3,00	0,59
	Spraying Systems Co.	Jato plano convencional	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 Teejet XR	Spraying Systems Co.	Jato plano convencional	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Spraying Systems Co.	Jato plano convencional	Cerâmica	110	1,14	3,00	1,19
 Teejet TT	Spraying Systems Co.	Jato plano defletido	Polímero	110	0,57	3,00	0,59
	Spraying Systems Co.	Jato plano defletido	Polímero	110	1,14	3,00	1,19
 Hypro 3D	Pentair Hypro	Jato plano inclinado 45°	Polímero	110	0,95	4,25	1,19

\*Vazão para a pressão de trabalho de 2,75 bar.



**Figura 1.** Modelos de pontas de pulverização utilizados nos experimentos. **Fonte:** o autor.

No intuito de caracterizar as pontas de pulverização utilizadas neste estudo, foram realizadas análises com diversas constituições do líquido de pulverização. Para a caracterização das pontas de pulverização quanto ao tamanho de gotas produzido com as diversas caldas fungicidas, preparou-se as caldas em água da rede de abastecimento, adicionando o fungicida e adjuvantes; aplicações em campo foram realizadas com caldas em base aquosa, contendo fungicida, adjuvantes e marcador Sulfato de Manganês; para avaliações de deriva em túnel de vento e cobertura e depósitos em cultivos conduzidos em vasos, utilizou-se água com corante amarelo fluorescente Pyranin a 0,5%; para a distribuição volumétrica, vazão e caracterização do tamanho de gotas pelo equipamento VisiSizer®, utilizou-se a água da rede de abastecimento.

#### 4.1 Tamanho de gotas

A caracterização do espectro de tamanho de gotas de pulverização produzidas para cada combinação entre modelos de pontas de pulverização e caldas foi necessária para selecionar os modelos que forneciam os maiores e menores valores de Span para cada líquido de pulverização, empregados nos experimentos com plantas.

Em relação aos tratamentos utilizados para o experimento de campo, foram utilizados os nove modelos de pontas do tipo jato plano, obtidos de cinco fabricantes [TP110 e XR110 (TEEJET); F110 e VP110 (HYPRO PENTAIR); JSF110 e API110 (JACTO); TP110 e BD110 (MAGNOJET); e LDB110 (KGF)], nas vazões nominais de 0,57 e 1,14 L min<sup>-1</sup> (0,15 e 0,30 gal.min<sup>-1</sup>) à pressão de trabalho de 300 kPa, para atingir os volumes de aplicação 75 e 150 L ha<sup>-1</sup>. As caldas de pulverização foram

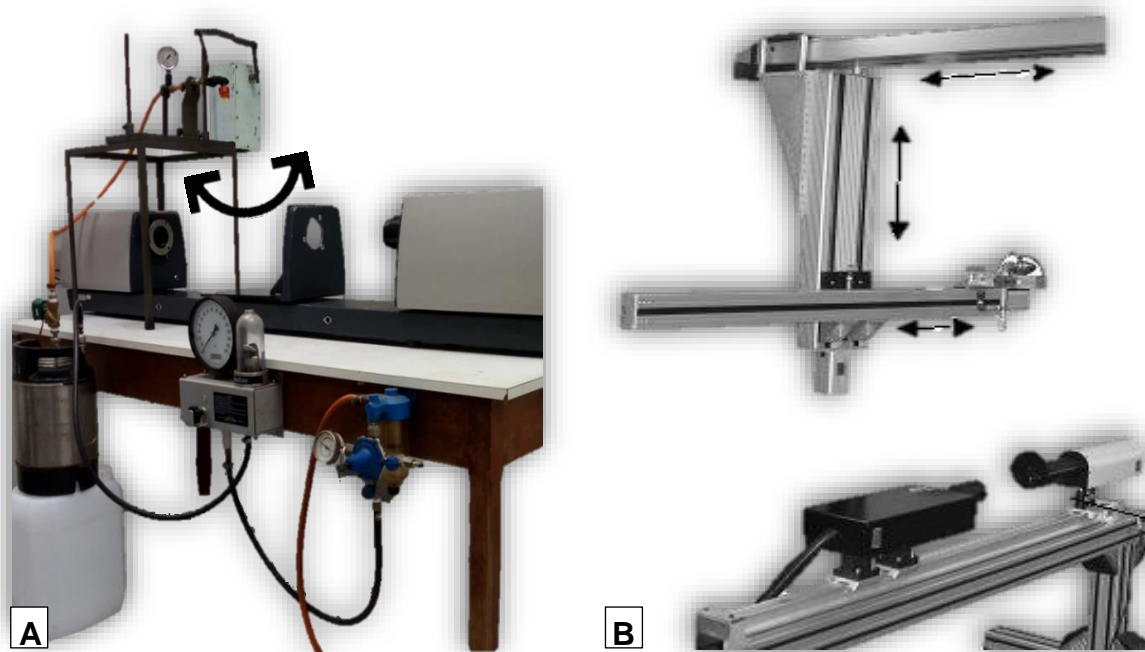
constituídas do fungicida Elatus<sup>®</sup> utilizado individualmente e combinado com dois adjuvantes [Nimbus<sup>®</sup> e Li-700<sup>®</sup>. Para as avaliações laboratoriais, foram preparados quatro litros de calda de pulverização para cada tratamento, utilizando-se água da rede de abastecimento como solvente.

Em relação aos tratamentos utilizados para o experimento em ambiente protegido, foram utilizados os mesmos modelos e pressão de trabalho do experimento de campo, além de modelo de ponta de pulverização de jato plano defletor [TT11003 (TEEJET)] na pressão de 300 kPa e jato plano inclinado [3D100025 (HYPRO)] na pressão de 425 kPa, visando atingir os volumes de aplicação 75 e 150 L ha<sup>-1</sup>. O modelo de ponta do tipo jato plano defletor (TT) foi empregado para representar gotas de maior tamanho, enquanto o modelo de pontas 3D foi empregado para representar a projeção de jato com inclinação de 37,5 graus para frente em relação ao sentido de deslocamento da pulverização. A calda para a aplicação foi constituída de água da rede de abastecimento adicionada de corante amarelo fluorescente a 0,5%, necessário para a determinação dos depósitos no dossel da cultura.

Para a seleção dos modelos, utilizou-se o teste de comparação de médias Tukey a 5%. Dentre os resultados, havendo semelhança entre modelos de pontas de pulverização quanto ao Span, utilizou-se o critério de DMV, de modo a contemplar modelos produzindo tamanho de gotas semelhantes. Quando necessário, utilizou-se o parâmetro  $V\% < 100$  (Porcentagem de volume em gotas menores que 100 micrômetros) para finalizar a segregação dos modelos de interesse, optando-se por modelos com os valores mais discrepantes entre si.

A caracterização das gotas de pulverização foi realizada por duas técnicas de avaliação de tamanho de partículas, ambas capazes de avaliar o tamanho de gotas suspensas no ar. Para a caracterização de gotas e determinação de tratamentos para experimentos de campo, utilizou-se o método de difração de raios laser, com equipamento Mastersizer-S (Malvern Instruments Co.), disponível no Núcleo de Pesquisas e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, Unesp Campus de Jaboticabal (Figura 2A). A determinação dos tratamentos para as aplicações em ambiente protegido foi feita a partir de método PDIA (Particle/Droplet Image Analysis), com o equipamento VisiSizer (Oxford Laser Ltd.), que utiliza um laser pulsado de curta

duração e uma câmera digital, disponível no Instituto Federal de Pesquisa Alemão JKI (Julius Kuehn Institut) (Figura 2B).



**Figura 2.** Equipamentos para determinação de tamanho de partículas: **A.** MasterSizer-S (Unesp Jaboticabal) **Fonte:** o autor; e **B.** VisiSizer (JKI - Alemanha) **Fonte:** Adaptado de Sehsah e Ganzelmeier (2010)

No equipamento de determinação de tamanho de gotas Mastersizer-S, uma unidade óptica determina o diâmetro das gotas por meio do desvio da trajetória sofrida pelo laser ao atingi-las. Quanto menor a partícula, maior o grau de difração que o raio de luz sofre (Etheridge et al., 1999). Para a classe de gotas analisada, o equipamento foi ajustado para avaliar tamanhos de 0,5 a 900  $\mu\text{m}$  (lente de 300 mm).

A pulverização foi acionada por ar comprimido e a pressão mantida constante com um regulador de pressão de precisão. A distância entre o bico de pulverização e o ponto de interceptação das gotas pelo laser foi mantida em 40 centímetros. O laser interceptou gotas produzidas em toda a amplitude do jato, movendo o bico de forma transversal. O tempo gasto para se deslocar de um lado para o outro do jato aplicado foi definido para 3 segundos. Os parâmetros considerados para a caracterização do espectro de gotas foram o DMV (Diâmetro Mediano Volumétrico), Span (Coeficiente de Uniformidade de gotas),  $V\% < 100$ , DV10 (Diâmetro que representa as 10%

menores gotas) e DV90 (Diâmetro que representa as 10% maiores gotas). Na determinação Span, utilizou-se a equação

$$Span = \frac{(DV90 - DV10)}{DMV}$$

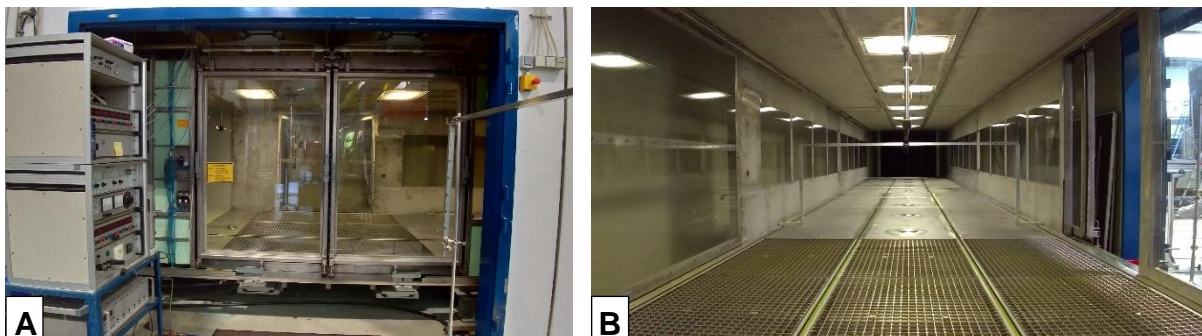
Em que DV10, DMV e DV90 representam os tamanhos de gotas para 10, 50 e 90% do volume pulverizado. Quanto mais próximo de zero o valor Span, mais uniforme é a amostra de gotas de pulverização.

O sistema VisiSizer atua por meio de um método PDIA (Particle/Droplet Image Analyses) automatizado, que é composto por uma fonte de luz pulsada, câmera digital CCD (Charge-Coupled Device), temporizador e computador. A técnica PDIA usa arranjo de imagem retroiluminada, onde a saída do laser é expandida através de um difusor. A câmera captura imagens a 30 Hz, com resolução de imagem de 1008 x 1008 pixels e taxas de dados de até 7500 gotas por segundo. O laser pulsado congela o movimento da gota e fornece iluminação para as imagens. Um contraste de cinza é definido nas imagens, e o algoritmo automatizado efetua a varredura da imagem pixel por pixel e, com base no nível de limite definido, determina quais pixels correspondem ao segundo plano e quais correspondem às gotas. Para que as gotas sejam dimensionadas com precisão, o foco é ajustado a partir do contraste obtido da borda das gotas (Sehsah e Ganzelmeier, 2010). As pontas de pulverização foram posicionadas a 50 cm de distância do ponto de amostragem. Cada leitura foi composta de pelo menos 10.000 gotas.

Todas as medidas foram feitas pulverizando água a uma temperatura de aproximadamente 20°C. As condições ambientais foram mantidas constantes a uma temperatura de 20°C e umidade relativa do ar entre 70 e 80%.

## **4.2 Deriva de pulverização**

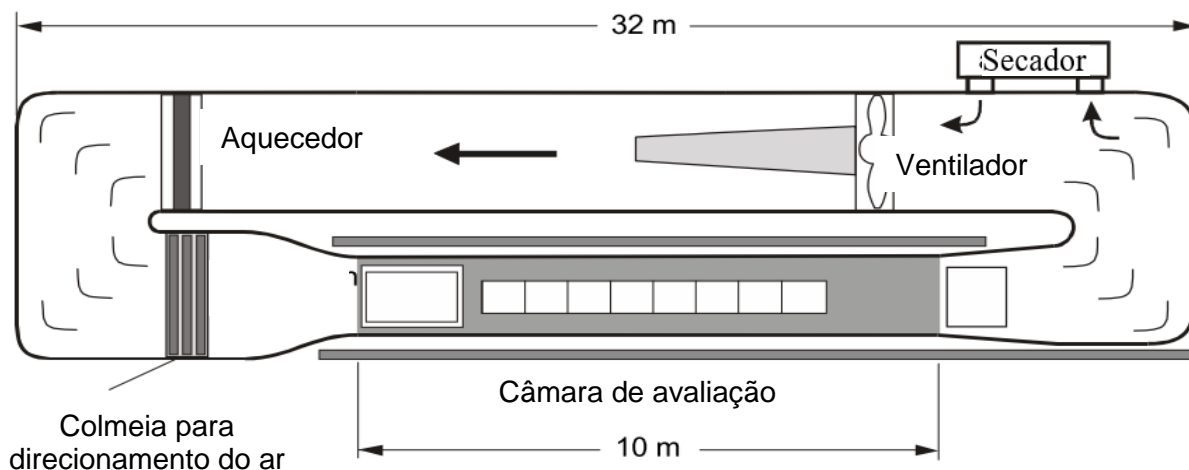
A deriva de pulverização consiste no processo da arraste pelo vento de gotas da ponta de pulverização. É influenciada principalmente por parâmetros técnicos como características da ponta, altura da barra e velocidade de deslocamento do pulverizador, sendo possível simular em túnel de vento (Herbst, 2001). A deriva de gotas de pulverização foi avaliada em túnel de vento de circuito fechado, disponível no Instituto Federal de Pesquisa Alemão JKI (Julius Kuehn Institut) (Figura 3).



**Figura 3.** Túnel de vento de circuito fechado situado no Instituto Federal de Pesquisa da Alemanha JKI (Julius Kuehn Institut). **A.** Vista frontal do equipamento; **B.** Vista interna, com posicionamento dos fios coletores de deriva. **Fonte:** o autor.

A nuvem de gotas desprendidas do jato na forma de deriva foi interceptada por coletores de deriva do tipo linha passiva, num total de cinco linhas, montadas horizontalmente em espaçamento de 100 mm entre si, situadas na distância de dois metros a favor do vento, em um plano perpendicular ao fluxo de ar. Adicionou-se um marcador fluorescente solúvel à água. As linhas foram removidas do túnel de vento após a aplicação e lavadas com uma quantidade conhecida de água deionizada que foi então analisada em um espectrofotômetro. A estimativa de deriva de pulverização foi calculada com base na metodologia proposta por Herbst (2001).

Neste equipamento, o circuito fechado de circulação de ar, aliado aos diversos componentes do sistema, possibilitam configurar a umidade relativa, a temperatura e a velocidade de deslocamento do ar no interior da estrutura (Figura 4). Para as avaliações, a temperatura do ar foi fixada em 20 °C, a umidade relativa em 80% e a velocidade do vento em 2,0 m s<sup>-1</sup>.



**Figura 4.** Túnel de vento de circuito fechado. **Fonte:** Adaptado de Herbst (2001).

As avaliações de deriva em túnel de vento foram replicadas por três vezes (repetições).

### 4.3 Distribuição volumétrica

No intuito de caracterizar os modelos de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano convencional quanto a qualidade da distribuição volumétrica, utilizou-se mesas de distribuição disponíveis no Instituto Federal de Pesquisa Alemão JKI (Julius Kuehn Institut) (Figura 5).



**Figura 5.** Mesas de distribuição volumétrica, sendo **A** com avaliação simultânea de todos os exemplares de cada modelo de ponta de pulverização e **B** com avaliação de cada exemplar de forma isolada. **Fonte:** o autor.

Em todos os testes, as pontas de pulverização foram dispostas a 50 centímetros de distância vertical da mesa coletora. Utilizou-se somente água como líquido de pulverização. Todos os modelos de pontas testados apresentam a mesma

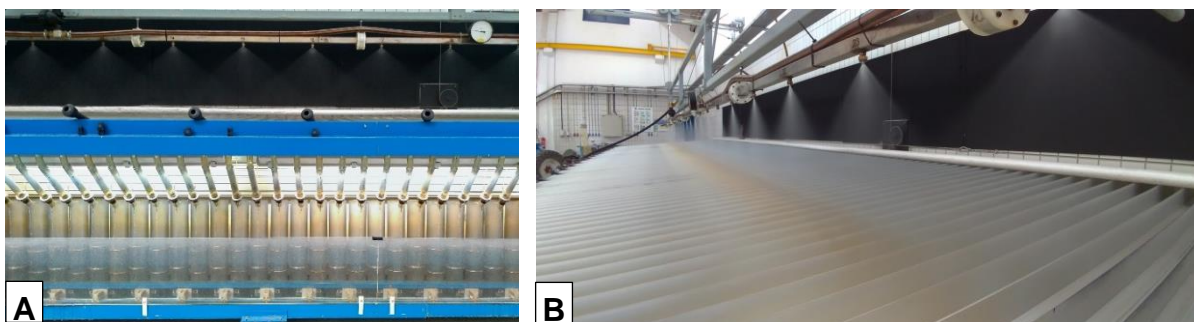
tecnologia de formação de jato (jato plano convencional) e foram obtidos de cinco fabricantes.

Para a mesa de distribuição de maior porte, foram utilizados simultaneamente 6 exemplares de pontas de cada modelo, analisando-se a diferença entre os modelos [Hypro (F e VP), Jacto (API e JSF); KGF (LDB), Magnojet (BD e TP) e Teejet (TP e XR)], nas duas vazões [0,57 e 1,14 L min<sup>-1</sup> (cores verde e azul, padrão Visiflo®)] e quatro pressões de trabalho (1, 2, 3 e 4 bar). Para a mesa de menor porte, foram analisados, um a um, três exemplares de cada modelo de ponta de pulverização, os mesmos utilizados na avaliação em mesa de maior porte. Assim, comparou-se a qualidade de distribuição volumétrica entre exemplares dentro de cada modelo e as médias de cada modelo. Também se analisou a simetria dos jatos e o efeito do espaçamento entre bicos na qualidade da distribuição.

De maneira a verificar a similaridade de resultados obtidos de ambos os métodos de determinação de distribuição volumétrica, os resultados obtidos das duas mesas de distribuição foram comparados, considerando-se a pressão de 300 kPa.

#### ***4.3.1 Distribuição volumétrica para diferentes pressões de trabalho***

Nos estudos da influência da pressão sobre a distribuição volumétrica, foram utilizadas quatro pressões de trabalho (1, 2, 3 e 4 bar). Neste sentido, se propôs verificar a influência da pressão de trabalho sobre a qualidade da distribuição volumétrica de diversos modelos de pontas de pulverização de jato plano em duas vazões nominais distintas (0,570 e 1,140 L min<sup>-1</sup>). Nestas avaliações, a pulverização obtida por seis exemplares de cada modelo foi avaliada de forma simultânea. Esta mesa de distribuição está equipada com aletas coletoras de dois metros de comprimento e 15 centímetros de altura, espaçadas entre si em 12,5 centímetros (Figura 6), cada qual contendo um vaso coletor com dois litros de capacidade.

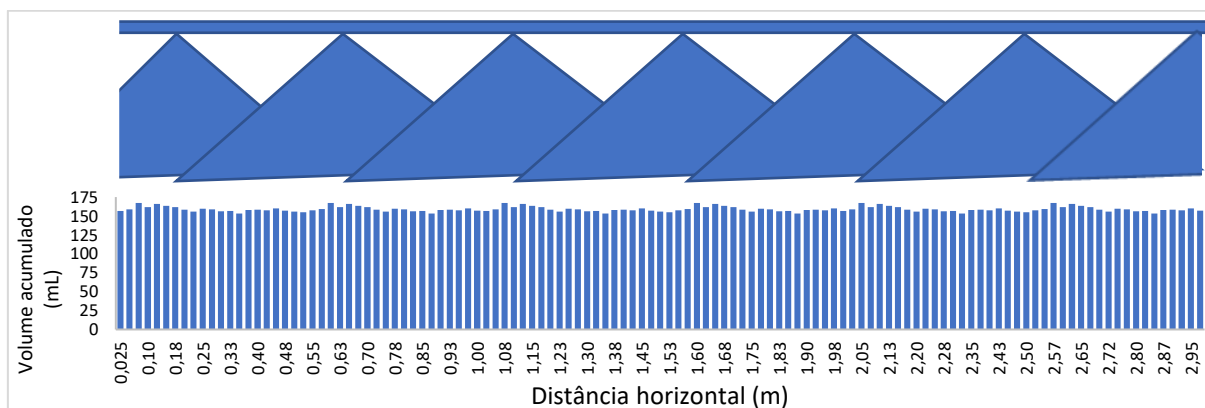


**Figura 6.** Mesa de distribuição volumétrica com avaliação simultânea de todos os exemplares de cada modelo de ponta de pulverização. **A.** Visada frontal e **B.** Visada diagonal. **Fonte:** o autor.

Calculou-se o Coeficiente de Variação (CV%) da distribuição volumétrica na faixa de 2,5 metros (seis bicos espaçados entre si em 0,5 m), utilizando-se a equação

$$CV (\%) = \frac{DESVPAD (X:Y)}{média (x)} * 100,$$

Em que CV (%) é o coeficiente de variação em porcentagem, DESVPAD (X:Y) é a função para cálculo do desvio padrão da amostra e média (x) a média das amostras (Figura 7).

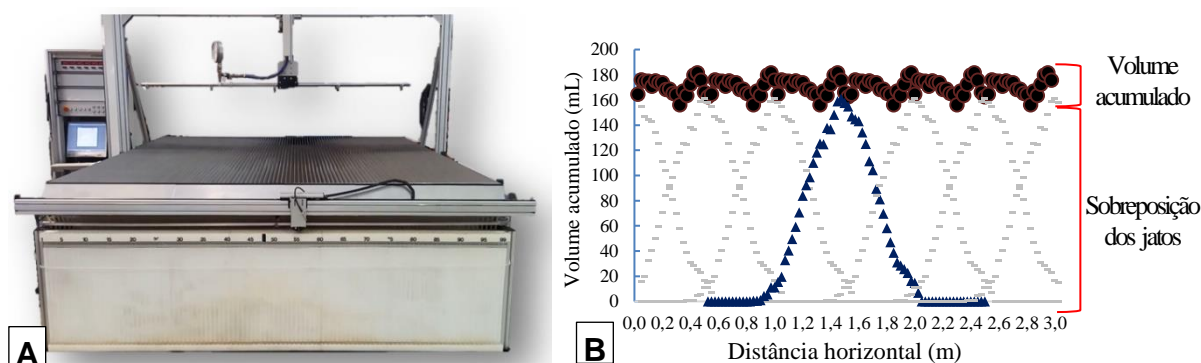


**Figura 7.** Esquema demonstrando distribuição volumétrica produzida por um conjunto de seis pontas de pulverização com simulação de sobreposição dos jatos e volume acumulado, sobre o qual calculou-se o Coeficiente de Variação (%). **Fonte:** o autor.

#### **4.3.2 Mesa de distribuição para avaliação isolada de cada exemplar**

Para a avaliação unitária das pontas de pulverização, o que permitiu obter maiores detalhes de cada exemplar pertencente a cada modelo, utilizou-se mesa de distribuição de menor tamanho (2,5 metros de área útil) a qual possui aletas coletoras

de 1,5 metros de comprimento, três centímetros de profundidade e distanciadas entre si em 2,5 centímetros (Figura 8).



**Figura 8A.** Mesa para avaliação de distribuição volumétrica para um exemplar e **B.** Esquema demonstrando distribuição volumétrica produzida por uma ponta de pulverização (em azul), simulação de sobreposição dos jatos (em cinza) e volume acumulado (em preto). **Fonte:** o autor.

Os exemplares de cada modelo foram submetidos à pulverização na pressão de 300 kPa. Os dados obtidos foram tabulados em planilha de Excel e, neste caso, para o cálculo do Coeficiente de Variação da distribuição volumétrica, a sobreposição entre jatos de pulverização foi calculada, somando-se os valores obtidos de cada exemplar, de modo a simular uma aplicação em faixa contínua (Figura 8). O cálculo do CV foi feito para a sobreposição de 6 bicos de pulverização.

Nesta mesa de distribuição, a pulverização foi interrompida quando a altura da lâmina de água atingiu 90% da capacidade dos coletores centrais da mesa de distribuição.

#### **4.3.3 Espaçamento de bicos e qualidade da distribuição**

Os dados obtidos para cada coletor da mesa de distribuição volumétrica foram tabulados em planilha de Excel e, para o cálculo do CV (%) da distribuição volumétrica, a sobreposição entre jatos de pulverização foi calculada para nove espaçamentos distintos (30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 e 70 centímetros), somando-se os valores obtidos de cada exemplar isoladamente, de modo a simular uma aplicação em faixa contínua.

#### 4.3.4 Ângulo de abertura e simetria dos jatos

Para complementar a caracterização de cada exemplar, calculou-se também o ângulo de abertura dos jatos por meio de cálculos trigonométricos, considerando-se a largura da faixa de pulverização coletada nas avaliações de distribuição volumétrica e a altura da barra; e a simetria dos jatos, correlacionando-se a metade esquerda com a direita de cada jato de pulverização.

#### 4.3.5 Vazão

Para determinar a vazão das pontas de pulverização, coletou-se a pulverização de sete exemplares de pontas (repetições) para cada tratamento, em um minuto, em proveta com capacidade de 2 litros (Figura 9). A pressão foi mantida constante por regulador de pressão de precisão e a pulverização foi iniciada por comando elétrico (válvulas solenoides). Diferenças entre exemplares de um mesmo modelo não devem superar o valor de 2,5%, segundo norma ISO 5682-1.



**Figura 9A.** Mesa de distribuição em configuração para a determinação da vazão das pontas. **B.** Adaptador para concentração do jato de pulverização em uma única aleta coletora. **Fonte:** o autor.

#### 4.4 Aplicações em cultivos

Avaliações com plantas foram realizadas tanto no Brasil, Unesp Campus Jaboticabal, a partir de campo experimental, e na Alemanha, no Instituto Federal de Pesquisa JKI (Julius Kuehn Institut), a partir do cultivo de plantas em vasos e posterior aplicação em ambiente controlado.

#### **4.4.1 Experimentação de campo**

No Brasil, três experimentos foram instalados a campo com a cultura da soja, na safra 2016/2017. Estes experimentos foram necessários para determinar o efeito da uniformidade das gotas, volume de aplicação e composição da calda na cobertura e nos depósitos. As áreas experimentais estavam situadas em topografia levemente inclinada (em torno de 5%), cujas aplicações foram feitas ao longo da encosta, entre as coordenadas 21 ° 14'10 "S e 48 ° 17'15" W, situadas em clima do tipo subtropical, com inverno seco e chuvas no verão (Cwa). Embora a data de semeadura e a cultivar de soja tenham sido as mesmas para os três experimentos, foram verificadas diferenças entre eles para a altura média das plantas (85, 90 e 125 cm) e ocorrência de acamamento parcial no experimento representado pela soja de 90 cm.

A cultivar de soja AS 37391PRO de ciclo precoce e hábito de crescimento indeterminado, foi semeada em espaçamento de 0,45 m entre linhas, com 22 plantas por metro linear e um estande final de 450 mil plantas por hectare (Figura 10A). Os experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial (2 x 3 x 2), dois volumes de aplicação (75 e 150 L ha<sup>-1</sup>), três caldas (fungicida, fungicida + Lecitina, fungicida + óleo mineral) e duas uniformidades de tamanho de gota (Span menor e maior). Cada parcela experimental foi constituída de 5 linhas de soja com 10 m de comprimento, totalizando área de 22,5 m<sup>2</sup>. Para as avaliações de cobertura e de depósitos, a aplicação do fungicida foi feita quando a cultura estava no estágio de desenvolvimento R.4, aos 81 dias após a semeadura (DAS).

A aplicação foi realizada utilizando um pulverizador montado, pressurizado a CO<sub>2</sub>, acoplado a um quadriciclo, equipado com uma barra com seis bicos de pulverização espaçados em 0,5 m (Figura 10B).



**Figura 10A.** Área experimental de soja conduzida junto a Unesp de Jaboticabal; **B.** Detalhe do pulverizador montado em quadriciclo utilizado na aplicação.  
**Fonte:** o autor.

A altura da barra de pulverização foi de aproximadamente 0,5 m do topo do dossel da cultura. A velocidade de aplicação foi de 9,5 km h<sup>-1</sup> e pressão de trabalho de 300 kPa, com volumes de aplicação de 75 e 150 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As condições meteorológicas no momento da aplicação foram o dia ensolarado e claro, sem nuvens, temperaturas entre 26 e 34 °C, umidade relativa entre 56 e 74% e ventos com intensidade entre 0 e 6 km h<sup>-1</sup>.

Os tratamentos se constituíram em duas uniformidades de gotas, obtidos de experimentos prévios, dois volumes de aplicação e três caldas fitossanitárias, descritas na Tabela 2.

Para verificar a cobertura fornecida pelas gotas de pulverização, os papéis sensíveis à água (Syngenta) foram colocados em hastes artificiais a três alturas das plantas cultivadas, representando os estratos inferior, médio e superior (15 cm abaixo do superior de cada estrato). Para melhor representar cada unidade experimental, duas hastes espaçadas por três metros foram colocadas no centro de cada parcela. As hastes contendo os papéis foram posicionadas ao lado das plantas e os papéis foram dispostos horizontalmente. Depois de pulverizado, os papéis foram removidos e digitalizados a 600 dpi. A cobertura percentual das gotas nos papéis sensíveis à água foi obtida a partir do processamento das imagens digitalizadas usando o programa de computador GOTAS® (Chaim et al., 2005).

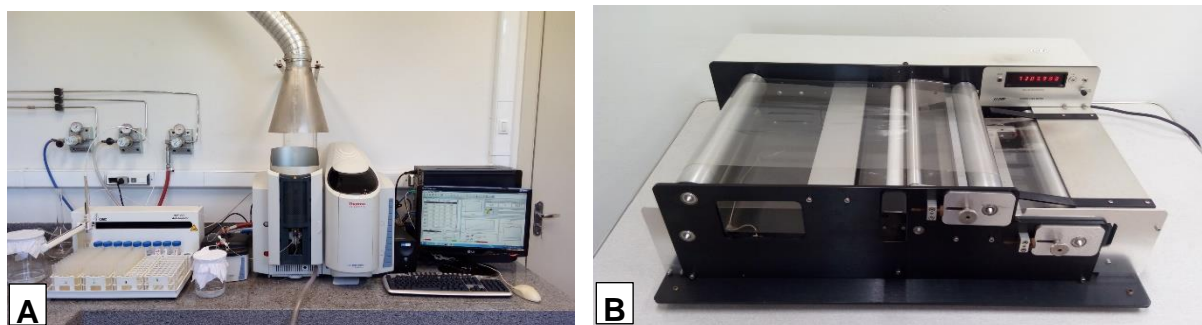
Para a determinação do depósito da calda na cultura, o sulfato de manganês (31% Mn Oxiquímica Agrociência Ltda.) foi adicionado à calda nas concentrações de 5 e 10 g L<sup>-1</sup> para os volumes de aplicação de 150 e 75 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Quinze minutos após as aplicações, tempo suficiente para secagem das gotas, foram coletados 10 folíolos de cada estrato da cultura. Estas amostras foram acondicionadas

em recipientes plásticos e levadas para o laboratório, onde receberam 250 mL de solução estratora de HCl 0,2 N (Qhemis, da Hexis distribuidora) por 2 horas para a extração total do íon Mn da superfície foliar.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos para avaliações em campo experimental

Constituição da calda	Volume de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Uniformidade de gotas	Vazão nominal (L min <sup>-1</sup> )	Pressão de trabalho (bar)	Classe de gotas
Fungicida Elatus	75	Unif	0,59	3	Finas
	75	N unif	0,59	3	Finas
Fungicida + Óleo mineral	75	Unif	0,59	3	Finas
	75	N unif	0,59	3	Finas
Fungicida + Lecitina	75	Unif	0,59	3	Finas
	75	N unif	0,59	3	Finas
Fungicida Elatus	150	Unif	1,19	3	Finas
	150	N unif	1,19	3	Finas
Fungicida + Óleo mineral	150	Unif	1,19	3	Finas
	150	N unif	1,19	3	Finas
Fungicida + Lecitina	150	Unif	1,19	3	Finas
	150	N unif	1,19	3	Finas

A concentração do íon na solução de lavagem foi determinada por espectrofotômetro de absorção atômica (Thermo Scientific, iCE 3000 Series) (Figura 11A). A área foliar foi determinada pelo Medidor de Área LI-3100C, (LI-COR®) (Figura 11B). As concentrações de manganês obtidas das leituras do espectrofotômetro foram relacionadas às áreas foliares medidas, resultando no volume de calda acumulado por unidade de área ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ).



**Figura 11A.** Espectrofotômetro de absorção atômica utilizado para determinar a concentração de marcador metálico da calda; **B.** Determinador de área foliar. **Fonte:** o autor.

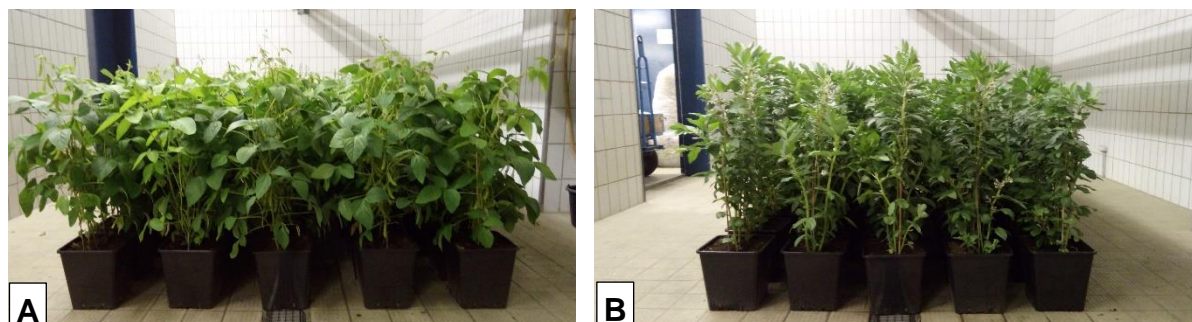
#### 4.4.2 Experimentação em ambiente controlado

Na Alemanha, a pesquisa foi conduzida no intuito de verificar a influência das variáveis tamanho de gotas, volume de aplicação e angulação do jato na qualidade da aplicação (cobertura e depósitos) em cultivos de soja (*Glycine max*) e fava (*Vicia faba*) em estágio reprodutivo (R-3). A semeadura das culturas foi realizada em 28 de junho de 2018 e a aplicação ocorreu em 75 dias após a semeadura, no dia 10 de setembro. Ambos os cultivos foram semeados em copos plásticos com capacidade de 100 mL, onde permaneceram por 30 dias, e então transplantados para vasos plásticos com a capacidade de 12 litros, preenchidos com substrato específico para o cultivo de vegetais (Topferde CL T, EINHEITS ERDE®). Em cada vaso, foram distribuídas três plantas, distanciadas entre si em cinco centímetros (Figura 12).



**Figura 12A.** Condução das plantas em vasos, com capacidade volumétrica inicial de 100 mL e posteriormente transplantados para vasos de 12 L (**B e C**). **Fonte:** o autor.

Para a aplicação dos tratamentos, os vasos foram organizados em linhas espaçadas entre si de 0,45 m para soja e 0,30 m para a fava, equivalendo a uma densidade populacional de 317.333 plantas por hectare para soja e 476.000 plantas para fava (Figura 13).



**Figura 13.** Disposição dos vasos para as aplicações dos tratamentos nas culturas de soja (A) e feijão (B). **Fonte:** o autor.

Para verificar a cobertura fornecida pelas gotas de pulverização, os papéis hidrossensíveis (Syngenta) foram colocados em 6 hastes, 3 na linha e 3 na entrelinha da cultura, cada qual contendo quatro coletores distribuídos verticalmente no dossel (Figura 14).

**Tabela 3.** Descrição e detalhamento dos tratamentos utilizados em ambiente controlado

Tratamento	Vazão nominal* (gal min <sup>-1</sup> /L min <sup>-1</sup> )	Pressão (kPa)	Vazão final (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Volume (L ha <sup>-1</sup> )	Classe de gotas
<Span	015/0,57	300	0,59	9,4	75	F
>Span	015/0,57	300	0,59	9,4	75	F
<Span	03/1,14	300	1,18	9,4	150	M
>Span	03/1,14	300	1,18	9,4	150	M
HYPRO 3D	025/0,95	425	1,18	9,4	150	M
TEEJET TT	03/1,14	300	1,18	9,4	150	G

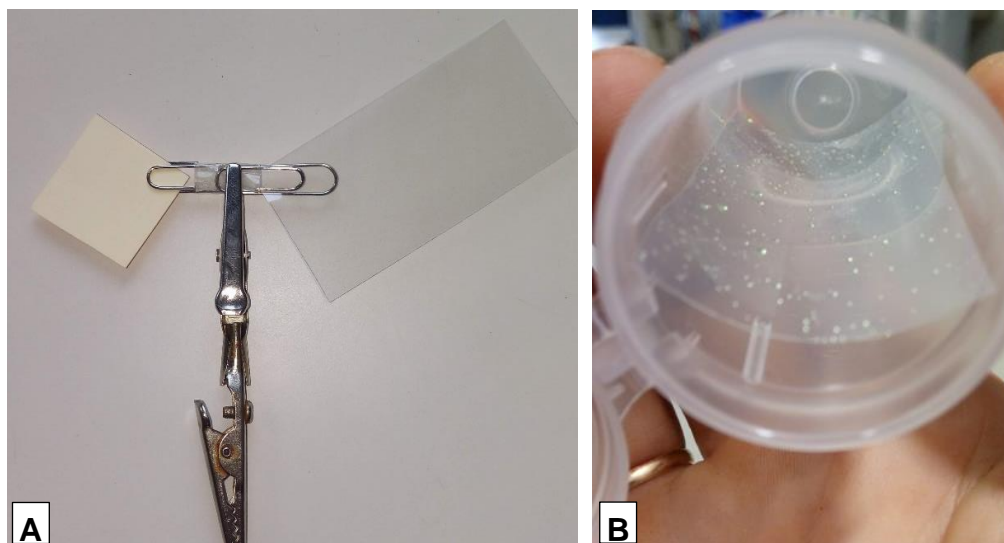
\*Vazão nominal considerando a pressão de trabalho de 2,75 bar.

As hastes contendo os papéis foram posicionadas ao lado das plantas e os papéis foram dispostos horizontalmente (Figura 14). Depois da pulverização, os papéis foram removidos e digitalizados a 600 dpi. A cobertura percentual das gotas nos papéis hidrossensíveis foi obtida a partir do processamento das imagens digitalizadas usando o programa computacional GOTAS® (Chaim et al., 2005).



**Figura 14A.** Disposição de coletores para a determinação de depósitos e cobertura na cultura da fava e soja em experimentos laboratoriais, com detalhe para as alturas de posicionamento dos coletores (B) para cobertura (papel hidrossensível) e depósitos (cartão de poliéster) **Fonte:** o autor.

Para os depósitos, diluiu-se na calda o corante amarelo fluorescente Pyranin GmbH 65439 (Simon & Werner®) como marcador, na concentração de cinco g L<sup>-1</sup>. Para a coleta dos depósitos, utilizou-se lamínulas de poliéster com dimensões de 30 x 75mm, fixadas no mesmo suporte que o papel hidrossensível (Figura 15A), em quatro posições verticais em cada uma das 6 hastes distribuídas na parcela. Para a determinação da concentração do corante por unidade de área (depósitos) após a aplicação, cada lamínula foi introduzida em recipiente plástico com tampa com capacidade de 50mL (Figura 15B), aos quais foram adicionados 20 mL de água destilada e submetida a agitação manual por 30 segundos. A concentração de Pyranin na solução foi determinada por fluoro-espectrometria e o valor obtido foi relacionado a área do coletor (2,25 cm<sup>2</sup>).



**Figura 15A.** Suporte para papel hidrossensível (cobertura) e lamínula de poliéster (depósitos); **B.** Lamínula disposta em frasco plástico para extração do corante. **Fonte:** o autor.

Para dar maior robustez nos dados obtidos das aplicações em plantas em ambiente controlado, os experimentos foram replicados por três vezes, em dias consecutivos, sendo que todas as repetições e amostragens foram replicadas em cada experimento.

#### 4.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a diversos testes estatísticos, sendo que o teste para cada avaliação foi selecionado de modo a facilitar a compreensão do fenômeno e melhor segregar e caracterizar os tratamentos.

Os resultados obtidos para as variáveis dos experimentos de campo foram submetidos à Análise Multivariada (Software Statistica® 7.0) e, para isto, os dados foram inicialmente padronizados de modo que os atributos contribuíssem com o mesmo peso no cálculo do coeficiente de similaridade entre os objetos. A padronização adotada subtraiu do valor de cada observação o valor médio da variável a qual pertence, seguida da divisão do resultado pelo desvio padrão do conjunto de dados da variável. Com os dados padronizados, utilizou-se a ferramenta de análise de componentes principais e análise de classificação.

Utilizou-se testes paramétricos para comparar médias de tratamentos em todos os experimentos que apresentavam variáveis quantitativas. Os dados de

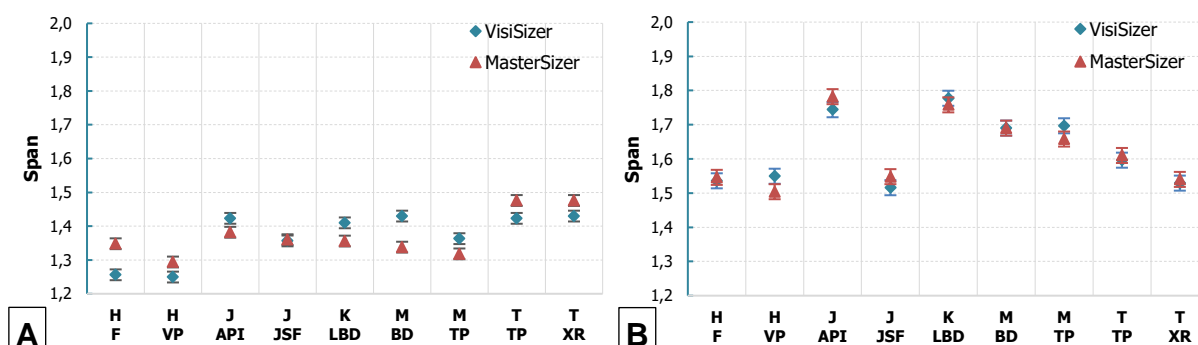
caracterização do espectro das gotas (DMV, Span e  $V\% < 100$ ), deriva de pulverização, vazão, coeficiente de variação de distribuição volumétrica, simetria e ângulo de abertura dos jatos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para os experimentos de campo, os dados representando os depósitos e cobertura foram obtidos de três áreas experimentais e quatro blocos dentro de cada área. As áreas e blocos foram considerados como efeitos aleatórios e os demais como efeitos fixos. Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste de comparação de médias Tukey, a 5% de significância. Para experimentos em vasos, os valores para cobertura e depósitos foram submetidos ao mesmo procedimento estatístico. Para as variáveis de cobertura e depósitos, os dados foram comparados dentro de cada terço da cultura.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Tamanho de gotas

A caracterização do tamanho de gotas obtidas da pulverização de apenas água, considerando-se os parâmetros Span, DMV e  $V% < 100$ , obtido a partir de dois métodos de determinação de tamanho de partículas, retornou em significativas diferenças para todos os parâmetros entre os modelos de pontas analisados. A vazão das pontas de pulverização teve grande influência na caracterização das gotas. Porém os resultados obtidos para cada modelo não necessariamente foram confirmados nas duas vazões (Figuras 16, 17 e 18).

A uniformidade de gotas produzidas por modelos de ponta de pulverização na vazão 015 foi maior do que na vazão 03 para todos os modelos de pontas analisados (Figura 16). A partir de ambos os métodos de determinação de tamanho de partículas (VisiSizer e MasterSizer), é possível segregar alguns modelos para o grupo de gotas mais uniformes (H-F, H-VP e M-TP para a vazão 015; H-F, H-VP, J-JSF e T-XR para a vazão 03) e outros para gotas menos uniformes (T-TP e T-XR para a vazão 015; J-API, K-LBD, M-BD e M-TP para a vazão 03).

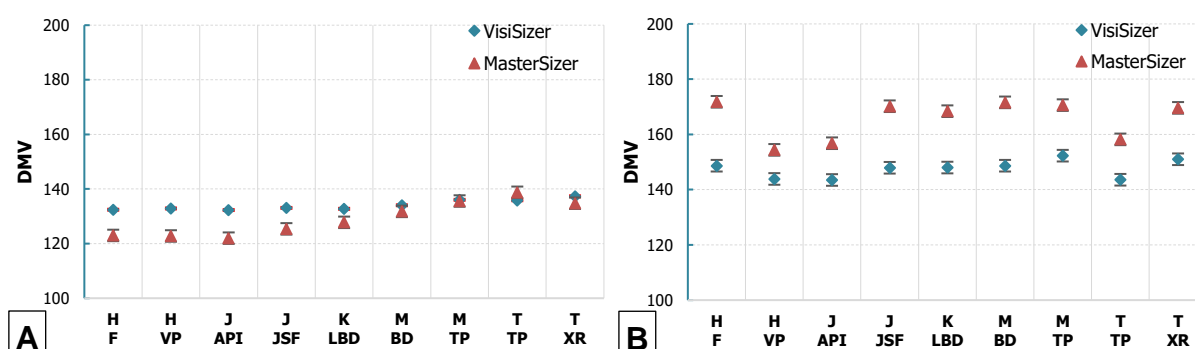


**Figura 16.** Uniformidade de gotas (Span) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (DMS), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.

De acordo com Craig et al. (2014), diversos são os fatores que podem colaborar com a uniformidade de gotas, sendo que o modelo de pontas de pulverização, vazão e composição da calda, além de atuarem sobre o espectro de gotas, podem colaborar para a correta distribuição do produto no alvo. Tendo em vista a vazão de pontas de pulverização, é comum considerar maiores vazões como responsáveis por produzirem gotas de maior tamanho. Porém, avaliando-se os resultados obtidos neste estudo e de outros da literatura, desenvolvidas com os mais variados enfoques, também é possível relacionar à uniformidade das gotas, com maiores vazões resultando em gotas menos uniformes (Nuyttens et al., 2013; Womac et al., 1997).

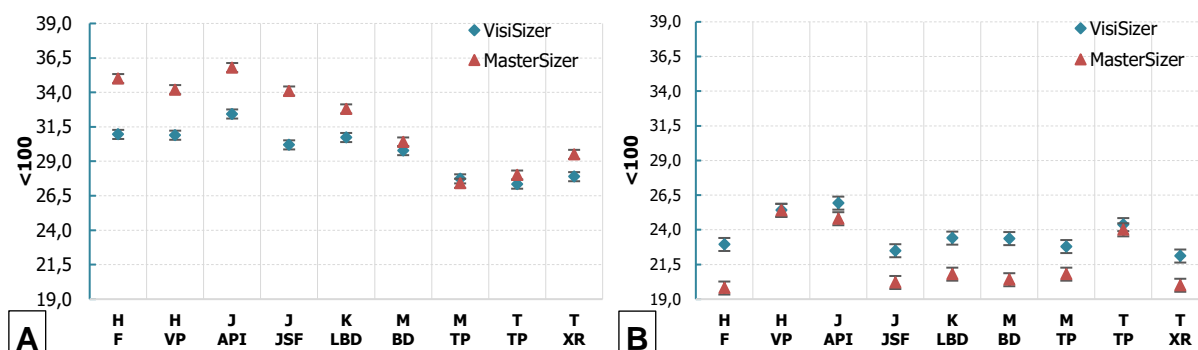
O DMV das gotas produzidas por modelos de ponta de pulverização na vazão 015 foi menor do que na vazão 03 para todos os modelos de pontas analisados (Figura 17). Por ambos os equipamentos (MasterSizer e VisiSizer) foi possível segregar os modelos em diferentes grupos segundo o DMV nas duas vazões, sendo gotas menores (H-F, H-VP, J-API e J-JSF para a vazão 015; H-VP, J-API e T-TP para a vazão 03) e gotas maiores (M-BD, M-TP, T-TP e T-XR para a vazão 015; H-F, J-JSF, K-LBD, M-BD, M-TP e T-XR para a vazão 03).

Foi possível observar uma maior sensibilidade do equipamento MasterSizer na caracterização de gotas de menor tamanho, corroborando com resultados obtidos em outros estudos comparativos de metodologias de mensuração de tamanho de partículas (Fritz et al., 2014; Tuck et al., 1997).



**Figura 17.** Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.

Para o percentual de volume em gotas menores que 100 micrometros, ambos os métodos detectaram maiores acúmulos na vazão 015 (Figura 18). O equipamento MasterSizer tornou mais evidente a diferença entre os modelos que produzem maior e menor percentual em gotas sensíveis à deriva ( $V\% < 100$ ), com valores entre 28 e 36% na vazão 015, enquanto, para os mesmos modelos de pontas, o equipamento VisiSizer retornou nos valores 27 e 32% nesta mesma vazão.

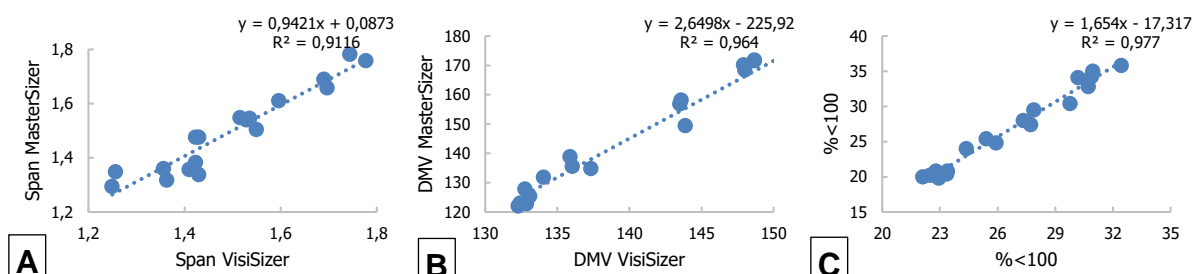


**Figura 18.** Percentual volumétrico em gotas de diâmetro inferior a 100 micrometros ( $V\% < 100$ ) para pontas de pulverização hidráulicas pulverizando água, apenas, na pressão de 3 bar, com vazão 015 (A) e 03 (B). Dados obtidos a partir de duas metodologias de determinação de tamanho de gotas: Mastersizer e VisiSizer. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora destes limites diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.

A partir dos dados obtidos, não é razoável considerar apenas a seleção do modelo de ponta de pulverização e pressão de trabalho como suficientes para determinar a assertividade na escolha por um padrão de gotas, visto que existe variação em diversos atributos do espectro de gotas produzido por modelos de pontas consideradas de um mesmo grupo, em se tratando de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano convencional. Além da variação atribuída para modelo de ponta, o uso de vazões nominais diferentes também teve grande responsividade no espectro de gotas, mesmo se tratando de um mesmo modelo, para o qual se espera que produzam gotas de tamanho semelhante. Salienta-se que a variação do tamanho das gotas, uniformidade e percentual em volume de gotas de pequeno diâmetro foi muito mais influenciada pela vazão de trabalho do que propriamente pelos modelos.

Apesar dos dados numéricos apresentados pelos dois métodos de determinação de tamanho de partículas não serem iguais, especialmente no que se

refere a DMV e  $V\% < 100$ , ambas as técnicas de determinação de tamanho de partículas foram precisas em diferenciar os modelos de pontas de pulverização, visto que os dados obtidos entre os dois equipamentos apresentam alta correlação para todos os parâmetros analisados, conforme ilustrado na Figura 19.

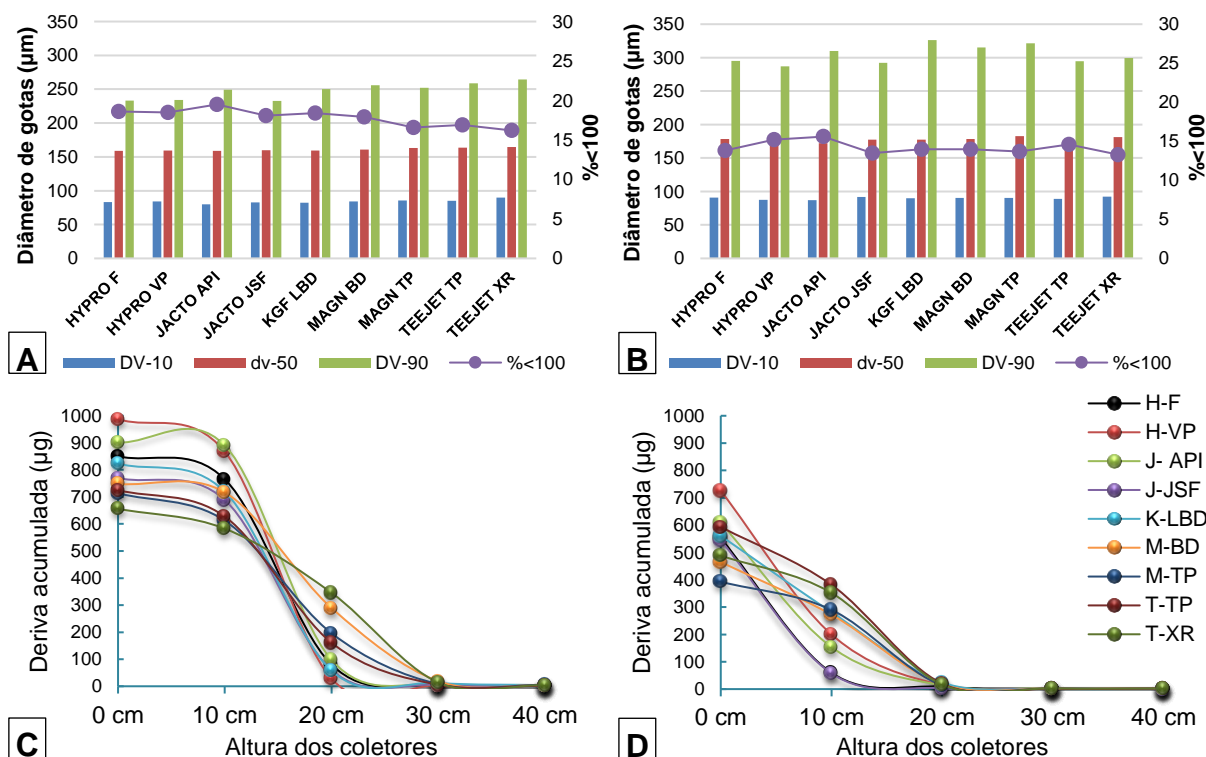


**Figura 19.** Correlação entre as duas metodologias de determinação de tamanho de gotas, MasterSizer e VisiSizer para parâmetros Span (A), DMV (B) e  $\% < 100$  (C).

Desta maneira, ambas as metodologias podem ser empregadas para a caracterização de gotas, sendo capazes de segregar espectros de gotas distintos e assim diferenciar modelos de pontas de pulverização e as gotas obtidas da combinação entre modelo de pontas e constituição da calda. Todavia, os resultados obtidos de um equipamento não devem ser comparados diretamente com os resultados obtidos de outro, sem a devida transformação dos dados.

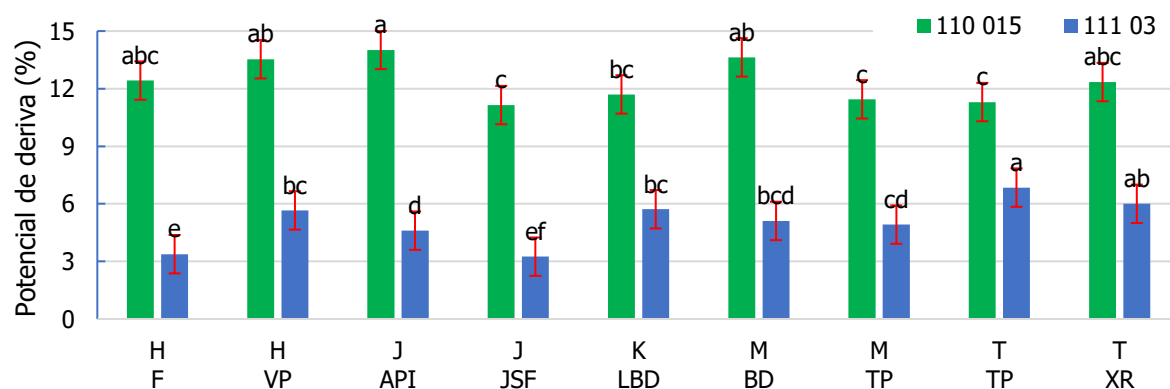
## 5.2 Deriva de pulverização

No que se refere a propensão de gotas a deriva de pulverização, obteve-se diferenças importantes entre vazões e modelos de pontas, apresentando depósitos em diferentes intensidades em cada um dos fios coletores de deriva (Figura 20). Gotas de menor DMV foram mais facilmente arrastadas pela corrente de vento de  $7,2 \text{ km h}^{-1}$  presente no túnel de vento, representado pelos acúmulos detectados nos amostradores de deriva (fios de nylon) localizados a 2,5 metros do ponto de pulverização.



**Figura 20.** Caracterização de tamanho de gotas (dv-10, 50 e 90) e deriva de pulverização em túnel de vento para pontas de pulverização de jato plano nas vazões 015 ( $0,57 \text{ L min}^{-1}$ ) e 03 ( $1,14 \text{ L min}^{-1}$ ), na pressão de 300 kPa. Vazão 015 (A e C); Vazão 03 (B e D).

A propensão de gotas à deriva está intimamente relacionada ao tamanho das gotas, devido a sua massa, sendo que gotas de tamanho reduzido sempre são as mais sensíveis ao araste pelo vento, bem como à evaporação (Butler Ellis et al., 2002; Hiltz e Vermeer, 2013). Os maiores valores de deriva foram registrados para a menor vazão (Figura 21), decorrente do menor tamanho de gotas proporcionadas por este grupo.



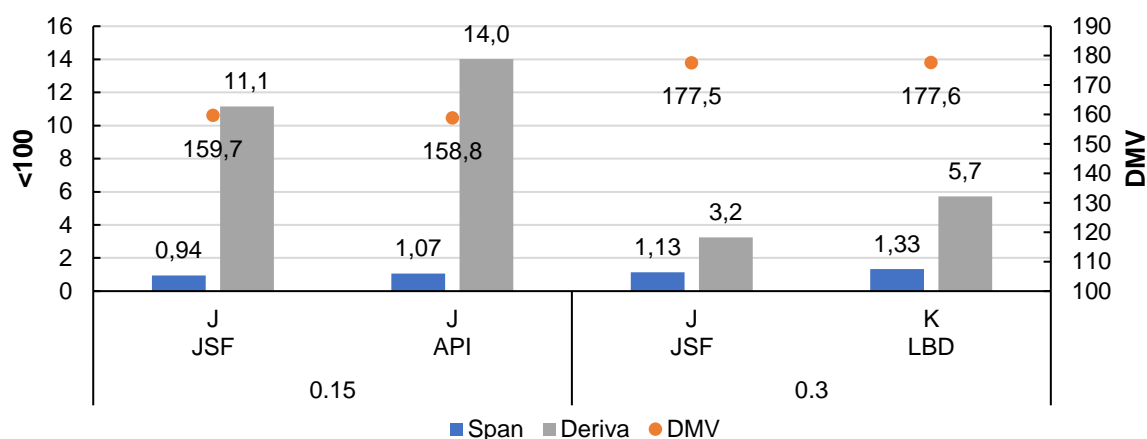
**Figura 21.** Percentual de deriva de pulverização obtidos a partir de avaliações em túnel de vento de circuito fechado, sendo 110015 para os exemplares de

pontas de pulverização com a vazão de  $0,570 \text{ L min}^{-1}$  e 11003 para a vazão  $1,140 \text{ L min}^{-1}$ . Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora das delimitações de cada média diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.

O potencial de perdas gerada pela deriva de pulverização é de suma importância em se tratar de aplicação, já que pequenas porções de produto fitossanitário utilizado para o controle de algum agente patogênico do cultivo podem ser altamente nocivas a organismos sensíveis presentes em áreas vizinhas à área cultivada (Egan et al., 2014; Y. Gil e Sinfort, 2005).

Resultados muito expressivos na redução de deriva são obtidos a partir da seleção de modelos de pontas de pulverização munidas de diferentes tecnologias, como defletoras, com indução de ar e ainda modelos que integram as tecnologias de indução de ar e defletoras (Alves et al., 2017; Doruchowski et al., 2017; Nuyttens et al., 2007). Todavia, conforme levantado neste estudo, modelos que possuem o mesmo tipo de tecnologia, ou para variações de vazão dentro de um mesmo modelo de ponta, também resultam em variações significativas na propensão de gotas à deriva. Ficou evidente que a estratégia de redução de volumes de aplicação por meio da redução da vazão da ponta de pulverização apresenta um incremento expressivo na ocorrência de deriva, representando um aumento de cerca de 140% no volume em gotas arrastadas no túnel de vento. A variação na deriva, considerando-se apenas as diferenças entre modelos de ponta de pulverização, atingiu 26% na vazão 015 (modelos J-API e J-JSF) e 100% na vazão 03 (modelos T-TP e H-F).

Dentre os modelos de pontas de pulverização avaliadas, alguns produziram gotas de DMV bastante semelhantes. Selecionando-se dois modelos com valores de Span diferentes para cada vazão, é possível constatar deriva 21% menor para gotas uniformes na vazão 015 e 44% na vazão 03 (Figura 22).



**Figura 22.** Percentual de deriva para modelos de pontas de pulverização nas vazões de 015 e 03, cada qual com DMV semelhante.

Esse resultado fundamenta justificativas para a consideração do Span como critério para redução de deriva, já que a redução de deriva alcançado chegou a valores muito próximos de redução de deriva apresentadas pelo uso de adjuvantes específicos (Herbst e Wehmann, 2014; Hiltz e Vermeer, 2013), ou ainda modelos de pontas de pulverização com tecnologias específicas desenvolvidas no intuito de redução de deriva (Etheridge et al., 1999; Gil et al., 2014).

### 5.3 Distribuição volumétrica

Os resultados experimentais foram apresentados e discutidos de forma a contemplar inicialmente a influência da pressão de trabalho, seguida pela avaliação dos exemplares de cada modelo em separado, contemplando análise individualizada dos exemplares quanto a distribuição volumétrica, ângulo de abertura e simetria do jato. Na parte final, são comparadas as duas metodologias utilizadas para a determinação da distribuição volumétrica, com coleta simultânea de todos os exemplares de cada modelo de pontas e a coleta de cada exemplar em separado, considerando-se a pressão de 300 kPa.

#### 5.3.1 Pressão de trabalho e distribuição volumétrica

Conforme verificado na Tabela 4, é clara a influência da pressão de trabalho sobre a qualidade da distribuição volumétrica. Na pressão de 100 kPa, o coeficiente de variação apresentou valores muito superiores aos aceitáveis de 10%, valor limite









































































para aplicações em área total por pulverizadores terrestres (FAO, 2001). É possível constatar também que a menor vazão é mais sensível a esta baixa pressão (pontas verdes, 110015), com insatisfatória qualidade de distribuição para todos os modelos (valores de CV que extrapolaram o limite de 10%). Já para a maior vazão (pontas azuis, 11003), alguns modelos alcançaram valores aceitáveis mesmo nesta baixa pressão de trabalho (H-VP, M-BD, T-TP e T-XR).

Incrementando-se a pressão de trabalho para 200 kPa, todos os modelos apresentaram melhorias na qualidade da distribuição e passaram a apresentar valores inferiores a 10%, exceto o modelo M-TP, que não apresentou valores satisfatórios em ambas as vazões. Quando a pressão de trabalho atingiu 300 kPa, a qualidade da distribuição manteve-se razoavelmente constante para todos os modelos de pontas em ambas as vazões, sendo que o modelo M-TP manteve coeficiente de variação elevado, acima de 10%. Na pressão de 400 kPa, para os modelos de maior vazão (azuis, 11003), foram verificadas melhorias para os modelos J-API, K-LBD e M-BD, piora para os modelos da Teejet (T-TP e T-XR), enquanto não foram constatadas diferenças para os demais modelos (H-F, H-VP, J-JSF e M-TP). Para a menor vazão (verdes, 110015), este incremento de pressão resultou na piora da qualidade da distribuição para a maioria dos modelos, sendo que para os modelos J-JSF e K-LBD foi suficiente para que o CV superasse os 10%.

Assim, é possível afirmar que a pressão de trabalho influencia na distribuição volumétrica, porém a influência da pressão é variável para os modelos de ponta testados, não sendo constante nem mesmo para vazões distintas de um mesmo modelo de ponta. De maneira geral, para pontas hidráulicas de jato plano, os melhores resultados foram obtidos para a pressão de trabalho de 300 kPa em ambas as vazões analisadas, assemelhando-se aos resultados obtidos por Cunha (2007), que analisou a distribuição volumétrica de pontas de jato plano produzidas por diferentes materiais.

Para pontas munidas de outras tecnologias, como defletora, jato plano duplo e jato cônico, melhorias com o acréscimo de pressão são comumente encontradas para pontas de jato plano, enquanto o resultado oposto é obtido para o jato cônico vazio, com piora na qualidade de distribuição com o aumento da pressão de trabalho (Cunha e Silva, 2010).

**Tabela 4.** Distribuição volumétrica para nove modelos de pontas de pulverização para quatro pressões de trabalho, utilizando seis exemplares de cada ponta simultaneamente, nas vazões nominais 0,57 (Verde) e 1,14 L min<sup>-1</sup> (Azul).

Pressão (kPa)		H-F	H-VP	J-API	J-JSF	K-LBD	M-BD	M-TP	T-TP	T-XR	
110015	100	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	20,8%	30,2%	18,6%	27,7%	15,3%	13,7%	26,0%	21,0%	14,3%
	200	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	3,0%	9,7%	7,5%	5,3%	7,8%	5,7%	12,3%	8,2%	7,3%
	300	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	6,9%	7,7%	6,2%	7,0%	9,2%	6,4%	15,1%	5,5%	7,2%
	400	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	7,2%	8,3%	7,0%	11,3%	12,7%	8,1%	16,0%	5,3%	7,0%
11003	100	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	15,1%	9,0%	10,5%	13,6%	14,4%	8,9%	13,7%	8,8%	8,4%
	200	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	5,8%	4,9%	8,7%	4,2%	10,0%	7,2%	11,7%	4,1%	6,4%
	300	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	4,6%	4,5%	7,7%	3,3%	9,4%	6,7%	11,6%	6,5%	6,5%
	400	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	 Dist. Vo l. acumulada	
		CV	4,4%	4,4%	5,5%	3,6%	6,1%	3,9%	11,6%	8,5%	7,1%

CV= Coeficiente de Variação.













































































































### 5.3.2 Distribuição volumétrica para exemplares de mesmo modelo

Apesar de todos os exemplares de pontas de pulverização de um mesmo lote serem submetidas ao mesmo processo de fabricação, é possível que haja sutis diferenças entre eles, de forma que o padrão de pulverização não seja igual para todas elas, tampouco que esta qualidade seja mantida para exemplares com vazões nominais diferentes, mesmo que estas sejam do mesmo modelo.

Na Tabela 5 está representada a distribuição volumétrica de cada um dos três exemplares de pontas testadas para cada modelo, acompanhada dos gráficos de distribuição volumétrica com o volume acumulado por seis repetições de cada ponta, dispostas lado a lado, com a distância entre si de 50 centímetros, com respectivo valor de coeficiente de variação (CV%).

Nesta tabela evidencia-se que todos os modelos de pontas de pulverização testados possuem um padrão de distribuição comum: volume acumulado decrescente do centro do jato para as extremidades. Estes tipos de pontas com distribuição descontínua são recomendados para equipar barra de pulverização, com sobreposição dos jatos (Calore et al., 2015).

**Tabela 5.** Distribuição volumétrica para nove modelos de pontas de pulverização, utilizando um exemplar de cada ponta e o padrão volumétrico acumulado, considerando-se a sobreposição de seis jatos produzidos por cada exemplar, em espaçamento de 50 centímetros entre si.

Rep.		H-F	H-VP	J-API	J-JSF	K-LBD	M-BD	M-TP	T-TP	T-XR
1	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	5,3%	7,4%	4,6%	6,7%	8,8%	6,3%	8,5%	4,7%	4,3%
2	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	5,5%	5,8%	7,3%	5,2%	8,1%	6,0%	20,8%	5,0%	6,7%
3	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	5,1%	7,4%	3,0%	6,3%	9,6%	4,1%	9,1%	4,4%	4,9%
1	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	3,7%	2,6%	6,1%	4,6%	10,1%	5,8%	8,2%	4,7%	5,2%
2	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	1,9%	4,4%	5,8%	4,6%	15,1%	6,8%	7,7%	4,8%	4,9%
3	1 exemplar									
	Acumulativo									
	CV	1,9%	3,7%	3,4%	4,5%	12,6%	4,7%	13,3%	5,2%	4,7%

CV= Coeficiente de Variação de distribuição volumétrica. Vazões nominais 0,57 (Verde) e 1,14 L min<sup>-1</sup> (Azul), na pressão de trabalho de 300 kPa.

Existem variações na distribuição volumétrica entre exemplares do mesmo modelo de pontas, sendo estas diferenças mais acentuadas para alguns modelos (J-API e M-TP para cor verde e K-LBD e M-TP para cor azul). Os modelos de pontas que não apresentaram desempenhos satisfatórios na maioria dos exemplares testados (K-LBD e M-TP) resultaram em coeficiente de variação superior a 10% em ambas as vazões (0,57 e 1,14 L min<sup>-1</sup>, verde e azul, respectivamente).

Graficamente, é evidente a diferença de distribuição volumétrica promovida por alguns modelos de pontas de pulverização de jato plano, como também é possível perceber diferenças entre os exemplares dentro de um mesmo modelo de ponta. Além da distribuição volumétrica, é perceptível também a faixa de aplicação promovida pelas pontas, influenciada pelo ângulo de abertura do jato (Tabela 6). Segundo dados fornecidos nos catálogos dos fabricantes, o ângulo de abertura do jato para todos os modelos de pontas testados, na pressão de trabalho utilizada, deveria ser de 110 graus. Todavia, os valores de abertura do jato obtidos para alguns modelos foram

significativamente inferiores, não atingindo nem mesmo 100 graus (M-TP vazão 015 e J-JSF vazão 03). Para a altura de pulverização utilizada, de 50 centímetros, o deficiente ângulo de abertura do jato não comprometeu a distribuição volumétrica, sendo que a sobreposição dos jatos ainda foi suficiente para promover uma distribuição uniforme.

**Tabela 6.** Médias para a distribuição volumétrica e ângulo de abertura do jato para nove modelos de pontas de pulverização, em duas vazões (0,57 e 1,14 L min<sup>-1</sup>).

	Dist. Vol. CV (%)		Ângulo do jato	
	110 015	110 03	110 015	110 03
H-F	5,33 b	2,49 c	102,67 ab	101,91 c
H-VP	6,85 ab	3,52 c	103,42 ab	107,26 b
J-API	4,95 b	5,15 c	103,78 ab	103,78 c
J-JSF	6,08 ab	4,58 c	100,38 bc	97,98 d
K-LBD	8,83 ab	12,59 a	103,78 ab	103,78 c
M-BD	5,47 b	5,80 bc	103,78 ab	111,72 a
M-TP	12,82 a	9,72 ab	99,19 c	103,42 c
T-TP	4,71 b	4,94 c	105,50 a	108,92 b
T-XR	5,30 b	4,93 c	103,78 ab	108,92 b
dms	7,27	4,4	3,47	2,43
CV	37,93	25,75	1,18	0,8

As mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A abertura do ângulo do jato pode impactar significativamente na qualidade da distribuição especialmente em situações em que a barra de pulverização se encontra a menores distâncias do alvo (Bauer e Raetano, 2004; Cunha, 2007), fato este que ocorre frequentemente em aplicações no campo, principalmente com pulverizadores equipados com barras de pulverização de grande tamanho, onde qualquer oscilação vertical no chassi do pulverizador pode representar grandes variações nas extremidades da barra.

Outro fator que representa a qualidade de um jato de pulverização é a sua simetria, que considera a relação do acúmulo volumétrico entre os lados esquerdo e direito do jato (Figura 23). Coeficientes de determinação superiores a 0,96 indicam que o jato produzido pela ponta de pulverização apresenta simetria satisfatória (Calore et al., 2015). Jatos que não apresentam boa simetria resultam em problemas na distribuição volumétrica quando utilizados em uma barra de pulverização, comprometendo a qualidade da aplicação.

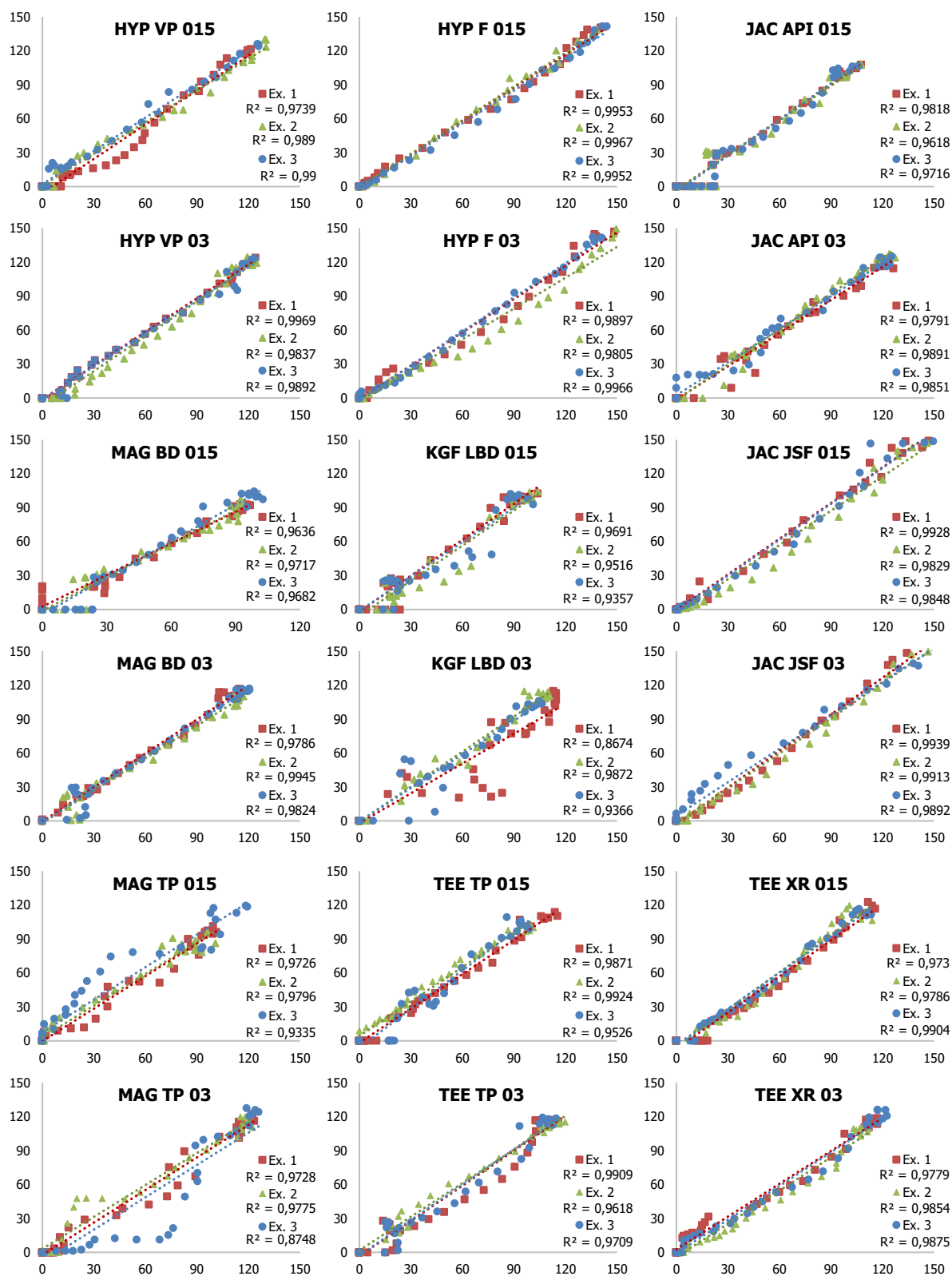
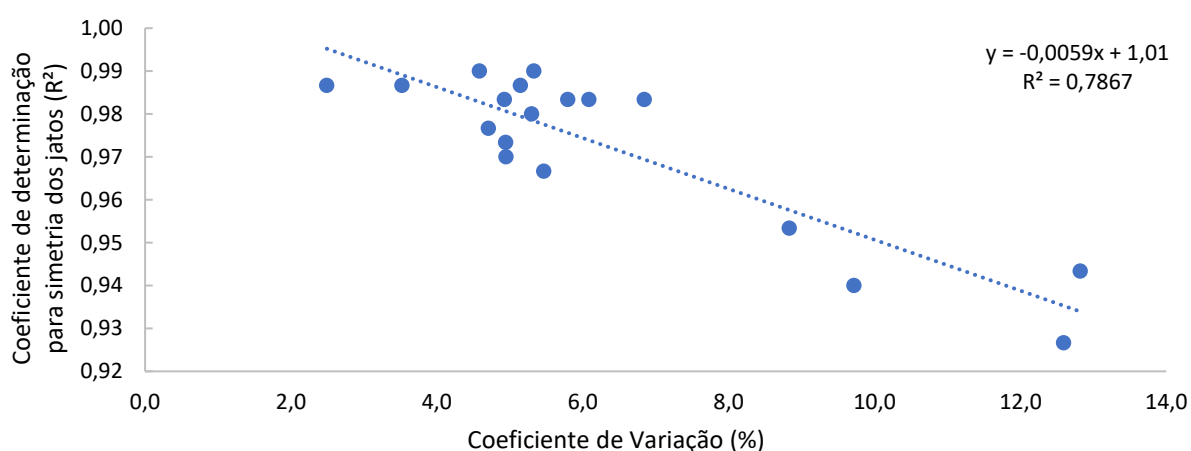


Figura 23. Simetria dos jatos de pulverização, com correlação dos acumulados volumétricos entre o lado esquerdo e o lado direito do jato.

Alguns exemplares dos modelos de ponta K-LBD e M-TP, em ambas as vazões, apresentaram jatos com pobre simetria, com coeficientes de determinação próximos a 0,86, que pode ser considerada a responsável pela insatisfatória distribuição volumétrica observada na Tabela 11. Essa afirmação fundamenta-se na elevada correlação existente entre a simetria do jato e a consequente distribuição volumétrica apresentada no gráfico da Figura 24, embasada nos resultados obtidos de nove modelos de pontas e duas vazões, com forte tendência de piora na qualidade da distribuição em consequência da assimetria dos jatos.

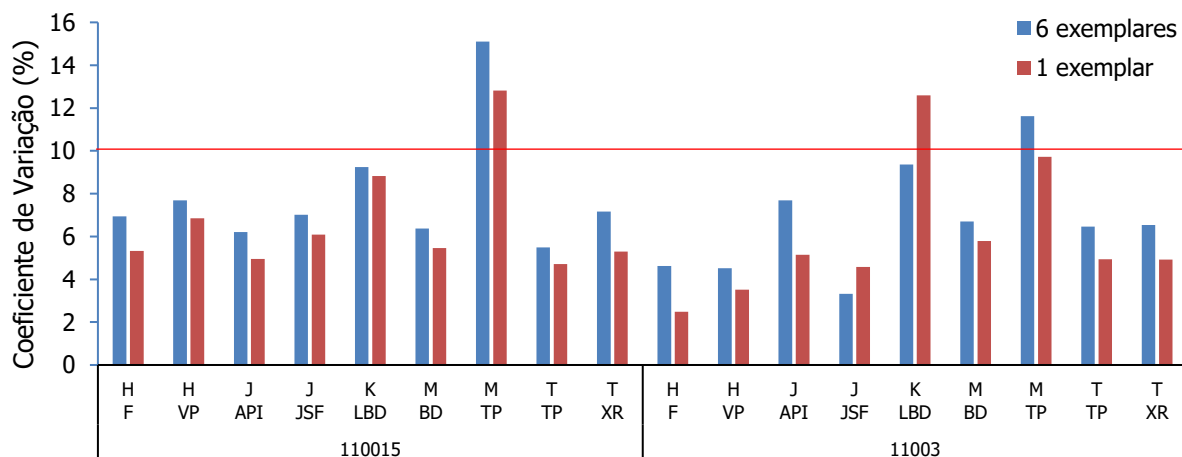


**Figura 24.** Correlação entre Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), que considera a simetria dos jatos de pulverização, e o Coeficiente de Variação da distribuição volumétrica (CV%)

Havendo problemas na conformação dos jatos de um único exemplar de ponta de pulverização, este desempenho insatisfatório pode comprometer a qualidade da distribuição de produtos de toda a faixa de aplicação da barra do equipamento, uma vez que, mesmo havendo sobreposição lateral dos jatos de pontas vizinhas, as falhas promovidas por um jato irregular dificilmente são corrigidas.

### **5.3.3 Comparativo entre métodos de determinação da distribuição volumétrica**

Percebe-se satisfatória similaridade entre os resultados obtidos das duas metodologias testadas, a que considera a coleta simultânea de vários exemplares de pontas de pulverização e a outra baseada na coleta de um único exemplar, seguido de cálculo de sobreposição de jatos (Figura 25). De maneira geral, o C.V. obtido da distribuição calculada apresentou valores levemente inferiores para a maioria dos modelos, com exceção para o modelo K-LBD na vazão de  $1,14 \text{ L min}^{-1}$ .



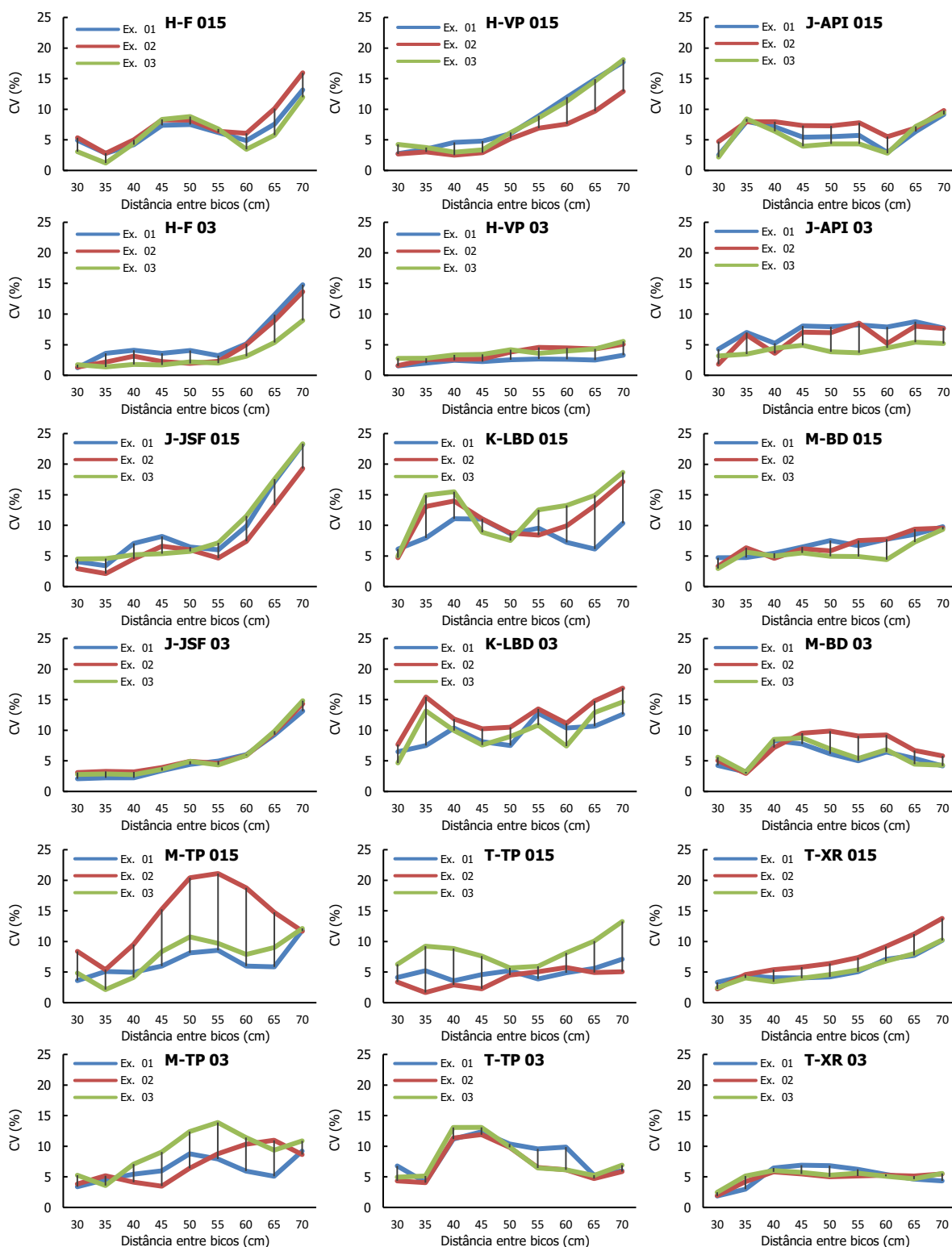
**Figura 25.** Comparação de duas metodologias para determinação de distribuição volumétrica, baseadas em coleta simultânea de 6 pontas de pulverização e a partir do somatório de acumulados de uma única ponta, para 9 modelos de pontas de pulverização nas vazões verde a azul (Visiflo®), na pressão de 300 kPa.

Diferenças entre os métodos de determinação da distribuição volumétrica podem ser explicados pela forma com que os exemplares são fixados à barra de pulverização, uma vez que, para jatos imperfeitos, essa desuniformidade na distribuição de um exemplar pode ser mascarado ou evidenciado pelos exemplares situados em seu entorno.

De maneira geral, os resultados obtidos utilizando-se a metodologia que considera a coleta simultânea de várias pontas de pulverização tende a tornar-se semelhante a outra metodologia na medida em que forem avaliados mais exemplares do modelo de ponta em questão, utilizando-se a média dos valores obtidos da segunda metodologia na comparação com a primeira.

### **5.3.4 Distribuição volumétrica para diferentes espaçamentos entre bicos**

Simulando-se diversos espaçamentos entre bicos, é possível determinar qual espaçamento produz a melhor uniformidade de distribuição para cada modelo de ponta e vazão (Figura 26). Neste sentido, foram encontradas respostas distintas para modelos, vazões e até mesmo entre exemplares para alguns modelos.



**Figura 26.** Coeficiente de Variação da distribuição volumétrica para modelos, vazões e distâncias entre bicos de pulverização para três exemplares de cada modelo de ponta de pulverização.

Considerando o intervalo de espaçamento entre bicos de 30 a 70 cm, observou-se uma tendência de piora na qualidade da distribuição com o afastamento entre os

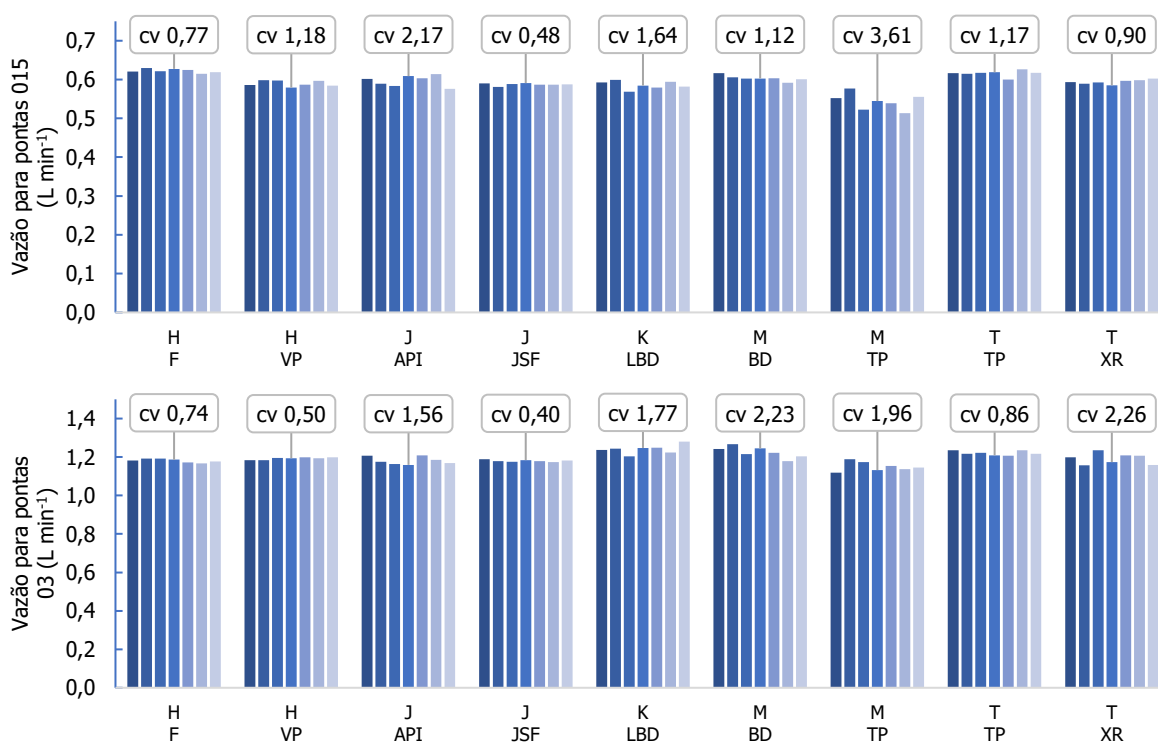
bicos para a grande maioria dos modelos, salvo as exceções M-BD, T-TP e T-XR na vazão 03, que apresentaram melhorias na distribuição também no maior espaçamento.

Para alguns modelos, o espaçamento entre bicos de 50 cm resultou em distribuição volumétrica bastante insatisfatória, superando em alguns casos o limite de CV de 10% (M-TP em ambas as vazões). Em diversas pesquisas (Bauer et al., 2006; Calore et al., 2015; Cunha, 2007; Ferreira et al., 2011), este espaçamento de 50 cm entre bicos é definido como ideal para pontas de pulverização de jato plano com abertura de jato de 110 graus e altura de barra de 50 centímetros.

Ao se considerar a similaridade de resultados para os exemplares dentro de um mesmo modelo, os modelos K-LBD e M-TP em ambas as vazões e o modelo T-TP na vazão 015 apresentaram os piores resultados, ou seja, existe grande variação entre os jatos produzidos por cada exemplar, o que dificulta a tomada de decisão de qual seria a configuração que forneça a melhor uniformidade de distribuição volumétrica. Quando estes exemplares que apresentam padrões de distribuição diferentes são adicionados em uma barra de pulverização, podem comprometer toda a qualidade de distribuição, independentemente do espaçamento entre bicos ou altura da barra utilizados.

### **5.3.5 Vazão**

A vazão produzida por pontas de pulverização é normatizada pela ISO 5682-1, sendo que variações de até 2,5% são consideradas toleráveis entre pontas de pulverização novas. Para os modelos analisados, em ambas as vazões nominais, a variação ficou abaixo deste limite pré-estabelecido, com exceção para o modelo M-TP na vazão 015, que apresentou variação de vazão entre exemplares superior a 3,6% (Figura 27). De certa maneira, problemas relacionados com a vazão de pontas de pulverização podem comprometer a qualidade da distribuição volumétrica, já que a vazão menor de um exemplar resulta em aplicações deficitárias sobre a superfície alvo na faixa aplicada por esta ponta. Assim, tanto a distribuição volumétrica proporcionada por cada exemplar como a vazão são importantes para definir a qualidade da aplicação, e ambos os parâmetros devem estar alinhados para garantir a qualidade da aplicação como um todo.

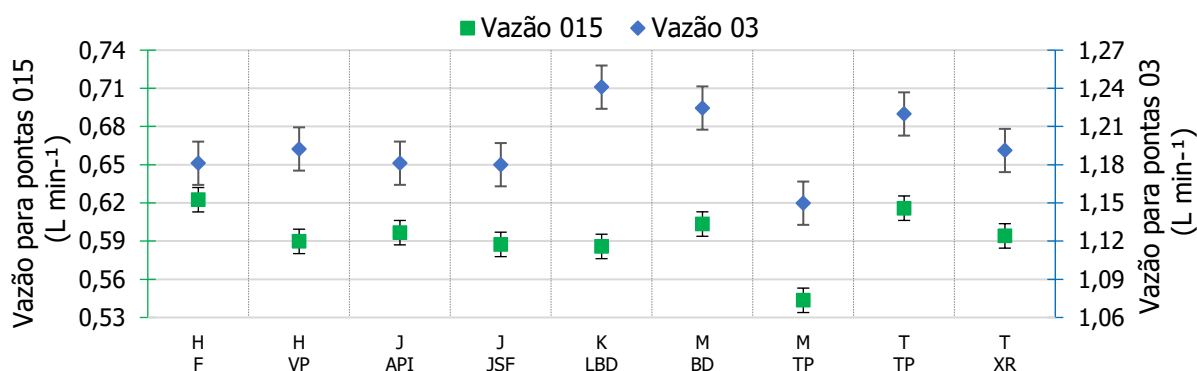


**Figura 27.** Coeficiente de variação da vazão calculado entre 07 exemplares de cada modelo de ponta de pulverização.

Em algumas condições, critérios técnicos definem a vazão das pontas de pulverização de forma a fornecer ao alvo a quantidade exata recomendada para a aplicação, considerando o volume do dossel foliar (Gil et al., 2013), enquanto em outras tecnologias inovadoras, válvulas solenoides ajustam o fluxo de calda nos bicos de pulverização para otimizar a vazão em caso de manobras. Nestas condições em especial, problemas na vazão das pontas de pulverização pode condenar a acurácia destas tecnologias, inutilizando avanços tecnológicos disponibilizados para trazer retornos positivos nas aplicações.

Ao se considerar a variação de vazão obtida entre os exemplares, novamente é encontrada diferença significativa entre modelos para ambas as vazões testadas. Para a vazão 015, os modelos H-F e T-TP apresentaram vazões superiores aos modelos H-VP, J-API, J-JSF, K-LBD e T-XR, e estes superaram a vazão obtida para o modelo T-TP. Para a vazão 03, as maiores vazões foram registradas para os modelos K-LBD, M-BD e T-TP, enquanto o modelo M-TP novamente apresentou a menor vazão (Figura 28). Ainda assim, apenas um modelo apresentou variação superior a 2,5% entre seus exemplares (M-TP 015). Comparando-se os modelos

dentro de cada vazão, foi verificada diferença de até 13% entre modelos na vazão 015 e 7% na vazão 03.



**Figura 28.** Médias de vazão obtidas de 7 exemplares para cada modelo de ponta de pulverização, para as vazões 015 e 03. Barras de erros representam valores de diferença mínima significativa (dms), de modo que valores situados fora das delimitações de cada média diferem entre si, com 95% de confiabilidade conferida pelo teste estatístico Tukey.

A vazão de pontas de pulverização é regulamentada pela norma ISO 5682-1, sendo a identificação das pontas de pulverização facilmente realizada pela coloração da ponta (ASABE, 2009). A ocorrência de vazões divergentes à apresentada na norma pode induzir a erros na escolha da cor adequada para a aplicação, pondo em risco a confiabilidade depositada sobre esta forma de seleção. Vale salientar que diferenças nas vazões podem também ser obtidas por alterações na constituição das caldas fitossanitárias, sendo que a viscosidade da calda pode influir significativamente sobre este parâmetro.

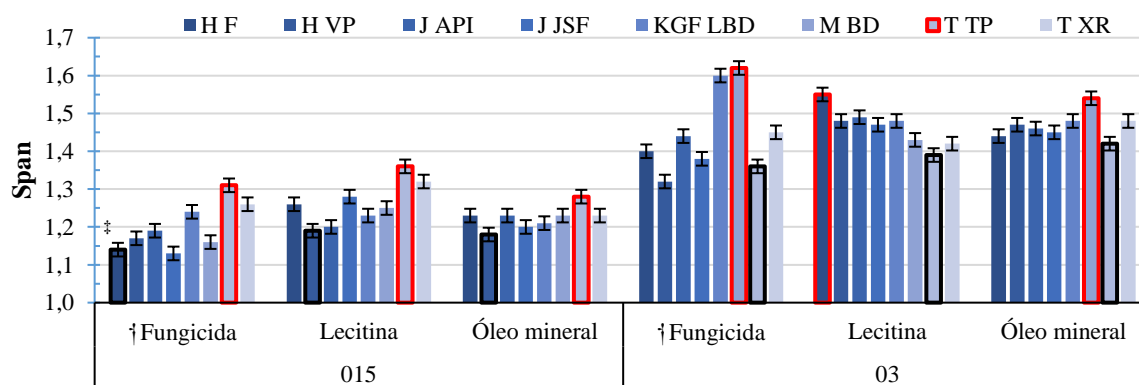
## 5.4 Influência da uniformidade de gotas e o volume de calda na qualidade da distribuição de fungicidas em soja

Neste estudo os modelos que produzem diferentes padrões de uniformidade (mais e menos uniformes), para cada calda fitossanitária e vazão nominal de pontas, são utilizados na aplicação em campo experimental, na cultura da soja, sendo consideradas as variáveis cobertura e depósitos em três estratos do dossel da cultura.

### 5.4.1 Seleção de pontas de pulverização quanto a uniformidade de gotas

As bases de seleção dos pontas para o experimento de campo consideraram a uniformidade do tamanho das gotas e a frequência dessas ocorrências. Assim, foram selecionados os maiores e menores valores de Span verificados para modelos de ponta de cada vazão e líquido de pulverização.

Para a menor vazão, os modelos que produziram as gotas mais uniformes foram os modelos F (Hypro) para a calda de somente fungicida, e VP (Hypro) para as demais caldas (Figura 29), enquanto o modelo TP (Teejet) proporcionou as gotas menos uniformes para todas as caldas. Para a maior vazão, as gotas mais uniformes foram produzidas pelo modelo TP (Teejet) para todas as caldas, enquanto gotas menos uniformes foram obtidas pelo modelo VP (Hypro) para a calda fungicida contendo o adjuvante lecitina, e BD (Magnojet) para as demais caldas. Estes modelos selecionados para representar os extremos de maior e menor uniformidade, por vezes, apresentavam semelhança estatística para com outros modelos. Nestes casos, a frequência da ocorrência para as demais caldas foi o critério adotado.



**Figura 29.** Caracterização das gotas por Span (Coeficiente de Uniformidade) para cada modelo de ponta de pulverização e calda fitossanitária utilizada.

† Produtos utilizados: Fungicida (somente fungicida), Lecitina (Fungicida adicionado ao adjuvante à base de Lecitina), e Óleo mineral (Fungicida adicionado ao adjuvante óleo mineral). ‡ Os valores de dms (diferença mínima significativa) representaram diferenças para os valores de Span para cada líquido de pulverização em cada vazão. As colunas gráficas circuladas em preto e vermelho representaram os maiores e menores valores de Span para cada fator (vazão e constituição da calda), empregados nos testes de campo. CV (%) = 2,60.

Quanto ao efeito específico dos tratamentos nas variações de Span, o mais significativo foi observado para a vazão, seguido pelos modelos de pontas e pelas caldas de pulverização.

Houve diferença entre as caldas ( $F = 53,48^{**}$ ) sendo que o fungicida pulverizado sozinho apresentou o menor Span (1,32), comparado ao fungicida adicionado com adjuvantes, que não diferiram significativamente entre si (1,35 para Lecitina e 1,36 para óleo mineral). No entanto, a amplitude do valor da Span obtida para a calda adicionada de óleo mineral foi menor que a dos outros líquidos, o que significa que os modelos de pontas influenciaram menos nessa constituição de calda.

Os modelos de ponta de pulverização também tiveram influência no Span, mas com resultados independentes dentro de cada vazão. Os modelos que mostraram as gotas uniformes na vazão 015 tiveram resultados diferentes na vazão 03. O modelo que apresentou menor valor de Span na vazão 015 por sua vez, apresentou maior Span na vazão 03 (Teejet TP).

Pontas de pulverização do mesmo modelo, mas com vazões nominais diferentes, apresentam como única diferença o tamanho do orifício de saída da calda. No momento em que o jato de calda se move para fora do orifício da ponta, ele se choca com o ar que se encontra no entorno. Esse atrito afeta em menor intensidade aos jatos de maior vazão, uma vez que estes apresentam maior resistência ao cisalhamento da calda e à formação de gotas, resultando em gotas maiores (Lin e Reitz, 1998).

As características físico-químicas da calda de pulverização também exercem uma grande influência no tamanho das gotas, podendo resultar em diferentes valores de Span. Misturas em tanque contendo diferentes adjuvantes geralmente resultam em variações significativas nos espectros de gotas pulverizados (Costa et al., 2017; Griesang et al., 2017). A redução no volume de pulverização significa redução de água, aumentando a concentração de produtos formulados em uma mistura de tanque. Neste caso, o efeito dos produtos na calda torna-se ainda mais importante.

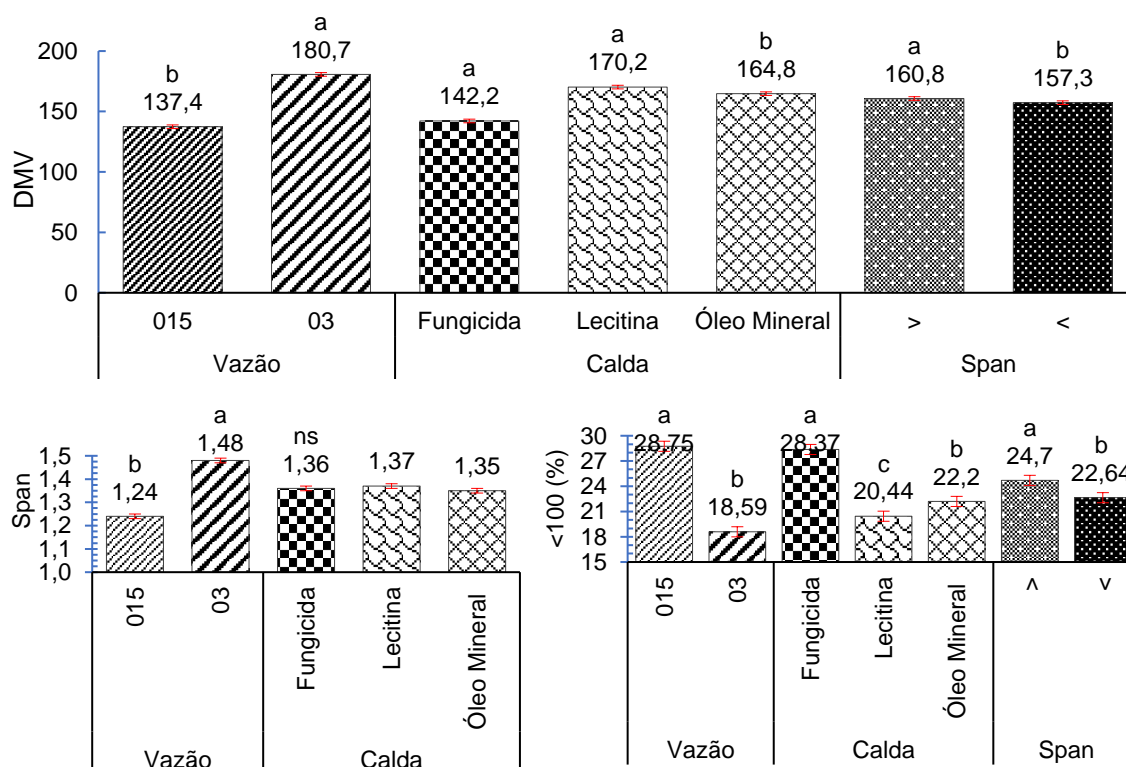
Por outro lado, a composição da calda atua diretamente no comprimento da lâmina de líquido formada entre o orifício da ponta e o ponto de início da formação de gotas, especialmente para os modelos de pontas utilizados nesta pesquisa, modelos de jato plano convencionais. Em geral, quanto mais longa a lâmina, mais fina a gota produzida (Butler-Ellis e Tuck, 1999; Spanoghe et al., 2007). Este fenômeno é resultado de algumas das propriedades físico-químicas da calda, como tensão superficial e viscosidade. Quanto maior a viscosidade da calda, menor é o efeito perturbador do atrito do ar, resultando em gotas mais grossas (Dombrowski e Fraser, 1954).

Além disso, o modelo dos pontas pode afetar significativamente as propriedades dos espectros de gotas, como o Span, mesmo para pontas construídas com a mesma tecnologia. Isso pode acontecer por causa do material com o qual as pontas são feitas, o que influencia no processo de fabricação e, portanto, pode afetar a vazão, o padrão de distribuição do volume de pulverização e o espectro de gotas (Spanoghe et al., 2007).

Os valores de Span para os modelos de pontas selecionados variaram de 1,18 para vazão 015 a 1,57 para vazão 03, ambos para a calda constituída somente de fungicida (Figura 29). Esta informação corrobora com a hipótese primária deste estudo, confirmando a existência de diferenças na qualidade de gotas produzidas por modelos de pontas de pulverização de mesma tecnologia, o que pode resultar em diferentes desempenhos destas gotas em aplicações no campo, já que o maior Span significa maior discrepância do tamanho das gotas para o DMV da amostra (Heidary et al., 2014). Desta forma, a presença de gotas maiores do que o tamanho desejado pode resultar em perdas devido a escorrimento ou má distribuição do produto na área pulverizada, com concentração em pequenas áreas onde estas grandes gotas se depositam (Almeida et al., 2016; Butler-Ellis e Tuck, 1999; Yu et al., 2009). Por outro lado, as gotas mais finas representam uma quantidade significativa suscetível à deriva e evaporação na trajetória ao alvo (Ferguson, Chechetto, O'Donnell, et al., 2016; Griesang et al., 2017).

### 5.4.2 Caracterização de gotas em tamanho, uniformidade e suscetibilidade à deriva

Para o tamanho das gotas, caracterizado por DV10, DMV e DV90, a vazão foi o fator que resultou nas maiores diferenças (Figura 30). Foram verificadas diferenças para Span, especialmente relacionadas às duas vazões. Para o  $V% < 100$ , todos os fatores testados atuam de forma significativa, com a maior influência relacionada à vazão, seguida pela composição da calda e uniformidade das gotas.



**Figura 30.** Caracterização do espectro de gotas para o volume de aplicação, composição da calda de pulverização e uniformidade de gotas.

Colunas situadas dentro dos limites estipulados pelas barras de erros, dentro de cada parâmetro analisado, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Vazão para modelos 015 = 0,57 L min<sup>-1</sup> e para modelos 03 = 1,14 L min<sup>-1</sup>. DMV = Diâmetro Mediano Volumétrico; Span = Coeficiente de Uniformidade;  $V% < 100$  = Porcentagem de volume em gotas menores que 100 micrômetros; DV10 = diâmetro que representa as 10% menores gotas; DV90 = diâmetro que representa as 10% maiores gotas. Coeficiente de Variação (%): DMV = 2,04; DV10 = 2,53; DV90 = 2,31; Span = 2,00;  $V% < 100$  = 5,92.

A vazão 03 resultou em gotas maiores. Pontas de pulverização com maior vazão nominal naturalmente produzem gotas maiores devido maior tamanho do orifício onde passa a calda no momento da formação do jato (Ferguson, Hewitt, et al., 2016). Quanto ao fator constituição da calda, as maiores gotas foram produzidas para

a calda contendo o adjuvante Lecitina, seguido pelo óleo mineral e estas, por sua vez, diferiram da ausência de adjuvante, que apresentou o menor DMV. A adição de alguns grupos de adjuvantes tem sido muito responsiva a grupos específicos de modelos de pontas (Hilz e Vermeer, 2013; Knowles, 2008). A contribuição do modelo da ponta de pulverização para o tamanho das gotas tem sido objeto de vários estudos, sendo uma das ferramentas mais importantes para mitigação de deriva, principalmente para reduzir o volume acumulado em gotas finas (Dorr et al., 2013; E. Gil et al., 2014; Griesang et al., 2017).

Para a variável Span, os modelos dos pontas com maior vazão resultaram em gotas menos uniformes. Isso mostra que o aumento do DMV, encontrado para maiores vazões, não está relacionado exclusivamente ao aumento progressivo do tamanho de todas as gotas no espectro, mas se deve principalmente aos maiores valores registrados para o DV90, aumentando seu contraste em relação ao para DV10, e assim, resultando em maior valor de Span.

Considerando o fator de constituição da calda sobre a porcentagem de volume representada por gotas sensíveis à deriva ( $V% < 100$ ), os maiores valores foram verificados para a calda composta apenas de fungicida, diferindo daqueles com adjuvantes. Para as diferentes uniformidades, houve respostas no  $V% < 100$ , com menores valores para gotas mais uniformes. Reduções no volume de gotas com tamanho menor que 100  $\mu\text{m}$  são importantes em relação à segurança das aplicações, já que gotas muito finas são as mais propensas a contaminar as áreas de entorno devido à predisposição à deriva (Damak et al., 2016; E. Gil et al., 2014).

Pela interação entre vazão e uniformidade de gotas (Tabela 7), os tratamentos com gotas uniformes para a vazão 015 apresentaram DMV menor (4,3%) e, mesmo assim, resultaram em menor porcentagem de volume nas gotas suscetíveis à deriva (6,7 %). Para a vazão 03, nenhuma diferença foi registrada para o DMV, mas mais uma vez uma redução significativa nas gotas sensíveis à deriva foi registrada para as gotas uniformes (10,8%). Assim, é possível considerar que a uniformidade do tamanho das gotas de pulverização é um fator importante na redução de perdas por deriva e possibilitam aplicações mais seguras (Matthews et al., 2014).

**Tabela 7.** Interação entre taxa de vazão do bico e uniformidade de pulverização (Span)

	DMV				Span				V%<100			
	015		03		015		03		015		03	
N unif	140,4	aB	181,1	nsA	1,32	aB	1,6	aA	29,8	aA	19,7	aB
Unif	134,4	bB	180,3	A	1,17	bB	1,4	bA	27,8	bA	17,5	bB
dms (linha)	2,682				0,02				1,16			

As mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha dentro de cada parâmetro analisado não diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Fungicida (somente fungicida), Lecitina (Fungicida adicionado ao adjuvante à base de Lecitina), e Óleo mineral (Fungicida adicionado ao adjuvante óleo mineral). DMV = Diâmetro Mediano Volumétrico; Span = Coeficiente de Uniformidade; V%<100 = Porcentagem de volume em gotas menores que 100 micrômetros.

Para a composição da calda e uniformidade das gotas (Tabela 8), a calda composta pelo adjuvante da lecitina apresentou maiores valores de DMV para o grupo de gotas não uniformes, explicado pelo aumento da variável DV90 (Figura 30). Ambos os grupos de gotas uniformes e não uniformes mostraram gotas de DMV mais baixas para a calda composta apenas de fungicida. A adição de adjuvantes aos tratamentos tem o potencial de influenciar o tamanho das gotas, aumentando o DMV e reduzindo as perdas de deriva e evaporação (Ferguson et al., 2014; Griesang et al., 2017).

Resultados relevantes também foram obtidos para a variável V%<100, com os maiores valores obtidos para o grupo de gotas não uniformes, constituídas apenas por fungicida. Isso significa que, para este caso, a uniformidade das gotas tem um papel importante na segurança da aplicação, uma vez que gotas com o mesmo DMV, mas de um modelo de ponta de pulverização que produz gotas mais uniformes, têm menor volume em gotas finas (Tabela 8).

**Tabela 8.** Interação entre a pulverização de líquidos e a uniformidade de gotas

	DMV			Span			V%<100					
	Fungicida	Lecitina	Óleo mineral	Fungicida	Lecitina	Óleo mineral	Fungicida	Lecitina	Óleo mineral			
N unif	142,6 <sup>nsC</sup>	173,8 <sup>aA</sup>	165,8 <sup>nsB</sup>	1,47 <sup>aA</sup>	1,45 <sup>aA</sup>	1,41 <sup>aB</sup>	30,2 <sup>aA</sup>	21,1 <sup>nsB</sup>	22,8 <sup>nsB</sup>			
Unif	141,6 <sup>B</sup>	166,6 <sup>bA</sup>	163,6 <sup>A</sup>	1,25 <sup>bB</sup>	1,29 <sup>bA</sup>	1,30 <sup>bA</sup>	26,5 <sup>bA</sup>	19,8 <sup>C</sup>	21,6 <sup>B</sup>			
dms	coluna	3,28	linha	3,96	coluna	0,028	linha	0,03	coluna	1,41	linha	1,71

As mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha dentro de cada parâmetro analisado não diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Recomenda-se que resultados de V%<100 e de Span constem em catálogos de pontas de pulverização, no intuito de auxiliar na seleção de modelos de pontas para uma mais segura aplicação de produtos fitossanitários. As informações sobre

uniformidade de gotas não são publicadas em catálogos comerciais, que apresentam apenas a informação da classe de tamanho de gotas, baseado no DMV. Como mostrado, apenas a informação do DMV é insuficiente para deduzir o risco de perdas devido às condições meteorológicas impróprias no momento da aplicação (Nuyttens e Sonck, 2005). Sabendo que o potencial de deriva pode ser também gerenciado pelo Span, este é considerado um dado útil para uma melhor seleção de modelo de ponta, devendo estar aliada a correta configuração do pulverizador (altura da barra e pressão de trabalho) e adequada constituição da calda (formulação e uso adjuvantes), para promover aumentos de eficiência na aplicação e menores riscos humanos e ambientais durante as operações de pulverização (Wolf, 2013).

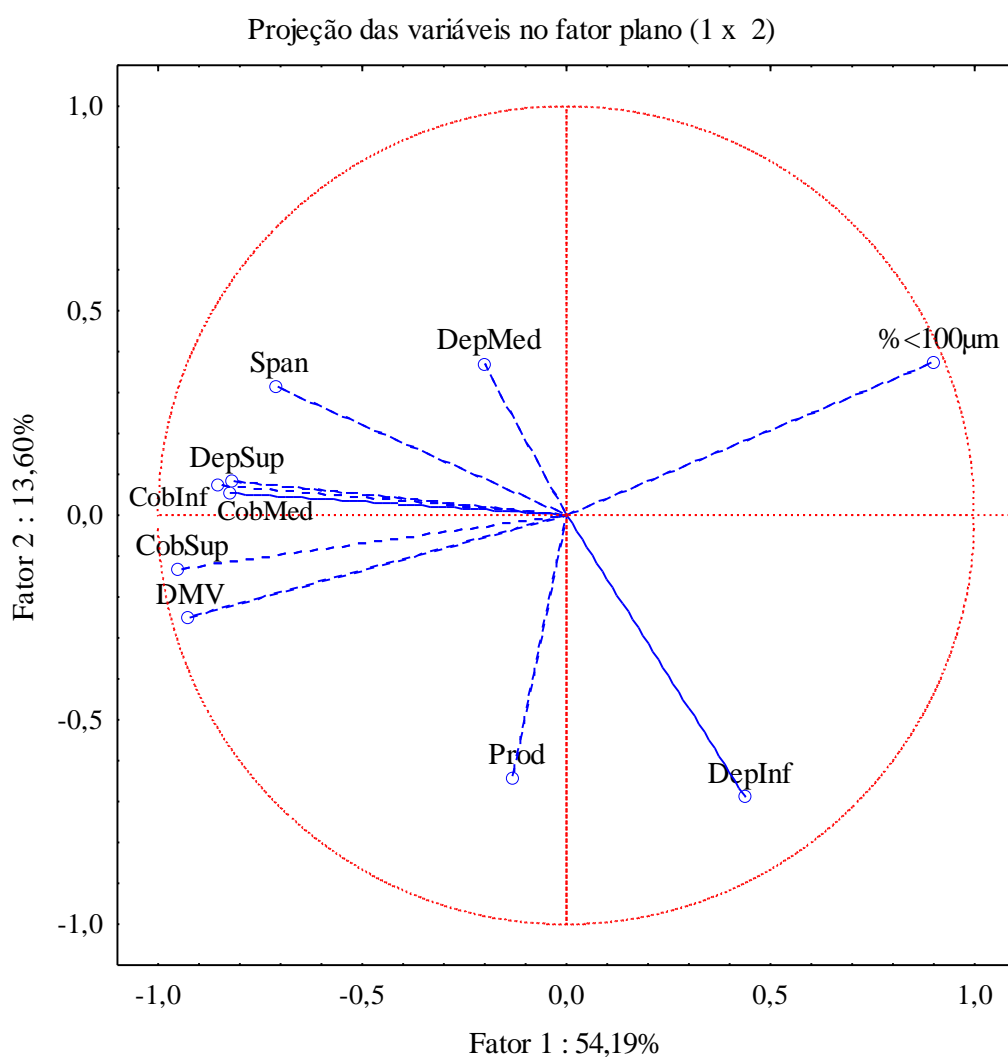
### **5.4.3 Cobertura e depósitos de pulverização**

Para avaliar o efeito da uniformidade de gotas por pontas hidráulicas em plantas, três experimentos foram conduzidos em campo, em áreas de cultivo de soja.

Para uma abordagem panorâmica dos resultados, foi realizada análise multivariada, com a ferramenta de componentes principais. Os dois fatores mais importantes foram responsáveis por mais de 67,8% dos resultados alcançados (Figura 31). Para o primeiro fator, apresentado no plano horizontal e representando 54,19% dos fenômenos (Figura 31), foi encontrada uma relação negativa entre a variável  $V\% < 100$  e o grupo composto por DMV, cobertura e depósito no terço superior da cultura. Além disso, gotas menores (DMV) resultaram em maiores valores de  $V\% < 100$ . Perdas por deriva e evaporação estão relacionadas ao  $V\% < 100$ , que é um fator importante a ser cuidado para manter a eficiência e segurança das aplicações (Gil e Sinfort, 2005; Griesang et al., 2017). Neste caso, tratando-se de um experimento de campo, pode-se atribuir as menores coberturas e depósitos às perdas por deriva e por evaporação, devido à maior perda do volume aplicado com os tratamentos com maior  $V\% < 100$ . Importante destacar que esta situação ocorre no terço superior da cultura, onde as gotas maiores se depositam e, por isto, geralmente não são percebidas as diferenças nos processos de calibração em campo.

Os valores de DMV foram diretamente relacionados ao percentual de cobertura no terço superior da cultura, sendo que gotas maiores resultaram em maior cobertura. Os incrementos da cobertura fornecidos pelas gotas menores são geralmente

esperados, para um mesmo volume de pulverização, já que gotas menores resultam em um número muito maior de gotas e, portanto, aumentam o potencial de cobertura das superfícies (Almeida et al., 2016; Ferguson, Hewitt, et al., 2016; Zaidan et al., 2012). A explicação para o resultado obtido, contrariando a regra detalhada acima, é que gotas maiores foram obtidas para os maiores volumes de pulverização (Tabela 2), então este maior volume foi o que contribuiu de forma predominante para valores de cobertura maiores (Courshee, 1967; Román et al., 2009).



**Figura 31.** Projeção de variáveis em um plano a partir de uma análise multivariada de componentes principais.

DMV = Diâmetro Mediano Volumétrico; Cob = cobertura; Dep = Depósito; Sup = terço superior; Med = terço médio; Inf = terço inferior; Span = Coeficiente de Uniformidade; V%<100 = Porcentagem de volume em gotas menores que 100 micrômetros; Prod = Produtividade de soja.

O segundo fator, com a representatividade de 13,60% do total, apresentado no plano vertical (Figura 31), representa principalmente os dados de depósitos. Observa-

se que, visto que há uma quantidade definida e limitada de gotas, proporcionada a partir de uma configuração do pulverizador, quanto maiores os depósitos nos estratos superiores da cultura, menor será o depósito no terço inferior. Este resultado pode ser explicado pelo efeito guarda-chuva que a camada de folhas externas promove sobre as camadas mais internas da cultura (Román et al., 2009).

Considerando os depósitos no terço inferior do dossel, maiores depósitos foram encontrados para o grupo de gotas uniformes, na vazão 015 (equivalente a 75 L ha<sup>-1</sup> de volume de pulverização) (Tabela 9). Neste terço, todos os tratamentos com menor volume de aplicação proporcionaram maiores depósitos, o que está relacionado ao menor tamanho de gotas produzido, já que gotas menores tem maior capacidade de penetração devido a sua capacidade superior em superar a barreira formada pelas folhas dos terços superiores (Román et al., 2009; Wolf e Daggupati, 2006). Outro fator que pode ter contribuído para esse resultado está no número de gotas, que é maior quando se trata de gotas menores, bem como as forças físicas envolvidas no movimento dinâmico das gotas no ar, no trajeto entre o ponto de formação (ponta de pulverização) até a superfície de depósito (Damak et al., 2016; Dong et al., 2015).

**Tabela 9.** Cobertura da calda em papéis hidrossensíveis e depósitos em folhas de soja, considerando o volume de aplicação, composição da calda e uniformidade das gotas, observadas nos três estratos da cultura.

		Depósitos ( $\mu\text{l cm}^{-2}$ )			Cobertura (%)		
		<i>Inferior</i>	<i>Médio</i>	<i>Superior</i>	<i>Inferior</i>	<i>Médio</i>	<i>Superior</i>
Volume	75 L ha <sup>-1</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>b</sup>	0,43 <sup>b</sup>	2,2 <sup>b</sup>	14,4 <sup>b</sup>
	150 L ha <sup>-1</sup>	0,33 <sup>b</sup>	0,54	1,20 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	4,34 <sup>a</sup>	26,18 <sup>a</sup>
	<i>dms (coluna)</i>	0,05	0,11	0,13	0,12	0,70	1,57
Calda	Fungicida	0,35 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ab</sup>	3,18 <sup>ns</sup>	17,75 <sup>b</sup>
	Lecitina	0,38	0,49	1,20	0,68 <sup>a</sup>	3,52	22,24 <sup>a</sup>
	Óleo mineral	0,36	0,53	1,04	0,46 <sup>b</sup>	3,11	20,89 <sup>a</sup>
	<i>dms (coluna)</i>	0,07	0,17	0,19	0,18	1,04	2,32
Uniformidade	N unif	0,33 <sup>b</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	3,11 <sup>ns</sup>	20,38 <sup>ns</sup>
	Unif	0,40 <sup>a</sup>	0,52	1,09	0,60	3,43	20,20
	<i>dms (coluna)</i>	0,05	0,11	0,13	0,12	0,70	1,57
<b>CV (%)</b>		<b>23,8</b>	<b>23,5</b>	<b>19,3</b>	<b>36,7</b>	<b>36,7</b>	<b>13,2</b>

As mesmas letras minúsculas na coluna dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

O volume de pulverização de 150 L ha<sup>-1</sup> resultou em maior cobertura nos três terços do dossel da cultura avaliados. No terço superior, a diferença foi mais evidente que nos outros terços. Isso se explica pela predominância de gotas maiores na calda (Figura 21), que são eficientemente interceptadas por folhas externas. A calda fungicida com lecitina apresentou maior cobertura nos terços inferior e superior, possivelmente relacionado ao espalhamento das gotas proporcionadas pelas propriedades químicas do adjuvante (Decaro JR et al., 2015).

A partir dos resultados apresentados, é possível inferir que o Span influencia o risco de deriva e a qualidade da cobertura no dossel da cultura. Portanto, reforça a percepção que é um parâmetro de qualidade que deve ser considerado e apresentado em catálogos de pontas para uma melhor seleção de pontas e configuração do pulverizador, mostrando-se uma ferramenta importante para a operação técnica que procura uma aplicação de campo segura e eficiente.

## **5.5 Influência da uniformidade de gotas, volume de calda e direção do jato na cobertura e depósitos em cultivos conduzidos em vasos**

Neste capítulo, os modelos que produzem diferentes padrões de uniformidade (mais e menos uniformes) para cada vazão nominal de pontas, além de tratamento contemplando gotas de maior diâmetro e outro com jato de pulverização inclinado são utilizados na aplicação em ambiente controlado, sobre plantas cultivadas em vasos, culturas da fava e soja, sendo consideradas as variáveis cobertura e depósitos em quatro estratos do dossel da cultura.

### ***5.5.1 Tamanho de gotas e seleção de modelos para Span***

Utilizando-se apenas água na pulverização, foi possível encontrar resultados bastante claros quanto às diferenças de espectro de gotas produzidos pelos diversos modelos de pontas de pulverização de jato plano convencional (Tabela 10). Todos os parâmetros analisados apresentaram ao menos um modelo de ponta com valor significativamente diferente dos demais. A vazão das pontas tem participação importante em todos os parâmetros analisados, sendo característico para pontas com maior vazão a produção de gotas de maior diâmetro, menor uniformidade (maior Span) e menor volume em gotas menores que 100 micrometros.

Ao tempo em que modelos de gotas de pulverização produziram os maiores DMVs (T-XR, T-TP e M-TP para a vazão 015 e T-XR, M-TP, H-F e J-JSF para a vazão 03), os mesmos modelos também apresentaram os maiores percentuais volumétricos em gotas de tamanho inferior a 100 micrometros.

Para a vazão 015, os modelos que apresentaram valores de Span mais elevados foram J-API, K-LBD, M-BD, T-TP e T-XR, enquanto os menores valores foram relacionados aos modelos H-F, H-VP e J-JSF (Tabela 10). Como não foi possível segregar apenas dois modelos que representassem os extremos de Span, como critério foi considerado o DMV, priorizando-se gotas de tamanho semelhante. A partir deste critério, restaram os modelos J-API e K-LBD para maior Span e H-F, H-VP e J-JSF para o menor Span. A seleção foi finalizada utilizando o critério %V%<100, remanescendo o modelo J-API para o maior e J-JSF para o menor Span.

Para a vazão 03, os modelos que apresentaram valores de Span mais elevados foram J-API, K-LBD, enquanto os menores valores foram relacionados aos modelos H-F, H-VP, J-JSF, T-TP e T-XR. Considerando o segundo critério de seleção, remanesceram os modelos J-API para maior Span e H-F e J-JSF para o menor Span. Assim sendo, a seleção foi finalizada utilizando o critério  $V\% < 100$ , remanescendo o modelo K-LBD para o maior e J-JSF para o menor Span.

**Tabela 10.** Detalhamento da caracterização de pontas de pulverização de jato plano, para duas vazões, no intuito de segregar dois modelos para a vazão 015 (gotas mais e menos uniformes) e dois para a vazão 03 (gotas mais e menos uniformes).

Modelo	Vazão (gal min <sup>-1</sup> )	Pressão (kPa)	Span	DV-10	dv-50	DV-90	%V%<100
HYPRO F	015	300	0,94 c	83,3	158,9 d	233,1	18,6 b
HYPRO VP	015	300	0,94 c	84,0	159,5 d	234,1	18,5 bc
<b>JACTO API</b>	<b>015</b>	<b>300</b>	<b>1,07 a</b>	<b>80,1</b>	<b>158,8 d</b>	<b>249,2</b>	<b>19,5 a</b>
<b>JACTO JSF</b>	<b>015</b>	<b>300</b>	<b>0,94 c</b>	<b>82,7</b>	<b>159,7 d</b>	<b>232,5</b>	<b>18,1 bc</b>
KGF LBD	015	300	1,06 a	82,4	159,3 d	250,4	18,4 bc
MAGN BD	015	300	1,07 a	84,0	160,9 c	255,9	17,9 c
MAGN TP	015	300	1,02 b	85,8	163,3 b	252,1	16,6 d
TEEJET TP	015	300	1,07 a	85,0	163,6 b	258,9	16,9 d
TEEJET XR	015	300	1,07 a	89,8	164,8 a	264,3	16,2 d
dms			0,032		4,200		0,654
HYPRO F	03	300	1,15 c	91,0	178,4 b	295,3	13,8 cd
HYPRO VP	03	300	1,16 bc	87,6	172,7 c	287,2	15,2 a
JACTO API	03	300	1,30 ab	86,8	172,2 c	310,0	15,6 a
<b>JACTO JSF</b>	<b>03</b>	<b>300</b>	<b>1,13 c</b>	<b>91,8</b>	<b>177,5 b</b>	<b>292,5</b>	<b>13,5 d</b>
<b>KGF LBD</b>	<b>03</b>	<b>300</b>	<b>1,33 a</b>	<b>90,0</b>	<b>177,6 b</b>	<b>326,1</b>	<b>14,0 c</b>
MAGN BD	03	300	1,26 b	90,4	178,4 b	315,3	14,0 c
MAGN TP	03	300	1,27 b	90,6	182,8 a	321,6	13,7 cd
TEEJET TP	03	300	1,19 c	89,1	172,3 c	294,6	14,6 b
TEEJET XR	03	300	1,14 c	92,4	181,2 ab	299,4	13,3 d
dms			0,045		4,210		0,446

Tomando como base os resultados apresentados na Tabela 10, os dados obtidos no experimento anterior, tratando de caracterização de gotas produzidas a partir de caldas fungicidas, além de estudos conduzidos com finalidades distintas, mas que contemplam em seus resultados os valores de uniformidade de gotas para caldas fitossanitárias, como em Carvalho et al. (2017); Costa et al. (2015) e Ferreira et al.

(2011), fica evidente que variações na composição da calda interferem na uniformidade das gotas.

Desta forma, além de considerar a constituição da calda no que se refere ao tamanho das gotas gerado (Knowles, 2008; Kudsk e Mathiassen, 2007) e consequente propensão de gotas à deriva (Gandolfo et al., 2013), convém considerar este item para a qualidade de gotas, em especial a discrepância entre gotas de menor e maior tamanho presentes no espectro de gotas produzido, o que pode favorecer a qualidade da aplicação.

Uma vez selecionados os modelos de pontas para a maior e menor uniformidade de gotas para cada uma das vazões, estes foram empregados nas aplicações em cultivos de soja e fava, juntamente aos modelos de jato plano inclinado e defletor. As especificações utilizadas na aplicação estão apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11.** Caracterização dos seis modelos de pontas de pulverização selecionados para compor o experimento de aplicação em plantas em vasos

Modelo	Vazão (gal min <sup>-1</sup> )	Pressão (kPa)	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Volume (L ha <sup>-1</sup> )	Span	DV-10	dv-50	DV-90	V%<100	Classe de gotas
HYPRO VP	O15	300	9,5	75	0,96	82,1	159,5	234,1	18,5	F
JACTO API	O15	300	9,5	75	1,07	80,1	158,8	249,2	19,5	F
JACTO JSF	O3	300	9,5	150	1,13	91,8	177,5	292,5	13,5	M
KGF LBD	O3	300	9,5	150	1,33	90,0	177,6	326,1	14,0	M
HYPRO 3D	O25	425	9,5	150	1,22	87,4	177,5	303,0	15,0	M
TEEJET TT	O3	300	9,5	150	1,45	116,9	241,7	466,8	7,7	G

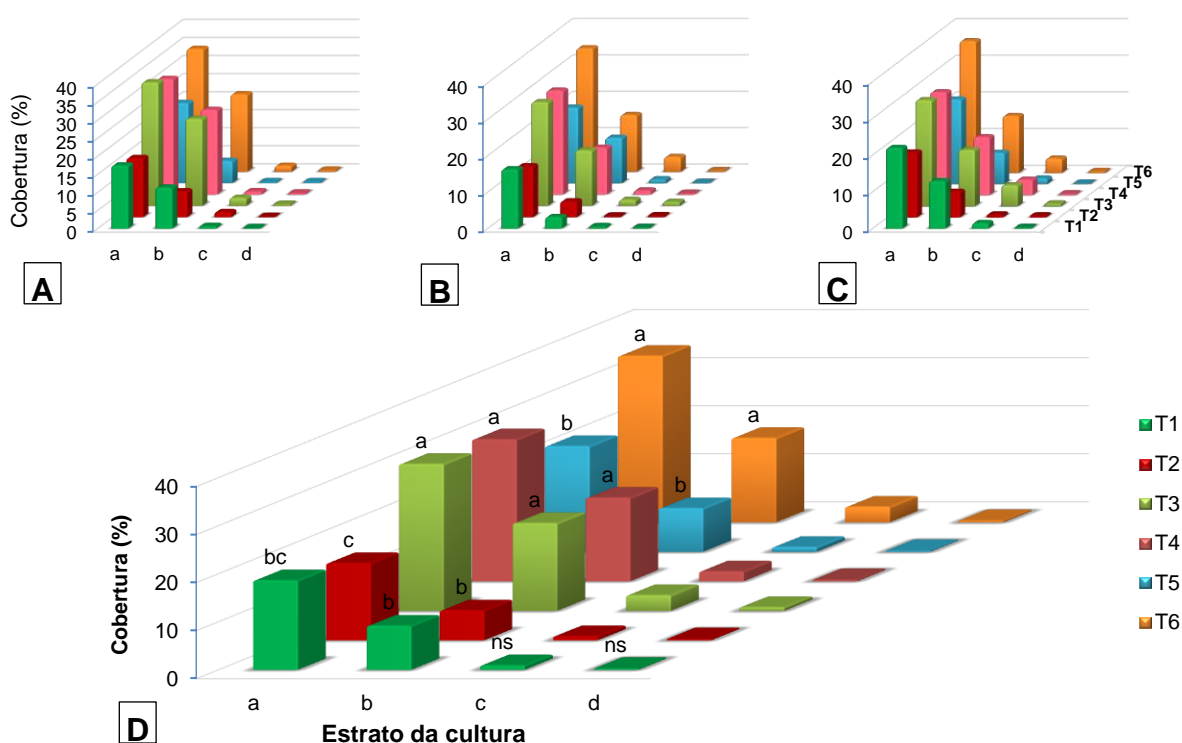
Os modelos selecionados para o volume de aplicação de 75 L ha<sup>-1</sup> produziram gotas classificadas como Finas, segundo escala de classificação apresentada em ASABE (2009), enquanto os modelos J-JSF, K-LBD e H-3D produziram gotas Médias e o modelo T-TT produziu gotas Grossas (Tabela 11). Embora as variações de uniformidade entre os modelos selecionados dentro de cada classe de tamanho de gotas não sejam expressivamente grandes, pode ser suficiente para resultar em diferenças na qualidade da aplicação.

### 5.5.2 Cobertura e depósitos de pulverização

A amostragem para percentual de cobertura de gotas sobre papéis hidrossensíveis e depósitos em lâmina de poliéster proporcionada por cada tratamento em cada posição vertical do dossel dos cultivos de soja e fava foram replicados em três experimentos, realizados em dias consecutivos. A média geral obtida dos dados de todos os experimentos foram utilizados no teste de comparação de médias e representados na sequência dos dados de cada experimento individual.

### 5.5.3 Avaliações na cultura da fava

Os resultados de cobertura obtidos nos três experimentos foram similares entre si (Figura 32). Considerando-se as médias obtidas para os tratamentos, foi constatado maior cobertura para os tratamentos constituídos de gotas de tamanho Médio nos dois estratos mais expostos da cultura.



**Figura 32.** Percentual de **cobertura** sobre papéis hidrossensíveis na cultura da **fava** (*Vicia faba*), proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos na cultura da fava. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura

não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (**a**= 5,3; **b**= 6,4; **c**= 2,8; **d**= 0,6); **CV(%)** (**a**= 21,8; **b**= 51,3; **c**= 152; **d**= 158)

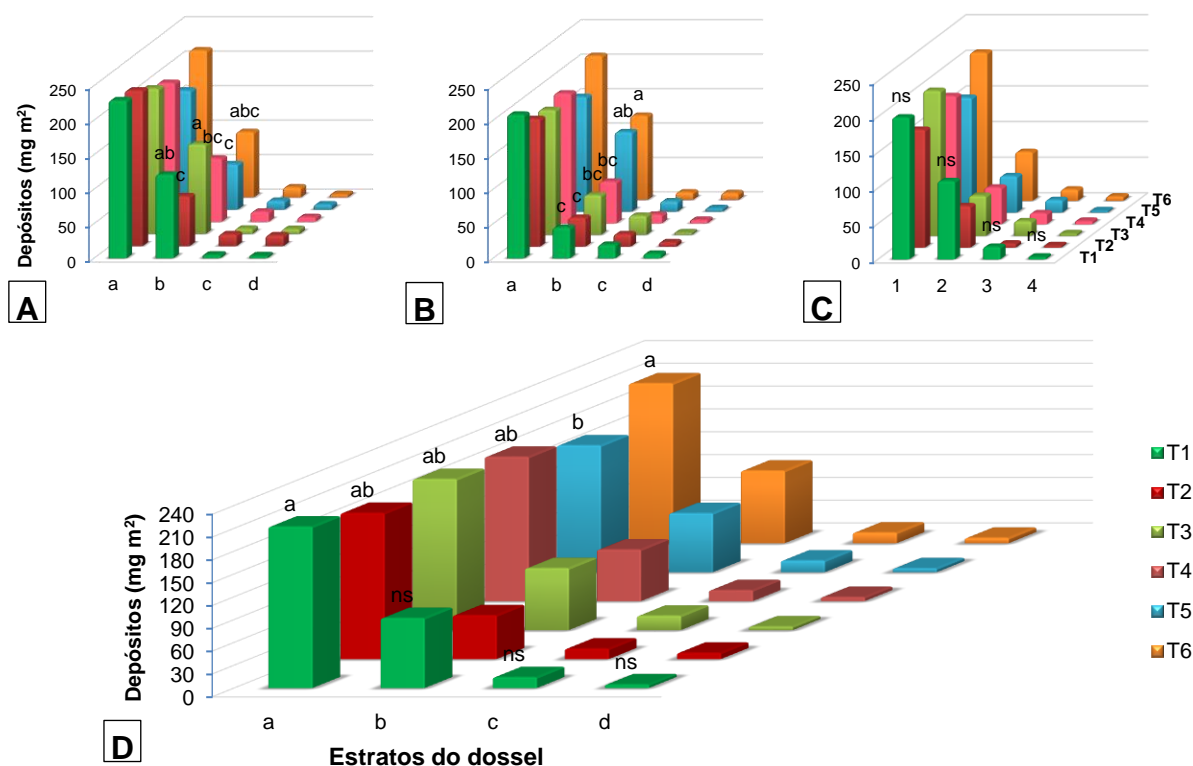
Tratando-se apenas do estrato superior (o mais exposto), valores intermediários foram encontrados para gotas Finas, respectivas ao menor volume de aplicação (75 L ha<sup>-1</sup>), enquanto o menor valor foi obtido para as gotas Grossas, produzidas pelo modelo de ponta defletora no volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. Para o estrato **b**, não foram encontradas diferenças de cobertura entre gotas Finas e Grossas. Para os estratos mais baixeiros do dossel (**c** e **d**), todos os tratamentos foram considerados semelhantes, resultando em cobertura inferior a 5%.

Não houve surpresa nas avaliações de cobertura na cultura da fava, com as maiores coberturas obtidas para maiores volumes de aplicação e, entre os tratamentos de maior volume, o maior tamanho de gotas resultou em menor cobertura. Este resultado é explicado pela equação proposta por Courshee (1967), que considera o volume aplicado e o diâmetro das gotas como parâmetros importantes para definir a cobertura de gotas sobre superfícies.

Considerando a uniformidade das gotas, foi percebida vantagem para gotas uniformes apenas no menor volume de aplicação e no estrato mais externo, já que gotas uniformes para este volume não diferiram significativamente para gotas Grossas produzidas para o maior volume de aplicação, enquanto gotas menos uniformes diferiram. Gotas menos uniformes apresentam em sua constituição gotas de tamanho muito pequeno, que podem evaporar antes de atingir o alvo (Xu et al., 2011). A deriva, muito comum de acometer esse tamanho de gotas, não está sendo considerada nesta aplicação, já que foi aplicada em ambiente fechado, ausente de ventos. Em condição de campo, a presença de ventos facilmente deslocaria essa massa de gotas para fora da área de aplicação.

Considerando-se os depósitos de pulverização (Figura 33), foi verificada diferença apenas no estrato mais exposto da cultura de fava, sendo que o tratamento constituído de gotas Grossas (T-TT a 150 L ha<sup>-1</sup>) apresentou menores depósitos que os tratamentos constituídos de gotas Finas uniformes (75 L ha<sup>-1</sup>) e gotas Médias com jato inclinado (H-3D a 150 L ha<sup>-1</sup>). Para os demais estratos (**b**, **c** e **d**), não foi constatada diferença entre os tratamentos. Foi verificada grande variação entre os resultados obtidos para os três experimentos, especialmente para o estrato **b**, sendo

que, para o experimento 01, os modelos com menor Span (T1 e T3) apresentaram depósitos superiores aos registrados para gotas menos uniformes (T2 e T4). Para o experimento 02, neste mesmo estrato (b), os maiores depósitos foram registrados para gotas Grossas (T-TT) e Médias com jato inclinado (H-3D).

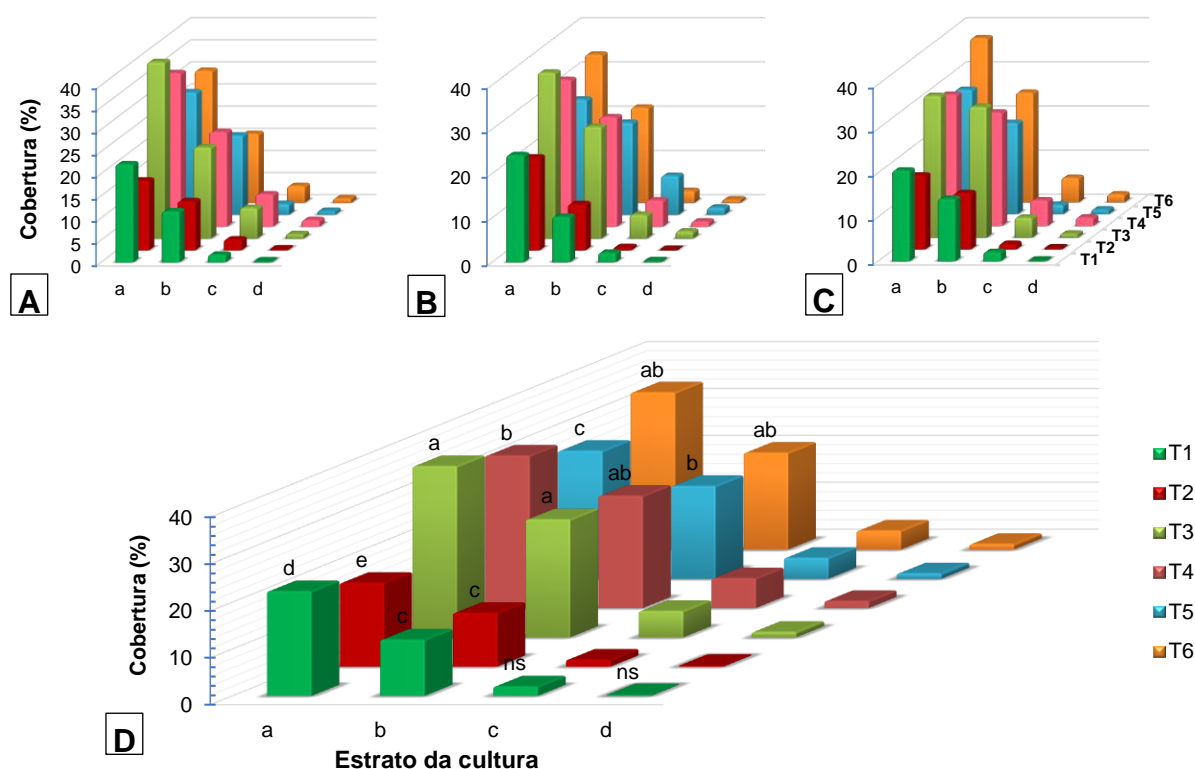


**Figura 33. Depósitos** na cultura da **fava (*Vicia faba*)**, proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos na cultura da fava. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 36; b= 40; c= 15; d= 6); **CV(%)** (a= 19; b= 53; c= 101; d= 104)

Menores depósitos de pulverização para as gotas de maior diâmetro só são justificáveis caso ocorra endoderiva, ou seja, parte do volume que chega ao alvo é perdido na forma de escorrimento superficial ou ricocheteio, onde a energia cinética da gota é dispersa na forma de gotículas que se desprendem do local de depósito primário e são projetadas para fora do alvo (Duga et al., 2016), já que este tamanho de gotas é menos sensível à deriva e evaporação no percurso entre o bico de pulverização e o alvo (Chechetto et al., 2013; Griesang et al., 2017).

### 5.5.4 Avaliações na cultura da soja

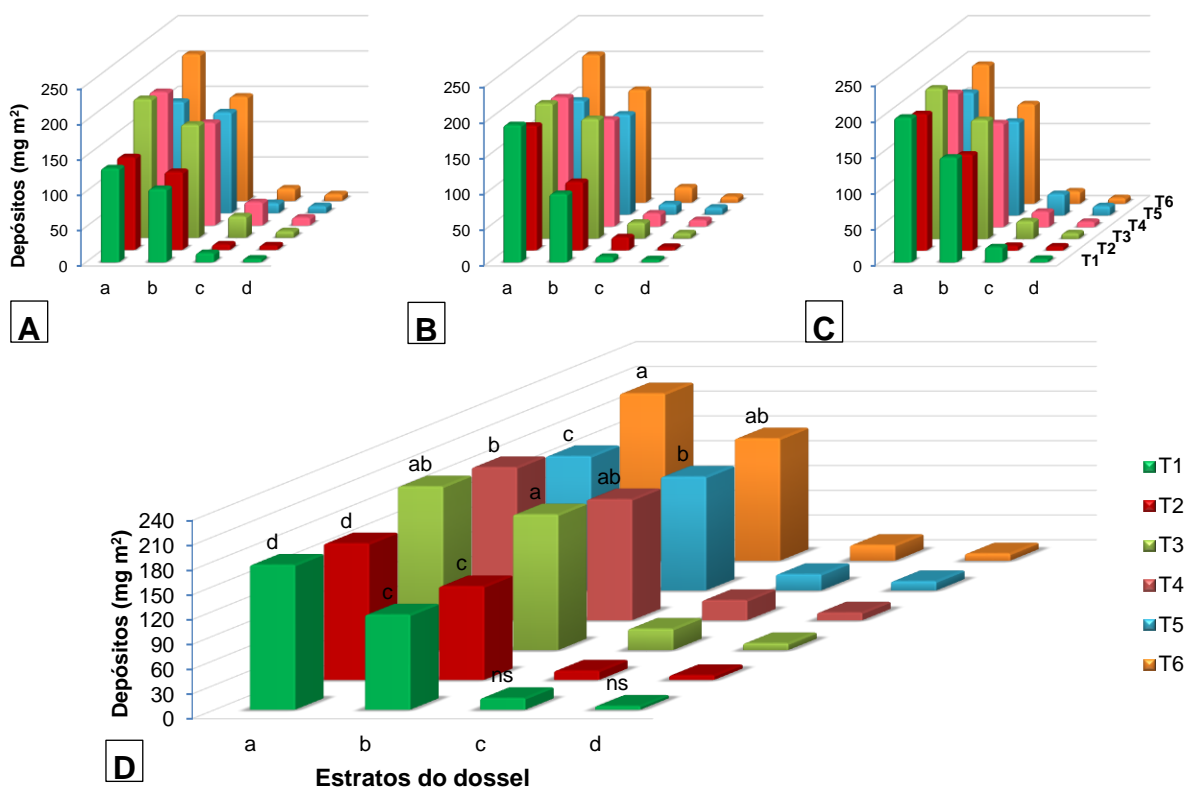
Os resultados de cobertura obtidos nos três experimentos de soja foram similares entre si (Figura 34). Considerando-se as médias obtidas para os tratamentos, foi constatada maior cobertura para os tratamentos constituídos de gotas de tamanho Médio nos dois estratos mais expostos da cultura (T3, T4 e T6). Tratando-se apenas do estrato superior (o mais exposto), valores intermediários foram encontrados para gotas Grossas produzidas por ponta defletora no volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> (T5), seguido por gotas Finas uniformes (T1), respectivas ao menor volume de aplicação (75 L ha<sup>-1</sup>), enquanto o menor valor foi obtido para as gotas Finas não uniformes (T2). Para o estrato **b**, as gotas Finas, produzidas pelo menor volume de aplicação, proporcionaram as menores coberturas, não diferindo entre gotas uniformes e não uniformes. Para os estratos mais baixeiros do dossel (**c** e **d**), todos os tratamentos foram considerados iguais, com pobre cobertura para todos os tratamentos.



**Figura 34.** Percentual de **cobertura** sobre papéis hidrossensíveis na cultura da **soja** (*Glycine max*), proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento

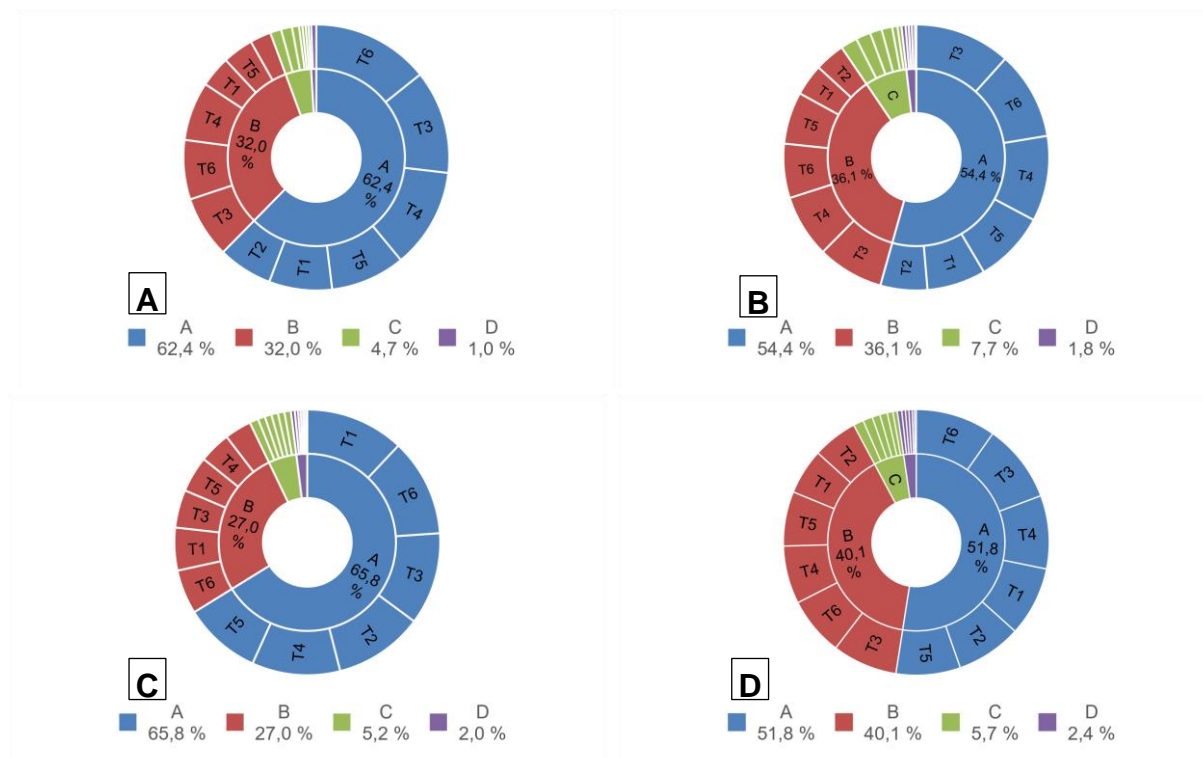
02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 3,9; b= 5,3; c= 4,9; d= 1,5); **CV(%)** (a= 14,2; b= 28,9; c= 126; d= 162)

Considerando-se os depósitos de pulverização (Figura 35), foram verificados menores valores para o menor volume de aplicação nos dois estratos mais expostos da cultura da soja (**a** e **b**). Para os estratos mais profundos (**c** e **d**), não foi constatada diferença entre os tratamentos. Os menores depósitos tanto para o estrato **a** quanto **b** foram obtidos para o menor volume de aplicação (gotas Finas, Trat 1 e 2), seguido por gotas Grossas no maior volume de aplicação (T5). Gotas Médias produziram os melhores resultados (T3, T4 e T6).



**Figura 35.** Depósitos na cultura da soja (*Glycine max*), proporcionado por cada tratamento em quatro alturas do dossel, sendo: a - 15 cm do topo do dossel da cultura; b - 45 cm do topo; c - 60 cm do topo; d - 85 cm do topo. (A) Experimento 01; (B) Experimento 02; (C) Experimento 03; (D) Média geral dos três experimentos. Letras iguais sobre as colunas dentro de cada estrato da cultura não diferem entre si pelo método de Tukey a 5% de significância. **dms** (a= 22,9; b= 24; c= 17; d= 5,5); **CV(%)** (a= 13; b= 18; c= 90; d= 71).

Os acumulados de cobertura e depósitos foram expressivamente maiores nos estratos mais expostos, para ambas as culturas (fava e soja) (Figura 36). No caso da fava, o acúmulo na camada mais externa da cultura, 62% para a variável cobertura e 66% para o depósito, demonstra claramente a dificuldade que as gotas tem em atingir camadas mais baixas do dossel, justamente por causa da volumosa camada de folhas que interceptam eficientemente as gotas de pulverização, impedindo-as de atingirem camadas mais baixas com quantidades expressivas. Para a cultura da soja, os resultados não foram muito diferentes, onde também foram encontrados elevados valores nesta porção mais exposta do dossel, e se considerados os dois estratos mais externos conjuntamente, chega-se a mais de 90% do total dos valores de cobertura e 92% dos depósitos.



**Figura 36.** Representação da distribuição da pulverização, em escala percentual, apresentado na forma de cobertura e depósitos, para os quatro estratos de coleta e duas culturas. (A) Cobertura em Fava; (B) Cobertura em Soja; (C) Depósitos em Fava; (D) Depósitos em Soja.

Grandes concentrações de calda foram registradas nas porções externas do dossel, com valores ínfimos nas porções mais internas. Com isso, é possível afirmar que a tecnologia selecionada não está apresentando resultados satisfatórios,

especialmente se considerarmos doenças que infectam cultivos na presença de condições ambientais específicas, como é o caso da ferrugem asiática da soja, que encontra condições adequadas para a infecção nas porções mais internas do cultivo devido principalmente ao período de molhamento foliar (Yorinori et al., 2005), condição que possibilita ao esporo do fungo a germinar, emitir o tubo germinativo, formar o apressório e então penetrar na planta.

Para esta etapa da pesquisa, considerando duas culturas e três experimentos, cada qual considerando quatro estratos na posição vertical do dossel do cultivo e seis amostras em cada um dos quatro estratos, fica clara a deficitária penetração de gotas para o interior do dossel de cultivos que apresentam elevado enfolhamento. Para os locais onde as gotas chegam com razoável quantidade (estratos do topo das culturas), as maiores variações de cobertura foram relacionadas ao volume de aplicação. Entretanto, este aumento do volume de aplicação não reflete em ganho de depósito e cobertura nos estratos mais baixos do dossel. Para os depósitos, foram encontrados resultados distintos para cada cultura: para a fava, não foram encontradas variações expressivas entre os tratamentos. Para a soja, maiores depósitos foram relacionados ao jato inclinado e gotas uniformes no maior volume de aplicação, enquanto menores volumes resultaram em menores depósitos. Considerando a uniformidade de gotas em todas as variações testadas, foi verificada diferença significativa somente em uma das avaliações, referente a cobertura no estrato da cultura da soja, favorecendo gotas uniformes.

## 6 CONCLUSÕES

Existe diferença de uniformidade e tamanho das gotas para modelos de pontas de mesma tecnologia. O Span influencia no risco de deriva e, em algumas condições, na cobertura e depósitos no dossel da cultura. Por isso, é um parâmetro de qualidade que justifica ser considerado e apresentado em catálogos de pontas, para uma melhor seleção do modelo e configuração do pulverizador, visando uma operação técnica que busca uma aplicação de campo segura e eficiente.

A uniformidade de gotas proporcionado por modelos de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano resultou em diferenças para depósitos em estratos mais profundos do dossel de plantas de soja em experimentos de campo, favorecendo gotas com maior uniformidade. Para experimentos conduzidos em ambiente controlado, gotas uniformes resultaram em maiores coberturas para estratos mais expostos da cultura da soja, enquanto as demais posições do dossel e configurações da pulverização, a uniformidade de gotas não surtiu efeitos significativos.

Quanto à caracterização das gotas, a menor vazão resultou em gotas mais uniformes e menor DMV, porém maior percentual em volume de gotas menores que 100 micrometros. A maior uniformidade de gotas obtida para alguns modelos na menor vazão não foi confirmada na maior vazão, e vice-versa.

A presença de adjuvantes na calda de pulverização proporcionou incrementos no tamanho de gotas, com diminuição do volume em gotas menores, porém não exerceu influência sobre a uniformidade de gotas.

A propensão de gotas à deriva foi maior para modelos na menor vazão. Levando em consideração a uniformidade de gotas, comparando-se modelos que proporcionaram o mesmo DMV, foi constatada a redução na ocorrência da deriva para gotas mais uniformes, sobremaneira na maior vazão, que atingiu valores de deriva 44% inferiores para gotas mais uniformes.

A pressão de trabalho atua de forma muito intensa sobre a distribuição volumétrica, superando o efeito dos diferentes modelos de pontas e vazões nominais, sendo que a pressão de 100 kPa não é recomendada para nenhum dos 9 modelos de

ponta de pulverização de jato plano testados, e a pressão de 300 kPa apresentou, em geral, os menores coeficientes de variação. Todavia, foi observada diferente responsividade de cada modelo às variações na pressão.

Os dois métodos de avaliação de distribuição volumétrica testados apresentam resultados semelhantes, porém, a metodologia que considera apenas um exemplar de ponta de pulverização demanda de diversas repetições para se obter um dado robusto e caracterizar adequadamente um conjunto de pontas.

A simetria dos jatos apresenta elevada correlação com a distribuição volumétrica.

Considerando que existem diferenças significativas entre modelos de pontas de pulverização de energia hidráulica construídas da mesma tecnologia bem como entre vazões de um mesmo modelo de ponta, a seleção de um modelo de ponta de pulverização deverá considerar diversos parâmetros além do tipo de tecnologia de formação do jato, de modo a atender satisfatoriamente as expectativas da aplicação.

## **7 FINANCIAMENTO**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e pelo "*Deutscher Akademischer Austauschdienst*" (DAAD), por meio de concessão de bolsa de estudos.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do conhecimento sobre gotas de pulverização cresce ao mesmo tempo em que modelo agrícola atual se baseia no uso de produtos fitossanitários como principal estratégia para garantir o potencial produtivo dos cultivos agrícolas, majoritariamente aplicados em via líquida por pontas de energia hidráulica. Apesar dos incontáveis estudos realizados em universidades, institutos de pesquisa e empresas, o que sabemos sobre interação entre modelos de pontas, pressões de trabalho e constituição da calda está distante de responder todas as dúvidas recorrentes sobre o tema.

As informações obtidas a partir desta pesquisa nos apontam quão falhas podem ser as generalizações que habitualmente são feitas no intuito de explicar determinado fenômeno. Tratando-se de modelos de pontas de pulverização supostamente iguais, providos de mesma tecnologia na formação dos jatos, foram encontradas grandes diferenças quanto ao espectro de gotas formado, com sutis diferenças para tamanho de gotas, representado pelo DMV, mas expressivas diferenças quanto ao volume de gotas potencialmente suscetíveis a ocorrência de deriva, muito influenciada pela qualidade do espectro de gotas, aqui representado pela uniformidade das gotas.

No momento da aplicação, as variações do campo podem diminuir o impacto da uniformidade de gotas sobre a qualidade global da aplicação. Entretanto, se abrirmos mão da qualidade, tanto em condições ideais quanto em situações adversas, é provável o agravamento dos possíveis problemas na aplicação, comprometendo os resultados esperados.

Ao mesmo tempo em que é impossível avaliar todas as combinações possíveis entre modelos de pontas, composição de calda e pressão de trabalho, haja visto a infinidade de misturas possíveis entre produtos, aqui fica claro que o método atual de generalização é falho. É de grande importância o desenvolvimento de um meio simples e prático para caracterizar as gotas no momento em que são produzidas, de

forma a dar subsídio às adequações na configuração do pulverizador no campo, no momento em que se inicia a aplicação.

## 9 REFERÊNCIAS

- Albrecht AJP, Albrecht LP, Krenchinski FH, Placido HF, Lorenzetti JB, Victoria Filho R, Barroso AAM. (2014) Comportamento da Soja RR Submetida à Aplicação de Diferentes Formulações e Doses de Glyphosate no Período Reprodutivo. **Planta Daninha** 32(4): 851–859.
- Almeida DP, Agostini AR, Yamauchi AK, Decaro JR ST, Ferreira M da C. (2016) Application Volumes and Sizes of Droplets for the Application of Diquat Herbicide in the Control of *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha** 34(1): 171–179. doi:10.1590/S0100-83582016340100018
- Alves GS, Kruger GR, Cunha JPAR da, Vieira BC, Henry RS, Obradovic A, Grujic M. (2017) Spray Drift from Dicamba and Glyphosate Applications in a Wind Tunnel. **Weed Technology** 31(3): 387–395. doi:10.1017/wet.2017.15
- ASABE. (2009) **ASABE S572.1 Droplet size classification** (No. S572.1). Michigan. Obtido de [http://www.maine.gov/dacf/php/pesticides/documents2/WPSForms/asabe\\_droplet\\_size\\_classification.pdf](http://www.maine.gov/dacf/php/pesticides/documents2/WPSForms/asabe_droplet_size_classification.pdf)
- Bauer FC, Raetano CG. (2004) Distribuição volumétrica de calda produzidas pelas pontas pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha** 22(2): 275–284. doi:10.1590/S0100-83582004000200015
- Bauer FC, Raetano CG, Pereira FAR. (2006) Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola** 26(2): 546–551. doi:10.3724/SP.J.1042.2011.01859
- Berger-Neto A, Jaccoud-Filho D de S, Wutzki CR, Tullio HE, Pierre MLC, Manfron F, Justino A. (2017) Effect of spray droplet size, spray volume and fungicide on the control of white mold in soybeans. **Crop Protection** 92: 190–197. doi:10.1016/j.cropro.2016.10.016
- Butler-Ellis MC, Tuck CR. (1999) How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. **Crop Protection** 18: 101–109.
- Butler Ellis MC, Swan T, Miller PCH, Waddelow S, Bradley A, Tuck CR. (2002) Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. **Biosystems Engineering** 82(3): 289–296. doi:10.1006/bioe.2002.0069
- Calore RA, Ferreira M da C, Rodrigues NEL, Otuka AK. (2015) Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of *Ipomoea hederifolia* under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola** 35(4): 756–768. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1590/>

- Carvalho FK, Chechetto RG, Mota AAB, Antuniassi UR. (2017) Characteristics and challenges of pesticide spray applications in Mato Grosso, Brazil. **Outlooks on Pest Management** (February): 1–4. doi:10.1564/v28
- Chaim A, Neto JC, Pessoa MCPY. (2005) Uso do programa computacional GOTAS para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas. **Embrapa Meio Ambiente: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. doi:1980-6841
- Chechetto RG, Antuniassi UR, Mota AAB, Carvalho FK, Arruda e Silva AC, Vilela CM. (2013) Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction potential in wind tunnel. **Semina: Ciências Agrárias** 34(1): 37–46. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n1p37
- Christovam RS, Raetano CG, Dal Pogetto MHFA, Prado EP, Aguiar Júnior HO, Gimenes MJ, Serra ME. (2010) Effect of nozzle angle and air-jet parameters in air-assisted sprayer on biological effect of soybean asian rust chemical protection. **Journal of Plant Protection Research** 50(3):. doi:10.2478/v10045-010-0059-4
- Costa LL, Ferreira M da C, Costa ACPR da, Rolim G de S, Campos HBN. (2013) Spraying deposit in soybean plants as influenced by application volume and the degree of inclination of centrifugal energy nozzles. **Agricultural Science Research Journal** 3(11): 343–351. Obtido de <http://www.resjournals.com/ARJ>
- Costa LL, Ferreira M da C, Neves HBC, Lasmar O, Cruz MCP. (2015) Recovery of metallic markers sprayed on soybean plants. **Australian Journal of Crop Science** 9(9): 807–811. Obtido de [http://www.cropj.com/campos\\_9\\_9\\_2015\\_807\\_811.pdf](http://www.cropj.com/campos_9_9_2015_807_811.pdf)
- Costa LL, Silva HJPS, Almeida DP, Ferreira M da C, Pontes NC. (2017) Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. **Engenharia Agrícola** 37(2): 10. doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p292-301/2017
- Courshee RJ. (1967) Application and use of foliar fungicides. D. C. Torgeson (Ed), **Fungicide- An advance treatise** (p. 239–86). Academic Press, New York.
- Craig IP, Hewitt A, Terry H. (2014) Rotary atomiser design requirements for optimum pesticide application efficiency. **Crop Protection** 66: 34–39. doi:10.1016/j.cropro.2014.08.012
- Crick CR, Parkin IP. (2011) Water droplet bouncing - a definition for superhydrophobic surfaces. **Chemical Communications** 47(44): 12013–12240.
- Cunha JPAR da. (2007) Análise da distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. **Revista de Ciências Agrárias** 1(1): 233–239.
- Cunha JPAR da, Reis EF dos, Santos R de O. (2006) Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. **Ciência Rural** 36(5): 1360–1366. doi:10.1590/S0103-84782006000500003

- Cunha JPAR da, Silva RA de M. (2010) Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal** 26(1): 52–58.
- Damak M, Mahmoudi SR, Hyder MN, Varanasi KK. (2016) Enhancing droplet deposition through in-situ precipitation. **Nature Communications** 7: 1–9. doi:10.1038/ncomms12560
- Decaro JR ST, Ferreira M da C, Lasmar O. (2015) Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola** 35(163): 588–600. doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p588-600/2015
- Dombrowski N, Fraser RP. (1954) A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid Sheets. **The Royal Society** 247(924): 101–130. Obtido de <https://www.jstor.org/stable/91564>
- Dong X, Zhu H, Yang X. (2015) Characterization of droplet impact and deposit formation on leaf surfaces. **Pest Management Science** 71(2): 302–308. doi:10.1002/ps.3806
- Dorr GJ, Hewitt AJ, Adkins SW, Hanan J, Zhang H, Noller B. (2013) A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. **Crop Protection** 53: 109–117. doi:10.1016/j.cropro.2013.06.017
- Doruchowski G, Świechowski W, Masny S, Maciesiak A, Tartanus M, Bryk H, Hołownicki R. (2017) Low-drift nozzles vs. standard nozzles for pesticide application in the biological efficacy trials of pesticides in apple pest and disease control. **Science of The Total Environment** 575: 1239–1246. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2016.09.200
- Duga AT, Delele MA, Ruysen K, Dekeyser D, Nuyttens D, Bylemans D, Nicolai BM, Verboven P. (2016) Development and validation of a 3D CFD model of drift and its application to air-assisted orchard sprayers. **Biosystems Engineering** 4: 1–14. doi:10.1016/j.biosystemseng.2016.10.010
- Egan JF, Barlow KM, Mortensen DA. (2014) A Meta-Analysis on the Effects of 2,4-D and Dicamba Drift on Soybean and Cotton. **Weed Science** 62(1): 193–206. doi:10.1614/WS-D-13-00025.1
- Embrapa-Soja. (2013) Tecnologias de Produção de Soja -Região Central do Brasil 2014. **Sistemas de Produção** 16: 265. Obtido de <file:///C:/Users/Fabiano/Downloads/SP-16-online.pdf>
- Etheridge RE, Womac AR, Mueller TC. (1999) Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Technology** 13(4): 765–770. doi:10.1017/S0890037X00042202
- FAO. (2001) **Guidelines on standards for agricultural pesticide application equipment and related test procedures**. (FAO, Ed) (1º ed, Vol. 2). FAO, Rome.

- Ferguson JC, Chechetto RG, Hewitt AJ, Chauhan BS, Adkins SW, Kruger GR, O'Donnell CC. (2016) Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection** 81: 14–19. doi:10.1016/j.cropro.2015.11.013
- Ferguson JC, Chechetto RG, O'Donnell CC, Dorr GJ, Moore JH, Baker GJ, Powis KJ, Hewitt AJ. (2016) Determining the drift potential of Venturi nozzles compared with standard nozzles across three insecticide spray solutions in a wind tunnel. **Pest Management Science** 72(8): 1460–1466. doi:10.1002/ps.4214
- Ferguson JC, Hewitt AJ, Eastin JA, Connell RJ, Roten RL, Kruger GR. (2014) Developing a comprehensive drift reduction technology risk assessment scheme. **Journal of Plant Protection Research** 54(1): 85–89. doi:10.2478/jppr-2014-0013
- Ferguson JC, Hewitt AJ, O'Donnell CC. (2016) Pressure, droplet size classification, and nozzle arrangement effects on coverage and droplet number density using air-inclusion dual fan nozzles for pesticide applications. **Crop Protection** 89: 231–238. doi:10.1016/j.cropro.2016.07.032
- Ferreira M da C, Lasmar O, Decaro JR ST, Neves SS, Azevedo LH. (2013) Quality of insecticide application on peanut (*Arachis hypogaea* L.) with and without adjuvants in the spraying liquid, under simulated rain. **Bioscience Journal** 29(5): 1431–1440.
- Ferreira M da C, Lohmann TR, Campos AP, Viel SR, Figueiredo A. (2011) Volumetric distribution and droplet size of hydraulics spraying nozzles for the control of scarlet morningglory. **Planta Daninha** 29(3): 697–705. doi:10.1590/S0100-83582011000300024
- Forney SH, Luck JD, Kocher MF, Pitla SK. (2017) Laboratory and full boom-based investigation of nozzle setup error effects on flow, pressure, and spray pattern distribution. **Applied Engineering in Agriculture** 33(5): 641–653. doi:10.13031/aea.12043
- Fritz BK, Hoffmann WC, Bagley WE, Kruger GR, Czaczyk Z, Henry RS. (2014) Measuring Droplet Size of Agricultural Spray Nozzles-Measurement Distance and Airspeed Effects. **Atomization and Sprays** 24(9): 747–760. doi:10.1615/atomizspr.2014008424
- Gandolfo MA, Chechetto RG, Carvalho FK, Gandolfo UD, Moraes ED. (2013) Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciencia Agronomica** 44(3): 474–480. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n1p37
- Garcerá C, Román C, Moltó E, Abad R, Insa JA, Torrent X, Planas S, Chueca P. (2017) Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part II. Effects on canopy spray distribution, control efficacy of *Aonidiella aurantii* (Maskell), beneficial parasitoids and pesticide residues on fruit. **Crop**

**Protection** 94: 83–96. doi:10.1016/j.cropro.2016.12.016

Gil E, Balsari P, Gallart M, Llorens J, Marucco P, Andersen PG, Fàbregas X, Llop J. (2014) Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. **Crop Protection** 56: 58–68. doi:10.1016/j.cropro.2013.10.018

Gil E, Llorens J, Llop J, Fàbregas X, Escolà A, Rosell-Polo JR. (2013) Variable rate sprayer. Part 2 - Vineyard prototype: Design, implementation, and validation. **Computers and Electronics in Agriculture** 95: 136–150. doi:10.1016/j.compag.2013.02.010

Gil Y, Sinfort C. (2005) Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. **Atmospheric Environment** 39: 5183–5193. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.05.019

Gimenes MJ, Zhu H, Raetano CG, Oliveira RB. (2013) Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection** 44: 84–90. doi:10.1016/j.cropro.2012.10.022

Griesang F, Decaro RA, dos Santos CAM, Santos ES, de Lima Roque NH, da Costa Ferreira M. (2017) How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying. **American Journal of Plant Sciences** 08(11): 2785–2794. doi:10.4236/ajps.2017.811188

Griesang F, Decaro RA, Santos RTS, Vechia JF Della, Santos CAM, Ferreira MC. (2018) Droplet size and uniformity influence on the qualitative and quantitative parameters of agricultural spray. **Aspects of Applied Biology** 137: 217–222.

Heidary MA, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. (2014) Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection** 63: 120–130. doi:10.1016/j.cropro.2014.05.006

Herbst A. (2001) A Method to Determine Spray Drift Potential from Nozzles and its Link to Buffer Zone Restrictions. **ASAE Annual International Meeting** 0300(xx): 1–9. doi:10.1109/ICASSP.1986.1168883

Herbst Andreas, Wehmann H-J. (2014) Studies of drift potential from nozzles from angular spray fans. **Aspects of Applied Biology** 122: 347–352.

Hilz E, Vermeer AWP. (2013) Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection** 44: 75–83. doi:10.1016/j.cropro.2012.10.020

Knowles A. (2008) Recent developments of safer formulations of agrochemicals. **Environmentalist** 28(1): 35–44. doi:10.1007/s10669-007-9045-4

Kudsk P, Mathiassen SK. (2007) Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. **Crop Protection** 26(3): 328–334. doi:10.1016/j.cropro.2005.06.012

- Lin SP, Reitz RD. (1998) Drop and spray formation from a liquid jet. **Annual Review of Fluid Mechanics** 30(1): 85–105. doi:10.1146/annurev.fluid.30.1.85
- Matthews GA, Miller P, Bateman R. (2014) **Pesticide application methods**. (4<sup>o</sup> ed). Wiley-Blackwell. Obtido de <https://www.wiley.com/en-us/Pesticide+Application+Methods%2C+4th+Edition-p-9781118351307>
- Matuo T. (1990) **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. (FUNEP, Ed) (1<sup>o</sup> ed). FUNEP, Jaboticabal. Obtido de <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=263118&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MATUO,T.%22&qFacets=autoria:%22MATUO,T.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>
- Miranda-Fuentes A, Llorens J, Rodríguez-Lizana A, Cuenca A, Gil E, Blanco-Roldán GL, Gil-Ribes JA. (2016a) Assessing the optimal liquid volume to be sprayed on isolated olive trees according to their canopy volumes. **Science of the Total Environment** 568: 296–305. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.013
- Miranda-Fuentes A, Llorens J, Rodríguez-Lizana A, Cuenca A, Gil E, Blanco-Roldán GL, Gil-Ribes JA. (2016b) Assessing the optimal liquid volume to be sprayed on isolated olive trees according to their canopy volumes. **Science of the Total Environment** 568: 296–305. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.013
- Nuyttens D, Baetens K, Schampheleire M, Sonck B. (2007) Effect of nozzle type , size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering** 97(July): 333–345. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.03.001
- Nuyttens D, Schampheleire M, Verboven P, Brusselman E, Dekeyser D. (2013) Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** 52(5): 1471–1480. doi:10.13031/2013.29127
- Nuyttens D, Sonck B, Schampheleire M De, Steurbaut W, Baetens K, Verboven P, Nicolaï B, Ramon H. (2005) Spray drift as affected by meteorological conditions. **Communications in agricultural and applied biological sciences** 70(4): 947–959. Obtido de [http://193.190.112.70/Portals/8/Documents/2005\\_Nuyttens\\_Field\\_drift-meteo\\_effects\\_Comm.Agric.\\_Appl.\\_Biol.\\_Sciences.pdf](http://193.190.112.70/Portals/8/Documents/2005_Nuyttens_Field_drift-meteo_effects_Comm.Agric._Appl._Biol._Sciences.pdf)
- Oliveira RB, Antuniassi UR, Gandolfo MA. (2015) Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola** 35(1): 1809–4430. Obtido de <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n1/1809-4430-eagri-35-1-0109.pdf>
- Rhoades WC. (1963) The History and Use of Agricultural Chemicals. **The Florida Entomologist** 46(4): 275–277.
- Román RAA, Cortez JW, Da Costa Ferreira M, Di Oliveira JRG. (2009) Cobertura da cultura da soja pela calda fungicida em função, de pontas de pulverização e volumes de aplicação. **Scientia Agraria** 10(3): 223–232.

- Sasaki RS, Teixeira MM, Santiago H, Madureira RP, Maciel CFS, Fernandes HC. (2015) Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural** 45(2): 274–279. doi:10.1590/0103-8478cr20131604
- Sehsah EME, Ganzelmeier H. (2010) Comparison study on low pressure emf nozzles based on droplets size characteristics. **Misr Journal of Agricultural Engineering** 27(January): 122–140.
- Silva BM, Ruas RAA, Sichoeki D, Dezordi LR, Caixeta LF. (2014) Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). **Engenharia na Agricultura** 22(1): 17–24. doi:10.13083/1414-3984.v22n01a02
- Spanoghe P, Schampheleire M, Meeren P Van der, Steurbaut W. (2007) Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra: Review. **Pest Management Science** 63: 4–16. doi:10.1002/ps
- Tuck CR, Butler Ellis MC, Miller PCH. (1997) Techniques for measurement of droplet size and velocity distributions in agricultural sprays. **Crop Protection** 16(7): 619–628. doi:10.1016/S0261-2194(97)00053-7
- Unsworth J. (2010) History of Pesticide Use. **International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)** 23(May): 1975–1976. Obtido de [https://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31](https://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31)
- Van de Zande JC, Stallinga H, Michielsen JMGP, van Velde P. (2004) Effect of Sprayer Speed on Spray Drift. **Annual Review of Agricultural Engineering** 4: 11p.
- Višacki V V, Sedlar AD, Gil E, Bugarin RM, Turan JJ, Janic T V, Burg P. (2016) Effects of Sprayer Boom Height and Operating Pressure on the Spray Uniformity and Distribution Model Development. **Applied Engineering in Agriculture** 32(3): 341–346. doi:10.13031/aea.32.11376
- Volpe HXL, Duarte RT, Silva AG da, Baldan Júnior E, Leite GJ, Ferreira M da C. (2012) Distribuição volumétrica de calda contendo *Metarhizium anisopliae*. **Ciência Rural** 42(11): 1909–1915. doi:10.1590/S0103-84782012005000082
- Wolf RE. (2013) A Review of the spray drift literature for ground applications. **Journal of Pesticide Safety Education** 15: 30–61. doi:10.1016/0009-2614(89)85215-7
- Wolf RE, Daggupati NP. (2006) Nozzle type effect on soybean canopy penetration. **Transactions of the ASABE** 61163: 10. doi:10.13031/2013.25426
- Womac AR, Goodwin JC, Hart WE. (1997) **Tip selection for precision application of herbicides**. Trace: Tennessee Research and Creative Exchange (Vol. 695). Knoxville.
- Xu L, Zhu H, Ozkan HE, Bagley WE, Krause CR. (2011) Droplet evaporation and

spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. **Pest Management Science** 67: 842–851. doi:10.1002/ps.2122

Yorinori JT, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Paiva WM, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy C V., Nunes J. (2005) Epidemics of Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease** 89(6): 675–677. doi:10.1094/PD-89-0675

Yu Y, Zhu H, Ozkan HE, Derksen RC, Krause CR. (2009) Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** 52(1): 39–49. doi:10.13031/2013.25939

Zaidan SE, Gadanha Jr CD, Gandolfo MA, Pontelli CO, Mosquini WW. (2012) Performance of spray nozzles in land applications with high speed. **Engenharia Agrícola** 32(6): 1126–1132. doi:10.1590/S0100-69162012000600014

Zhu H, Reichard DL, Fox RD, Brazee RD, Ozkan HE. (2016) Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASABE** 37(5): 1401–1407.