

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE INSETICIDA EM VOLUMES DE CALDA
BAIXOS PARA CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ COM USO
DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA**

Anderson Vieira Rodrigues

Engenheiro Agrônomo

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE INSETICIDA EM VOLUMES DE CALDA
BAIXOS PARA CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ COM USO
DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA**

Discente: Anderson Vieira Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

R696a

Rodrigues, Anderson Vieira

Aplicação de inseticida em volumes de calda baixos para controle da broca-do-café com uso de aeronave remotamente pilotada / Anderson Vieira Rodrigues. -- Jaboticabal, 2024

68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

1. Agronomia. 2. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. 3. Aeronave remotamente pilotada. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE INSETICIDA EM VOLUMES DE CALDA BAIXOS, PARA CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ COM USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

AUTOR: ANDERSON VIEIRA RODRIGUES


ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO DA COSTA FERREIRA**
Data: 01/08/2024 11:32:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL JUNIOR DE ANDRADE**
Data: 01/08/2024 12:21:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO PAULO ARANTES RODRIGUES DA CUNHA (Participação Presencial)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU) / Uberlândia/MG

Documento assinado digitalmente
 **JOAO PAULO ARANTES RODRIGUES DA CUNHA**
Data: 01/08/2024 11:51:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 31 de julho de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDERSON VIEIRA RODRIGUES – Nasceu em 28 de outubro de 1996 em Humaitá, estado do Amazonas. No ano de 2016 ingressou no curso de Engenharia agrônômica na Universidade Federal do Amazonas, Câmpus de Humaitá – AM. Durante a graduação participou como voluntário pelo Programa de Iniciação Científica (PIBIC-UFAM) com projeto: Correlação espacial dos atributos físicos do solo em áreas sob diferentes usos no Assentamento São Francisco na região de Canutama, AM (2017 – 2018). Logo após, foi bolsista de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), com projeto intitulado: Avaliação de produtos alternativos no controle da cercosporiose em mudas clonais de café robusta Amazônico: Ação antifúngica de *Hyptis dilatata* (2020 – 2021), sob orientação do Prof. Dr. Moisés Santos de Souza. No ano letivo de 2021 obteve o título de Engenheiro Agrônomo e em agosto de 2022 iniciou no curso de Mestrado Acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, sendo membro do grupo Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), localizado no Departamento de Ciências da Produção Agrícola, desta instituição. Durante o Mestrado foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foi aprovado no processo seletivo de Doutorado na mesma instituição, com início em agosto deste mesmo ano.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano...”

Isaac Newton

Dedico

Aos meus pais, Maria Eleine Vieira de Andrade e Hudson Pereira Rodrigues, por sempre me apoiarem e pelos constantes incentivos que sempre recebi. Por todo o amor e carinho que mesmo de longe foi importante nessa minha caminhada. Vocês sempre foram minha base, e motivo de inspiração em minha vida. A minha esposa Ana Beatriz Mendonça Rodrigues que também fez parte e é parte desta conquista, pois sempre esteve ao meu lado me apoiando sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a DEUS por sempre ter me dado forças e me acolhido nos momentos que mais precisei e de nunca ter me abandonado nessa longa caminhada.

Aos meu pais por não terem medido esforços para que eu pudesse chegar até aqui, assim como minha esposa Ana Beatriz Mendonça Rodrigues, e meus irmãos que sempre me apoiaram em tudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira pela orientação, por confiar em mim, pelas cobranças que tornaram este trabalho uma realidade.

Ao grupo de pesquisa NEDTA, representado por: Maria Thalia Lacerda, Edimar Peterlini, Pedro Buzinaro, Mariele Penteado, Nelson Henrique e Lucas Medeiros por toda ajuda. Em especial a Gabriela Pelegrini, Aline Dell Passos Reis, Hilário Camarena por todo companheirismo e incentivo.

Aos meus amigos de pós-graduação Paulo Gonçalves, João Paulo Morais, Alexsandra Maciel por sempre estarem dispostos a me ajudar e compartilharem momentos alegres. Assim como meus amigos da graduação Francisca Neta, Juliana Malta, Thalita Martins, Carlos Gima, Wirlande Miranda, Elilson Brito e Ruan Sobreira

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV/UNESP, juntamente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade da realização do curso de Mestrado, por toda infraestrutura e recursos recebidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante esses 24 meses. Assim como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Deixo meus agradecimentos também para o Anselmo, por sempre nos receber bem e ter cedido uma parte de suas áreas em sua lavoura cafeeira, sendo crucial para o desenvolvimento deste trabalho.

A agrOAzul de Sertãozinho/SP por ter dado todo o suporte e parceria na realização da aplicação no experimento disponibilizando drone pulverizador.

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

Meus mais sinceros e singelo agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Cultura do café	2
2.2 Broca-do-café (<i>H. hampei</i> F.): Aspectos gerais.....	3
2.3 Comportamento populacional durante o ano.....	4
3. REFERÊNCIAS	8
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE INSETICIDA E ADJUVANTES EM VOLUMES BAIXOS DE CALDA.....	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1 Delineamento experimental.....	15
2.2 Análise estatística.....	17
3. RESULTADOS	18
3.1 Estabilidade físico-química das caldas	18
3.2 Tensão superficial.....	25
3.3 Ângulo de contato.....	26
3.4 Viscosidade	27
3.5 Tamanho de gotas.....	29
4. CONCLUSÃO.....	36
5. REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 3 - Controle da broca-do-café com diferentes volumes de calda e adjuvantes via pulverização com aeronave remotamente pilotada	40
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	44
2.1 Área experimental e características da cultura.....	44
2.1 Delineamento experimental	45
2.2 Amostragem da broca-do-café	46
2.3 Infestação e eficiência de controle.....	47
2.4 Caracterização da aeronave remotamente pilotada	47
2.5 Avaliação do depósito de calda	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4. CONCLUSÃO.....	64
5. REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO 4- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68

APLICAÇÃO DE INSETICIDA EM VOLUMES DE CALDA BAIXOS PARA CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ COM USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

RESUMO – O controle da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) é realizado principalmente com pulverizações de volumes de calda altos. Uma das alternativas para o manejo de pragas na cafeicultura é a aplicação utilizando volumes baixos, economizando assim, recursos financeiros e operacionais na lavoura. Geralmente, a utilização de volumes baixos ocorre na aplicação aérea e, mais especificamente, a aplicação com drones têm crescido em interesse nos cultivos. Porém, é importante entender o efeito na interação das caldas, dada a concentração de trabalho mais elevada e o efeito de controle, uma vez que a cobertura dos alvos tende a ser menor com os volumes reduzidos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-químicas das caldas de inseticida em dois diferentes volumes de aplicação e identificar sinais iniciais de perda de estabilidade em mistura do inseticida com diferentes adjuvantes, assim como, avaliar o controle da broca-do-café e o depósito de caldas em dois diferentes volumes de aplicação e adjuvantes via pulverização com drone. Os experimentos foram realizados em fatorial duplo 2x5 sendo: fator A – volume de aplicação (9 e 12 L/ha) e fator B – inseticida associados a adjuvantes, em quatro repetições. Foram avaliados a estabilidade físico-química das caldas, pH e condutividade elétrica, compatibilidade entre os produtos, tensão e ângulo de contato das gotas, viscosidade e espectro de gotas, controle e depósito de caldas. Os dados foram submetidos a uma análise de variância, pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). A compatibilidade físico-química entre o inseticida e os adjuvantes avaliados neste estudo apresentou em determinados momentos incompatibilidade, principalmente com sedimentação, recomendando-se realizar uma boa agitação deste produto no tanque. O pH manteve-se dentro da faixa adequada para o inseticida. De maneira geral, para os fatores viscosidade, tensão superficial, ângulo de contato e tamanho de gotas, o adjuvante que apresentou melhores resultados foi o organossiliconado e o surfatante não iônico no volume de 12 L/ha. Para o controle da broca-do-café, o drone se mostrou promissor na pulverização, uma vez que proporcionou controle do alvo desejado, proporcionando penetração das gotas nas partes mais internas da copa do cafeeiro, com volumes baixos.

Palavras-chaves: Adjuvantes, *Coffea arabica*, tecnologia de aplicação

APPLICATION OF INSECTICIDE AT LOW SPRAY VOLUMES FOR COFFEE BERRY BORER CONTROL USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

ABSTRACT – The control of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is mainly carried out with high-volume spray applications. One alternative for pest management in coffee cultivation is the application using low volumes, thereby saving financial and operational resources on the farm. Typically, low volumes are used in aerial applications, and more specifically, drones have been increasingly of interest in crops. However, it is important to understand the effect on the interaction of the sprays, given the higher concentration of active ingredients and the control effect, since target coverage tends to be lower with reduced volumes. In this context, the objective of this study was to evaluate the physicochemical properties of insecticide sprays at two different application volumes and identify initial signs of stability loss in the mixture of insecticides with different adjuvants, as well as to assess the control of the coffee berry borer and the deposition of sprays at two different application volumes and adjuvants via drone spraying. The experiments were carried out in a 2x5 factorial design, with factor A being the application volume and factor B being the insecticide associated with adjuvants, in four replications. The physicochemical stability of the sprays, pH, electrical conductivity, compatibility between products, surface tension and contact angle of the droplets, viscosity, and droplet spectrum were evaluated, as well as the control and deposition of the sprays. The data were subjected to an analysis of variance using the F-test, and the means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$). The physicochemical compatibility between the insecticide and the adjuvants evaluated in this study depends on the resting period, making constant agitation of the product indispensable. The pH remained within the suitable range for the insecticide. In general, for the factors of viscosity, surface tension, contact angle, and droplet size, the adjuvant that showed the best results was the organosilicone and the non-ionic surfactant at a volume of 12 L/ha. For the control of the coffee berry borer, the drone proved to be promising in spraying, as it provided control of the desired target, ensuring penetration of the droplets into the innermost parts of the coffee tree canopy with low volumes.

Keywords: Adjuvants, *Coffea arabica*, Application technolog

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

Oriunda da África, as espécies de café, *Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (Gentianales: Rubiaceae) são cultivadas em mais de 10 milhões de hectares em 80 países situados de regiões tropicais e subtropicais (Vega et al., 2015; ICO, 2015). De acordo com os dados da CONAB (2024), a área cultivada no Brasil no ano agrícola de 2024 é 0,5% maior que a safra anterior, num total de 2,25 milhões de hectares.

No entanto, no Brasil prevalece condições ambientais com um potencial elevado de suscetibilidade a pragas comumente encontradas em cafezais (De Souza et al., 2020). Assim, a broca-do-café (*Hypothenemus hampei* F.) é um dos principais insetos a comprometer a produção cafeeira no Brasil causando prejuízos importantes para o produtor (De Souza et al., 2018).

Atualmente, em algumas aplicações faz-se o uso de volumes de caldas baixos de inseticida visando maximizar a eficiência no controle de pragas. Entretanto, esta prática envolve aplicação de soluções mais concentradas, permitindo cobertura mais precisa e eficaz, além de aumentar a autonomia e a capacidade operacional (Cunha & Silva, 2023).

A prática de uso de volumes de aplicação baixos é comumente utilizada na modalidade de aplicação com aeronave remotamente pilotada (ARP), que vem ganhando cada vez mais espaço nos campos brasileiros. De toda forma, é importante a pulverização eficaz e realizada no tempo certo das medidas de proteção das plantas. Para tal finalidade, as ARP possuem alta eficiência, redução da necessidade de mão de obra, economia de tempo, tempo de resposta e ampla área de tratamento (Meng et al., 2018; Shamshiri et al., 2018).

De forma geral, a busca por melhorias nas caldas de pulverização passa pela utilização de aditivos, com o objetivo de melhorar a distribuição de gotas e, de modo, a incrementar o controle. Os adjuvantes podem modificar as características físico-químicas da solução, tais como: interação entre substâncias, diminuição da deriva, ampliação da cobertura e molhamento nos alvos, melhor distribuição sobre as plantas e aumento da absorção de forma mais rápida (Nascimento et al, 2022).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi analisar a interação entre inseticidas associados ou não a adjuvantes em dois volumes diferentes de calda quanto às características físicas e química, compatibilidade das misturas e o efeito biológico sobre o inseto *H. hampei*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do café

O café foi introduzido no Brasil em 1727 através da Guiana Francesa e espalhou-se do norte do país para os estados do sudeste, sobretudo nas regiões montanhosas. O café desenvolveu-se nessas áreas devido às condições climáticas favoráveis ao seu cultivo, como temperaturas amenas, chuvas intensas e distinta estação seca (Ferreira et al., 2021).

Ao longo da história do Brasil, o cultivo do café evoluiu significativamente e contribuiu para o desenvolvimento econômico, especialmente nos primeiros períodos e nas áreas onde a cultura foi implantada. A agricultura no Norte, especificamente no Estado do Pará, existe desde o século XVIII. Depois, foi para o Rio de Janeiro e São Paulo (Vale do Paraíba). O cultivo se expandiu rapidamente para Santos e a Serra da Mantiqueira em 1850. A cafeicultura continuou se expandindo no século XX em estados como São Paulo, sul de Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná e no norte do país, em Rondônia. Ao longo desse período de crescimento, o mercado cafeeiro teve uma forte ligação com a economia brasileira, e até meados da década de 1990, o Governo Federal manteve fortes regulações no mercado (Volsi et al., 2019).

No Brasil, doze estados são os principais produtores de café, com cerca de 300.000 cafezais distribuídos por 1950 cidades. Cerca de 50% da produção total de café no Brasil é feita no estado de Minas Gerais. Este estado oferece grande parte de sua área com o clima para o cultivo do café (Ferreira et al., 2021).

Quanto às espécies, 98% dos cultivos são de *C. arabica*, sendo mais importante economicamente. O Mundo Novo, o Bourbon, o Catuaí Vermelho e o Catuaí Amarelo são algumas das variedades mais lucrativas no Brasil (Monteiro e Farah, 2012).

2.2 Broca-do-café (*H. hampei* F.): Aspectos gerais

Este inseto é conhecido por todos os cafeicultores, foi observado no Brasil no ano de 1913, no estado de São Paulo. É de origem africana e foi introduzido através de sementes de café infestadas e rapidamente se espalhou por todas as áreas de cultivo do país. É considerada a principal praga da cultura (Infante, 2018; Carvalho, 2021).

As larvas deste inseto ocasionam danos irreparáveis aos grãos de café, pois vivem em seu interior e se alimentam do conteúdo interno do grão verde ou maduro, gerando perdas quantitativas e qualitativas que vão desde a queda dos frutos e redução do peso à alteração da bebida no processamento final do café. O prejuízo da broca ao grão de café está diretamente relacionado à perda de qualidade da bebida e pela abertura de portas à microrganismos que adentram ao fruto através do orifício feito por esse inseto. Em relação às perdas quantitativas, a queda natural dos frutos, provocada pela alimentação da broca, pode atingir 13% em cultivos de *C. arabica* e cerca de 46% em *C. canephora* (Carvalho, 2021).

O inseto na forma adulta é um besouro pequeno de coloração escura e brilhante com o corpo cilíndrico e robusto. Os machos possuem diferenças morfológicas das fêmeas. A fêmea é maior, os machos não voam por possuírem asas atrofiadas e nunca deixam o fruto onde se originaram. Cada macho copula com dez fêmeas ou mais, dentro do fruto. A fêmea fecundada perfura o fruto na região da coroa, fazendo uma galeria através da polpa, ganhando o interior de uma das sementes, onde põe seus ovos. Ao emergirem, as larvas se alimentam das sementes, destruindo-as total ou parcialmente (Gallo et al., 2002; Guimarães et al., 2002; Lima et al., 2003; Matiello et al., 2005).

Ferreira et al., (2003) ressaltam que a população da broca-do-café está estritamente relacionada com a disponibilidade e as propriedades adequadas dos frutos, tornando-se a biologia do inseto mais dependente da fenologia da planta do que diretamente dos fatores abióticos envolvidos, desde que estes não estejam em níveis limitantes.

2.3 Comportamento populacional durante o ano

Assim como as mudanças no clima afetam as safras, também podem afetar a fitossanidade. Grande parte das espécies tem associado uma faixa térmica de umidade e radiação, relacionadas à sua fenologia e fisiologia. Também como consequência do aumento da temperatura global e da variação na distribuição de precipitações associadas às mudanças climáticas, diversas espécies verão seus habitats aumentando ou diminuindo sua gama de distribuição (Constantino et al., 2011; Ferreira et al., 2022).

Existe uma correlação entre a dinâmica da infestação da broca-do-café e a altitude na cultura, sendo que em locais abaixo de 1.200 metros do nível do mar, o desenvolvimento dos insetos é maior com temperaturas acima de 21°C e menor com temperaturas médias abaixo de 19°C (Constantino et al., 2010).

Altitude elevada paralisa a atividade do inseto, cujos adultos apresentam uma longevidade menor. As infestações nas altas altitudes raramente atingem 10%. A taxa de multiplicação do inseto varia em razão inversa da altitude, simultaneamente, o ciclo vital se alonga (Laurentino e Costa, 2004).

A temperatura influencia agindo na duração do ciclo da broca-do-café, sendo que temperaturas altas causam redução do ciclo de vida do inseto e, conseqüentemente, aumento do número de gerações (Silva et al., 2019). Por isso, o monitoramento se torna importante devido as variações climáticas que ocorrem durante o ano, permitindo acompanhar o nível de infestação da broca-do-café.

2.4 Métodos de controle para a boca do café

Para o controle deste inseto, os cafeicultores encontram dificuldades, devido ao hábito endofítico, do qual o inseto passa poucos dias fora do fruto (Silva et al., 2014; Ferreira et al., 2022). Diante disso, torna-se indispensável o monitoramento da broca-do-café, pois o período de trânsito deste inseto ocorre de 80 a 90 dias após a floração, e este é o momento ideal para se fazer o monitoramento preventivo. Embora o controle químico seja o principal meio de controle para este inseto-praga ele deve

ser realizado com base no monitoramento, quando a infestação da broca atingir 3 a 5% de frutos broqueados (Infante et al., 2014).

Para que os métodos de controle agrícola continuem sendo eficazes, é necessário implementar um Programa de Manejo Integrado de Pragas (MIP). A utilização de armadilhas semioquímicas em um programa de MIP é interessante, não apenas para determinar o momento adequado para aplicar técnicas de controle, mas também como uma estratégia para coletar indivíduos em massa (Rainho, 2015).

Desde a proibição do uso do endossulfan em 2013, outros inseticidas têm sido utilizados para o controle da broca, mas são poucos os produtos que conseguem ter uma eficácia tão boa quanto o endossulfan. Em estudos recentes, o Cyantraniliprole tem apresentado eficácia entre 60 e 80% (Luz et al., 2019). Este inseticida apresenta ação de profundidade e atua principalmente por ingestão e contato, demonstrando boa atividade adulticida, ovicida e larvicida, e com baixa toxicidade para artrópodes não alvo e outros organismos (Souza et al., 2013).

2.5 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionam a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidades necessárias, quando e se necessário, de forma econômica e com o mínimo de contaminação para outras áreas (Matuo, 1990, Ferreira et al., 2007). O conjunto de conhecimentos referente à pulverização, aos alvos, às caldas, recursos humanos, empregado para se obter uma aplicação eficiente e segura no controle dos alvos, respeitando as boas práticas agrícolas fazem parte da tecnologia de aplicação (Ferreira et al., 2007; Antuniassi et al., 2017).

Normalmente, é dado grande destaque ao produto fitossanitário a ser utilizado e pouco à técnica de aplicação. Compreender a maneira correta de aplicar o produto é tão relevante quanto conhecer suas propriedades. É fundamental reduzir as perdas e uma forma de alcançar isso é garantir que o produto atinja o alvo de maneira eficaz. Sendo assim, a uniformidade da aplicação e o tamanho das gotas apropriadas são indispensáveis (Fritz et al., 2014; Della Vechia, 2017).

Para um controle eficaz, é crucial que o produto chegue ao alvo desejado na quantidade correta. Os produtores adotam uma prática comum que é misturar dois ou mais produtos fitossanitários no tanque do pulverizador. Essa estratégia visa aumentar a eficiência operacional, financeira e a amplitude de ação dos produtos. No entanto, essa prática pode apresentar desvantagens como, efeitos adversos resultantes da mistura de ingredientes ativos, incompatibilidade entre produtos causada por alterações físico-químicas das caldas. Isso pode levar a perdas de uniformidade nas concentrações dos produtos durante as aplicações, causando efeitos tóxicos e reduzindo a eficácia dos produtos (Spadoni, 2019).

2.6 Aplicação de produtos fitossanitários em volume baixo

O volume de aplicação pode ser considerado um dos grandes responsáveis pelo controle inadequado e aumento dos custos. A geração, a distribuição e a deposição das gotas de pulverização devem ser as principais preocupações, uma vez que é isso o que determina a eficiência da aplicação e a eficiência do produto utilizado. No entanto, é comum o uso de volumes de pulverização elevados, o que resulta em perdas por escorrimento ou deriva (Lasmar, 2014).

A geração de grande quantidade de gotas com menores volumes proporciona os melhores resultados, recomendação que se aplica para qualquer equipamento de pulverização, terrestre ou aéreo. Aeronaves agrícolas (aviões, helicópteros e ARPs), principalmente ARPs, utilizam volumes de aplicação baixos que pode variar de 2,5 a 30 L/ha, em culturas de grande extensão (Santos, 2006).

Uma grande vantagem das aeronaves agrícolas é a possibilidade de controle de pragas no momento correto. Com pulverizadores terrestres, é necessário iniciar a pulverização mais cedo, para que ao final não se ultrapasse o estágio de desenvolvimento recomendado. Normalmente, frustrações e baixas eficiências das pulverizações aéreas ocorrem quando elas são realizadas sem observação dos parâmetros técnicos adequados ao equipamento, o que também implica reaplicações em intervalos muito curtos (Santos, 2006; Subramanian et al., 2021).

2.7 Adjuvantes

Os adjuvantes são substâncias ou compostos, sem propriedade fitossanitária, mas que são contributivos para a tecnologia de aplicação, com objetivo de manter ou aumentar a eficiência dos produtos sobre o alvo, atuando nas propriedades físico-química da calda, no intuito de reduzir perdas na aplicação, desde a compatibilidade de produtos em misturas no tanque, redução de deriva, melhorando o depósito e cobertura sobre o alvo, além disso, há adjuvantes que aumentam o espalhamento da calda e aceleram a absorção do ingrediente ativo pelo alvo, resultando em um desempenho e eficiência da operação (Nascimento et al., 2022).

Dentre os efeitos dos adjuvantes, destaca-se a redução da tensão superficial das gotas, causando seu achatamento, aumentando sua superfície de contato com o alvo biológico. Além da tensão superficial, os adjuvantes no pH, condutividade elétrica e viscosidade das caldas, assim como, na penetração, translocação e ação dos produtos fitossanitários (Mendonça et al., 2007; Cunha e Alves, 2009; Cunha et al., 2017).

Os produtos fitossanitários podem possuir afinidades diferentes com os adjuvantes, dificultando assim a generalização nas recomendações (Chow, 1993). O uso crescente devido as vantagens apresentadas pelos adjuvantes, tem expandido o número de produtos comerciais (Araújo; Raetano, 2011). Sendo assim, o uso correto dos adjuvantes pode influenciar positivamente no desempenho dos produtos fitossanitários.

Diante disso, pesquisas que visam a utilização de volumes de aplicação baixos podem auxiliar na melhoria dos programas de controle químico existente. Ademais, de acordo com a literatura, a adição de adjuvantes nas caldas apresenta um enorme potencial na melhoria da eficiência nas pulverizações.

3. REFERÊNCIAS

Araújo D, Raetano CG (2011) Adjuvante de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Editora: Fepaf. Botucatu, SP. 279 p.

Carvalho GA (2021) Broca-do-café. **Revista Cultivar: Grandes culturas**. Nº 257; ISSN 1516-358X.

Chow PNP (1993). Adjuvants in spray formulation in relation to foliar application of herbicides. In: Matthews, G. A.; Hislop, E. C. (Ed.). **Application technology for crop protection**. Wallingford: CAB. p. 291-304.

Conab - Atual estimativa traz produção de café em 58,81 milhões de sacas na safra 2024. (n.d.). Retrieved June 10, 2024, from <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5547-atual-estimativa-traz-producao-de-cafe-em-58-81-milhoes-de-sacas-na-safra-2024>

Constantino LM, GIL ZN, Jaramillo A, Benavides P, Bustillo AE (2010) Efeito do fenômeno El Niño e La Niña na dinâmica de infestação da broca de café *Hypothenemus hampei* em um gradiente altitudinal na cordilheira Central colombiana. **Livro de Resumos...** XXXVII Congresso da Sociedade Entomologia Colombiana, SOCOLEN, Bogotá, Colômbia, p.124.

Constantino LM, GIL ZN, Jaramillo A, Benavides P, Bustillo AE (2011) Efeito das mudanças climáticas e variabilidade na dinâmica de infestação da broca do café, *Hypothenemus hampei* na zona central do café da Colômbia. **Socolen**, Manizales, Colômbia, v.10.

Cunha JPAR & Silva MRA (2023). Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agrônômica**, 54. <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/85002>

Cunha JPAR, Alves GS (2009) Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659.

Cunha JPAR, Alves GS, Marques RS (2017) Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270.

De Souza MS, Costa JNM, Espindula MC & Silva AA (2018). Response of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) to semiochemicals and blends using baited traps in coffee fields. **Australian Journal of Crop Science**, 12: 961-966. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.06>.

De Souza MS, Costa JNM, Espindula MC & Silva AA (2020). Performance of baited traps for integrated management of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera:

Scolytinae) in a conilon coffee crop in Rondônia State, Brazil. **EntomoBrasilis**, 13, e913–e913. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v13.e913>

Della Vechia JF (2017) Interação entre produtos fitossanitários no manejo de *Brevipalpus yothersi* e *Diaphorina citri* na cultura dos citros. 104 f. **Dissertação** (Mestrado Entomologia Agrícola) UNESP, Jaboticabal.

Ferreira AJ, Miranda JC, Bueno VHP, Ecole CC, Carvalho GA (2003) Bioecologia da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferreira, 1867) (Coleoptera: Scolytidae), no agroecossistema cafeeiro do cerrado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.2, 422-431.

Ferreira CC, Zanuncio Junior JS, Souza MN, Fornazier ML, Queiroz RB, Sossai SR, Dorzenoni RR, Fornazier MJ, Guarçoni RC (2022). Métodos de manejo da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). **Tópicos em agroecologia**. Brasil, v.3, p.169. DOI: 10.36524/9788582635254.

Ferreira MC, Costa GM, Silva AR, Tagliari SRA (2007) Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, 27:471-478.

Fritz BK, Hoffmann WC, Kruger GR, Henry RS, Hewitt A, Czaczyk Z (2014) Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization Sprays**. 24:181-192.

Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C (2002) **Entomologia Agrícola**. Piracicaba, FEALQ. 920 p.

Guimarães RJ, Mendes ANG, Souza CAS (2002) Cafeicultura. Lavras: **UFLA/FAEPE**, 2002. 317 p.

ICO, International Coffee Organization (2015) Coffee trade statistics. Available online: <http://www.ico.org/>

Infante F. (2018) Pest management strategies against the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.66, n.21, p.5275-5280.

Laurentino E e Costa JNM (2004) **Descrição e caracterização biológica da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari 1867) no Estado de Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia (Documentos, 90), 21p.

Lima ER, Ambrogi BG, Costa FG, Saraiva RM (2003) Emprego de semioquímicos no manejo de pragas do café. In: ENCONTRO DE CAFÉ COM QUALIDADE, 5. **Resumos** (palestras). Viçosa, UFV. p. 47-66.

Luz ECA, Silva RA, Souza JC, Matos CSM (2019) Estudo da eficiência de inseticidas no controle da broca-do-café *Hypothenemus hampei*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, X., **Anais...** Vitória/ES – ISSN: 1984-9249. 2019.

Matiello JB, Santinato R, Garcia AWR, Almeida SR, Fernandes DR (2005) **Cultura do café – Novo Manual de Recomendações**. Varginha, Fundação Procafé, 2005. 438p.

Matuo T (1990) **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 139p.

Mendonça CG, Raetano CG, Mendonça CG (2007) Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, 27: 16-23.

Meng YH, Lan YB, Mei GY, Guo YW, Song JL e Wang ZG (2018). Efeito da aplicação de adjuvante por pulverização aérea na eficiência de pequenos veículos aéreos não tripulados em pulgões do trigo. **Internacional J. Agrícola. Biol. Eng.** 11, 46–53. doi: 10.25165/j.ijabe.20181105.4298.

Monteiro MC, Farah A (2012) Chlorogenic acids in Brazilian *Coffea arabica* cultivars from various consecutive crops. **Food Chem.** 134:611-614. DOI: 10.1016/j.foodchem.

Nascimento JR et al (2022) Topics in agricultural entomology – XIII. In: Polanczyk RA et al., **Good practices in agricultural spraying for pest management**, pp 71-83.

Rainho HL (2015) Resposta comportamental da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) a voláteis de frutos de café. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia-Entomologia Agrícola). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal-SP.

Santos JMF (2006) Princípios básicos da aplicação de agrotóxicos. **Visão agrícola**, n.6, p.60.

Shamshiri RR, Hameed IA, Balasundram SK, Ahmad D., Weltzien C., e Yamin M. (2018). “Pesquisa fundamental sobre veículos aéreos não tripulados para apoiar a agricultura de precisão em plantações de dendzeiros”, em **Agricultural Robots: Fundamentals and Applications**, eds J. Zhou e B. Zhang (Intech Open). doi: 10.5772/intechopen.80936

Silva RA, Matos CSM, Souza JC, Pereira AB, Pereira BB (2019) Influência do clima na flutuação populacional da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) no sul de Minas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, X., **Anais...** 2019.

Silva WD, Costa CM, Bento JMS (2014) How old are colonizing *Hypothenemus hampei* (Ferrari) females when they leave the native coffee fruit? **Journal of Insect Behavior**, v. 27, n. 6, p. 729-735.

Souza CS, Reis PR, Silva RA, Carvalho TAF, Pereira AB (2013) Controle químico da broca-do-café com cyantraniliprole. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 404-410, 2013.

Subramanian KS, Pazhanivelan S, Srinivasan G, Santhi R, Sathiah N (2021). Drones in Insect Pest Management. **Frontiers in Agronomy**, 3, 640885. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>

Vega FE, Infante F, Johnson AJ (2015) The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer. In Bark Beetles, **Biology and Ecology of Native and Invasive Species**, 1st ed.; Vega, F.E., Hofstetter, R.W., Eds.; Elsevier: London, UK, Chapter 11; pp. 427–494.

Volsi B, Telles TS, Caldarelli CE, Camara MRG da. (2019) The dynamics of coffee production in Brazil. Aldrich SP, editor. **PLoS One.**;14(7): e0219742. DOI: 10.1371/journal.pone.0219742

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE INSETICIDA E ADJUVANTES EM VOLUMES BAIXOS DE CALDA.

Resumo: O uso de volumes de calda baixos exige um entendimento profundo da caracterização físico-química das caldas para maximizar a eficácia da aplicação e minimizar os riscos associados, como deriva e evaporação. Ajustes precisos em fatores como tensão superficial, viscosidade, pH e compatibilidade são necessários para garantir que a pulverização atinja os níveis desejados de controle de pragas e doenças, mesmo com a quantidade reduzida de líquido aplicado. Existem diversos tipos de formulações para caldas, e estas podem interferir nas características químicas e físicas. Entretanto, o uso de adjuvantes pode melhorar as características físico-químicas das caldas, aumentando a retenção e penetração dos princípios ativos. Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físico-químicas de caldas inseticidas e adjuvantes em baixos volumes de aplicação – 9 e 12 L/ha. Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente ao acaso com fatorial 2x5, sendo: fator A: volume e fator B: inseticida associado ou não aos adjuvantes, em quatro repetições. Avaliou-se os parâmetros físicos e químicos, como: o potencial hidrogênio (pH), condutividade elétrica (CE) diâmetro mediano volumétrico (DMV), coeficiente de uniformidade de gotas (SPAN) – para análise de espectro de gotas, utilizou-se a ponta de pulverização TXA 8001, tensão e ângulo de contato da gota e a superfície em que se deposita, e viscosidade de caldas com inseticida isolado e em associação com adjuvantes. Os dados foram submetidos a análise de variância, pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Houve incompatibilidade em todos os tratamentos em todos os horários de avaliação nos dois volumes de aplicação. Para os fatores viscosidade, tensão superficial, ângulo de contato e tamanho de gotas, os produtos que apresentaram melhores resultados foram o organossiliconado e o surfatante não iônico para o volume de 12 L/ha.

Palavras-chaves: Compatibilidade de calda, aditivos, piretróides

Physicochemical Characterization of Insecticide and Adjuvants in Low Spray Volumes.

ABSTRACT: The use of low spray volumes requires a deep understanding of the physicochemical characterization of the spray solutions to maximize application efficacy and minimize associated risks, such as drift and evaporation. Precise adjustments in factors such as surface tension, viscosity, pH, and compatibility are necessary to ensure that the spray achieves the desired levels of pest and disease control, even with the reduced amount of liquid applied. There are various types of spray formulations, and these can interfere with the chemical and physical characteristics. However, the use of adjuvants can improve the physicochemical characteristics of the spray solutions, increasing the retention and penetration of active ingredients. This study aimed to evaluate the physicochemical properties of insecticide solutions and adjuvants in low application volumes—9 and 12 L/ha. The experiments were conducted in a completely randomized design with a 2x5 factorial scheme, with factor A being the volume and factor B being the insecticide associated or not with adjuvants, in four replications. The physical and chemical parameters evaluated included: pH (hydrogen potential), electrical conductivity (EC), volume median diameter (VMD), droplet uniformity coefficient (SPAN)—for droplet spectrum analysis, the TXA 8001 spray nozzle was used—tension and contact angle of the droplet and the surface on which it is deposited, and viscosity of the solutions with insecticide alone and in combination with adjuvants. The data were subjected to analysis of variance using the F-test, and the means were compared by Tukey's test ($p \leq 0.05$). Incompatibility was observed in all treatments at all evaluation times in both application volumes. For the factors viscosity, surface tension, contact angle, and droplet size, the products that showed the best results were the organosilicone and the non-ionic surfactant for the 12 L/ha volume.

Keywords: Spray mixture compatibility, additives, pyrethroids

1. INTRODUÇÃO

Devido a localização favorável que o Brasil se encontra e as boas condições climáticas, o país possui um dos maiores setores agrícolas do mundo, e atualmente é o maior exportador de produtos agrícolas do mundo (USDA, 2024). O aumento da produção agrícola tem sido alcançado devido ao melhoramento genético e com a ampliação de áreas de cultivo, cujo modelo de produção implica no aumento da quantidade de insumos, como o uso de agrotóxicos em diferentes culturas (Guarda et al., 2020; Novotny et al., 2020).

Atualmente, aplicações de volumes de produtos fitossanitários baixos têm sido motivo de estudos de grande relevância na agricultura, devido ao impacto direto na eficácia e segurança das aplicações. Esta técnica de aplicação em volumes baixos visa reduzir a quantidade de água utilizada na aplicação, o que resulta em uma maior concentração dos ingredientes ativos. Além disso, o uso de volumes baixos pode apresentar desafios técnicos, como a necessidade de garantir uma distribuição homogênea (Zhang et al., 2020).

Dada a dinâmica e a complexidade do processo de aplicação de produtos fitossanitários, em que pode ocorrer perdas do ingrediente ativo, um dos desafios para alcançar a resposta biológica esperada de um produto fitossanitário é produzir espectro de gotas ideal, e conseqüentemente maior penetração e depósito das gotas pulverizadas, que pode ser responsável pela eficácia do controle (Lopes, 2018).

Entretanto, para melhorar as características das caldas o uso de adjuvantes torna-se um fator determinante. Estes podem alterar as propriedades físico-químicas das caldas de pulverização, modificando fatores como, adesão e espalhamento das gotas e contribuindo para melhor retenção e penetração do princípio ativo (Melo et al., 2019).

Por outro lado, existem diversos tipos de formulações para caldas, e estas podem interferir nas características químicas e físicas, como tensão superficial e viscosidade, que resultam em modificação do espectro de gotas, assim como, nos riscos de perdas por evaporação e deriva. Essas perdas, acarretam uma série de preocupações durante o processo de aplicação, pois podem trazer riscos à saúde humana e a contaminação ambiental (Carvalho et al., 2018).

Segundo (Petter et al., 2013), a interação entre produtos fitossanitários e adjuvantes pode afetar diversos fatores como a estabilidade da calda, com níveis de compatibilidade que podem influenciar a eficiência dos tratamentos. Dentro do reservatório, essas reações podem resultar na maioria dos casos na separação de fases e em casos mais complexos uma possível formação de aglomerados e precipitados (Silva et al., 2007). Nesse contexto, deve-se considerar que o incremento de adjuvantes à calda nem sempre trará benefícios como o aumento da eficiência no controle do alvo.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as características físico-químicas de calda inseticida e adjuvantes em baixos volumes de aplicação (9 e 12 L por hectare).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em laboratório da Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal – SP, Brasil.

2.1 Delineamento experimental e Caracterização dos tratamentos

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizados (DIC), em esquema fatorial 2 x 5 (2 volumes de caldas vs 1 inseticida isolado e este associado a 4 adjuvantes) com 4 repetições (Tabela 1).

A avaliação de estabilidade e compatibilidade física entre as misturas foi fundamentada na metodologia NBR 13875 (Agrotóxico – Avaliação de compatibilidade físico-química) (ABNT, 2014). Foram realizadas quatro repetições por tratamento.

O preparo das caldas foi realizado com reagente água-padrão com dureza total de 20 mg/kg em equivalente de CaCO₃, conforme a NBR 13074 (ABNT, 2004). Posteriormente, adicionou-se produto em concentrações mínimas (Tabela 1), conforme recomendado na bula de cada produto. Utilizou-se provetas graduadas de 250 mL com tampas, em seguida adicionou-se o inseticida a água e posteriormente os adjuvantes.

Tabela 1. Tratamentos compostos por inseticida químico associado ou não a adjuvantes em suas doses menores da bula.

Tratamentos	Volumes	Misturas	Concentrações
1		SPT	13,89 g/250mL
2		SPT+AST	13,89g + 1,25mL/250mL
3	9 L ha	SPT+WT	13,89g + 4,15mL/250mL
4		SPT+FT	13,89g + 0,625mL/250mL
5		SPT+BT	13,89g + 0,25mL/250mL
6		SPT	10,42g/250mL
7		SPT+AST	10,42g + 1,25mL/250mL
8	12 L ha	SPT+WT	10,42g + 3,12mL/250mL
9		SPT+FT	10,42g + 0,625mL/250mL
10		SPT+BT	10,42g + 0,25mL/250mL

*Sperto® (SPT) – Inseticida dos grupos químicos neonicotinóide e piretróide; Assisst® óleo mineral - grupo químico dos hidrocarbonetos alifáticos (AST); Wetcit Gold® - (Surfactante) a base do óleo da casca de laranja (WT); Fighter® - Surfactante não iônico (FT) e Break Thru® - Organossiliconado (BT).

Após o preparo das caldas, as provetas foram agitadas por 10 vezes em movimentos angulares. Em seguida, foram mensurados a condutividade elétrica em condutímetro (Marte® MP-11P) e o pH da calda em peagâmetro (Quimis Q400RS). Na sequência, foi realizada a caracterização da calda a partir da identificação da formação de espuma, creme, cristais, sedimentação, separação de fases e grumos (ABNT, 2014).

As avaliações das caldas foram realizadas nos seguintes intervalos: separação imediata após a mistura (0) e após 2, 6 e 24 horas em período de repouso. Foram observados os possíveis efeitos das interações entre os produtos quanto a homogeneidade/heterogeneidade, sendo: floculação; sedimentação; separação de fases; suspensão de óleo; formação de grumos; formação de cristais; formação de creme e formação de espuma (ABNT, 2014).

Para a tensão superficial, as caldas foram preparadas com água da rede de abastecimento. As avaliações da tensão superficial e do ângulo de contato foram realizadas em tensiômetro automático OCA-15Plus da Dataphysics Germany. Neste equipamento, a tensão é determinada pelo método da gota pendente. A imagem da

gota de líquido suspensa no final da agulha do equipamento é focada pela lente de uma câmera CCD e 60 imagens são capturadas em sequência durante 60 segundos. As imagens são analisadas instantaneamente por assimetria de eixos. A tensão superficial é então determinada a partir da 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. Para a avaliação do ângulo de contato, o mesmo equipamento foi utilizado, também a partir da análise de imagem. A fita filme parafinado (Parafilm®) foi usada como a superfície padrão, uma vez que é comumente usada e difundida no meio científico (Rotenberg et al., 1983).

Para a análise de viscosidade das caldas, utilizou-se viscosímetro Brookfield modelo DV-I Prime, com temperatura de 25°C e velocidade de rotação de 100 rpm. As leituras foram realizadas após o preparo das caldas, utilizando 4 repetições por tratamentos. A unidade de medida é milliPascal por segundo ($\text{mPa}\cdot\text{s}^{-1}$).

Os diâmetros de gotas produzidas foram determinados por um analisador de tamanho de partícula (Sympatec GmbH) que opera pelo princípio de difração de raio laser e medições que variam de nanômetros a milímetros. Para isso, foi utilizado uma ponta de pulverização (TXA 8001), operando na pressão de 5 bar, mantida constante por ar comprimido. O diâmetro das gotas (μm) foi medido e representado pelos valores de $DV_{0,1}$, $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$, dentre estes, o $DV_{0,5}$ ou DMV é o mais usado como referência, pois trata-se do diâmetro de gotas que divide em duas partes iguais a massa de gotas pulverizadas, no qual a soma dos volumes das gotas maiores, igual à soma do volume das gotas menores. Além disso, foi determinado o coeficiente de uniformidade das gotas (SPAN) para cada tratamento, com o SPAN (diferença entre o $DV_{0,9}$ e o $DV_{0,1}$, dividido pelo $DV_{0,5}$), pode-se analisar a variação do tamanho das gotas produzidas no determinado espectro de gotas, sendo que quanto mais próximo de zero (0) estiver o valor de SPAN, mais homogêneo é o espectro, ou seja, maior é o volume da calda pulverizado por gotas do tamanho preconizado.

2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F, e para a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O programa estatístico utilizado foi o SpeedStat, versão 3.2 (Carvalho et al., 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estabilidade físico-química das caldas

Na estabilidade físico-química, foram observadas algum tipo de incompatibilidade em todos os tratamentos (Tabela 2). As incompatibilidades físicas observadas foram sedimentação, separação de fases, creme e espuma, nas observações de 0, 2, 6 e 24 horas após o preparo das caldas (HAP). A sedimentação ocorreu em todas as caldas, nas observações de 0, 2, 6 e 24 HAP, tanto para o volume de 9 L/ha quanto para 12 L/ha. Após agitação, houve redispersão para todos os tratamentos em todos os horários analisados. A separação de fases ocorreu apenas nas caldas com inseticida associado ao óleo mineral e inseticida associado ao óleo vegetal (0 HAP) no volume de 9 L/ha, assim como na avaliação de 2 HAP, é possível observar que houve separação de fases nas caldas contendo inseticida + óleo mineral e inseticida + organossiliconado em 9 L/ha, e quando avaliado em 6 HAP, nota-se que em todos os tratamentos houve separação de fases, sendo que em 24 HAP, verificou-se que somente houve separação de fases na calda contendo inseticida + organossiliconado (9 L/ha).

As análises do volume de 12 L/ha, mostram que houve separação de fases em todos os tratamentos nos horários de 0 e 6 HAP, enquanto no horário das 2 HAP, verificou-se separação de fases nas caldas contendo inseticida + óleo vegetal; inseticida + surfatante não-iônico; inseticida + organossiliconado, e para as análises realizadas após 24 HAP foi perceptível a separação de fases nos tratamentos contendo inseticida + óleo mineral e inseticida + óleo vegetal (Figura 1).



Figura 1. Sedimentação e separação de fases de inseticida associado a adjuvantes.

Também foi possível verificar a formação de creme nas caldas contendo inseticida + óleo mineral (2 e 24 HAP) para os dois volumes de aplicação em estudo.

A formação de espuma esteve presente nas caldas de inseticida isolado; inseticida + óleo mineral; inseticida + óleo vegetal, e inseticida + organossiliconado, logo após a agitação e 2 HAP, respectivamente, para o volume de 9 L/ha. Houve formação de espumas em todos os tratamentos após agitação, e 2 HAP apresentou espuma apenas no tratamento inseticida + organossiliconado no volume de 12 L/ha.

Tabela 2. Estabilidade das caldas analisadas, como sedimento, separação de fases, creme, formação de espuma e redispersão.

Tratamentos	Volumes	Sedimento				Sep. Fases				Creme				Espuma				Redispersão			
		0	2	6	24	0	2	6	24	0	2	6	24	0	2	6	24	0	2	6	24
SPT	9 L/ha																				
SPT+AST																					
SPT+WT																					
SPT+FT																					
SPT+BT																					
SPT	12 L/ha																				
SPT+AST																					
SPT+WT																					
SPT+FT																					
SPT+BT																					

* SPT – Sperto; AST - Assisst; WT - Wetcit Gold; FT – Fighter; e BT - Break Thru.

*Os quadrados preenchidos em cinza, refere-se aos tratamentos que apresentaram incompatibilidade, em branco não houve incompatibilidade para os determinados horários.

A combinação em tanque é uma prática comum visando à otimização de recursos financeiros e operacionais. No entanto, é essencial compreender as implicações físicas e químicas associadas a essa prática, as quais podem afetar a qualidade e a eficácia dos tratamentos executados.

A interação entre diferentes caldas fitossanitárias pode desencadear reações químicas e físicas que podem resultar em instabilidade nos sistemas de pulverização. Esta instabilidade pode ser observada através da formação de aglomerados e precipitados, causando uma distribuição heterogênea dos produtos na calda (Ferreira et al., 2020).

Nesse sentido, essa heterogeneidade pode implicar em diversos problemas, como à distribuição irregular do produto, resultando em áreas com superdosagens e outras com subdosagens, afetando a eficácia do tratamento (Petter et al., 2013). Além disso, a presença de áreas com diferentes concentrações do produto pode levar a resultados variáveis no controle de pragas e doenças, com áreas tratadas de forma inadequada. Com isso, a falta de uniformidade na aplicação pode elevar os riscos de deriva e contaminação ambiental. A heterogeneidade pode resultar em desperdícios

de produtos durante a aplicação, aumentando os custos de produção sem benefícios adicionais em termos de controle do tratamento.

Uma questão relevante relacionada a esses resultados é a formulação do produto comercial, visando estabilizar os ingredientes ativos e seus componentes inertes. O inseticida sistêmico formulado em grânulos dispersíveis em água (WG), embora tenha ocorrido caso de sedimentação, apresentou redispersão deste quadro por meio de agitações das misturas. A formulação WG é considerada como moderna, no entanto, há advertências sobre seus impactos adversos nas qualidades de misturas, principalmente quando se tem concentração elevada, com misturas envolvendo este tipo de formulação necessitando de agitação constante (Souza, 2019).

Para o pH, houve interação significativa entre o inseticida e os adjuvantes em todos os horários de avaliação, no momento do preparo das caldas os comportamentos foram similares para os tratamentos contendo inseticida isolado, inseticida + óleo mineral, inseticida + óleo vegetal, inseticida + surfatante não-iônico e inseticida + organossiliconado que apresentaram valores ácidos entre 5,06 e 5,43 para o inseticida isolado nos volumes de 9 L/ha e 12 L/ha, respectivamente (Figura 2). Duas horas após, tanto o inseticida isolado quanto associados aos adjuvantes tiveram redução no pH (4,98 e 5,09) em seus respectivos volumes.

Após seis horas, foi possível observar reduções nos valores de pH tanto para o inseticida isolado quanto para o inseticida associado aos adjuvantes nos dois volumes, apresentando diferenças estatísticas entre volumes e adjuvantes, variando de 4,87 a 4,73 entre volumes e de 4,87 a 4,79 entre adjuvantes (9 L/ha), e de 4,78 a 4,73 (12 L/ha).

Em 24 HAP, os valores mantiveram-se similares aos de 6 HAP, apresentando maior média para o inseticida associado ao óleo vegetal nos dois volumes avaliados, e dentro de cada volume, houve uma pequena variação entre os adjuvantes, variando de 4,88 a 4,93 (9 L/ha), e 4,95 a 4,86 (12 L/ha), apresentando diferença significativa entre volumes e adjuvantes associados ou não.

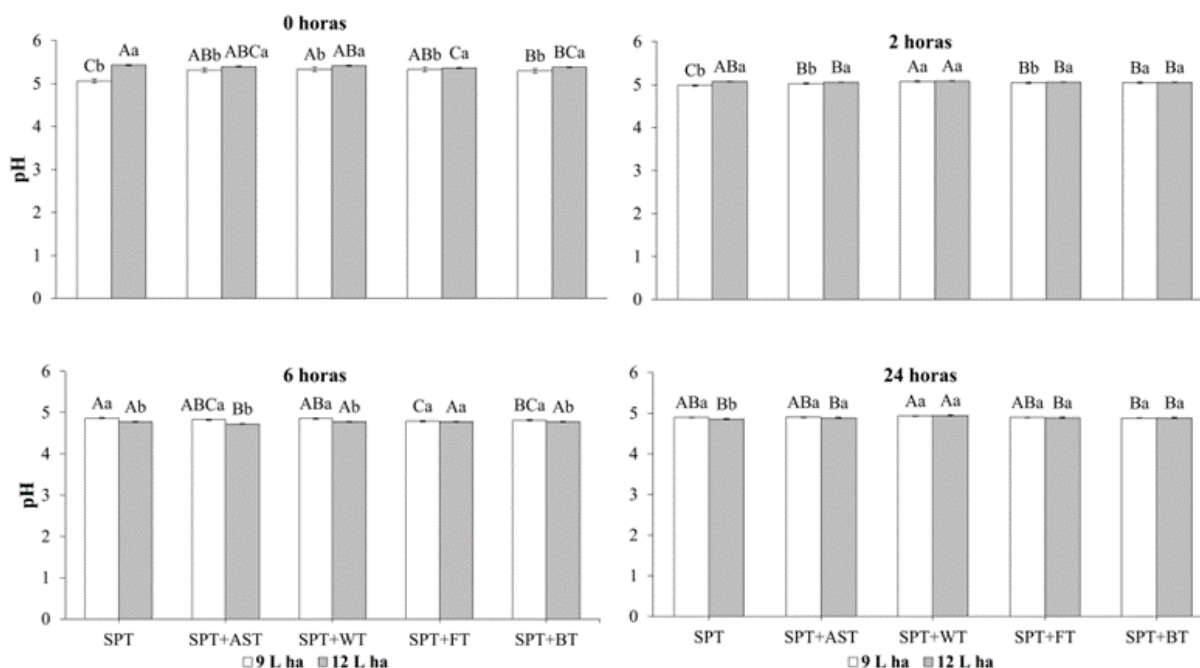


Figura 2. Caracterização das caldas quanto ao pH até 24 horas após o preparo. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 1,41%.

O pH pode influenciar na eficiência dos produtos fitossanitários, sendo considerado um fator crucial relacionado à compatibilidade, impactando a dissociação dos ingredientes ativos e a estabilidade físico-química das soluções (ABNT, 2014). Diante do exposto, foi possível verificar que a partir de 2 HAP o inseticida associado aos adjuvantes reduziu o pH das caldas, enquanto no preparo imediato das caldas, os valores de pH permaneceram acima dos demais horários de avaliação, sendo o inseticida isolado ou associado aos adjuvantes nos dois volumes de caldas.

Segundo (Petter et al., 2013), quando o pH das caldas está próximo da neutralidade, apresentam elevadas quantidades de cátions que podem se ligar aos ativos dispersos, conduzindo, conseqüentemente, à ocorrência de precipitados e que podem acelerar a degradação do produto, reduzindo a quantidade de ingrediente ativo disponível que, por sua vez, reduzem a eficácia biológica do produto.

Por outro lado, enquanto a alcalinidade potencializa a hidrólise do princípio ativo, conduzindo a sua decomposição, o pH inferior a 3,5 também poderá causar efeitos prejudiciais, tais como a dissociação iônica e precipitação do produto,

reduzindo sua solubilidade e, portanto, causando má homogeneização na calda, elevando os riscos de fitotoxicidade (Murphy, 2004). Desse modo, o pH do inseticida isolado ou associado aos adjuvantes, encontra-se próximo da faixa adequada para a eficácia do produto. A utilização de caldas com distância muito ampla entre a melhor faixa de ação e a utilizada afeta a estabilidade dos ingredientes ativos no campo e pode tornar o controle ineficaz.

Em ambos os volumes de caldas, os valores de pH ficaram muito próximos, variando entre 5,06 e 5,43, embora tenha ocorrido pequenas diferenças verificadas pelo método, isso é decorrente da uniformidade da produção das caldas. Na prática esses valores não implicariam em variações, nem na instabilidade, assim como, no efeito fisiológico dos produtos sobre os alvos.

Para a condutividade elétrica (CE), todas as caldas no momento do preparo (0 HAP) apresentaram maiores valores no volume de 9 L/ha, variando de 7,72 (inseticida + organossiliconado) a 6,84 mS/cma (inseticida isolado), apresentando diferenças estatísticas entre volumes e adjuvantes. Em 12 L/ha, as médias variaram entre 6,25 e 6,01 mS/cma, não apresentando diferenças significativas entre adjuvantes (Figura 3). Duas horas após o preparo, nota-se que houve uma inversão quanto aos maiores valores, sendo que com 12 L/ha observou-se médias variando de 7,59 a 7,29 mS/cma, apresentando diferenças significativas entre os dois volumes, em relação ao outro fator (9 L/ha). Com inseticida isolado obteve-se maior média (5,92 mS/cma) e menor (5,72 mS/cma) com o inseticida associado ao óleo mineral.

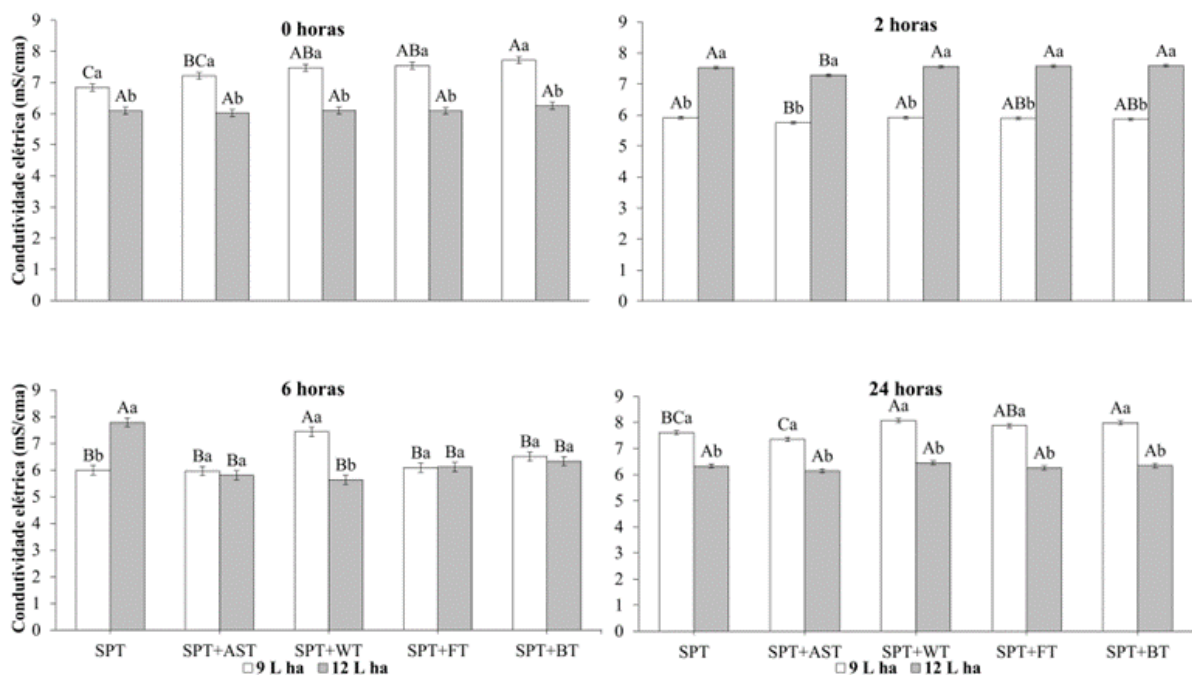


Figura 3. Caracterização quanto a condutividade elétrica até 24 horas após o preparo das caldas.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 12,11%.

Observou-se que com 6 HAP as caldas mantiveram-se com valores semelhantes ao encontrado para 2 HAP, ocorrendo pequenas variações. As caldas apresentaram pouca variação da condutividade elétrica, embora tenha ocorrido um aumento entre 2 e 24 HAP para o inseticida + óleo vegetal (9 L/ha). É importante salientar que, a condutividade da calda elevada, indica grandes quantidades de íons presentes, o que pode ser prejudicial a calda.

Quando a condutividade de uma calda apresenta valores elevados, há indícios de grandes quantidades de íons presentes, com essa característica podendo ser prejudicial, resultando em menor eficácia biológica dos produtos (Rheinheimer e Souza, 2000). O pH e a condutividade elétrica são fatores determinantes no desempenho da aplicação, podendo influenciar a velocidade de degradação dos produtos utilizados. Portanto, é possível ocorrer uma tendência à reatividade, considerando os níveis de condutividade elétrica, exigindo cuidado em relação à preparação e mistura dentro do reservatório do pulverizador (Spadoni, 2019).

3.2 Tensão superficial

Para a tensão superficial, houve interação significativa entre inseticida e adjuvantes, demonstrando dependência entre eles. Alguns tratamentos apresentaram diferenças entre os volumes, exceto para as caldas com inseticida isolado (SPT) e inseticida associado ao óleo mineral (SPT+AST) em que não houve diferença (Figura 4). Quando comparados dentro de cada fator (volume), foi possível verificar que houve diferenças entre adjuvantes, onde o inseticida associado ao surfatante não-iônico obteve maior média (32,40 mN/m) e o inseticida associado ao óleo mineral obteve menor média (30,12 mN/m) no volume de 9 L/ha. Também houve diferença entre os adjuvantes em 12 L/ha, tendo maior média o inseticida isolado (32,36 mN/m) e menor média (26,18 mN/m) para o inseticida associado ao organossiliconado (SPT+BT).

A adição de adjuvante na calda de inseticida reduziu a tensão superficial das gotas, quando combinados inseticida + óleo mineral (9 L/ha) e inseticida + organossiliconado (12 L/ha), a calda apresentou menores valores de tensão comparados aos demais.

A tensão superficial das caldas, de maneira geral as misturas de inseticida e adjuvantes, tiveram comportamento esperado, apresentando redução em relação ao inseticida isolado. Essa redução permite um maior espalhamento sobre as superfícies, favorecendo uma possível interação com a penetração dos produtos fitossanitários e com o aumento da probabilidade de atingir aos alvos. A mistura de agrotóxicos pode levar a redução da tensão superficial, promovendo à adesão das caldas a superfície foliar (Cunha et al., 2017). Nas avaliações dos tratamentos com inseticida + óleo mineral (9 L/ha) e inseticida + organossiliconado (12 L/ha), ocorreram valores reduzidos de tensão superficial, possivelmente resultando em maior espalhamento sobre a superfície. Outro fator que pode acarretar o espalhamento das caldas é a afinidade com a cutícula das folhas por terem componentes lipofílicos e hidrofílicos (Fernández et al., 2017). Como dentre os adjuvantes avaliados há os que alteram a tensão superficial e os que provém de formulações à base de óleos vegetais e hidrocarbonetos, ambos os efeitos podem ocorrer de maneira aditiva ou mesmo sinérgica.

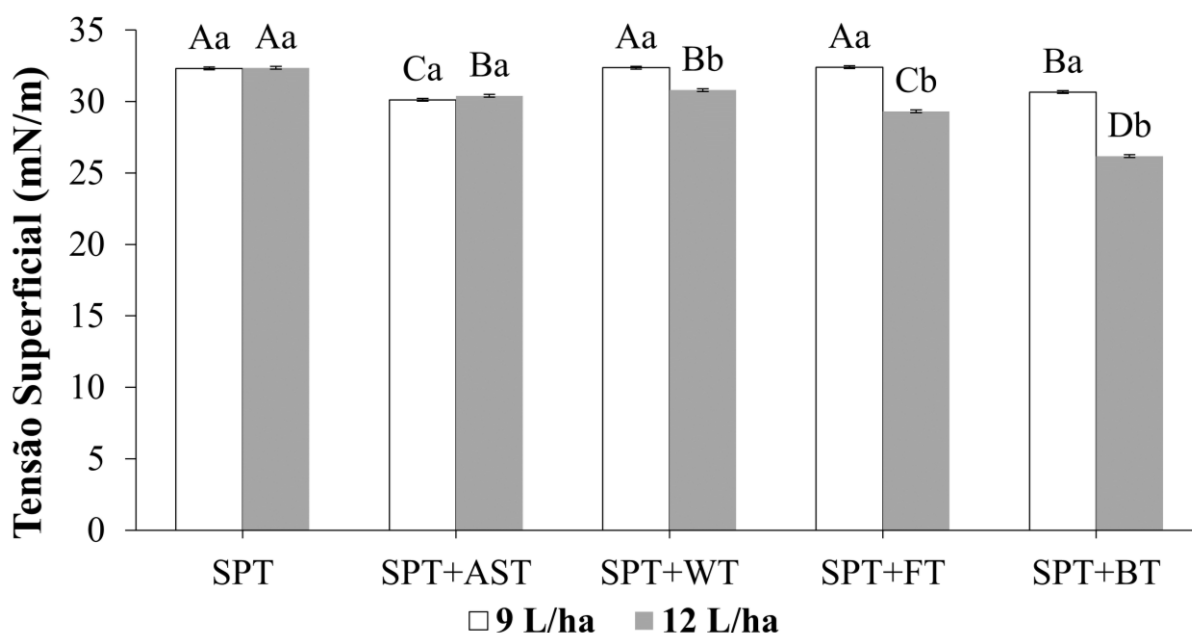


Figura 4. Caracterização da tensão superficial das gotas em dois diferentes volumes e adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 3,5%.

3.3 Ângulo de contato

Em relação ao ângulo de contato, houve similaridade nos padrões verificados para a tensão superficial, com diferenças entre volumes e adjuvantes dentro de cada parâmetro (Figura 5).

As caldas que resultaram nos menores valores de ângulo de contato das gotas foram para o inseticida associado ao organossiliconado e inseticida + surfatante não-iônico $42,98^\circ$ e $45,79^\circ$ (12 L/ha), respectivamente, seguido do tratamento com inseticida + óleo mineral $53,38^\circ$ (9 L/ha). O inseticida isolado apresentou ângulo de contato maior em relação aos demais que foram associados com outros adjuvantes $66,81^\circ$ e $64,25^\circ$ (9 L/ha e 12 L/ha), respectivamente. Observou-se que o ângulo de contato das gotas foi reduzido para o inseticida associados aos adjuvantes, principalmente no maior volume de calda (12 L/ha).

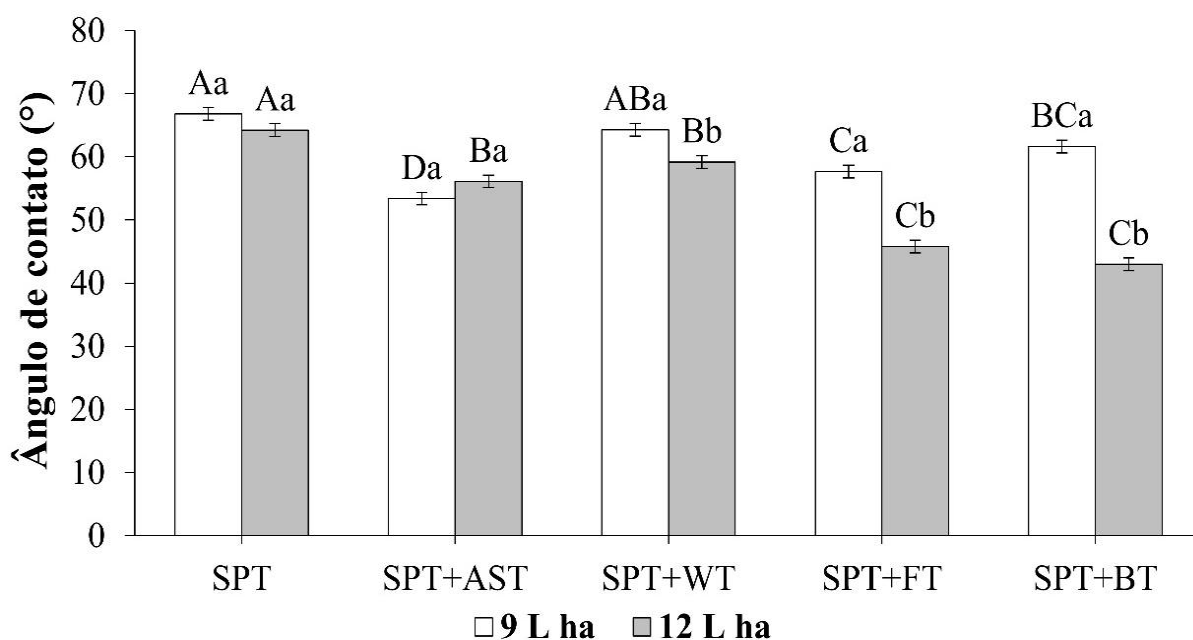


Figura 5. Caracterização do ângulo de contato das gotas, em dois diferentes volumes e diferentes adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV - 0,65%.

Para o ângulo de contato das gotas, foi possível observar um padrão em relação a tensão superficial, pois houve a redução dos valores nos mesmos tratamentos compostos por inseticida + óleo mineral (9 L/ha) e inseticida + organossiliconado (12 L/ha) com valores reduzidos, sendo 53,38° e 42,98°, respectivamente. Segundo Salvalaggio et al., (2018), a redução da tensão superficial das gotas aumenta o espalhamento, com potencial aumento da penetração dos produtos sobre a superfície foliar. Os valores reduzidos de ângulo de contato otimizam a distribuição das gotas e a cobertura do alvo, que pode ser considerada uma característica positiva, contribuindo com a qualidade da aplicação realizada (Spadoni, 2019; Meng et al., 2022).

3.4 Viscosidade

Para viscosidade das caldas, houve diferença entre os volumes, apresentando maiores valores para inseticida isolado e associado ao óleo mineral (12 L/ha). Dentro

deste mesmo volume, podemos observar que os valores são semelhantes, variando de 1,37 (inseticida + surfatante não-iônico) a 1,39 mPa.s⁻¹ (inseticida isolado e inseticida + óleo vegetal), havendo diferença significativa entre adjuvantes. O mesmo se repetiu para o segundo volume (9 L/ha), onde apresentou valores entre 1,33 (inseticida + surfatante não-iônico) a 1,37 mPa.s⁻¹ (inseticida isolado e inseticida + organossiliconado), havendo diferença significativa entre eles (Figura 6).

A adição do surfatante não-iônico junto ao inseticida no volume de 9 L/ha, influenciou para reduzir a viscosidade, enquanto o inseticida isolado apresentou um ligeiro acréscimo devido a interações intermoleculares mais fortes e à formação de aglomerados. No segundo volume, houve pouca variação, entretanto, o inseticida isolado apresentou aumento em relação aos demais (Figura 6).

Para Fox e McDonald (2014), o aumento da viscosidade influencia o tamanho de gotas, e à medida que a viscosidade aumenta, a magnitude das forças de cisalhamento também aumenta. Oliveira, (2011) verificou que maiores valores de viscosidade tendem a gerar os menores índices de deriva. Possivelmente esse efeito é resultante de gotas maiores, tanto pela mediana quanto pela uniformidade.

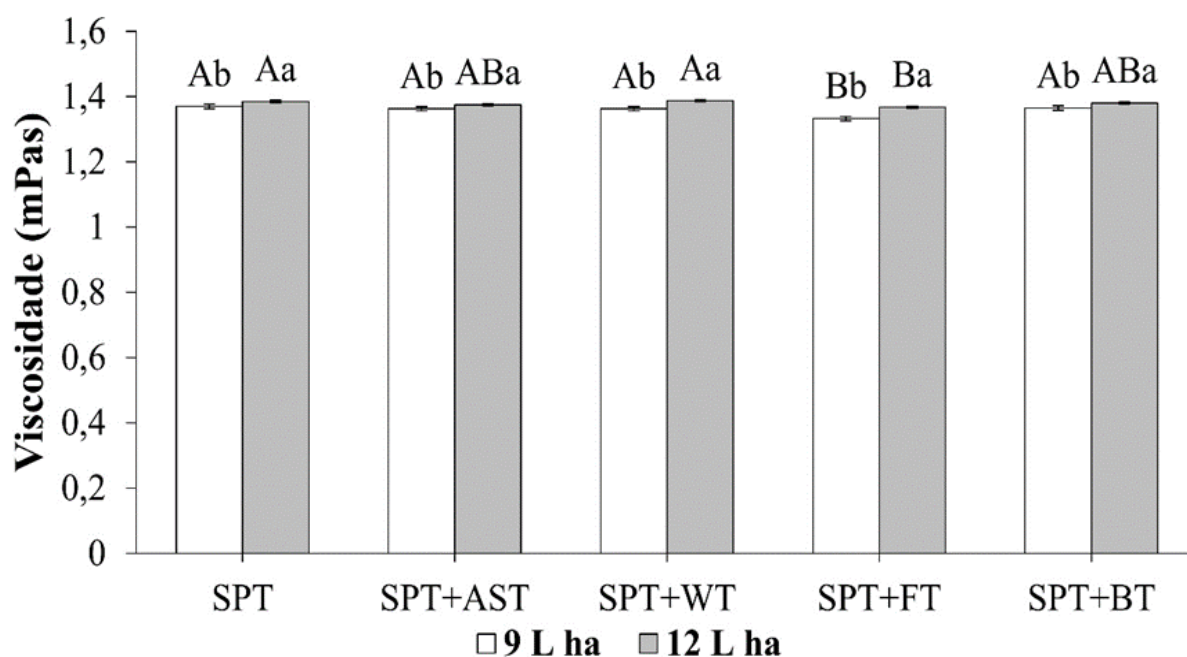


Figura 6. Valores médios de viscosidade das caldas em dois diferentes volumes e diferentes adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A adição de surfatante não-iônico e óleo vegetal afeta de maneiras distintas a tensão superficial e a viscosidade da solução pulverizada. Enquanto os surfactantes não-iônicos reduzem significativamente a tensão superficial, resultando em gotas menores e maior risco de deriva, o óleo vegetal aumenta a viscosidade, resultando em gotas maiores e menor potencial de deriva. A escolha entre os dois aditivos deve ser baseada nas necessidades específicas de aplicação e nas condições ambientais para otimizar a eficácia e minimizar impactos indesejados. Este efeito é também evidenciado pela maior uniformidade (menor valor de SPAN) verificado para a calda com o adjuvante óleo vegetal.

Além do efeito na formação das gotas, a viscosidade torna-se importante neste estudo por ser um fator que pode influenciar na deposição das pulverizações afetando a energia de dissipação durante o processo de colisão das gotas com o alvo (Oliveira, 2011). Polímeros que aumentam a viscosidade das caldas e reduzem a tensão superficial têm o potencial de otimizar o depósito das gotas sobre o alvo e mitigar o efeito de ricocheteio das gotas ao colidir com o alvo (Bergson et al., 2003).

3.5 Tamanho de gotas

As análises de tamanho de gotas foram realizadas em laboratório com condições controladas, a temperatura média foi em torno de 25°C e umidade relativa de 65%, na ausência de vento e de luminosidade externa.

Para o $Dv_{0,1}$ os tamanhos das gotas variaram de 57,57 a 49,99 μm (9 L/ha), para o segundo volume de calda (12 L/ha), os valores de tamanhos de gotas ficaram entre 58,72 e 50,49 μm (figura 7). Para o $Dv_{0,5}$ as gotas ficaram entre 117,88 e 113,66 μm (9 L/ha), e 119,06 e 115,01 μm (12 L/ha) (figura 8). E para o $Dv_{0,9}$ os valores foram 193,85 e 186,89 μm (9 L/ha), e 199,39 e 191,45 μm (12 L/ha) (Figura 9).

Houve interação significativa entre inseticida e adjuvantes, apresentando diferença entre os dois volumes. O tratamento com maior tamanho de gotas foi o inseticida + óleo mineral e inseticida + surfatante não-iônico (9 L/ha e 12 L/ha), respectivamente. Dentro de cada volume, também foi possível observar diferença estatística entre as caldas e adjuvantes ($Dv_{0,1}$).

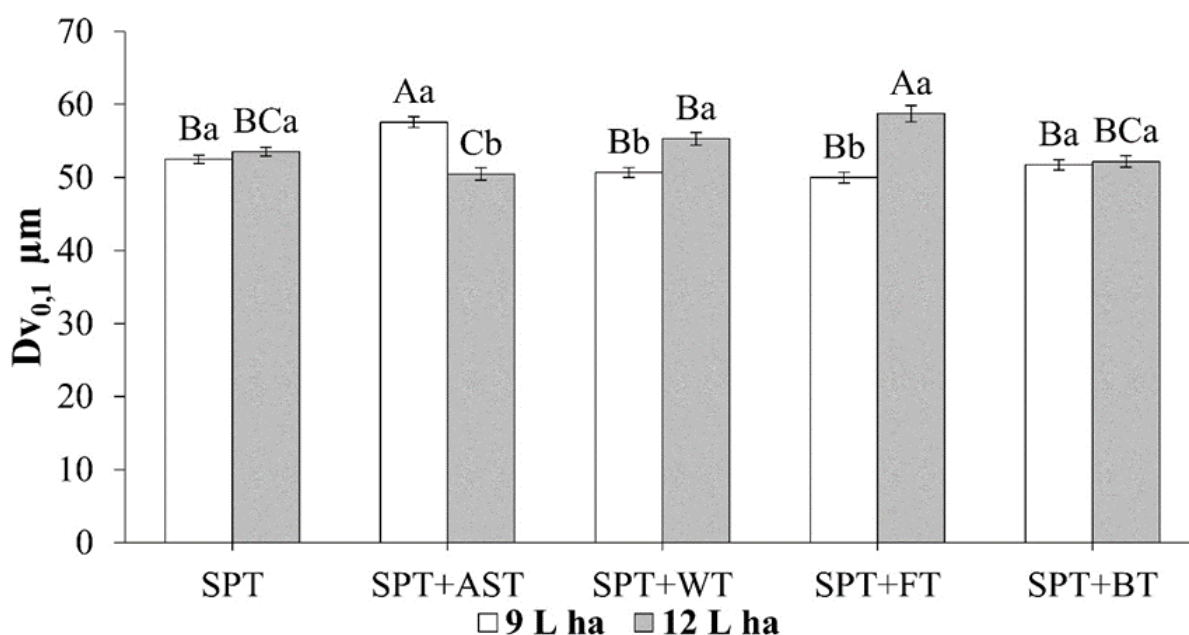


Figura 7. Tamanho de gotas analisado em dois diferentes volumes de caldas e adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 2,95%.

Para o diâmetro mediano volumétrico (DMV ou $Dv_{0,5}$), a calda com inseticida associado ao óleo mineral (SPT+AST) apresentou maior DMV 117,88 μm para o volume de 9 L/ha, e para o volume de 12 L/ha o maior DMV foi para a calda contendo inseticida + óleo vegetal (SPT+WT) 119,06 μm . Houve interação significativa entre inseticida e os adjuvantes, o que demonstra a dependência entre eles. Foram apresentados diferenças significativa entre os volumes, sendo os maiores valores para inseticida + surfatante não-iônico (SPT+FT) e inseticida + organossiliconado (SPT+BT) no volume de 12 L/ha. Para o segundo fator (adjuvantes) dentro de seus respectivos volumes, foi possível observar diferenças entre eles, sendo inseticida + óleo mineral (SPT+AST) com maior valor de DMV e inseticida + óleo vegetal (SPT+WT) com o menor valor. No segundo volume de caldas, também houve diferença entre adjuvantes, neste volume, nota-se que o inseticida + surfatante não-iônico (SPT+FT) elevou o valor de DMV, enquanto que o inseticida + organossiliconado (SPT+BT) reduziu o valor de DMV (Figura 8).

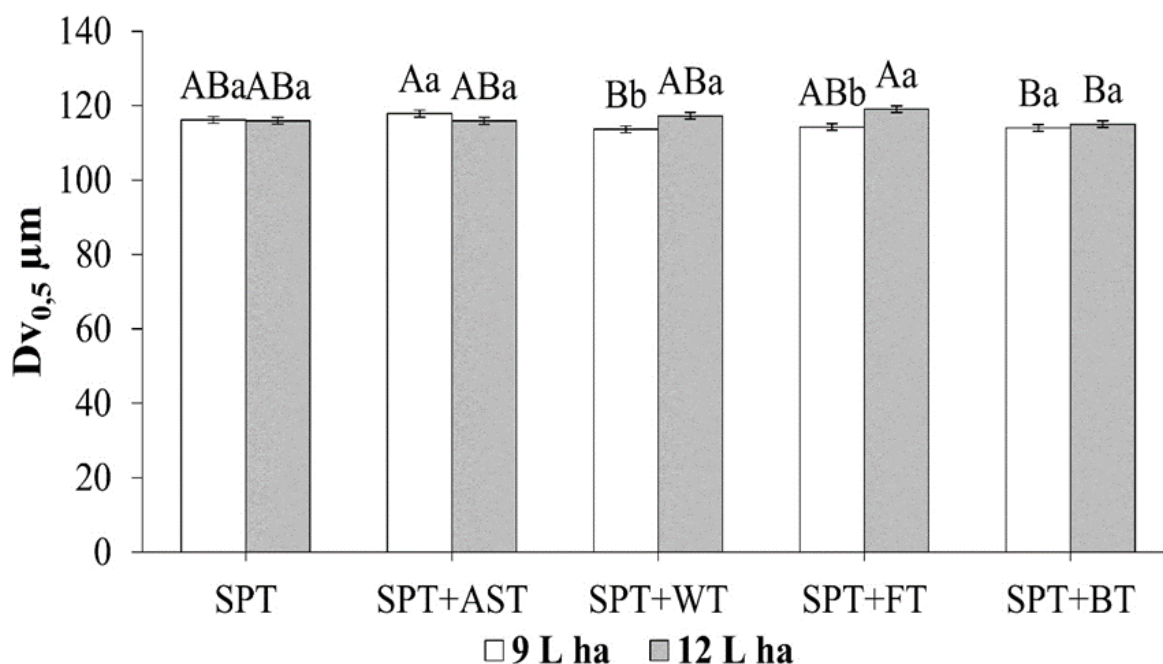


Figura 8. Tamanho de gotas analisado em dois diferentes volumes de caldas e adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 1,54%.

O diâmetro volumétrico a 90% ($Dv_{0,9}$) com o inseticida associado ao surfatante não-iônico (SPT+FT) apresentou maior valor (199,39 μm) no volume de 12 L/ha. Com relação ao outro volume de 9 L/ha, o inseticida + óleo mineral (SPT+AST) apresentou maior valor (193,85 μm). Quando comparados os dois volumes de calda, verificou-se que o maior volume obteve os maiores valores de DMV, resultando em diferença significativa entre volumes (Figura 9).

Analisando dentro de cada volume, os tratamentos que apresentaram as maiores médias foram inseticida + óleo mineral, inseticida associado ao surfatante não-iônico e inseticida + organossiliconado, diferindo das demais caldas dentro do volume de 9 L/ha. No segundo caso, a maior média se deu para a calda inseticida associado ao surfatante não-iônico, tendo diferença significativa entre as caldas no volume de 12 L/ha. Para a calda de inseticida + óleo mineral, inseticida + surfatante não-iônico e inseticida + organossiliconado (9L/ha), os adjuvantes aumentaram o seu DMV, enquanto no segundo volume, apenas o surfactante não iônico foi capaz de aumentar o DMV da calda (Figura 9).

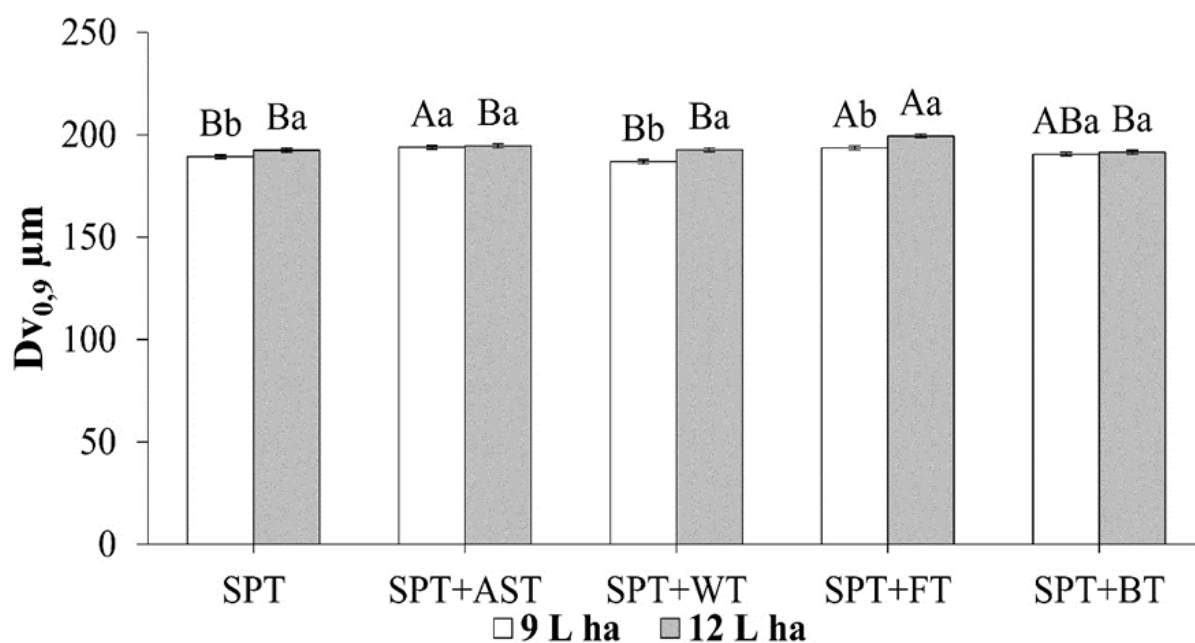


Figura 9. Tamanho de gotas analisado em dois diferentes volumes de caldas e adjuvantes, Dv_{0,9}.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 0,97%.

As gotas geradas por uma ponta podem ser classificadas em diferentes tamanhos, extremamente finas (EF); muito finas (MF); finas (F); médias (M); grossas (G); muito grossas (MG); extremamente grossas (EG) e ultra grossas (UG) (ASABE, 2020). O Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) determina o tamanho das gotas, sendo definido como diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas partes iguais, onde uma metade é composta por gotas maiores que o DMV, e outra metade por gotas menores que o referido valor (Oliveira, 2011).

Em estudos realizados por Roehrig (2018), sobre os efeitos de adjuvantes tensoativos, e redução da taxa de aplicação, constatou-se que os tensoativos são os principais atuantes na cobertura da superfície foliar e no depósito das gotas de pulverização no dossel da cultura, aliado à taxa de aplicação. De acordo com esses autores, os adjuvantes viabilizam a geração de espectros de gotas mais uniformes, com DMVs adequados a maiores superfícies de contato, diminuindo os riscos de perda.

A seleção de tamanhos de gotas para pulverização nas diversas culturas em campo, onde se busca o controle da praga, apresenta muitas características distintas, por ser um ambiente que em muitas das vezes não favorece a aplicação para um bom controle. Por ser um fator que não se pode controlar, geralmente, as rajadas de ventos são maiores, a temperatura costuma ser elevada e a umidade relativa muitas vezes pode variar. Contudo, o controle de pragas pode apresentar dificuldades, uma vez que a deriva e o grau de evaporação das gotas podem ser maiores que o esperado. Como controlar insetos não é uma tarefa fácil, as pulverizações necessitam de estratégias bem elaboradas para que sejam mais econômicas. Um dos fatores que pode influenciar esta característica é o volume de aplicação, com a escolha de gotas menores podendo ser uma solução para se alcançar boa cobertura das plantas, possibilitando que o produto chegue até o alvo desejado.

Segundo Baesso et al., (2014), o uso de gotas grandes e de volumes altos, podem acarretar o escoamento das caldas nas folhas. A princípio, este efeito pode parecer uma vantagem técnica por cobrir toda a folha da planta, entretanto, isso pode trazer um custo financeiro excessivo, além do impacto ambiental que pode ser gerado pelo resíduo, o que pode ser otimizado com a tecnologia da aplicação. Assim, a escolha adequada do tamanho de gotas, ponta, pressão de trabalho e líquido, podem tornar a aplicação mais econômica e mais segura.

O coeficiente de uniformidade (SPAN), valor que representa a distribuição do tamanho de gotas em relação à mediana, é um indicador crucial na caracterização da distribuição do tamanho das gotas. Quanto mais próximo de zero (0), maior a uniformidade da amostra, indicando uma produção de gotas com tamanho mais homogêneo em relação ao tamanho selecionado. Os valores observados da avaliação dos tratamentos variaram entre 1,14 e 1,55 (Figura 10).

Para as caldas com inseticida + óleo mineral e inseticida isolado foi o que apresentou menores valores de Span (1,14 e 1,21), respectivamente. Quando comparamos os dois volumes, é possível observar diferença significativa apenas na calda com inseticida + óleo mineral, apresentando o menor valor de Span no volume de 9 L/ha. Dentro de cada volume estudado, houve diferença significativa entre os adjuvantes, para a calda com inseticida associado ao óleo mineral, houve uma distribuição mais uniforme que os demais tratamentos (9 L/ha). Enquanto para o

inseticida associado ao óleo vegetal, o mesmo contribui para uma melhor uniformidade das gotas (12 L/ha). Entretanto, para o inseticida + surfatante não-iônico, em 9 L/ha, e o inseticida + óleo mineral, em 12 L/ha, o comportamento foi inverso, pois os dois adjuvantes proporcionaram maiores valores de Span, portanto, com menor uniformidade do tamanho de gotas da amostra.

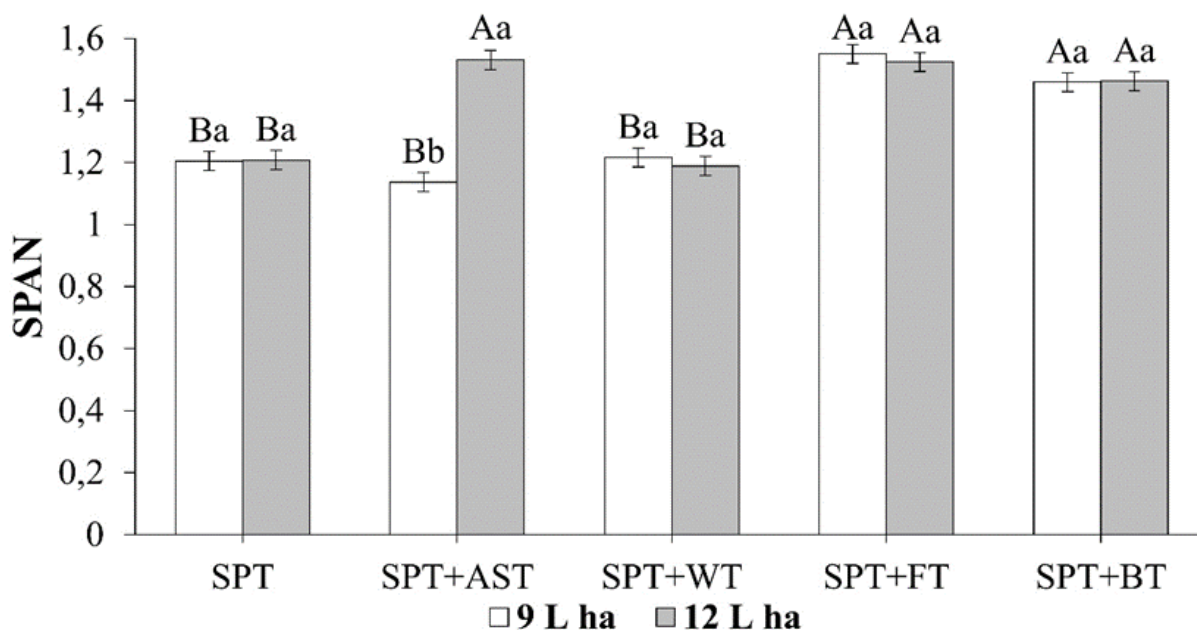


Figura 10. Caracterização do coeficiente de uniformidade das gotas (Span) em dois diferentes volumes de caldas e adjuvantes.

*Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro analisado não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV – 4,54%.

O coeficiente de uniformidade desempenha um papel fundamental dos tratamentos fitossanitários e na maximização da eficiência agrícola, pois é um parâmetro essencial para garantir uma cobertura adequada das culturas alvo, minimizando o desperdício de produtos e reduzindo os riscos de deriva e contaminação ambiental. No entanto, pode haver variações na composição da calda, que por sua vez interfere na uniformidade das gotas (Griesang et al., 2022). Para Costa et al., (2017), o tamanho de gotas pode aumentar em função do modelo de ponta, enquanto para outro, podem diminuir. Segundo Xue et al., (2021), para valores iniciais de SPAN (0,6; 0,84; 1,08 e 1,30) a deriva pode ser reduzida (5,61; 11,14; 15,37 e 20,92%), respectivamente, induzido pela fusão das gotas no momento da

pulverização. Tais resultados, foram próximos dos reportados neste trabalho, visto que o SPAN variou de 1,14 a 1,55, sendo mais ou menos suscetíveis a perdas por evaporação.

A porcentagem de gotas menores que 100 μm ($\% < 100 \mu\text{m}$) foi maior para o tratamento contendo inseticida + óleo vegetal (SPT+WT), no volume de 9 L/ha, enquanto que para o segundo volume, o maior valor foi para o inseticida + óleo mineral (SPT+AST). Observou-se que houve diferença significativa entre o fator volume de caldas, onde o volume que se sobressaiu com maiores médias foi 9 L/ha (Tabela 3).

Enquanto que para o fator adjuvantes, também houve diferenças significativas entre as caldas de inseticida associado ao óleo vegetal (39,94) e inseticida + óleo mineral (36,42), no volume de 9 L/ha, ao mesmo tempo que, para o segundo volume não houve diferenças entre os adjuvantes.

Tabela 3. Valores do percentual de gotas menores que 100 μm em dois diferentes volumes de calda e adjuvantes.

Percentagem de gotas < 100 μm		
Tratamentos	9 L/ha	12 L/ha
Sperto	38,08 Aab	38,17 Aa
Sperto + Assist	36,42 Ab	38,38 Aa
Sperto + Wetcit	39,94 Aa	37,19 Ba
Sperto + Fighter	39,86 Aa	36,34 Ba
Sperto + Break Thru	39,70 Aa	37,58 Ba
CV (%)	3,77	

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

As gotas com diâmetro inferior a 100 μm são altamente suscetíveis à evaporação e à deriva ao longo do trajeto da pulverização, o que pode acarretar o não atingimento do alvo desejado. Devido ao seu tamanho reduzido, essas gotas têm área de superfície maior em relação ao volume, o que aumenta sua taxa de evaporação

quando expostas ao ambiente. Além disso, suas massas reduzidas as tornam mais suscetíveis aos efeitos do vento, resultando em uma deriva significativa durante a pulverização. Esses fatores combinados podem comprometer severamente a eficácia do tratamento (Nuyttens et al., 2017).

4. CONCLUSÃO

A compatibilidade físico-química entre o inseticida e os adjuvantes avaliados neste estudo é dependente do período de repouso, sendo indispensável a agitação constante antes e durante a aplicação do produto. O pH manteve-se dentro da faixa adequada para o inseticida.

Para os fatores viscosidade, tensão superficial, ângulo de contato e tamanho de gotas, os produtos que apresentaram as melhores características da calda neste estudo foram o organossiliconado e o surfactante não-iônico para o volume de 12 L/ha.

5. REFERÊNCIAS

Abnt (2014). *NBR 13875: Agrotóxico - Avaliação de compatibilidade físico-química*. Rio de Janeiro.

Abnt. Associação Brasileira de Normas Técnicas - *NBR 13074: 2004. Agrotóxicos e afins - Preparação de água-padrão para ensaios*. Rio de Janeiro: 2004. 14 p.

Asabe (2020) American Society of Agriculture and Biological Engineers. Spray nozzle classification by droplet spectra. ASAE ANSI/ASABE standard S572,3, St. Joseph.

Baesso MM, Teixeira MM, Ruas RAA, Baesso RCE (2014) Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 780-785.

Bergeron V, Martin JY, Vovelle L (2003) Use of polymers as sticking agents. *US Patent* 6, p. 534-563.

Carvalho AMX, de Mendes FQ, Mendes FQ & Tavares, L. de F. (2020). SciELO - Brasil -. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20, e327420312. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3s46>

Carvalho FK, Antuniassi UR, Chechetto RG, Mota AAB, Carvalho LR (2018) Viscosity, surface tension and droplet size of spray liquids containing formulations of insecticides and fungicides with oil-based adjuvants. **Aspects of applied biology**, v. 137, p. 183-190.

Carvalho FK, Chechetto RG, Mota AAB, Antuniassi UR (2021) Entendendo a tecnologia de aplicação: Aviões, helicópteros e drones de pulverização. **FEPAF**, Botucatu. p. 88.

Costa LL, Silva HJPS, Almeida DP, Ferreira M da C, Pontes NC (2017) Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. **Engenharia Agrícola** 37(2): 10.

Cunha JPAR, Alves GS, Marques RS (2017) Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica** 48(2):261–270.

Fernández V, Bahamonde HA, Peguero-Pina JJ, Gil-Peegrín E, Sancho-Knapik D, Gil L, Goldbach HE, Eichert T (2017) Physico-chemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany** 68(19):5293–5306.

Ferreira PH, Thiesen LV, Pelegrini G, Ramos MF, Pinto MM, & da Costa Ferreira M (2020). Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Scientific Reports**, 10.

Fox RW, McDonald AT (2014) *Introdução a mecânica dos fluidos*. 8ª Ed. – Rio de Janeiro **LTC**.

Griesang F, Ferreira MDC, Spadoni ABD, Della Vechia JF, Santos RTDS, Santos CAM (2022) How do the droplet spectrum uniformity and spray volume of flatfan nozzles influence fungicide spray distribution quality in soybeans? **Engenharia Agrícola**, .42, n.2, e 20210122.

Guarda PM, Gualberto LS, Mendes DB, Guarda EA, Silva JEC (2020) Analysis of triazines, triazoles, and benzimidazoles used as pesticides in different environmental compartments of the Formoso River and their influence on biodiversity in Tocantins. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, [s.l.], v. 55, n. 9, p. 783–793.

Lopes LL (2018) **Caracterização físico-química, espectro de gotas e deposição de calda de pulverização com uso de adjuvantes na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) – UEG, Anápolis.

Melo AA, Hunsche M, Guedes JVC, Hahn L & Feltrin NM. (2019). Estudo dos efeitos de adjuvantes associados a inseticidas nas propriedades físico-químicas da solução de pulverização e caracterização de depósitos em folhas de trigo e milho sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, 39 (3), 315–322. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n3p315-322/2019>.

Meng Y, Zhong W, Liu C, Su J, Lan Y, Wang Z, Wang M (2022) UAV spraying on citrus crop: impact of tank-mix adjuvant on the contact angle and droplet distribution. **PeerJ** 10: e13064.

Murphy G (2004) Water pH and its effect on pesticides. Ontário: Ministry of Agriculture and Food. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/hort/news/grower/2004/08gn04a1.htm>.

Novotny EH, Turetta APD, Resende MF, Rebello CM (2020) The quality of soil organic matter, accessed by ¹³C solid state nuclear magnetic resonance, is just as important as its content concerning pesticide sorption. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 266, p. 115298.

Nuyttens D, Zwertvaegher IKA, Dekeyser D (2017) Spray drift assessment of different application techniques using a drift test bench and comparison with other assessment methods. **Biosystems Engineering** 154:14–24.

Oliveira RB (2011) **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. Tese (Doutorado em agronomia), UNESP, Botucatu.

Petter AF, Segate D, Almeida FA, Neto F A, Pacheco LP (2013) Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. **Comunicata Scientiae**, v.4, n.2, p.129-138.

Rheinheimer DS e Souza RO (2000) Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, 30: 97-104.

Roehrig R, Boller W, Forcelini CA, Chechi A (2018) Use of surfactant with different volumes of fungicide application in soybean culture. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.38, n.4, p. 577-589.

Rotenberg Y, Boruvka L, Neumann AW (1983). Determination of surface tension and contact angle from the shapes of axisymmetric fluid interfaces. **Journal of Colloid and Interface Science** 93(1):169–183.

Salvalaggio AC, Costa NV, Junior EC, Cazzo VN (2018). Espalhamento e tensão superficial de gotas de soluções com herbicidas e adjuvantes em folhas de *Digitaria insularis*. **Journal of neotropical agriculture**. 5. 60-64. 10.32404/rean. V. 5i3.1721.

Silva JF, Ferreira LR, Ferreira FA (2007) Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: Silva AA, Silva JF (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 367 p.

Souza DM (2019) **Impactos do volume de aplicação sobre o controle da ferrugem asiática e oídio da soja: a inclusão do mancozebe no manejo**. 2019. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

Spadoni ABD (2019) **Propriedades Físico-Químicas e Primórdios da Perda de Estabilidade de Calda Inseticida em Misturas com Fungicidas e Adjuvantes**. Dissertação (Mestrado em entomologia), UNESP, Jaboticabal.

USDA - Tudo Sobre—InfoMoney. (n.d.). Retrieved June 5, 2024, from <https://www.infomoney.com.br/tudo-sobre/usda/>

Xue S, Xi X, Lan Z, Wen R, Ma X (2021) Longitudinal drift behaviors and spatial transport efficiency for spraying pesticide droplets. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 177:121516.

Zhang XQ, Song XP, Liang YJ, Qin ZQ, Zhang BQ, Wei JJ, Li YR & Wu JM. (2020). Effects of Spray Parameters of Drone on the Droplet Deposition in Sugarcane Canopy. **Sugar Tech**, 22(4), 583–588. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-Z>.

CAPÍTULO 3 - CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ COM DIFERENTES VOLUMES DE CALDA E ADJUVANTES VIA PULVERIZAÇÃO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

RESUMO – A broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) é uma das principais pragas da cultura, que causa danos significativos e custos elevados, com prejuízos estimados entre R\$ 215 a 358 milhões anuais. A eficiência no controle de pragas está ligada à adequação da tecnologia de aplicação, sendo os drones de pulverização uma alternativa promissora devido à utilização de volumes de calda baixos. O objetivo deste estudo foi avaliar o controle da broca-do-café com diferentes volumes de calda e adjuvantes via pulverização aeronave remotamente pilotada (ARP). O experimento foi realizado em área de produção, no delineamento de blocos ao acaso com um fatorial duplo de 2x5, sendo 2 volumes de aplicação e 1 inseticida isolado e associados a quatro adjuvantes, e uma testemunha sem aplicação em quatro repetições. Foram avaliados, depósito de caldas no terço superior e inferior de plantas de sete anos de idade; e o controle do inseto aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Observou-se que a partir da aplicação do inseticida, houve eficiência na redução dos frutos broqueados em relação à testemunha, ou seja, houve controle da praga na área. A eficiência variou conforme o volume de aplicação e os adjuvantes utilizados. O inseticida associado ao surfatante não-iônico e aplicado em 12 L/ha resultou em maior controle nas primeiras avaliações, enquanto para 9 L/ha não houve diferença entre as caldas. A partir dos 21 DAA, observou-se maior eficiência em 9 L/ha para o inseticida isolado, continuando assim até os 28 DAA. Isso mostra que apesar de ser um volume menor, sua concentração de ingrediente ativo é maior, o que pode ter prolongado o efeito do mesmo na planta. O uso de ARP é promissor, uma vez que proporcionou o controle da broca-do-café, proporcionando penetração das gotas nas partes internas da copa do cafeeiro, com os volumes baixos. Os adjuvantes colaboram para os fatores da tecnologia de aplicação, mas a sua indicação ainda necessita ser mais bem estudada. A adequação da configuração das ARPs com volumes de calda e adjuvantes tem eficácia potencial no controle da broca-do-café.

Palavras-chave: Controle químico, aplicação aérea, cafeicultura

CONTROL OF COFFEE BERRY BORER WITH DIFFERENT SPRAY VOLUMES AND ADJUVANTS VIA SPRAYING WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

ABSTRACT – The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is one of the main pests of coffee crops, causing significant damage and high costs, with estimated losses ranging from R\$ 215 to 358 million annually. Pest control efficiency is closely related to the appropriateness of application technology, with spray drones emerging as a promising alternative due to their use of low spray volumes. The objective of this study was to evaluate the control of the coffee berry borer using different spray volumes and adjuvants via remotely piloted aircraft (RPA) spraying. The experiment was conducted in a production area, using a randomized block design with a 2x5 factorial arrangement: two application volumes, one insecticide applied alone or in combination with four different adjuvants, and a control with no application, with four replications. The following were assessed: spray deposition on the upper and lower thirds of seven-year-old plants and insect control at 7, 14, 21, and 28 days after application. Data were subjected to analysis of variance using the F-test, and means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$). Results showed that insecticide application effectively reduced the percentage of infested fruits compared to the control, indicating pest control in the treated area. Efficiency varied according to the application volume and adjuvants used. The insecticide combined with a non-ionic surfactant applied at 12 L/ha resulted in greater control during the initial evaluations, while for 9 L/ha, no differences were observed between treatments. From 21 DAA onwards, greater efficiency was observed with the insecticide alone at 9 L/ha, which persisted until 28 DAA. This suggests that, despite the lower volume, the higher concentration of active ingredient may have prolonged its effect on the plant. The use of RPA shows promise, as it enabled effective control of the coffee berry borer, ensuring spray droplet penetration into the inner canopy of the coffee plant with low volumes. Adjuvants contribute to improving application technology, but further studies are needed to determine the best recommendations. Optimizing RPA configuration with spray volumes and adjuvants has potential efficacy in controlling the coffee berry borer.

Keywords: Chemical control, aerial application, coffee cultivation

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo uma cultura com grande potencial econômico. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento, a safra brasileira em 2024 tem projeção de acréscimo na produção de 5,5% em relação a produção de 2023 (Conab, 2024).

Entretanto, a incidência da broca-do-café (*Hypothenemus hampei* F.) é uma das principais preocupações na produção cafeeira, causando danos significativos e aumentando os custos de produção. Estima-se que os prejuízos causados por essa praga no Brasil situam-se entre R\$ 215 a 358 milhões anuais (Oliveira et al., 2013; Salgado et al., 2020).

A eficiência no controle de insetos está relacionada a diversos fatores, incluindo a adequação da tecnologia de aplicação utilizada. Fatores como espectro de gotas, volume de calda, pontas de pulverização e condições ambientais, podem afetar os padrões de deposição de pulverização, e, portanto, a eficiência do controle do produto pulverizado (Sasaki et al., 2016).

Ademais, na maioria das pulverizações considera-se que a eficiência de cobertura do alvo, obtida pelo método de aplicação utilizado, é o principal fator para a qualidade da aplicação (Sasaki et al., 2016). Além disso, a busca por melhoria no desempenho operacional das aplicações tem pressionado os aplicadores a reduzirem a quantidade de água utilizada nos tratamentos, levando a redução dos volumes de calda nas aplicações.

Diante disso, as ARPs de pulverização vêm se destacando devido a utilização de volumes baixos, e conseqüentemente com concentração de ingrediente ativo ainda maior, melhorando o desempenho de certos produtos (Carvalho et al., 2021). Dessa forma, conhecer aspectos tecnológicos relacionados a tecnologia de aplicação de produtos para o controle da broca-do-café é fundamental, pois a qualidade na tecnologia de aplicação é de extrema importância.

Os métodos de aplicação padrão para pulverização de agrotóxicos na cultura do café são aplicações terrestres, como pulverizadores manuais ou motorizados e pulverizadores hidropneumáticos. Entretanto, quando estes equipamentos não estão devidamente calibrados e regulados, podem causar danos durante as aplicações e ao

meio ambiente, muitas vezes devido ao excesso de líquido pulverizado (Hu et al., 2022). Além disso, as aplicações podem depender das condições climáticas, das características da cultura, como a arquitetura da copa, disponibilidade de mão-de-obra especializada, exigindo a busca e o aprimoramento de novas tecnologias na aplicação de agrotóxicos para esta cultura (Moreno-Ramirez et al., 2024).

A busca por otimização das aplicações dos inseticidas em campo tem motivado os profissionais, para o controle de pragas com baixos volumes de calda e quantidade de aplicações. A adição de adjuvantes às caldas tem sido uma das formas utilizadas, pois quando são utilizados de maneira correta, contribuem para a eficiência e segurança da aplicação. Isso é possível por que os adjuvantes modificam determinadas propriedades da calda, visando melhorar a qualidade e economia na aplicação e reduzir possíveis perdas de recursos e falhas no controle (Siqueira, 2023).

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o controle da broca-do-café com diferentes volumes de calda e adjuvantes via pulverização com ARP.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental e características da cultura

Os experimentos de campo foram conduzidos em lavoura de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí amarelo IAC 62, em plantio convencional de 7 anos de idade com espaçamento de 3,20 x 0,9 m (Figura 1). A lavoura está localizada no município de Jeriquara, São Paulo (Figura 2), com altitude média de 870 metros, latitude 20° 18' 43" S e longitude 47° 35' 23" W. O estudo foi realizado em duas safras, sendo a primeira em dezembro de 2022 a fevereiro de 2023, e a segunda safra no mesmo período, dezembro de 2023 a fevereiro de 2024.

Segundo a classificação de Koeppen, o clima de Jeriquara é classificado como Cwb, temperado com inverno seco com menos de 30 mm de chuva no mês mais seco. As temperaturas médias do mês mais quente são abaixo de 22°C e do mês mais frio abaixo de 18°C (CEPAGRI, 2014).



Figura 1. Café arábica, cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 com 7 anos de idade. Jeriquara/SP, 2022.

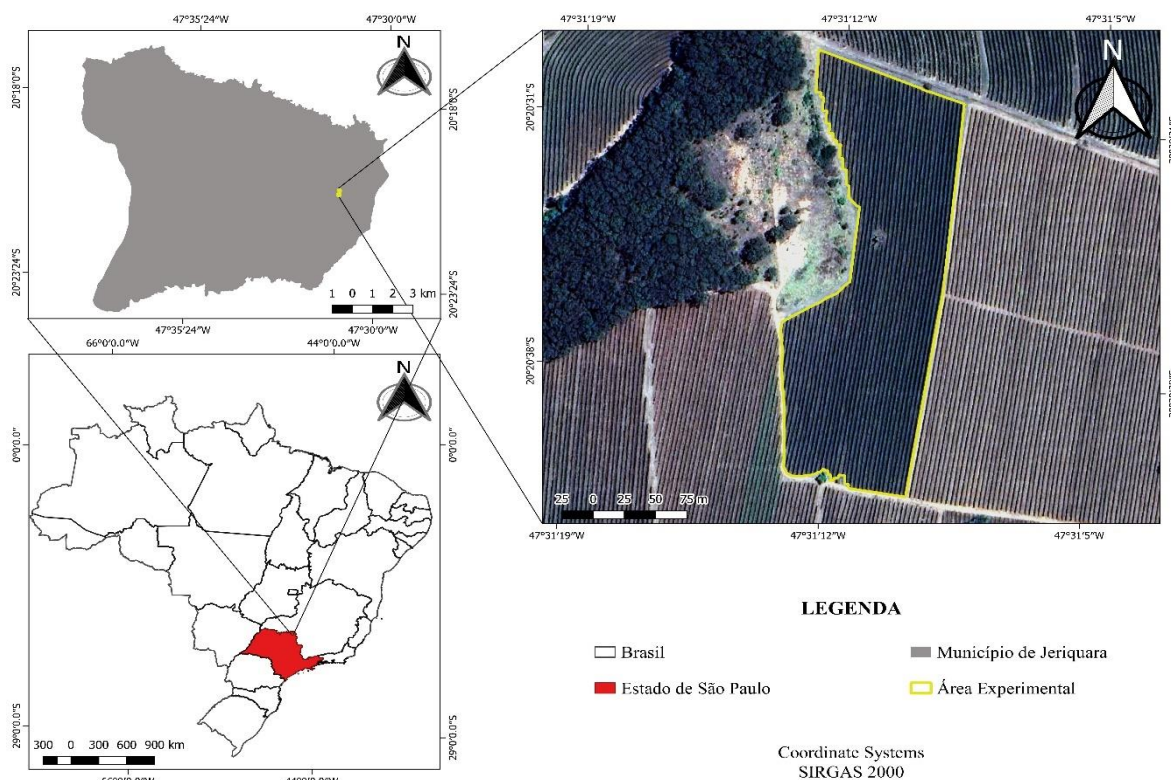


Figura 2. Localização da área experimental. A linha amarela indica a localização dos tratamentos experimentais.

2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso (DBC), com dez tratamentos, num fatorial de 2 x 5 (2 volumes de caldas vs 1 inseticida isolado e este associado a 4 adjuvantes) com 4 repetições (Tabela1). As parcelas foram constituídas de três linhas de plantio, apenas a linha central foi pulverizada, e nesta linha, três plantas com infestação representativa da cultura foram selecionadas para as avaliações qualitativas e quantitativas das pulverizações. As demais linhas e plantas foram considerados como bordadura.

Tabela 1. Tratamentos compostos por inseticida químico associado ou não a adjuvantes, empregados para avaliar o controle da broca-do-café.

Tratamentos	Volumes	Misturas	Dosagens
1		SPT	27,78 g/500mL
2		SPT+AST	27,78 g + 2,5mL/500mL
3	9 L/ha	SPT+WT	27,78 g + 8,30mL/500mL
4		SPT+FT	27,78 g + 1,25mL/500mL
5		SPT+BT	27,78 g + 0,5mL/500mL
6		SPT	20,84 g/500mL
7		SPT+AST	20,84 g + 2,5mL/500mL
8	12 L/ha	SPT+WT	20,84 g + 8,30mL/500mL
9		SPT+FT	20,84 g + 1,25mL/500mL
10		SPT+BT	20,84 g + 0,5mL/500mL

*Sperto® (SPT) – Inseticida dos grupos químicos neonicotinóide e piretróide; Assisst® óleo mineral - grupo químico dos hidrocarbonetos alifáticos (AST); Wetcit Gold® - (Surfactante) a base do óleo da casca de laranja (WT); Fighter® - Surfactante não-iônico (FT) e Break Thru® - Organossiliconado (BT).

2.2 Amostragem da broca-do-café

Foi realizada amostragem convencional antes da aplicação para constatar a infestação da broca-do-café na área. Para fazer a amostragem na lavoura percorreu-se o talhão em zigzag e foram colhidos 100 frutos ao acaso em cada planta escolhida (25 em cada face). Os frutos colhidos de cada talhão constituíram uma única amostra. Posteriormente, foram realizados a separação dos frutos broqueados e não broqueados, onde determinou-se a porcentagem de infestação da lavoura (Marcolan et al., 2015).

De forma prática, o resultado da infestação foi obtido multiplicando-se o número de frutos broqueados por 100 e dividindo este resultado pelo número total de frutos da amostra. O controle foi iniciado quando a infestação atingiu entre 3% e 5%, e iniciou-se nas partes mais atacadas da lavoura. Como o ataque não se distribuiu uniformemente, foi realizado o controle apenas para os talhões em que a infestação

da praga já tinha atingido de 3% a 5%, como manda a recomendação (Marcolan et al., 2015).

2.3 Infestação e eficiência de controle

Amostragens semanais foram realizadas para estimativa dos níveis de frutos broqueados nos respectivos tratamentos e da eficiência no controle da broca utilizando a fórmula modificada de Henderson & Tilton (1955), onde:

$$\% \text{ Eficiência} = [1 - (I_d * T_a) / (I_a * T_d)] * 100, \text{ onde:}$$

T_a = número de grãos brocados na testemunha antes da aplicação;

T_d = número de grãos brocados na testemunha depois da aplicação;

I_a = número de grãos brocados no tratamento antes da aplicação;

I_d = número de grãos brocados no tratamento depois da aplicação.

Foram realizadas 4 avaliações durante o período amostral da primeira safra e 4 na segunda safra, totalizando 8 avaliações durante o experimento. As amostragens consistiram na contagem do número de grãos perfurados pela broca em cada ramo plagiotrópicos na colheita.

2.4 Caracterização da Aeronave Remotamente Pilotada (ARP).

No experimento utilizou-se uma ARP da marca DJI modelo T10 (Figura 3), com capacidade de 8 litros, previamente regulamentada e calibrada antes da aplicação. As pontas de pulverização utilizada no ARP para aplicação foram a TXA 8001 (TeeJet). A ARP pode planejar automaticamente rotas na área de voo e voar de forma autônoma, além de ajustar automaticamente a altura de voo através do dispositivo de radar para manter a distância do dossel da planta.



Figura 3. ARP multi-rotor utilizado em experimento de pulverização para controle da broca-do-café. Jeriquara/SP, 2022.

As principais especificações do ARP DJI agras T10 são: eficiência operacional de 15 acres por hora, contém 4 rotores, velocidade máxima de voo operacional é de 0 a 7 m/s, velocidade máxima de voo de 10 m/s com sinais de GNSS forte, resistência ao vento de 8 m/s, capacidade do tanque de 8 L, sua largura máxima efetiva de pulverização varia de 3 a 5,5 m, com duração de voo estacionário de 17 minutos, fluxo máximo de pulverização de 1,5 L/min e contém 4 pontas de pulverização.

Além do tanque para o armazenamento do produto, a ARP é equipada com bomba d'água, circuito de tubulação para circulação de líquidos, controle eletrônico, válvulas e outros componentes. A velocidade de voo foi de 6,0 m/s e a altura média de voo de 1,5 m acima do topo da copa das plantas de café foram mantidas constantes em todos os tratamentos e a faixa de aplicação foi de 3,5 m. As aplicações foram realizadas sob as linhas de plantio da cultura.

2.5 Avaliação do depósito de calda

Para determinação do depósito dos produtos químicos, foram adicionadas a calda um marcador de sulfato de manganês (Di Oliveira 2008; Costa et al., 2015). Após a aplicação das caldas, esperou-se um tempo de 60 minutos para secagem, e após, coletou-se as folhas da parte superior e inferior de cada tratamento (duas de cada face da planta). Essas folhas foram postas em sacos plásticos e devidamente identificadas e levadas para o laboratório.

Nos sacos de plástico com as folhas foi adicionado 100 mL de solução de ácido clorídrico (HCl) 0,2 mol/L, e mantidas no ácido por 60 minutos para extração do marcador (Machado Neto, 2003). Após esse tempo, filtrou-se o conteúdo com papel filtro e o extrato foi utilizado para quantificação do íon metálico Mn^{2+} recuperado (ppm), em espectrofotômetro de absorção atômica.

As folhas foram secadas para medição da sua área, pelo método do integrador eletrônico de superfície (LI-Cor Portable, mod. LI-3000 A) que fornece a área foliar real (AFR), utilizada na correlação da quantidade de calda em função da área foliar específica (μL de calda cm^{-2} de folha). Para chegar à unidade de $\mu L/cm^2$ foi realizado o seguinte cálculo:

Primeiramente os resultados foram expressos em concentração (mg/L), em seguida realizou-se o primeiro cálculo:

$$concentração (mg/100mL) = concentração (mg/L) * \frac{100}{1000}$$

Para o segundo caso, realizou-se o seguinte cálculo:

$$concentração (mg/cm^2) = concentração (mg/100mL)/AFR$$

Transformando mg/cm² para $\mu g/cm^2$:

$$concentração (\mu g/cm^2) = concentração (mg/cm^2) * 1000$$

Por fim, para chegar ao resultado, converte-se a unidade de $\mu g/cm^2$ para $\mu L/cm^2$:

$$concentração (\mu L/cm^2) = concentração (\mu g/cm^2) * 1,86$$

2.6 Condições meteorológicas

As condições meteorológicas foram monitoradas por termo-higrômetro digital, que registra as temperaturas e umidades relativas e por anemômetro digital, que registra as velocidades do vento. Estas condições meteorológicas foram monitoradas constantemente durante as aplicações.

2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F, e para a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O programa estatístico utilizado foi o SpeedStat, versão 3.2 (Carvalho et al., 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A infestação da broca-do-café obtida antes da aplicação por meio da amostragem convencional, apresentou médias relativamente bem distribuídas em toda a área do experimento, tanto na primeira safra quanto na segunda safra (Tabela 2 e 3). Nestas condições de infestação da praga na cultura, é recomendado entrar com controle (Infante; Pérez; Vega, 2014). Estudos mostram que o estabelecimento de um limiar de ação, como 3% de frutos broqueados, é crucial para melhorar o uso de inseticidas, evitando perdas econômicas e aplicação excessivas de produtos químicos (Pérez et al., 2015).



Figura 4. Broca-do-café (*H. hampei*) capturada durante o experimento. Jeriquara/SP, 2022.

Tabela 2. Infestação média da broca-do-café nos tratamentos antes da aplicação dos produtos fitossanitários, com seus respectivos volumes de calda em cultivar Catuaí. Safra 2022/23. Jeriquara/SP.

Produto	Infestação Prévia	
	Volume de calda	
	9 L/ha	12 L/ha
Sperto	4,75 Aa	4,0 Aab
Sperto + Assist	5,0 Aa	3,75 Bab
Sperto + Wetcit	3,5 Ba	5,0 Aa
Sperto + Fighter	4,0 Aa	3,5 Aab
Sperto + Break Thru	4,25 Aa	3,25 Ab
Testemunha	4,25 ^{ns}	
CV (%)	18,53	

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

Tabela 3. Infestação média da broca-do-café nos tratamentos antes da aplicação dos produtos fitossanitários, com seus respectivos volumes de calda em cultivar Catuaí. Safra 2023/24. Jeriquara/SP.

Produto	Infestação Prévia	
	Volume de calda	
	9 L/ha	12 L/ha
Sperto	4,25 Aa	4,56 Aab
Sperto + Assist	4,06 Aa	3,75 Aab
Sperto + Wetcit	3,63 Ba	5,00 Aa
Sperto + Fighter	4,00 Aa	3,50 Ab
Sperto + Break Thru	4,25 Aa	3,25 Bb
Testemunha	3,94 ^{ns}	
CV (%)	16,10	

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

A expressão dos resultados a seguir, está em eficiência calculada pela fórmula de Henderson & Tilton (1955) que considera a quantidade de frutos broqueados, ou seja, maior eficiência significa menor quantidade de frutos broqueados.

Para os tempos de avaliação de 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA) nas duas safras, não houve interação significativa entre os fatores avaliados, demonstrando que não há dependência entre eles, aos 28 DAA, os resultados demonstraram interação significativa entre os fatores, havendo, assim, dependência entre eles.

Os resultados apresentados nas duas safras (2022/23 e 2023/24) foram semelhantes quando avaliados aos 7 DAA, foi possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos tanto para a primeira, quanto para segunda safra (Figura 5A e 6A). Os maiores valores percentuais de eficiência deram-se para o tratamento contendo inseticida + surfatante não-iônico com 27% no volume de 12 L/ha na primeira safra, o mesmo se repetiu na segunda safra, onde o inseticida + surfatante não-iônico em 12 L/ha obteve eficiência de 30%.

Para os resultados avaliados aos 14 DAA na primeira e segunda safra, os resultados também foram semelhantes. Verificou-se que não houve diferenças entre os tratamentos em cada safra avaliada (Figura 5B e 6B). Os maiores percentuais de eficiência continuaram sendo expressivos no tratamento com surfatante não-iônico em 12 L/ha, apresentando eficiência de 38% e 45% na primeira e segunda safra, respectivamente.

Aos 21 DAA, observou-se que houve diferença significativa entre volumes e adjuvantes na primeira safra, onde 9 L/ha apresentou maior eficácia para o inseticida isolado (55,48%) em relação ao volume de 12 L/ha (44,08%) (Figura 5C). Enquanto, nos demais tratamentos, a eficácia foi equivalente para ambos os volumes de aplicação. Na segunda safra, neste mesmo período avaliado, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, a eficácia foi semelhante para ambos os volumes e adjuvantes (Figura 6C).

Na última semana de avaliação, 28 DAA, podemos observar diferenças significativas entre os volumes, os resultados indicaram que o volume de aplicação afetou significativamente o controle da broca-do-café para ambas as safras. Na primeira safra os tratamentos com volume menor (9 L/ha) foram, em geral, mais eficazes, principalmente para o tratamento com inseticida isolado com eficiência de aproximadamente 67% e para o inseticida associado ao óleo vegetal com pouco mais de 66% (Figura 5D). O aumento do volume para 12 L/ha reduziu a eficácia de todos os tratamentos, sendo essa diferença mais pronunciada nos tratamentos sem adjuvante e com inseticida associado ao óleo mineral.

Para a segunda safra, as diferenças foram semelhantes aos da primeira safra. Os resultados demonstraram que o volume mais baixo (9 L/ha) implicou em maior eficácia dos tratamentos para o inseticida isolado com 71%, seguido do tratamento com inseticida associado ao óleo vegetal com mais de 62% de eficiência, enquanto para o maior volume (12 L/ha), os resultados expressaram menores valores de eficiência quando comparado com menor volume (Figura 6D).

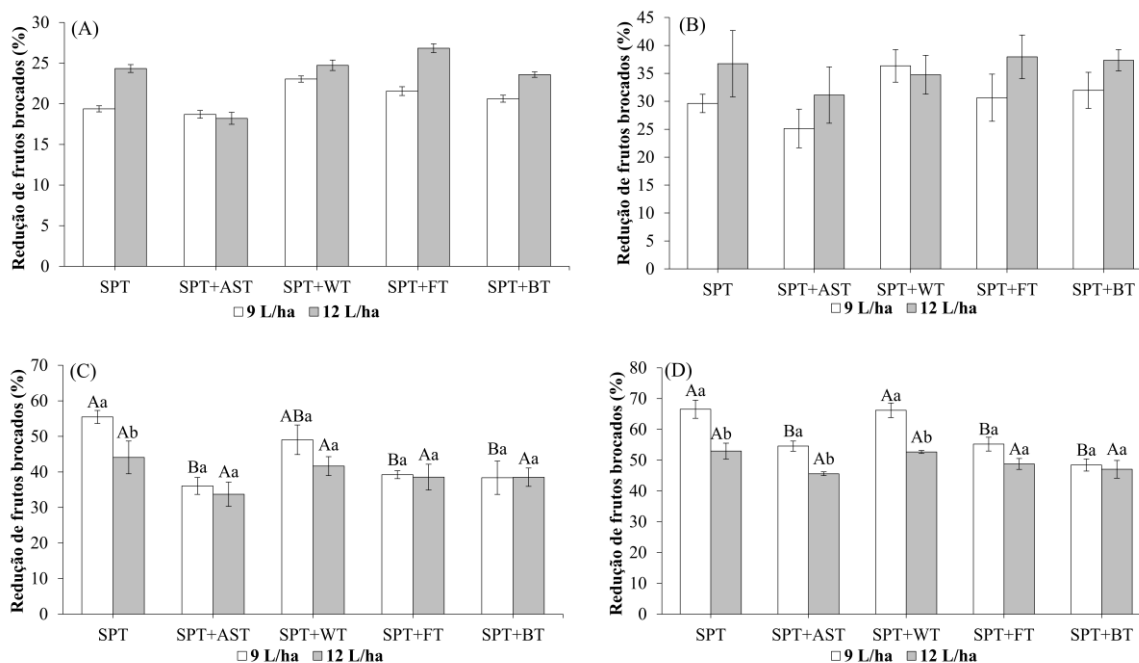


Figura 5. Eficiência (%) no controle da broca-do-café em experimento com diferentes volumes de aplicação, inseticida e adjuvantes. (A) 7 DAA, (B) 14 DAA, (C) 21 DAA e (D) 28 DAA. Cultivar Catuaí amarelo. Safra: 2022/23. Jeriquara - SP. Eficiência calculada pela fórmula de Henderson & Tilton (1955). *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O melhor controle para a broca-do-café é realizado durante o trânsito da broca, com a instalação do inseto dentro do fruto, o controle torna-se cada vez mais difícil (Aristizábal et al., 2016). Um dos principais desafios no controle do inseto está relacionado à localização dele na planta, pois além de se alojar no interior do fruto, protegendo-se do meio externo; o fruto ainda está no interior da copa do cafeeiro, onde as gotas da pulverização têm dificuldade de chegar e atingir o alvo (Aristizábal et al., 2017).

Em estudos realizados por Metellus et al., (2020), mostrou que o inseticida Sperto teve efeitos significativos aos 7DAA, isso significa que a ação inseticida se manifestou de maneira significativa. A escolha do intervalo de 7 DAA é comum em estudos de eficácia, pois permite avaliar se o inseticida tem efeito residual e por quanto tempo ele pode continuar controlando o inseto após a aplicação inicial. Tais resultados corroboram com o estudo em questão, visto que, aos 7 DAA o inseticida teve efeito sobre a praga no volume de 12 L/ha.

Metellus et al. (2020) reportaram que o inseticida Sperto apresenta efeito residual significativo até 35 DAA, com uma eficácia de controle de até 80% sobre broca-do-café. Esses resultados demonstram que o produto possui uma ação prolongada, garantindo uma supressão populacional sustentada da praga ao longo do tempo. Tais resultados corroboram com o presente estudo, pois foi possível observar a eficiência aumentando até os 28 DAA, principalmente para o menor volume (9 L/ha).

O Sperto é um inseticida de contato, ingestão e ação sistêmica, o que torna fundamental que o produto seja aplicado diretamente sobre os frutos ou nas proximidades. O objetivo é alcançar frutos onde a broca-do-café ainda não tenha atingido a semente, permitindo que o inseticida aja por contato e elimine a praga antes da oviposição. Essa aplicação preventiva maximiza a eficácia no controle da praga, impedindo a infestação nas sementes (Reis et al., 2015).

Ao final da avaliação no campo, verificou-se um efeito mais prolongado no volume de 9 L/ha nas duas safras avaliadas, isso pode ser devido a maior concentração do inseticida na calda com o volume menor. Esse aumento na concentração pode melhorar a cobertura e a eficácia do produto, proporcionando um controle sustentado da praga ao longo do tempo, reduzindo a necessidade de reaplicações frequentes e promovendo uma abordagem mais eficiente no manejo integrado de pragas.

Apesar dos tratamentos apresentarem redução de frutos broqueados, ainda não é considerado um controle ideal para a broca-do-café. Segundo Ramirez et al., (2024) a eficácia satisfatória do produto químico em si deve ser acima de 80%. No presente estudo, o inseticida isolado ou associado aos adjuvantes não atingiu a eficácia desejada, ficando abaixo dos 80% de controle. Entretanto, a aplicação com o uso de ARP surge como uma alternativa para o controle da broca-do-café, possibilitando aplicações mais precisa e uniforme.

Com a utilização do ARP busca-se melhorar esta prática de aplicação, visando atingir as partes mais internas da planta com o objetivo de levar as gotas mais próximo possível do alvo desejado. Essa tecnologia oferece uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais de pulverização, obtendo maior precisão, eficiência e segurança. O uso desta tecnologia proporciona um controle de pragas eficaz,

entretanto, alguns ajustes nos parâmetros de pulverização têm estimulado pesquisas em busca de melhoria da eficiência das ARPs (Xiao et al., 2020; Lou et al., 2018).

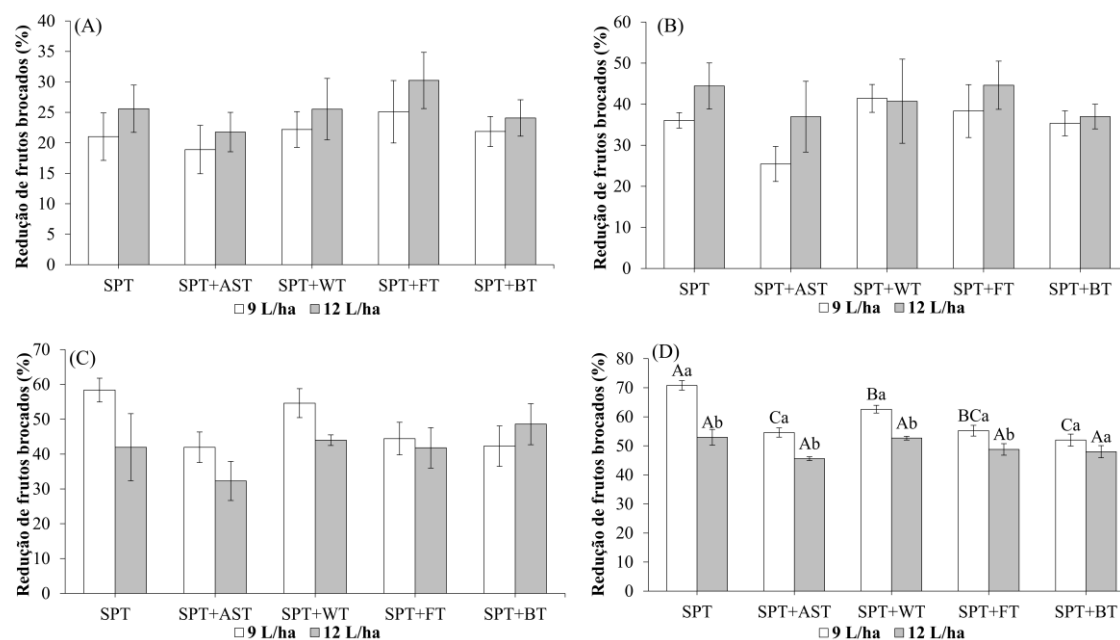


Figura 6. Eficiência (%) no controle da broca-do-café em experimento com diferentes volumes de aplicação, inseticida e adjuvantes (A) 7 DAA, (B) 14 DAA, (C) 21 DAA e (D) 28 DAA. Cultivar Catuaí amarelo. Safra: 2023/24. Jeriquara/SP. Eficiência calculada pela fórmula de Henderson & Tilton (1955). *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a análise dos resultados de depósito de caldas fitossanitárias na primeira safra (2022/23) utilizando ARP, foi possível observar que para o terço superior esquerdo as pulverizações com 12 L/ha resultaram em maior depósito de calda em comparação com 9 L/há (Figura 7). O inseticida associado ao surfatante não-iônico apresentou média superior ($0,28 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) dos demais tratamentos. Para o terço superior direito, tanto o inseticida associado ao surfatante não-iônico quanto ao inseticida associado ao óleo vegetal demonstraram alta eficiência, indicando uma melhor penetração das gotas nas partes superiores da planta (Figura 7).

Segundo Chen (2020), a deposição de gotas na camada superior é afetada de forma significativa pelo volume da calda. Quanto maior for o volume de aplicação, maior será o depósito de calda na planta. Tais resultados corroboram com o presente

trabalho, onde o maior volume de aplicação (12 L/ha) apresentou os melhores resultados.

A alta concentração com pulverização em baixos volumes melhorou as características de movimento das gotas do inseticida, o que alterou ainda mais a distribuição das gotas no dossel da cultura. Ao utilizar ARP para pulverização de inseticida com alta concentração e baixo volume, uma pequena mudança na concentração do agrotóxico terá enorme impacto nas características das gotas, como atomização, evaporação e distribuição. Da mesma forma, a associação do adjuvante a calda de pulverização pode melhorar a distribuição de gotas na copa (Meng et al., 2018).

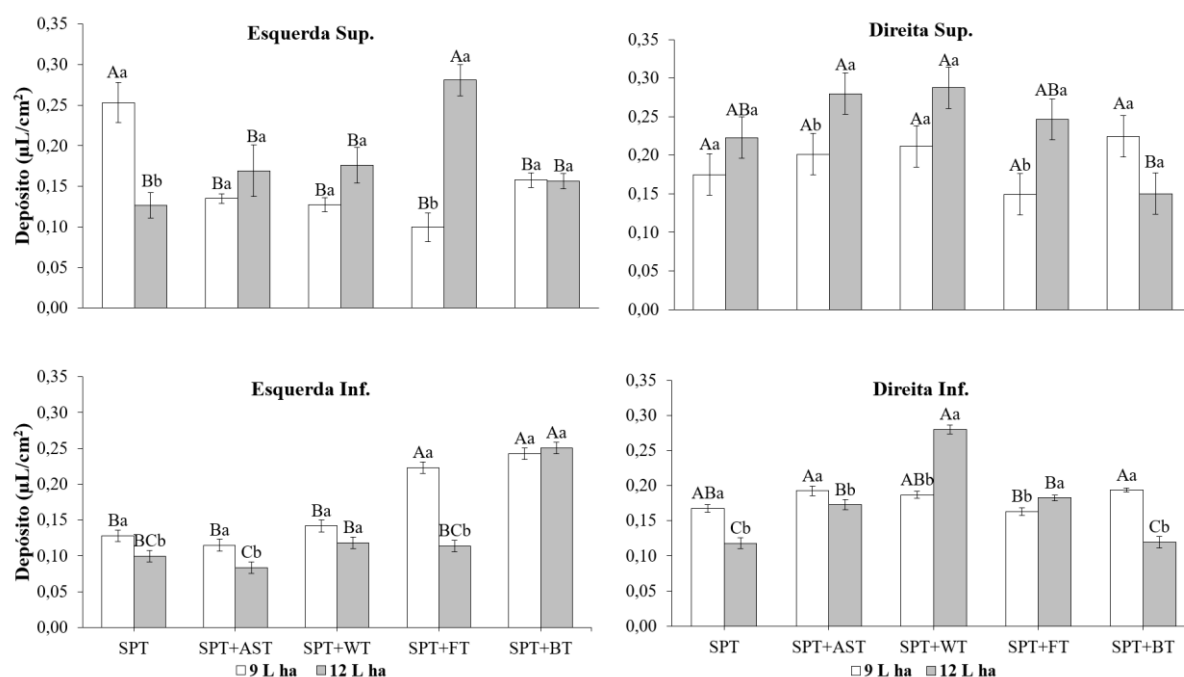


Figura 7. Depósito de calda fitossanitária referentes a 2 volumes de caldas e adjuvantes, em diferentes lados e alturas da planta para controle da broca-do-café com ARP. Cultivar Catuaí amarelo. Safra 2022/23. Jeriquara – SP. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas posições inferiores, verificou-se que a maior eficiência de deposição foi para 9 L/ha, para o terço inferior esquerdo as diferenças entre as combinações foram mais pronunciadas no tratamento contendo inseticida associado ao surfatante não-

iônico ($0,22 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) e no mesmo tratamento foi possível observar em 12 L/ha um depósito menor ($0,11 \mu\text{L}/\text{cm}^2$). Para os tratamentos com organossiliconado os valores foram semelhantes, onde 12 L/ha apresentou valor de $0,25 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ e 9 L/ha com valor de $0,24 \mu\text{L}/\text{cm}^2$, não havendo diferença significativa entre os volumes (Figura 7).

Na parte inferior direita, os tratamentos cujo volume de aplicação foi de 9 L/ha, apresentaram maiores depósitos, como o inseticida associado ao óleo mineral que obteve depósito de $0,19 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ para 9 L/ha e $0,17 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ em 12 L/ha com diferença entre os volumes. Seguido do tratamento com organossiliconado com $0,19 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ para 9 L/ha e $0,12 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ em 12 L/ha. Para o tratamento com óleo vegetal, 12 L/ha apresentou maior média ($0,28 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) e menor média em 9 L/ha ($0,19 \mu\text{L}/\text{cm}^2$). Isso sugere que essas combinações são mais eficazes em alcançar as partes inferiores da planta, onde as folhas densas da cultura podem dificultar a penetração das gotas pulverizadas.

O maior depósito de caldas no dossel superior da cultura em relação ao terço inferior é influenciado por uma complexa interação de fatores físicos, estruturais e ambientais. É importante entender esses fatores, pois permite desenvolver estratégias eficazes para melhorar a eficiência da aplicação, podendo garantir melhor depósito e reduzir o uso excessivo de produtos químicos (Zhang et al., 2020).

Entretanto, a aplicação utilizando ARP traz diversas vantagens, e uma delas é em favor da penetração de gotas, do depósito nas partes mais inferiores das plantas. Estudos demonstram que a aplicação de inseticidas utilizando ARP pode resultar em cobertura mais uniforme e eficaz nas plantas. Em um estudo comparativo, observou-se que a aplicação aérea convencional pode resultar em cobertura desigual, com grande parte dos produtos depositando nas folhas do terço superior da planta. Em contrapartida, ARPs com tecnologia de aplicação avançada conseguiram uma distribuição do produto de forma mais homogênea em todas as partes da planta (Hu et al., 2022; Zhang et al., 2020).

Para o depósito da segunda safra (2023/24), observa-se que as maiores médias aparecem com frequência para o volume de 9 L/ha. Para o tratamento com inseticida isolado os valores variam de $0,25$ e $0,17 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ para 9 e 12 L/ha, respectivamente. O óleo mineral apresenta valores semelhantes de $0,25$ e $0,24 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ não havendo diferença entre volumes. O mesmo foi observado no tratamento

com óleo vegetal, onde não há diferença entre os dois volumes de aplicação. O surfatante não-iônico apresentou maior média em 12 L/ha e menor média para 9 L/ha. No terço superior direito as maiores médias foram para 12 L/ha. Onde o maior valor foi para o tratamento com óleo mineral ($0,29 \mu\text{L}/\text{cm}^2$), porém, não houve diferença significativa entre os volumes, onde o segundo volume (9 L/ha) apresentou média de $0,25 \mu\text{L}/\text{cm}^2$. Para o surfatante não-iônico os valores variaram entre 0,24 e $0,12 \mu\text{L}/\text{cm}^2$, havendo diferenças entre eles (Figura 8).

Nos terços inferiores das plantas, os maiores depósitos foram para o volume de 9 L/ha, as maiores médias apareceram com mais frequência para este volume. No terço inferior esquerdo da planta, o inseticida associado ao organossiliconado obteve maior média de depósito ($0,26 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) em 12 L/ha, observando diferença entre os volumes. Nos demais tratamentos, prevaleceu o volume mais baixo, onde verificou-se o surfatante não-iônico com depósito de $0,20 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ diferenciando do volume maior em questão. O óleo vegetal também houve diferença entre os volumes, com maior média para 9 L/ha. Para o terço inferior direito, o melhor tratamento foi com óleo vegetal em 12 L/ha com $0,26 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ que diferenciou de 9 L/ha. No entanto, o volume de 9 L/ha nos outros tratamentos apareceu com mais frequência, como o tratamento contendo organossiliconado com $0,23 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ e $0,16 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ para 12 L/ha.

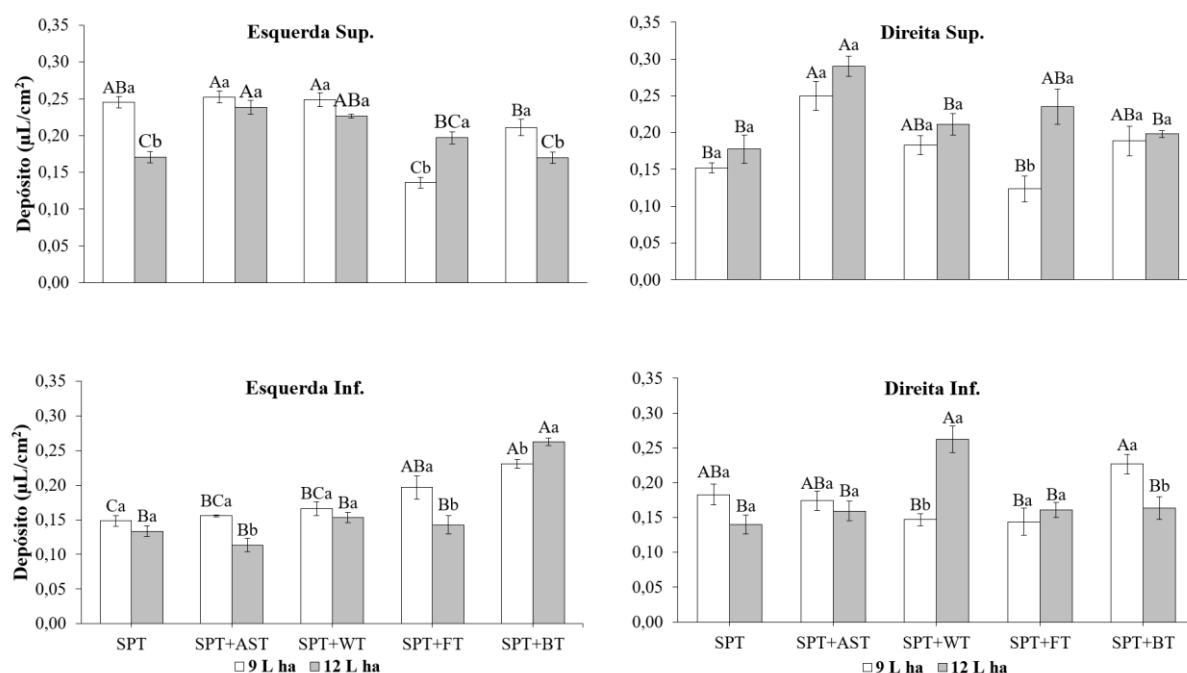


Figura 8. Depósito de calda fitossanitária referentes a 2 volumes de caldas e adjuvantes, em diferentes lados e alturas da planta para controle da broca-do-café

com ARP. Cultivar Catuaí amarelo. Safra 2023/24. Jequara/SP. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos terços inferiores das plantas os maiores depósitos se deram para o volume de 9 L/ha. Entretanto, no terço inferior esquerdo da planta o inseticida com organossiliconado se saiu melhor ($0,26 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) em 12 L/ha, seguido do surfatante não-iônico no volume de 9 L/ha. Já na parte inferior direita, o melhor tratamento foi o óleo vegetal no volume de 12 L/ha, havendo diferença significativa entre volumes e adjuvantes. Porém, os demais tratamentos com 9 L/ha prevaleceram com melhores médias.

Em culturas densas, como é o caso do cafeeiro, torna-se um desafio manter uma precisão nos depósitos de calda no interior da planta. Alguns fatores podem influenciar na questão da deposição de gotas no dossel da cultura utilizando ARPs, tais como altura de voo, velocidade e vazão das pontas de pulverização (Ferguson, 2016).

Segundo Lou et al., (2018) as gotas primárias e secundárias que afetam as camadas superiores, médias e inferiores do dossel da cultura são diferentes. A uniformidade das gotas pulverizadas por algumas combinações torna-se ineficiente, isso pode ser atribuído ao fato de que, quando a altura de voo é baixa e a velocidade de voo é lenta, o campo de fluxo de descida sob a ARP é muito forte e as plantas acabam se alojando em todo o centro do vento.

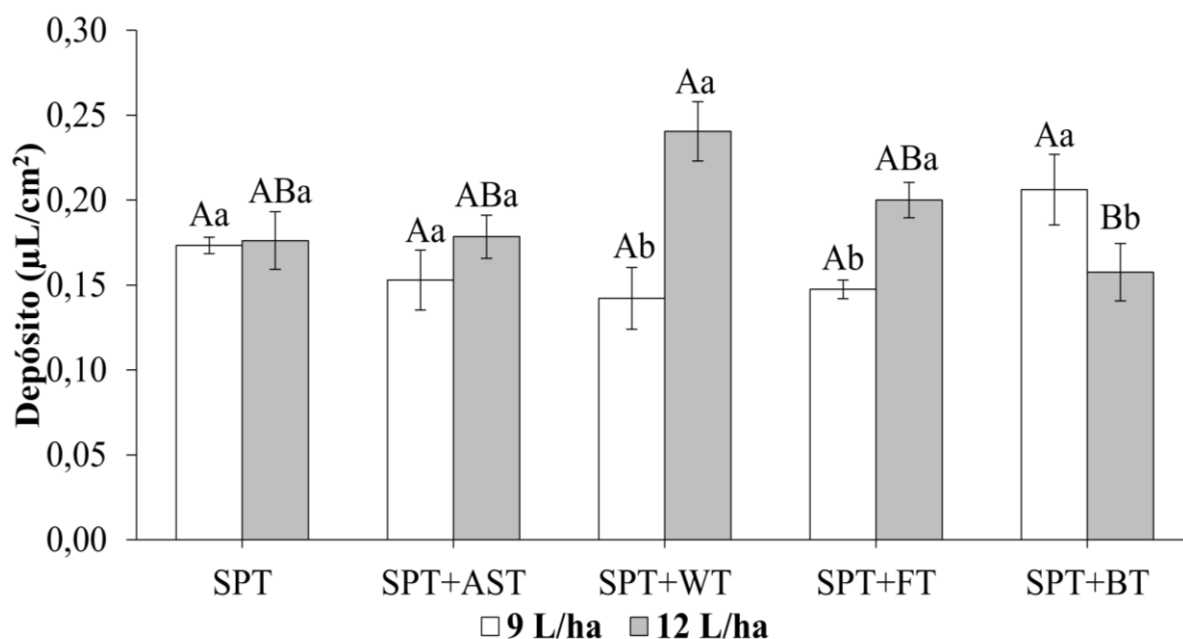


Figura 9. Depósito de calda fitossanitária referentes a 2 volumes de caldas e adjuvantes, por planta para controle da broca-do-café com ARP. Cultivar Catuaí amarelo. Safra 2022/23. Jeriquara/SP. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O gráfico acima representa de maneira geral o depósito de caldas nas plantas. Observa-se que na primeira safra (2022/23) que os melhores tratamentos foram para o volume de 12 L/ha representado pelo maior depósito no tratamento com óleo vegetal ($0,24 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) com diferença significativa entre volumes, seguido pelo surfatante não-iônico também no volume de 12 L/ha. Enquanto o organossiliconado foi maior para 9 L/ha apresentando diferença significativa entre eles. Os demais tratamentos não apresentaram diferença, sendo estatisticamente iguais (Figura 9). Em geral, o aumento do volume de aplicação proporciona melhor depósito no alvo na maioria dos tratamentos.

A eficácia dos tratamentos depende da combinação do volume de aplicação e do tipo de adjuvantes. O óleo vegetal e o surfatante não-iônico apresentam desempenhos significativos com maior volume, por outro lado, o organossiliconado mostrou melhor benefício com o volume menor.

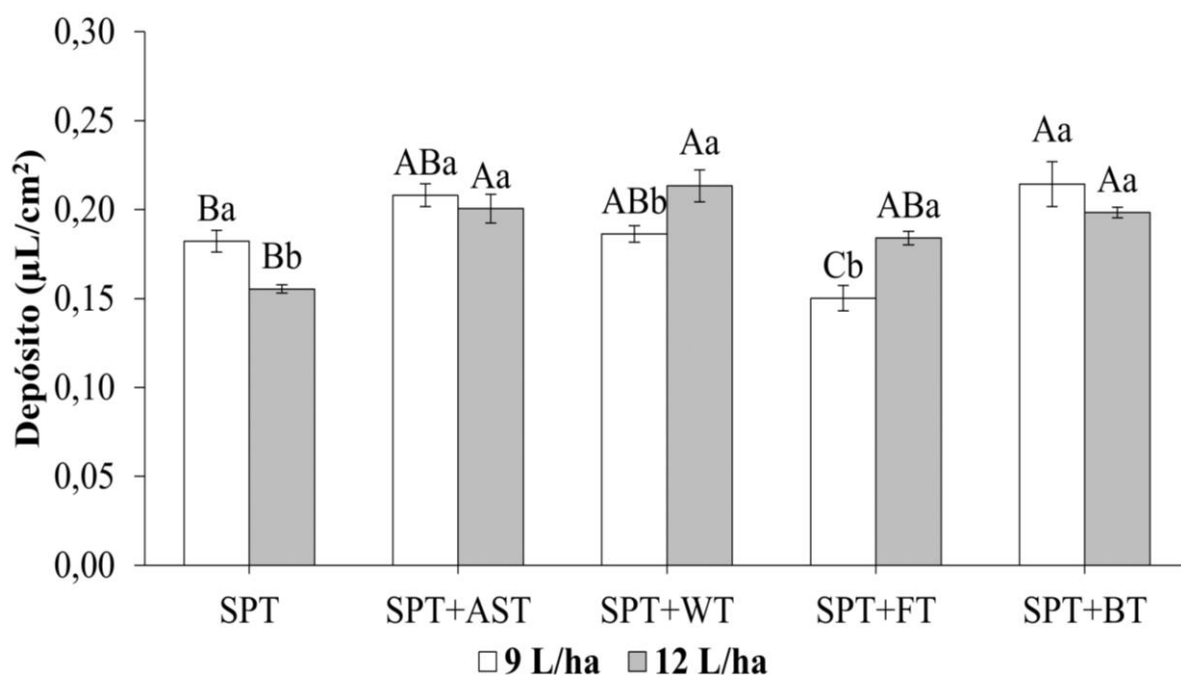


Figura 10. Depósito de calda fitossanitária referentes a 2 volumes de caldas e adjuvantes, por planta para controle da broca-do-café com ARP. Cultivar Catuaí amarelo. Safra 2023/24. Jiquara/SP. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas entre adjuvantes e minúsculas entre volumes dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o depósito da segunda safra (2023/24), houve similaridade com a primeira safra. Foi possível verificar que o óleo vegetal apresentou maior depósito no volume de 12 L/ha mostrando diferença entre os volumes. O mesmo foi observado para o tratamento com surfatante não-iônico, com maior média para 12 L/ha, apresentando diferença com o volume de 9 L/ha. A exceção foi para o inseticida isolado, pois apresentou melhor desempenho em 9 L/ha, diferenciando do maior volume de aplicação. Os demais tratamentos, observou-se valores semelhantes, o que mostra que são estatisticamente iguais entre os volumes (Figura 10).

Para Chen et al., (2020) o depósito de caldas é afetado pelo volume de aplicação. Em estudos realizados por este autor utilizando ARP e com volumes baixos, foi possível observar que os melhores depósitos de caldas foram utilizando um volume maior. Ao utilizar dois volumes de aplicação 30 e 18 L/ha, o mesmo observou deposição superior no volume maior, ou seja, aumentar o volume de pulverização também pode resultar em aumento da deposição. Tais resultados

corroboram com este estudo, onde mostrou que o maior volume em questão 12 L/ha obteve maiores depósitos quando observados por plantas nos tratamentos.

Tabela 4. Condições meteorológicas registradas durante a pulverização com 2 volumes diferentes de caldas e adjuvantes, com uso de ARP para controle da broca-do-café. Cultivar Catuaí amarelo. Safra 2022/23 e 2023/24. Jeriquara/SP.

Volumes	Aplicação	Tratamento	UR (%)	Temp. (°C)	Vento (km/h)
9 L/ha	2022/23	SPT	56	29,70	3,0
		SPT+AST	55	30,30	2,10
		SPT+WT	54,3	29,50	1,50
		SPT+FT	51	29,70	2,0
		SPT+BT	56,5	28,90	2,60
12 L/ha	2022/23	SPT	62,25	25,65	2,00
		SPT+AST	65,25	27,13	2,20
		SPT+WT	69	26,88	2,10
		SPT+FT	76,5	24,90	2,55
		SPT+BT	81,5	23,78	2,80
9 L/ha	2023/24	SPT	58	27,6	8,3
		SPT+AST	48	29,0	4,3
		SPT+WT	51	29,5	6,3
		SPT+FT	53,6	28,5	3,5
		SPT+BT	58,3	31,5	3,0
12 L/ha	2023/24	SPT	53,0	32,38	8,85
		SPT+AST	59,7	31,63	2,25
		SPT+WT	56,2	31,88	3,28
		SPT+FT	57,8	31,88	4,20
		SPT+BT	59,1	30,25	4,08

*SPT – Sperto; AST - Assist; WT - Wetcit Gold; FT – Fighter; e BT - Break Thru.

A tabela apresentada acima é referente as condições climáticas no momento da aplicação sob dois diferentes volumes de caldas e adjuvantes nas duas safras em estudo. Observou-se na primeira safra (2022/23) que as variáveis climáticas variaram no decorrer das aplicações, no momento da aplicação utilizando 9 L/ha, a umidade relativa variou de 51 a 56,5%, a temperatura 28,9 a 30,3°C e a velocidade do vento ficou entre 1,5 e 3,0 km/h (Tabela 4). Para o segundo volume 12 L/ha, verificou-se uma variação ainda maior, com a umidade relativa entre 62,25 e 81,5%, seguido pela temperatura com 23,78 a 27,13°C e a velocidade do vento ficando entre 2,0 e 2,8 km/h.

As mesmas variáveis foram observadas na aplicação da segunda safra (2023/24), com variações semelhantes. Na primeira aplicação utilizando 9 L/ha observamos a umidade relativa variando entre 48 e 58,3%, a temperatura entre 27,6 e 31,5°C e a velocidade do vento entre 3,0 e 8,3 km/h (Tabela 4). No segundo volume de aplicação, em 12 L/ha temos poucas variações em relação à anterior, percebe-se a umidade relativa variando entre 53 e 59,7%, a temperatura ficou acima do ideal para aplicações (30,25 e 32,3°C) e velocidade do vento variando entre 2,25 e 8,85 km/h.

As condições meteorológicas desempenham um papel fundamental na eficácia da aplicação. A deriva é influenciada pela velocidade do vento, é importante salientar que ventos muito fortes podem resultar em perdas de inseticida, assim como, pode haver cobertura irregular do produto sobre a planta. A umidade relativa observada nos tratamentos, foram altas, trazendo benefícios para a aplicação, pois reduz a evaporação das gotas. A temperatura, é uma das variáveis mais importantes, pois quando se encontram altas contribui para uma maior volatilização do produto aplicado, o que não é desejável na aplicação (Jesus Jr. et al., 2007).

No presente estudo, foi possível perceber que a maioria dos tratamentos manteve-se dentro do intervalo aceitável, ou seja, as aplicações foram realizadas dentro das condições adequadas.

4. CONCLUSÃO

O uso de ARPs é promissor, uma vez que proporcionou o controle da broca-do-café, proporcionando penetração das gotas nas partes internas da copa do cafeeiro, com os volumes baixos. Os adjuvantes colaboram para os fatores da tecnologia de aplicação, mas a sua indicação ainda necessita ser mais bem estudada. A adequação da configuração dos ARPs com volumes de calda e adjuvantes tem eficácia potencial no controle da broca-do-café.

5. REFERÊNCIAS

Aristizábal LF, Bustillo AE, Arthurs SP (2016) Integrated Pest Management of Coffee Berry Borer: Strategies from Latin America that Could Be Useful for Coffee Farmers in Hawaii. **Insects**. 7, 6. <https://doi.org/10.3390/insects7010006>.

Aristizábal LF, Johnson M, Shriner S, Hollingsworth R, Manoukis NC, Myers R, Bayman P, Arthurs SP (2017) Integrated Pest Management of Coffee Berry Borer in Hawaii and Puerto Rico: Current Status and Prospects. **Insects**, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/insects8040123>

Carvalho FK, Chechetto RG, Mota AAB, Antuniassi UR (2021) Entendendo a tecnologia de aplicação: Aviões, helicópteros e drones de pulverização. **FEPAF**, Botucatu. p. 88.

Chen PC, Lan YB, Douzals J, Ouyang F, Wang J, Xu W C (2020) Droplet distribution of Unmanned Aerial Vehicle under several spray volumes and canopy heights in the cotton canopy. **Int J Precis Agric Aviat**; 3(4): 74–79. DOI: 10.33440/j.ijpaa.20200304.136.

Conab - Clima mais favorável e bialidade positiva apontam produção estimada em 58,08 milhões de sacas de café.” Accessed: Apr. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5362-clima-mais-favoravel-e-bialidade-positiva-apontam-producao-estimada-em-58-08-milhoes-de-sacas-de-cafe>.

Costa LL, Ferreira MC, Campos HBN, Carvalho GGF, Barbosa JC (2015) The mixture volume sprayed by hidraulic and centrifugal energy nozzle for the controlo of Asian soybeans rust. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 4, p. 425-433.

Di Oliveira JRG (2008) **Cobertura da cultura da soja e deposição de inseticida aplicado com e sem adjuvante e diferentes equipamentos e volumes de calda**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Ferguson JC, Chechetto RG, Hewitt BS, Chauhan SW, Adkins GR, Kruger, and C.C. O'Donnell (2016) Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection** 81: 14–19.

Henderson CF, Tilton EW (1955) Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.48, p.157-161.

Hu H, Kaizu Y, Huang J, Furuhashi K, Zhang H, Li M, Imou K (2022) Research on Methods Decreasing Pesticide Waste Based on Plant Protection Unmanned Aerial Vehicles: A Review. **Front Plant Sci**. 13:811256. doi: 10.3389/fpls.2022.811256. PMID: 35873963; PMCID: PMC9301381.

Hu H, Kaizu Y, Huang J, Furuhashi K, Zhang H, Li M, Imou K (2022) Research on Methods Decreasing Pesticide Waste Based on Plant Protection Unmanned Aerial Vehicles: A Review. **Front Plant Sci.** 13:811256. doi: 10.3389/fpls.2022.811256. PMID: 35873963; PMCID: PMC9301381.

Jesus Júnior WC, Polanczyk RA, Pratisoli D, Pezzopane JEM, Santiago T (2007) **Atualidades em Defesa Fitossanitária.** Alegre/ES, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 476p.

Lou ZX, Xin F, Han XQ, Lan YB, Duan TZ, Fu W (2018) Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. **Agronomy**, v. 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090187>.

Marcolan AL, Espindula MC, & Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia (Brazil) (Eds.). (2015). **Café na Amazônia** (1a edição). Embrapa.

Meng YH, Lan YB, Mei GY, Guo YW, Song JL, Wang ZG (2018) Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle for wheat aphids control. **Int J Agric & Biol Eng**; 11(5): 46–53.

Metellus D, Sampaio MV, & Celoto FJ. (2020). Activity of insecticides on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Curculionidae, scolytinae). **Bioscience Journal**, 36(4). <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-46735>

Moreno-Ramirez N, Bianchi FJJA, Manzano MR, Dicke M (2024). Ecology and management of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*): The potential of biological control. **BioControl**, 69(2), 199–214. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10253-6>

Oliveira CM, Auad AM, Mendes SM, and Frizzas MR (2013) Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture, **Journal of Applied Entomology**, vol. 137, no. 1–2, pp. 1–15, doi: 10.1111/jen.12018.

Pérez J, Infante F, Vega FE., A Coffee Berry Borer (2015) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Bibliografia, **Journal of Insect Science**, Volume 15, Edição 1, 83, <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev053>.

Reis, P.R. Manejo da broca do café. Rev. Cultiv. Gd. Cult. 2015, 198, 38–40.

Salgado JAM, Nascimento AM, Monteiro ACA (2020) Relatório técnico de eficiência e praticabilidade agrônômica. Protocolo: TKI-15BR café broca. Relatório de Estudo de Campo - Agroteste - **Pesquisa e Desenvolvimento.** Lavras.

Sasaki RS, Teixeira MM, Maciel CFS, Alvarenga CB, Forastiere PR (2016) Espectro das Gotas Produzidas por Pontas de Jato Plano Duplo Defasado com Indução de Ar. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v.23, n.3, p. 211-218. DOI: 10.13083/reveng.v24i3.618.

Siqueira MTL (2023) **Adjuvantes na calda de inseticidas químico ou biológico interfere no controle de *Diaphorina citri*?** 50 f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Zhang XQ, Song XP, Liang YJ *et al.*, (2020) Effects of Spray Parameters of Drone on the Droplet Deposition in Sugarcane Canopy. **Sugar Tech** 22, 583–588. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-z>.

CAPÍTULO 4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de aplicação com a utilização de ARP mostrou-se promissora para o controle da broca-do-café, favorecendo uma penetração mais eficiente das gotas nas partes internas da copa do cafeeiro. A utilização de volumes baixos permite aplicação precisa e econômica otimizando recursos financeiros e operacionais na lavoura. A eficácia do uso de volumes de calda baixos na pulverização com ARP foram confirmados neste estudo. Portanto, a adoção de novas tecnologias, associada à utilização de adjuvantes, pode representar um avanço na questão do controle de insetos na cultura do café, contribuindo para a eficiência das operações agrícolas.

Dessa forma, torna-se necessário a condução de mais estudos relacionados a tecnologia de aplicação com ARP na cultura do café, e mais estudos acerca dessa espécie de inseto focando a produção cafeeira no Brasil, levando em consideração que o levantamento de dados como infestação é a base primordial de todo e qualquer programa de manejo integrado de pragas em plantas, devendo ser uma prática rotineira na cafeicultura moderna, independentemente do tamanho da área e da região onde se desenvolve a cultura do café.