

WALTER LUIZ CASTRO MEWES

**PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA NO CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS
EM ÁREAS REFLORESTADAS COM EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

N611s
2009

Mewes, Walter Luiz Castro, 1965-
Pulverização pneumática no controle de insetos-pragas
em áreas reflorestadas com eucalipto / Walter Luiz Castro
Mewes. – Viçosa, MG, 2009.
xii, 135f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Máquinas agrícolas. 2. Equipamentos de pulverização.
3. Produtos químicos agrícolas. 4. Eucalipto. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

WALTER LUIZ CASTRO MEWES

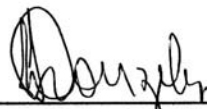
**PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA NO CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS
EM ÁREAS REFLORESTADAS COM EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

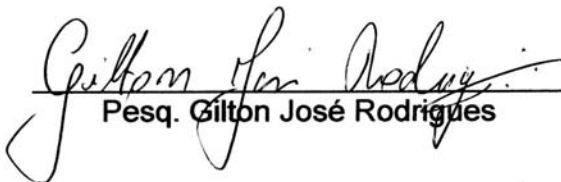
APROVADA: 30 de junho de 2009.



Prof. Luciano Baião Vieira



Prof. Sérgio Maurício Lopes Donzeles



Pesq. Gilton José Rodrigues



Prof. Haroldo Carlos Fernandes



Prof. Mauri Martins Teixeira
(Orientador)

Aos meus pais Bruno e Dylma.

Aos meus sogros José e Thereza.

À minha família, Ana e Júlia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Mauri Martins Teixeira, pelos valiosos ensinamentos, pela orientação, amizade e confiança.

Aos Professores Luciano Baião Vieira e Haroldo Carlos Fernandes, pela amizade e pelo apoio durante o Curso.

A Ana Teresa e Júlia, pelo amor e pela compreensão de minha longa ausência.

Ao engenheiro mecânico Gilton Vitor Dornelas e à CENIBRA, pela oportunidade de realizar parte deste trabalho em suas instalações.

A empresa Jacto S.A. pela disponibilização do pulverizador pneumático.

Ao meu amigo Ronaldo Goulart Magno Junior, pela amizade e ajuda no desenvolver deste trabalho.

Aos meus amigos Flávia Moreira Barroca Barros e Antônio Carlos Fava Barros, pela amizade e pelo companheirismo.

Ao meu amigo Leonardo D'Antonino, pela amizade e ajuda no desenvolver desta pesquisa.

Aos Professores Ricardo Capucio e Pedro Hurtado, pelos ensinamentos e pelas sugestões e amizade.

Aos meus colegas Paula Rinaldi, Fabiana, Murilo Baesso, Wagner, Renato, João Cleber Modernel, Marcus Vinicius, Raphael, André, Gerson Inoue, Leonardo Rubim, Geice, Danilo, Selma Alves e Amanda Bernardes, pela amizade conquistada.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Danilo, Vantuil, Geraldo e, em especial, ao Marcelo, pela presteza.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese.

BIOGRAFIA

WALTER LUIZ CASTRO MEWES, filho de Bruno Otto Mewes e Dylma Luiza Castro Mewes, nasceu em Ponte Nova, MG, em 1º de novembro de 1965.

Em 1990, concluiu o Curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em 1995, concluiu o Mestrado em Engenharia Agrícola pela Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI da Universidade de Campinas – UNICAMP.

Em 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da Universidade UFV.

Em 1996, foi contratado como Professor de Mecanização e Máquinas Agrícolas pela UFV, para atuar no Campus de Florestal, em Florestal, MG.

Em julho de 2009, concluiu o Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola da UFV, submetendo-se à defesa da tese.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	6
AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GOTAS DE UM PULVERIZADOR PNEUMÁTICO NA APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS EM ÁRVORES ADULTAS COM USO DE ETIQUETAS HIDROSSENSÍVEIS.....	6
RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1. Estrutura desenvolvida para fixação das etiquetas hidrossensíveis	13
2.2. Avaliação da distribuição da calda	15
2.3. Avaliação da deposição de calda.....	17
2.4. Delineamento experimental	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1. Densidade de gotas	20
3.2. Porcentagem da cobertura.....	23

	Página
3.3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV)	25
3.4. SPAN	27
3.5. Coeficiente de homogeneidade (CH).....	31
3.6. Volume de calda depositada.....	35
4. CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2.....	42
CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO PARA A APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS EM PLANTAS DE EUCALIPTO	42
RESUMO	42
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1. Caracterização do ensaio	47
2.2. Velocidade do jato de ar e seu alcance ao longo da distância.	54
2.3. Espectro de gotas em função da vazão de ar e da vazão de calda e seu alcance ao longo da distância	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1. Pressão estática, dinâmica, vazão e velocidade do ar	56
3.2. Potência demandada	59
3.3. Velocidade do ar ao longo do jorro pulverizado	61
3.4. Espectro de gotas ao longo do jorro de ar em função da distância, velocidade do ar e vazão de calda	64
4. CONCLUSÕES.....	76
5. REFERÊNCIAS	77
CAPÍTULO 3.....	79
ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA DA DEPOSIÇÃO DE LÍQUIDO EM PLANTAS DE EUCALIPTO USANDO PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA.....	79
RESUMO	79
1. INTRODUÇÃO.....	80
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	83
2.1. Avaliação da uniformidade de distribuição da calda	83
2.2. Calibração do espectrofotômetro	85

	Página
2.3. Determinação da deposição de calda na folha	86
2.4. Determinação da área foliar	86
2.5. Determinação da deposição de calda por área foliar	86
2.6. Delineamento experimental	86
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
3.1. Caracterização da área experimental	88
3.2. Deposição de calda no dossel da planta.....	89
3.2.1. Avaliação da deposição da calda na planta à vazão de ar de 11.300 m ³ h ⁻¹ (56,6 rad s ⁻¹ - 540 rpm da TDP): experimento 1	89
3.2.2. Avaliação da deposição de calda à vazão de ar alta 13.250 m ³ h ⁻¹ (68 rad s ⁻¹ - 650 rpm da TDP): experimento 2.....	92
4. CONCLUSÕES.....	95
5. REFERÊNCIAS	96
CAPÍTULO 4.....	98
PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA EM EUCALIPTO.....	98
RESUMO	98
1. INTRODUÇÃO.....	99
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	103
2.1. Delineamento experimental	105
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
3.1. Estudo da população de gotas aplicadas na lavoura de eucalipto	107
3.1.1. Densidade de gotas	107
3.2. Porcentagem de cobertura.....	111
3.3. Determinação do DMV.....	116
3.4. Determinação do coeficiente de homogeneidade (CH)	120
3.5. Determinação dos valores de SPAN.....	124
4. CONCLUSÕES.....	128
5. REFERÊNCIAS	129
REFERÊNCIAS	131

RESUMO

MEWES, Walter Luiz Castro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2009. **Pulverização pneumática no controle de insetos-pragas em áreas reflorestadas com eucalipto**. Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Paulo Roberto Cecon e José Cola Zanuncio.

O mercado de madeira é crescente em todo o mundo, e, para atender parte desse mercado, o eucalipto é plantado em larga escala, no Brasil. Atualmente, essa cultura ocupa mais de 4.258.000 ha, gerando receitas superiores a R\$ 8,82 bilhões em 2008, o que a caracteriza como importante fonte de divisas para o país. Sua proximidade taxonômica com diversas espécies florestais brasileiras favoreceu a adaptação de muitas pragas a essa lavoura. Entre essas pragas, citam-se as lagartas desfolhadoras classificadas como *Thyrinteina arnobia*, *Sarsina violascens* e *Psorocampa denticulata*, causadoras de severos danos à produção de eucalipto. O ataque dessas pragas ocorre no dossel das plantas e, em muitos casos, a alturas superiores a 20 m, cujo controle é realizado com a aplicação de *Bacillus thuringiensis*. Este trabalho teve como objetivo geral estimar os parâmetros operacionais de um pulverizador pneumático utilizado na aplicação de fitossanitários em plantas adultas de eucalipto com alturas superiores a 20 m. Os objetivos específicos foram: avaliar parâmetros operacionais da pulverização pneumática; analisar a distribuição de gotas;

quantificar a deposição de líquido; e caracterizar o pulverizador. Foram utilizadas etiquetas de papel hidrossensível, posicionadas em folhas de eucaliptos adultos, como superfície coletora de gotas. Os parâmetros operacionais avaliados foram porcentagem de cobertura, densidade de gotas, DMV, coeficiente de homogeneidade e SPAN. A distribuição de gotas foi avaliada em alturas variadas. Na quantificação da deposição do líquido, utilizou-se o corante Azul Brilhante e aplicou-se o método de espectrofotometria. Realizou-se a caracterização do pulverizador pneumático em função dos valores da pressão manométrica estática e dinâmica, da vazão e velocidade do ar, da potência consumida e do alcance do jato de ar e das gotas em pulverização. O trabalho foi realizado utilizando-se um pulverizador pneumático fabricado pela Jacto, acionado por um trator de 65,8 kW (85 cv), de potência nominal no motor. Os ensaios dos parâmetros foram realizados em um pontilhão na BR 120 próximo a Viçosa, MG. O estudo da deposição de calda e parâmetros de gotas em eucaliptos foi realizado em campos de produção da CENIBRA, no Município de Belo Oriente, MG. Os parâmetros de funcionamento do pulverizador foram determinados no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Concluiu-se que: para os índices volumétricos estudados, os melhores resultados ocorreram na aplicação de 20,2 L 1.000 m⁻³ do dossel. A maior deposição de calda aconteceu na parte inferior deste, e a menor vazão de ar utilizada foi eficiente. Na avaliação dos parâmetros de gotas, o pulverizador foi eficiente tanto em densidade de gotas quanto em porcentagem de cobertura para a aplicação de inseticidas em florestas de eucalipto de até 26 m. Nas caracterizações técnicas, a velocidade máxima foi de 52 m s⁻¹, e o aumento da vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹ para 13.250 m³ h⁻¹ proporcionou incremento de 28% na velocidade e 38% na potência demandada para acionamento. Em condições de laboratório, o pulverizador foi capaz de aplicar produtos até 30 m de distância dentro dos parâmetros de gotas indicadas para inseticidas.

ABSTRACT

MEWES, Walter Luiz Castro, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June of 2009. **Pneumatic pulverization in the control insect pests in areas reforested with eucalyptus.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Paulo Roberto Cecon and José Cola Zanuncio.

Wood market is increasing all over the world, and to meet part of this demand, eucalyptus has been planted in large scale in Brazil. Nowadays, this culture occupies more than 4.258.000 ha, generating incomes higher than R\$ 8,82 billion in 2008, which makes it very profitable for the country. Its taxonomic proximity to several Brazilian forest species favored the adaptation of many pests to this crop. Among these pests, it is possible to mention the defoliating caterpillars classified as *Thyriniteina arnobia*, *Sarsina violascens* and *Psorocampa denticulata*, which cause severe damage to the eucalyptus production. The attack of these pests occurs in the canopy of the plants and, in many cases, at heights above 20 m, whose control is carried out with the application of *Bacillus thuringiensis*. The general objective of the present work was to estimate the operating parameters of a pneumatic pulverizer used in the application of phytosanitaries in eucalyptus adult plants higher than 20 m. The specific objectives were: evaluate operating parameters of the pneumatic pulverization; analyze the drip distribution; quantify the liquid

retention; and characterize the pulverizer. Hydrosensitive paper tags were used and placed on eucalyptus leaves, with drip collecting surface. The operation parameters evaluated were coverage percentage, drip density, DMV, homogeneity coefficient and SPAN. The drip distribution was evaluated at different heights. In the quantification of the liquid retention, it was used the bright blue dye, and the spectrophotometry method was applied. It was carried out the characterization of the pneumatic pulverizer according to the values of the static manometry and dynamic pressure, air flow rate and air speed, consumed power and the reach of the air jet and pulverization drips. The work was carried out using a pneumatic pulverizer manufactured by the Jacto company, activated by a 65,8 kW power motor tractor (85 cv). The parameter essays were carried out on a bridge in the BR 120 road, near Viçosa, MG. The study on the retention of the spray solution and parameters of the drips in eucalyptus plants was performed in CENIBRA production fields, in the city of Belo Oriente, MG. The working parameters of the pulverizer were determined in the Laboratory of Agricultural Mechanization of the Department of Agricultural Engineering of the Universidade Federal de Viçosa. It is concluded that: for the volumetric indexes studied, the best results occurred with the application of 20,2 L 1.000 m⁻³ of the canopy. The highest spray solution retention occurred in its lower part, and the lowest air flow rate used was efficient. In the evaluation of the drip parameters, the pulverizer was efficient in drip density and in the coverage percentage for the application of insecticides in eucalyptus forests of up to 26 m. As for the technical characterizations, the maximum speed was 52 m s⁻¹, and the increase in the air flow rate of 11.300 m³ h⁻¹ for 13.250 m³ h⁻¹ provided an increment of 28% in the speed and 38% in the power required for activation. Under laboratory conditions, the pulverizer was able to apply products up to 30 m away inside the drip parameters indicated for insecticides.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Por milhões de anos, a espécie humana sobreviveu usufruindo daquilo que o ecossistema, do qual fazia parte, lhe oferecia. Assim, o homem foi tomando todas as regiões que dispunha para se manter até que houve um crescimento populacional que levou ao aparecimento das primeiras técnicas de agricultura, não se sabe se por esgotamento desses referidos ecossistemas em virtude da pressão populacional ou se, na verdade, o aparecimento dessa técnica agrícola é que deu origem à expansão demográfica (POINTING, 1991).

Acredita-se que o somatório desses dois fatores é que levou ao aparecimento da agricultura, o que não foi mero acaso para a história da humanidade e, sim, o início de um grande desenvolvimento, modificando, por completo, o ecossistema do planeta. Com a sistematização da agricultura apareceram e desenvolveram também as pragas e doenças das plantações que, há anos, vêm sendo combatidas por diferentes e constantes métodos. Assim, métodos como o uso do fogo, o corte de partes afetadas das plantas e o desenvolvimento de fitossanitários para o combate de pragas e doenças vêm sendo utilizados e sistematizados através dos anos.

O desenvolvimento de máquinas capazes de facilitar a aplicação desses fitossanitários que iam sendo criados e preconizados veio a completar as constantes tentativas de combate às pragas e doenças comuns nas plantações. Assim, com os chamados pulverizadores o controle desses

problemas sanitários ficou mais ágil e econômico. A partir de seu desenvolvimento, os pulverizadores foram evoluindo no seu mecanismo, com o intuito de aumentar sua eficiência e capacidade, sendo de marcante melhoria quando da utilização do ar como elemento de transporte, como descreveram Magdalena et al. (2000).

Grande parte dos pulverizadores utilizados em todo o mundo em plantas arbóreas são hidropneumáticos, em que as gotas são produzidas usando a pressão do líquido, ou pneumáticos, onde o choque do líquido com a corrente de ar de alta pressão forma a gota (MAGDALENA et al., 2000). Entretanto, alguns pontos ineficientes desses pulverizadores foram descritos, entre eles: a rápida queda da velocidade do ar na saída do ventilador; o fato de a capacidade de transporte da gota estar relacionada à exposição desta ao fluxo de ar; interferência do tipo de ventilador; e velocidade de avanço da capacidade do pulverizador e sua eficiência (HALE, 1978).

Hale (*Op. cit.*), comparando quatro modelos de pulverizadores em escala 1/12 com igual energia de ar e diferentes velocidades de vazão de saída de ar, observaram que aqueles que possuíam menor velocidade de deslocamento e maior vazão de ar na saída do ventilador tiveram sua eficiência superior aos de maior velocidade e menor vazão quando medido no centro das árvores. O decréscimo das velocidades de ar de um pulverizador, segundo Reichard et al. (1979), é menor em pulverizadores cuja vazão de ar é maior.

Diferentemente das culturas baixas, as gotas das aplicações de fitossanitários em árvores estão mais sujeitas aos efeitos climáticos, sendo esses efeitos maiores na parte superior do dossel das árvores, havendo mais perdas quando as gotas possuíam diâmetro menor e quando havia a diminuição da umidade relativa do ar no momento da aplicação (CUNNINGHAM et al., 1962).

Byers et al. (1971) descreveram o método denominado “Tree Row Volume” (TRV) para determinação do volume de calda a ser aplicado em plantas arbóreas. Nesse método, a determinação do volume de calda para pulverização é baseada no volume de vegetação que existe na área, ou

seja, de acordo com o volume do dossel das plantas, usa-se quantidade de calda predeterminada.

Entre as plantas arbóreas, o eucalipto assume real importância, principalmente no mercado madeireiro. Foi introduzido no Brasil na década de 1940 e adaptou-se às diferentes regiões do país. Com a produção anual aumentando a cada ano, a área plantada, hoje, é próxima de 4.258.000 ha, movimentando cinco bilhões de reais por ano, valores que se aproximam de grandes culturas como milho e soja. Sua proximidade taxonômica com diversas espécies florestais brasileiras favoreceu a adaptação de muitos insetos logo após o início dos plantios. Os extensos plantios homogêneos e contínuos, distribuídos por todo o Brasil, de certa forma estabeleceram baixa diversidade no ecossistema que, possivelmente, interferiu no equilíbrio ecológico desses insetos, possibilitando, em alguns casos, seu aumento populacional, tornando-os pragas.

Associam-se às plantações de eucalipto mais de 24 famílias de lepdópteros, com mais de 110 espécies de lagartas que se alimentam das folhas do eucalipto. Dentro dessa relação de insetos-praga encontrados nos campos de eucalipto tem-se: lagartas desfolhadoras classificadas como *Thyrineina arnobia*, cuja ocorrência e inimigos naturais foram relatados por Berti Filho (1974), *Sarsina violascens* relatados por Zanuncio e Lima (1975) e *Psorocampa denticulata* Schaus citados por Santos et al. (2003), com danos severos em povoamentos de eucalipto. As chamadas lagartas pardas do eucalipto (*Thyrineina arnobia*), pelo seu posicionamento nos dosséis das árvores, tornam-se de difícil combate. Quando em grandes populações, essa lagarta pode causar a morte da árvore, chegando a uma mortalidade de até 20% das plantas e a uma redução de até 60% do volume de madeira.

Em algumas infestações por insetos-praga, o tratamento pode ser realizado através do controle biológico, físico ou químico, porém, quando as infestações ocorrem nas copas das árvores que ultrapassam 15 m de altura e se localizam em pontos específicos da floresta, o controle torna-se difícil e caro.

Nesses casos, os métodos atuais de controle são ineficientes ou muito caros, aplicando-se geralmente alto volume de fitossanitários com baixa eficiência de cobertura da folha, por meio do uso de aeronaves ou

equipamentos terrestres. Em ambos os casos existem problemas técnicos nas pulverizações. O controle das lagartas pardas do eucalipto tem sido feito com a aplicação de *Bacillus thuringiensis*, muitas vezes com operação aérea.

A aplicação com aeronave, entretanto, tem alto custo, razão por que as empresas de reflorestamento evitam esse método, principalmente em áreas pequenas, onde a infestação está apenas no início. Além disso, a localização das áreas de plantio de eucaliptos, muitas vezes situadas longe de centros urbanos e em regiões montanhosas, dificulta as operações de pouso, reabastecimento e de vôos próximos às copas das árvores.

Outro problema para o combate desse tipo de praga é a sua infestação em pontos distintos na área, reboleira, não havendo infestação uniforme na lavoura, o que exige aplicação pontual do agrotóxico. A identificação desses pontos infestados numa pulverização com aeronaves de asa fixa e a aplicação do produto somente onde se encontram as pragas tornam-se inviáveis. A aplicação com helicóptero é mais eficiente, porém esse equipamento tem custo operacional mais elevado que os aviões, tornando, assim, economicamente inviável esse tratamento.

Já na aplicação terrestre, seja por pulverizadores hidráulicos ou por pneumáticos, o maior obstáculo é a falta de equipamento capaz de aplicar, de forma eficiente, o produto nas copas dos eucaliptos adultos, uma vez que as árvores podem chegar até 20 m de altura. Para utilizar um pulverizador hidráulico e aplicar a partir do chão, há necessidade de alta pressão sobre o líquido para atingir o alvo. Porém, nessas condições não se consegue um controle eficiente do tamanho e números de gotas depositadas nas folhas, além da possibilidade de ocorrência de grandes perdas.

Este trabalho de pesquisa teve por objetivo avaliar um pulverizador pneumático para aplicação terrestre de produtos fitossanitários em eucaliptos adultos, com altura superior a 20 m, e foi subdividido em quatro capítulos:

- Avaliação de parâmetros operacionais da pulverização pneumática em eucalipto adulto com uso de etiquetas hidrossensíveis.
- Avaliação da distribuição de gotas de um pulverizador pneumático para a aplicação em eucalipto adulto com o uso de etiquetas hidrossensíveis.

- Quantificação da deposição de líquido de um pulverizador pneumático em folhas de eucalipto adulto pelo método da espectrofotometria.
- Caracterização técnica do pulverizador pneumático para a aplicação de fitossanitários em plantas de eucalipto.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GOTAS DE UM PULVERIZADOR PNEUMÁTICO NA APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS EM ÁRVORES ADULTAS COM USO DE ETIQUETAS HIDROSSENSÍVEIS

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, no Município de Viçosa, MG, visando avaliar a distribuição de gotas e a cobertura foliar em várias alturas, simulando, assim, o comportamento do pulverizador pneumático ao tratar plantas arbóreas. A alta eficiência da pulverização com a correta deposição de gotas sobre o alvo é de suma importância para a maior rentabilidade na produção de madeira, diminuindo os riscos ambientais e para a saúde do aplicador, aumentando a eficácia no combate a pragas e doenças. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros operacionais de um pulverizador pneumático adaptado para aplicação em florestas adultas de eucalipto, através do estudo da densidade de gotas, da porcentagem de cobertura, do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), do coeficiente de homogeneidade, SPAN e do volume de calda acumulada em etiquetas. Nas condições em que os experimentos foram conduzidos, o pulverizador utilizado mostrou-se eficiente para a aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto. Observou-se que,

independentemente das diferentes vazões de ar utilizadas, todas as condições avaliadas apresentaram densidade de gotas e DMV satisfatórios para pulverização em grandes alturas. Quanto aos parâmetros porcentagem de cobertura e volume de calda depositada, os melhores resultados ocorreram com os volumes 27 e 20,2 L de calda para 1.000 m⁻³ de dossel. Para os parâmetros analisados, o índice volumétrico de 20,2 L para 1.000 m⁻³ de dossel é o indicado para aplicação nas alturas estudadas (3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 m).

1. INTRODUÇÃO

É de fundamental importância considerar o momento da pulverização por ser um dos tratamentos culturais responsáveis pelo incremento no rendimento da madeira. Fatores como adequação do momento de aplicação e do próprio produto a ser utilizado, garantindo alta eficiência de pulverização e a correta deposição de gotas sobre o alvo, são de suma importância para se obter rentabilidade na produção, diminuir os riscos ambientais e à saúde do aplicador e, conseqüentemente, aumentar a eficácia no combate a pragas e doenças (MAGDALENA, 2004).

Em outras épocas, o controle de pragas era precário, realizado através de aplicações da calda diretamente nas folhas com panos ou escovas ou utilizando regadores. Com o desenvolvimento de máquinas específicas para essa finalidade, não só se conseguiu aumento na produtividade, como também a diminuição do êxodo rural (CHAIM, 1999). Assim, o primeiro pulverizador pneumático descrito parece ter sido criado na França para aplicação de fitoterápicos em videiras em 1885, segundo Tsay et al. (2002).

Os pulverizadores são classificados em função da energia usada para fazer a fragmentação do líquido em gotas, sendo classificados como pulverizadores hidráulicos, pulverizadores hidropneumáticos, pneumáticos, centrífugos e térmicos.

Com o pulverizador pneumático, há a fragmentação do líquido em gotas e seu transporte até o alvo por uma elevada corrente de ar, necessitando, pois, de pulverizadores de alta potência para o seu acionamento (MAGDALENA, 2004).

Segundo Fox et al. (2008), à medida que as gotas se afastam do pulverizador há diminuição da velocidade do fluxo de ar, e este vai tornando-se desuniforme e espalhando-se durante sua trajetória.

As gotas pequenas tendem a seguir a corrente aerodinâmica do fluxo de ar, depositando-se no alvo pelo movimento turbulento deste, enquanto as gotas grandes se depositam, principalmente, pelo impacto.

Assim, as gotas pequenas resultantes da pulverização pneumática podem ser afetadas pela própria corrente de ar responsável pelo seu transporte até o alvo e pelas condições climáticas, sofrendo deriva e evaporação. No entanto, a penetração de gotas maiores no interior da copa das árvores pode ser reduzida, devida ao impedimento causado pelas folhas e pelo atrito do ar.

Para boa distribuição da calda por toda a planta, vários fatores estão envolvidos, sendo eles: tamanho da árvore, volume de copa, deriva, tamanho das gotas, volume de calda, velocidade de deslocamento do pulverizador e vento (RAETANO et al., 2001; SCUDELER et al., 2004; ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1989).

Assim, o processo de pulverização pneumática em florestas adultas, depositando-se as gotas em toda a copa das árvores, pode ser afetado pela arquitetura da planta e pela densidade foliar.

Até então não se tem conhecimento de um pulverizador terrestre capaz de lançar as gotas no alto da copa de plantas acima de 20 m de altura, com boa deposição e boa uniformidade.

Segundo Bayat et al. (1994), os maiores depósitos de gotas em citros, comparando diferentes volumes de aplicação em pulverizadores pneumáticos, foram observados na parte externa do dossel, no terço inferior da planta.

Devido à alta densidade foliar em árvores, grande parte das gotas não atinge o interior do dossel das plantas, o que prejudica a uniformidade na distribuição de líquido. Esse fato ocasiona baixa eficácia de controle da praga e, conseqüentemente, aumento indevido por parte dos produtores do

volume da calda, o que acarreta aumento no custo da produção e da contaminação ambiental (PAI et al., 2008).

Faz-se necessário alcançar distribuição uniforme no dossel das plantas arbóreas, para que se possam diminuir a agressão ao meio ambiente e aumentar a eficácia nas aplicações, tornando estas pontuais quanto ao local necessário e somente quando se fizer necessário (FAROOQ; LANDERS, 2004). Entretanto, Marti et al. (2006), avaliando a otimização da tecnologia de aplicação de defensivos em plantas arbóreas, concluíram que essa distribuição uniforme é difícil de ser alcançada, embora de suma importância, sendo um objetivo importante aumentar a penetração de gotas no desenvolvimento dos pulverizadores pneumáticos.

Cerca de 60 a 70% do volume dos fitossanitários usados não atinge o alvo, indo depositar-se em locais indesejáveis, como o solo, ou sofre o processo de evaporação ou deriva. Esse fato contribui, de maneira bastante significativa, para a contaminação ambiental, a contaminação do aplicador, a redução da eficiência da pulverização e a conseqüente redução da eficácia de controle da praga (LAW, 2001).

Durante os últimos 20 anos, tem-se notado constante preocupação com os equipamentos de pulverização, principalmente com os bicos de aplicação. Desse período para cá, vários fabricantes de bicos de pulverização lançaram no mercado vários modelos, com o intuito de fornecer aos usuários de seus produtos qualidade de pulverização satisfatória (KNEWITZ et al., 2002). Portanto, quando se fala em pulverização pneumática, o cenário muda um pouco. Atualmente, encontramos alguns pulverizadores pneumáticos em uso, mas com pouca informação básica sobre o espectro de gotas que esse equipamento é capaz de produzir, em determinadas condições climáticas.

Quando não se conseguem boa uniformidade de distribuição e deposição de líquidos no interior do dossel das plantas, principalmente com o uso de inseticidas biológicos ou de contato, as pragas podem selecionar áreas que não receberam quantidade satisfatória de líquido e se estabelecerem nessas áreas. Nesse caso, além de baixa eficácia de controle, existe o risco de ocorrer resistência da praga ao inseticida em questão (KONNO et al., 2001).

De acordo com o alvo que se deseja atingir, na tentativa de uma boa distribuição de líquidos e boa deposição de gotas, como no caso de plantas de porte alto, é usado alto volume de calda, em aplicações que em muitos casos geram escorrimento em partes do dossel, devido a dificuldades de distribuição de líquidos em toda a copa da planta (FERREIRA, 2003).

Segundo Marti et al. (2006), dificilmente se conseguem deposições uniformes no interior do dossel das plantas arbóreas, e a melhoria da deposição com pulverizadores com assistência de ar é sempre um objetivo em estudos desta natureza. Nesse caso, o volume de calda deve ser diretamente relacionado às características da planta, como volume e densidade foliar, e não em função de um volume estimado de calda, como é feito hoje em vários países.

Para caracterização da deposição de gotas, atualmente se usam alguns parâmetros, como diâmetro da mediana volumétrica, densidade de gotas, porcentagem de cobertura e volume de calda acumulado nas etiquetas. Outros parâmetros, a exemplo de coeficiente de homogeneidade e Span, também podem ser usados em condições de laboratório, com o emprego de analisadores de partículas a laser (WOMAC et al., 1998; NUYTENS et al., 2007), ou analisador de partículas de dispersão por luz (VLADISAVLJEVIC; SCHUBERT, 2003).

Outro método usado para determinar com precisão o tamanho de gotas para determinação de coeficiente de homogeneidade e Span seria o método usado por Prokop e Kejklicek (2002), que consiste na utilização de captação por silicone. Nesse método, usa-se a placa de Petri, com dois tipos de silicone (alta e baixa viscosidades).

Em nível de campo, os resultados desses parâmetros não são confiáveis, pela inexistência de um software para análise de imagem das etiquetas que forneça o tamanho preciso de gotas abaixo de determinado tamanho, por exemplo gotas abaixo de 100 μm .

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros operacionais de um pulverizador pneumático adaptado para aplicação em florestas adultas de eucalipto, através do estudo da densidade de gotas, da porcentagem de cobertura, do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), do coeficiente de homogeneidade, SPAN e do volume de calda acumulada em etiquetas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola no Município de Viçosa, MG, latitude 20°43'S, longitude 42°51'O e altitude de 640 m, visando avaliar a distribuição de gotas e a cobertura foliar em várias alturas, simulando, assim, o comportamento do pulverizador ao tratar plantas arbóreas. Utilizou-se de um pulverizador tratorizado pneumático, marca Jacto, modelo Jatão 600, acionado por um trator Valtra 800.

Inicialmente, foi escolhido um viaduto na BR 120 (Viçosa-Ponte Nova), como local para o desenvolvimento do ensaio, tendo este viaduto uma altura de 14 m, que permitia a passagem do pulverizador sob ele, conforme Figura 1. Para complementar a altura necessária de 21 m, foi construída uma estrutura metálica de tubos galvanizados de forma telescópica, para ser adaptada ao parapeito do viaduto, permitindo, assim, a colocação de etiquetas hidrossensíveis nas alturas desejadas.



Figura 1 – Conjunto trator-pulverizador.

2.1. Estrutura desenvolvida para fixação das etiquetas hidrossensíveis

Utilizou-se um tubo de 12,70 mm de diâmetro com 6 m de comprimento. Em sua extremidade, soldou-se outro tubo de mesmo diâmetro e com 3,5 m de comprimento, formando um ângulo de 90° . Nesse tubo menor, fixaram-se quatro roldanas equidistantes entre si.

Foi usado um segundo tubo de 3 m de comprimento e 19,05 mm de diâmetro, com parafusos soldados na sua parede, de forma que o primeiro tubo pudesse ser introduzido nesse segundo e fixado pelos parafusos.

Um terceiro tubo de 1,5 m de comprimento e 25,5 mm de diâmetro, também com parafusos fixados em sua parede, foi fixado por meio de grampos ao parapeito da ponte, permitindo, assim, elevar a estrutura até 8 m acima do nível da ponte (Figuras 2 e 3).

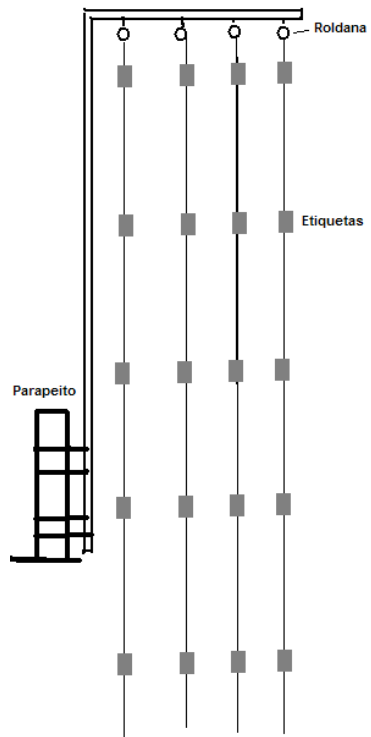


Figura 2 – Estrutura metálica para adaptação ao viaduto.



Figura 3 – Estrutura metálica e etiquetas.

Nas roldanas foram colocadas cordas, e nestas foram afixadas as etiquetas hidrossensíveis em sete diferentes alturas (3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 m), considerando-se a estrada sob o viaduto como referência.

Para a aplicação da calda foi utilizado o conjunto trator-pulverizador, usando-se diferentes volumes de aplicação com base no volume de copa (TRV) previamente estimado e índices de volumes recomendados.

2.2. Avaliação da distribuição da calda

A eficiência da distribuição de calda foi avaliada utilizando-se etiquetas hidrossensíveis, marca Syngenta, de 38 x 26 mm. As etiquetas foram distribuídas a cada 3 m de altura, para cada um dos três cabos. Assim, mediram-se a densidade de gotas e a cobertura da etiqueta. Para a determinação do tamanho das gotas, considerou-se o fator de espalhamento, segundo a equação proposta por Chaim et al. (1999).

$$F = 0,74057 + 0,0001010399 D + 0,2024884 \ln (D) \quad (1)$$

em que F é o fator de espalhamento; e D , o diâmetro-limite de cada classe de tamanho da mancha (μm).

A avaliação da deposição foi realizada considerando-se os parâmetros porcentagem de cobertura, densidade de gotas, DMV, coeficiente de homogeneidade e Span analisando etiquetas hidrossensíveis.

Em função da posição de deslocamento do trator em relação às etiquetas e com o objetivo de que o jato atingisse as etiquetas superiores, usou-se uma inclinação de 15° do tubo do pulverizador em relação à vertical. A aplicação da calda foi realizada com base no método Tree Row Volume (TRV), determinação do volume de calda a ser aplicado em litros por 1.000 m³ de volume de dossel, denominado índice volumétrico, considerando-se dados médios de diâmetro e altura de copa dos eucaliptos na área a ser trabalhada no campo.

O método TRV (Tree Row Volume) consistiu em medir o volume de vegetação em 1 ha de terreno e foi referência para determinação de volume de calda (equação 2).

$$TRV = \frac{H.L.10000}{D} \quad (2)$$

em que TRV é o volume dos dosséis das plantas por área ($m^3 ha^{-1}$); H , altura do dossel (m); L , largura do dossel (m); e D , distância entre linhas de plantio (m).

Para a determinação do índice de volume a ser aplicado, utilizou-se o volume de copa de $50.000 m^3 ha^{-1}$, obtido a partir dos dados fornecidos pela CENIBRA, empresa produtora de eucalipto e celulose, na qual seriam realizados trabalhos futuros.

As velocidades de deslocamento do trator Valtra utilizado foram obtidas utilizando-se as suas três primeiras marchas. A vazão de calda foi de $33,2 L min^{-1}$. Os índices volumétricos e velocidades de trabalho estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Índice de volume de calda por $1.000 m^{-3}$ de dossel

Velocidade do Trator ($m s^{-1}$)	Índice Volumétrico ($L 1.000 m^{-3}$)
0,67	27,0
0,91	20,2
1,44	12,8

Após a aplicação, as etiquetas amostradoras de papel hidrossensível foram acondicionadas em sacos de papel separados de acordo com a sua altura de colocação na estrutura (3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 m) e levadas ao laboratório. Essas etiquetas foram digitalizadas utilizando-se scanner HP, modelo Scanjet 3770, a uma resolução de 1.200 dpi, e analisadas com o auxílio do software IMAGE TOOL, versão 3.0, conforme também realizado por Rodrigues (2005), Ruas (2007) e Magno Júnior (2008).

2.3. Avaliação da deposição de calda

Para determinação da deposição de calda, utilizaram-se etiquetas amostradoras plásticas com 20 mm de largura por 30 mm de comprimento, colocadas nas mesmas alturas e posições daquelas etiquetas hidrossensíveis. Essas etiquetas plásticas foram, após a aplicação da calda, recolhidas e acondicionadas em sacos plásticos separadamente, de acordo com sua altura de colocação na estrutura e levadas ao laboratório para análise em espectrofotômetro, determinando-se, assim, a quantidade de produto que atingiu a etiqueta.

A curva de calibração do espectrofotômetro foi obtida a partir de soluções-padrão em várias concentrações conhecidas (mg L^{-1}) do traçador, utilizando-se parte da amostra da calda aplicada no campo. Com as amostras de solução-padrão, foi traçado o gráfico de absorbância no espectrofotômetro, segundo Skoog et al. (2002) e Ewing (1996).

As etiquetas recolhidas foram lavadas em 50 mL de água destilada, e, dessa solução, retirou-se uma amostra para a leitura da absorbância. Interpolando entre os dados do gráfico de calibração, determinou-se a concentração do traçador e, desse valor, o volume de calda que estava registrado na etiqueta.

Durante a coleta de dados, as condições de vento, pressão barométrica, temperatura e umidade foram monitoradas, respectivamente, através dos aparelhos anemômetro, barômetro, termômetro e higrômetro digitais, previamente calibrados.

2.4. Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas três volumes de aplicação e, nas subparcelas, sete alturas, em delineamento em blocos casualizados com três repetições, totalizando 63 unidades experimentais. O diferencial entre os dois experimentos foram as vazões de ar utilizadas, sendo a do primeiro experimento de $11.300 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, obtida quando se utilizaram $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) na tomada de potência (TDP) e a do segundo, $13.250 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, obtida

quando se utilizaram 68 rad s^{-1} (650 rpm) na TDP. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, sendo as médias comparadas pelos testes F e de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer dos dois experimentos, a temperatura ambiente variou entre 25 e 27 °C, a velocidade do vento entre 0 e 1,0 m s⁻¹ a 2 m do solo, enquanto a pressão barométrica foi de 976 mbar e a umidade relativa, acima de 75%.

No Quadro 2, encontram-se caracterizados a velocidade do trator em relação à marcha utilizada e o volume de aplicação de calda.

Quadro 2 – Velocidade do trator e volume de aplicação usados nos ensaios

Velocidade do Trator (m s ⁻¹)	Volume de Aplicação (L ha ⁻¹)
0,67	2.754
0,91	2.060
1,44	1.305

3.1. Densidade de gotas

No Quadro 3 é apresentada a análise de variância do primeiro experimento para os valores de densidade de gotas (gotas cm^{-2}), de acordo com o índice volumétrico e a altura das etiquetas na estrutura.

Quadro 3 – Resumo da análise de variância da variável densidade de gotas (experimento 1)

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	1874.968 ^{NS}
Volume	2	182973,2 ^{**}
Erro (A)	4	2034.754
Altura	6	60470,83 ^{**}
Altura*Volume	12	21488,08 ^{**}
Resíduo	36	1237.622

Coeficiente de variação da subparcela (Altura) = 23,8%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Pode-se observar que a interação entre altura e volume de aplicação foi significativa, assim como as variáveis volumes e alturas. Nesses casos, apenas a interação altura x volume foi estudada. No Quadro 4, leem-se as médias obtidas para a densidade de gotas em relação ao volume de aplicação de calda e às alturas das etiquetas.

Pode-se observar que os melhores resultados foram obtidos nas alturas de 12, 15 e 18 m, nos três índices volumétricos avaliados. Tal resultado era esperado, uma vez que esse tipo de pulverizador possui o jato direcionado, sendo essas alturas o foco do estudo.

Quadro 4 – Valores médios da densidade de gotas (gotas cm²) para os índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m⁻³ de copa, pelo teste de Tukey (experimento 1)

IV	Alturas (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	17.00 ^C	37.67 ^C	62.67 ^C	225.00 ^B	245.33 ^{AB}	320.33 ^A	244.00 ^{AB}
20,2	22.67 ^D	191.00 ^C	308.33 ^B	416.33 ^A	289.67 ^B	286.00 ^B	106.00 ^{CD}
12,8	29.00 ^{AB}	10.67 ^B	19.67 ^B	93.33 ^{AB}	116.67 ^A	45.67 ^{AB}	14.33 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quando se compararam os três volumes estudados, pôde-se observar que na altura de 21 m não ocorreram as maiores médias, com exceção do índice volumétrico 1, em que as médias não foram estatisticamente diferentes. As duas possíveis causas dessas diferenças são a dificuldade de direcionar o jato para o ponto mais alto e a ocorrência de maior vento nas maiores alturas, o que proporcionaria a deriva das gotas. Os menores valores foram encontrados nas alturas de 3 e 6 m, o que era esperado, uma vez que o equipamento foi desenvolvido para alcançar grandes alturas.

Segundo Barthelemy et al. (1990), a recomendação de densidade de gotas varia para cada tipo de produto a ser aplicado. No caso de inseticida, função do pulverizador, os referidos autores recomendaram uma densidade de 20 a 30 gotas cm⁻². Quanto ao índice volumétrico de 12,8 L 1.000 m⁻³ de dossel na altura de 21 m, encontraram-se valores abaixo desses, não recomendando esse volume para as condições estudadas.

No Quadro 5, apresenta-se a análise de variância do segundo experimento para os valores de densidade de gotas por cm², de acordo com os volumes de aplicação e altura das etiquetas na estrutura.

Semelhantemente ao primeiro experimento, observaram-se interações entre altura e volume de aplicação da calda, sendo observadas, também, diferenças significativas entre as alturas e os volumes de aplicação.

Quadro 5 – Análise de variância do estudo de gotas cm² no experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	1121.714 ^{NS}
Volume	2	17352,90**
Erro (A)	4	848.7619
Altura	6	98126,37**
Altura*volume	12	26867,18**
Resíduo	36	1147.116

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 18,8%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

No Quadro 6, apresentam-se os valores médios obtidos para a densidade de gotas em relação ao volume de aplicação de calda e alturas das etiquetas no experimento 2.

Quadro 6 – Valores médios da densidade de gotas (gotas cm²) para os índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m⁻³ de copa, utilizando-se a vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	52.00 ^C	63.33 ^C	57.00 ^C	210.00 ^B	307.33 ^A	283.33 ^{AB}	327.00 ^A
20,2	29.67 ^B	57.67 ^B	44.33 ^B	356.67 ^A	329.00 ^A	322.00 ^A	298.33 ^A
12,8	19.00 ^E	99.67 ^{CDE}	242.00 ^{AB}	327.00 ^A	181.00 ^{BC}	116.67 ^{CD}	56.00 ^{DE}

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Para os índices volumétricos 27 e 20,2 L 1.000 m⁻³ de copa, as maiores médias ocorreram nas alturas de 15, 18 e 21 m, não havendo diferença significativa na altura de 12 m para o índice volumétrico de 20,2 L 1.000 m⁻³. Para o índice volumétrico de 12,8 L 1.000 m⁻³ de copa, as maiores médias ocorreram nas alturas de 9 e 12 m, o que pode ser

explicado pela possível dificuldade de direcionamento do jato e vento semelhante ao ocorrido no experimento 1.

Em ambos os experimentos, as densidades de gotas obtidas atendem plenamente ao recomendado para aplicação da maioria dos fitossanitários.

3.2. Porcentagem da cobertura

Na análise de variância dos dois experimentos (Quadros 7 e 9), ocorreram diferenças significativas nas interações altura x volume de aplicação. Nos Quadros 8 e 10, apresentam-se as médias por altura e índice de volume para a porcentagem de cobertura.

De modo geral, os maiores valores de porcentagem de cobertura ocorreram nas alturas de 12, 15 e 18 m, sendo também, em alguns casos, na altura de 21 m. A exemplo das observações anteriores, a maior concentração aconteceu na parte alta, explicando-se tal acontecimento pela característica direcional do jato lançado por esse pulverizador.

A variação do percentual de cobertura da maior altura estudada (21 m) decorre do ângulo de inclinação do tubo do pulverizador.

Quadro 7 – Análise de variância da porcentagem de cobertura do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	0,8477778 ^{NS}
Volume	2	766.2344**
Erro (A)	4	3.752302
Altura	6	229.3166**
Altura*volume	12	56.91815**
Resíduo	36	10.19135

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 34,0%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8 – Valores médios da porcentagem de cobertura para os índices volumétricos (IV), L 1.000⁻¹m⁻³ de copa, pelo teste de Tukey (experimento 1)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	1.80 ^C	3.87 ^C	12.27 ^B	22.03 ^A	20.67 ^A	16.07 ^{AB}	14.93 ^{AB}
20,2	2.53 ^B	12.57 ^A	18.50 ^A	19.90 ^A	17.77 ^A	12.90 ^A	4.23 ^B
12,8	0.67 ^A	0.50 ^A	0.87 ^A	3.90 ^A	7.03 ^A	3.37 ^A	0.50 ^A

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 9 – Análise de variância da porcentagem de cobertura do experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	7.097930 ^{NS}
Volume	2	235.9203 ^{**}
Erro (A)	4	11.03355
Altura	6	281.0351 ^{**}
Altura*volume	12	90.54790 ^{**}
Resíduo	36	7.437084

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 28,3%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 10 – Valores médios da porcentagem de cobertura para os índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m⁻³ de copa, do experimento 2

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	5.73 ^B	6.07 ^B	5.20 ^B	15.50 ^A	17.23 ^A	22.13 ^A	20.38 ^A
20,2	0.43 ^B	0.80 ^B	1.67 ^B	15.70 ^A	16.17 ^A	15.70 ^A	13.80 ^A
12,8	1.00 ^B	3.17 ^B	11.40 ^A	16.93 ^A	10.40 ^A	1.70 ^B	1.03 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Sendo a função desse pulverizador pneumático a aplicação de inseticida na forma de bacilo (*Bacillus thuringiensis*) a ser ingerido pela lagarta, a cobertura na faixa de 10 a 20% (Figura 4), conforme obtida nos índices volumétricos 27 e 20,2 L 1.000 m⁻³ de copa do experimento 1, poderá ser considerada eficiente, o mesmo ocorrendo para os índices de 27 e 20,2 L 1.000 m⁻³ de copa no experimento 2.

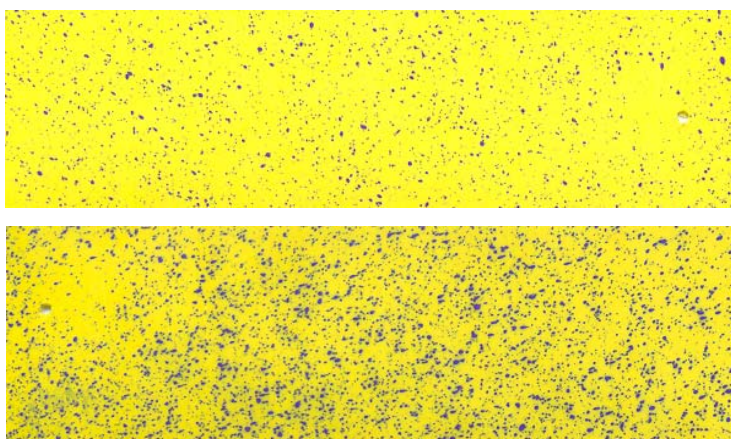


Figura 4 – Etiquetas amostradoras hidrossensíveis.

3.3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

O Quadro 11 apresenta a análise de variância do primeiro experimento para os valores de DMV, de acordo com os volumes de aplicação e a altura das etiquetas na estrutura.

Pelo quadro de análise de variância, houve diferenças significativas no volume de aplicação e na interação volume x altura.

O Quadro 12 apresenta os valores obtidos pelo teste de Tukey para o DMV, em relação ao volume de aplicação de calda e da altura das etiquetas.

O DMV médio variou entre 226 μm e 321 μm para o índice volumétrico de 27 L 1.000 m⁻³ de copa, e não houve diferenças estatísticas para o índice volumétrico de 20,2 L 1.000 m⁻³, variou entre 134 μm e 228 μm para o índice de 12 L 1.000 m⁻³.

Quadro 11 – Análise de variância para DMV do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	1209.905*
Volume	2	35470,42**
Erro (A)	4	260.4377
Altura	6	1034.305
Altura*volume	12	3448.147 ^{NS}
Resíduo	36	548.4315**

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 10,16%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 12 – Valores médios do DMV para os índices volumétricos (IV), em $L \cdot 1.000^{-1} m^{-3}$ de copa, para a vazão de $11.300 m^3 h^{-1}$ (experimento 1)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	276.71 ^{AB}	268.68 ^{AB}	321.18 ^A	316.15 ^A	278.19 ^{AB}	226.96 ^B	251.45 ^B
20,2	233.94 ^A	200.39 ^A	223.44 ^A	191.21 ^A	242.98 ^A	208.90 ^A	201.11 ^A
12,8	134.20 ^B	226.07 ^A	187.46 ^{AB}	186.21 ^{AB}	207.99 ^A	226.78 ^A	228.14 ^A

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O Quadro 13 apresenta a análise de variância do DMV do experimento 2, de acordo com os volumes de aplicação e a altura das etiquetas hidrossensíveis.

A variável volume de aplicação e a interação altura x volume apresentaram diferenças significativas, conforme demonstrado no quadro de análise de variância.

Em ambos os experimentos, o DMV foi próximo a 200 μm , que é um diâmetro que proporciona menor perda por deriva, fator extremamente importante nesse tipo de aplicação (Quadros 12 e 14).

Quadro 13 – Análise de variância do DMV do experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	698.6460 ^{NS}
Volume	2	29460,51**
Erro (A)	4	839.3954
Altura	6	2397.943*
Altura*volume	12	8875.112**
Resíduo	36	891.3268

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 15,2%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 14 – Valores médios do DMV para os Índices volumétricos (IV), em L $1.000^{-1}m^{-3}$ de copa, na vazão de $13.250 m^3h^{-1}$ (experimento 2)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	209.95 ^A	237.79 ^A	250.30 ^A	220.33 ^A	216.92 ^A	278.38 ^A	262.14 ^A
20,2	105.27 ^B	89.89 ^B	162.13 ^{AB}	219.17 ^A	214.67 ^A	217.83 ^A	203.48 ^A
12,8	231.81 ^A	188.66 ^A	193.07 ^A	212.82 ^A	208.16 ^A	95.64 ^B	101.38 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.4. SPAN

O SPAN, também chamado de amplitude relativa ao DMV, é mais uma referência no estudo de gotas à variação dos diâmetros das gotas pulverizadas. O Quadro 15 apresenta os valores médios do SPAN para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas, utilizando-se a vazão de ar de $11.300 m^3 h^{-1}$ no ventilador (experimento 1).

O Quadro 16 apresenta o resumo da análise de variância do experimento 1. Houve diferenças significativas nas variáveis volume (índice volumétrico) e altura e na interação volume x altura.

Quadro 15 – Médias do SPAN para as diferentes alturas e índices volumétricos estudados na vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹ (experimento 1)

Altura (m)	Índice Volumétrico L 1.000 m ⁻³		
	27,0	20,8	12,8
21	1,08	1,11	0,75
18	1,13	1,35	0,79
15	1,23	1,28	0,93
12	1,08	1,19	0,96
9	1,12	1,02	0,77
6	0,72	0,89	0,70
3	0,79	0,63	1,21

Quadro 16 – Resumo da análise de variância do SPAN do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	0,2155444*
Bloco	2	0,3553016E-01 ^{NS}
Erro (A)	4	0,6406825E-01
Altura	6	0,1569550**
Altura*volume	12	0,1147685**
Resíduo	36	0,3054815E-01

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 17.686; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

A comparação das médias do SPAN para cada altura avaliada dentro dos três índices volumétricos está no Quadro 17. Para os índices volumétricos de 27 e 20,8 L 1.000 m⁻³ de dossel, os menores valores foram encontrados nas menores alturas.

Quadro 17 – Valores médios do SPAN para os índices volumétricos (IV), em $L \cdot 1.000^{-1} m^{-3}$ de copa, na vazão de $11.300 m^3 h^{-1}$ (experimento 1)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27	0.79 ^{AB}	0.72 ^B	1.12 ^{AB}	1.08 ^{AB}	1.23 ^A	1.13 ^{AB}	1.08 ^{AB}
20	0.63 ^C	0.89 ^{BC}	1.02 ^{ABC}	1.19 ^{AB}	1.28 ^{AB}	1.35 ^A	1.11 ^{AB}
12	1.21 ^A	0.70 ^B	0.77 ^{AB}	0.96 ^{AB}	0.93 ^{AB}	0.79 ^{AB}	0.75 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na avaliação do SPAN, os melhores valores são os mais próximos de zero, indicando que não houve grande variação entre os diâmetros das gotas. Porém, como o pulverizador pneumático utilizado tinha sua saída direcionada para aplicação em grandes alturas, o foco era atingir as etiquetas de 15, 18 e 21 m de altura. As etiquetas mais baixas provavelmente receberam, em sua maioria, gotas menores, provenientes de deriva.

No Quadro 18 são apresentados os valores médios do SPAN para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas, utilizando-se a vazão de ar de $13.250 m^3 h^{-1}$ no ventilador (experimento 2).

O Quadro 19 apresenta o resumo da análise de variância do experimento 2; houve diferenças significativas com relação à variável altura.

As comparações das médias do SPAN em cada altura avaliada dentro dos três índices volumétricos encontram-se no Quadro 20. À semelhança do experimento 1, os menores valores estão nas menores alturas. Porém, todos os valores estão dentro de valores aceitáveis para um pulverizador pneumático.

Quadro 18 – Médias do SPAN para as diferentes alturas e índices volumétricos estudados na vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

Altura (m)	Índice Volumétrico L 1.000 m ⁻³		
	27,0	20,8	12,8
21	1,27	1,30	1,14
18	1,04	1,14	0,85
15	1,09	1,20	1,15
12	0,99	1,17	1,15
9	0,77	0,89	1,05
6	1,01	0,80	1,26
3	0,92	0,79	0,80

Quadro 19 – Resumo da análise de variância do SPAN do experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	0,03598254 ^{NS}
Volume	2	0,009125397 ^{NS}
Erro (A)	4	0,03482302
Altura	6	0,1724571 ^{**}
Altura*volume	12	0,05825873 ^{NS}
Resíduo	36	0,04571693

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 20,6%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ^{**} Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 20 – Valores médios do SPAN nas diferentes alturas, para a vazão de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

Altura (m)	SPAN
21	1,2367 ^A
15	1,1456 ^{AB}
12	1,1022 ^{AB}
6	1,0233 ^{AB}
18	1,0100 ^{AB}
9	0,9044 ^B
3	0,8356 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.5. Coeficiente de homogeneidade (CH)

O coeficiente de homogeneidade é a relação entre o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e o diâmetro da mediana numérica (DMN) e fornece mais uma referência da homogeneidade das gotas pulverizadas.

O Quadro 21 apresenta os valores médios do coeficiente de homogeneidade para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas, utilizando-se a vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹ no ventilador, no experimento 1. O resumo da análise de variância da variável coeficiente de homogeneidade está no Quadro 22.

O teste de média para o CH em relação à altura está no Quadro 23, experimento 2. De forma semelhante ao estudo do SPAN, os menores valores estavam nas menores alturas, e uma das prováveis explicações é, também, o fato de o jorro desse pulverizador ser direcional e estar regulado para maiores alturas.

O Quadro 24 apresenta os valores médios do Coeficiente de Homogeneidade (CH) para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas, utilizando-se a vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ no ventilador (experimento 2).

Quadro 21 – Média do CH para as diferentes alturas e índices volumétricos estudados, na vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹ (experimento 1)

Altura (m)	Índice Volumétrico L 1.000 m ⁻³		
	27,0	20,8	12,8
21	1,91	1,52	1,81
18	2,68	1,58	3,06
15	1,69	2,13	2,34
12	2,66	1,86	2,17
9	2,48	2,41	1,91
6	2,95	1,98	2,25
3	2,33	2,86	3,60

Quadro 22 – Resumo da análise de variância do CH do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	0,9812302 ^{NS}
Bloco	2	0,5318397 ^{NS}
Erro (A)	4	0,3020921
Altura	6	1,201051*
Altura*volume	12	0,6700116 ^{NS}
Resíduo	36	0,4497542

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 29,2%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 23 – Valores médios do CH para as diferentes alturas, na vazão de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

Altura (m)	CH
21	2,93 ^A
6	2,44 ^{AB}
18	2,39 ^{AB}
15	2,26 ^{AB}
12	2,23 ^{AB}
9	2,05 ^{AB}
3	1,74 ^B

As médias seguidas pela mesma letra não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 24 – Médias do CH para as diferentes alturas e índices volumétricos estudados na vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

Altura (m)	Índice Volumétrico L 1.000 m ⁻³		
	27,0	20,8	12,8
21	2,59	2,08	1,58
18	2,57	2,19	1,41
15	2,09	2,24	1,92
12	1,75	2,54	2,14
9	1,85	1,65	2,00
6	1,75	1,38	2,54
3	1,49	1,58	2,82

O Quadro 25 apresenta o resumo da análise de variância do experimento 2. As médias da interação volume x altura diferenciaram entre si, a 1%.

Quadro 25 – Resumo da análise de variância do CH no experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	0,003663492 ^{NS}
Volume	2	0,06172540 ^{NS}
Erro (A)	4	0,2945873
Altura	6	0,1181143 ^{NS}
Altura*volume	12	0,8509698**
Resíduo	36	0,1433553

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 18,85%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

A comparação das médias do CH para cada altura avaliada dentro dos três índices volumétricos está no Quadro 26. Para os índices volumétricos de 27 e 20,8 L 1.000 m⁻³ de dossel, os menores valores foram encontrados nas menores alturas. Também nesse experimento, os menores valores estão nas menores alturas.

Quadro 26 – Valores médios do CH para os Índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m⁻³ de copa, na vazão de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	1.49 ^B	1.75 ^{AB}	1.85 ^{AB}	1.75 ^{AB}	2.09 ^{AB}	2.57 ^A	2.59 ^A
20,2	1.58 ^{AB}	1.38 ^B	1.65 ^{AB}	2.54 ^A	2.24 ^{AB}	2.19 ^{AB}	2.08 ^{AB}
12,8	2.82 ^A	2.54 ^{AB}	2.00 ^{ABC}	2.14 ^{ABC}	1.92 ^{ABC}	1.41 ^C	1.58 ^{BC}

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.6. Volume de calda depositada

Para a análise do volume de calda acumulado, utilizou-se a adição do traçador Azul Brilhante (FD&C Blue n.º 1), numa concentração de 2 g de traçador por litro de água. Foram feitas leituras de absorvância no espectrofotômetro de parte dessa calda e determinada a curva de calibração (Figura 5) da concentração de corante utilizada, obtendo-se a equação (3).

$$Y = 0,003304x + 1,38E-05 \quad (3)$$

em que:

x = leitura da absorvância no espectrofotômetro (nm); e

y = calda na solução (%).

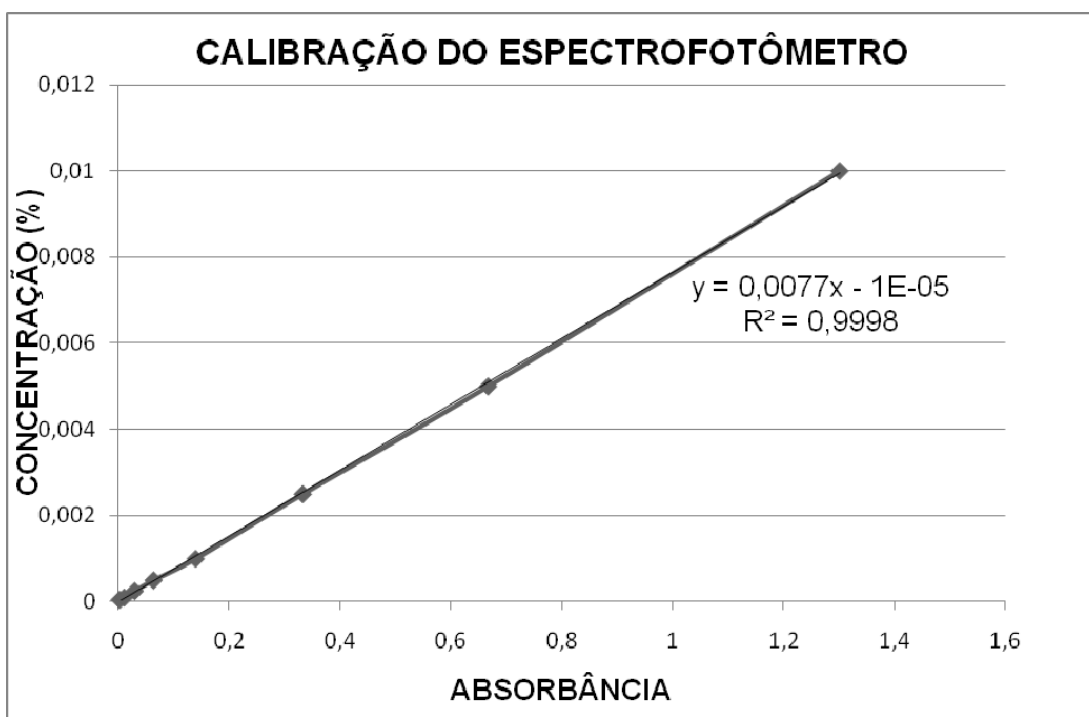


Figura 5 – Curva de calibração do espectrofotômetro.

Os Quadros 27 e 28 apresentam as análises de variância dos experimentos 1 e 2, respectivamente, para o volume de calda acumulado na folha em $\mu\text{L cm}^{-2}$.

Em ambos os casos, o volume de aplicação de calda, a altura analisada e a interação entre as variáveis altura x volume apresentaram diferenças significativas. Nos Quadros 27 e 28 estão demonstradas as médias e significâncias obtidas pelo teste de Tukey.

Os maiores valores, semelhante aos parâmetros observados anteriormente, estão nas alturas de 15 e 18 m. Nesse caso, os valores variam entre 2,1 e 4,1 $\mu\text{L cm}^{-2}$, para os índices volumétricos de 27 e 20,2 L 1.000 m^{-3} de copa nas duas vazões de ar estudadas (experimentos 1 e 2). Esses valores vêm corroborar os resultados de Ramos et al. (2007) quando pulverizaram citros com pulverizador hidropneumático. Conforme observado, os valores obtidos para o menor índice volumétrico (12,8 L 1.000 m^{-3}) apresentaram-se baixos em todas as alturas do experimento 1, resultado semelhante ao do experimento 2, com exceção da altura de 12 m (Quadros 29 e 30).

Quadro 27 – Análise de variância da variável volume de calda acumulada no experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Total	62	
Total de redução	26	7,240724
Bloco	2	0,6445904 ^{NS}
Volume	2	28,67522**
Erro(A)	4	0,6605462
Altura	6	7,285291**
Altura*volume	12	6,938772**
Resíduo	36	0,4003559

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 45,7%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 28 – Análise de variância da variável volume de calda acumulada no experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	0,00124141 ^{NS}
Volume	2	2,851496**
Erro(A)	4	0,2818742
Altura	6	11,49575**
Altura*volume	12	7,490013**
Resíduo	36	1,001478

Coeficiente de variação da subparcela (Altura)= 66,4%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 29 – Valores médios do volume de calda depositada para os índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m³ de copa, pelo teste de Tukey, na vazão de 11.300 m³h⁻¹ (experimento 1)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	0,13 ^D	0,13 ^D	0,64 ^{CD}	1,89 ^C	3,55 ^B	4,76 ^{AB}	6,23 ^A
20,2	0,98 ^{BC}	0,49 ^C	1,34 ^{BC}	3,21 ^A	2,10 ^{AB}	2,36 ^{AB}	0,17 ^C
12,8	0,09 ^A	0,17 ^A	0,17 ^A	0,06 ^A	0,23 ^A	0,12 ^A	0,21 ^A

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 30 – Valores médios do volume de calda depositada para os índices volumétricos (IV), em L 1.000⁻¹m³ de copa, pelo teste de Tukey, na vazão de 13.250 m³h⁻¹ (experimento 2)

IV	Altura (m)						
	3	6	9	12	15	18	21
27,0	0,19 ^C	0,30 ^C	0,23 ^C	1,21 ^{BC}	2,85 ^{AB}	3,63 ^{AB}	4,06 ^A
20,2	0,23 ^B	0,00 ^B	0,09 ^B	2,51 ^{AB}	3,70 ^A	3,59 ^A	1,45 ^{AB}
12,8	0,01 ^B	0,03 ^B	2,23 ^B	4,78 ^A	0,52 ^B	0,04 ^B	0,01 ^B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, chegou-se às seguintes conclusões:

- Nos dois experimentos, independentemente das diferentes vazões de ar, todas as condições avaliadas apresentaram densidade de gotas e DMV satisfatórios para pulverização em elevadas alturas.
- Nos parâmetros porcentagem de cobertura e volume de calda depositada, os melhores resultados ocorreram nos volumes de 27 e 20,2 L de calda por 1.000 m³ de copa, independentemente da vazão de ar utilizada.
- Nos parâmetros analisados, o índice volumétrico de 20,2 L 1.000 m⁻³ de dossel foi o indicado para aplicação nas alturas estudadas.
- O pulverizador utilizado mostrou-se eficiente para aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto.

5. REFERÊNCIAS

BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulvérisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160 p.

BAYAT, A.; ZEREN, Y.; ULUSPY, M. R. Spray deposition with conventional and electrostatically-charged spraying in citrus trees. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America**, v. 25, n. 4, p. 35-39, 1994.

CHAIM, A. **História da pulverização**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA/CNPMA, 1999. 17 p.

CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999.

EWING, G. W. **Métodos instrumentais de análise química**. 6. ed. São Paulo: Editora Afiliada, 1996. 296 p.

FAROOQ, M.; LANDERS, A. J. **Interactive effects of air, liquid and canopies on spray patterns of axial-flow sprayers**. St. Joseph, MI: ASAE, 2004. (Paper, 1001).

FERREIRA, M. C. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para o controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (g., 1939) em citros**. 2003. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2004.

FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A. A history of air-blast sprayer development and future prospects. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 2, p. 405-410, 2008.

KNEWITZ, H.; WEISSER, P.; KOCH, H. Drift-reducing spray application in orchards and biological efficacy of pesticides. **Aspects of Applied Biology**, p. 231-236, 2002.

KONNO, R. H.; FRANCO, C. R.; OMOTO, C. Suscetibilidade de populações de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) a acaricidas organoestânicos em citros. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 703-709, 2001.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal Electrostatics**, v. 51/52, p. 25-42, 2001.

MAGDALENA, J. C. **Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidropneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh)**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Espanha, 2004.

MAGNO JÚNIOR, R. G. **Desenvolvimento de sistema eletrônico para pulverização e atração de gotas em plantas cítricas**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MARTI, S. P.; POLO, J. R. R.; MOYA, E. G.; MONTEROLA, L. V.; ESCOLA, A. **Optimizing pesticide spray application in tree crops**. St. Joseph, MI: ASABE, 2006. (Paper, 1128).

NUYTTENS, A. D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCKA, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, p. 333-345, 2007.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J. L. **Técnica de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1989. 641 p.

PAI, N.; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. **Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density**. St. Joseph, MI: ASAE, 2008. (Paper, 3653).

PROKOP, M.; KEJKLÍČEK, R. Effect of adjuvants on spray droplet size of water. **Research in Agricultural Engineering**, v. 48, p. 144-148, 2002.

RAETANO, C. G.; SCUDELER, F.; BAUER, F. C.; VENEGAS, F.; VINCHI, R. R. Avaliação da cobertura de pulverização com diferentes equipamentos e condições operacionais na cultura do café. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí, SP: Instituto Agrônomo, Centro de Mecanização e Automação Agrícola, 2001. 6 p.

RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORREA, I. M.; BASSANESSI, R. B.; GARCIA, L. C. Características da pulverização e citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 56-65, 2007.

RODRIGUES, G. J. **Critérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

RUAS, R. A. A. **Tecnologia de aplicação de glyphosate para certificação de produtos agrícolas**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.

SKOOG, A. D.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 835 p.

TSAY, J.; FOX, R. D.; OZKAN, H. E.; BRAZEE, R. D.; DERKSEN, R. C. Evaluation of a pneumatic–shielded spraying system by CFD simulation. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 1, p. 47-54, 2002.

VLADISAVLJEVIC, G. T.; SCHUBERT, H. Influence of process parameters on droplet size distribution in SPG membrane emulsification and stability of prepared emulsion droplets. **Journal of Membrane Science**, v. 225, p. 15-23, 2003.

WOMAC, A. R.; HART, W. E.; MAYNARD II, R. A. Drop spectra for pneumatic atomizers at low discharge rates. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 4, p. 941-949, 1998.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO PARA A APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS EM PLANTAS DE EUCALIPTO

RESUMO

O equipamento em estudo direcionava o jato de ar verticalmente e foi projetado para aplicação de fitossanitários nas copas de eucaliptos adultos, com alturas superiores a 20 m. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, no Município de Viçosa, MG. Objetivou-se determinar a potência demandada e as vazões de ar do pulverizador pneumático adaptado, considerando a pressão de ar proporcionada pelo ventilador, a velocidade de saída do ar, a potência demandada no eixo cardan e o espectro de gotas, em relação à distância do alvo durante a pulverização. Nas condições em que o experimento foi conduzido, o pulverizador mostrou-se eficiente para aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto. Observou-se que o aumento da rotação do eixo elevou em 28% a velocidade do ar e em 38% a potência necessária para o acionamento do pulverizador. A diminuição da vazão de calda reduziu o alcance máximo do pulverizador, assim como diminuiu os valores de DMV, porcentagem de cobertura e densidade de gotas numa mesma distância do pulverizador. A vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obtida utilizando $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ na TDP é indicada para pulverizações de até 30 m de distância do pulverizador.

1. INTRODUÇÃO

Os pulverizadores pneumáticos são constituídos de ventiladores centrífugos dotados de rotores de pás retas que produzem um jato de ar com alta velocidade. Originalmente, esses pulverizadores foram projetados para aplicações em lavouras com plantas de portes médio e baixo, com o jato de ar lançado na horizontal.

O equipamento em estudo direcionava o jato de ar na vertical, condição necessária em áreas de reflorestamento de eucaliptos adultos com copas, muitas vezes, acima de 20 m de altura.

A pulverização é obtida pelo choque da calda, que escoia sob baixa pressão, com a corrente de ar, em alta velocidade. Essa corrente de ar proporciona o fracionamento do líquido e seu transporte até o alvo (RICHEY et al., 1961). Além desse fato, a corrente de ar é responsável pela retirada da massa de ar do interior do dossel das plantas, para permitir a entrada da massa de ar que contém as gotas.

O uso de pulverizadores pneumáticos e hidropneumáticos apresenta alto grau de ineficiência, uma vez que há excesso de aplicação de fitossanitário nas partes baixa e externa das árvores, enquanto há subaplicação de produto nas partes superior e interna dessas plantas, estando a ineficiência nos seguintes aspectos:

a) A velocidade de ar na saída do ventilador cai rapidamente com a distância percorrida. Esse aspecto é de fundamental importância, já que a

capacidade de transporte de fluxo de ar vai depender da distância que tem de percorrer (REICHARD et al., 1977).

- b) Por se tratar de árvores de formas e tamanhos diferentes, as gotas estão sujeitas às condições climáticas por mais tempo quando comparadas com as culturas baixas. Esse efeito é mais evidente na parte superior das árvores, onde as gotas ficam mais sujeitas à deriva e evaporação. Essas perdas são evidenciadas à medida que aumenta a temperatura e diminuem os diâmetros de gotas e a umidade do ar (MAGDALENA, 2004).
- c) Impossibilidade de fixar vazões ótimas de ar para transporte e penetração das gotas nas árvores que dependem de vários fatores externos, como tipo de copa, velocidade de avanço do equipamento, condições climáticas e outras, conforme descreveu Magdalena (2004).

A má distribuição do produto fitossanitário na árvore pode favorecer o aparecimento de formas resistentes da praga ou doença e, conseqüentemente, a baixa eficácia de controle do problema. Assim, o projeto de pulverizadores que viessem a minimizar tais ineficiências dos pulverizadores tradicionais poderia contribuir para o controle de tais doenças e pragas, diminuição dos custos de aplicação, melhoria na saúde dos aplicadores e consumidores, contribuindo, também, com a menor contaminação ambiental, uma vez que seria possível diminuir as doses de aplicação e as perdas do produto por deriva (MAGDALENA, 2004).

Os métodos tradicionais de aplicação de fitossanitários geralmente utilizam excesso de produto para garantir a eficácia da pulverização, e a redução de volume a ser aplicado aumentaria a capacidade operacional dos pulverizadores (HARDI, 1993).

Para boa aplicação da calda e, conseqüentemente, sua boa distribuição na planta, fatores como tamanho e forma da planta, densidade da copa, deriva, tamanho das gotas, volume da calda, velocidade de deslocamento do conjunto trator/pulverizador, vento e tipo de equipamento deverão ser considerados (RAETANO et al., 2001; SCUDELER et al., 2004; ORTIZ-CAÑAVATE et al., 1984).

Cross et al. (2001), avaliando três DMV (156, 198 e 237 μm), concluíram que o tamanho de gota não afeta significativamente a qualidade

de distribuição do produto em macieiras quando se utilizou um pulverizador hidropneumático tradicional. Porém, observaram que as gotas finas tenderiam à maior eficiência biológica, enquanto as grossas tenderiam à menor perda por deriva.

Segundo Ortiz-Cañavate et al. (1984), entretanto, as gotas finas são facilmente carregadas pelo vento ou são evaporadas durante o percurso quando em condições de baixa umidade relativa do ar, o que faz da pulverização pneumática ser influenciada pelas condições ambientais.

Magdalena (2004), avaliando a potência demandada por pulverizadores hidropneumáticos tradicionais e de fluxo transversal, observou que as potências totais demandadas pelos dois foram de 10,35 kW e 10,18 kW na TDP, respectivamente.

Ruas et al. (2003) estudaram a uniformidade de distribuição de líquido de aplicação produzido por um pulverizador pneumático, tipo canhão. O estudo foi realizado com vazões de calda variando de 4,64 a 8,97 L min⁻¹, considerando-se a soma dos dois bocais (superior e inferior). O alcance máximo obtido variou de 23,5 m para a vazão de 4,64 L min⁻¹ a 32,5 m para a vazão de 8,97 L min⁻¹, com grande variação do volume de líquido em relação à distância de aplicação, conforme mostrado na Figura 1.

Rodrigues (2005) estudou a relação do espectro de gotas na eficiência de inseticidas utilizando pulverizador hidropneumático. O referido autor concluiu que os parâmetros diâmetro da mediana numérica (DMV) e a densidade de gotas por cm² influenciam a mortalidade de insetos, descrevendo a equação:

$$E = 57,56327 + 0,17112D + 0,01759DMV \quad R^2 = 0,41$$

em que:

E = mortalidade causada pelo inseticida (%);

D = densidade de gotas (gotas cm⁻²); e

DMV = diâmetro da mediana volumétrica (µm).

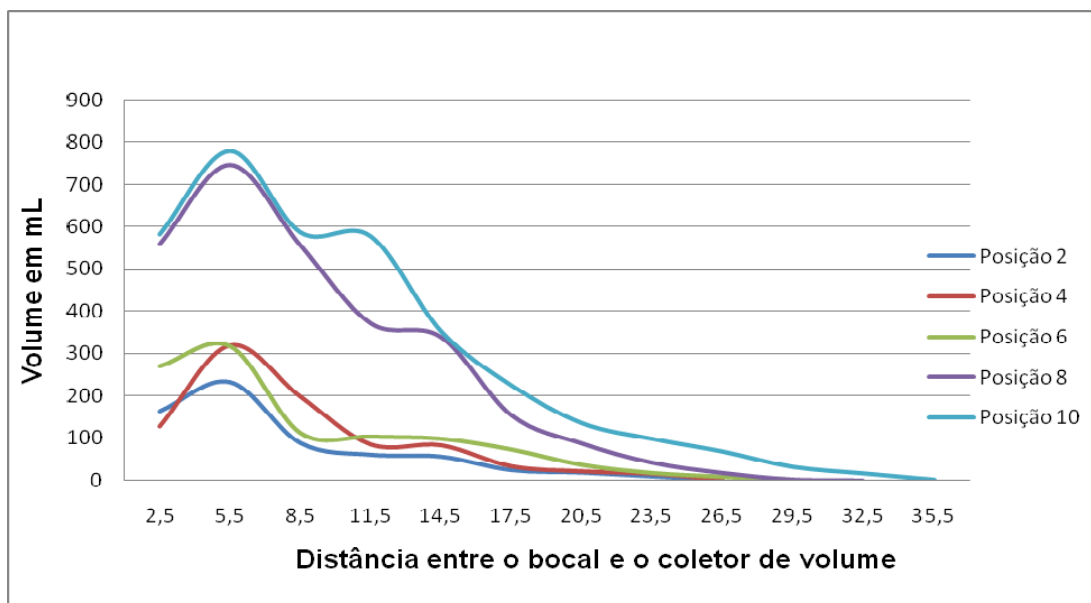


Figura 1 – Perfil de distribuição de líquido do pulverizador pneumático tipo canhão em diferentes posições de abertura do registro do comando da válvula reguladora de pressão.

Fonte: RUAS et al., 2003.

O objetivo deste trabalho foi ensaiar um pulverizador pneumático, considerando-se a pressão de ar proporcionada pelo ventilador, a velocidade de saída do ar, a potência demandada no eixo cardan e o espectro de gotas, em relação à distância do alvo durante a pulverização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização do ensaio

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no Município de Viçosa, MG. O objetivo foi determinar a potência demandada e as vazões de ar do pulverizador pneumático, da marca Jacto, com o objetivo de pulverizar as copas de eucaliptos adultos (*Eucalyptus grandis*), com alturas superiores a 20 m. Utilizou-se um trator Valtra 800, com 86 cv de potência no motor, para o acionamento do pulverizador,

O pulverizador possuía um tanque de polietileno de 600 L, bomba centrífuga com capacidade para 150 L min⁻¹ e vazão de ar de 9.000 m³ h⁻¹, conforme o manual do fabricante (JACTO, 2002).

Um tubo homogeneizador de fluxo de ar e controlador da vazão através de uma válvula cônica na saída foi construído para determinação das pressões estática e dinâmica (Figura 2).

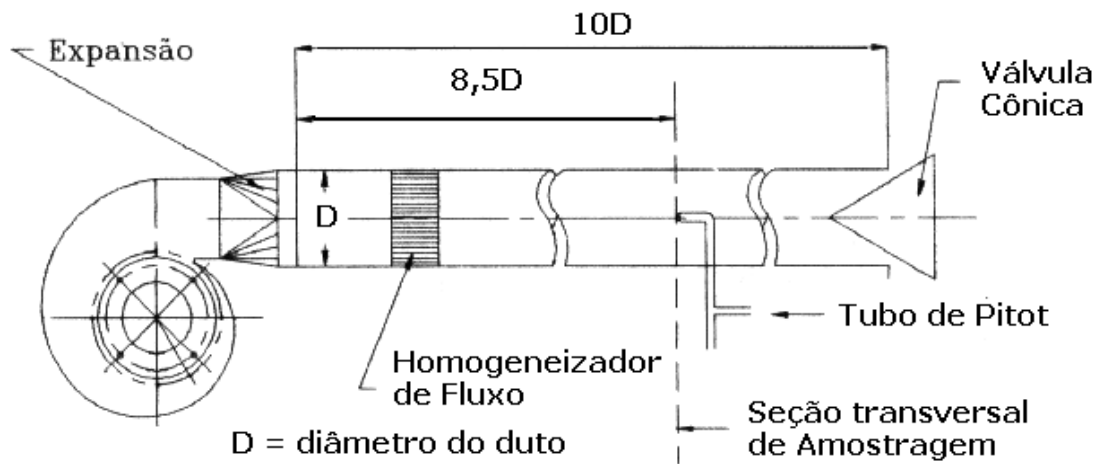


Figura 2 – Estrutura para teste de ventiladores centrífugos.
 Fonte: MESQUITA et al., 1985.

O referido tubo foi acoplado na saída do pulverizador pneumático, no qual foi instalado um tubo de Pitot, conforme Figuras 3 e 4.

As pressões estática e total foram coletadas em seis posições do tubo homogeneizador (Tabela 1 e Figura 5), em pontos onde as seções tinham áreas semelhantes, utilizando a equação (1), como descrito por Mesquita et al. (1985):

$$L_N = d \sqrt{\frac{2n-1}{4N}} \quad (1)$$

em que:

L_N = posição do tubo de Pitot a partir da borda do tubo homogeneizador;

N = número de leituras;

N = enésima área, contada a partir do centro; e

D = diâmetro do tubo (mm).



Figura 3 – Pulverizador e tubo homogeneizador.



Figura 4 – Tubo de Pitot e coluna d'água graduada.

Tabela 1 – Posições para coleta das amostras

Amostras	Posição do Tubo Homogeneizador em Relação à Distância do Tubo de Pitot (LN)
1	0,044D
2	0,147D
3	0,294D
4	0,706D
5	0,853D
6	0,956D

D é o diâmetro do tubo homogeneizador.

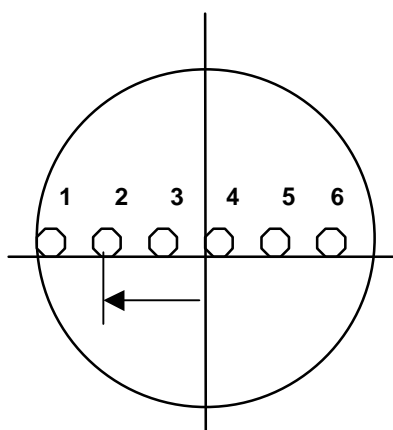


Figura 5 – Corte da seção transversal do duto com as posições de instalação do tubo de Pitot.

A colocação do tubo de Pitot foi feita considerando as recomendações descritas por Mesquita et al. (1985).

A pressão dinâmica do ventilador (PD) é a pressão cinética correspondente à velocidade média do ar na saída do duto e obtida subtraindo a pressão total obtida no tubo de Pitot, da pressão estática, ambas medidas com o tubo de Pitot e determinadas a partir de uma tomada de pressão na parede do tubo homogeneizador.

Calculada a pressão cinética (P_{cin}) em cada ponto de coleta, calculou-se a velocidade de ar naquele ponto de seção transversal através da equação (2).

$$v = \sqrt{2 \times g \times P_{CIN}} \quad (2)$$

em que:

v = velocidade do ar ($m s^{-1}$);

P_{CIN} = pressão cinética (Pa); e

G = aceleração da gravidade ($m s^{-2}$).

Como a velocidade varia na seção, calculou-se a média e, com essa média, a vazão, pela equação (3).

$$Q_m = v_{med} \times A \quad (3)$$

em que:

Q_m = vazão média do ar ($m^3 s^{-1}$);

v_{med} = velocidade média do ar ($m s^{-1}$); e

A = área da seção transversal do tubo homogeneizador (m^2).

As pressões foram medidas para cada uma das sete diferentes posições da válvula cônica na saída do tubo homogeneizador, conforme Tabela 2, e em quatro diferentes rotações do eixo da TDP, sendo $33,5 \text{ rad s}^{-1}$ (320 rpm), $45,0 \text{ rad s}^{-1}$ (430 rpm), $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) e $68,0 \text{ rad s}^{-1}$ (650 rpm). A rotação-padrão de $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) foi obtida a 1.900 rpm do motor do trator e as demais, a 1.120, 1.600 e 2.200 rpm, respectivamente.

Tabela 2 – Posição do cone

1	Totalmente aberta
2	22 cm da borda
3	17 cm da borda
4	12 cm da borda
5	7 cm da borda
6	3 cm da borda
7	Totalmente fechada

Para cada uma das sete posições da válvula cônica foi determinada a potência demandada para o acionamento do pulverizador. Essa potência foi obtida instalando-se, entre a tomada de potência do trator (TDP) e o eixo cardan, um torquímetro eletrônico marca Omega modelo TQ501-10K com torque de 1.130 mN e rotação de 600 rpm, para obtenção do torque necessário para acionar o pulverizador.

Foi instalado, também, um sensor indutivo marca Sense, modelo PS5-18GI50-E, para determinação da rotação do eixo cardan. Esses sensores estiveram ligados ao sistema de aquisição de dados Spider8 da empresa HBM, para o condicionamento do sinal, e este a um notebook para o armazenamento dos dados. O controle dos canais e tratamentos inicial dos dados, feito pelo sistema de aquisição de dados, foi realizado pelo software CATMAN.

A potência demandada para o acionamento do eixo cardan foi calculada pela equação (4).

$$P = \frac{2\pi \times n \times T}{60000} \quad (4)$$

em que:

P = potência demandada para o acionamento do pulverizador (kW);

N = rotação do eixo cardan (rpm); e

T = torque no eixo cardan (mN).

A determinação das pressões estática e cinética, da velocidade do ar e da pressão total ocorreu conforme mostrado nas Figuras 6, 7 e 8.

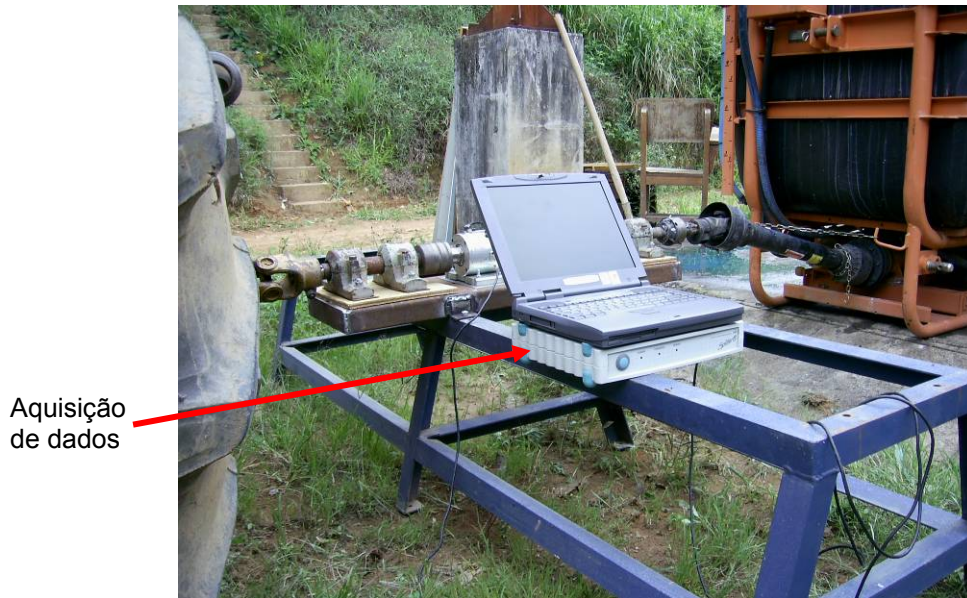


Figura 6 – Equipamentos de aquisição dos dados de torque e rotação.

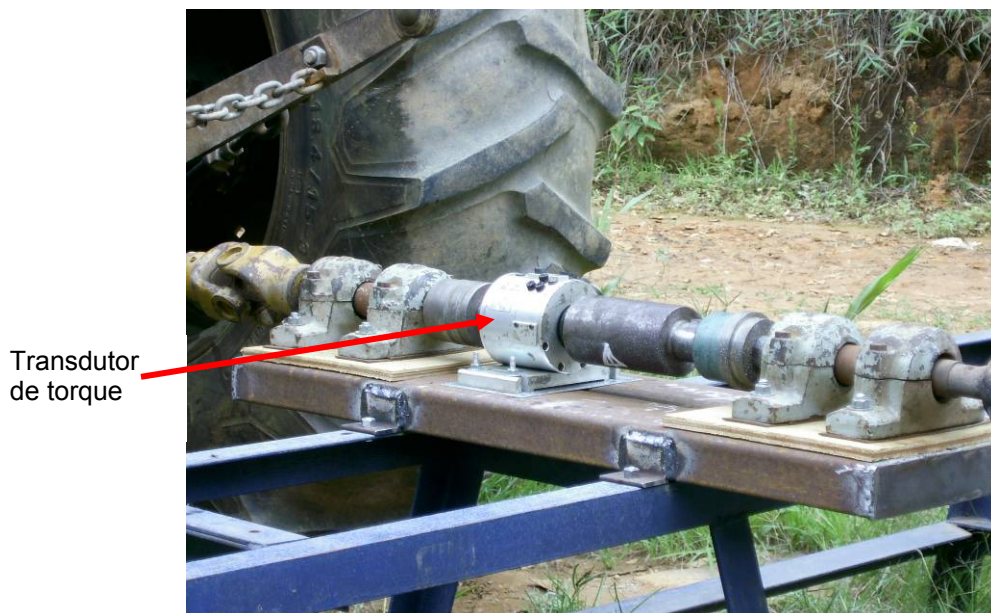


Figura 7 – Transdutor de torque instalado entre o trator e o pulverizador.



Figura 8 – Vista geral da bancada de aquisição de dados e pulverizador.

2.2. Velocidade do jato de ar e seu alcance ao longo da distância

Para determinação da variação da velocidade do ar a partir da saída do ventilador, foi necessária a utilização de uma estrutura que permitisse o acionamento do sistema de ventilação, sem a necessidade de o ventilador estar acoplado ao sistema de levantamento hidráulico do trator. Dessa forma, foi possível movimentar em 90° o pulverizador, lançando o jato paralelo ao solo. Utilizando um anemômetro de fio quente, determinou-se a velocidade do ar a cada 3 m, a partir do tubo de saída de ar do ventilador.

Usando a linha central do pulverizador, determinou-se, também, a distância máxima das laterais desses pontos, onde ainda havia vento proveniente do ventilador, determinando-se, assim, o perfil do cone de ar gerado pelo equipamento.

2.3. Espectro de gotas em função da vazão de ar e da vazão de calda e seu alcance ao longo da distância

Para determinação do espectro de gotas, o pulverizador trabalhou deslocado em 90° da sua posição normal, permitindo, assim, lançar o jato pulverizado paralelo ao solo.

Foram demarcadas posições de 5 em 5 m a partir do tubo de saída do pulverizador. Utilizaram-se quatro velocidades de ar (25,1 m s⁻¹; 32,1 m s⁻¹; 41,1 m s⁻¹; e 52,6 m s⁻¹), obtidas usando, respectivamente, 33,5 rad s⁻¹ (320 rpm), 45,0 rad s⁻¹ (430 rpm), 56,5 rad s⁻¹ (540 rpm) e 68,0 rad s⁻¹ (650 rpm) no eixo cardan da TDP e três vazões de calda, 12,0 L min⁻¹; 17,9 L min⁻¹; e 25,1 L min⁻¹.

Para a análise do espectro de gotas, foram utilizadas etiquetas de papel hidrossensível e coletadas três amostras em cada posição demarcada no solo, a partir do ponto onde as etiquetas não ficassem totalmente cobertas até o ponto em que ainda chegavam gotas.

Posteriormente, as etiquetas foram digitalizadas e analisadas com o auxílio do software "Image Tools", determinando-se DMV, porcentagem de cobertura e densidade de gotas por cm².

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Pressão estática, dinâmica, vazão e velocidade do ar

As determinações foram feitas em quatro rotações diferentes do eixo cardan do pulverizador: $33,5 \text{ rad s}^{-1}$ (320 rpm), $45,0 \text{ rad s}^{-1}$ (430 rpm), $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) e $68,0 \text{ rad s}^{-1}$ (650 rpm), que corresponderam a 1.120, 1.600, 1.900 e 2.200 rpm no motor do trator. Os resultados de pressão estática (PE) e pressões dinâmicas (PD) – ambos em Pascal (Pa) –, velocidade do ar, em m s^{-1} e vazões de ar, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, das quatro rotações são apresentados no Quadro 1.

Pode-se observar que as velocidades variaram de 0 a 25 m s^{-1} , obtendo vazões entre 0 e $6.346 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Em relação às pressões, observou-se que a pressão estática variou de 29 Pa com o cone totalmente aberto a 686 Pa com o cone fechado. Como já era previsto, a pressão dinâmica aumentou com a abertura do cone, obtendo valores entre 0 e 372 Pa. Os valores estão ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores de velocidade do ar, pressões estáticas e dinâmicas e vazões do ar para 33,5 rad s⁻¹ (320 rpm) do eixo cardan do pulverizador

Posição do Cone	Velocidade do Ar (m s ⁻¹)	Vazão de Ar (m ³ h ⁻¹)	Pressão Estática (Pa)	Pressão Dinâmica (Pa)
Aberto	25,1	6.346	30	372
22	24,7	6.300	39	372
17	27,3	6.930	118	441
12	24,6	6.090	304	333
7	20,4	5.195	637	245
3	14,5	3.734	715	127
0	0,0		686	0

Para rotação de 45 rad s⁻¹ (430 rpm) do eixo cardan do pulverizador, a pressão estática variou de 78 Pa com o cone aberto até a pressão de 1.490 Pa para o cone totalmente fechado. A pressão dinâmica variou de 637 Pa com o cone aberto até 10 Pa com o cone totalmente fechado. Essa pressão deveria ser 0 Pa nessa situação. O valor de pressão dinâmica diferente de 0 Pa é devido à impossibilidade de vedar totalmente as saídas de ar. A própria metodologia estabelece que o tubo de Pitot determine as pressões estáticas e dinâmicas em seis pontos diferentes do tubo homogeneizador. A abertura necessária para a passagem do tubo de Pitot é um dos pontos prováveis desse erro.

Com os valores de pressões estáticas e dinâmicas, obtiveram-se os valores de velocidade do ar variando de 4 m s⁻¹ a 32,1 m s⁻¹ e vazões de 1.008 a 8.172 m³ h⁻¹. Tais valores estão apresentados no Quadro 2.

Utilizando a rotação-padrão do eixo cardan para uso de implementos na TDP de 56,5 rad s⁻¹ (540 rpm), obteve-se a pressão estática variando de 98 Pa com o cone aberto até 2.205 Pa com o cone fechado e a pressão dinâmica variando de 1.029 Pa com o cone aberto até 49 Pa com o cone fechado. Com esses valores, obtiveram-se os valores de velocidade de 41,1 m s⁻¹ e de vazão de 10.440 m³ h⁻¹ para o cone aberto e de 9 m s⁻¹ e 2.268 m³ h⁻¹ para o cone fechado. Conforme citado na avaliação anterior, os valores de velocidade, vazão e pressão dinâmica deveriam ser 0, mas com o

aumento da pressão estática devido à maior rotação do ventilador, esses pontos de fuga de ar ficam mais evidentes. Os valores estão apresentados no Quadro 3.

O Quadro 4 apresenta os dados para a rotação de 68 rad s^{-1} (650 rpm) na tomada de potência (TDP), condição de rotação em que o pulverizador também foi avaliado em campo.

Quadro 2 – Valores de velocidade do ar, pressões estáticas e dinâmicas e vazões do ar para 45 rad s^{-1} (430 rpm) do eixo cardan do pulverizador

Posição do Cone	Velocidade do Ar (m s^{-1})	Vazão de Ar ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Pressão Estática (Pa)	Pressão Dinâmica (Pa)
Aberto	32,1	8.172	78	637
22	33,3	8.424	88	669
17	33,0	8.388	157	666
12	34,3	8.712	284	715
7	27,5	6.984	764	461
3	16,5	4.212	1.313	167
0	4,0	1.008	1.490	10

Quadro 3 – Dados de velocidade do ar, pressões estáticas e dinâmicas e vazões do ar para $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) do eixo cardan do pulverizador

Posição do Cone	Velocidade do Ar (m s^{-1})	Vazão de Ar ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Pressão Estática (Pa)	Pressão Dinâmica (Pa)
Aberto	41,10	10.440	98	1.029
22	39,50	10.008	108	948
17	40,96	10.440	186	1.029
12	41,30	10.512	412	1.029
7	32,70	8.316	1.137	647
3	19,90	5.076	1.862	240
0	9,00	2.268	2.205	49

Quadro 4 – Valores de velocidade do ar, pressões estática e dinâmica e vazões do ar para 68 rad s⁻¹ (650 rpm) do eixo cardan do pulverizador

Posição do Cone	Velocidade do Ar (m s ⁻¹)	Vazão de Ar (m ³ h ⁻¹)	Pressão Estática (Pa)	Pressão Dinâmica (Pa)
Aberto	52,64	13.392	147	1.676
22	49,30	12.528	137	1.487
17	46,90	11.916	245	1.331
12	48,50	12.348	568	1.441
7	38,50	9.792	1.568	902
3	23,00	5.832	2.519	323
0	9,90	2.520	3.038	59

Nessa rotação de trabalho do eixo cardan do pulverizador, as pressões estáticas variaram de 147 Pa para o cone aberto até 2.520 Pa para o cone totalmente fechado; as pressões dinâmicas variaram de 1.676 Pa para o cone aberto até 59 Pa para o cone totalmente fechado. Com esses valores, obtiveram-se velocidade máxima de 52,6 m s⁻¹ e vazão máxima de 13.392 m³h⁻¹. Os dados estão apresentados no Quadro 4.

3.2. Potência demandada

O Quadro 5 apresenta os resultados do ensaio para determinação da potência demandada no eixo cardan para o acionamento do ventilador do pulverizador. A potência máxima exigida para 56,5 rad s⁻¹ (540 rpm) foi de 18,5 kW.

Utilizando rotação maior do eixo cardan e, conseqüentemente, maior vazão e velocidade de ar, a potência máxima foi de 30,4 kW. O acréscimo de 65% na potência proporcionou aumento de 27% na velocidade do ar, elevando-a de 41,1 ms⁻¹ para 52,2 m s⁻¹.

A Figura 9 apresenta o comportamento da potência exigida pelo eixo cardan em função da vazão de ar nas rotações de 33,5 rad s⁻¹ (320 rpm), 45,0 rad s⁻¹ (430 rpm), 56,5 rad s⁻¹ (540 rpm) e 68,0 rad s⁻¹ (650 rpm).

Quadro 5 – Valores de potência demandada na TDP obtidos no ensaio do pulverizador pneumático

Posição do Cone	Rotação na TDP rad s ⁻¹ (RPM)	Velocidade do Ar (m s ⁻¹)	Potência Exigida (kW)
1	33,5 (320)	24,9	4,5
2	33,5 (320)	24,7	4,0
3	33,5 (320)	27,3	4,1
4	33,5 (320)	20,4	3,1
5	33,5 (320)	14,6	2,9
6	33,5 (320)	0,0	2,5
1	45,0 (430)	36,7	10,2
2	45,0 (430)	33,9	9,7
3	45,0 (430)	37,3	9,7
4	45,0 (430)	27,5	7,6
5	45,0 (430)	16,6	7,1
6	45,0 (430)	0,0	5,5
1	56,5 (540)	44,4	18,5
2	56,5 (540)	42,3	17,5
3	56,5 (540)	46,3	18,2
4	56,5 (540)	32,7	12,6
5	56,5 (540)	19,9	11,8
6	56,5 (540)	1,5	9,1
1	68,0 (650)	52,1	30,3
2	68,0 (650)	51,9	27,8
3	68,0 (650)	57,2	29,0
4	68,0 (650)	38,5	21,2
5	68,0 (650)	22,9	19,8
6	68,0 (650)	3,3	14,0

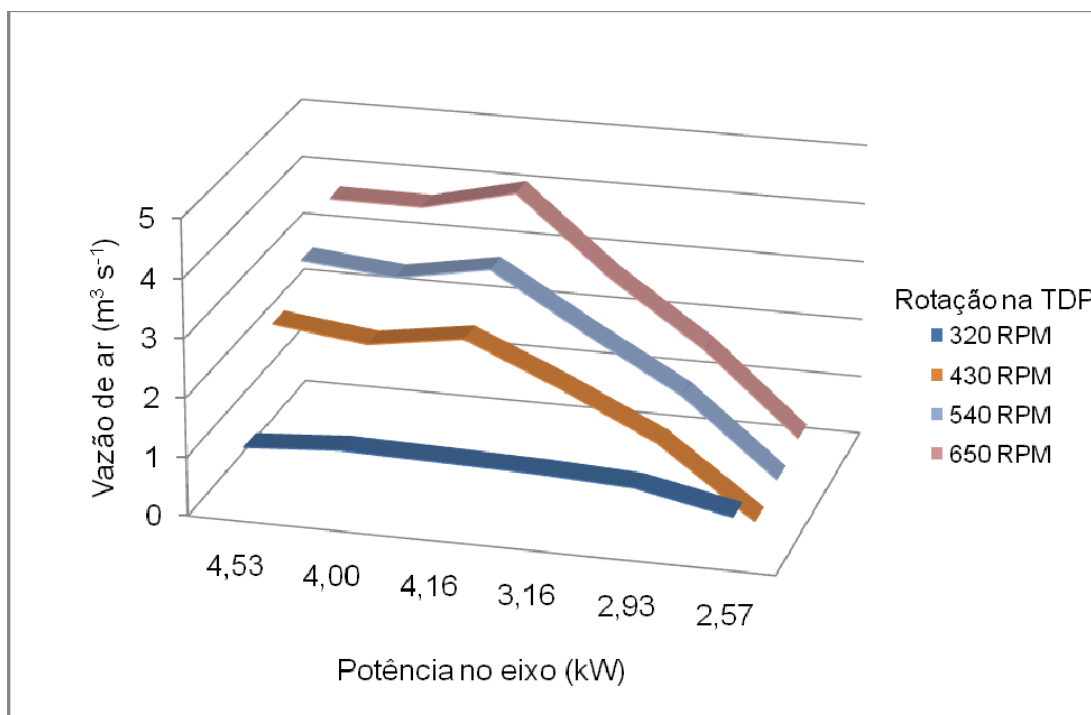


Figura 9 – Curvas da potência exigida em função da rotação da TDP, vazão de ar e potência no eixo cardan.

3.3. Velocidade do ar ao longo do jorro pulverizado

O estudo da velocidade do ar em função da distância do jorro possibilita determinar até que distância, a partir da saída do pulverizador, ainda se percebe a ação do vento produzido pelo ventilador.

Para $33,5 \text{ rad s}^{-1}$ (320 rpm) e $45,0 \text{ rad s}^{-1}$ (430 rpm), a maior distância onde ainda se percebe a ação do vento produzido pelo ventilador foi de 39 e 42 m, respectivamente. Para $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) e $68,0 \text{ rad s}^{-1}$ (650 rpm), a maior distância foi de 60 m.

Com esses dados, pode-se afirmar que a utilização de 68 rad s^{-1} (650 rpm) no eixo da TDP não apresentou ganho na distância alcançada pelo vento em relação a $56,6 \text{ rad s}^{-1}$, condição-padrão para uso de implementos utilizando TDP. Os valores de velocidade do vento em função da rotação do eixo da TDP são apresentados no Quadro 6 e na Figura 10.

A Figura 10 ilustra o comportamento da velocidade do ar em relação à distância do bocal de saída do ar.

Quadro 6 – Valores médios da velocidade do ar (m s^{-1}) ao longo do jorro proporcionado pelo ventilador

Distância	33,5 rad s^{-1}	45,0 rad s^{-1}	56,6 rad s^{-1}	68,0 rad s^{-1}
3	21,5	28,9	32,0	40,0
6	16,9	17,8	18,3	21,0
9	10,0	11,1	13,4	16,1
12	7,2	8,0	10,9	12,9
15	6,0	7,5	9,4	10,6
18	5,6	6,6	8,3	8,3
21	5,1	5,9	7,1	8,1
24	4,0	4,3	6,7	7,1
27	3,1	4,0	5,4	5,8
30	2,8	3,2	4,0	4,2
33	1,4	2,0	4,3	4,4
36	0,4	1,4	3,2	3,5
39	0,2	0,8	3,2	3,3
42		0,3	2,7	3,0
45			2,7	2,8
48			2,0	2,1
51			1,5	1,7
54			0,8	1,0
57			0,3	0,3
60			0,3	0,3

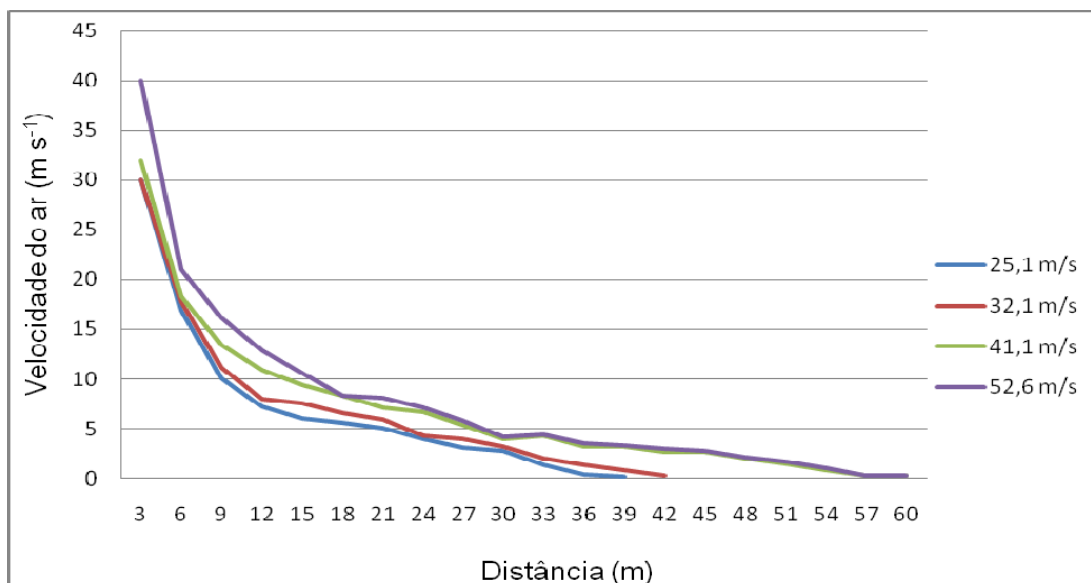


Figura 10 – Valores médios da velocidade do ar (m s^{-1}) em relação à distância alcançada pelo jorro de ar do pulverizador e rotação do eixo da TDP.

Na Figura 11, apresenta-se o perfil do jato de ar formado a partir do pulverizador. Nesse caso, foi determinada a posição em relação à linha central do pulverizador, onde ainda é percebida a passagem do vento. O perfil foi determinado até 30 m de distância do pulverizador, pois a partir desse ponto não é possível caracterizar com precisão a borda do jato de ar. Nessa posição, o jato de ar tem 12 m de largura e apresenta ângulo médio de 20° em relação ao centro do tubo de saída do pulverizador.

Considerando a média das árvores adultas de eucalipto e o objetivo do uso desse equipamento ser próximo a 24 m, o jato de ar tem largura de 5 m, o que caracteriza pequena dispersão do jorro de ar e, conseqüentemente, da calda a ser aplicada.

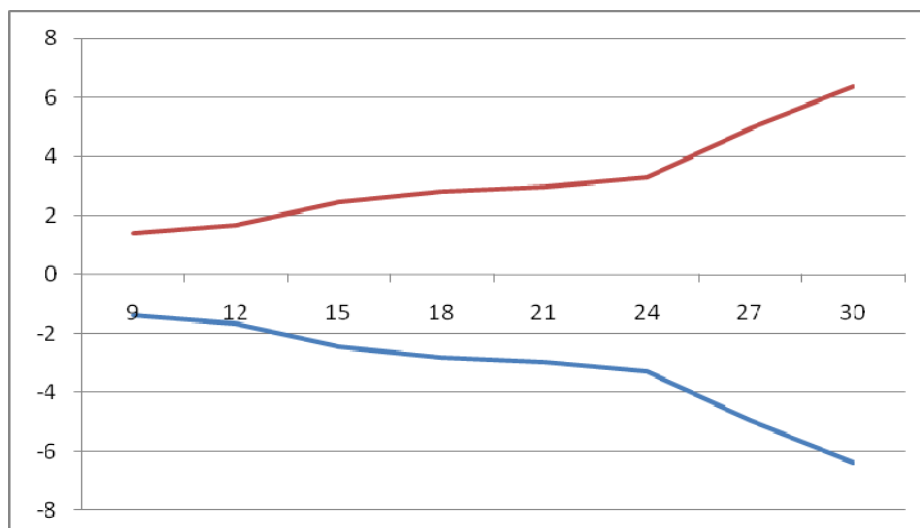


Figura 11 – Representação gráfica do jato de ar na saída do pulverizador.

3.4. Espectro de gotas ao longo do jorro de ar em função da distância, velocidade do ar e vazão de calda

Para a avaliação do espectro de gotas foram estudados a cobertura da etiqueta e a densidade e número de gotas por cm^2 . A coleta dos dados foi realizada com etiquetas de papel hidrossensível e foi coletada a partir de 15 m de distância do pulverizador até a máxima distância alcançada pelo jorro em cada tratamento.

O Quadro 7 apresenta a distância máxima obtida pelo jorro para cada velocidade de saída do ar e vazão de água.

As Figuras 12 a 15 apresentam as variações do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) nas quatro velocidades de saída do ar estudadas.

Como pode ser observado nas Figuras de 12 a 15, à medida que se afasta do pulverizador o DMV vai diminuindo. Essa diminuição está ligada à evaporação e deriva de gotas pequenas. Gotas inferiores a $150 \mu\text{m}$ têm grande probabilidade de não atingir o alvo, pelo fato da deriva e evaporação, conforme se pode observar nos gráficos anteriores.

Quadro 7 – Distância alcançada pelo jorro em função da velocidade de saída do bocal e vazão de calda

Velocidade do Ar (m s ⁻¹)	Vazão de Calda (L min ⁻¹)	Distância Alcançada pelo Jorro (m)
25,1	12,0	30
25,1	17,9	35
25,1	25,1	35
32,1	12,0	30
32,1	17,9	35
32,1	25,1	45
41,1	12,0	50
41,1	17,9	50
41,1	25,1	60
52,6	12,0	40
52,6	17,9	50
52,6	25,1	60

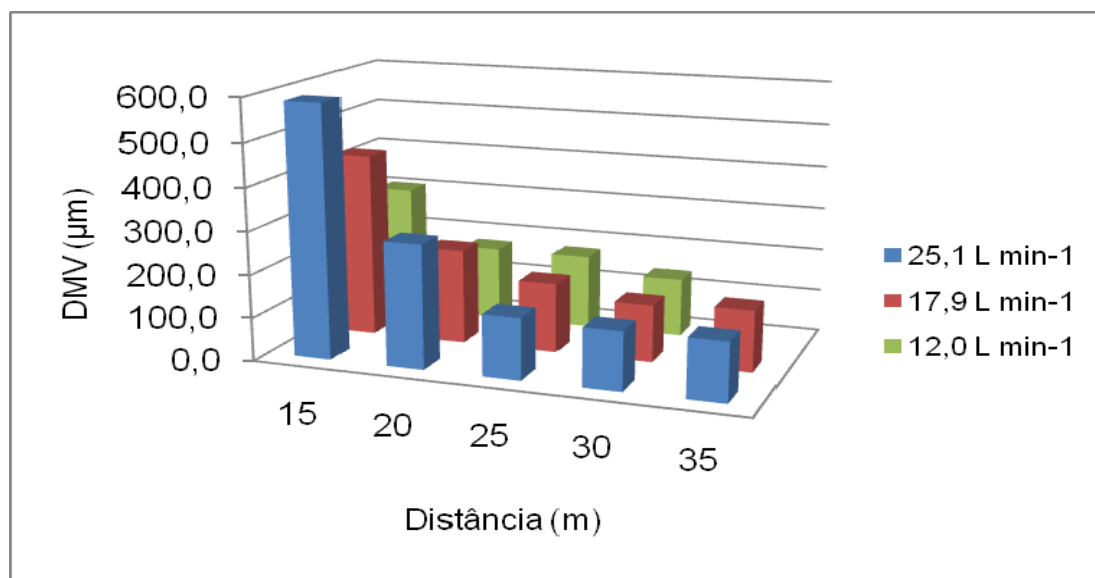


Figura 12 – Valores médios de DMV ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de 25,1 m s⁻¹ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas 25,1 L min⁻¹, 17,9 L min⁻¹ e 12,0 L min⁻¹.

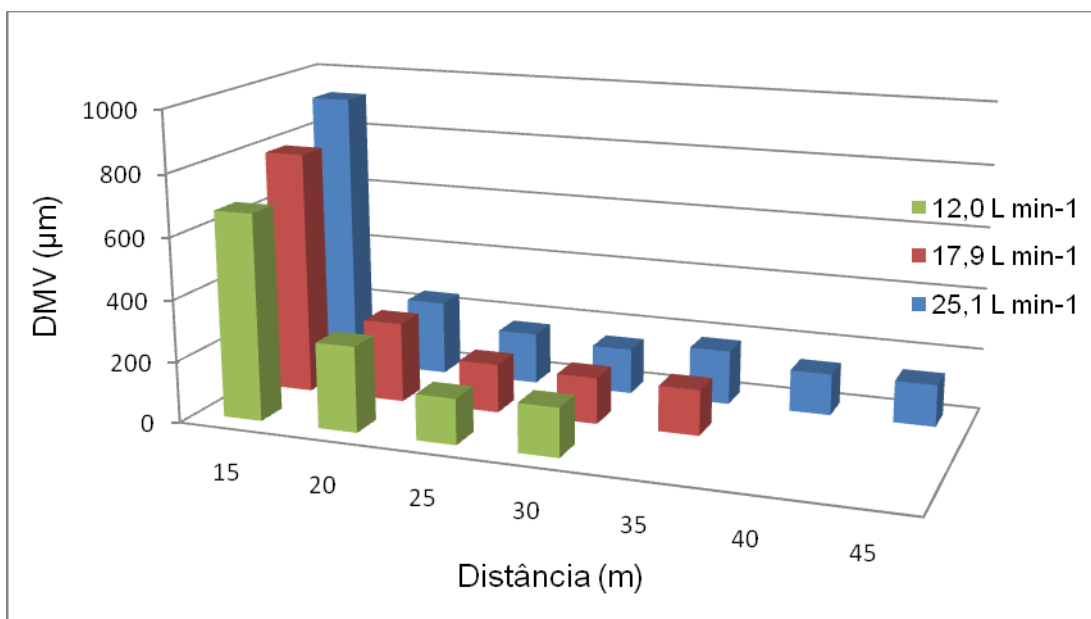


Figura 13 – Valores médios de DMV ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $32,1 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

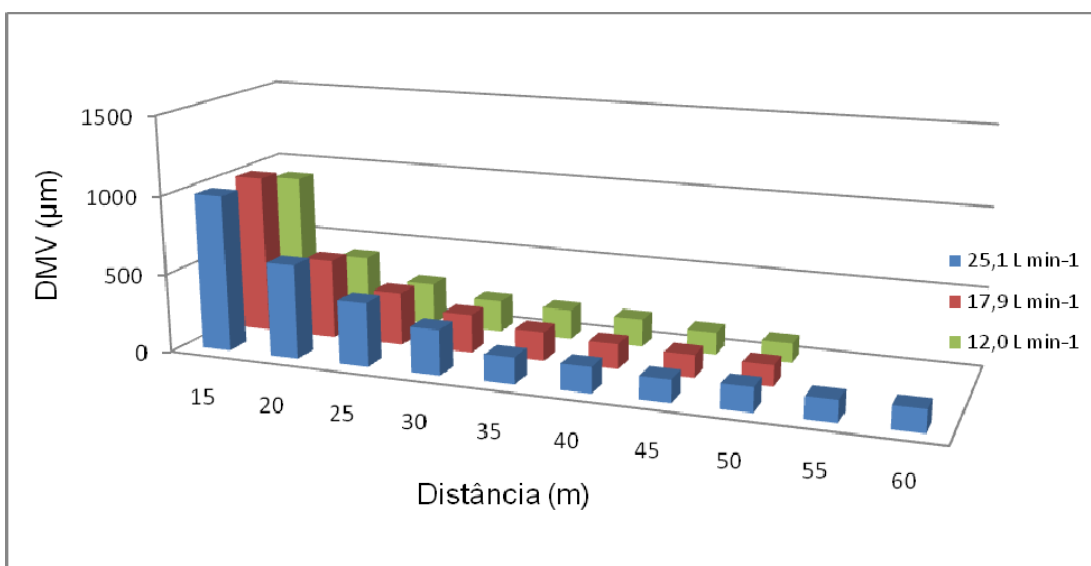


Figura 14 – Valores médios de DMV ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $41,1 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

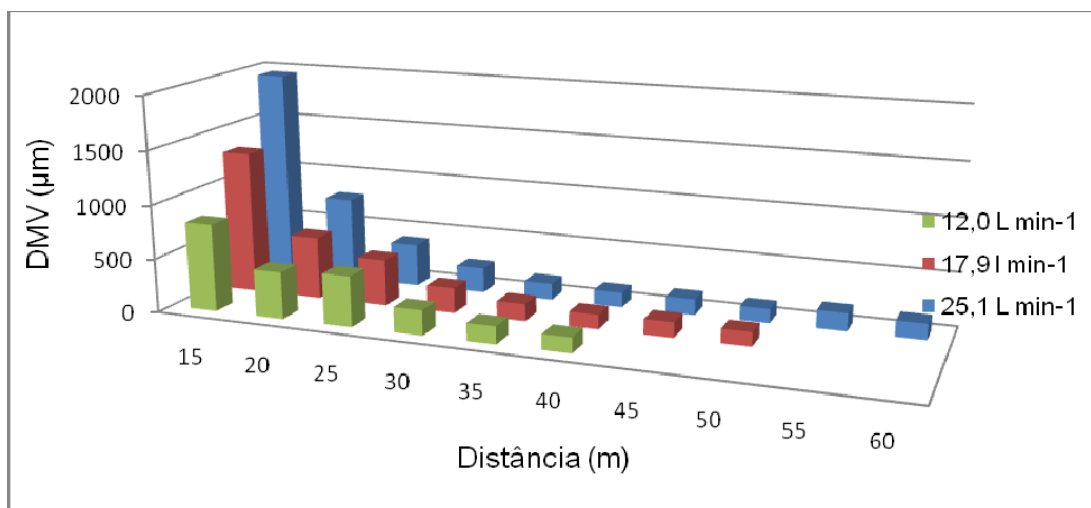


Figura 15 – Valores médios de DMV ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $52,6 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

Em razão desse fato, gotas com diâmetros aproximados a esses não são recomendadas para aplicação de defensivos agrícolas em geral, principalmente com pulverizadores pneumáticos.

Nas Figuras 13 e 14, podem ser observados que, na menor vazão de calda, ocorre redução drástica do DMV a partir de 40 m de distância do pulverizador.

Os altos valores de DMV nas posições de 15 m do pulverizador são observados em todos os experimentos e devidos à proximidade do pulverizador. Nas demais posições, o DMV varia próximo a $200 \mu\text{m}$, em todos os casos.

As Figuras 16 a 19 apresentam os valores obtidos para densidade de gotas por cm^2 nas quatro velocidades de saída de ar estudadas.

Como pode ser observado na Figura 16, a densidade também diminuiu à medida que se afastou do pulverizador, na mesma vazão de calda. Para as distâncias de 15 a 20 m, a cobertura foi semelhante em todas as vazões, sendo superiores às demais distâncias. Esse fato é explicado pela proximidade com o pulverizador. À medida que aumenta a distância, além de incrementar a deriva e evaporação, as gotas também perdem energia cinética, fazendo que elas não se depositem no alvo.

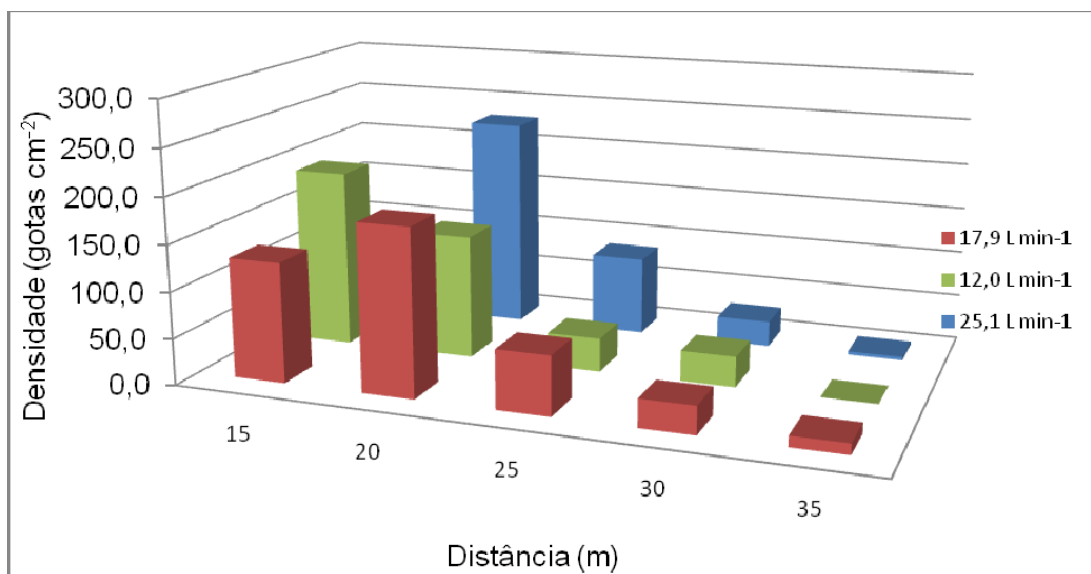


Figura 16 – Valores médios da densidade de gotas em número de gotas por cm^2 ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $25,1 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

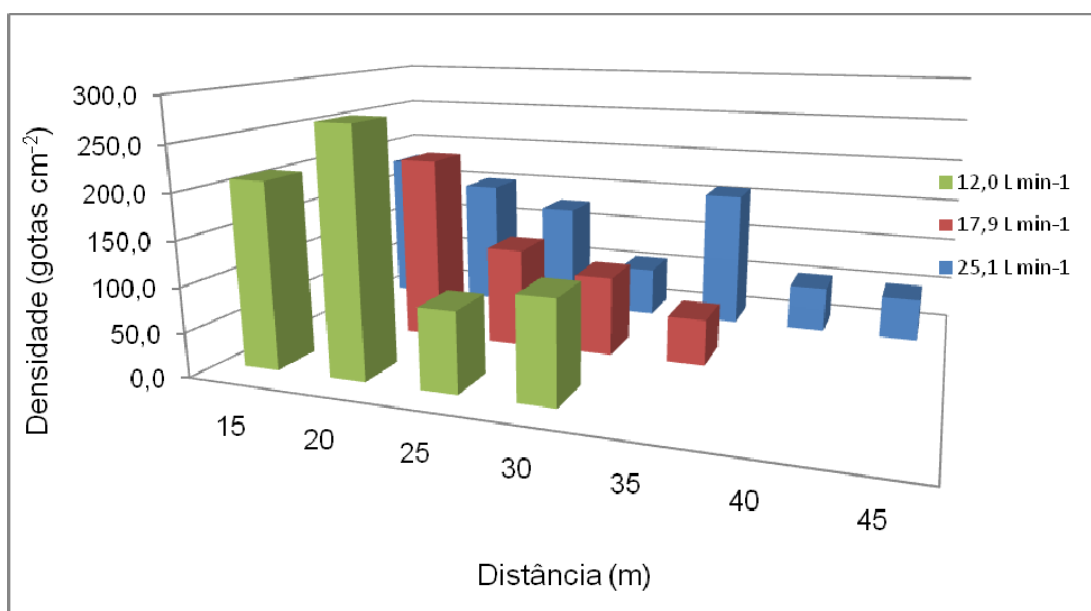


Figura 17 – Valores médios da densidade de gotas em número de gotas por cm^2 ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $32,1 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

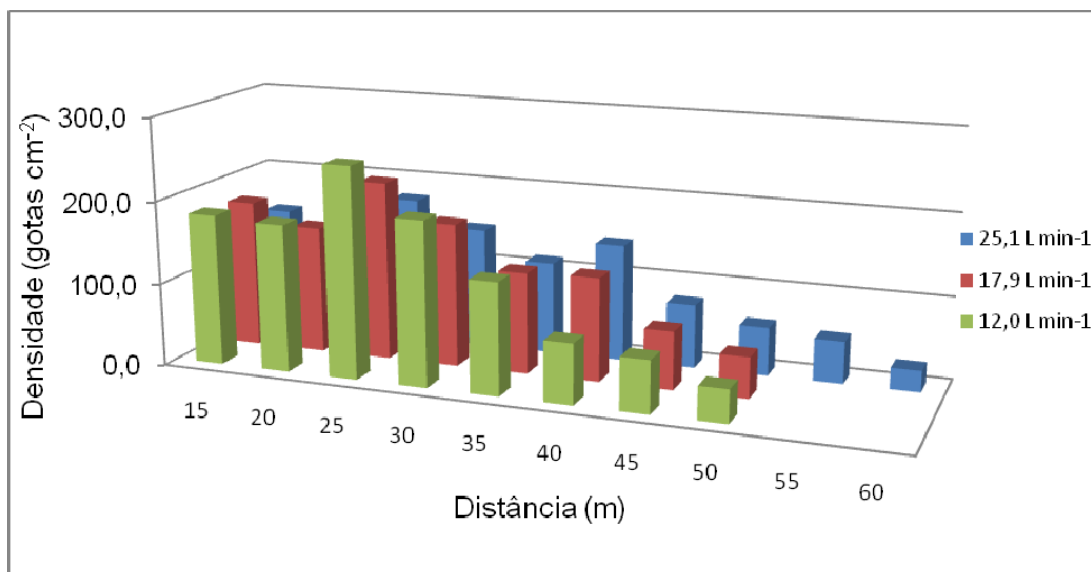


Figura 18 – Valores médios da densidade de gotas em número de gotas por cm² ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de 41,1 m s⁻¹ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas 25,1 L min⁻¹, 17,9 L min⁻¹ e 12,0 L min⁻¹.

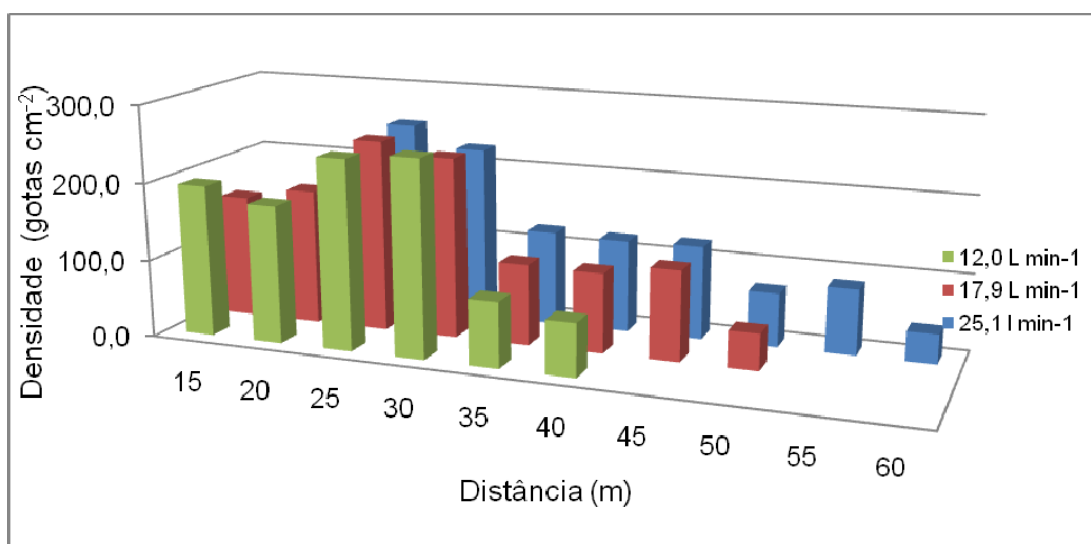


Figura 19 – Valores médios da densidade de gotas em número de gotas por cm² ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de 52,6 m s⁻¹ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas 25,1 L min⁻¹, 17,9 L min⁻¹ e 12,0 L min⁻¹.

Na velocidade do ar de $32,1 \text{ m s}^{-1}$ ocorreu fato semelhante nas distâncias de 15 e 20 m com a vazão anterior. Porém, quando diminui a vazão de calda para $12,0$ e $17,9 \text{ L min}^{-1}$, não há deposição de gotas a partir de 30 e 35 m, respectivamente. Observou-se, também, aumento na deposição para a vazão de $25,1 \text{ L min}^{-1}$ a partir de 40 m, fato que não ocorre nas demais vazões. Nessa velocidade do ar, a vazão de calda de $25,1 \text{ L min}^{-1}$ apresentou deposição até uma distância de 45 m do pulverizador. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de que nesse tipo de pulverizador, com o aumento da vazão de calda, ocorre um aumento no tamanho de gotas, o que conseqüentemente permite que essa gota atinja maiores distâncias pelo fato de estarem menos sujeitas à evaporação e deriva.

A velocidade do ar de $41,1 \text{ m s}^{-1}$ apresentou densidade de gotas semelhantes até a distância de 50 m do pulverizador. A partir de 50 m de distância, somente a maior vazão de calda proporcionou deposição de gotas, chegando a uma distância máxima de 60 m do pulverizador. A menor vazão de calda, apesar de apresentar distância máxima de deposição de 50 m, a 25 m do pulverizador apresentou a maior deposição de gotas, próximo de $200 \text{ gotas cm}^{-2}$. Esse resultado se deve ao fato de que, em distâncias próximas ao pulverizador, a turbulência do fluxo de ar auxilia a deposição de gotas. Como na pulverização pneumática o uso de menores vazões resulta em gotas menores, e essas gotas são mais influenciadas pelo fluxo de ar em distâncias próximas ao pulverizador. Outro fato que deve ser ressaltado é que as plantas de eucalipto usadas no experimento não ultrapassaram os 25 m de altura.

Para a velocidade do ar de $52,6 \text{ m s}^{-1}$, a distância máxima de deposição nas vazões de calda de $25,12$; $17,9$; e $12,0 \text{ min}^{-1}$ foram, respectivamente, 60, 50 e 40 m de distância do pulverizador. Observa-se que na menor vazão de calda, onde conseqüentemente ocorre o menor tamanho de gota, a distância máxima foi de 40 m, e esse resultado pode ser explicado pelo fato de que as gotas menores sofrem mais deriva e evaporação se comparadas com as gotas maiores. Para essa velocidade do fluxo de ar, houve comportamento semelhante nas três vazões de calda nas distâncias de 25 e 30 m, que são as alturas das plantas usadas nesse experimento. No caso de alturas superiores a essas, não se recomenda

essa velocidade do ar, porque, como pode ser observado no gráfico, acima dessas distâncias a densidade de gotas cai drasticamente, em função da evaporação em função da velocidade do fluxo de ar.

Barthelemy et al. (1990) descreveram como eficiente para a aplicação de inseticidas uma população de gotas de 20 a 30 gotas por cm^2 , percebendo-se que, em todos os casos, a densidade de gotas foi superior a esse valor, em todas as distâncias observadas.

As Figuras 20 a 23 apresentam os resultados da porcentagem de cobertura das quatro velocidades de saída do ar e das três vazões de calda estudadas.

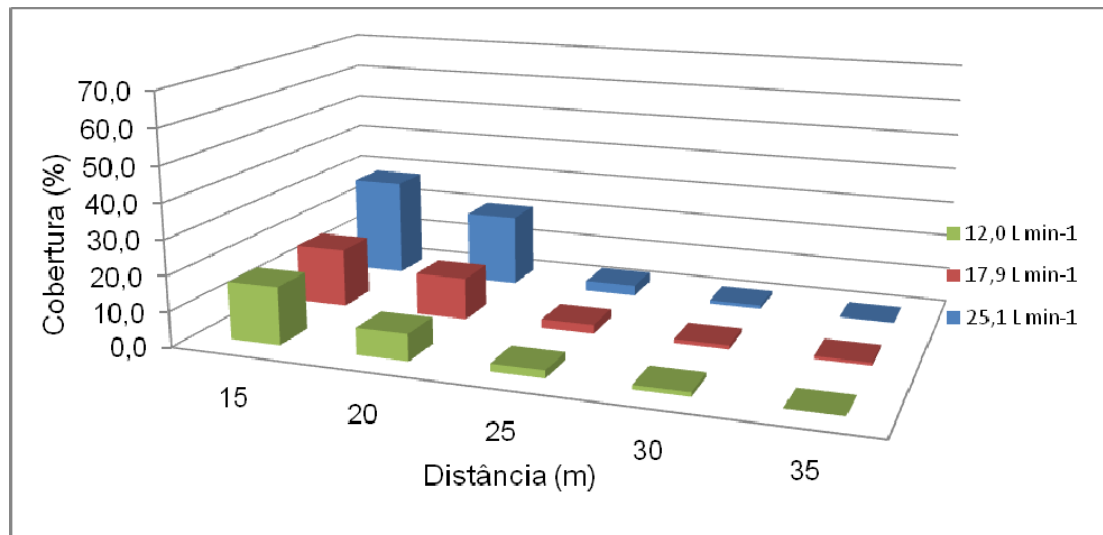


Figura 20 – Valores médios da porcentagem de cobertura ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $25,1 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

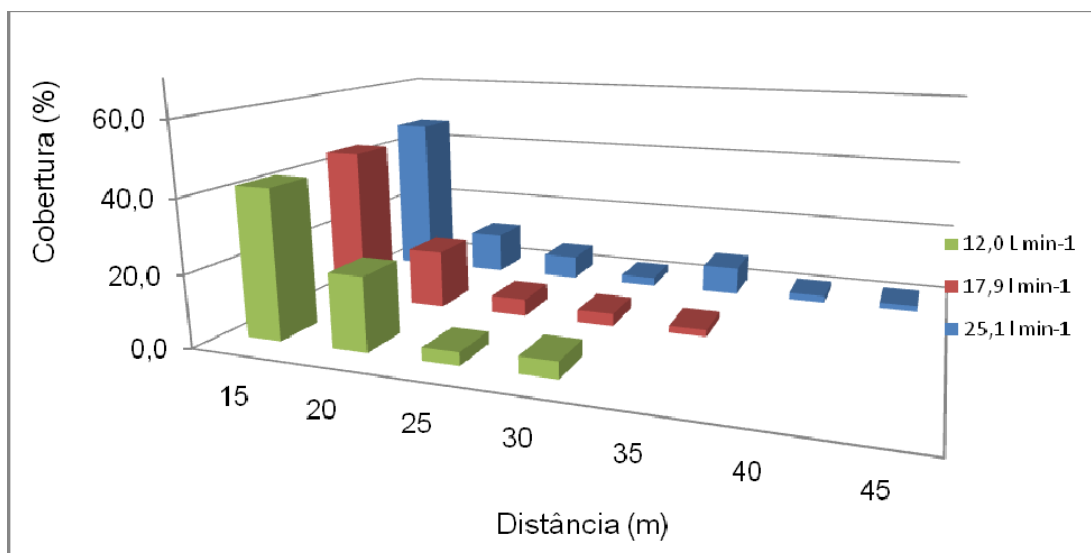


Figura 21 – Valores médios da porcentagem de cobertura ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de 32,1 m s⁻¹ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas 25,1 L min⁻¹, 17,9 L min⁻¹ e 12,0 L min⁻¹.

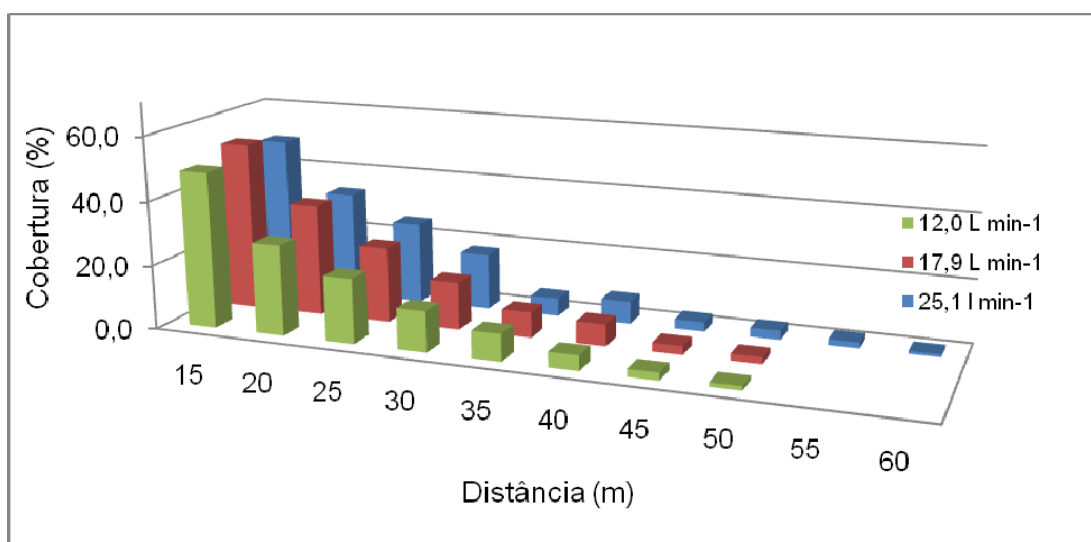


Figura 22 – Valores médios da porcentagem de cobertura ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de 41,1 m s⁻¹ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas 25,1 L min⁻¹, 17,9 L min⁻¹ e 12,0 L min⁻¹.

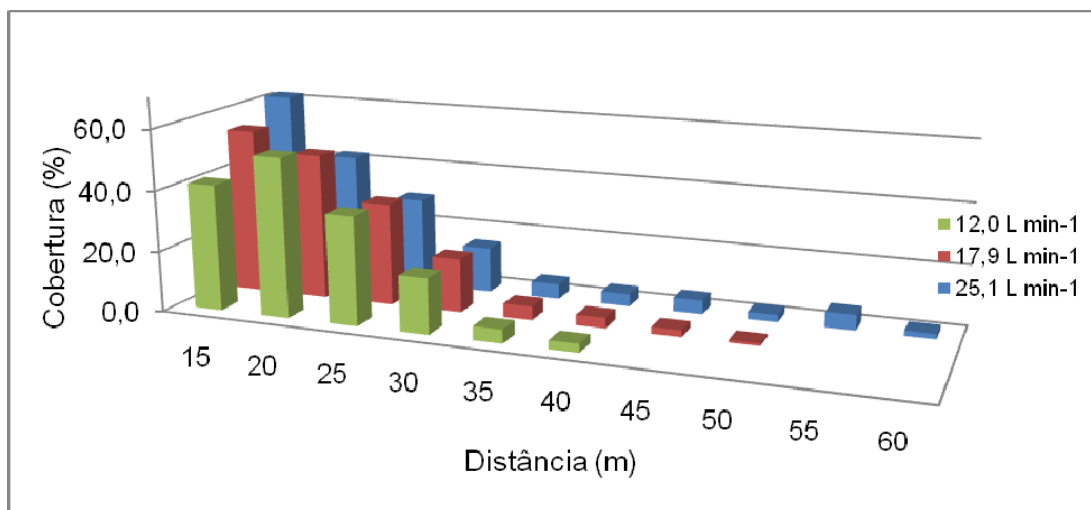


Figura 23 – Valores médios da porcentagem de cobertura ao longo da distância do jato de ar, considerando-se a velocidade de $52,6 \text{ m s}^{-1}$ na saída do bocal do pulverizador, nas três vazões de calda estudadas $25,1 \text{ L min}^{-1}$, $17,9 \text{ L min}^{-1}$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$.

A cobertura da pulverização na velocidade do ar de $25,1 \text{ m s}^{-1}$ foi superior para a vazão de $25,1 \text{ L min}^{-1}$, nas distâncias de 15 e 20 m do pulverizador. Esse resultado é explicado com base no fato de que a menor vazão de ar, juntamente com a maior vazão de calda, forma gotas grandes, e essas gotas mais pesadas são depositadas próximo do pulverizador. As vazões de calda de $17,9$ e $12,0 \text{ L min}^{-1}$ também tiveram coberturas semelhantes nas distâncias de 15 e 20 m, portanto bem inferior à vazão de $25,1 \text{ L min}^{-1}$. De 25 a 35 m de distância, a cobertura diminuiu para todas as vazões de calda.

Na velocidade do ar de $32,1 \text{ m s}^{-1}$, a cobertura foi semelhante nas três vazões de calda na distância de 15 m do pulverizador. Na distância de 20 m, as coberturas foram decaindo da menor para a maior vazão. Na distância de 20 m, a razão de a cobertura da menor vazão ser superior às demais é explicada pelo fato de que menor volume de calda proporciona maior número de gotas menores, assim como observado por Courshee (1967).

Nota-se que, com o aumento da velocidade do ar, a vazão de calda de $32,1 \text{ m}$ atinge distâncias de 40 e 45 m.

Nessa velocidade do ar, as coberturas foram decrescendo de forma semelhante para todas as vazões, desde a distância de 15 até 50 m. A única vazão de calda que proporcionou vazão superior a 50 m foi a de 25,1 L min⁻¹, chegando a uma distância de 60 m. Ressalta-se que, em coberturas elevadas, ocorre o risco de escorrimento da calda para o solo, aumentando a ineficiência da pulverização e, conseqüentemente, a ineficácia de controle. Como as plantas usadas no experimento possuíam altura de até 25 m, nota-se que as três vazões de calda são adequadas para essa velocidade de ar. Portanto, não se recomenda a maior vazão devido à diminuição da capacidade operacional do conjunto trator-pulverizador.

Na velocidade do ar de 52,6 m s⁻¹, a cobertura foi semelhante à proporcionada pela velocidade anterior até a distância de 30 m. De 35 a 60 m, somente a maior vazão de calda proporcionou cobertura, e a vazão de 17,9 L min⁻¹ proporcionou cobertura de até 50 m. A menor vazão de calda relacionada com a maior velocidade do ar proporcionou menor cobertura quando comparadas com as demais vazões, podendo ser explicada pela evaporação de gotas pequenas.

Observa-se que, para a velocidade de ar de 25,1 m s⁻¹ em todos os volumes de calda aplicados, a partir de 25 m de distância a cobertura é inferior a 3%. Esse valor se repete para a velocidade de 32,1 m s⁻¹ a partir de 30 m do pulverizador. Nas velocidades de 41,1 e 52,6 m s⁻¹, esses valores ocorrem a partir de 45 m de distância do pulverizador.

Rodrigues (2005) estudou os parâmetros de gotas e relacionou com a aplicação de inseticida e sua eficiência. Dos parâmetros estudados, encontrou correlação entre o DMV e a densidade de gotas e a mortalidade de pragas. O citado autor descreveu, ainda, que a mortalidade aceitável é acima de 90%. Com base nesse modelo descrito, o Quadro 8 relaciona a distância máxima do pulverizador, onde, de acordo com o DMV e a densidade de gotas obtidas, a mortalidade seria acima de 90%. Estimou-se, assim, a distância máxima eficaz de aplicação do pulverizador, com base na equação $E = 57,56327 + 0,17112D + 0,01759DMV$, utilizada por Rodrigues (2005), quando utilizou inseticida no combate ao bicho-mineiro do café.

Quadro 8 – Distância máxima baseada no modelo onde ocorre mortalidade de 90% dos insetos em função do DMV e da densidade (D)

Velocidade do Ar (m s^{-1})	Vazão de Calda (L min^{-1})	Distância (m)
25,1	12,0	15
25,1	17,9	20
25,1	25,1	20
32,1	12,0	20
32,1	17,9	20
32,1	25,1	20
41,1	12,0	30
41,1	17,9	30
41,1	25,1	30
52,6	12,0	30
52,6	17,9	30
52,6	25,1	30

Considerando que a forma de combate das lagartas desfolhadoras do eucalipto é pela ingestão do produto pela praga, valores menores de gotas cm^{-2} , DMV e porcentagem de cobertura podem ser eficientes para tal combate em distâncias superiores às obtidas no Quadro 8.

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, chegou-se às seguintes conclusões:

- O aumento da rotação do eixo de $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) para 68 rad s^{-1} (650 rpm) proporcionou aumento de 28% na velocidade do ar e 38% na potência necessária para o acionamento do pulverizador.
- A diminuição da vazão de calda reduz o alcance máximo do pulverizador.
- A diminuição da vazão de calda proporciona diminuição dos valores de DMV, porcentagem de cobertura e densidade de gotas numa mesma distância do pulverizador.
- Com relação aos parâmetros estudados, a vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obtida utilizando $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ na TDP é indicada para pulverizações de até 30 m de distância do pulverizador.
- O pulverizador utilizado se mostra eficiente para aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto.

5. REFERÊNCIAS

BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulvérisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160 p.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Eds.). **Fungicides: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p. 239-286.

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, v. 20, p. 333-343, 2001.

HARDI. **Técnicas de atomização**. Dinamarca: Hartvig Jensen, 1993.

JACTO. **Manual de pulverizador Jatão 600 Export**. Pompeia: Máquinas Agrícolas Jacto, 2002. 34 p.

MAGDALENA, J. C. **Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh)**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Espanha, 2004.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo: Convênio Cetesb/Ascetesb, 1985. 442 p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.M.; RUIZ, J.L.; HERNANZY, F.J. **Las máquinas agrícolas y su aplicaciones**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1984. 492 p.

RAETANO, C. G.; SCUDELER, F.; BAUER, F. C.; VENEGAS, F.; VINCHI, R. R. Avaliação da cobertura de pulverização com diferentes equipamentos e condições operacionais na cultura do café. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí, SP: Instituto Agrônomo, Centro de Mecanização e Automação Agrícola, 2001. 6 p.

REICHARD, D.; RETZER, H.; LILJELDAHL, L.; HALL, R. Spray droplet size distributions delivered by air blast orchard sprayers. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 2, p. 232-237, 1977.

RICHEY, C. B.; JACOBSON, P.; HALL, C. A. Economics of farm machinery. In: _____. **Agricultural engineers' handbook**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1961. Chapter 1, p. 1-17.

RODRIGUES, G. J. **Critérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

RUAS, R. A. A.; CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Avaliação da uniformidade de distribuição de líquido e determinação da faixa de aplicação de um pulverizador pneumático tipo canhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2003.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA DA DEPOSIÇÃO DE LÍQUIDO EM PLANTAS DE EUCALIPTO USANDO PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido no Município de Belo Oriente, MG, no campo de reflorestamento de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira –, com o objetivo de determinar, através da espectrofotometria, a deposição de calda no dossel de eucaliptos adultos, depois da pulverização utilizando pulverizador pneumático adaptado para direcionar seu jato de ar verticalmente a alturas superiores a 20 m. O pulverizador foi abastecido com calda constituída de água e corante alimentício Azul Brilhante, e as folhas eram colhidas com o auxílio de Feller-Buncher. Nas condições em que os experimentos foram conduzidos, observou-se que o pulverizador foi eficiente para aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de produtos fitossanitários em eucalipto é, hoje, muito menos estudada que a aplicação em pastagens e culturas anuais ou de porte baixo, porém não menos importante, uma vez que no país crescem muito as áreas de reflorestamento. O Brasil está atingindo o posto de maior produtor de celulose do mundo.

O ataque de lagartas desfolhadoras é considerado grande fonte de prejuízo nas lavouras de eucalipto. Segundo Oda e Berti Filho (1981), as perdas decorrentes do desfolhamento por lagartas de *Trypenteina arnobia* em eucalipto, com 2,5 e 3,5 anos de idade, chegam a 40% do ganho volumétrico de madeira quando se têm 100% de desfolhamento e 13% no caso de 50% de desfolhamento.

À medida que as plantas são mais altas, aumenta também a dificuldade de se avaliar a eficiência da aplicação de produtos. É o caso do eucalipto, uma vez que, tendo a copa das plantas, muitas vezes, altura acima de 20 m e tendo seu plantio adensado, as práticas mais comuns de avaliação de deposição de produtos fitossanitários como a utilização de etiquetas hidrossensíveis são dificultadas e, às vezes, impossibilitadas devido às características das árvores.

A espectrofotometria baseia-se na determinação da absorção de radiação eletromagnética de ondas com o comprimento entre 160 e 3.000 nm. Essas medidas são baseadas na transmitância (T) ou absorbância (A).

São termos que representam, de modo geral, a quantidade de luz transmitida ou absorvida por dada amostra, segundo Skoog et al. (2002) e Gonçalves (1996), sendo, pois, uma opção para a determinação da deposição de gotas no eucalipto.

O espectrofotômetro de absorção é um equipamento muito importante nas análises quantitativas de deposição de calda em pulverização e em várias outras áreas da ciência, como relataram Skoog et al. (2002).

Hayden et al. (1990 citados por PALADINI, 2000), comparando, em duas condições de alvo natural, dois corantes alimentícios solúveis em água classificados pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C n.º 6 e FD&C n.º 1, com leituras de comprimento de ondas nas faixas distintas de 482 e 630 nm, respectivamente, concluíram que foram precisos e baratos para pesquisa de depósito em plantas.

Grande parte dos trabalhos na avaliação de deposição de líquidos em aplicação com pulverizador tem utilizado como traçador o composto corante alimentício Azul Brilhante catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C n.º 1. Cunha (2003) citou a concentração de 1.500 mg L^{-1} para aplicação de 125 L ha^{-1} e de 750 mg L^{-1} para dosagem de 250 L ha^{-1} , bem como a quantificação da coloração por espectrofotômetro de absorbância em 630 nm.

Os traçadores devem apresentar características como: serem altamente sensíveis nas detecções; solúveis quando misturados à calda; possibilitarem análises quantitativas com rapidez; não alterarem significativamente as características físicas da calda de pulverização e na evaporação das gotas; e serem atóxicos, estáveis e com custos moderados (YATES et al., 1966).

Vários fatores influenciam a boa aplicação e distribuição de fitossanitários agrícolas na planta, segundo Scudeler et al. (2004) e Raetano et al. (2001). Esses autores relataram que, em uma aplicação de produtos fitossanitários, a deposição e distribuição da calda sobre a planta dependem de fatores como: tamanho da planta, densidade da copa, deriva, tamanho de gotas, volume de água, forma e volume da planta, velocidade de deslocamento do pulverizador, vento e tipo de equipamento.

A determinação do volume de pulverização para culturas arbóreas pode ser feito com base no volume de vegetação da planta TRV (*Tree Row Volume*), que consiste em um volume predeterminado em função do volume de vegetação em 1 ha, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices volumétricos recomendados para diferentes volumes de pulverização

Volume de Pulverização	Índice volumétrico (L 1.000 ⁻¹ m ⁻³ Vegetação)
Muito alto	120
Alto	100
Médio	70
Baixo	50
Muito baixo	30
Ultrabaixo	10

O uso de espectrofotometria apresenta-se como boa opção para avaliar a deposição de calda em eucalipto adulto, desde que seja possível recolher algumas folhas pulverizadas.

Este trabalho objetivou avaliar a deposição de calda em folhas de eucalipto adulto utilizando um pulverizador pneumático para aplicação de produtos fitossanitários, com ênfase na aplicação de *Bacillus thuringiensis* no combate a lagartas desfolhadoras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos no Município de Belo Oriente, MG, no campo de reflorestamento de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira. O talhão onde as árvores foram ensaiadas possuía área de 43,16 ha, plantados com o clone tipo 111C89, com idade de 6,3 anos.

Utilizou-se um trator New Holland, modelo TL85E, e um pulverizador pneumático, marca Jacto. Esse pulverizador permitia alcançar alturas superiores a 20 m durante a aplicação de produtos fitossanitários em plantações de eucaliptos adultos. O pulverizador era abastecido com calda constituída de água e corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C n.º 1, em uma concentração de 2 g L⁻¹ de água.

2.1. Avaliação da uniformidade de distribuição da calda

O índice volumétrico é uma referência utilizada para a pulverização em culturas arbóreas e consiste em determinar o volume das copas das árvores e utilizar determinado volume de calda em função do volume de copa.

Determinou-se a velocidade de deslocamento do trator nas três primeiras marchas, bem como a vazão de calda utilizando-se trena, vasilha graduada e cronômetro.

Para determinação do TRV (*Tree Row Volume*), método que determina o volume de copa por hectare em função do diâmetro e comprimento da copa de cada árvore e da distância entrelinhas da cultura, foi necessário medir as copas das árvores (equação 1).

$$TRV = \frac{H.L.10000}{D} \quad (1)$$

em que TRV = volume dos dosséis das plantas por área, $m^3 ha^{-1}$;

H = altura do dossel (m);

L = largura do dossel (m); e

D = distância entre linhas de plantio (m).

Baseado no volume de aplicação e no TRV, determinou-se o índice de aplicação. Neste trabalho, foram utilizados:

- 27,0 L $1.000 m^{-3}$ de copa;
- 20,3 L $1.000 m^{-3}$ de copa; e
- 12,8 L $1.000 m^{-3}$ de copa.

Uma árvore de cada tratamento e de cada repetição foi cortada pelo Feller-Buncher, que a conduziu suavemente até próximo ao solo.

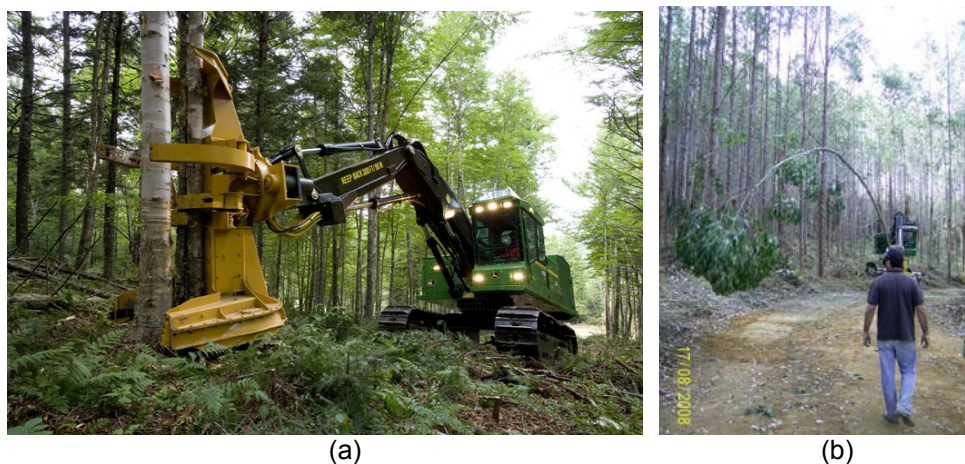


Figura 1 – Feller-Buncher cortando (a) e conduzindo a árvore próxima ao solo (b).

Para análise laboratorial foram recolhidas três folhas posicionadas nos dosséis dos eucaliptos em três alturas diferenciadas (terços inferior, médio e superior do dossel) e três posições em relação à copa (frente, lateral e oposta à pulverização), retirando-se uma folha para cada posição no dossel.

Após a coleta, as folhas foram acondicionadas individualmente em sacos plásticos devidamente identificados e armazenados em recipiente escuro, para posterior análise laboratorial.

Após a coleta das folhas, as árvores eram colocadas no chão, sendo determinados os seus comprimentos totais, assim como alturas e diâmetros das copas.

2.2. Calibração do espectrofotômetro

Para obter a curva de calibração do espectrofotômetro da solução utilizada, utilizaram-se soluções-padrão em várias concentrações conhecidas (mg L^{-1}) do traçador, usando amostra da calda aplicada no campo. Empregou-se um espectrofotômetro modelo SP 1105 (Figura 2).



Figura 2 – Espectrofotômetro, modelo SP 11 05.

Partiu-se da amostra de 2 g de corante Azul Brillhante por litro de água e obteve-se o valor da absorbância determinado pelo espectrofotômetro para várias concentrações dessa amostra, elaborando-se

um gráfico da absorvância *versus* a concentração de corante dessa amostra e a equação de calibração do aparelho para o traçador utilizado, segundo descreveram Skoog et al. (2002) e Ewing (1996).

2.3. Determinação da deposição de calda na folha

As folhas, depois de pulverizadas, recolhidas e armazenadas, foram lavadas, adicionando-se 50 ml de água destilada dentro do saco plástico onde estavam e agitado, para a retirada da calda depositada na superfície da folha. Parte dessa solução foi retirada, e fez-se a leitura da absorvância.

Interpolando os valores da leitura aos dados da curva de calibração, determinou-se a concentração do traçador na amostra e, desse valor, o volume de calda presente na folha.

2.4. Determinação da área foliar

Para determinação da área foliar, após a lavagem das folhas e a retirada do produto, elas foram fotografadas, utilizando-se uma máquina fotográfica Sony, modelo Syber – shot T10, com resolução de 7.2 Mp. As imagens foram analisadas com o auxílio do software IMAGE TOOL, versão 3.0, determinando-se a sua área. Com base nessas informações, determinou-se a quantidade de produto na folha, segundo Skoog et al. (2002), Ewing (1996), Gonçalves (1996) e Cunha (2003).

2.5. Determinação da deposição de calda por área foliar

Partindo dos valores de calda depositado nas folhas e da área foliar, determina-se a concentração de calda por área ($\mu\text{L cm}^{-2}$).

2.6. Delineamento experimental

Os experimentos foram montados segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os volumes de aplicação, nas subparcelas as alturas e nas subdivididas as posições, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os dados foram analisados

por meio de Análise de Variância e as médias, comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os índices volumétricos utilizados foram 27,0 L 1.000 m⁻³ de copa (Índice 1), 20,2 L 1.000 m⁻³ de copa (Índice 2) e 12,8 L 1.000 m⁻³ de copa (Índice 3). Em um experimento foi empregada a vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹, obtida utilizando-se 540 rpm no eixo da tomada de potência (vazão de ar 1); e no outro, a vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹, usando-se 650 rpm no eixo da tomada de potência (vazão de ar 2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da área experimental

No Quadro 1, observam-se as dimensões médias das árvores utilizadas no experimento a campo, sendo elas clones tipo 111C89 com idade de 6,3 anos.

Quadro 1 – Dimensões características das árvores estudadas

Dimensões (m)	Menor	Maior	Média
Altura total da árvore	21,1	27,5	23,6
Altura da copa	6,3	12,5	9,1
Diâmetro da copa	2,0	4,5	3,4
TRV (m ³ ha ⁻¹)	53.300	150.000	102.228

No Quadro 2, observam-se os valores das velocidades de trabalho e os volumes de pulverização utilizados.

Quadro 2 – Valores de velocidade e volume de aplicação utilizados nos experimentos

Velocidade 1	0,46 m s ⁻¹
Velocidade 2	0,66 m s ⁻¹
Velocidade 3	0,96 m s ⁻¹
Volume de aplicação 1	2.754 L ha ⁻¹
Volume de aplicação 2	2.060 L ha ⁻¹
Volume de aplicação 3	1.305 L ha ⁻¹

3.2. Deposição de calda no dossel da planta

A calda aplicada na avaliação da deposição de calda em folhas de eucalipto teve a adição do traçador Azul Brilhante (FD&C Blue n.º 1) numa concentração de 2 g do traçador por litro de água. Com parte dessa calda foram feitas diluições com concentrações conhecidas, e com estas foram feitas leituras de absorvância no espectrofotômetro e determinada a curva de calibração (Figura 3) para a concentração de corante utilizada, obtendo-se a equação (2).

$$Y = 0,003304x + 1,38E-05 \quad (2)$$

em que x é a leitura da absorvância no espectrofotômetro (nm); e y , a concentração da solução (%).

3.2.1. Avaliação da deposição da calda na planta à vazão de ar de 11.300 m³h⁻¹ (56,6 rad s⁻¹ - 540 rpm da TDP): experimento 1

A deposição de calda foi analisada aplicando-se três volumes de calda por hectare, quando foram avaliadas três alturas da copa: terço inferior, terço médio e terço superior. Em cada altura foram colhidas folhas em três posições na copa: uma frontal, uma lateral e uma posterior em relação à posição do pulverizador.

O Quadro 3 apresenta as médias da deposição de calda.

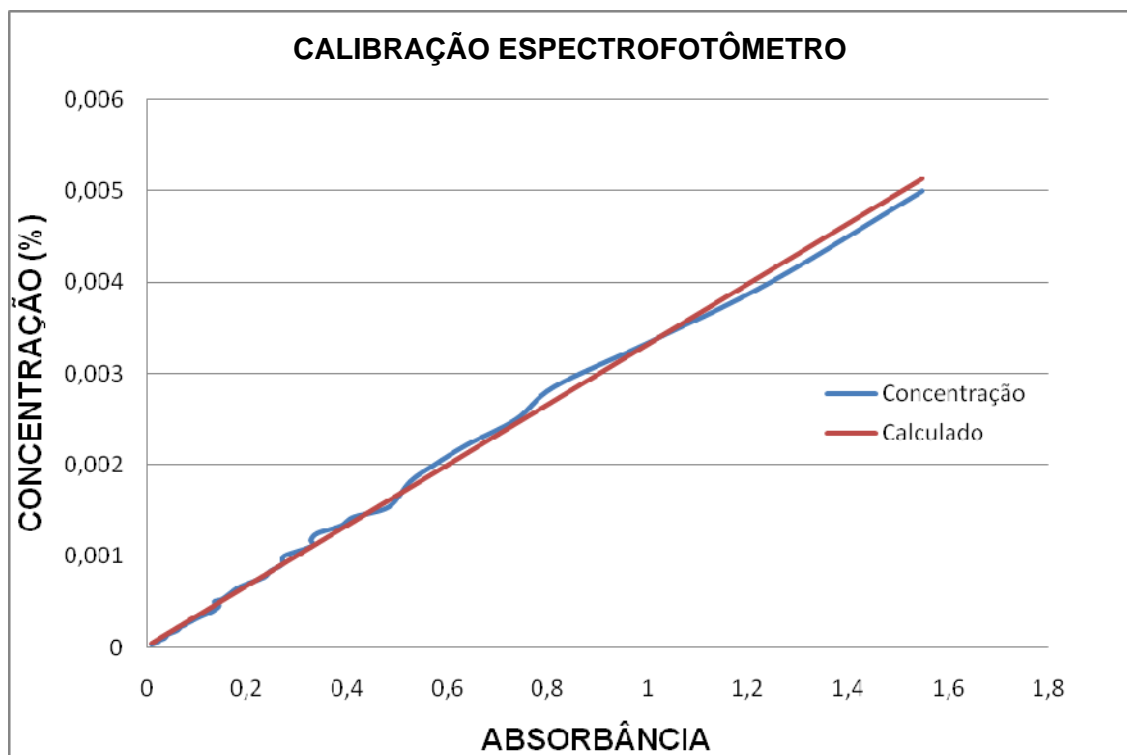


Figura 3 – Curva de calibração do espectrofotômetro.

Quadro 3 – Valores médios de deposição de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV ($\text{L} \cdot 1000^{-1} \text{ m}^{-3}$)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	3,52	1,84	1,66
	Lateral	2,84	1,27	1,46
	Posterior	3,09	1,89	1,23
20,2	Frontal	3,51	2,98	2,66
	Lateral	3,06	3,79	2,29
	Posterior	3,80	3,38	2,03
12,8	Frontal	1,93	1,47	3,48
	Lateral	2,67	3,47	1,53
	Posterior	3,59	1,88	1,60

O Quadro 4 contém a análise de variância dos volumes de líquidos retidos nas folhas de eucalipto, de acordo com o volume de aplicação de calda, altura da folha na copa e posição da folha na copa.

O fator altura influenciou a quantidade de deposição de calda nas folhas. Observou-se que nenhuma das interações foi significativa, sendo o mesmo resultado encontrado para os fatores volume de aplicação de calda e posição da folha na copa.

Os maiores valores de deposição foram encontrados no terço inferior da copa, os quais não diferiram estatisticamente daqueles observados no terço médio pelo teste de Tukey a 5%. No entanto, diferiram dos valores verificados no terço superior, que foram os menores.

O Quadro 5 apresenta os valores médios do volume de calda por unidade de área foliar.

Quadro 4 – Análise de variância do volume de líquido retido nas folhas de eucalipto, em função do volume aplicado, da altura da folha na copa e da sua posição

FV	GL	QM
Bloco	2	8.476038 ^{NS}
Volume	2	6.568256 ^{NS}
Erro(A)	4	52.73457
Posição	2	0.03987186 ^{NS}
Posição*volume	4	0.3318221 ^{NS}
Erro(B)	12	0.6614451
Altura	2	8.565197*
Altura*volume	4	1.745509 ^{NS}
Posição*altura	4	2.384032 ^{NS}
Posição*altura*volume	8	1.420777 ^{NS}
Resíduo	48	2.128243

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura)= 57,9%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 5 – Média dos volumes depositados por área foliar

Altura	Deposição de Calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$)
Terço inferior	3,111 ^A
Terço médio	2,441 ^{AB}
Terço superior	1,99 ^B

Como o perfil do eucalipto de interesse deste estudo é de árvores cujas copas estão acima de 15 m e a aplicação é realizada de baixo para cima, para o líquido chegar ao terço médio da copa, ele terá de passar primeiro pelo terço inferior. Parte desse líquido ficará retido nas folhas da parte inferior da copa, dificultando a penetração no dossel.

A explicação anterior é válida para a cobertura do terço superior, por ser menor que o terço inferior. Esse efeito é relatado por Escola et al. (2006), que descreveram que tal fato deve ser levado em consideração, a fim de obter a cobertura desejável em todo o dossel. Os referidos autores definiram esse efeito como “efeito parede”.

Maior quantidade de calda depositada na parte inferior do dossel torna-se importante no controle de lagartas – objetivo desse sistema –, uma vez que estas preferem as folhas mais velhas para se alimentarem e estas se encontram nessa parte do dossel, conforme relataram Specht et al. (2006).

3.2.2. Avaliação da deposição de calda à vazão de ar alta $13.250 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (68 rad s^{-1} - 650 rpm da TDP): experimento 2

À semelhança do experimento anterior, a deposição de calda foi analisada aplicando-se três volumes de calda por hectare, quando se avaliaram três alturas da copa: terço inferior, terço médio e terço superior. Em cada altura foram colhidas folhas em três posições na copa, uma frontal, uma lateral e uma posterior em relação à posição do pulverizador. O Quadro 6 apresenta as médias da deposição de calda por unidade de área

Quadro 6 – Valores médios de deposição de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) para os índices de volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000 ⁻¹ m ⁻³)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	2,76	1,51	2,93
	Lateral	3,05	1,60	1,95
	Posterior	1,91	1,83	1,83
20,2	Frontal	2,35	2,13	0,70
	Lateral	2,55	1,24	1,23
	Posterior	2,38	1,27	1,67
12,8	Frontal	1,88	1,37	1,13
	Lateral	1,35	1,79	0,90
	Posterior	2,06	1,42	1,25

No Quadro 7, observa-se a análise da variância dos volumes retidos nas folhas do eucalipto, de acordo com o volume de aplicação de calda, altura da folha na copa e posição da folha na copa.

De forma semelhante à apresentada no Quadro 8, não houve nenhuma interação com diferenças significativas. Os fatores volume de aplicação e posição da folha na copa também apresentaram resultados semelhantes. O fator altura da folha na copa influenciou o volume de calda depositada.

A deposição de calda nas folhas do terço inferior das copas foram maiores que nos terços médios e superiores. Entre esses dois últimos não houve diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Nesse caso, à semelhança do experimento com menor vazão de ar do pulverizador pneumático, o “efeito parede” descrito por Escola et al. (2006) é a provável causa do maior volume de calda depositado no terço inferior da copa.

Quadro 7 – Resumo da análise de variância do volume retido nas folhas de eucalipto, em função do volume aplicado, da altura da folha na copa e da sua posição

	FV	GL	QM
Bloco		2	32.90098*
Volume		2	3,294939 ^{NS}
Erro(A)		4	6,774803
Posição		2	0,1378234 ^{NS}
Posição*volume		4	0,3361811 ^{NS}
Erro(B)		12	0,2727468
Altura		2	4,595041*
Altura*volume		4	1,017756 ^{NS}
Posição*altura		4	0,1048084 ^{NS}
Posição*altura*volume		8	0,8403707 ^{NS}
Resíduo		48	1,542149

Coefficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 62,2%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8 – Média dos volumes depositados por área foliar

Altura	Deposição de Calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$)
Terço inferior	2,25 ^A
Terço médio	1,57 ^B
Terço superior	1,51 ^B

De forma semelhante ao estudo com menor vazão de ar, a maior quantidade de calda depositada na parte inferior do dossel se torna importante no controle de lagartas – objetivo desse sistema –, uma vez que estas preferem as folhas mais velhas para se alimentarem e estas se encontram nessa parte do dossel (SPECHT et al., 2006).

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, chegou-se às seguintes conclusões:

- Nas duas condições de vazão de ar ($11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $13.250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), a maior deposição de calda ocorreu nas partes inferiores do dossel.
- O volume de deposição em valores absolutos foi maior quando se utilizou a menor vazão de ar.
- O pulverizador empregado foi eficiente na aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto.

5. REFERÊNCIAS

CUNHA, J. P. A. R. **Tecnologia de aplicação convencional de fungicida de contato no controle de doenças do feijoeiro**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSSE, J. R.; GIL, E.; VAL, L. **Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2006. (Paper, 1620).

EWING, G. W. **Métodos instrumentais de análise química**. 6. ed. São Paulo: Editora Afiliada, 1996. 296 p.

GONÇALVES, M. L. S. S. **Métodos instrumentais para análise de soluções, análise quantitativa**. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. 789 p.

ODA, S.; BERTI FILHO, E. Incremento anual volumétrico de *Eucalyptus saligna* SM em áreas com diferentes níveis de infestação de lagartas de *Thyriniteina arnobia* Stoll, 1782 (Lepidoptera, Geometriadae). **IPEF**, n. 17, p. 27-31, 1981.

PALADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2000.

RAETANO, C. G.; SCUDELER, F.; BAUER, F. C.; VENEGAS, F.; VINCHI, R. R. Avaliação da cobertura de pulverização com diferentes equipamentos e condições operacionais na cultura do café. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí, SP: Instituto Agrônomo, Centro de Mecanização e Automação Agrícola, 2001. 6 p.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.

SKOOG, A. D.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 835 p.

SPECHT, A.; FORMENTINI, A. C.; CORSEUIL, E. Biologia de *Hylesia nigricans* (Berg) (Lepidoptera, Saturniidae, Hemileucinae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 1, p. 248-255, 2006.

YATES, W. E.; AKESSON, N. B.; COUTTS, H. H. Evaluation of drift residues from aerial applications. **Transactions of the ASAE**, v. 9, n. 3, p. 389-393, 1966.

CAPÍTULO 4

PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA EM EUCALIPTO

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, no Município de Viçosa, MG, e no Município de Belo Oriente, MG, no campo de reflorestamento de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira, com o objetivo de determinar os melhores parâmetros da pulverização utilizando pulverizador pneumático adaptado para a aplicação em florestas de eucalipto, através do estudo de gotas usando etiquetas hidrossensíveis. Essas etiquetas foram posicionadas nos dosséis dos eucaliptos em três alturas diferenciadas e três posições em relação à copa, com o auxílio do Feller-Buncher. Os parâmetros observados foram densidade de gotas, porcentagem de cobertura, DMV, coeficiente de homogeneidade (CH) e SPAN. Nas condições em que o experimento foi conduzido, observou-se que em todos os pontos do dossel das árvores estudados os valores de densidades atendiam às especificações mínimas para a aplicação de inseticida. As vazões de ar estudadas não interferiram significativamente na porcentagem de cobertura, e os valores de SPAN e CH foram condizentes com o tipo de pulverizador utilizado. Nas condições estudadas, a vazão de ar obtida com 56,5 rad s⁻¹ na (540 rpm) TDP foi adequada à aplicação de produtos.

1. INTRODUÇÃO

Entre as várias etapas da mecanização florestal, a tecnologia de aplicação de fitossanitários agrícolas merece especial atenção e pode ser considerada uma das técnicas responsáveis pelo aumento do rendimento de madeira. O desenvolvimento das máquinas aplicadoras de fitossanitários não acompanhou o crescimento da indústria química e de outros setores da mecanização florestal, a exemplo das máquinas para colheita e processamento de madeira.

Independentemente da cultura explorada, o sucesso final está ligado diretamente às etapas da mecanização, como semeadura ou plantio, adubação, pulverização e colheita. Todas essas etapas são de grande importância no processo de produção, portanto a pulverização deve receber atenção especial devido a diversos fatores, como o momento certo da aplicação; o uso do produto adequado, responsável pela eficácia do controle; o uso da máquina correta, em que se tenha alta eficiência da pulverização; e a correta deposição de gotas sobre o alvo.

No passado, o controle de pragas era realizado através de panos ou escovas, que embebidos na calda eram esfregados sobre as folhas. Quando o controle de pragas era realizado em áreas maiores, usavam-se determinados tipos de regador para aumentar a velocidade de aplicação e a uniformidade de distribuição do produto sobre as culturas (CHAIM, 1999). Esse mesmo autor descreveu, ainda, que o desenvolvimento de máquinas

para tratamento fitossanitários surgiu entre 1897 e 1900 e ocorreu devido ao interesse dos agricultores em aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. Outro fato que merece atenção é que, em consequência da revolução industrial, aumentou muito o êxodo rural, diminuindo, assim, a quantidade de mão de obra no campo e elevando a demanda de alimentos devido ao aumentando da população da zona urbana.

A pulverização consiste na fragmentação do líquido em gotas nos pulverizadores. Estes são classificados em função da energia que usam para fazer essa fragmentação, ou seja: hidráulicos, hidropneumáticos, pneumáticos, centrífugos e térmicos.

O uso de sistema de pulverização pneumática não é recente, mas ultimamente tem ganhado destaque nas pesquisas. O primeiro pulverizador pneumático foi desenvolvido provavelmente na França, em 1885, para aplicações em videiras (TSAY et al., 2002).

A pulverização pneumática ocorre com a injeção da calda sob baixa pressão em uma corrente de ar, fragmentando o líquido em gotas e conduzindo-as até o alvo.

As gotas pequenas resultantes da pulverização pneumática podem ser afetadas pela própria corrente de ar responsável pelo seu transporte até o alvo e pelas condições climáticas, causando deriva e evaporação. No entanto, a penetração de gotas maiores no interior da copa das árvores pode ser reduzida devido ao impedimento causado pelas folhas e pelo atrito do ar.

O objetivo da pulverização pneumática em florestas adultas é depositar as gotas em todo o dossel das plantas, e esse processo pode ser afetado pela arquitetura e densidade foliar da planta.

O regime de fluxo de ar produzido nos pulverizadores pneumáticos é de um elemento crítico no processo de transporte de gotas do pulverizador até a copa das plantas, pois, à medida que as gotas vão-se afastando do pulverizador, o fluxo de ar vai-se tornando desuniforme, ou seja, vai-se espalhando durante a trajetória. Vários estudos usaram modelos de jato teóricos para prever seu comportamento durante a trajetória. Porém, há carência de informações na literatura sobre trabalhos em campo (FOX et al., 2008).

Ainda de acordo com Fox et al. (2008), a deposição de gotas pode ser modelada pelos princípios da inércia, características do impacto sobre o alvo, interceptação pelas folhas externas e sedimentação. As gotas grandes são depositadas na folha, principalmente, pelo impacto. Já as gotas pequenas tendem a seguir a corrente aerodinâmica do fluxo de ar e a se depositarem no alvo pelo movimento turbulento do fluxo de ar.

Na aplicação de fitossanitários em plantas arbóreas é comum, devido à alta densidade foliar, que grande parte das gotas não atinja o interior do dossel. Nessa situação, a uniformidade de distribuição de líquido no dossel da planta fica prejudicada, causando baixa eficácia de controle da praga. Devido a essa baixa eficácia, os produtores aumentam o volume de calda utilizado e a dose do fitossanitário agrícola, ocasionando aumento no custo de produção e contaminação ambiental (PAI et al., 2008).

Obter uniformidade de distribuição no dossel de plantas arbóreas sempre foi um dos objetivos de pesquisadores e produtores. A preocupação com uma agricultura sustentável, em que o uso de defensivos agrícolas seja usado com cautela, tornou-se realidade em vários países. A maneira de praticar agricultura sustentável, sem agredir o meio ambiente, é aplicar o fitossanitário somente quando se fizer necessário, no local necessário, em quantidade necessária e em local necessário (FAROOQ; LANDERS, 2004).

Um dos métodos de avaliação da qualidade da aplicação de produtos fitossanitários é o uso de papel sensível à água. Esses papéis apresentam em uma de suas faces a presença da substância bromofenol. Em contato com a água, ocorre a ionização dessa substância, ficando o local do contato com coloração azul. Essa coloração contrasta com o amarelo, que é a cor de fundo do papel, permitindo, assim, a caracterização do tamanho e formato das gotas depositadas na etiqueta. O conhecimento do espectro das gotas que atingem o alvo permite adequar o tamanho das gotas às condições locais, garantindo, assim, uma aplicação eficiente de produtos fitossanitários (CUNHA, 2003).

A utilização de papel hidrossensível em árvores para avaliar a distribuição do líquido no dossel por análise de imagem é descrita por Moor et al. (2000). Segundo esses autores, esse método de calibração de

pulverizadores elimina o erro humano, mantendo um padrão de qualidade e oferecendo análise rápida e fácil da real condição da pulverização.

Cross et al. (2001), testando a distribuição da calda e as perdas causadas por deriva em árvores frutíferas utilizando papel hidrossensível e análise de imagens, descreveram a técnica como rápida e eficaz.

Diferentes volumes de aplicação e sua influência na qualidade da pulverização de laranjeiras, utilizando etiquetas hidrossensíveis, são descritos como capazes de diferenciar os tratamentos estudados (SALYANI; FOX, 1999).

A durabilidade de etiquetas amostradas por longo período não altera o tamanho, cor e forma das gotas quando armazenadas em condições adequadas (SALYANI, 1999).

Marti et al. (2006), avaliando a otimização da tecnologia de aplicação de fitossanitários em plantas arbóreas, concluíram que não é fácil conseguir distribuição uniforme sobre o dossel da planta. Afirmaram que aumentar a penetração de gotas é um objetivo importante para o desenvolvimento dos pulverizadores hidropneumáticos e para a economia de inseticidas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros da pulverização utilizando pulverizador pneumático na aplicação em florestas de eucalipto, através do estudo de gotas com o uso de etiquetas hidrossensíveis, visando à escolha de melhores parâmetros para pulverização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em condições de laboratório na cidade de Viçosa e a campo na cidade de Belo Oriente, Minas Gerais, utilizando-se um pulverizador pneumático, marca Jacto, com o objetivo de alcançar alturas superiores a 20 m, na aplicação de produtos fitossanitários em plantações de eucaliptos adultos (*Eucalyptus grandis*). Os dois experimentos foram conduzidos de forma semelhante, à exceção das vazões de ar. No primeiro experimento, empregou-se uma vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, obtida utilizando $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm) no eixo da tomada de potência (experimento 1); no segundo experimento, usou-se uma vazão de ar de $13.250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, obtida com 68 rad s^{-1} (650 rpm) no eixo da tomada de potência (experimento 2).

Os trabalhos foram desenvolvidos no campo de reflorestamento de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) da Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira –, no município de Belo Oriente, MG. Os eucaliptos pertenciam a um talhão de 43,16 ha, plantado com o clone tipo 111C89 com idade de 6,3 anos.

Nesses experimentos, utilizaram-se etiquetas de papel hidrossensíveis posicionadas nos dosséis dos eucaliptos, em três alturas diferenciadas (terços inferior, médio e superior do dossel) e três posições em relação à copa (frente, lateral e oposta à pulverização). Para o devido posicionamento dessas etiquetas, foi utilizada uma máquina florestal denominada Feller-Buncher, cortando-se a árvore a ser pulverizada e

conduzindo-a, pelo seu cabeçote, até próximo ao chão, quando as etiquetas eram presas nas referidas posições, retornando, assim, a árvore para a sua posição original (Figura 1).



Figura 1 – Feller-Buncher de esteira.

Após a pulverização, a copa da árvore era novamente abaixada pelo Feller-Buncher até próximo ao solo, sendo as etiquetas retiradas, acondicionadas em sacos de papel devidamente separados de acordo com sua altura e posição de colocação na copa e levadas ao laboratório. Essas etiquetas foram digitalizadas e analisadas, determinando-se a deposição de gotas através da densidade de gotas e a porcentagem de cobertura. O fator de espalhamento das gotas foi determinado de acordo com a equação proposta por Chaim (1999).

$$F = 0,74057 + 0,0001010399 D + 0,2024884 \ln(D) \quad (1)$$

em que F é o fator de espalhamento; e D , o diâmetro-limite de cada classe de tamanho da mancha (μm).

Recolhidas as etiquetas, determinou-se o comprimento total da árvore, assim como o comprimento e diâmetro de sua copa. Com as dimensões obtidas, estipulou-se o TRV através da equação 2.

$$TRV = \frac{H.L.10000}{D} \quad (2)$$

em que TRV é o volume dos dosséis das plantas ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); H , a altura do dossel (m); L , o diâmetro do dossel (m); e D , a distância entre linhas de plantio (m).

O pulverizador foi acoplado a um trator da marca New Holland, modelo TL85E, e abastecido. Utilizaram-se as três primeiras velocidades desse trator, obtendo, respectivamente, 0,46; 0,66; e 0,96 m s^{-1} , com uma vazão de 24,1 L min^{-1} .

Durante a coleta de dados, as condições de vento, a pressão barométrica, a temperatura e a umidade foram monitoradas através de, respectivamente, anemômetro, barômetro, termômetro e higrômetro digitais previamente calibrados.

2.1. Delineamento experimental

Os experimentos foram montados segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os volumes de aplicação, nas subparcelas as alturas e nas subdivididas as posições, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os dados foram analisados por meio de Análise de Variância e as médias, comparadas utilizando-se os testes F e Tukey, ambos a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os experimentos, a temperatura variou entre 24 e 28,0 °C e o vento próximo ao solo, entre 0,0 e 1,9 m s⁻¹, sendo a pressão barométrica de 1002 mbar e a umidade relativa acima de 62%.

Observam-se, no Quadro 1, os valores médios corrigidos do índice volumétrico aplicado em função do volume de cada dossel medido das árvores pulverizadas, com base no TRV médio de 102.228 m⁻³ ha⁻¹ de copa.

Quadro 1 – Índice volumétrico e volume de pulverização aplicado na lavoura

L 1.000 ⁻¹ m ⁻³ de dossel	Índice Volumétrico (L 1.000 ⁻¹ m ⁻³ de Dossel)	Volume de Aplicação (L ha ⁻¹)
IV 1	27,0	2.754
IV 2	20,2	2.060
IV 3	12,8	1.305

3.1. Estudo da população de gotas aplicadas na lavoura de eucalipto

3.1.1. Densidade de gotas

No Quadro 2 são apresentadas as médias da densidade de gotas para os três índices de volume estudado, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão do ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obtida no experimento 1, utilizando-se a TDP a $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm).

Quadro 2 – Valores médios da densidade de gotas (gotas cm^{-2}) para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV ($\text{L } 1000^{-1} \text{ m}^{-3}$)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	103,3	75,3	104,2
	Lateral	186,5	43,9	73,9
	Posterior	175,2	70,4	74,1
20,2	Frontal	69,8	80,3	105,2
	Lateral	113,9	80,3	91,8
	Posterior	88,4	80,6	101,9
12,8	Frontal	147,8	156,9	136,0
	Lateral	168,9	119,0	195,5
	Posterior	114,3	116,8	141,4

O Quadro 3 apresenta a análise de variância dos valores de densidade de gotas por cm^2 em função do índice volumétrico aplicado, altura das etiquetas na planta e posição destas no dossel do experimento 1. Dos parâmetros estudados, somente a altura da copa apresentou diferença significativa nas médias.

Quadro 3 – Resumo da análise de variância da densidade de gotas, utilizando-se a vazão de ar de 11.300 m³ h⁻¹: experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	2216,628 ^{NS}
Volume	2	21984,61 ^{NS}
Erro(A)	4	21807,03
Posição	2	1191,988 ^{NS}
Posição*volume	4	1256,567 ^{NS}
Erro(B)	12	1405,086
Altura	2	9972,379*
Altura*posição	4	3068,575 ^{NS}
Altura*volume	4	6648,064 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	1672,348 ^{NS}
Resíduo	36	2940,966

Coefficiente de variação da subparcela (Altura) = 48,2%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

No Quadro 4 são apresentadas as médias da densidade de gotas cm⁻² para a variável altura, no experimento 1.

Quadro 4 – Médias de densidade de gotas variando na altura do dossel do experimento 1

Altura do dossel	Densidade de Gotas (Gotas cm ⁻²)
1 – terço inferior	129,7 ^A
2 - terço médio	91,5 ^B
3 – terço superior	113,71 ^B

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observam-se também, no Quadro 4, os resultados, pelo teste de Tukey, das médias da densidade de gotas em diferentes alturas do dossel. O maior valor foi encontrado no terço inferior do dossel, sendo

estatisticamente semelhante ao encontrado no terço superior. Entretanto, o valor observado no terço inferior apresentou diferença significativa com relação àquele encontrado no terço médio do dossel, não tendo este último diferença significativa com o as médias verificadas no terço superior do dossel.

No Quadro 5 são apresentadas as médias da densidade de gotas para os três índices de volume estudados, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão de ar de $13.250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, obtida no experimento 2, utilizando-se a TDP a $68,0 \text{ rad s}^{-1}$ (650 rpm).

Quadro 5 – Valores médios da densidade de gotas (gotas cm^{-2}) para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000^{-1} m^{-3})	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	130,4	138,5	133,5
	Lateral	102,5	101,8	131,8
	Posterior	173,7	82,1	127,1
20,2	Frontal	191,8	157,7	143,6
	Lateral	166,4	116,1	162,1
	Posterior	199,0	135,6	111,3
12,8	Frontal	128,2	147,0	77,1
	Lateral	88,7	109,1	80,2
	Posterior	108,4	70,2	87,6

No Quadro 6 são apresentadas as análises de variância da densidade de gotas cm^{-2} do experimento 2. Não houve diferenças significativas em nenhuma das variáveis. No Quadro 7 estão as médias da densidade de gotas nos três níveis de altura dentro do dossel.

Quadro 6 – Resumo da análise de variância da densidade de gotas na vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹: experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	18566,42 ^{NS}
Volume	2	19829,01 ^{NS}
Erro(A)	4	18553,66
Posição	2	3345,805 ^{NS}
Posição*volume	4	372,9556 ^{NS}
Erro(B)	12	3952,619
Altura	2	6028,920 ^{NS}
Altura*volume	4	2557,044 ^{NS}
Altura*posição	4	3945,977 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	1054,333 ^{NS}
Resíduo	36	4499,440

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 53,24%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 7 – Média da densidade de gotas cm⁻² no experimento 2

Altura do dossel	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
1 – Terço inferior	143,2
2 – Terço médio	117,5
3 – Terço superior	117,1

Sendo a pulverização feita de baixo para cima, é esperada maior densidade de gotas no terço inferior do dossel. O “efeito parede” faz que as próprias folhas sirvam de barreira para a penetração do líquido no interior do dossel. Os valores obtidos variaram de 91 a 129 gotas cm⁻² no experimento 1 e de 117 a 143 gotas cm⁻² no experimento 2. Esse resultado indica distribuição uniforme em toda a copa das árvores pulverizadas. Em todos os pontos estudados, o número de gotas é suficiente para uma aplicação de inseticida (BARTHELEMY et al., 1990).

O maior número de gotas no terço inferior é importante no controle da lagarta, uma vez que estas preferem as folhas mais velhas para se alimentarem e estas folhas se encontram nessa região do dossel (SEPCHT et al., 2006).

As diferenças estatísticas entre os terços inferiores e os terços médios podem ser justificadas pela arquitetura da planta. Isso porque a área estudada era uma floresta de clones e estes tendiam a ter forma semelhante.

3.2. Porcentagem de cobertura

No Quadro 8 são apresentadas as médias da densidade de gotas para os três índices de volume estudados, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, obtida no experimento 1, utilizando-se a TDP a $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm).

Quadro 8 – Valores médios da porcentagem de cobertura para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000^{-1} m^{-3})	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	11,1	15,0	11,2
	Lateral	28,5	18,3	10,7
	Posterior	24,8	11,9	6,7
20,2	Frontal	8,0	29,6	26,8
	Lateral	10,3	19,8	19,0
	Posterior	6,5	15,9	17,3
12,8	Frontal	18,7	25,7	23,3
	Lateral	23,7	19,2	20,3
	Posterior	17,7	11,8	9,1

No Quadro 9 são apresentadas as análises de variância da variável porcentagem de cobertura da etiqueta em função do índice volumétrico aplicado, da altura das etiquetas no dossel e da sua posição horizontal em cada altura, no experimento 1.

Quadro 9 – Resumo da análise de variância da porcentagem de cobertura do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	82,05604 ^{NS}
Bloco	2	60,76649 ^{NS}
Erro(A)	4	2005,243
Posição	2	254,8683*
Posição*volume	4	126,8563 ^{NS}
Erro(B)	12	78,20281
Altura	2	48,10584 ^{NS}
Altura*posição	4	167,9938 ^{NS}
Altura*volume	4	403,2064*
Altura*posição*volume	8	9,536163 ^{NS}
Resíduo	36	74,25359

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 50,46%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se, no Quadro 9, que a interação entre a altura e o volume aplicado e a variável posição da etiqueta no dossel foram significativas. No Quadro 10 são apresentados os resultados do teste de Tukey dos valores de posição.

Uma porcentagem de cobertura maior nas partes frontal e interna do dossel em relação à posterior era esperada em função da posição do pulverizador, entretanto essa diferença não foi significativa.

No Quadro 11 são apresentadas as médias da porcentagem de cobertura em função dos índices volumétricos aplicados.

Quadro 10 – Valores médios da porcentagem de cobertura nas posições do dossel: experimento 1

Posição no dossel	Cobertura (%)
Frontal	18,8 ^A
Interna	18,8 ^A
Posterior	13,5 ^A

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 11 – Valores médios da porcentagem de cobertura para o índice volumétrico de 20,2 L 1.000 m⁻³ de dossel (volume 2): experimento 1

IV (L 1.000 m ⁻³)	Altura do Dossel		
	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
27,0	21,4 ^A	15,0 ^{AB}	9,50 ^B
20,2	8,2 ^B	21,7 ^A	21,0 ^A
12,8	20,0 ^A	18,9 ^A	17,5 ^A

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As porcentagens de cobertura foram semelhantes nas três alturas em cada um dos índices volumétricos estudados, à exceção do terço superior do volume 1 e do terço inferior do volume 2, o que pode ser justificado pelo alto coeficiente de variação do experimento (50,46%).

No Quadro 12 são apresentadas as médias da porcentagem de cobertura para os três índices de volume estudado, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão do ar de 13.250 m³ h⁻¹, obtida no experimento 2, utilizando-se a TDP a 68,0 rad s⁻¹ (650 rpm).

Quadro 12 – Valores médios da porcentagem de cobertura para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000 ⁻¹ m ⁻³)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	25,3	15,3	18,8
	Lateral	32,3	14,3	21,5
	Posterior	10,0	8,0	14,2
20,2	Frontal	24,2	13,4	13,9
	Lateral	14,2	12,4	12,0
	Posterior	16,7	11,2	10,7
12,8	Frontal	18,1	19,4	8,4
	Lateral	10,4	13,1	7,4
	Posterior	18,1	9,0	8,2

Quando se observou o mesmo parâmetro no experimento 2, em que se utilizou de maior vazão de ar, foi verificada diferença significativa da porcentagem de cobertura na posição das etiquetas no dossel, não ocorrendo a mesma diferenciação do experimento 1 quanto à variável altura (Quadros 13 e 14).

Houve diferenças estatísticas da porcentagem de cobertura entre os tratamentos, nas posições frontal e posterior, não ocorrendo diferença significativa entre a posição frontal e a intermediária e nem, também, entre a posição intermediária e a posterior.

O alto coeficiente de variação na porcentagem de cobertura foi justificado pelo tipo de pulverizador usado, que não teve boa uniformidade no tamanho de gotas. Outro fator que contribuiu foi a longa distância entre o pulverizador e o alvo e a alta velocidade de lançamento das gotas, provocando manchas irregulares nas etiquetas hidrossensíveis no sentido do fluxo de ar, o que tirou a esfericidade da gota.

Quadro 13 – Resumo da análise de variância da porcentagem de cobertura do experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	571,4249 ^{NS}
Volume	2	194,5496 ^{NS}
Erro(A)	4	238,0107
Posição	2	217,6165*
Posição*volume	4	122,5219 ^{NS}
Erro(B)	12	58,64614
Altura	2	321,0550 ^{NS}
Altura*volume	4	78,83048 ^{NS}
Altura*Posição	4	16,17273 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	54,01071 ^{NS}
Resíduo	36	171,7543

Coefficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 88,32%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 14 – Valores médios da porcentagem de cobertura para as posições das etiquetas no dossel: experimento 2

Posição	Média
1	17,4 ^A
2	15,3 ^{AB}
3	11,7 ^B

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em nenhuma das alturas de copa das plantas estudadas ocorreram diferenças estatísticas significativas da porcentagem de cobertura nas diferentes rotações do ventilador. Não se justificando, nesse caso, o uso de rotações acima de 540 rpm na TDP.

3.3. Determinação do DMV

O Quadro 15 apresenta a média do Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV) para os três índices de volume estudado, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obtida no experimento 1, utilizando-se a TDP a $56,5 \text{ rad s}^{-1}$ (540 rpm).

Quadro 15 – Valores médios do DMV para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000^{-1} m^{-3})	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	381,9	389,2	279,6
	Lateral	308,9	576,1	297,5
	Posterior	412,4	422,2	310,4
20,2	Frontal	313,4	701,0	487,4
	Lateral	323,1	508,7	511,5
	Posterior	269,5	404,9	460,6
12,8	Frontal	345,7	490,9	366,1
	Lateral	392,4	429,5	433,7
	Posterior	359,2	262,7	309,2

O Quadro 16 apresenta o resumo da análise de variância da variável DMV, quando se aplicou calda utilizando $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de vazão de ar. Como se observou, não houve interação significativa a 5% entre as variáveis estudadas.

Quadro 16 – Resumo da análise de variância do DMV do experimento1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	39506,86 ^{NS}
Erro(A)		377966,2
Posição	2	34528,78 ^{NS}
Posição*volume	4	17113,64 ^{NS}
Erro(B)		35150,09
Altura	2	100988,4 ^{NS}
Altura*volume	4	51418,00 ^{NS}
Altura*posição	4	21710,75 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	13548,70 ^{NS}
Resíduo	36	40572,16

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura)= 50,60%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Valores médios do DMV nas diferentes alturas das copas são apresentados no Quadro 17. Os valores variaram de 345 μm a 465 μm , nos diferentes terços avaliados das copas. O maior valor foi encontrado no terço médio, mas, apesar de ser um valor mais alto, não diferiu estatisticamente daqueles verificados nos terços superior e inferior. Uma explicação para isso foi o alto coeficiente de variação encontrado.

Quadro 17 – Valores médios do DMV nas três alturas, utilizando-se 11.300 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ de vazão de ar no ventilador

Altura no dossel	DMV (μm)
Terço inferior	345
Terço médio	465
Terço superior	383

O Quadro 18 apresenta a média do Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV) dos três índices de volume estudado, nas três alturas e três posições da copa do eucalipto, com a vazão de ar de $13.250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obtida no experimento 1, utilizando-se a TDP a $68,0 \text{ rad s}^{-1}$ (650 rpm).

Quadro 18 – Valores médios do DMV para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador

IV (L 1000^{-1} m^{-3})	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	455,1	303,7	336,1
	Lateral	920,7	344,8	419,8
	Posterior	325,7	325,6	312,0
20,2	Frontal	410,9	256,7	295,0
	Lateral	270,7	300,2	279,2
	Posterior	329,5	248,6	255,4
12,8	Frontal	394,6	400,4	342,8
	Lateral	344,1	365,1	258,3
	Posterior	409,0	317,0	296,2

A variável índice volumétrico apresentou valores estatisticamente diferentes e, também, a interação entre as variáveis posição da folha na copa e o índice de aplicação. Nesse caso, somente estudou-se a interação.

No Quadro 20 são apresentadas as médias dos valores de DMV dentro das três alturas estudadas para cada Índice volumétrico avaliado.

Com relação aos dois menores valores de índice volumétrico utilizados, as diferenças do DMV entre as alturas estudadas não apresentaram diferenças significativas, porém para o maior valor do Índice volumétrico ocorreram os maiores valores de DMV.

Quadro 19 – Resumo da análise de variância do estudo de DMV no experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	F
Bloco	2	100846,6	2,80 ^{NS}
Volume	2	27044,9	3,73*
Erro(A)	4	39111,8	
Posição	2	60634,0	1,83 ^{NS}
Posição*volume	4	21394,1	2,83*
Erro(B)	12	118679,7	
Altura	2	33696,2	2,16 ^{NS}
Altura*volume	4	12020,6	0,61 ^{NS}
Altura*posição	4	38181,1	0,22 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	54927,6	0,70 ^{NS}
Resíduo	36		

Coefficiente de variação = 66,490; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; e * Significativo a 5% de probabilidade. Média geral = 352,48.

Quadro 20 – Valores médios do DMV para os índices volumétricos estudados nas alturas avaliadas: experimento 2

IV (L 1.000 m ⁻³)	Altura no Dossel		
	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
27,0	365 ^B	561 ^A	321 ^B
20,2	320 ^A	283 ^A	278 ^A
12,8	379 ^A	322 ^A	340 ^A

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

São valores esperados, uma vez que o pulverizador pneumático não usa um bico pulverizador para fracionar a calda e gerar a gota, usa a corrente de ar produzida pelo ventilador e esse tipo de fracionamento é menos eficiente que as pontas pulverizadoras. Com maior volume para fracionar, há tendência de as gotas serem maiores e em maior número, e isso eleva o valor de DMV.

3.4. Determinação do coeficiente de homogeneidade (CH)

O Coeficiente de Homogeneidade (CH), que é a relação entre o diâmetro da mediana volumétrica e o diâmetro da mediana numérica, foi avaliado para fornecer referência com relação à dispersão dos diâmetros das gotas que atingiram o alvo. O Quadro 21 apresenta os volumes médios do CH para cada altura e posição nos três índices volumétricos estudados, utilizando-se a vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Quadro 21 – Valores médios do CH para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador: experimento 1

IV ($\text{L } 1000^{-1} \text{ m}^{-3}$)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	4,9	7,4	2,4
	Lateral	3,0	6,1	2,6
	Posterior	3,4	9,1	2,0
20,2	Frontal	2,5	6,4	8,0
	Lateral	4,5	4,4	3,4
	Posterior	2,5	3,0	3,1
12,8	Frontal	3,0	8,0	4,1
	Lateral	3,7	4,8	3,3
	Posterior	2,9	2,4	2,4

O resumo da análise de variância do CH do experimento utilizando $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de vazão de ar é apresentado no Quadro 22, em que se percebe que, das médias obtidas, somente a variável altura apresentou diferenças estatísticas significativas entre as médias.

Quadro 22 – Resumo da análise de variância do CH do experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	3,445878 ^{NS}
Bloco	2	13,60956 ^{NS}
Erro(A)	4	75,38078
Posição	2	22,30028 ^{NS}
Posição*volume	4	5,957144 ^{NS}
Erro(B)	12	12,77835
Altura	2	46,73528*
Altura*posição	4	4,443967 ^{NS}
Altura*volume	4	17,07011 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	7,142706 ^{NS}
Resíduo	36	13,20749

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 86,89%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

O Quadro 23 apresenta o teste de média para o coeficiente de homogeneidade. O maior valor foi no terço médio do dossel, porém não foi significativamente diferente pelo teste de Tukey a 5%.

Uma das possíveis causas desse valor alto no terço médio pode ser observada no Quadro 23, podendo estar também na arquitetura do dossel. Por serem clones, possuem tendência a ter formato semelhante entre as plantas, e isso pode ter influenciado os resultados.

No Quadro 24 são apresentados os volumes médios do CH para cada altura e posição nos três índices volumétricos estudados, utilizando-se a vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ (experimento 2).

O Quadro 25 apresenta o resumo da análise de variância do CH nos três índices volumétricos, três posições e três alturas do dossel estudado. Não houve diferenças significativas nem interações entre as médias das variáveis analisadas.

Quadro 23 – Valores médios do CH nas três alturas, utilizando-se 11.300 m³ h⁻¹ de vazão de ar no ventilador

Altura no dossel	CH
Terço inferior	3,3841 ^A
Terço médio	5,7007 ^A
Terço superior	3,4619 ^A

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas colunas não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 24 – Valores médios do CH para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador: experimento 2

IV (L 1000 ⁻¹ m ⁻³)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	3,6	2,9	2,7
	Lateral	8,9	2,4	4,4
	Posterior	6,2	3,5	3,2
20,2	Frontal	3,6	2,3	3,3
	Lateral	2,5	2,6	2,5
	Posterior	2,6	3,2	2,7
12,8	Frontal	4,0	3,8	3,6
	Lateral	2,7	3,2	2,6
	Posterior	3,8	3,2	3,2

Quadro 25 – Resumo da análise de variância do CH do experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	6,526856 ^{NS}
Volume	2	13,43426 ^{NS}
Erro(A)	4	4.912230
Posição	2	0,4308262 ^{NS}
Posição*volume	4	6,603375 ^{NS}
Erro(B)	12	4,638051
Altura	2	11,96865 ^{NS}
Altura*volume	4	8,450031 ^{NS}
Altura*posição	4	1,334973 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	3,259177 ^{NS}
Resíduo	36	4,333773

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 60,25%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

O Quadro 26 apresenta as médias do CH para as três alturas do dossel. À semelhança do experimento 1, os valores variaram entre 3 e 5, os quais eram esperados para um pulverizador pneumático.

Quadro 26 – Valores médios do CH nas três alturas, utilizando-se 13.250 m³ h⁻¹ de vazão de ar no ventilador (experimento 2)

Altura no dossel	CH
Terço inferior	4,2
Terço médio	3,0
Terço superior	3,1

3.5. Determinação dos valores de SPAN

O SPAN, também chamado de amplitude relativa ao DMV, é mais uma referência no estudo de gotas à variação dos diâmetros das gotas pulverizadas. O Quadro 27 apresenta os valores médios do SPAN para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas utilizando a vazão de ar de $11.300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ no ventilador (experimento 1).

Quadro 27 – Valores médios do SPAN para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador: experimento 1

IV (L 1000^{-1} m^{-3})	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	1,1	0,9	1,0
	Lateral	1,1	0,8	1,2
	Posterior	1,2	1,0	0,9
20,2	Frontal	0,8	1,0	1,0
	Lateral	0,9	0,9	0,7
	Posterior	0,7	1,0	0,9
12,8	Frontal	1,1	1,0	0,9
	Lateral	1,0	1,1	1,0
	Posterior	0,9	0,9	0,9

O Quadro 28 traz a análise de variância da variável SPAN. Não houve diferenças estatísticas significativas a 5% para nenhuma variável ou interações. O Quadro 29 contém as médias calculadas do SPAN, e esses valores são próximos de 1. O valor ideal do SPAN é zero, em que teriam todas as gotas com o mesmo diâmetro. O pulverizador pneumático tem variação maior de gotas, portanto o SPAN próximo a 1 está adequado a esse tipo de equipamento.

Quadro 28 – Resumo da análise de variância do SPAN no experimento 1

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Volume	2	0,1234539 ^{NS}
Bloco	2	0,03090542 ^{NS}
Erro(A)	4	0,4258182
Posição	2	0,008007198 ^{NS}
Posição*volume	4	0,02544998 ^{NS}
Erro(B)	12	0,04886386
Altura	2	0,00987979 ^{NS}
Altura*posição	4	0,01494827 ^{NS}
Altura*volume	4	0,08130146 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	0,06047160 ^{NS}
Resíduo	36	0,07467359

Coefficiente de variação da subsubparcela = 28,54%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 29 – Médias dos valores de SPAN nas três alturas estudadas

Altura no dossel	SPAN
Terço inferior	0,97
Terço médio	0,96
Terço superior	0,93

O Quadro 30 apresenta os valores médios do SPAN para os três índices volumétricos estudados, nas sete alturas avaliadas utilizando a vazão de ar de 13.250 m³ h⁻¹ no ventilador (experimento 2).

O Quadro 31 traz a análise de variância da variável SPAN. Houve diferenças estatísticas significativas a 5% na interação entre a altura e o volume.

Quadro 30 – Valores médios do SPAN para os índices volumétricos, alturas (1 = terço inferior da copa; 2 = terço médio da copa; e 3 = terço superior da copa) e posições nas copas em relação ao pulverizador: experimento 2

IV (L 1000 ⁻¹ m ⁻³)	Posição	Altura		
		1	2	3
27,0	Frontal	0,8	0,9	0,9
	Lateral	0,9	0,9	1,5
	Posterior	1,2	0,9	1,2
20,2	Frontal	1,0	1,0	0,8
	Lateral	0,9	1,0	0,9
	Posterior	1,0	1,0	0,9
12,8	Frontal	1,0	1,1	0,7
	Lateral	1,1	1,0	0,9
	Posterior	0,9	1,2	0,9

Quadro 31 – Resumo da análise de variância do SPAN no experimento 2

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	0,1464751 ^{NS}
Volume	2	0,05497314 ^{NS}
Erro(A)	4	0,07590328
Posição	2	0,1126504 ^{NS}
Posição*volume	4	0,02350423 ^{NS}
Erro(B)	12	0,05745509
Altura	2	0,008355358 ^{NS}
Altura*volume	4	0,2289364*
Altura*posição	4	0,06962223 ^{NS}
Altura*posição*volume	8	0,04240390 ^{NS}
Resíduo	36	0,07308741

Coeficiente de variação da subsubparcela (Altura) = 27,40%; ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; e ** Significativo a 1% de probabilidade.

O Quadro 32 apresenta os testes das médias das alturas em cada índice volumétrico estudado. À semelhança do experimento 1, os valores estão próximos a 1 e são aqueles esperados para esse tipo de pulverizadores.

Quadro 32 – Valores médios do SPAN para a interação entre o índice volumétrico e alturas avaliadas: experimento 2

IV (L 1.000 m ⁻³)	Altura no Dossel		
	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
27,0	0,99 ^{AB}	0,90 ^B	1,22 ^A
20,2	0,98 ^A	1,01 ^A	0,85 ^A
12,8	1,01 ^A	1,09 ^A	0,83 ^A

Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, chegou-se às seguintes conclusões:

- Em todos os pontos do dossel das árvores estudados, os valores de densidades atenderam às especificações mínimas para a aplicação de inseticida.
- As vazões de ar estudadas não interferiram significativamente na porcentagem de cobertura.
- Nas condições estudadas, a vazão de ar obtida com 56,5 rad s⁻¹ na (540 rpm) TDP foi adequada à aplicação de produtos.
- O pulverizador pneumático utilizado atendeu às expectativas tanto em densidade de gotas quanto em porcentagem de cobertura para a aplicação de inseticida em floresta de eucalipto de até 26 m.
- Os valores médios do coeficiente de homogeneidade e SPAN foram condizentes com o tipo de pulverizador utilizado.
- O pulverizador utilizado foi eficiente na aplicação de fitossanitários em árvores adultas de eucalipto.

5. REFERÊNCIAS

BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulvérisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160 p.

CHAIM, A. **História da pulverização**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA/CNPMA, 1999. 17 p.

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer. Effects of spray liquid flow rate. **Crop Protection**, v. 20, p. 13-30, 2001.

CUNHA, J. P. A. R. **Tecnologia de aplicação convencional de fungicida de contato no controle de doenças do feijoeiro**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

FAROOQ, M.; LANDERS, A. J. **Interactive effects of air, liquid and canopies on spray patterns of axial-flow sprayers**. St. Joseph, MI: ASABE, 2004. (Paper, 1001).

FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A. A history of air-blast sprayer development and future prospects. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 2, p. 405-410, 2008.

MARTI, S. P.; POLO, J. R. R.; MOYA, E. G.; MONTEROLA, L. V.; ESCOLA, A. **Optimizing pesticide spray application in tree crops**. St. Joseph, MI: ASABE, 2006. (Paper, 1128).

MOOR, B. A.; LANGENAKENS, J.; VEREECKE, E. Image analysis of water sensitive paper as a tool for the evaluation of spray distribution of orchard sprayers: aspects of applied biology. **Pesticide Application**, v. 57, 2000.

PAI, N.; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. **Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density**. St. Joseph, MI: ASABE, 2008. (Paper, 3653).

SALYANI, M. A technique for stabilizing droplet spots on oil-sensitive paper **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 1, p. 45-48, 1999.

SALYANI, M.; FOX, R. D. Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive papers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 1, p. 37-43, 1999.

SPECHT, A.; FORMENTINI, A. C.; CORSEUIL, E. Biologia de *Hylesia nigricans* (Berg) (Lepidoptera, Saturniidae, Hemileucinae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 1, p. 248-255, 2006.

TSAY, J.; FOX, R. D.; OZKAN, H. E.; BRAZEE, R. D.; DERKSEN, R. C. Evaluation of a pneumatic-shielded spraying system by CFD simulation. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 1, p. 47-54, 2002.

REFERÊNCIAS

BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulvérisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160 p.

BAYAT, A.; ZEREN, Y.; ULUSPY, M. R. Spray deposition with conventional and electrostatically-charged spraying in citrus trees. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America**, v. 25, n. 4, p. 35-39, 1994.

BERTI FILHO. **Biologia de *Thyrinteina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae) e observações sobre a ocorrência de inimigos naturais**. 1974. 74 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1974.

BYERS, R. E.; HICKEY, K. D.; HILL, C. H. Base of gallonage per acre. **Var. Fruit.**, v. 60, p. 19-23, 1971.

CHAIM, A. **História da pulverização**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA/CNPMA, 1999. 17 p.

CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.). **Fungicides: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p. 239-286.

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer. Effects of spray liquid flow rate. **Crop Protection**, v. 20, p. 13-30, 2001.

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, v. 20, p. 333-343, 2001.

CUNHA, J. P. A. R. **Tecnologia de aplicação convencional de fungicida de contato no controle de doenças do feijoeiro**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

CUNNINGHAM, R. T.; BRANN, J. L.; FLEMING, G. A. Factors affecting the evaporation of water from droplets in airblast spraying. **Journal of Economic Entomology**, v. 55, n. 2, p. 192-199, 1962.

ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSS E, J. R.; GIL, E.; VAL, L. **Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2006. (Paper, 1620).

EWING, G. W. **Métodos instrumentais de análise química**. 6. ed. São Paulo: Editora Afiliada, 1996. 296 p.

FAROOQ, M.; LANDERS, A. J. **Interactive effects of air, liquid and canopies on spray patterns of axial-flow sprayers**. St. Joseph, MI: ASABE, 2004. (Paper, 1001).

FERREIRA, M. C. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para o controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (g., 1939) em citros**. 2003. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2003.

FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A. A history of air-blast sprayer development and future prospects. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 2, p. 405-410, 2008.

GONÇALVES, M. L. S. S. **Métodos instrumentais para análise de soluções, análise quantitativa**. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. 789 p.

HALE, O. D. Performance of air jets in relation to orchard sprayers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, n. 23, p. 1-16, 1978.

HARDI. **Técnicas de atomização**. Dinamarca: Hartvig Jensen, 1993.

JACTO. **Manual de pulverizador Jatão 600 Export**. Pompéia, SP: Máquinas Agrícolas Jacto, 2002. 34 p.

KNEWITZ, H.; WEISSER, P.; KOCH, H. Drift-reducing spray application in orchards and biological efficacy of pesticides. **Aspects of Applied Biology**, p. 231-236, 2002.

KONNO, R. H.; FRANCO, C. R.; OMOTO, C. Suscetibilidade de populações de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) a acaricidas organoestânicos em citros. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 703-709, 2001.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal Electrostatics**, v. 51/52, p. 25-42, 2001.

MAGDALENA, J. C. **Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh)**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Espanha, 2004.

MAGDALENA, J. C.; BALBUENA, R.; DI PRINZIO, A. P.; CAPURRO, J. A. Equipos para aplicación de agroquímicos. Propuesta de unificación de denominación y clasificación. In: _____. **Avances en Ingeniería Agrícola 1998/2000**. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, 2000. p. 150-156.

MAGNO JÚNIOR, R. G. **Desenvolvimento de sistema eletrônico para pulverização e atração de gotas em plantas cítricas**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MARTI, S. P.; POLO, J. R. R.; MOYA, E. G.; MONTEROLA, L. V.; ESCOLA, A. **Optimizing pesticide spray application in tree crops**. St. Joseph, MI: ASABE, 2006. (Paper, 1128).

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo: Convênio Cetesb/Ascetesb, 1985. 442 p.

MOOR, B. A.; LANGENAKENS, J.; VEREECKE, E. Image analysis of water sensitive paper as a tool for the evaluation of spray distribution of orchard sprayers: aspects of applied biology. **Pesticide Application**, v. 57, 2000.

NUYTTENS, A. D.; BAETENSB, K.; DE SCHAMPHELEIREC, M.; SONCKA, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, p. 333-345, 2007.

ODA, S.; BERTI FILHO, E. Incremento anual volumétrico de *Eucalyptus saligna* SM em áreas com diferentes níveis de infestação de lagartas de *Thyrinteina arnobia* Stoll, 1782 (Lepidoptera, Geometriadae). **IPEF**, n. 17, p. 27-31, 1981.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J. L. **Técnica de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1989. 641 p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. M.; RUIZ, J. L.; HERNANZY, F. J. **Las máquinas agrícolas y su aplicaciones**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1984. 492 p.

PAI, N.; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. **Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density**. St. Joseph, MI: ASAE, 2008. (Paper, 3653).

PALADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2000.

POINTING, C. **A green history of the world**. Penguin Books, 1991. 430 p.

PROKOP, M.; KEJKLÍČEK, R. Effect of adjuvants on spray droplet size of water. **Research in Agricultural Engineering**, v. 48, p. 144-148, 2002.

RAETANO, C. G.; SCUDELER, F.; BAUER, F. C.; VENEGAS, F.; VINCHI, R. R. Avaliação da cobertura de pulverização com diferentes equipamentos e condições operacionais na cultura do café. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí, SP: Instituto Agrônomo, Centro de Mecanização e Automação Agrícola, 2001. 6 p.

RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORREA, I. M.; BASSANESSI, R. B.; GARCIA, L. C. Características da pulverização e citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 56-65, 2007.

REICHARD, D.; RETZER, H.; LILJELDAHL, L.; HALL, R. Spray droplet size distributions delivered by air blast orchard sprayers. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 2, p. 232-237, 1977.

REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; HALL, F. R. Air velocities delivered by orchard air sprayer. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n. 1, p. 69-74, 1979.

RICHEY, C. B.; JACOBSON, P.; HALL, C. A. Economics of farm machinery. In: _____. **Agricultural engineers' handbook**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1961. Chapter 1, p. 1-17.

RODRIGUES, G. J. **Crerios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

RUAS, R. A. A. **Tecnologia de aplicação de glyphosate para certificação de produtos agrícolas**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

RUAS, R. A. A.; CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Avaliação da uniformidade de distribuição de líquido e determinação da faixa de aplicação de um pulverizador pneumático tipo canhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2003.

SALYANI, M. A technique for stabilizing droplet spots on oil-sensitive paper **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 1, p. 45-48, 1999.

SALYANI, M.; FOX, R. D. Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive papers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 1, p. 37-43, 1999.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, T. V.; FREITAS, M. F.; ZANUNCIO, J. C. Biologia comparada e consumo foliar de *Anisodes* SP. (Lepidoptera: Geometridae) em folhas novas e velhas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid (MYRTACEAE) e *Psidium guajava* L. (MYRTACEAE). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 69-76, 2003.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.

SKOOG, A. D.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 835 p.

SPECHT, A.; FORMENTINI, A. C.; CORSEUIL, E. Biologia de *Hylesia nigricans* (Berg) (Lepidoptera, Saturniidae, Hemileucinae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 1, p. 248-255, 2006.

TSAY, J.; FOX, R. D.; OZKAN, H. E.; BRAZEE, R. D.; DERKSEN, R. C. Evaluation of a pneumatic-shielded spraying system by CFD simulation. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 1, p. 47-54, 2002.

VLADISAVLJEVIC, G.T.; SCHUBERT, H. Influence of process parameters on droplet size distribution in SPG membrane emulsification and stability of prepared emulsion droplets. **Journal of Membrane Science**, v. 225, p. 15-23, 2003.

WOMAC, A. R.; HART, W. E.; MAYNARD II, R. A. Drop spectra for pneumatic atomizers at low discharge rates. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 4, p. 941-949, 1998.

YATES, W. E.; AKESSON, N. B.; COUTTS, H. H. Evaluation of drift residues from aerial applications. **Transactions of the ASAE**, v. 9, n. 3, p. 389-393, 1966.

ZANUNCIO, J. C.; LIMA, J. O. G. Ocorrência de *Sarsina violascens* (Herrich-Schaeffer, 1856) (Lepidoptera: Lymantriidae) em eucaliptais de Minas Gerais. **Brasil Florestal**, v. 6, n. 23, p. 48-50, 1975.