

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA FACULDADE DE
CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CÂMPUS DE
JABOTICABAL**

**Influência da ponta de pulverização, da pressão de trabalho e do uso de
adjuvantes associados com inseticida sobre as propriedades da calda
fitossanitária, o espectro de gotas e o desempenho da aplicação**

Discente: Pedro Bellucci

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa
Ferreira

Coorientador: M.Sc. Edimar Peterlini

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação
em ENGENHARIA AGRÔNOMICA

**Jaboticabal – SP
Julho de 2026**

- B449i Bellucci, Pedro
- Influência da ponta de pulverização, da pressão de trabalho e do uso de adjuvantes associados com inseticida sobre as propriedades da calda fitossanitária, o espectro de gotas e o desempenho da aplicação / Pedro Bellucci. -- Jaboticabal, 2026
- 52 p. : tabs., fotos
- Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
- Orientador: Marcelo da Costa Ferreira
- Coorientador: Edimar Peterlini
1. Tecnologia de aplicação. 2. Adjuvante. 3. Inseticidas. 4. Ponta de Pulverização. 5. Espectro de Gotas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

NOME COMPLETO DO AUTOR

Pedro Bellucci

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO: Influência da ponta de pulverização, da pressão de trabalho e do uso de adjuvantes associados com inseticida sobre as propriedades da calda fitossanitária, o espectro de gotas e o desempenho da aplicação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrônoma**.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

Coorientador: M.Sc. Edimar Peterlini

Área de Concentração: Departamento de Fitossanidade da UNESP-FCAV

Trabalho aprovado em 24/07/2026

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **EDIMAR PETERLINI**
Data: 30/07/2026 09:24:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Presidente da banca: M.Sc. Edimar Peterlini (Doutorando em Engenharia Agrônoma)
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL JUNIOR DE ANDRADE**
Data: 28/07/2026 10:58:51-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Prof. Dr Daniel Junior de Andrade
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **THALES GOMES DOS SANTOS**
Data: 28/07/2026 13:39:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: M.Sc. Thales Gomes dos Santos (Doutorando em Engenharia Agrônoma)
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO DA COSTA FERREIRA**
Data: 30/07/2026 14:06:44-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira
Chefe do Departamento

Agradecimentos

Primeiramente agradecer a Deus por toda a proteção e todas as conquistas as quais obtive.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV-UNESP) por todo o comprometimento com a ciência, a estrutura e equipamentos os quais foram utilizados na construção desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, pela orientação e amizade, me proporcionou diversos ensinamentos, tanto no ramo da engenharia agrônoma quanto no lado humano de ser.

Ao M.Sc. Edimar Peterlini, pela amizade, pelos ensinamentos, por ser meu coorientador e o grande mentor que me ajudou a conduzir todo esse trabalho, desde o início até no fim da defesa.

À toda equipe do Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), pela parceria, amizade, aprendizado e acima de tudo por todo o apoio nos experimentos e na condução do trabalho: Anderson Vieira Rodrigues, Bruno Henrique Contini, Calil Silva Mendonça, Denikeli Bucoski, Edimar Peterlini, Felipe Feliz Rodrigues, Gabriel Carvalho Ribeiro de Oliveira, Maria Thalia Lacerda Siqueira, Nelson Henrique, Rafael Davanzo Ballera, Rafael Sichieri, Thaís Maryana do Nascimento Guimarães, Thales Gomes dos Santos, Tiago Rogério de Carvalho e Wanderlei Dibelli.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por todo o investimento com a bolsa de pesquisa, recurso fundamental para a condução desse trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio com equipamento Multiusuário, que no caso desse trabalho o equipamento foi o analisador de tamanho de partículas por difração de raios laser modelo Helos K/R da Sympatec Inc. (Nº de processo: 2017/25258-1).

Aos meus pais Vladimir Bellucci e Tânia Aparecida Boiato Bellucci, pelo infinito apoio, amor e carinho que me proporcionou enfrentar os desafios da graduação. Aos meus demais familiares, minha avó e madrinha Aparecida Carolina Fidencio Boiato, ao meu avô Luiz Valdecir Boiato (*in memoriam*), minha tia Márcia Aparecida Boiato de Paiva, tios Carlos Antonio de Paiva, Vlamir Bellucci, primo Mateus Antonio de Paiva, prima Ana Carolina de Paiva, a minha namorada Laura Aparecida Paulino.

Aos meus amigos e companheiros da República Abatedouro e da FCAV, pelos momentos descontraídos, amizades, ensinamentos e vivências que levarei para o resto da vida.

Influência da ponta de pulverização, da pressão de trabalho e do uso de adjuvantes associados com inseticida sobre as propriedades da calda fitossanitária, o espectro de gotas e o desempenho da aplicação

Resumo

A eficiência das aplicações de produtos fitossanitários está diretamente relacionada à escolha adequada dos parâmetros de aplicação, uma vez que fatores como a composição da calda fitossanitária, o modelo de ponta de pulverização e a pressão de trabalho influenciam as propriedades físico-químicas da calda, a formação do espectro de gotas e a deposição do produto sobre o alvo. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da pressão de trabalho, do modelo de ponta de pulverização e da utilização dos adjuvantes Li 700® e Silwet®, associados ao inseticida Verdavis®, sobre o espectro de gotas gerado durante a pulverização, bem como seus efeitos nas propriedades físico-químicas das caldas, na cobertura e na deposição da aplicação. O estudo foi conduzido em laboratório e em campo. Em laboratório, foram avaliadas as propriedades físico-químicas das caldas e o espectro de gotas produzido por diferentes pontas de pulverização submetidas a distintas pressões de trabalho. Os experimentos de campo foram realizados na cultura da soja (*Glycine max*), onde foram avaliadas a cobertura e a deposição da pulverização nos estratos superior, médio e inferior do dossel. Os resultados demonstraram que a associação do Verdavis® aos adjuvantes apresentou compatibilidade físico-química, mantendo a estabilidade das caldas durante o período de avaliação. Além disso, os adjuvantes modificaram as propriedades físico-químicas das caldas e influenciaram o espectro de gotas, com respostas dependentes da interação entre a ponta de pulverização e a pressão de trabalho, refletindo na cobertura e na deposição da pulverização. Conclui-se que a eficiência das aplicações fitossanitárias depende da integração entre a composição da calda, a escolha da ponta de pulverização e a pressão de trabalho, evidenciando a importância do ajuste desses parâmetros para melhorar a qualidade da aplicação e reduzir o potencial de perdas por deriva.

Palavras-chave: Calda fitossanitária. Adjuvantes. Pontas de pulverização. Pressão de trabalho. Espectro de gotas. Deposição.

Influence of the spray nozzle, working pressure, and the use of adjuvants combined with insecticide on the properties of the pesticide spray mixture, the droplet spectrum, and application performance

Abstract

The efficiency of pesticide applications is directly related to the appropriate selection of application parameters, as factors such as spray mixture composition, spray nozzle model, and working pressure influence the physicochemical properties of the mixture, the formation of the droplet spectrum, and product deposition on the target. In this context, the present study aimed to evaluate the influence of working pressure, spray nozzle model, and the use of the adjuvants LI 700® and Silwet®, combined with the insecticide Verdavis®, on the droplet spectrum generated during spraying, as well as their effects on the physicochemical properties of the spray mixtures, spray coverage, and deposition. The study was carried out under laboratory and field conditions. In the laboratory, the physicochemical properties of the mixtures and the droplet spectrum produced by different spray nozzles under distinct working pressures were evaluated. Field experiments were conducted in soybean crops (*Glycine max*), where spray coverage and deposition were assessed in the upper, middle, and lower strata of the canopy. The results showed that combining Verdavis® with the adjuvants presented physicochemical compatibility, maintaining mixture stability throughout the evaluation period. Furthermore, the adjuvants modified the physicochemical properties of the mixtures and influenced the droplet spectrum, with responses dependent on the interaction between spray nozzle type and working pressure, which was reflected in spray coverage and deposition. It is concluded that the efficiency of pesticide applications relies on the integration of spray mixture composition, spray nozzle selection, and working pressure, highlighting the importance of adjusting these parameters to improve application quality and reduce potential losses due to drift.

Keywords: Spray mixtures. Adjuvants. Spray nozzles. Working pressure. Droplet spectrum. Deposition.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Tecnologia de Aplicação dos Produtos Fitossanitários	3
2.2. Comportamento do Espectro de Gotas	4
2.3. Composição e características das caldas fitossanitárias.....	6
2.4. Pontas de pulverização e pressão de trabalho	8
2.5. Parâmetros de aplicação na cultura da Soja (<i>Glycine max</i>)	10
3. OBJETIVO.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Análise do espectro de gotas	12
4.2. Caracterização físico-química das caldas fitossanitárias.....	13
4.3. Avaliação e análises da pulverização, da taxa de cobertura e da deposição de gotas nas plantas de soja (<i>Glycine max</i>)	17
4.4. Análise Estatística	19
5. RESULTADOS.....	20
5.1. Espectro de gotas.....	20
5.2. Tensão Superficial, Ângulo de contato e Viscosidade das caldas fitossanitárias.	25
5.3. Estabilidade físico-química das caldas fitossanitárias	28
5.4. Cobertura.....	30
5.5. Depósito	34
6. DISCUSSÃO.....	38
6.1. Espectro de Gotas	38
6.2. Tensão Superficial, Ângulo de contato e Viscosidade das caldas fitossanitárias.	40
6.3. Estabilidade físico-química das caldas fitossanitárias	41
6.4. Cobertura e Depósito de gotas pulverizadas	42
7. CONCLUSÃO.....	44

1. Introdução

A agricultura contemporânea enfrenta o desafio de conciliar elevados níveis de produtividade com a redução de impactos ambientais e o uso racional de insumos. Nesse contexto, a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários constitui um dos pilares da produção agrícola, sendo amplamente empregada no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, bem como na aplicação de fertilizantes foliares e outros produtos. No cenário agrícola brasileiro, caracterizado pela grande extensão territorial e diversidade de sistemas produtivos, a eficiência dessas aplicações é determinante para o sucesso das lavouras (FERREIRA & MATUO, 2024).

A eficiência da aplicação de produtos fitossanitários está diretamente relacionada à qualidade da pulverização, a qual pode ser comprometida por fatores como deriva, evaporação e escoamento das gotas. Essas perdas reduzem a quantidade de produto que efetivamente atinge o alvo, ocasionando falhas no controle fitossanitário, aumento dos custos operacionais e maior risco de contaminação ambiental (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2014). Dessa forma, o correto entendimento dos fatores que influenciam o processo de pulverização torna-se essencial para o aprimoramento da tecnologia de aplicação.

Um dos principais indicadores da qualidade da pulverização é o espectro de gotas, que descreve a distribuição dos tamanhos das gotas geradas durante o processo de atomização da calda. O tamanho das gotas influencia diretamente a cobertura da superfície-alvo, a penetração no dossel vegetal e o potencial de deriva, sendo um fator determinante para a eficiência biológica da aplicação (SASAKI et al., 2016). Gotas de menor diâmetro apresentam maior suscetibilidade à deriva e à evaporação, enquanto gotas de maior diâmetro podem resultar em escoamento e cobertura inadequada. (FERREIRA & MATUO, 2024).

A caracterização do espectro de gotas é realizada por meio de parâmetros amplamente utilizados na pesquisa e na prática agrícola, como o Diâmetro

Mediano Volumétrico (DMV), que representa o diâmetro que divide o volume pulverizado em duas frações iguais, e o (Span) que representa o coeficiente de uniformidade das gotas (GRIESANG, 2019). Gotas muito finas, com diâmetro entre 50 e 100 μm , apresentam maior suscetibilidade à deriva devido à ação do vento, embora proporcionem melhor uniformidade de pulverização. Em contrapartida, gotas maiores apresentam melhor deposição em alvos horizontais por serem mais resistentes ao deslocamento pelo vento. (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2014)

A composição da calda de pulverização exerce influência significativa sobre o processo de formação das gotas, uma vez que propriedades físico-químicas como tensão superficial, viscosidade e densidade interferem diretamente na fragmentação do líquido ao atravessar a ponta de pulverização (CUNHA et al., 2010). Nesse sentido, a adição de adjuvantes à calda é uma prática amplamente adotada, visando modificar essas propriedades e melhorar o desempenho da pulverização, seja pela redução da deriva, aumento da cobertura, melhoria da aderência ou maior retenção das gotas sobre o alvo (MOTA; ANTUNIASI, 2013; BERNA, 2017).

Além da composição da calda, as pontas de pulverização são componentes fundamentais do sistema de aplicação, sendo responsáveis pelo padrão de deposição e pelo espectro de gotas gerado. Diferentes modelos de pontas são desenvolvidos para atender a objetivos específicos, produzindo gotas de tamanhos variados conforme a necessidade da aplicação (GANDOLFO et al., 2014). Associada a isso, a pressão de trabalho do sistema de pulverização exerce influência direta sobre o tamanho e a velocidade das gotas, sendo um dos principais parâmetros de regulação durante as operações em campo (DI PRINZIO et al., 2011).

Dessa forma, a compreensão integrada da interação entre a composição da calda, o uso de adjuvantes, o tipo de ponta de pulverização e a pressão de trabalho é fundamental para o aprimoramento da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Estudos que avaliem o comportamento do espectro de

gotas em função dessas variáveis fornecem subsídios técnicos importantes para aumentar a eficiência das aplicações, reduzir perdas de produto e minimizar os impactos ambientais, contribuindo para a adoção de sistemas agrícolas mais sustentáveis (FERREIRA & MATUO, 2024).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tecnologia de Aplicação dos Produtos Fitossanitários

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários desempenha papel fundamental na eficiência do controle de pragas, doenças e plantas daninhas, pois está diretamente associada ao empenho dos conhecimentos científicos para proporcionar a correta deposição do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade necessária, quando e se necessária, de forma econômica com o mínimo de contaminação ambiental, buscando a redução de perdas durante a pulverização, como deriva, evaporação e escoamento (FERREIRA & MATUO, 2024).

Entre os fatores que determinam a qualidade da aplicação, o espectro de gotas assume posição de destaque, uma vez que o tamanho e a distribuição das gotas interferem na cobertura da superfície tratada, na capacidade de penetração no dossel e no risco de contaminação ambiental (FERREIRA & MATUO, 2024). Para essa caracterização, são amplamente empregados indicadores como o Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), o coeficiente de uniformidade (Span) e a fração de gotas finas com maior potencial de deriva (SASAKI et al., 2016). A dinâmica de formação das gotas depende da interação entre o modelo de ponta de pulverização, a pressão de trabalho adotada e as propriedades físico-químicas da calda, como viscosidade e tensão superficial (CUNHA et al., 2010; DI PRINZIO et al., 2011). Nesse cenário, a adição de adjuvantes pode alterar essas características, influenciando o processo de atomização e possibilitando a obtenção de padrões de gotas mais adequados às diferentes condições de aplicação (MOTA; ANTUNIASSI, 2013; BERNA, 2017). Portanto, o ajuste integrado desses fatores é essencial para promover maior

eficiência agrônômica e reduzir impactos ambientais nas operações de pulverização.

2.2. Comportamento do Espectro de Gotas

Dentro dos parâmetros dos produtos aplicados, existem 3 principais formas físicas em que o produto se expressa no meio para atingir o alvo em questão, no meio sólido, gasoso e líquido. A grande maioria das aplicações dos produtos fitossanitários se dá pela via líquida, nela a calda, formada por água e formulações de produtos fitossanitários é fragmentada em partículas menores denominadas gotas. O processo de deposição e sua trajetória, está diretamente ligado com sua velocidade, massa e tamanho (MILLER et al., 2008; CHETHAN et al.; 2019; GONG et al.; 2023).

A princípio, não existe um tamanho de gota universalmente ideal para todas as situações de controle, uma vez que sua adequação depende da interação de múltiplos fatores. Entre eles, destacam-se as características do alvo, o estágio fenológico da cultura, as condições climáticas no momento da aplicação e as tecnologias utilizadas, o que demanda avaliação específica para cada cenário. Assim, a escolha do diâmetro de gotas deve ser orientada pela busca de maior eficiência no controle desejado, aliada ao uso racional de produtos fitossanitários e à minimização dos impactos ambientais. (HIMEL, 1969).

A energia hidráulica representa o principal método utilizado nas pulverizações agrícolas, sendo a formação das gotas influenciada pelos diferentes mecanismos associados ao modelo de ponta empregado. Nesse sentido, a faixa de pressão mais utilizada na aplicação de produtos fitossanitários varia entre 2 e 8 bar; contudo, as gotas produzidas nesse processo podem apresentar variações quanto à uniformidade de tamanho e distribuição (BARRÊTO, 2011).

A compreensão do processo de formação de gotas requer a análise dos fenômenos que ocorrem nos dispositivos de aplicação. Ao ser liberado pela ponta de pulverização, o líquido entra em contato com o ar, sofrendo deformação em sua estrutura, o que resulta na formação de filamentos que, posteriormente, se desintegram em gotas. Esse mecanismo é condicionado por diferentes fatores, como a viscosidade do ar, as propriedades físico-químicas do líquido dentre elas a tensão superficial, a viscoelasticidade e a densidade, além da pressão de operação e das características construtivas do equipamento de pulverização (FERREIRA & MATUO, 2024).

Além disso, é fundamental considerar as variações na composição da calda, que podem ocorrer em função da proporção de água e de outros componentes presentes, bem como das condições térmicas do ambiente. O aumento da temperatura promove a redução da tensão superficial e da viscosidade da água, enquanto a densidade diminui à medida que a temperatura se eleva. A interação entre esses fatores, somada às condições do meio atmosférico, contribui para a desagregação do líquido, originando gotas com ampla diversidade de tamanhos.

Conhecendo-se o diâmetro das gotas depositadas, torna-se possível calcular seu volume por meio da expressão $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ em que R corresponde ao raio da gota. (FERREIRA & MATUO, 2024).

Pelo fato de as gotas não possuírem um tamanho uniforme, é de extrema importância classificar os diâmetros e o conjunto de gotas segundo parâmetros de tamanho e uniformidade. Ao classificar uma dada amostra de gotas produzidas por uma ponta de pulverização, é possível estimar o diâmetro da mediana de volume (DMV). O (DMV) representa o diâmetro da gota que divide o volume total pulverizado em duas metades, sendo uma composta por gotas menores e a outra por gotas maiores que esse diâmetro. (CHECHETTO & ANTUNIASSI, 2012).

Em síntese, a eficiência na aplicação de produtos fitossanitários depende da interação entre as propriedades da calda, os mecanismos de formação das

gotas e as condições operacionais e ambientais. Como não há um tamanho de gota ideal para todas as situações, é fundamental ajustar as variáveis conforme o alvo e o contexto de aplicação, buscando maximizar o controle com menor impacto ao meio ambiente. Nesse sentido, parâmetros como DMV, Span e gotas menores que 100 μm são essenciais para avaliar a qualidade da pulverização, especialmente quanto ao espectro de gotas. Dessa forma, o domínio desses fatores permite otimizar as aplicações, tornando-as mais eficientes e sustentáveis.

2.3. Composição e características das caldas fitossanitárias.

A compatibilidade de caldas pode ser definida como a capacidade de diferentes classes de produtos fitossanitários, tais como inseticidas, fungicidas e adjuvantes, serem misturadas em uma mesma solução, mantendo suas propriedades físico-químicas e a integridade dos ingredientes ativos, sem comprometer a estabilidade das partículas em suspensão ou promover reações indesejáveis. Nesse contexto, as interações entre os produtos podem influenciar diretamente a eficiência da aplicação, sendo classificadas em três tipos principais: aditiva, quando o efeito da mistura equivale ao desempenho dos produtos aplicados isoladamente, sem interferência entre si; sinérgica, quando a combinação resulta em aumento da eficácia, potencializando a ação dos produtos; e antagônica, quando ocorre redução da eficiência, em função da interferência negativa entre os componentes da mistura. (CALABRESE, 1990; PETTER et al., 2013; VECHIA et al, 2019).

As formulações utilizadas podem sofrer alterações físicas nas caldas, comprometendo a compatibilidade entre os produtos e a estabilidade da mistura no tanque do pulverizador, embora, em determinadas situações, tais alterações possam ser revertidas por meio de ações mecânicas. Já as interações químicas ocorrem, geralmente, de maneira irreversível, exercendo influência sobre a eficiência esperada no controle do organismo-alvo (PETTER et al., 2013).

Esses fenômenos afetam diretamente a concentração dos produtos ao longo das aplicações, devido à formação de fases distintas no interior do tanque. Como consequência, podem ocorrer superdosagens ou subdosagens, ocasionando efeitos indesejáveis, como entupimento de componentes do sistema hidráulico, falhas nos tratamentos, intoxicação das culturas e impactos ambientais.

Para evitar ou conter os prejuízos causados pelos insetos praga devem ser tomadas medidas de controle, sendo que a mais comum é o uso de inseticidas (BALCI et al., 2019). Dentre os inseticidas disponíveis no mercado, a classe dos piretróides que agem no sistema nervoso central dos insetos, tem um grande destaque, já que apresentam amplo espectro, conseguindo, portanto, atuar contra diversas pragas, correspondendo por mais de 17% do mercado global de defensivos para a agricultura (MORGAN et al., 2018).

A utilização dos piretróides intensificou-se após a proibição dos organoclorados, substâncias que apresentavam elevada persistência ambiental e acentuada toxicidade ao sistema nervoso central de mamíferos. Nesse sentido, os piretróides passaram a ser amplamente adotados em nível mundial, em função de sua menor toxicidade em mamíferos, reduzido impacto ambiental, amplo espectro de controle e elevada eficiência mesmo em baixas concentrações (SANTOS, 2008).

No campo da fitossanidade, os adjuvantes agrícolas são compreendidos como substâncias que não apresentam atividade biocida, sendo empregados com a finalidade de promover alterações nas propriedades físico-químicas das formulações ou das caldas de produtos fitossanitários. Sua utilização está associada à melhoria da qualidade da pulverização, contribuindo para maior eficiência na deposição e no alcance do alvo de controle (FERREIRA & MATUO, 2024).

Nesse contexto, a formação das gotas e o desempenho dos produtos fitossanitários dependem diretamente dos componentes presentes na calda de pulverização. Tais componentes, embora não constituam o ingrediente ativo,

exercem influência significativa na maximização da eficácia dos produtos aplicados (GREEN & BEESTMAN, 2007).

As alterações promovidas pelos adjuvantes na calda de pulverização contribuem para aumentar a eficiência das aplicações fitossanitárias, reduzindo problemas como incompatibilidade de misturas, deriva e baixa cobertura, além de melhorar o molhamento, o espalhamento e a absorção do ingrediente ativo (WENZEL et al, 2003; MOTA, 2011). Destaca-se que um único adjuvante não desempenha todas essas funções, sendo a combinação de diferentes compostos responsável por efeitos sinérgicos e complementares (STOCK E BRIGGS, 2000; TU E RANDALL, 2003). Entre seus mecanismos de ação, ressalta-se a redução da tensão superficial, favorecendo maior contato e retenção da calda na superfície foliar (HESS; FOY, 2000; VAN ZYL et al., 2010; XU et al., 2010).

Adicionalmente, os adjuvantes influenciam propriedades físico-químicas da calda, como pH, condutividade elétrica, viscosidade e tensão superficial, impactando diretamente o comportamento das gotas, incluindo tamanho, evaporação e espalhamento (MENDONÇA & RAETANO, 2007; CUNHA & ALVES, 2010; CUNHA et al., 2017). A tensão superficial está relacionada à molhabilidade e adesão, sendo influenciada por surfactantes (TANG; DONG; LI, 2008). Destacam-se ainda o pH e a condutividade elétrica, que afetam a degradação, absorção e eficiência dos produtos, além da interação com a superfície foliar (CUNHA et al., 2017).

2.4. Pontas de pulverização e pressão de trabalho

Os bicos de pulverização são elementos essenciais no processo de aplicação, pois interferem diretamente na eficiência e na segurança das operações. De forma geral nos pulverizadores, os bicos são compostos por um conjunto de componentes, sendo a ponta de pulverização o componente mais específico, pois está mais diretamente ligado a formação e distribuição das gotas (FERREIRA & MATUO, 2024).

A ponta de pulverização é considerada o componente mais relevante nos sistemas de aplicação hidráulica, sendo indispensável a correta definição de suas características, visto que estas exercem influência direta sobre a qualidade da deposição da calda (MILLER & ELIS, 2000). Nesse sentido, o êxito na aplicação de produtos fitossanitários está condicionado ao uso de pontas que assegurem uma distribuição transversal uniforme, bem como a formação de gotas com espectro homogêneo e tamanho adequado (CUNHA et al, 2003).

A homogeneidade da distribuição volumétrica da calda ao longo da barra de pulverização depende de fatores como o espaçamento entre as pontas, a altura da barra, o ângulo de abertura e a pressão de operação. Essa característica é avaliada por meio do coeficiente de variação obtido a partir da sobreposição dos perfis de distribuição das pontas posicionadas na barra (BAUER & RAETANO, 2004).

No caso da aplicação de fungicidas e inseticidas, é interessante a produção de gotas finas a médias, para a confecção de uma boa cobertura para os alvos de interesse. (FERREIRA & MATUO, 2024). Para isso, recomenda-se a utilização de pontas do tipo jato cônico vazio. Essas pontas operam, em geral, sob pressões que variam de 200 a 1.000 kPa (2 a 10 bar), com ângulo de abertura entre 60° e 80°, produzindo gotas de menor tamanho, o que pode aumentar a suscetibilidade à deriva (CHRISTOFOLETI, 1991, *apud* THEBALDI et al., 2009).

Por sua vez, as pontas de jato plano, operam em pressões mais baixas, normalmente entre 100 e 400 kPa (1 e 4 bar), gerando gotas de maior diâmetro. Dessa forma, podem ser considerados uma alternativa para reduzir perdas por deriva em aplicações de fungicidas e inseticidas. Contudo, apresentam como limitação a menor capacidade de cobertura e penetração no interior do dossel vegetal.

Assim, durante as aplicações, é necessário evitar a formação de gotas excessivamente pequenas ou grandes. Gotas com diâmetro inferior a 100 µm são facilmente transportadas pelo vento, enquanto aquelas superiores a 800 µm

tendem a escorrer sobre a superfície foliar (LEFEBVRE, 1989). Nesse sentido, o conhecimento das características operacionais dos bicos é fundamental para sua correta escolha, assegurando maior eficiência e qualidade nas aplicações.

Ao se falar da pressão de aplicação, o mecanismo controlador de pressão é o responsável por separar a parte da calda que vai para a pulverização e o que volta para dentro do tanque, sendo um componente fundamental para estabilizar a pressão e promover a agitação de calda dentro do tanque dos pulverizadores. De acordo com o tipo controlador de pressão pode haver influência direta na formação de gotas a depender dos produtos presentes na calda. (LIMA, 2024).

2.5. Parâmetros de aplicação na cultura da Soja (*Glycine max*)

A soja (*Glycine max* L.) é uma cultura agrícola pertencente à família Fabaceae, cuja origem está associada ao continente asiático, especialmente à região nordeste da China. Por ser originalmente adaptada a condições de clima temperado, tornou-se necessário o investimento em programas de melhoramento genético para possibilitar sua adaptação e cultivo em áreas tropicais, como o Brasil (GAZZONI, 2018). A soja constitui a principal oleaginosa em produção e consumo no mundo, devido, entre outros fatores, ao elevado conteúdo de óleo e proteína de seus grãos, que pode superar 20% e 40%, respectivamente. (CARVALHO et al, 2023). A cultura possui grande relevância econômica e alimentar, sendo amplamente utilizada na dieta de diversas populações. Os primeiros relatos de cultivo da soja no país datam do final do século XIX, no estado da Bahia. No entanto, foi somente entre as décadas de 1920 e 1940 que a cultura apresentou avanços produtivos mais expressivos, destacando-se a região Sul como a pioneira na consolidação de seu cultivo (GAZZONI, 2018).

Entre a década de 1970 e o final da década de 1980, a produção brasileira de soja apresentou expressiva expansão, elevando a participação do país de menos de 4% para mais de 23% da produção mundial e consolidando sua importância no cenário agrícola internacional. (WARNKEN, 1999).

Além disso, a soja é o principal grão produzido no Brasil e desempenha papel fundamental na economia nacional. Em 2020, o país tornou-se o maior produtor mundial da cultura, alcançando uma produção de 135,4 milhões de toneladas em uma área de 38,5 milhões de hectares. Na safra 2024/2025, a cultura ocupou 47,61 milhões de hectares, totalizando uma produção de 169,49 milhões de toneladas e produtividade média de 3.560 kg ha⁻¹ (CONAB, 2026).

Nos parâmetros de aplicação na cultura, para o sucesso desse manejo, além de se conhecer a natureza do produto, também é necessário dominar a forma adequada de aplicação, de modo a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando as perdas e reduzindo a contaminação do ambiente (CUNHA et al., 2005).

Muitas vezes, parte do produto aplicado perde-se no ambiente, principalmente pela má qualidade da aplicação, seja ela terrestre, seja aérea, sendo este um dos maiores problemas da agricultura moderna a ser superado (CUNHA et al., 2006). De acordo com Ozeki e Kunz (1998) a cobertura do alvo é o principal fator responsável pela eficiência da aplicação, tornando a escolha da ponta de pulverização, fundamental para obtenção do espectro de gotas adequado. O momento de aplicação é outro fator que deve ser considerado na tomada de decisão (CUNHA et al., 2006).

Os atributos da cultura, tais como a conformação do dossel e o estágio de desenvolvimento fenológico, também desempenham papel determinante na eficiência das aplicações de defensivos (FARIAS et al., 2021). Maiores volumes de calda favorecem uma cobertura mais uniforme das folhas, enquanto volumes menores contribuem para a otimização operacional, embora exijam maior rigor na precisão da deposição (MAZIERO et al., 2009). Nesse contexto, o emprego de adjuvantes mostra-se relevante, pois melhora as características físico-químicas dos inseticidas, possibilitando maior dispersão e absorção do ingrediente ativo (MURARO et al., 2020; ROSA, 2025).

3. OBJETIVO

Avaliar como a pressão de trabalho, o modelo de ponta de pulverização e o uso dos adjuvantes Li 700® e Silwet® na composição da calda a base do inseticida Verdavis® pode influenciar nas propriedades físico-química da mistura, no espectro de gotas gerado na aplicação, consequentemente na cobertura e no depósito das gotas pulverizadas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados entre os anos de 2025 e 2026, nos laboratórios do NEDTA (Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação) localizado no Departamento de Fitossanidade, no campus da FCAV-UNESP, em Jaboticabal – SP.

4.1. Análise do espectro de gotas

As análises do espectro de gotas das caldas foram realizadas tanto no laboratório de preparo de amostras do NEDTA, quanto na sala que está instalado o equipamento analisador de tamanho de partículas por difração de raios laser modelo Helos K/R (Sympatec Inc.).

Foi utilizado para composição das caldas inseticida químico composto por Isocloferam + Lambda-cialotrina (Verdavis®), adjuvante Li 700® à base de lecitina de soja + ácido propiônico, e adjuvante Silwet L-77 Ag® à base de heptametiltrisiloxano. As caldas foram do inseticida sozinho e em mistura com cada adjuvante totalizando assim 3 caldas de pulverização. (Tabela 1)

Tabela 1: Produtos comerciais utilizados para composição das caldas.

Caldas*	Dosagens**
Verdavis®	175 mL ha ⁻¹
Verdavis® + Li 700®	175 mL ha ⁻¹ + 0,05% v/v
Verdavis® + Silwet L-77 Ag®	175 mL ha ⁻¹ + 0,05% v/v
*Todas as dosagens são recomendadas pelos fabricantes para o volume de calda de 100L ha ⁻¹ . ** Concentração média de bula para todos os alvos e cultivos registrados.	

Junto ao preparo das caldas, foi feito o planejamento e o estudo sobre quais pontas utilizar dentro da composição dos bicos pulverizadores, junto a pressão de trabalho. Foram utilizados pontas de pulverização de energia hidráulica de quatro modelos diferentes, XR11003 jato plano, AIXR11003 jato plano com indução de ar, TT11003 jato plano defletor e TTI11003 jato plano defletor com indução de ar (TEEJET TECHNOLOGIES, 2024). Em 3 pressões de trabalho sendo elas 2, 4 e 6 bar.

As caldas acima descritas (Tabela 1) foram submetidas a análise do espectro de gotas nas diferentes pontas de pulverização, nas 3 pressões de trabalho, tendo o esquema fatorial de 3 x 4 x 3 foi estabelecido um total de 36 tratamentos, com 4 repetições cada. Para a coleta dos dados foi utilizado o analisador de tamanho de partículas modelo Helos K/R (Sympatec Inc.), que utiliza a técnica de difração a laser para determinar a distribuição de tamanho de gotas pulverizadas.

4.2. Caracterização físico-química das caldas fitossanitárias

A caracterização físico-química das caldas fitossanitárias foi efetuada por meio da análise da tensão superficial, do ângulo de contato, da viscosidade das caldas além da verificação da estabilidade e da compatibilidade nos aspectos físico e químico.

As avaliações da tensão superficial e do ângulo de contato, foi utilizado o tensiômetro automático, Contact Angle System OCA 15-plus (Dataphysics®), equipado com câmera digital de alta velocidade e o software SCA20® (DataPhysics Instruments GmbH, Filderstadt, Alemanha) para processamento

das imagens obtidas em um computador. As caldas foram preparadas com base nas concentrações descritas na Tabela 1, porém houve o ajuste das dosagens para um recipiente béquer de 200 ml de volume. Para esta análise foi utilizada os produtos fitossanitários propostos na Tabela 1, o uso do inseticida Verdavis isolado e o inseticida associado com os adjuvantes Li 700® e Silwet®, totalizando 3 caldas fitossanitárias consequentemente 3 tratamentos para essa etapa.

Para determinação da tensão superficial, o equipamento foi ajustado para o método da gota pendente, considerando a equação de Young-Laplace $\Delta P = 2\gamma / R$, onde ΔP é a variação de pressão entre superfícies, γ é a tensão superficial e R é o raio de curvatura da gota. Antes da gota ser depositada, foi programado o software para realizar uma análise por segundo, durante 60 segundos, assim foi obtido um total de 60 análises, por repetição, com um total de 4 repetições por tratamento.

As medições do ângulo de contato foram realizadas por meio da deposição de gotas sobre uma superfície artificial padrão composta por filme parafinado (Parafilm® M, Bemis, WI, EUA), com dimensões de 1 x 10 cm, fixada em um suporte adequado. Após a deposição da gota na superfície, o ângulo de contato foi então registrado. A câmera capturou a imagem da gota sobre a superfície e mediu o ângulo formado pela tangente externa da gota a partir da intercepção com a superfície.



Figura 1: Análise da Tensão Superficial (A). Análise do Ângulo de Contato (B).

As avaliações de estabilidade e compatibilidade físico-química das caldas foram realizadas em provetas graduadas de 250 mL com tampa. As caldas foram preparadas com água-padrão até o volume de 250 mL, adicionando-se o equivalente a 17,5 mL do inseticida Verdavis® e 0,1 mL dos adjuvantes Li 700® ou Silwet®, conforme os tratamentos. Após o preparo, as provetas foram tampadas e agitadas manualmente, realizando-se 10 inversões de 180°, com duração aproximada de 2 segundos por inversão, conforme a ABNT 13451 (2002).

As avaliações foram realizadas nos tempos de 0, 2, 6 e 24 horas após o preparo das caldas. Em cada intervalo, determinaram-se o potencial hidrogeniônico (pH), utilizando pHmetro de bancada Q400RS (Quimis Aparelhos Científicos, Diadema, SP, Brasil), e a condutividade elétrica, utilizando condutivímetro MP-11P (Marte Científica, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil). A formação de espuma, quando presente, foi quantificada por meio da medição de sua altura com régua graduada.

Após as avaliações, as caldas foram vertidas em peneira com abertura nominal de 149 µm (malha 100 mesh), conforme a NBR NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2010), para verificação visual da presença de flocos, sedimentos, grumos, creme e cristais, utilizados como indicativos de incompatibilidade física.

A viscosidade das caldas foi determinada em viscosímetro rotacional digital (USS – DVT4 Digital Rotary Viscometer), utilizando-se 15 mL de cada solução de pulverização. Para essa avaliação, as caldas foram preparadas nas mesmas proporções utilizadas nas análises de tensão superficial e ângulo de contato, empregando-se o spindle adequado às características de cada solução.



Figura 2: Provetas contendo as caldas fitossanitárias para ser analisado o pH e a condutividade elétrica.



Figura 3: Viscosímetro rotacional (USS – DVT4 Digital Rotary Viscometer).

4.3. Avaliação e análises da pulverização, da taxa de cobertura e da deposição de gotas nas plantas de soja (*Glycine max*)

O experimento foi conduzido em área cultivada com soja (*Glycine max*) pertencente à CAP Júnior Consultoria, empresa júnior da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), localizada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), em Jaboticabal, SP. A área foi selecionada por não ser destinada à condução de experimentos científicos, permitindo a realização das pulverizações sem interferir em pesquisas em andamento ou na dinâmica fitossanitária da cultura. Durante as aplicações, a cultura encontrava-se no estágio fenológico R4, proporcionando uma arquitetura de dossel representativa para avaliações em tecnologia de aplicação.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial $3 \times 2 \times 3$, composto por três caldas de pulverização (Tabela 1), duas pontas hidráulicas (XR11003 e TT11003) e três pressões de trabalho (2, 4 e 6 bar), totalizando 18 tratamentos. A ordem de aplicação dos tratamentos foi previamente casualizada. Para cada combinação experimental foram estabelecidas quatro unidades amostrais, distribuídas ao longo da faixa de pulverização e espaçadas aproximadamente 5 m entre si.

O desempenho da pulverização foi avaliado independentemente nos terços superior, médio e inferior do dossel da cultura, por meio da determinação da cobertura e do depósito da calda. Após cada aplicação, todos os coletores foram substituídos, mantendo-se a área experimental durante todo o estudo, de modo que a cultura atuasse exclusivamente como barreira vegetal para simular as condições reais de interceptação das gotas pelo dossel.

Cada unidade amostral foi composta por uma planta de soja selecionada aleatoriamente na área experimental. Ao lado de cada planta foi instalada uma haste metálica com altura semelhante à da cultura, utilizada para a fixação dos coletores (Figura 4a).

Em cada haste foram posicionados papéis hidrossensíveis e placas de acetato nos terços inferior, médio e superior do dossel, totalizando três papéis hidrossensíveis e três placas de acetato por unidade amostral. Os papéis

hidrossensíveis foram utilizados para a determinação da cobertura das gotas, enquanto as placas de acetato foram empregadas para a quantificação do depósito da calda.

As pulverizações foram realizadas utilizando um pulverizador montado sobre um quadriciclo Honda® FourTrax Fuel Injection 4×4 (Figura 4b), equipado com barra de pulverização contendo quatro pontas.

Após as pulverizações, os papéis hidrossensíveis foram recolhidos imediatamente após a secagem das gotas e acondicionados individualmente em sacos de plásticos, evitando o contato com umidade e preservando as marcas de impacto. Em seguida, os papéis foram encaminhados ao laboratório, onde foram digitalizados em escâner de mesa para posterior processamento das imagens. A porcentagem de cobertura foi determinada pela relação entre a área ocupada pelas gotas e a área total do papel hidrossensível, utilizando o software SisCob v. 1.0.

Para a quantificação do depósito da pulverização, foi adicionado sulfato de manganês às caldas de pulverização como marcador químico, conforme a metodologia adaptada do trabalho de Costa et al. (2015). Após a aplicação e a secagem da calda, as placas de acetato foram recolhidas e acondicionadas individualmente em sacos plásticos devidamente identificados para transporte ao laboratório. Posteriormente, cada placa foi submetida à extração do marcador mediante adição de 100 mL de solução de ácido clorídrico (HCl) 0,2 mol L⁻¹, permanecendo em contato com a solução por 60 minutos. Após o período de extração, a solução foi filtrada em papel-filtro e a concentração do íon Mn²⁺ recuperado foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica, sendo utilizada como estimativa do depósito da calda sobre os alvos artificiais.

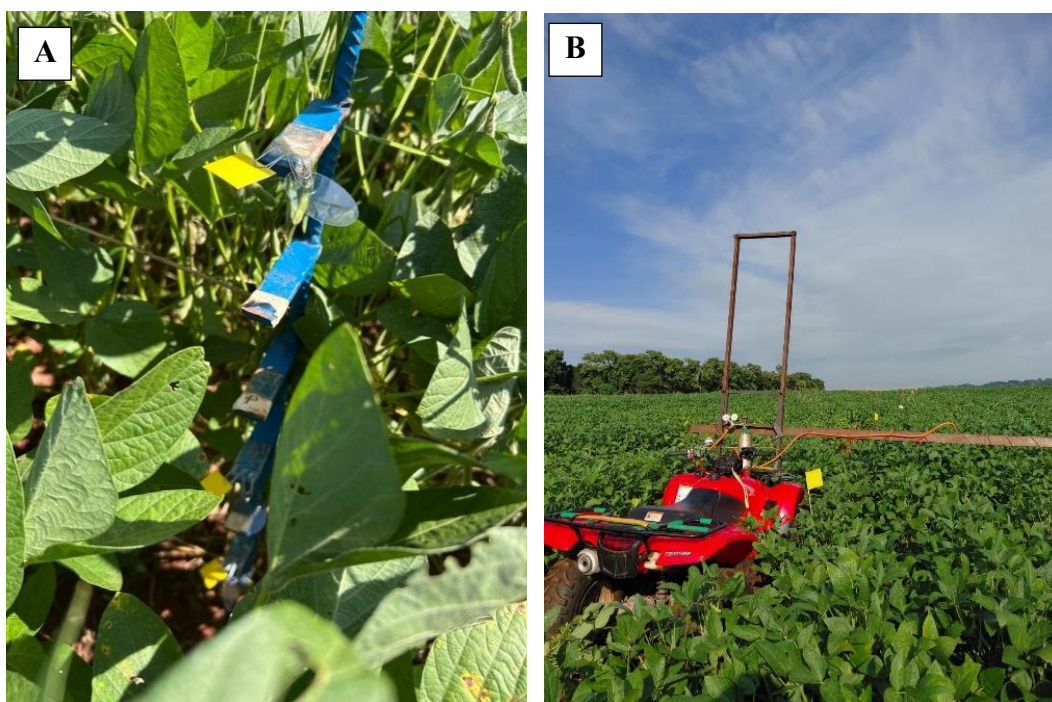


Figura 4: A) Papéis hidrossensíveis e folhas de acetado acopladas em meio a cultura na haste de ferro, para a coleta dos resultados de cobertura de depósito. B) Quadriciclo Honda® 4x4 Fourtrax Fuel Injection que foi utilizado para as aplicações em campo.

4.4. Análise Estatística

Para as análises da variância pelo teste F, as médias foram agrupadas pelo teste de Tukey ambos a 5% de significância.

Para as avaliações dos dados do espectro de gotas, cobertura e deposição foi utilizado o software R Studio (R Core Team 2025). Foram avaliados os efeitos principais dos fatores, bem como todas as interações entre eles. Quando identificadas interações significativas, realizou-se o desdobramento das médias simples, comparando os tratamentos dentro de cada combinação de ponta de pulverização e pressão de trabalho.

Como medida complementar da magnitude da influência da composição da calda sobre as variáveis resposta do espectro de gotas, foi estimado o tamanho de efeito (η^2) dos tratamentos para cada combinação de ponta de pulverização e pressão de trabalho, permitindo quantificar a proporção da variabilidade explicada pelos tratamentos em cada condição operacional. Os valores de η^2 foram apresentados em mapas de calor para facilitar a comparação entre as diferentes combinações de ponta e pressão.

Para as análises dos dados da tensão superficial, ângulo de contato, viscosidade, taxa do pH e da condutividade elétrica das caldas, foi utilizado o programa SPEED Stat 3.4.

A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett.

5. RESULTADOS

5.1. Espectro de gotas

A análise de variância revelou efeito significativo da composição da calda, do modelo de ponta e da pressão de pulverização sobre o diâmetro mediano volumétrico (DMV), o SPAN e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 μm (<100 μm) (Tabela 2). Também foram observadas interações significativas entre os fatores para praticamente todas as variáveis avaliadas. Para o DMV e a porcentagem de gotas <100 μm , todas as interações de segunda e terceira ordem foram significativas ($p < 0,001$). Para o SPAN, apenas a interação entre tratamento e pressão não apresentou efeito significativo ($p = 0,119$), enquanto as demais interações permaneceram significativas ($p < 0,001$).

A presença de interação tripla significativa para as três variáveis demonstra que a resposta da calda aos adjuvantes não foi uniforme entre as tecnologias de pulverização e as pressões avaliadas. Dessa forma, os efeitos

dos tratamentos foram interpretados individualmente para cada combinação de ponta e pressão, uma vez que os efeitos principais isolados não representam adequadamente o comportamento observado.

Tabela 2: Tabela de anova em fatorial triplo (Calda * Modelo de Ponta * Pressão)

Fator de variação	DMV(p)	Span(p)	%<100um
Calda	<0,001	<0,001	<0,001
Ponta	<0,001	<0,001	<0,001
Pressão	<0,001	<0,001	<0,001
Tratamento*Ponta	<0,001	<0,001	<0,001
Tratamento*Pressão	<0,001	0,119	<0,001
Ponta*Pressão	<0,001	<0,001	<0,001
Tratamento*Ponta*Pressão	<0,001	<0,001	<0,001

A resposta do diâmetro mediano volumétrico (DMV) à composição da calda foi dependente da tecnologia de ponta e da pressão de pulverização (Figura 5). Independentemente do tratamento, observou-se redução do DMV com o aumento da pressão em todas as pontas avaliadas. Entretanto, a magnitude e a direção do efeito dos adjuvantes variaram entre os modelos de ponta, evidenciando comportamento distinto conforme a tecnologia de formação das gotas. Nas pontas AIXR11003, TT11003 e TTI11003, o LI 700® promoveu, de modo geral, os maiores valores de DMV, principalmente nas menores pressões de trabalho. Esse efeito foi mais pronunciado em 2 bar, permanecendo evidente em 4 bar para as pontas AIXR11003 e TT11003. Com o aumento da pressão para 6 bar, as diferenças entre os tratamentos foram reduzidas, especialmente na AIXR11003, em que as médias dos três tratamentos se tornaram bastante próximas. Em contraste, a ponta XR11003 apresentou comportamento distinto das demais tecnologias. Nessa ponta, o Silwet® promoveu aumento consistente do DMV em todas as pressões avaliadas, enquanto o LI 700® apresentou comportamento semelhante ao inseticida aplicado isoladamente.

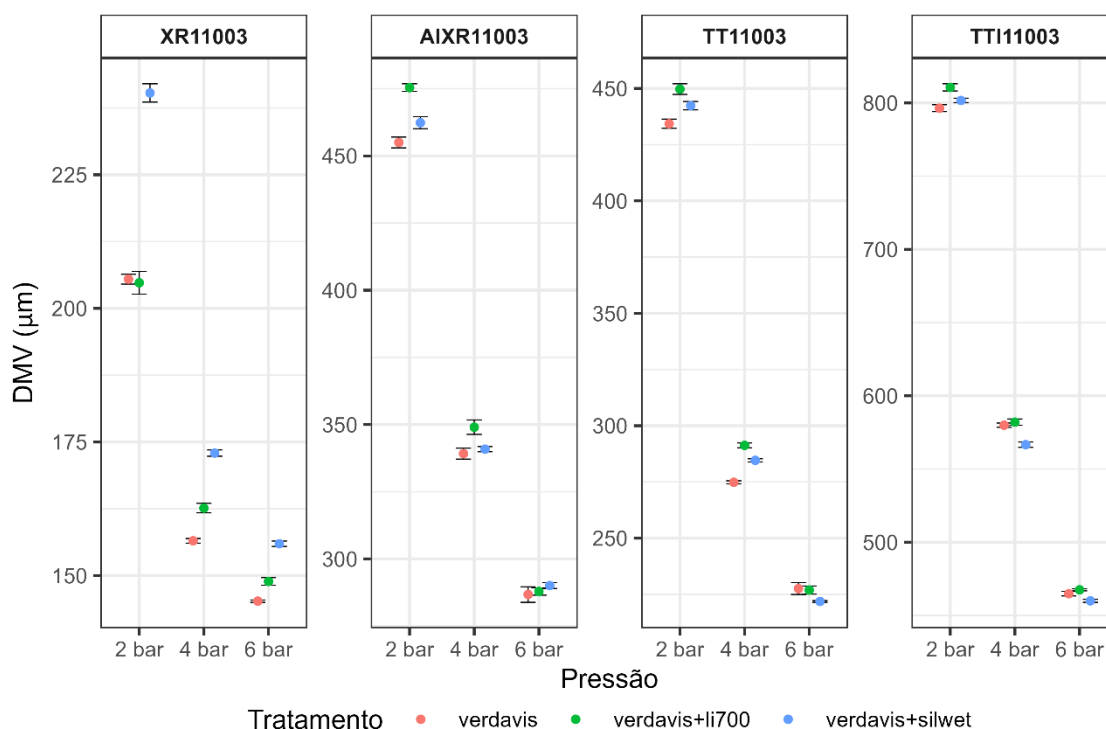


Figura 5: Diâmetro mediano volumétrico entre pressão dentro de cada modelo de ponta

O comportamento do SPAN diferiu daquele observado para o DMV (Figura 6). Independentemente da composição da calda, verificou-se tendência de aumento do SPAN com o incremento da pressão de pulverização para todas as pontas avaliadas, indicando maior amplitude na distribuição do tamanho das gotas. Entretanto, as diferenças entre os tratamentos foram, em geral, menos pronunciadas que aquelas observadas para o DMV. A influência dos adjuvantes variou conforme a tecnologia de ponta, sem a ocorrência de um padrão consistente de resposta. Na XR11003, o Silwet® promoveu redução do SPAN em 2 e 4 bar, enquanto na AIXR11003 as diferenças entre tratamentos permaneceram discretas em todas as pressões. Na TT11003, o Verdavis® aplicado isoladamente apresentou os maiores valores de SPAN em 6 bar, ao passo que o LI 700® e o Silwet® produziram espectros mais homogêneos. Para

TTI11003, as diferenças entre tratamentos foram pequenas em 2 e 4 bar, tornando-se mais evidentes apenas em 6 bar.

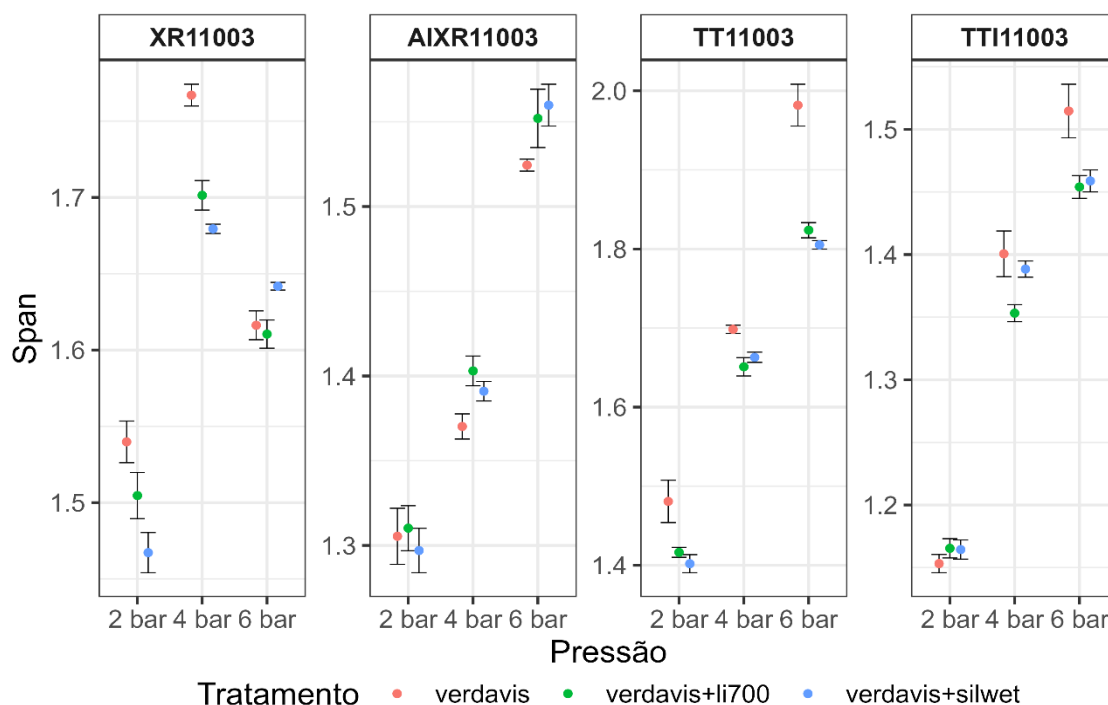


Figura 6: Coeficiente de uniformidade (Span) entre pressão dentro de cada modelo de ponta.

A porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 μm aumentou com a elevação da pressão de pulverização em todas as pontas avaliadas (Figura 7), comportamento consistente com a redução do DMV observada anteriormente. Entretanto, a magnitude da resposta aos adjuvantes variou conforme a tecnologia de ponta e a pressão de trabalho, corroborando a interação tripla significativa detectada na análise de variância. Na ponta XR11003, o Silwet® promoveu redução da fração de gotas finas em todas as pressões avaliadas, efeito mais evidente em 2 e 4 bar, acompanhando o aumento do DMV observado para essa ponta. Em contraste, a adição de LI 700® resultou em aumento da porcentagem de gotas menores que 100 μm em 2 bar, enquanto nas demais pressões as diferenças entre tratamentos foram reduzidas. Na AIXR11003, os tratamentos apresentaram comportamento semelhante em 2 bar, porém o LI 700® reduziu a fração de gotas finas em 4 bar e aumentou esse percentual em 6 bar. Na TT11003, o LI 700® promoveu redução da porcentagem de gotas

menores que 100 μm em 4 bar, enquanto em 6 bar os três tratamentos apresentaram valores próximos. Para a TTI11003, as diferenças entre tratamentos permaneceram discretas em todas as pressões, indicando menor influência da composição da calda sobre essa variável.

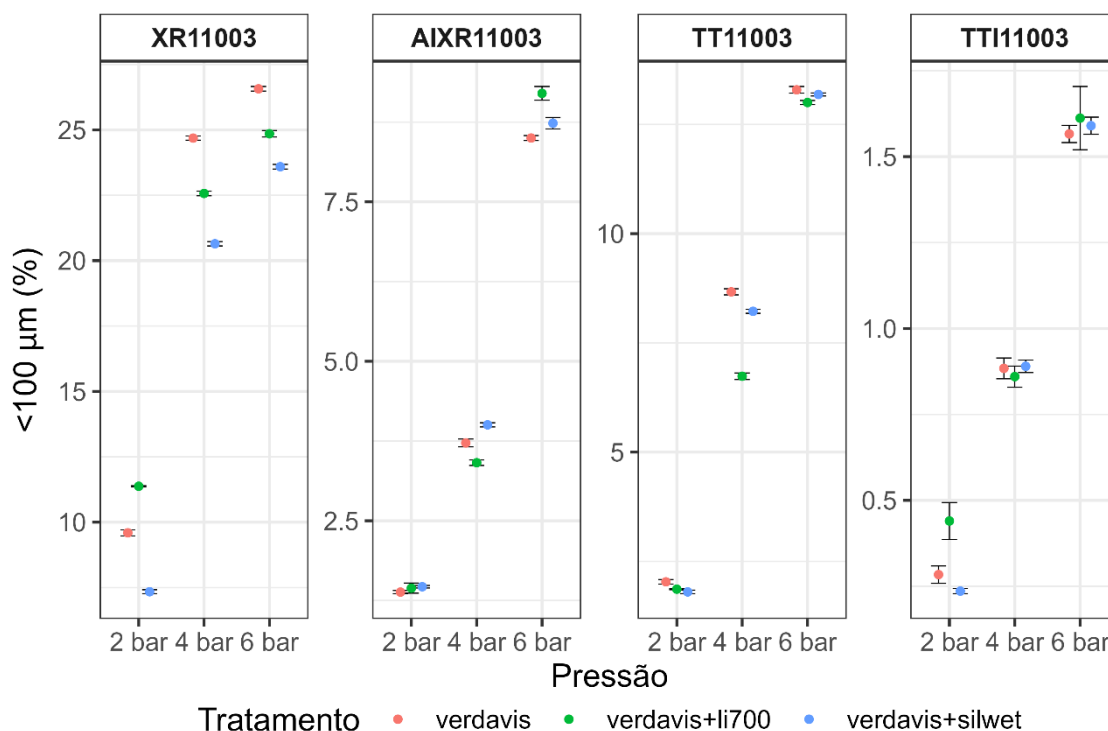


Figura 7: Percentual de gotas menores que 100 μm entre pressões dentro de cada modelo de ponta.

O tamanho de efeito dos tratamentos (η^2) evidenciou que a influência da composição da calda sobre o espectro de gotas depende da combinação entre ponta de pulverização e pressão de trabalho (Figura 8). Para o DMV, a ponta XR11003 apresentou elevada sensibilidade aos tratamentos em todas as pressões avaliadas ($\eta^2 = 0,95\text{--}0,96$), indicando que praticamente toda a variação observada nessa condição foi atribuída à composição da calda. Em contraste, a AIXR11003 apresentou redução progressiva da magnitude do efeito com o aumento da pressão, passando de $\eta^2 = 0,83$ em 2 bar para apenas 0,11 em 6 bar. As pontas TT11003 e TTI11003 apresentaram comportamento intermediário, com maiores magnitudes de efeito em 4 bar.

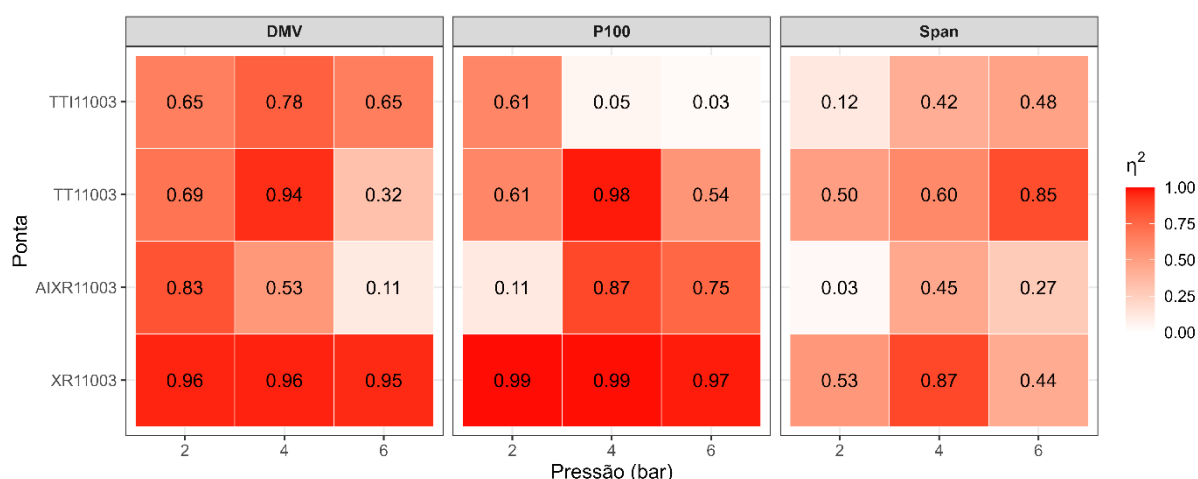


Figura 8: Tamanho de efeito (η^2) dos tratamentos sobre o diâmetro mediano volumétrico (DMV), Span e percentual de gotas menores que 100 μm ($\%<100\ \mu\text{m}$), em função da ponta de pulverização e da pressão de trabalho.

Para a variável $\%<100\ \mu\text{m}$, observou-se padrão semelhante ao DMV. A XR11003 manteve elevada sensibilidade aos tratamentos em todas as pressões ($\eta^2 \geq 0,97$), enquanto a TT11003 apresentou forte efeito em 4 bar ($\eta^2 = 0,98$). Na AIXR11003, a influência dos tratamentos foi praticamente inexistente em 2 bar ($\eta^2 = 0,11$), aumentando substancialmente em 4 e 6 bar ($\eta^2 = 0,87$ e $0,75$, respectivamente). Já a TTI11003 apresentou efeito moderado apenas em 2 bar ($\eta^2 = 0,61$), tornando-se reduzido nas maiores pressões.

Para o Span, a magnitude dos efeitos foi, de modo geral, inferior à observada para DMV e $\%<100\ \mu\text{m}$. Os maiores valores ocorreram na XR11003 em 4 bar ($\eta^2 = 0,87$) e na TT11003 em 6 bar ($\eta^2 = 0,85$), enquanto a AIXR11003 apresentou baixa sensibilidade dos tratamentos, especialmente em 2 bar ($\eta^2 = 0,03$).

5.2. Tensão Superficial, Ângulo de contato e Viscosidade das caldas fitossanitárias.

As caldas contendo adjuvantes apresentaram menores valores de tensão superficial em relação à calda contendo apenas o inseticida. A calda formulada exclusivamente com o inseticida Verdavis apresentou o maior valor de tensão superficial entre os tratamentos avaliados, registrando 64,98 mN/m. Em comparação a esse tratamento, observou-se redução nos valores de tensão superficial nas caldas acrescidas de adjuvantes (Figura 9).

A adição do adjuvante Li 700® resultou em uma tensão superficial de 48,34 mN/m, valor inferior ao observado para a calda contendo apenas o inseticida. Entre os tratamentos avaliados, a maior redução foi observada na calda acrescida do adjuvante Silwet®, que apresentou tensão superficial de aproximadamente 20 mN/m. Os menores valores de tensão superficial foram registrados nos tratamentos contendo adjuvantes.

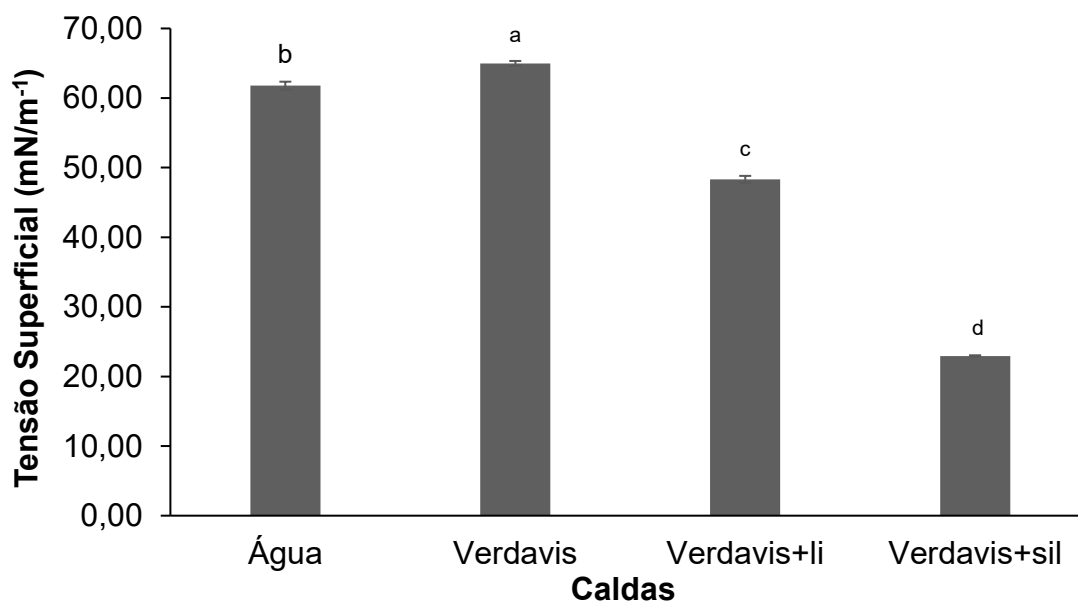


Figura 9: Valores médios de tensão superficial de gotas, em mN.m⁻¹, de caldas de inseticidas e adjuvantes. *letras comparam diferenças entre as caldas.

De modo geral, os menores ângulos de contato foram observados nas caldas contendo adjuvantes, enquanto o maior valor foi registrado na calda composta apenas pelo inseticida (Figura 10). A calda contendo apenas o inseticida apresentou ângulo de contato de 96,79°, correspondendo ao maior valor obtido entre os tratamentos. Com a adição do adjuvante Li 700®, o ângulo de contato foi reduzido para 91,24°. A calda contendo Silwet apresentou o menor ângulo de contato, com valor de 27,93°.

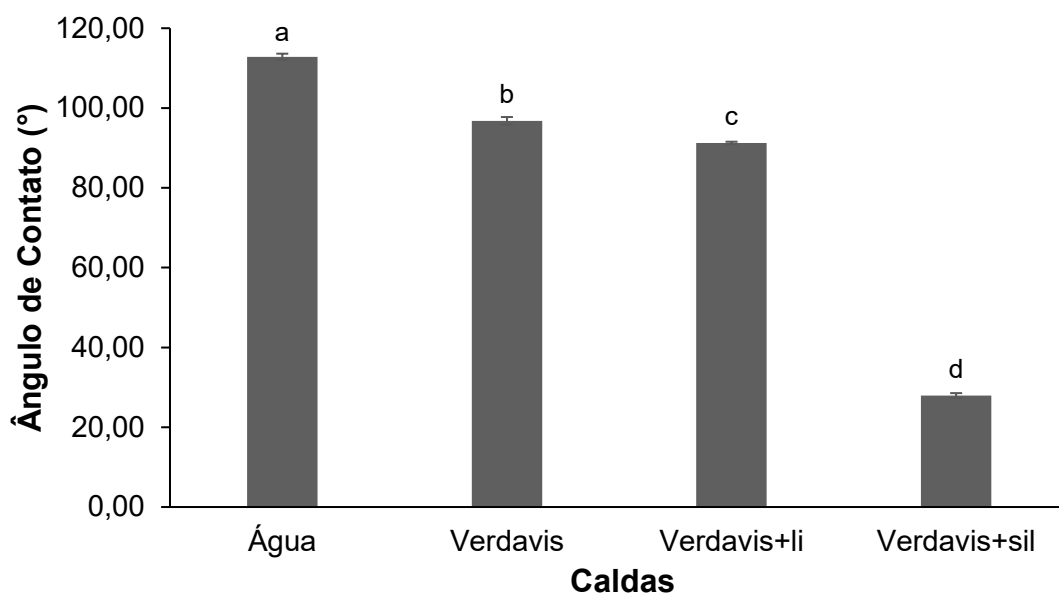


Figura 10: Valores médios do ângulo de contato em graus.

Em relação à viscosidade (Figura 11), os tratamentos apresentaram comportamento semelhante, com valores muito próximos entre si e próximos à viscosidade da água. A adição dos adjuvantes Li 700® e Silwet® não resultou em mudanças significativas na viscosidade das caldas, alguns valores da viscosidade apresentaram um aumento de apenas 0,01 cP em comparação com os valores das caldas contendo somente o Verdavis®.

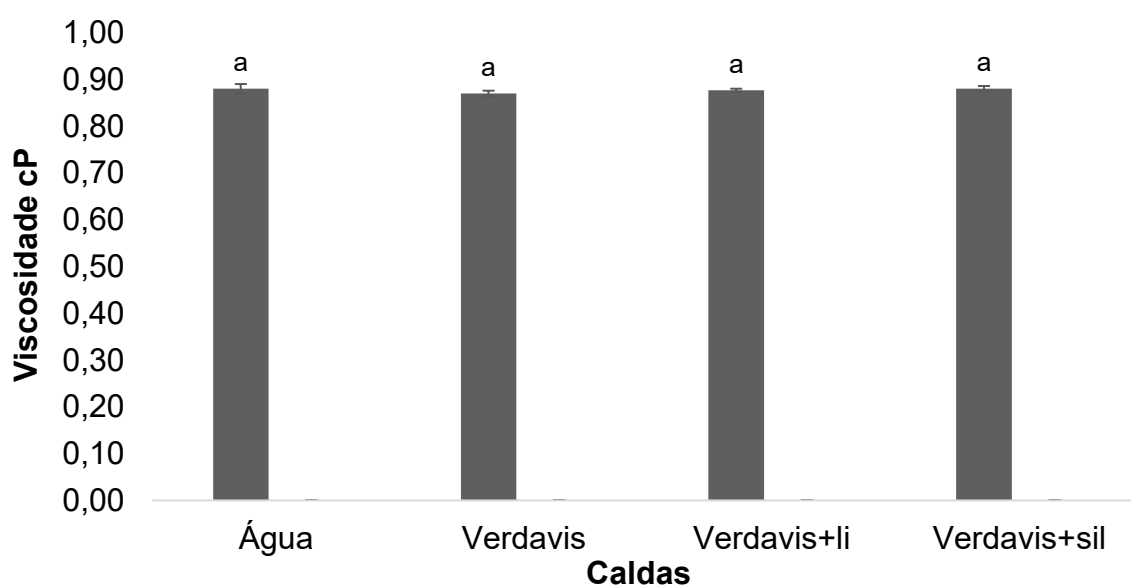


Figura 11: Valores médios da viscosidade em cP em graus das caldas.

5.3. Estabilidade físico-química das caldas fitossanitárias

Nos resultados das avaliações da estabilidade físico-química das caldas, observou-se a ocorrência de sedimentação nos períodos de 2, 6 e 24 horas. Entretanto, o material depositado no fundo das provetas foi facilmente redisperso após agitação manual e adição de água, resultando novamente em uma mistura homogênea. A presença de espuma após a agitação, foi observado somente no tratamento contendo o Verdavis® e o adjuvante Silwet®, apenas nos tempos de 0 horas e de 2 horas. Para o tempo de 0 horas, a média dos valores da espuma foi de 0,23 cm, enquanto para o tempo de 2 horas a média da espuma foi de 0,65 cm, representando um pequeno aumento em comparação ao primeiro horário, no entanto, após isso a espuma se desfez por completo, sendo observado nos tempos de 6 horas e 24 horas, em que havia absolutamente a ausência de espuma.

Em relação ao pH, foram observadas diferenças entre os tratamentos e entre os períodos de avaliação. A formulação contendo apenas o inseticida apresentou os maiores valores ao longo de todo o experimento, com pH de 8,60 no tempo inicial e 8,33 após 24 horas. A calda contendo Li 700® apresentou valores inferiores aos demais tratamentos, variando de 7,80 no tempo de 0 horas para 7,19 ao final do período de avaliação. Para a formulação acrescida de Silwet®, os valores de pH permaneceram em uma faixa intermediária em relação aos demais tratamentos, sendo registrado pH de 8,18 no tempo inicial e 7,84 após 24 horas.

Dessa forma, observou-se redução dos valores de pH com o decorrer do tempo em todas as formulações avaliadas, mantendo-se, contudo, a mesma tendência entre os tratamentos durante todo o período experimental, com os maiores valores observados na calda contendo apenas o inseticida e os menores na formulação contendo Li 700®.

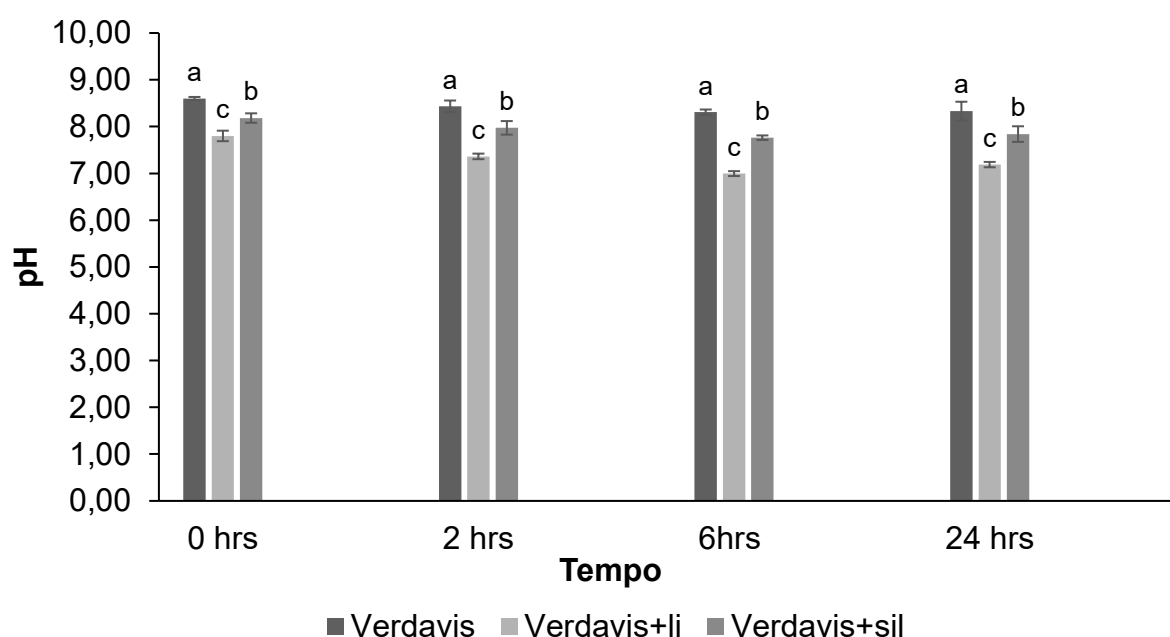


Figura 12: Valores médios do pH dos tempos de 0, 2, 6 e 24 horas, das caldas contendo inseticida e as caldas contendo inseticida e adjuvantes.

Em relação à condutividade elétrica, foram observadas diferenças entre os tratamentos ao longo dos períodos de avaliação. A formulação contendo Verdavis® e Silwet® apresentou os maiores valores médios de condutividade elétrica, com destaque para o tempo de 0 horas, no qual foram registrados valores superiores a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nos demais períodos, os valores permaneceram próximos aos observados inicialmente, mantendo-se entre os mais elevados entre os tratamentos avaliados.

As formulações contendo apenas Verdavis® e a associação com Li 700® apresentaram comportamento semelhante durante a maior parte do período experimental. Nos tempos de 2 e 6 horas, as médias de condutividade elétrica permaneceram próximas de 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando pouca variação nesse intervalo. Valores semelhantes também foram observados para a formulação contendo Silwet® nesses mesmos períodos.

Após 24 horas de avaliação, verificaram-se alterações nos valores médios de condutividade elétrica. A formulação contendo apenas Verdavis® apresentou aumento em relação aos períodos anteriores, ultrapassando a média de 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por outro lado, a calda contendo Li 700® apresentou redução, registrando valores próximos de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Já a formulação contendo Silwet® apresentou elevação dos valores ao final do período avaliado, alcançando novamente médias superiores a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

De forma geral, os valores de condutividade elétrica mantiveram-se relativamente estáveis ao longo do período experimental, com maiores médias observadas na formulação contendo Silwet® e menores valores registrados no tratamento contendo Li 700® após 24 horas.

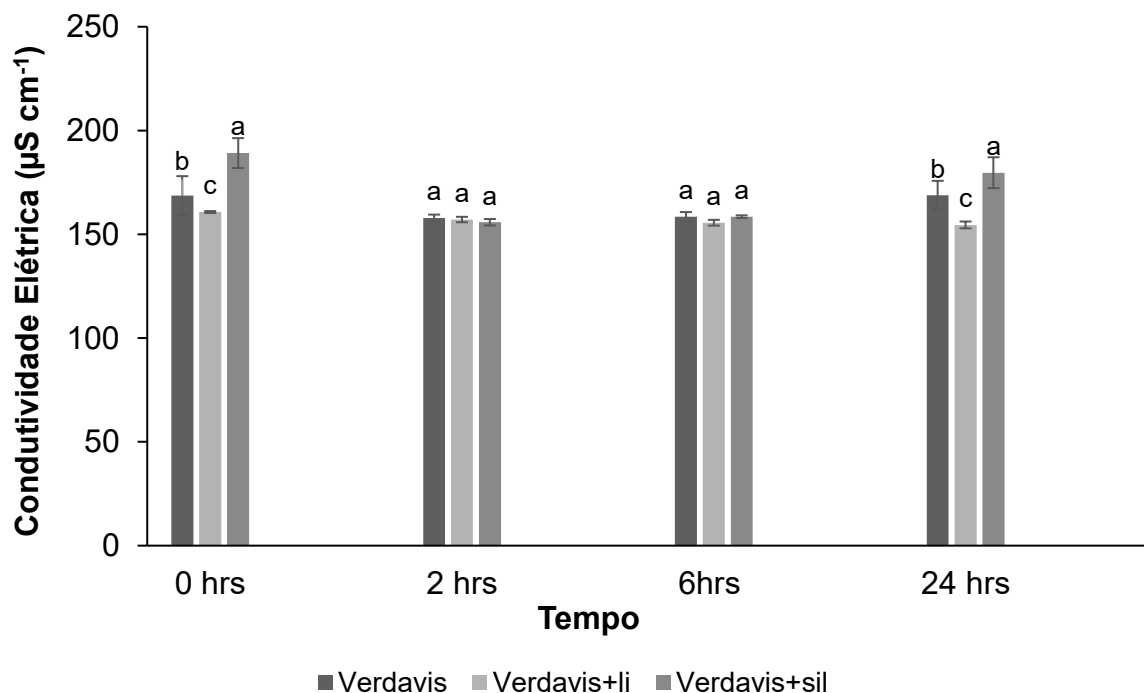


Figura 13: Valores médios de condutividade elétrica dos tempos de 0, 2, 6 e 24 horas, das caldas contendo inseticida e as caldas contendo inseticida e adjuvantes.

5.4. Cobertura

A análise de variância revelou que os efeitos dos fatores experimentais variaram conforme o estrato da planta (Tabela 3). No estrato superior, houve efeito significativo da calda ($p = 0,0116$), da interação entre calda e ponta de pulverização ($p = 0,030$) e da interação tripla entre calda, ponta e pressão de trabalho ($p < 0,001$). Em razão da significância da interação tripla, os efeitos principais e as interações de menor ordem foram interpretados por meio do desdobramento dessa interação.

Tabela 3: Valores de p da ANOVA para dados de cobertura nos estratos Superior, Médio e Inferior.

Fonte de variação	Superior	Médio	Inferior
Calda	0,011*	0,003*	0,039*
Ponta	0,178 ^{ns}	0,487 ^{ns}	0,035*
Pressão	0,545 ^{ns}	<0,001*	0,115 ^{ns}
Calda × Ponta	0,030*	0,172 ^{ns}	0,045*
Calda × Pressão	0,059 ^{ns}	0,007*	0,475 ^{ns}
Ponta × Pressão	0,084 ^{ns}	0,870 ^{ns}	0,460 ^{ns}
Calda × Ponta × Pressão	<0,001*	0,282 ^{ns}	0,098 ^{ns}
CV (%)	34,00	36,66	42,88

No estrato médio, verificou-se efeito significativo da calda ($p = 0,0026$), da pressão de trabalho ($p < 0,001$) e da interação entre calda e pressão ($p = 0,0072$). Dessa forma, a interpretação dos resultados foi baseada no desdobramento da interação calda × pressão.

Para o estrato inferior, foram observados efeitos significativos da calda ($p = 0,0395$), da ponta de pulverização ($p = 0,0347$) e da interação entre calda e ponta ($p = 0,0445$). Assim, os resultados foram interpretados a partir do desdobramento da interação calda × ponta.

A análise de variância evidenciou comportamento distinto da cobertura entre os estratos da planta (Tabela 3). No estrato superior, foram detectados efeitos significativos da calda ($p = 0,0116$), da interação calda × ponta ($p = 0,0298$) e da interação calda × ponta × pressão ($p < 0,001$). Considerando a significância da interação tripla, o efeito dos fatores foi interpretado a partir do desdobramento dessa interação. No estrato médio, a cobertura foi influenciada pela calda ($p = 0,0026$), pela pressão de trabalho ($p < 0,001$) e pela interação calda × pressão ($p = 0,0072$). Já no estrato inferior, observaram-se efeitos significativos da calda ($p = 0,0395$), da ponta de pulverização ($p = 0,0347$) e da interação calda × ponta ($p = 0,0445$).

5.4.1. Estrato superior

O desdobramento da interação entre calda, ponta de pulverização e pressão de trabalho evidenciou que o efeito da composição da calda sobre a cobertura no estrato superior variou conforme a combinação entre ponta e pressão (Tabela 4). Utilizando a ponta XR11003 a 2 bar, as caldas Verdavis® + Li700® e Verdavis® + Silwet® proporcionaram maior cobertura, sem diferirem entre si, ambas superiores à calda Verdavis®. Na pressão de 4 bar, apenas a calda Verdavis® + Li700® apresentou maior cobertura, enquanto Verdavis® e Verdavis® + Silwet® não diferiram entre si. Já a 6 bar, não foram observadas diferenças entre as caldas.

Tabela 4: Desdobramento da interação entre calda, ponta de pulverização e pressão de trabalho sobre a cobertura (%) no estrato superior da planta.

Calda*	Pressão	XR 11003			TT 11003		
		2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	4 bar	6 bar
Verdavis		5,61 Cb	8,34 BCb	12,12 Aa	10,11 ABa	9,19 Bab	10,43 ABa
Verdavis + Li700		15,87 Aa	13,86 ABa	10,98 BCa	10,73 BCa	7,05 Cb	12,89 ABa
Verdavis + Silwet		15,18 Aa	7,94 Bb	8,95 BCa	6,49 Ca	13,62 Aa	9,97 BCa

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para a ponta TT11003, não houve diferença entre as caldas nas pressões de 2 e 6 bar. Entretanto, na pressão de 4 bar, a adição de Silwet® promoveu maior cobertura, enquanto Verdavis® + Li700® apresentou a menor cobertura, com Verdavis® ocupando posição intermediária e sem diferir das demais.

A comparação das pressões dentro de cada calda demonstrou que, para Verdavis® utilizando a ponta XR11003, a cobertura foi maior a 6 bar, intermediária a 4 bar e menor a 2 bar. Com a ponta TT11003, não houve diferença entre as pressões de 2 e 6 bar, enquanto a pressão de 4 bar apresentou comportamento intermediário. Para a calda Verdavis® + Li700® aplicada com a ponta XR11003, a maior cobertura foi observada a 2 bar, seguida por 4 bar e 6 bar. Com a ponta TT11003, a pressão de 4 bar resultou na menor cobertura, enquanto 2 e 6 bar não diferiram entre si. Para Verdavis® + Silwet®

utilizando a ponta XR11003, a pressão de 2 bar proporcionou maior cobertura, diferindo de 4 bar, mas não de 6 bar, ao passo que 4 e 6 bar não diferiram entre si. Já com a ponta TT11003, a maior cobertura foi obtida a 4 bar, enquanto a menor ocorreu a 2 bar, com 6 bar apresentando comportamento intermediário.

5.4.2. Estrato médio

O desdobramento da interação entre calda e pressão de trabalho evidenciou que o efeito da composição da calda sobre a cobertura no estrato médio foi dependente da pressão de pulverização (Tabela 5). Na pressão de 2 bar, a calda Verdavis® + Silwet® proporcionou a maior cobertura (6,90%), diferindo significativamente de Verdavis® (4,30%) e Verdavis + Li700 (3,97%), que não diferiram entre si. Na pressão de 4 bar, Verdavis® + Silwet® manteve a maior cobertura (4,19%), diferindo de Verdavis® (2,38%), enquanto Verdavis® + Li700® apresentou comportamento intermediário, sem diferir das demais caldas. Na pressão de 6 bar, não foram observadas diferenças significativas entre as caldas. A comparação das pressões dentro de cada calda mostrou que, para Verdavis®, as pressões de 2 e 6 bar proporcionaram coberturas semelhantes e superiores à obtida com 4 bar. Para Verdavis® + Li700®, a cobertura não foi influenciada pela pressão de trabalho, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre 2, 4 e 6 bar. Já para Verdavis® + Silwet®, a maior cobertura foi obtida na pressão de 2 bar, enquanto as pressões de 4 e 6 bar não diferiram entre si e resultaram em menores valores de cobertura.

Tabela 5: Desdobramento da interação entre calda e pressão de trabalho sobre a cobertura (%) no estrato médio da planta.

Calda*	Pressão		
	2 bar	4 bar	6 bar
Verdavis	4,30 bA	2,38 bB	4,36 aA
Verdavis + Li700	3,97 bA	2,94 abA	3,20 aA
Verdavis + Silwet	6,90 aA	4,19 aB	3,37 aB

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.4.3. Estrato inferior

O desdobramento da interação entre calda e ponta de pulverização mostrou que o efeito da composição da calda sobre a cobertura no estrato inferior variou conforme o modelo de ponta utilizado (Tabela 6). Para a ponta TT11003, todas as caldas diferiram entre si, sendo observada a maior cobertura para Verdavis® + Silwet® (2,46%), seguida por Verdavis® (1,73%) e Verdavis® + Li700® (0,97%). Em contraste, para a ponta XR11003, não foram observadas diferenças significativas entre as caldas. A comparação entre pontas dentro de cada calda revelou que, para Verdavis®, não houve diferença significativa entre XR11003 e TT11003. Para Verdavis® + Li700®, a ponta XR11003 proporcionou maior cobertura que TT11003. Por outro lado, para Verdavis® + Silwet® a maior cobertura foi obtida com a ponta TT11003, diferindo significativamente da ponta XR11003.

Tabela 6: Desdobramento da interação entre calda e ponta de pulverização sobre a cobertura (%) no estrato inferior da planta.

Calda*	Ponta	
	XR11003	TT11003
Verdavis	1,94 aA	1,73 bA
Verdavis + Li700	2,30 aA	0,97 cB
Verdavis + Silwet	1,80 aB	2,46 aA

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.5. Depósito

Os resultados demonstram uma mudança gradual dos fatores que controlam o depósito de calda ao longo do dossel da planta. No estrato superior, o depósito foi influenciado principalmente pelas características hidráulicas da pulverização, representadas pelo tipo de ponta e sua interação com a pressão de trabalho. No estrato médio, o depósito passou a depender da interação entre a composição da calda e as condições operacionais de aplicação. Já no estrato inferior, onde a penetração das gotas representa o maior desafio, a influência da composição da calda tornou-se mais pronunciada, interagindo significativamente

com a pressão de trabalho. Esse padrão indica que a importância relativa das propriedades da calda aumenta à medida que se avança para as regiões mais internas do dossel, enquanto o efeito isolado da ponta de pulverização se torna menos evidente.

Tabela 7: Valores de p da ANOVA para dados de depósito de calda nos estratos Superior, Médio e Inferior.

Fonte de variação	Superior	Médio	Inferior
Calda	0,692 ^{ns}	0,283 ^{ns}	<0,001*
Ponta	0,040*	0,415 ^{ns}	0,9485 ^{ns}
Pressão	0,151 ^{ns}	<0,001*	<0,001*
Calda × Ponta	0,450 ^{ns}	0,027*	0,168 ^{ns}
Calda × Pressão	0,694 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,005*
Ponta × Pressão	0,003**	0,006*	0,909 ^{ns}
Calda × Ponta × Pressão	0,616 ^{ns}	0,004*	0,032*
CV (%)	28,27	22,03	17,04

5.5.1. Estrato superior

O efeito da pressão sobre o depósito de calda dependeu da ponta de pulverização. Para a ponta TT11003, o maior depósito foi obtido a 2 bar (0,0246 $\mu\text{L cm}^{-2}$), diferindo da pressão de 6 bar (0,0181 $\mu\text{L cm}^{-2}$), enquanto a pressão de 4 bar (0,0208 $\mu\text{L cm}^{-2}$) apresentou comportamento intermediário, não diferindo das demais. Em contrapartida, para a ponta XR11003, o menor depósito foi observado a 2 bar (0,0150 $\mu\text{L cm}^{-2}$), diferindo da pressão de 4 bar (0,0205 $\mu\text{L cm}^{-2}$), ao passo que a pressão de 6 bar (0,0196 $\mu\text{L cm}^{-2}$) apresentou valor intermediário, sem diferir das demais.

Comparando as pontas de pulverização dentro de cada pressão, verificou-se diferença apenas a 2 bar, condição em que a TT11003 proporcionou maior depósito de calda que a XR11003. Nas pressões de 4 e 6 bar, não foram observadas diferenças significativas entre as pontas, indicando desempenho semelhante nessas condições de operação.

Tabela 8: Desdobramento da interação entre ponta de pulverização e pressão de trabalho sobre o depósito de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no estrato superior da planta.

Pressão	Ponta	
	XR11003	TT11003
2 bar	0,0150 Bb	0,0246 Aa
4 bar	0,0205 Aa	0,0208 ABa
6 bar	0,0196 ABa	0,0181 Bb

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.5.2. Estrato médio

A interação entre calda, ponta de pulverização e pressão influenciou o depósito de calda no estrato médio da planta. Na ponta TT11003, sob pressão de 2 bar, o tratamento Verdavis® ($0,0246 \mu\text{L cm}^{-2}$) proporcionou maior depósito de calda que Verdavis® + Li700® ($0,0116 \mu\text{L cm}^{-2}$), enquanto Verdavis® + Silwet® ($0,0199 \mu\text{L cm}^{-2}$) apresentou comportamento intermediário, não diferindo dos demais tratamentos. Nas pressões de 4 e 6 bar, não foram observadas diferenças entre as caldas para essa ponta. Da mesma forma, para a ponta XR11003, o depósito de calda não diferiu entre as caldas em nenhuma das pressões avaliadas.

Ao analisar o efeito da pressão dentro de cada combinação de calda e ponta, verificou-se que, para Verdavis® aplicado com a ponta TT11003, a pressão de 2 bar promoveu maior depósito de calda que as pressões de 4 e 6 bar, as quais não diferiram entre si. Para Verdavis® + Silwet® utilizando a mesma ponta, observou-se redução do depósito apenas entre 2 e 6 bar, enquanto a pressão de 4 bar apresentou comportamento intermediário. Para Verdavis + Li700 com a ponta TT11003, não houve efeito da pressão. Na ponta XR11003, não foram detectadas diferenças entre as pressões para Verdavis® + Li700® e Verdavis® + Silwet®. Para Verdavis®, embora a análise tenha indicado comportamento intermediário da pressão de 2 bar, apenas a comparação entre 4 e 6 bar foi suficiente para distinguir grupos, evidenciando maior depósito na pressão de 4 bar em relação à 6 bar, enquanto 2 bar não diferiu das demais condições.

Tabela 9: Desdobramento da interação entre calda, ponta de pulverização e pressão de trabalho sobre o depósito de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no estrato médio da planta.

	Pressão	XR 11003			TT 11003		
		2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	4 bar	6 bar
Calda							
Verdavis		0,0131 ABa	0,0158 Aa	0,0109 Ba	0,0246 Aa	0,0123 Bb	0,0118 Bb
Verdavis + Li700		0,0161 Aa	0,0162 Aa	0,0125 Aa	0,0116 Aa	0,0140 Aa	0,0125 Aa
Verdavis + Silwet		0,0158 Aa	0,0177 Aa	0,0139 Aa	0,0199 Aa	0,0160 ABa	0,0113 Bb

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.5.3. Estrato inferior

No estrato inferior, a interação entre calda, ponta de pulverização e pressão evidenciou que o efeito das caldas variou conforme a combinação entre ponta e pressão. Na pressão de 2 bar, a calda Verdavis® + Silwet® proporcionou os maiores depósitos para ambas as pontas, diferindo de Verdavis® na XR11003 e de Verdavis® e Verdavis® + Li700® na TT11003. A calda Verdavis® + Li700® também apresentou depósito superior ao de Verdavis® na ponta XR11003, enquanto na TT11003 não diferiu de Verdavis®. Nas demais combinações de ponta e pressão, não foram observadas diferenças entre as caldas, exceto para a ponta XR11003 a 4 bar, em que Verdavis® + Silwet® apresentou maior depósito que Verdavis®, e Verdavis® + Li700® apresentou comportamento intermediário.

Quanto ao efeito da pressão dentro de cada combinação de calda e ponta, verificou-se que, para Verdavis® aplicado com a ponta TT11003, a pressão de 4 bar promoveu maior depósito de calda que 6 bar, enquanto 2 bar apresentou comportamento intermediário. Para Verdavis® + Silwet® utilizando a mesma ponta, a pressão de 2 bar resultou em maior depósito que as pressões de 4 e 6 bar, que não diferiram entre si. Na ponta XR11003, não houve efeito da pressão para Verdavis®. Entretanto, para Verdavis® + Li700®, o depósito obtido a 2 bar foi superior ao observado a 6 bar, enquanto 4 bar apresentou comportamento intermediário. Da mesma forma, para Verdavis® + Silwet®, a pressão de 6 bar

proporcionou menor depósito que as pressões de 2 e 4 bar, as quais não diferiram entre si.

Tabela 10: Desdobramento da interação entre calda, ponta de pulverização e pressão de trabalho sobre o depósito de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no estrato inferior da planta.

	Pressão	XR 11003			TT 11003		
		2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	4 bar	6 bar
Verdavis		0,0109 Aa	0,0107 Aa	0,0106 Aa	0,0125 ABb	0,0142 Aa	0,0095 Bb
Verdavis + Li700		0,0169 Aa	0,0136 ABab	0,0104 Ba	0,0139 Aa	0,0134 Aa	0,0113 Aa
Verdavis + Silwet		0,0179 Aa	0,0157 Aa	0,0119 Ba	0,0199 Aa	0,0129 Bb	0,0107 Bb

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

6. DISCUSSÃO

6.1. Espectro de Gotas

Os resultados mostraram que o espectro de gotas foi influenciado significativamente pela composição da calda, pelo modelo de ponta e pela pressão de trabalho, tal resultado é demonstrado também pelo estudo de McGinty et al, (2019). Essas alterações afetaram simultaneamente o diâmetro mediano volumétrico (DMV), o SPAN e a porcentagem de gotas menores que 100 μm . A interação tripla significativa demonstra que o efeito dos adjuvantes depende da combinação entre a ponta de pulverização e a pressão de trabalho, tais condições merecem ser analisadas e combinadas em conjunto (CUNHA et al., 2010).

Para o DMV, verificou-se redução com o aumento da pressão em todas as pontas avaliadas, resultado esperado devido ao aumento da energia de atomização, que favorece a formação de gotas menores, comportamento semelhante ao observado por Ribeiro et al, (2023). Entretanto, a resposta dos adjuvantes variou conforme a tecnologia de pulverização. Na XR11003, o Silwet® promoveu aumento consistente do DMV em todas as pressões, indicando a formação de gotas maiores e menos suscetíveis à deriva. Já nas

pontas AIXR11003, TT11003 e TTI11003, o Li 700® apresentou, de modo geral, os maiores valores de DMV, principalmente nas menores pressões, embora esse efeito tenha diminuído com o aumento da pressão. Esses resultados corroboram com o estudo de Creeche et al, (2015), que destacam a influência conjunta da pressão, da ponta e da composição da calda sobre o tamanho das gotas.

A análise do tamanho de efeito (η^2) reforça esse comportamento. A XR11003 apresentou elevada sensibilidade à composição da calda em todas as pressões, enquanto na AIXR11003 essa influência foi reduzida à medida que a pressão aumentou. As pontas TT11003 e TTI11003 apresentaram comportamento intermediário, evidenciando que a resposta aos adjuvantes depende das características de cada tecnologia de pulverização.

Para o SPAN, observou-se aumento com a elevação da pressão, indicando maior heterogeneidade na distribuição do tamanho das gotas. De maneira geral, os adjuvantes exerceram menor influência sobre essa variável quando comparados ao DMV, sugerindo que a uniformidade do espectro foi determinada principalmente pela pressão de trabalho e pelas características hidráulicas da ponta de pulverização. Na XR11003, o Silwet® proporcionou espectro mais uniforme nas menores pressões, enquanto na TT11003 os adjuvantes reduziram o SPAN em relação ao Verdavis® isolado na maior pressão. Nas pontas AIXR11003 e TTI11003, as diferenças entre os tratamentos foram pequenas, corroborando os resultados de Alvarenga et al (2026), que observaram maior influência da pressão de trabalho do que da composição da calda sobre o SPAN, embora a resposta também dependa da interação entre esses fatores.

A porcentagem de gotas menores que 100 μm apresentou comportamento inverso ao DMV, aumentando com a elevação da pressão em todas as pontas avaliadas. Esse resultado confirma que a redução do DMV favorece a formação de gotas finas, aumentando o potencial de deriva (STAINIER et al., 2006). Além disso, reforça que a interação entre a composição da calda, a ponta de pulverização e a pressão de trabalho influencia diretamente o espectro de gotas (HILZ & VERMEER, 2013). Na XR11003, o Silwet® reduziu a fração de gotas menores que 100 μm em todas as pressões, acompanhando o aumento do DMV

e indicando menor potencial de perdas por deriva. Já o Li 700® aumentou essa fração apenas em 2 bar e, na TT11003, promoveu sua redução em 4 bar. Nas pontas AIXR11003 e TTI11003, as diferenças entre os tratamentos foram menos expressivas, resultado que também foi evidenciado pelos menores valores de η^2 .

6.2. Tensão Superficial, Ângulo de contato e Viscosidade das caldas fitossanitárias.

Os resultados obtidos demonstram o impacto dos adjuvantes nas propriedades de superfície e interface das caldas fitossanitárias à base do inseticida Verdavis®, demonstrando que a eficiência de espalhamento é fortemente influenciada pela natureza química de cada componente (DE OLIVEIRA, 2023). Na obtenção do valor de um ângulo de contato em que a gota fica na superfície, ângulos de contato superiores a 90° caracterizam superfícies hidrofóbicas (MOITA NETO, 2006). Tal condição, limita a retenção e a distribuição do princípio ativo sobre a cutícula foliar.

Em contrapartida, a adição dos adjuvantes reduziu significativamente ambas as variáveis, confirmando a ação direta desses compostos na quebra das forças de coesão intermoleculares da água. Essa redução ocorre porque as moléculas do adjuvante se orientam na interface líquido-ar, diminuindo a energia livre da superfície. Dentre os compostos avaliados, o Silwet® é caracterizado como um surfactante organosiliconado. Os adjuvantes organosiliconados possuem uma estrutura química molecular que viabiliza uma redução extrema da tensão superficial, muito abaixo daquela alcançada por surfactantes convencionais à base de carbono (MONTÓRIO, 2001).

Na prática agrícola, essa sinergia entre a baixa tensão superficial e o menor ângulo de contato maximiza a área de cobertura da gota no alvo biológico, o que resulta na formação um filme líquido contínuo que potencializa a eficácia dos inseticidas, embora exija cautela com o volume de aplicação para evitar perdas por escoamento superficial (run-off) (ZHU et al. 2008a).

A respeito da estabilidade observada na viscosidade das caldas, pode indicar que a mistura não alterou significativamente a resistência ao escoamento do fluido, mantendo os valores próximos aos da água. O resultado corrobora com estudos de Sasaki et al. (2014), que também observou variações discretas na

viscosidade (0,94 a 1,03 cP), evidenciando que o efeito de adjuvantes sobre essa propriedade depende da composição química das formulações e não é uniforme na literatura, havendo relatos tanto de aumentos quanto de reduções (SASAKI et al, 2014).

Embora a viscosidade seja uma propriedade crucial por interferir diretamente na formação, no diâmetro das gotas e no desempenho da pulverização, inclusive em sistemas eletrostáticos (SASAKI et al, 2014) as melhorias na deposição e no espectro de gotas nem sempre dependem de grandes alterações reológicas. Como apontado por Cunha et al. (2020), esses benefícios podem ser governados por outros mecanismos físico-químicos da calda.

6.3. Estabilidade físico-química das caldas fitossanitárias

O potencial hidrogeniônico (pH) e a condutividade elétrica (CE) diferiram significativamente entre os tratamentos ao longo dos tempos de avaliação. A tendência de redução gradual do pH em todos os tratamentos reflete o perfil cinético intrínseco do sistema e o equilíbrio de dissociação iônica no meio aquoso (ASSUNÇÃO et al., 2019). O inseticida isolado tendeu a uma maior alcalinidade, enquanto a adição dos adjuvantes Li 700® e Silwet® promoveu um efeito acidificante, o que culminou na redução do pH para os tratamentos que continham os adjuvantes.

Por outro lado, a condutividade elétrica comportou-se de forma inversa à acidez, tendo como principal destaque a associação de Verdavis® com Silwet®, que registrou a maior condutividade elétrica média do experimento (>180 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Por se tratar de um tensoativo organossiliconado, o Silwet® reduz expressivamente a tensão superficial da água, o que favorece a mobilidade e a presença de espécies iônicas livres na solução (CUNHA et al., 2017). Esse comportamento eleva a capacidade de condução elétrica da mistura.

Essa característica intrínseca do Silwet® de reduzir a tensão superficial também explica o surgimento pontual de espuma logo após a agitação, fenômeno observado exclusivamente neste tratamento. A presença de espuma foi discreta e restrita aos momentos iniciais. Em contrapartida, as caldas com o

inseticida puro e com a adição de Li 700® mantiveram-se estáveis e sem variações físicas bruscas.

6.4. Cobertura e Depósito de gotas pulverizadas

A análise conjunta da cobertura e do depósito mostrou que essas variáveis apresentaram comportamento semelhante ao longo do dossel da soja. De maneira geral, os maiores valores foram observados no estrato superior, com redução em direção ao baixeiro, evidenciando a dificuldade de as gotas alcançarem as regiões mais internas da planta. Esse comportamento está relacionado à arquitetura do dossel, que favorece a interceptação das gotas pelas folhas superiores e limita sua penetração até os estratos inferiores, conforme descrito por Cunha et al. (2016), Zhu et al. (2008b) e Griesang et al. (2022). Além disso, os resultados indicam que a resposta da aplicação depende da interação entre a composição da calda, a pressão de trabalho e as pontas XR e TT, uma vez que esses fatores alteram o espectro de gotas e, conseqüentemente, a distribuição e a retenção da calda na planta.

6.4.1. Estrato superior

No estrato superior, a cobertura e a deposição foram influenciadas principalmente pelas características da pulverização. Com a ponta XR, o melhor desempenho das caldas contendo Silwet® e Li 700® sugere que as alterações promovidas no espectro de gotas favoreceram a retenção da calda nas folhas. O Silwet® reduziu a fração de gotas menores que 100 µm em todas as pressões e aumentou o DMV, produzindo gotas menos suscetíveis à deriva e à evaporação. Já o Li 700® apresentou comportamento mais dependente da pressão, o que ajuda a explicar a variação observada entre os tratamentos. Para a ponta TT, não foi identificado um padrão consistente de resposta, indicando que o efeito dos adjuvantes depende da interação com a tecnologia de pulverização utilizada (GIMENES et al., 2013; MILLER & ELLIS, 2000; WOLF & DAGGUPATI, 2009).

6.4.2. Estrato médio

No estrato médio, a influência da composição da calda tornou-se mais evidente, refletindo a maior dificuldade de as gotas ultrapassarem o estrato superior. O comportamento mais estável do Li700® entre as pressões sugere que, nas condições em que não houve aumento expressivo da fração de gotas finas na ponta XR, a calda conseguiu atingir com maior eficiência essa região da planta. Por outro lado, o desempenho do Silwet® foi reduzido com o aumento da pressão, indicando que alterações no espectro de gotas podem aumentar as perdas por deriva, evaporação e interceptação pelas folhas superiores, reduzindo tanto a cobertura quanto a deposição no interior do dossel (SPANOGHE et al., 2007; ZHU et al., 2008b; FERGUSON et al., 2018). Na ponta TT, as diferenças entre as caldas foram menos evidentes, reforçando que a resposta dos adjuvantes está diretamente relacionada às características da ponta de pulverização e às condições operacionais da aplicação (ELLIS et al., 2001).

6.4.3. Estrato inferior

No estrato inferior, foram registrados os menores valores de cobertura e deposição, confirmando que essa é a região de maior dificuldade para a pulverização. Nesse estrato, a resposta variou conforme a combinação entre a calda e a ponta utilizada. Na XR, as alterações promovidas pelos adjuvantes no espectro de gotas parecem ter favorecido a chegada da calda ao baixeiro em determinadas condições. Já na TT, o comportamento foi menos uniforme, indicando que pequenas mudanças na interação entre ponta, pressão e composição da calda podem influenciar significativamente a penetração das gotas. O melhor desempenho do Silwet® em algumas situações também pode estar relacionado ao seu maior poder de espalhamento sobre a superfície foliar, decorrente da redução da tensão superficial (KNOCHÉ, 1994). Dessa forma, os resultados reforçam que a eficiência da aplicação nas regiões inferiores da planta depende do ajuste conjunto entre a composição da calda, a ponta de pulverização e a pressão de trabalho, conforme também observado por Costa et al. (2017) e Contiero; Biffe; Catapan (2018).

7. CONCLUSÃO

A associação do inseticida Verdavis® com os adjuvantes LI 700® e Silwet® mostrou-se fisicamente e quimicamente compatível, mantendo a estabilidade das caldas durante todo o período de avaliação.

Os adjuvantes alteraram as propriedades físico-químicas das caldas e influenciaram o espectro de gotas, porém sua resposta variou de acordo com o modelo de ponta de pulverização e a pressão de trabalho. As mudanças no espectro de gotas refletiram diretamente na cobertura e na deposição da pulverização, demonstrando que não existe uma única combinação de adjuvante, ponta de pulverização e pressão capaz de proporcionar o melhor desempenho em todas as condições de aplicação.

Assim, a definição de um bom desempenho da aplicação deve ser baseada na escolha criteriosa da composição da calda, da ponta de pulverização e da pressão de trabalho, buscando aplicações mais eficientes, com melhor cobertura do alvo e menor potencial de perdas por deriva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, C. B. de et al. Modulation of the droplet spectrum by working pressure, adjuvants, and herbicides. *Revista Ceres*, v. 73, p. e73002, 2026.

ASSUNÇÃO, H. H. T. d. et al. Adjuvants plus phytosanitary products and the effects on the physical-chemical properties of the spray liquids. **Biosci. J. (Online)**, p. 1878-1885, 2019.

BALCI, N. et al. Purification and characterization of glutathione S-transferase from blueberry fruits (*Vaccinium arctostaphylos* L.) and investigated of some pesticide inhibition effects on enzyme activity. *Heliyon*, v. 5, n. 4, 2019.

BARRÊTO, A. F. Avaliação de parâmetros da tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem asiática da soja. 2011.. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzidas pelas pontas pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. *Planta Daninha*, v. 22, p. 275-284, 2004.

BERNA, R. Espectro de gotas geradas por ponta de jato plano de impacto para aplicação aérea na presença de adjuvantes em caldas de pulverização. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2017.

CALABRESE, E. J. Multiple chemical interactions. CRC Press, 1990.

CARVALHO, N. S et al. Revisão: A importância da soja para o agronegócio brasileiro. Matos, R, RSS, Silva, ALV, & Vieira Neto, GF Fitotecnia, sistemas agrícolas ambientais e solo, p. 52-60, 2023.

CHECHETTO, R.G; ANTUNIASSI, U.R. Publicação: Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. Botucatu – FCA – Faculdade de Ciências Agronômicas, Energia na Agricultura, v. 27, n. 3, p. 130-142, 2012.

CHETHAN C.R et al. HERBICIDE APPLICATION METHODOLOGIES: INFLUENCE OF NOZZLE SELECTION, DROPLET SIZE AND SPRAY DRIFT ON EFFECTIVE SPRAYING—A REVIEW. 2019.

CONAB, Companhia nacional de Abastecimento: Portal de informações. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acessado em: 15 de março de 2026.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de aplicação. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

COSTA, L. L. et al. Recovery of metallic markers sprayed on soybean plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 9, p. 807-811, 2015.

COSTA, L. L. et al. Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 02, p. 292-301, 2017.

CREECH, C. F. et al. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed technology**, v. 29, n. 2, p. 298-310, 2015.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. *Planta daninha*, v. 21, p. 325-332, 2003.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. *Ciência Rural*, v. 35, n. 05, p. 1069- 1074, 2005.

CUNHA, J. P. A. R.; REIS, E. F.; SANTOS, R. O. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e volume de calda. *Ciência Rural*, v. 36, n. 05, p. 1360-1366, 2006.

CUNHA, J.P.A.R. I; ALVES, G.S.II; REIS, E.F.III; Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola; Universidade Federal de Uberlândia - ICIAG/UFU, 2010

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

DE OLIVEIRA, L. G. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ADJUVANTES AGRÍCOLAS UTILIZADOS NA REGIÃO DE UNAÍ-MG. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri 2023.

DI PRINZIO et al., Effect of Pressure on the Quality of Pesticide Application in Orchards. *CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH* 70(4):674-67, 2011

ELLIS, MC Butler; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 180, n. 3, p. 267-276, 2001.

FARIAS, M. A. G. L. Influência do tamanho de gota e horário de aplicação na deposição e controle de percevejos na cultura da soja. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2021.

FERGUSON, J. C. et al. Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. *Crop Protection*, v. 112, p. 118-124, 2018.

FERREIRA & MATUO, Livro: Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, 2024.

GANDOLFO, U.D. Influência de diferentes misturas em tanque contendo o herbicida 2,4-D no espectro de gotas da aplicação. 2014. viii, 44 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2014.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. *Ciência e cultura*, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GIMENES, M. J. et al. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. *Crop Protection*, v. 44, p. 84-90, 2013.

GONG, C. et al. Droplet spatial distribution of oil-based emulsion spray. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 1183387, 2023.

GREEN, J. M.; BEESTMAN, G. B. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. *Crop Protection*, v. 26, n. 3, p. 320-327, 2007.

GRIESANG, F. 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. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias 2019.

GRIESANG, F. et al. How do the droplet spectrum uniformity and spray volume of flat-fan nozzles influence fungicide spray distribution quality in soybeans? *Engenharia Agrícola*, v. 42, n. 2, p. e20210122, 2022.

HESS, F. D; FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 807-813, 2000.

HILZ, E.; VERMEER, A. WP. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop Protection*, v. 44, p. 75-83, 2013.

HIMEL, C. M. The optimum size for insecticide spray droplets. *Journal of Economic Entomology*, v. 62, n. 4, p. 919-925, 1969.

KNOCHE, M. Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. **Weed Research**, v. 34, n. 3, p. 221-239, 1994.

LEFEBVRE, A. H. Properties of sprays. *Particle & Particle Systems Characterization*, v. 6, n. 1-4, p. 176-186, 1989.

LIMA, M.F. Efeito do mecanismo controlador da pressão de pulverização no espectro de gotas gerado por uma mistura de Glifosato com Dicamba e adjuvantes a base de polímero em circuitos com bomba de pistões e centrífuga. Dissertação de mestrado Universidade Estadual Paulista, Unesp-FCA campus de Botucatu. 2024.

MATTHEWS, Graham A.; BATEMAN, Roy; MILLER, Paul. Pesticide application methods. John Wiley & Sons, 2014.

MAZIERO, H. et al. Volume de calda e inseticidas no controle de *Piezodorus guildinii* (Westwood) na cultura da soja. *Ciência Rural*, v. 39, p. 1307-1312, 2009.

MCGINTY, J. A. et al. Herbicide formulation, spray nozzle design, and operating pressure affects the droplet size spectra of agricultural sprays. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 38, n. 3, p. 1-7, 2019.

MENDONÇA, C G. de; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. de. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. *Engenharia Agrícola*, v. 27, p. 16-23, 2007.

MILLER, P. C. H.; ELLIS, MC Butler. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop protection*, v. 19, n. 8-10, p. 609-615, 2000.

MILLER, Paul CH et al. Measurements of the droplet velocities in sprays produced by different designs of agricultural spray nozzle. In: European conference on liquid atomization and spray systems, Como Lake, Italy. 2008. p. 8-10.

MONTÓRIO, G. A. Eficiência dos surfatantes de uso agrícola na redução da tensão superficial. 2001.

MORGAN, M. K. et al. Pyrethroid insecticides and their environmental degradates in repeated duplicate-diet solid food samples of 50 adults. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, v. 28, n. 1, p. 40-45, 2018.

MOITA NETO, J. M. Molhamento e ângulo de contato. Teresina: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí. Março de 2006.

MOTA, A. A. B. Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes. 2011.

MOTA, A. A. B; ANTUNIASI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. Botucatu-FCA, Faculdade de Ciências Agrônomicas 2013.

MURARO, D.S et al. Influence of adjuvants in the association with insecticide in the control of *Euschistus heros* in soybean crop. Research, Society and Development, v. 9, n. 11, p. e4009119421-e4009119421, 2020.

OZEKI, Y.; KUNZ, R. P. Tecnologia de aplicação aérea: aspectos práticos. GUEDES, JVC; DORNELLES, SHB Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos. Santa Maria: Defesa Fitossanitária, p. 65-78, 1998.

PETTER, F. A et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. Comunicata Scientiae, v. 4, n. 2, p. 129-138, 2013.

RIBEIRO, J. R. D. et al. Espectro de gotas da ponta de pulverização TTI-110025 sob diferentes pressões de trabalho. Brazilian Journal of Production Engineering, v. 9, n. 2, p. 161-169, 2023.

ROSA, J. P. G. Influência do volume de calda na qualidade de aplicação de inseticida na cultura da soja. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2025.

SANTOS, MAT Dos; AREAS, Miguel Arcanjo; REYES, Felix Guillermo Reyes. Piretróides—uma visão geral. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 18, n. 3, p. 339-349, 2008.

SASAKI, R. S. et al. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v. 45, n. 02, p. 274-279, 2014.

SASAKI, R. S., TEIXEIRA, M. M., MACIEL, C. F. S., ALVARENGA, C. B., & FORASTIERE, P. R. ESPECTRO DAS GOTAS PRODUZIDAS POR PONTAS DE JATO PLANO DUPLO DEFASADO COM INDUÇÃO DE AR. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, 24(3), 211–218. 2016

SPANOGHE, P. et al. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 1, p. 4-16, 2007.

STAINIER, C. et al. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. *Crop protection*, v. 25, n. 12, p. 1238-1243, 2006.

STOCK, David; BRIGGS, Geoff. Physicochemical properties of adjuvants: values and applications. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 798-806, 2000.

TANG, X.; DONG, J; LI, X. A comparison of spreading behaviors of Silwet L-77 on dry and wet lotus leaves. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 325, n. 1, p. 223-227, 2008.

TEEJET TECHNOLOGIES. Catálogo 52 - Equipamentos de pulverização agrícola. Wheaton, IL: TeeJet Technologies, 2024. Disponível em: www.teejet.com. Acesso em: 27/05/2025

THEBALDI, M. S. et al. Efeito da adição de adjuvante na redução de deriva em pontas de pulverização tipo cone vazio. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2009.

TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M.; HURD, C.; RANDALL, JM *Weed control methods handbook the nature conservancy*. Davis: TNC, p. 1-24, 2003.

VAN ZYL, Sybrand A. et al. Effects of adjuvants on deposition efficiency of fenhexamid sprays applied to Chardonnay grapevine foliage. *Crop Protection*, v. 29, n. 8, p. 843-852, 2010.

VECHIA, J. F. D. et al. Effects of insecticide and acaricide mixtures on *Diaphorina citri* control. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 41, p. e-076, 2019.

WARNKEN, P. F. A influência da política econômica na expansão da soja no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 1999.

WENZEL, I. M. et al. EFEITO DE ADJUVANTES SOBRE VERTICILLIUM LECANII (ZIMM.) VIÉGAS. Arq. Inst. Biol., São Paulo, v. 70, n. suplemento 3, p. 127-129, 2003.

WOLF, Robert E.; DAGGUPATI, Naga Prasad. Nozzle type effect on soybean canopy penetration. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 25, n. 1, p 23-30, 2009.

XU, Lin-yun et al. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. *Transactions of the ASABE*, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

ZHU, H. et al. Influence of spray additives on droplet evaporation and residual patterns on wax and wax-free surfaces. *ASABE Paper No. 083752*, St. Joseph, June 2008a.

ZHU, Heping et al. Development of a canopy opener to improve spray deposition and coverage inside soybean canopies: part 2: opener design with field experiments. *Transactions of the ASABE*, v. 51, n. 6, p. 1913-1922, 2008b.