Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (*Glycine max)*

Samir Elias Zaidan

Dissertação elaborada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2012

Samir Elias Zaidan
Engenheiro Agrônomo

Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (*Glycine max)*

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof.Dr. **CASIMIRO DIAS GADANHA JÚNIOR**

Dissertação elaborada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Zaidan, Samir Elias
Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (*Glycine Max*) / Samir Elias Zaidan. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2012.
78 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Pesticidas - Aplicação 2. Pulverização 3. Pulverizadores 4. Soja I. Título

CDD 633.34
Z21i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

À Deus que me deu saúde e luz para vencer todas as dificuldades, a toda minha família, em especial ao meu pai Nagib, minha mãe Maria Elisabeth e a minha irmã Nádia que sempre estiveram ao meu lado e a minha namorada Suelen pela preciosa ajuda e compreensão nos momentos mais difíceis.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela possibilidade da realização do curso de mestrado.

Aos docentes do Departamento de Engenharia de Biossistemas Tomaz Caetano Cannavan Ripoli, José Paulo Molin, Marcos Milan e em especial ao Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Jr pela orientação e amizade durante todo o mestrado.

À empresa Máquinas Agrícolas Jacto S/A representada pelos engenheiros Cristiano Okada Pontelli e Walter Mosquini por fornecer o equipamento de aplicação e auxiliar na etapa de coleta de dados.

À Universidade Estadual do Norte do Paraná, na figura do Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo pela ajuda na condução e na análise dos dados do experimento.

À CoorsTek Ceramics representada pelos engenheiros Rodrigo Alandia Roman e Hervé Foubert por fornecer as pontas de pulverização utilizadas nesse estudo.

Aos senhores Anselmo Alberti e Neto da Fazenda Igreja Velha por ceder a área para execução do experimento.

À todas as pessoas que me auxiliaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

Muito Obrigado

EPÍGRAFE

"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."

Anatole France

"Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela, tampouco, a sociedade muda."

Paulo Freire

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT.....13
LISTA DE FIGURAS…….....15
LISTA DE TABELAS….....17
1 INTRODUÇÃO.....19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....21
2.1 Cultura da Soja.....21
2.2 Pontas de Pulverização.....22
2.2.1 Uniformidade de distribuição volumétrica.....22
2.2.2 Espectro de gotas 23
2.3 Influência das condições climáticas 26
2.4 Velocidade de deslocamento 27
2.5 Perdas.....28
2.6 Cobertura e depósito da pulverização.....29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....31
3.1 Material.....31
3.1.1 Local.....31
3.1.2 Pulverizador 31
3.1.3 Descrição das pontas de pulverização.....33
3.1.4 Descrição dos tratamentos.....35
3.1.5 Condições ambientais 36
3.2 Métodos.....36
3.2.1 Validação das condições operacionais 36
3.2.2 Calibração do Pulverizador 37
3.2.3 Preparo da calda 39
3.2.4 Aplicação dos tratamentos 40
3.2.5 Avaliação da cobertura foliar 41
3.2.6 Avaliação de depósito 44
3.2.7 Determinação do Índice de área foliar (IAF).....47
3.2.8 Estimativa de Perdas (%).....48
3.2.9 Delineamento e análise estatística.....49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....51

4.1 Validação das condições operacionais 51
4.2 Índice de Área Foliar 57
4.3 Curva de calibração para o corante Azul FD&C N°1 57
4.4 Condições ambientais 58
4.5 Cobertura da pulverização 58
4.5.1 Estrato superior 58
4.5.2 Estrato médio 60
4.5.3 Estrato inferior 61
4.6 Depósito foliar 64
4.6.1 Estrato superior 64
4.6.2 Estrato médio 65
4.6.3 Estrato inferior 66
4.7 Relação Cobertura x depósito 68
4.8 Estimativa de Perdas (%) 69
5 CONCLUSÕES. 71
REFERÊNCIAS 73

RESUMO

Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (*Glycine max*)

O objetivo do trabalho foi o de comparar a eficiência de aplicação de agroquímicos na cultura da soja utilizando diferentes pontas de pulverização para aplicações terrestres em alta velocidade. Foram avaliadas as pontas AXI 110 04 na velocidade de 15 $km.h^{-1}$ (testemunha), APE Cinza, AXI 110 08, TD Hispeed 110 06 e AXI TWIN 120 06, todos na velocidade de deslocamento de 35 $km.h^{-1}$. O volume de aplicação foi fixado em 120 $L.ha^{-1}$. A eficiência de aplicação foi avaliada por dois métodos: Análise do percentual de cobertura utilizando marcador fluorescente e luz ultravioleta e análise de depósito através da recuperação e quantificação do corante azul brilhante FD&C N°1 por espectrofotometria. Ambas as analises foram feitas em amostras retiradas de três partes da planta: Superior, média e inferior. As pontas de pulverização mostraram padrões de cobertura e depósito diferenciados, de modo que na parte superior da planta, a cobertura foi favorecida por gotas mais finas e o depósito melhorado pelo uso de gotas médias. Nas demais partes da planta não houve diferença estatística entre os tratamentos tanto para cobertura quanto para depósito. A velocidade de deslocamento não interferiu na eficiência de aplicação para pontas com mesmo padrão de gota, permitindo o aumento da capacidade efetiva do pulverizador sem diminuição na qualidade da aplicação.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação; Cobertura da pulverização; Depósito; Pulverizador autopropelido

ABSTRACT

Influence from different spray nozzles for ground applications using high travel speed in soybean crop (*Glycine max*)

The aim of this study was to compare the efficiency of agrochemical application on soybean crop using different types of spray nozzles for ground applications in high travel speed. It was evaluated the nozzles AXI 110 04 with ground speed of 15 $km.h^{-1}$ (reference), APE Grey, AXI 110 08, TD Hispeed 110 06 and AXI TWIN 120 06, all using travel speed of 35 $km.h^{-1}$. The volume rate was fixed in 120$L.ha^{-1}$. The application efficiency was evaluated by two different methods: Analysis of coverage area using fluorescent dye tracer and UV light and analysis of deposits through the recovery and quantification of bright blue tracer FD&C N°1 by Spectrophotometry. Both analysis were done in samples collected from three parts of the plant: Top, medium and bottom. The spray nozzles showed differences in coverage and deposit pattern, so in the top of the plant, the coverage was increased with smaller droplets and the deposit was increased with medium droplets. In the other parts of the plant, there was no statistical difference between the treatments both for coverage and deposit. The travel speed did not influence the application efficiency for droplet with the same droplet pattern, so it is possible to increase the effective capacity of the sprayer without decreasing the application quality.

Keywords: Application technology; Spray coverage; Deposition; Self-propelled sprayer

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos espectros de tamanho de gota em seis classes definidas pela norma ASABE S572 (2009) 25
Figura 2 - Vista geral do pulverizador utilizado no experimento 32
Figura 3 - Esquema do ciclo vegetativo da soja mostrando os estádios fenológicos de desenvolvimento da cultura (Fonte: Iowa State University, Special Report, n.53,1988) 32
Figura 4 - Pontas de pulverização de jato plano simples utilizadas: (a) AXI 11004, (b) APE cinza e (c) AXI 11008 33
Figura 5 - Pontas de pulverização de jato plano duplo utilizadas no experimento: (a) Ponta TD Hispeed 11006 e (b) Ponta AXI TWIN 12006 34
Figura 6 - Esquema mostrando as características construtivas das pontas de jato plano duplo: (a) com jatos simétricos (AXI TWIN 12006) e (b) com jatos assimétricos (TD Hispeed 11006) 34
Figura 7 - Mesa de canaletas horizontal normatizada para determinação da uniformidade de distribuição transversal de pontas de pulverização 37
Figura 8 - Coleta de calda de pulverização para determinação da massa de líquido pulverizado 38
Figura 9 - Método de medição de vazão por quantificação da massa de líquido pulverizado 39
Figura 10 - Pré-mistura dos marcadores em balde para facilitar o preparo da calda de pulverização 39
Figura 11 - Mistura dos marcadores fluorescente LRM100 e do azul FD&C N°1 no reservatório do pulverizador 40
Figura 12 - Croqui do esquema de distribuição aleatória dos tratamentos nas parcelas experimentais em cada bloco do experimento 41
Figura 13 - Caracterização dos estratos superior, médio e inferior para coleta de amostras na planta de soja 42
Figura 14 - Procedimento de coleta de amostras nos três estratos verticais da planta.. 43
Figura 15 - Procedimento de classificação visual das amostras segundo uma escala de cobertura foliar sob luz ultravioleta 44
Figura 16 - Superfície dos folíolos de soja cobertos por gotas contendo marcador Azul Brilhante FD&C N°1 após a aplicação nas unidades experimentais.... 45

Figura 17 - Lavagem dos folíolos por agitação com água destilada para extração do marcador Azul Brilhante FD&C N°1 45
Figura 18 - Preparação das amostras para análise de recuperação do marcador Azul Brilhante FD&C N°1 em laboratório 46
Figura 19 - Acondicionamento das amostras em caixa térmica e encaminhamento para análise 46
Figura 20 - Método para determinação do índice de área foliar (IAF) por meio da desfolha e determinação da área foliar das plantas selecionadas 48
Figura 21 - Procedimento para quantificação de área foliar por meio da medição da máxima largura e máximo comprimento dos folíolos 48
Figura 22 - Distribuição volumétrica transversal da ponta APE cinza na altura de 500 mm nas pressões de 200, 250, 300 e 400 kPa 51
Figura 23 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI 11004 na altura de 500mm nas pressões hidráulicas de 150, 200, 250 e 300 kPa 52
Figura 24 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI Twin 110 06 na altura de 500mm e nas pressões hidráulicas de 250, 300, 450 e 600 kPa 52
Figura 25 - Distribuição volumétrica transversal da ponta TD HiSpeed 110 06 na altura de 500mm e nas pressões hidráulicas de 250, 300, 450 e 600 kPa .. 53
Figura 26 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI 110 08 na altura de 500mm e nas pressões hidráulicas de 150, 200, 250 e 300 kPa 53
Figura 27 - Curva de regressão entre os parâmetros de absorbância e concentração da amostra para calibração do espectrofotômetro 57
Figura 28 - Cobertura foliar (%) para cada tratamento nos respectivos estratos da planta de soja 63
Figura 29 - Depósito Foliar ($\mu g.cm^{-2}$) analisada por método espectrofotométrico de cada tratamento nos respectivos estratos da planta 68
Figura 30 - Valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para todos os tratamentos em cada estrato da planta 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas das pontas de pulverização utilizadas no experimento 35
Tabela 2 - Descrição completa dos tratamentos estudados..... 35
Tabela 3 - Valores de faixa total, faixa efetiva e relação entre faixa efetiva e faixa total para cada modelo de ponta de pulverização em diferentes pressões de trabalho 54
Tabela 4 - Coeficiente de variação (CV%) da distribuição volumétrica transversal das pontas de pulverização estudadas em diferentes pressões de trabalho com espaçamento entre pontas de 0,5 m..... 55
Tabela 5 - Condições ambientais no momento da aplicação..... 58
Tabela 6 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato superior da planta..... 59
Tabela 7 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta 59
Tabela 8 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato médio da planta 60
Tabela 9 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato médio da planta..... 61
Tabela 10 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato inferior da planta de soja..... 62
Tabela 11 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta 62
Tabela 12 - Quadro de análise de variância para o parâmetro depósito foliar (µg. cm^2) no estrato superior da planta..... 64
Tabela 13 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta..... 64
Tabela 14 - Quadro de análise de variância para o parâmetro depósito foliar (µg. cm^2) no estrato médio da planta 65
Tabela 15 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato médio da planta..... 66
Tabela 16 - Quadro de análise de variância para o parâmetro depósito foliar (µg. cm^2) no estrato inferior da planta..... 66

Tabela 17 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta 67
Tabela 18 - Depósito total teórico na planta, depósito real determinado e estimativa de perdas totais (%) em cada tratamento estudado 70

1 INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura de grãos cultivada no mundo, sendo matéria-prima para produção de farelo para alimentação animal e para produção de óleo vegetal. Essa cultura é caracterizada no cenário agrícola brasileiro por ocupar grandes áreas e gerar altas produtividades.

O aumento de área e também da intensidade do cultivo tem causado por conseqüência, uma maior pressão de pragas e doenças na cultura, principalmente quanto à Ferrugem Asiática da soja, doença fúngica de alta severidade que pode comprometer até 100% da lavoura. Há maior necessidade de aplicação de agroquímicos agrícolas em intervalos de tempo cada vez mais estreitos exigindo alta capacidade efetiva dos equipamentos de pulverização terrestres. Essa maior capacidade efetiva pode ser obtida por meio do aumento da largura de trabalho ou mais freqüentemente, por meio do aumento da velocidade de deslocamento do pulverizador, principalmente em regiões onde o relevo apresenta baixa declividade como no cerrado brasileiro.

A proteção da lavoura utilizando agroquímicos é considerada atualmente uma das fases mais críticas no ciclo de produção da soja no Brasil, seja pelos custos ou pela complexidade envolvida neste processo, dado que o resultado final da operação depende da interação de muitos fatores, muitos deles de controle limitado.

Uma alta eficiência de aplicação é aquela em que se obtêm o controle eficaz dos agentes fitopatogênicos e que permita no mínimo a manutenção da produtividade. A diminuição da eficiência de uma aplicação pode trazer prejuízos para o produtor, desde uma reaplicação na área afetada até a perda completa do potencial produtivo da lavoura, daí a importância do conhecimento sobre a tecnologia de aplicação de agroquímicos agrícolas.

A tecnologia de aplicação de agroquímicos é um conjunto de técnicas associado ao conhecimento que permite a aplicação eficiente e econômica de ingredientes ativos nos alvos da aplicação.

Dentre os principais aspectos relacionados a tecnologia de aplicação, destaca-se a seleção e a correta utilização das pontas de pulverização para geração de quantidades e classes de tamanho de gotas adequadas a cada tratamento fitossanitário.

A relação entre o aumento da velocidade de deslocamento em aplicações terrestres e a eficiência da aplicação torna-se uma problemática e depende de vários fatores, principalmente os relacionados às pontas de pulverização como o espectro de gotas e as características construtivas das pontas, de modo que esses fatores ainda não são bem conhecidos.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a influência de diferentes modelos de pontas de pulverização na cobertura e no depósito foliar da pulverização terrestre de agroquímicos em alta velocidade na cultura da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da Soja

De acordo com Nascimento et al. (2009), a soja (*Glycine max*) é o principal grão produzido no mundo, seu elevado teor de proteínas (40%) faz dela a principal matéria-prima na fabricação de rações para alimentação animal, e seu teor de óleo (19%) disputa com o dendê a posição de maior produtora de óleo vegetal. Ainda de acordo com a autora, no contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja foi a que mais cresceu, tanto no Brasil quanto em nível mundial (763% entre 1970 e 2007).

Atualmente, o principal agente fitopatogênico que limita a produtividade da soja é o fungo *Phakopsora pachyrhizi*, causador da Ferrugem Asiática da Soja, doença de grande severidade identificada originalmente em lavouras comerciais dos Estados Unidos da América em 2004 (WOLF; DAGGUPATI, 2009).

De acordo com Christovam et al. (2010), nos últimos anos, a ferrugem asiática tem merecido atenção especial devido à sua severidade e dificuldade de controle, por se desenvolver em toda a parte aérea da planta prejudicando sua fisiologia e reduzindo drasticamente a produção de grãos. Ainda de acordo com o autor, para o controle eficiente da ferrugem e a redução dos custos de produção devem-se aprimorar as técnicas e os equipamentos de aplicação de agroquímicos, visando melhorar a distribuição da pulverização e a colocação do produto no alvo desejado, mais especificamente nas folhas localizadas no terço médio inferior da cultura, onde a doença inicia sua infestação.

De acordo com Godoy et al. (2009), a média estimada do número de aplicações por hectare para controle da Ferrugem Asiática da Soja foi de 2,3 com tendência de crescimento para os próximos anos. Esse aumento da freqüência das aplicações de agroquímicos na cultura da soja passa a exigir simultaneamente o aumento da capacidade efetiva dos pulverizadores, sendo que a capacidade efetiva dos pulverizadores pode ser aumentada seja pelo aumento da faixa de trabalho ou do aumento da velocidade de deslocamento (MIALHE, 1980).

2.2 Pontas de Pulverização

A tecnologia de aplicação de agroquímicos é definida como a correta colocação do ingrediente ativo em contato com o alvo, na quantidade adequada e com o mínimo de contaminação ambiental (MATUO, 1990).

Giles et al. (2008) afirmaram que a aplicação de agroquímicos e outros produtos para controle de pragas é um processo mecânico complexo. Esse processo depende das características da calda aplicada e de parâmetros dimensionais e operacionais das pontas de pulverização (BUTLER-ELLIS & MILLER, 2002). De forma que o resultado desejado depende da interação de muitos fatores tais como o clima, o agente fitopatogênico, e dos parâmetros operacionais da operação (GANDOLFO, 2005).

O conhecimento das condições de trabalho e a eficiência das pontas de pulverização, para Christofoletti (1999), são fundamentais quando se busca uma aplicação adequada, eficiente e econômica. Também Womac et al. (1997) e Murphy et al. (2000) afirmaram que a escolha e o uso adequado de pontas de pulverização constituem passos importantes para a melhoria das condições de precisão e segurança na aplicação de agroquímicos.

O bico de pulverização é definido como o conjunto de componentes colocados no final do sistema hidráulico, através do qual a calda é lançada para fora da máquina. Esse conjunto é composto de várias partes, das quais a ponta de pulverização é a mais importante, definindo a vazão, o espectro de diâmetro de gotas e a forma do jato emitido (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O conhecimento da forma de aplicação torna-se de fundamental importância para garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minizando-se as perdas. Para isso, é necessário uniformidade de aplicação e espectro de gotas adequado para o alvo a ser tratado (BALAN et al., 2008 ; DERKSEN et al.,2008).

2.2.1 Uniformidade de distribuição volumétrica

A uniformidade na distribuição da calda em aplicações terrestres de agroquímicos é dada pelas condições de montagem e de operação do equipamento,

como o espaçamento entre bicos, a altura da barra, o ângulo de abertura dos jatos e a pressão hidráulica de trabalho (PERECIN et al., 1998).

De acordo com Matthews (2000), cada ponta possui característica própria de distribuição volumétrica necessitando de uma sobreposição do jato de uma ponta com os jatos adjacentes para conseguir distribuição uniforme do líquido pulverizado.

Uma das formas de quantificar a uniformidade de distribuição numa pulverização é por meio da análise do coeficiente de variação (CV%) obtido da análise de distribuição volumétrica transversal da ponta de pulverização em bancada de teste (VOLL et al.,2004 ; BAUER & RAETANO, 2004), de modo que quanto menor esse valor, mais uniforme é a distribuição (HUYGHEBAERT et al., 2001). Geralmente, o coeficiente de variação é calculado a partir da curva de distribuição volumétrica de pontas individuais, simulando-se a sobreposição dessas curvas.

Segundo Langenakens (1999), um coeficiente de variação da distribuição volumétrica transversal abaixo de 10% indica uniformidade satisfatória. Ainda o mesmo autor afirma que na Europa, em condições de laboratório, para a pressão e altura estabelecidas pelo fabricante, o coeficiente de variação deve ser inferior a 7% e para as demais pressões e alturas não deve exceder a 9% (ECS, 1997).

2.2.2 Espectro de gotas

Dentre os principais parâmetros das pontas de pulverização destaca-se o espectro de gotas gerado, ou seja, a distribuição de tamanhos de gota presentes num jato de pulverização, pois dele depende o potencial de cobertura do alvo, a capacidade de penetração de calda na massa foliar e a suscetibilidade às perdas, sejam por deriva ou evaporação, influenciando diretamente a eficiência do tratamento fitossanitário (BALAN, 2008; ZHU et al.,1996 ; SCUDELER et al.,2004). Matthews (2000) afirma que o tamanho das gotas é muito importante para que os agroquímicos sejam aplicados eficientemente com o mínimo de contaminação ambiental.

Prokop e Kejklicek (2002) afirmaram que para utilização prática, a distribuição dos tamanhos de gota num jato de pulverização pode ser representada em função de dois parâmetros: um representativo do diâmetro e outro representativo da amplitude das gotas. Destacam também que os parâmetros mais importantes para

caracterização da população de gotas são o D_{10}, D_{50}, D_{90} e o DMN, respectivamente identificados pelo valor de diâmetro em que 10% do volume de aplicação apresentam gotas com diâmetros inferiores a esse valor, o D_{50} ou DMV (Diâmetro mediano volumétrico) representa o valor do diâmetro que divide o volume pulverizado em duas partes iguais e o D_{90} é o valor do diâmetro em que 90% do volume pulverizado apresentam gotas com diâmetros inferiores a esse valor. Por fim, o DMN ou diâmetro mediano numérico, representa o valor do diâmetro que divide o total de gotas em duas partes iguais (BETTINI, 2004).

Lefebvre (1993) afirma que a utilização da relação DMV/DMN e o Span relativo são também freqüentemente utilizados para caracterizar o espectro de gotas pulverizado.

Mathews (1992) afirma que o span relativo é caracterizado matematicamente pela relação entre a diferença entre os diâmetros de 90 e de 10% do volume pulverizado (D_{10} e D_{90}) e o D_{50} (Diâmetro Mediano Volumétrico) conforme é mostrado na equação 1. De modo que resultados mais próximos de 0 (zero) indicam espectro de gotas mais uniforme.

$$Span = \frac{D90 - D10}{D50} \tag{1}$$

Onde: D_{90} é o diâmetro em que se tem 90% do volume pulverizado com gotas menores que esse valor,

D_{10} é o diâmetro em que se tem 10% do volume pulverizado com gotas menores que desse valor e

D_{50} é o diâmetro que divide volume pulverizado em duas partes iguais.

Outra forma de caracterização do espectro de gotas produzido por uma ponta de pulverização é a classificação do espectro em classes de tamanho de gota.

A norma ASABE S572 (2009) classifica o espectro de gotas em seis classes baseando-se na comparação com um espectro padronizado produzido por diferentes

pontas de jato plano convencional operando em condições padrões de pressão hidráulica e vazão.

As classes de tamanho de gota definidas pela ASABE em função do diâmetro mediano volumétrico são mostradas na figura 1.

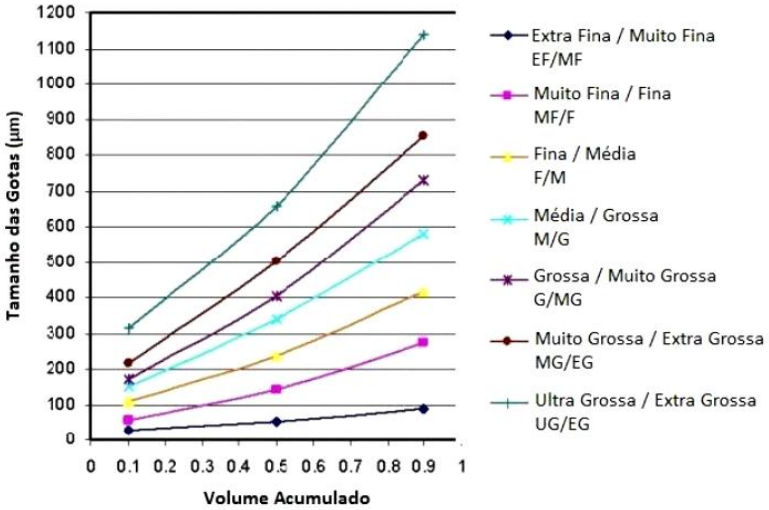

Figura 1 - Classificação dos espectros de gota em seis classes definidas pela norma ASABE S572 (2009).

Prokop e Veverka (2003) afirmaram que o processo de fragmentação da calda em gotas depende das propriedades físicas da calda, volume de aplicação, tipo de ponta e da pressão de trabalho no momento da aplicação. Os mesmos autores afirmam que as gotas pequenas produzidas por esse processo são as principais causadoras de perdas por deriva e contaminação ambiental, porém, são as mais vantajosas em propiciar boa cobertura no alvo quando comparadas as gotas maiores para um mesmo volume de aplicação (KLEIN; GOLUS, 2004).

O tamanho das gotas tem um efeito significativo na eficiência da deposição de agroquímicos e para maioria das condições de alvo, a amplitude de tamanho de 240 a 340 µm resultam em maiores eficiências de deposição (SALYANI, 2003).

Prokop e Veverka (2003) também relataram que experimentos com herbicidas sistêmicos e de contato apresentaram diferentes efeitos do tamanho de gota na eficiência do produto. Enquanto que a eficiência do herbicida sistêmico não foi influenciada pelo espectro de gotas, a eficiência do herbicida de contato apresentou influência e os tratamentos com espectro de gotas mais grosso apresentaram eficiência mais baixa. Ainda de acordo com os autores, os experimentos mostraram

que a boa cobertura produzida pelo espectro de gotas finas é um pré-requisito para a alta eficiência de herbicidas de contato.

Halley et al. (2008) afirmaram que a cobertura medida com marcador apresentou maior deposição quando gotas finas foram utilizadas em comparação com as gotas grossas. Ainda segundo o autor, no sistema de aplicação convencional, a velocidade das gotas finas decresce rapidamente logo após elas serem produzidas nas pontas. Isso faz com que a deposição no alvo seja dificultada, pois elas podem evaporar antes de serem depositadas ou serem carregadas por correntes de ar para fora do alvo.

De acordo com Matthews (1992), quando é selecionado um dado tamanho de gota para um alvo especifico, algumas considerações devem ser feitas sobre o movimento das gotas do equipamento de aplicação até o alvo. A magnitude desses efeitos é fortemente influenciada pelo tamanho das gotas e pelas condições climáticas (HOFFMANN e SALYANI, 1996).

Há necessidade, portanto de se conhecer os fatores climáticos que afetam o movimento das gotas e influenciam na fração de ingrediente ativo que chega até o alvo. Os fatores principais são a temperatura, a velocidade do vento, a duração do vento e a umidade relativa do ar (MATTHEWS, 1992).

2.3 Influência das condições climáticas

De acordo com Pereira (2006), em condições de campo, é difícil respeitar todas as condições climáticas ideais para a realização de uma aplicação. As condições ambientais, muitas vezes, mudam rapidamente dificultando o sucesso da aplicação (RUEDELL, 2002). Daí a importância do conhecimento tecnológico acerca da aplicação de agroquímicos para minimizar os efeitos antagônicos do ambiente sobre a operação (PENCKOWSKI et al.,2003).

Skuterud et al. (1998) afirmaram que durante o dia pode haver uma grande variação nos fatores climáticos. No campo, embora esses fatores interajam, enquanto a umidade do ar diminui, a temperatura aumenta e torna-se difícil predizer qual fator tem maior influência na eficiência de aplicação. Porém, Yu et al. (2009) afirmaram que a umidade relativa é o fator que mais influencia a taxa de evaporação das gotas e a deposição no alvo. Eles afirmaram ainda que independentemente do

tamanho inicial da gota, a fração de ingrediente ativo depositada decresce à medida que a umidade relativa também decresce.

Carlsen et al. (2006) citam que a temperatura alta e a umidade relativa do ar baixa têm importante efeito sobre a aplicação de agroquímicos, causando evaporação mais rápida das gotas e perda de ingrediente ativo que pode chegar a 100% (BALAN et al., 2008). O autor afirma também que esse aumento da temperatura se relaciona ao horário do dia, a estação do ano e a latitude do local da aplicação.

A tecnologia de aplicação de agroquímicos busca desenvolver novos métodos de aplicação que atenuem os efeitos das condições ambientais sem alterar a eficácia da aplicação. Antuniassi et al. (2005) desenvolveram um sistema de suporte a decisão que auxilia na escolha de pontas de pulverização considerando, entre outros fatores, as condições climáticas.

2.4 Velocidade de deslocamento

De acordo com Lebeau (2004), a preocupação crescente sobre poluição ambiental e o efeito de resíduos de agroquímicos na saúde humana criam uma forte demanda por métodos de aplicação mais eficientes e que distribuam o ingrediente ativo da forma mais uniforme possível. Ainda esse autor apresentou e validou um modelo matemático para estimar a distribuição de depósitos de ingredientes ativos levando em consideração o efeito dinâmico da velocidade de deslocamento da barra de pulverização na distribuição da aplicação.

A influência da velocidade de deslocamento de uma barra de pulverização tem dois aspectos: Primeiro, o movimento causa uma deflexão na trajetória das gotas para a horizontal, sendo que essa deflexão é maior quanto maior for a velocidade. Segundo, o movimento da barra e do ar que a circunda cria um ambiente altamente turbulento que novamente é maior quanto maior for a velocidade de deslocamento do equipamento (NORDBO, 1992).

As gotas influenciadas por essa turbulência ganham energia cinética e desviam em qualquer direção a partir do fluxo principal. Gotas pequenas são significativamente mais afetadas que gotas grandes pelo efeito da velocidade de deslocamento (JOHNSTONE, 1978).

Liu et al. (2006) explica que a velocidade de uma gota é resultante da sua velocidade de queda e da velocidade de deslocamento da barra de pulverização. Essas velocidades tendem a se reduzir quando as gotas encontram resistência do ar, resultando em um aumento no tempo relativo de deslocamento das gotas geradas pela ponta de pulverização até o alvo. Os mesmos autores concluíram que a velocidade de deslocamento do pulverizador tem uma influência significativa no tempo de transporte das gotas e conseqüentemente no potencial de perdas para o ambiente e na eficiência da aplicação, entretanto, a pressão de trabalho e o tipo de ponta de pulverização tiveram menor efeito no tempo de deslocamento das gotas.

2.5 Perdas

A determinação das perdas ou do produto não depositado no alvo pretendido também é uma avaliação importante dos sistemas de pulverização, sendo comumente utilizada. Os trabalhos apresentados por Permin et al. (1992) e Abi Saab (2000) podem ser citados como exemplos.

De acordo com Gil (2008), é importante quantificar o total de perdas de agroquímicos para a atmosfera e para o solo de modo a prever a contaminação do ar e os riscos de danos as culturas e animais. Ainda segundo o autor foram encontradas perdas para o ar entre 10 a 20% durante uma aplicação típica. Porém, as perdas nas aplicações podem ultrapassar 70% (CHAIM et al., 2000). Outros autores verificaram perdas entre 30% e 50% (PERGHER; GUBIANI; TONETTO, 1997).

Teixeira (2002) afirmou que os estudos têm mostrado que gotas menores que 100 µm são arrastadas facilmente pelo vento provocando perdas por exoderiva, ou seja, o arraste de gotas para fora da área de aplicação por meio de correntes de ar. Por outro lado, não se recomenda gotas maiores que 800 µm, devido à facilidade de perdas por endoderiva, ou seja, perdas dentro da área de aplicação principalmente por escorrimento (LEFEBVRE, 1993).

Guler et al. (2007) afirmaram que a deriva de agroquímicos de uma aplicação não somente causa o uso ineficiente dos produtos, mas também causa danos a culturas em áreas adjacentes e aumenta o potencial de contaminação do ar, solo e água.

2.6 Cobertura e depósito da pulverização

Yu et al. (2009) citam que os parâmetros de deposição e cobertura são os dois mais importante componentes do desempenho de uma aplicação e é de extrema importância que sejam quantificados a fim de se avaliar a eficiência de uma pulverização no campo.

A técnica de visualização de gotas depositadas sobre as folhas utilizando marcadores fluorescentes foi utilizada pela primeira vez por Staniland (1959). Este método possibilita localizar com precisão onde o produto se deposita, mostrar a distribuição e intensidade da cobertura obtida bem como permite avaliar os efeitos de diferentes parâmetros da aplicação no resultado final para as mais diversas culturas (PALLADINI, 2000 ; ANTUNIASSI & BONELLI, 2004).

Sharp (1974) citou que é viável avaliar a deposição por meio de marcadores fluorescentes simulando uma formulação, porém, são necessários alguns cuidados para evitar a degradação ou interferência de outros produtos no pigmento fluorescente.

A avaliação qualitativa (visual) é simples, rápida e adequada para determinar diferenças na cobertura obtida em pulverizações, mas é subjetiva e deve ser utilizada como método comparativo entre tratamentos (SALYANI & WHITNEY, 1988). Daí a necessidade de se associar a este método, outro método, que possibilite a determinação precisa de produto depositado na superfície das folhas. Dentre estas técnicas mais precisas destacam-se as técnicas de espectrofotometria, fluorimetria e cromatografia.

Salyani e Whitney (1988) avaliaram as técnicas de recuperação de cobre e Rhodamina-B por espectrofotometria e fluorimetria. Os autores concluíram que embora ambos os métodos fossem confiáveis, considerando as limitações do campo, a técnica de espectrofotometria foi a mais adequada para a quantificação de depósitos de pulverizações.

Segundo Smelt et al. (1993), quando as determinações de depósito são feitas utilizando os próprios agroquímicos utilizando a técnica de cromatografia, os custos são altos e consomem muito tempo e recursos. Portanto o uso de marcadores é

altamente atrativo não só por ser mais barato, mas também pela facilidade de remoção dos depósitos utilizando somente água destilada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Local

O trabalho foi realizado na Fazenda Igreja Velha, localizada no município de Tibaji, Estado do Paraná em Janeiro de 2011. O experimento foi instalado numa área comercial de soja variedade BRS 284 semeada no dia 03 de novembro de 2010 em Latossolo roxo distrófico com cultura antecessora de trigo.

A densidade de semeadura foi de 270.000 sementes por hectare com fileiras de plantio espaçadas em 0,45 m. O estádio de desenvolvimento da cultura era R4/R5, com altura média de plantas de 1,10 m.

O local de aplicação de cada parcela foi demarcado com uma trena estabelecendo primeiramente uma distância de 50 metros de comprimento para aceleração do pulverizador e estabilização das condições de pulverização. Numa segunda área imediatamente após a primeira foi demarcada uma distância de 30 metros de comprimento como unidade experimental para coleta de folíolos para análise.

Cada parcela utilizou uma área de 2560 m^2, num total de 25 parcelas e uma área total de aplicação de 6,4 ha.

3.1.2 Pulverizador

As aplicações foram realizadas por um pulverizador terrestre a pressão de jato lançado autopropelido, fabricado pela empresa Máquinas Agrícolas Jacto S/A. A capacidade nominal do reservatório de agroquímico era de 3000 litros. A barra de pulverização tinha largura efetiva de 32 metros. Uma vista geral do pulverizador utilizado é mostrada na figura 2.

Figura 2 - Vista geral do pulverizador utilizado no experimento.

O espaçamento entre bicos utilizado na barra de pulverização foi de 0,50 m e a altura de aplicação foi ajustada em 0,50 m acima da copa das plantas conforme recomendação do fabricante. Essa recomendação de condições operacionais foi validada em laboratório, de acordo com a norma ISO5682-1.

A taxa de aplicação utilizada foi de 120 $L.ha^{-1}$ em todos os tratamentos por ser de utilização freqüente para controle de doenças fúngicas na cultura da soja, principalmente quando existe um aumento do Índice de Área Foliar (IAF) nos estádios reprodutivos, comum entre os estádios R2 e R5 da cultura conforme pode ser visto na figura 3.

A velocidade de deslocamento do equipamento foi fixada em 35 $km.h^{-1}$ para todos os tratamentos, com exceção do tratamento testemunha onde se fixou a velocidade de deslocamento de 15 $km.h^{-1}$.

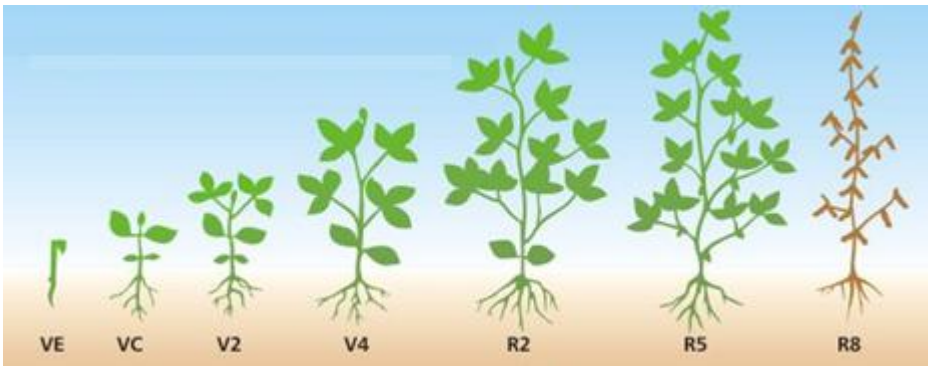

Figura 3 - Esquema do ciclo vegetativo da soja mostrando os estádios fenológicos de desenvolvimento da cultura (Fonte: Iowa State University, Special Report, n.53,1988).

3.1.3 Descrição das pontas de pulverização

A ponta AXI 11004 (T1) é caracterizada como de jato plano simples convencional (com um único jato de pulverização) ou de jato plano de uso ampliado. Esta característica de uso ampliado se deve a amplitude do espectro de gotas produzido definido pelo span relativo, segundo a pressão de trabalho. Nas pressões mais baixas gera um DMV maior e nas pressões elevadas gera um DMV menor. Dado ao fato de que é um modelo de ponta de uso freqüente em aplicações de agroquímicos, foi incluída entre os tratamentos como testemunha, bem como a velocidade operacional de 15 $km.h^{-1}$.

A ponta APE cinza (T2) também produz jato plano simples convencional e apresenta características construtivas que permitem a geração de um espectro de gotas classificado como médio (ASABE, 2004) mesmo em alta vazão.

A ponta AXI 11008 (T3) é uma ponta de jato plano simples de uso ampliado como a utilizada no tratamento 1, porém , com maior vazão na mesma pressão e espectro de gotas entre médio e grosso. Na figura 4 é apresentada uma ilustração de cada uma das pontas de jato plano simples utilizadas no experimento.

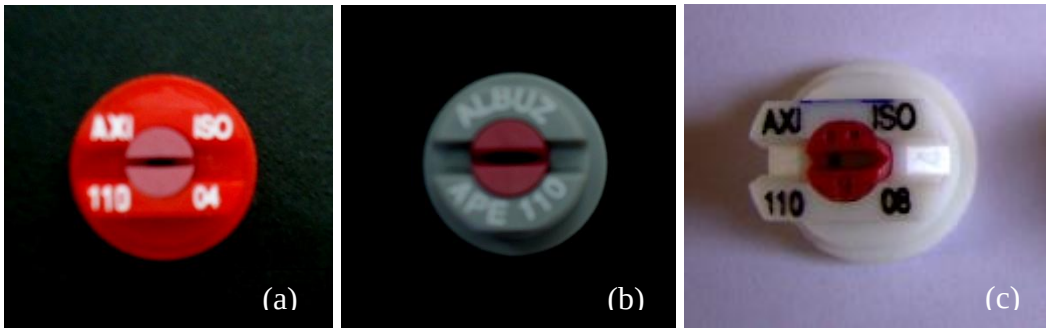

Figura 4 - Pontas de pulverização de jato plano simples utilizadas: (a) AXI 11004, (b) APE cinza e (c) AXI 11008.

A ponta TD Hispeed 11006 (T4) é caracterizada por possuir dois jatos planos com indução de ar além de uma forma construtiva que faz com que os jatos sejam lançados para frente e para trás de forma assimétrica. Essa característica tem o objetivo de teoricamente, corrigir o efeito da velocidade de deslocamento sobre a trajetória das gotas (Figura 6). Estas pontas produzem espectro de gotas

classificado como muito grosso e baixa variabilidade nos diâmetros de gota produzidos.

A ponta AXI Twin 12006 (T5) é caracterizada por produzir jato plano duplo simétrico sem indução de ar e dada sua maior pressão de trabalho, gera espectro de gotas classificado como fino. Na figura 5 é apresentada uma ilustração de cada uma das pontas de jato plano duplo utilizadas no experimento.

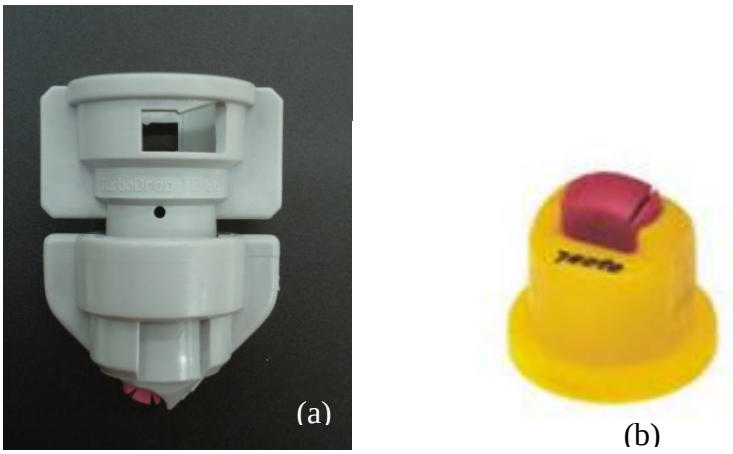

Figura 5 - Pontas de pulverização de jato plano duplo utilizadas no experimento: (a) Ponta TD Hispeed 11006 e (b) Ponta AXI TWIN 12006.

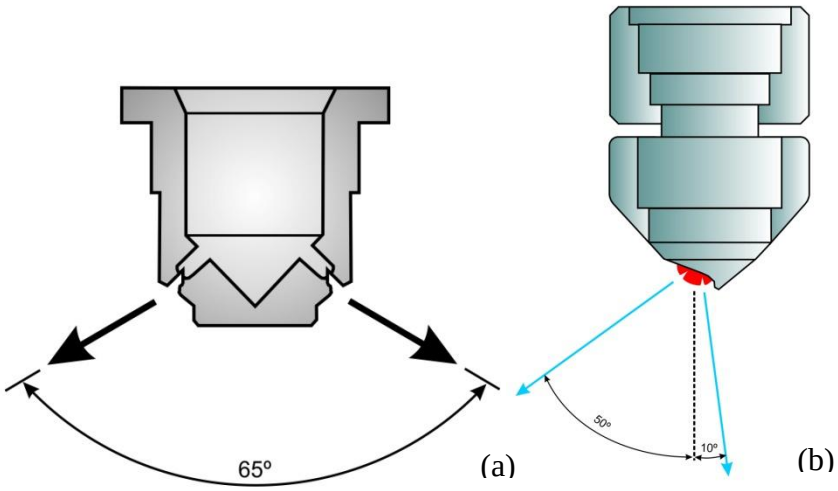

Figura 6 - Esquema mostrando as características construtivas das pontas de jato plano duplo: (a) com jatos simétricos (AXI TWIN 12006) e (b) com jatos assimétricos (TD Hispeed 11006).

Um resumo das características técnicas de cada ponta de pulverização é mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Características técnicas das pontas de pulverização utilizadas no experimento.

Parâmetro	AXI 11004 (T1)	APE CINZA (T2)	AXI 11008 (T3)	Hispeed 11006 (T4)	AXI TWIN 12006 (T5)
Amplitude de pressão (kPa)	150 - 300	200 – 400	150 – 300	200 – 1000	100 – 400
Ângulo nominal (°)	110	110	110	110	120
Altura recomendada (cm)	50 – 60	50 – 60	50 -60	40 – 60	50
Espaçamento recomendado (cm)	50	50	50	50	50
Ângulo entre os jatos (°)	-	-	-	60 (10°/50°)	65 (32,5°/32,5°)
Classe de gotas (ASABE)	M	M	M / G	G /MG	F / M
Fabricante	CoorsTek Ceramics	CoorsTek Ceramics	CoorsTek Ceramics	Agrotop	CoorsTek Ceramics

3.1.4 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos consistiram na utilização de cinco diferentes modelos de pontas de pulverização em duas velocidades de deslocamento. As pressões operacionais foram ajustadas para proporcionar a mesma taxa de aplicação (120 $L.ha^{-1}$), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição completa dos tratamentos estudados.

Tratamento	Ponta de pulverização	Velocidade de deslocamento ($km.h^{-1}$)	Pressão operacional (kPa)	Classe de Gota (ASABE)
T1 (Testemunha)	AXI 11004	15,0	293	Média
T2	APE cinza	35,0	409	Média
T3	AXI 11008	35,0	443	Grossa
T4	TD Hispeed 11006	35,0	730	Muito grossa
T5	AXI Twin 12006	35,0	798	Fina

3.1.5 Condições ambientais

Os valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no momento da aplicação de cada parcela foram monitorados com um termohigroanemometro modelo Minipa MDA-11.

3.1.6 Descrição dos marcadores

Para a avaliação de cobertura foliar, foi utilizado o marcador fluorescente LRM 100 fabricado pela empresa Datiquim Pigmentos LTDA na concentração de 5 $g.L^{-1}$. Para a avaliação do depósito, foi utilizado o marcador Azul Brilhante FD&C N°1 produzido pela empresa Duas Rodas Industrial LTDA, também na concentração de 5 $g.L^{-1}$. O procedimento de mistura e aplicação dos marcadores foi desenvolvido por Palladini (2000).

3.2 Métodos

3.2.1 Validação das condições operacionais

A validação das condições operacionais de pressão, altura de aplicação e espaçamento entre bicos recomendados pelo fabricante foi realizada por meio da quantificação da uniformidade de distribuição volumétrica transversal, definida pelo coeficiente de variação, em mesa de canaletas segundo os procedimentos definidos pela norma ISO5682-1 de 1996. A mesa de canaletas horizontal utilizada é mostrada na figura 7.

Figura 7 - Mesa de canaletas horizontal normatizada para determinação da uniformidade de distribuição transversal de pontas de pulverização.

Foi ensaiada para cada um dos modelos de pontas de pulverização 1 (uma) amostra escolhida aleatoriamente de um lote de 40 peças. A avaliação foi efetuada em quatro pressões de trabalho: a mínima e máxima recomendada pelo fabricante e duas pressões intermediárias conforme procedimento definido na norma ISO5682-1 com 3 (três) repetições mantendo-se a altura de aplicação fixada em 0,5 m.

A partir da curva de distribuição individual simulou-se a sobreposição em ambiente Excel para o espaçamento entre pontas de 0,5 m, conforme recomendação do fabricante, resultando na obtenção da faixa de aplicação simulada. Foi calculado o coeficiente de variação (CV%) ao longo desta faixa simulada e utilizou-se como critério de validação valores iguais ou inferiores a 10% conforme citado por Langenakens (1999).

3.2.2 Calibração do Pulverizador

A calibração do pulverizador visa garantir a taxa de aplicação para a qual foi definida. A calibração foi efetuada por método gravimétrico, coletando-se o volume de liquido pulverizado em sessenta segundos e posteriormente submetendo esse volume a pesagem por meio de balança de precisão com erro nominal de 0.001kg. O

método gravimétrico apresenta maior acurácia na determinação da vazão e a transformação dos valores de massa para volume foi efetuado considerando-se o valor da massa específica da água pura (1 $kg.L^{-1}$) conforme é mostrado na equação 2. Após a obtenção da vazão, este valor é então informado ao controlador eletrônico da máquina que efetua a calibração automática do sistema.

$$V = \frac{M}{Me} \tag{2}$$

Onde: V é o volume (L)

M é a massa (Kg)

Me é a massa específica ($kg.L^{-1}$)

As figuras 8 e 9 mostram o procedimento de coleta e quantificação da massa de líquido pulverizado respectivamente.

Figura 8 - Coleta de calda de pulverização para determinação da massa de líquido pulverizado.

Figura 9 - Método de medição de vazão por quantificação da massa de líquido pulverizado.

3.2.3 Preparo da calda

O preparo da calda de pulverização iniciou-se com a pré-mistura dos marcadores LRM100 e azul FD&C N°1 em balde com capacidade de 20L (figura 10). A pré-mistura visa aumentar a solubilização do produto para obtenção de uma calda com concentração homogênea. Após essa etapa, o produto pré-misturado foi colocado no reservatório do pulverizador que possui dois sistemas de agitação, um mecânico e outro hidráulico, que promovem a mistura e a homogeneização da calda conforme pode ser visto na figura 11.

Figura 10 - Pré-mistura dos marcadores em balde para facilitar o preparo da calda de pulverização.

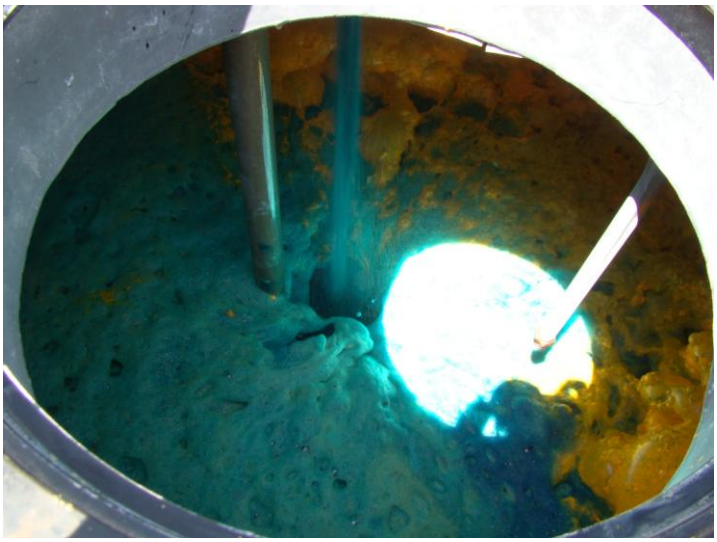

Figura 11 - Mistura dos marcadores fluorescente LRM100 e do azul FD&C N°1 no reservatório do pulverizador.

3.2.4 Aplicação dos tratamentos

A distribuição dos blocos e dos tratamentos nas parcelas experimentais foi realizada aleatoriamente conforme ilustrado no croqui da figura 12. Na aplicação, utilizou-se uma faixa de 16 m, equivalente a metade da largura efetiva da barra de pulverização. Esse procedimento permitiu maior agilidade na execução dos tratamentos nas parcelas, minimizando-se os efeitos das condições ambientais no decorrer do experimento. Foram utilizados porta-bicos com quatro posições independentes que permitem a rápida seleção da ponta de pulverização sem a necessidade de desmontagem do conjunto. Na barra de pulverização esquerda foram montados os modelos de pontas de pulverização AXI 110 04, APE CINZA e TD HISPEED 110 06 e na direita os modelos AXI 110 08 e AXI TWIN 120 06.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5
T5	T1	T1	T3	T2
T3	T3	T4	T1	T4
T2	T4	T5	T2	T5
T4	T2	T2	T5	T1
T1	T5	T3	T4	T3

Figura 12 - Croqui do esquema de distribuição aleatória dos tratamentos nas parcelas experimentais em cada bloco do experimento.

3.2.5 Avaliação da cobertura foliar

A cobertura foi quantificada pela aplicação do marcador fluorescente LRM100 na concentração de 5 $g.L^{-1}$. Após a aplicação, esperou-se por um período de trinta minutos até a completa secagem das folhas na planta. Foram coletadas, em cada parcela, 30 folíolos do estrato superior, 30 do estrato médio e 30 do estrato inferior.

O estrato superior é definido como a porção de folhas localizado no topo das plantas e que recebe diretamente a pulverização das gotas sem nenhuma barreira. O estrato médio é definido como a porção de folhas localizada na metade da altura das plantas e o estrato inferior é definido como a porção de folhas localizada mais próximo ao solo e de mais difícil penetração de gotas (Figura 13).

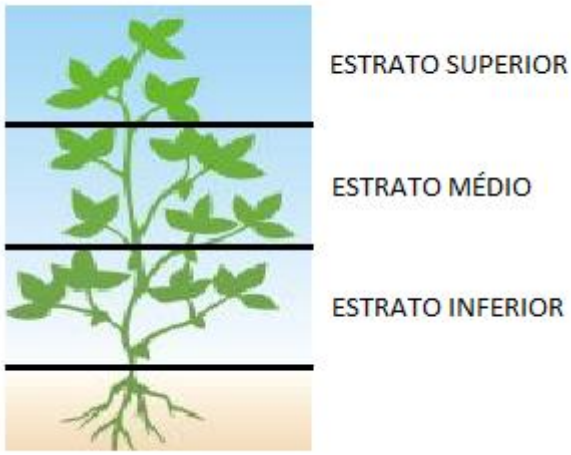

Figura 13 - Caracterização dos estratos superior, médio e inferior para coleta de amostras na planta de soja.

A coleta das amostras foi feita aleatoriamente em 10 plantas dentro de cada parcela respeitando-se uma bordadura de 3 metros. Essa bordadura foi estabelecida visando garantir que nenhuma amostra fosse tomada externamente a área de aplicação.

As amostras por estrato foram colocadas dentro de um saco de papel opaco identificado segundo os locais de coleta e os tratamentos. Estes sacos foram acondicionados em uma caixa de isopor para evitar degradação pelo efeito do calor ou da luz até seu transporte para a câmara escura onde se procedeu a análise da cobertura foliar.

A figura 14 mostra o procedimento para coleta de amostras no campo. Esse procedimento de coleta das amostras para um determinado estrato específico da planta foi executado pela mesma pessoa, evitando-se assim uma grande variabilidade no posicionamento das amostras dentro do mesmo estrato.

Figura 14 - Procedimento de coleta de amostras nos três estratos verticais da planta.

A cobertura dos folíolos foi definida pela classificação em uma escala comparativa conforme descrito por Antuniassi e Bonelli (2004). A visualização da cobertura foi feita em uma sala escura pela projeção da luz gerada por duas lâmpadas ultravioleta (UV) com potência de 20 W. A superfície adaxial dos folíolos foi exposta possibilitando que sua fluorescência fosse detectada por uma pessoa. A definição da escala comparativa para a classificação da cobertura das amostras foi feita por meio da coleta de 200 folíolos obtidos ao acaso em todos os tratamentos. Estes folíolos foram analisados sob luz UV e os 11 folíolos que representavam valores absolutos de cobertura variando de 0 a 100%, com intervalos de 10 unidades, foram distribuídos de forma crescente sobre uma mesa, servindo de escala comparativa para se classificar as amostras dos demais tratamentos.

A cobertura foliar de cada tratamento foi obtida por meio da média ponderada considerando o número de folíolos em cada intervalo definido na escala comparativa de classificação. A figura 15 mostra o procedimento para classificação de amostras segundo escala visual de cobertura foliar.

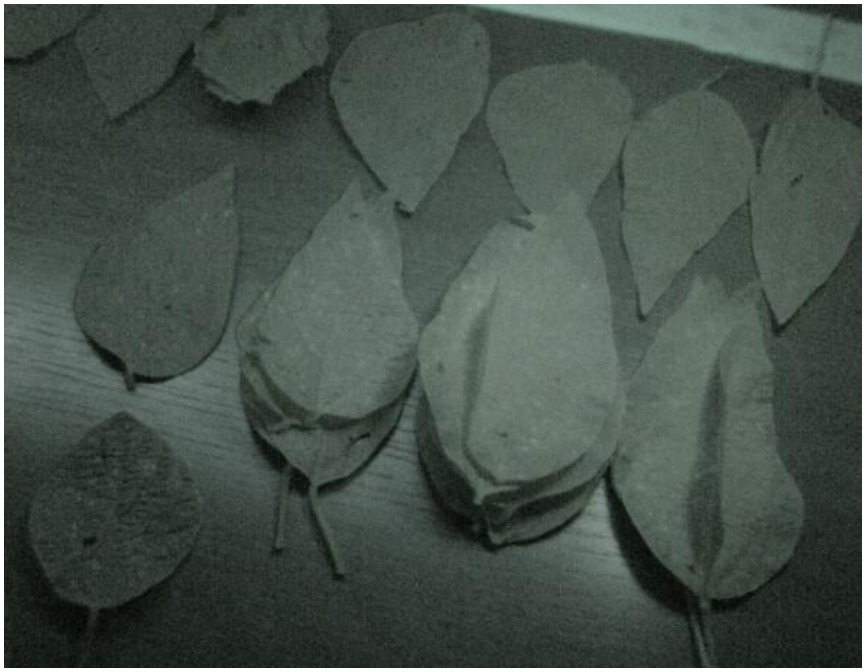

Figura 15 - Procedimento de classificação visual das amostras segundo uma escala de cobertura foliar sob luz ultravioleta.

3.2.6 Avaliação dos depósitos da pulverização

O depósito foi obtido pela concentração do marcador Azul Brilhante FD&C N°1 na superfície dos folíolos conforme pode ser visto na figura 16.

Após a aplicação, aguardou-se por um período de 30 minutos até a completa secagem da calda nas folhas, e procedeu-se a coleta dos folíolos. Foram coletados 5 folíolos de cada estrato (superior, médio e inferior) em 5 plantas aleatoriamente escolhidas dentro de cada parcela, totalizando 25 folíolos por estrato em cada parcela.

Cada grupo de 5 folíolos, que compõe uma amostra, coletados em cada estrato foram colocados dentro de um saco plástico identificado segundo os locais de coleta e os tratamentos, sendo posteriormente transferidos para uma caixa de isopor para evitar degradação do corante por temperatura ou pela luz, até que fossem levadas ao laboratório para lavagem e obtenção das soluções.

Figura 16 - Superfície dos folíolos de soja cobertos por gotas contendo o marcador Azul Brilhante FD&C N°1 após a aplicação nas unidades experimentais.

A extração do marcador Azul Brilhante foi obtida pela lavagem dos cinco folíolos dentro dos sacos plásticos contendo 80 cm^3 de água destilada, os quais foram agitados manualmente para que todos os folíolos fossem lavados. Esse procedimento é mostrado na figura 17.

Figura 17 - Lavagem dos folíolos por agitação com água destilada para extração do marcador Azul Brilhante FD&C N°1.

Após a agitação, a solução resultante da lavagem foi colocada em um recipiente plástico, sendo posteriormente tampado. Esses recipientes contendo as soluções foram acondicionados dentro de uma caixa com isolamento térmico e

transportados até o laboratório de análises químicas do Campus Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná em Bandeirantes – PR (figuras 18 e 19), onde foi determinada a concentração do marcador nas amostras.

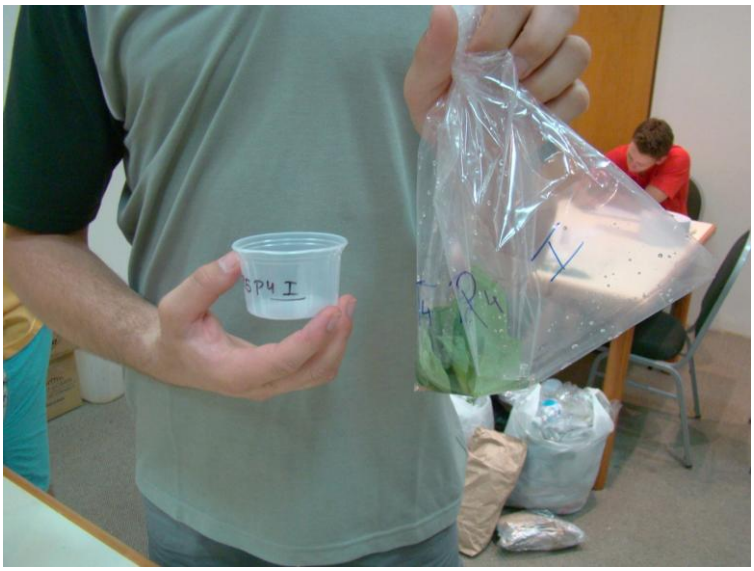

Figura 18 - Preparação das amostras para análise de recuperação do marcador Azul Brilhante em laboratório.

Figura 19 - Acondicionamento das amostras em caixa térmica e encaminhamento para análise.

As amostras dos diferentes tratamentos e as amostras da calda aplicada tiveram os valores de absorbância determinados em espectrofotômetro FEMTO, modelo 600S na faixa espectral de 640 ηm.

A calibração do espectrofotômetro foi feita determinando-se a absorbância de 11 valores de diluição conhecidos da calda de pulverização e obtendo-se a equação de regressão entre os valores de absorbância e concentração do marcador na amostra.

Foi coletada também uma amostra de 50 folhas antes das aplicações. Estas folhas foram lavadas segundo os mesmos procedimentos dos tratamentos para confirmação de ausência de corante nas folhas anteriormente as aplicações.

3.2.7 Determinação do Índice de área foliar (IAF)

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi realizada coletando-se 10 plantas aleatoriamente da área experimental, removendo-se todas as folhas das plantas selecionadas e posteriormente medindo-se os valores de comprimento e largura de cada folíolo conforme pode ser visto nas figuras 20 e 21.

Os parâmetros de máxima largura e máximo comprimento foram medidos com uma régua de 1 mm de escala e posteriormente foram aplicados a uma equação desenvolvida por Antuniassi et al. (2004) para determinação da área foliar (eq 3).

$$A = 0{,}625 \times L \times C \qquad (3)$$

Onde:

A é a área foliar (cm^{-2})

L é a máxima largura da folha (cm) e

C é o máximo comprimento da folha (cm).

O mesmo método foi aplicado para quantificar a área foliar das amostras para depósito foliar. Os valores em massa de corante obtidos em cada amostra por espectrofotometria foram divididos pela soma das áreas dos 5 folíolos contidos na amostra permitindo a determinação do depósito foliar (µg. cm^{-2}).

Figura 20 - Método para determinação do índice de área foliar (IAF) por meio da desfolha e determinação da área foliar das plantas selecionadas.

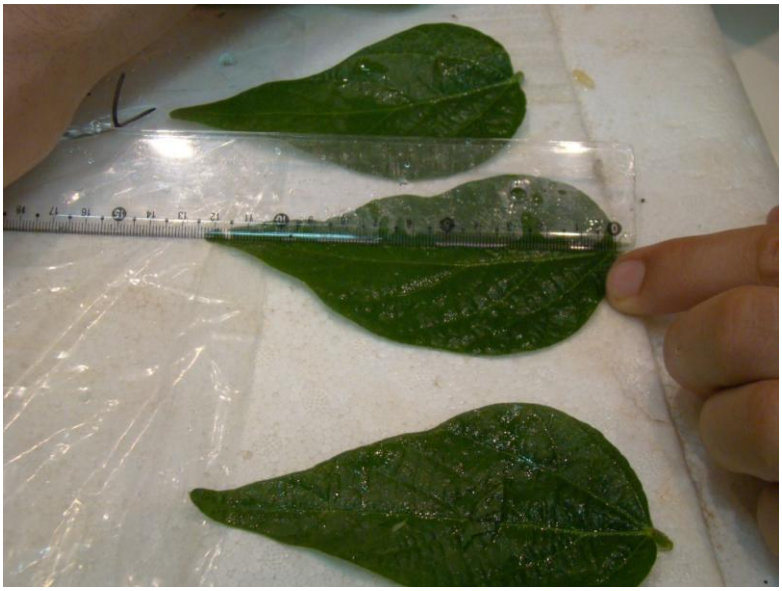

Figura 21 - Procedimento para quantificação de área foliar por meio da medição da máxima largura e máximo comprimento dos folíolos.

3.2.8 Estimativa de Perdas (%)

A estimativa de perda total (%) para cada tratamento foi considerada como a diferença entre o depósito foliar médio total determinado pela técnica de espectrofotometria em condições laboratoriais e o depósito foliar teórico calculado pela equação 4.

$$Dteo = \frac{V.C}{IAF.100} \quad (4)$$

Onde:

Dteo é o depósito foliar teórico (µg.cm^{-2})

V é o volume de aplicação (L.ha^{-1})

C é a concentração da calda (g.L^{-1})

IAF é o índice de área foliar

Dessa forma, a fração de perdas totais (%) foi determinada pela equação 5:

$$Perdas\ (\%) = \left[1 - \frac{Dmed}{Dteo}\right].100 \quad (5)$$

Onde:

Dmed é o depósito foliar medido em laboratório (µg. cm^{-2})

Dteo é o depósito foliar teórico (µg. cm^{-2})

A estimativa de perdas se refere ao total de calda aplicada que não ficou retida na planta, incluindo para o solo, arraste por correntes de ar e evaporação.

3.2.9 Delineamento e análise estatística

O experimento foi instalado com 5 tratamentos utilizando o delineamento em blocos completos aleatorizados com 5 blocos e uma repetição por bloco.

A utilização do delineamento em blocos se justifica, pois se sabe a priori da existência de variabilidade dos parâmetros climáticos de temperatura e umidade relativa do ar ao longo do experimento e, portanto, a utilização de blocos visa isolar a variabilidade causada pelo ambiente e garantir que os tratamentos sejam comparados em condições climáticas mais homogêneas.

Os valores de cobertura e de depósito da pulverização obtidos em cada um dos tratamentos foram submetidos à análise de variância, teste de hipóteses F com nível de significância de 5% e teste de comparações múltiplas de médias Tukey

também ao nível de 5% de probabilidade. Para todas as análises, foi utilizado o software SASM – Agri (CANTERI, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validação das condições operacionais

As figuras 22 a 26 mostram as curvas de distribuição volumétricas individuais de cada modelo de ponta de pulverização nas quatro pressões definidas em norma.

Observa-se para todos os modelos de pontas de pulverização, uma distribuição do tipo triangular e variação da faixa total em função da variação da pressão de trabalho.

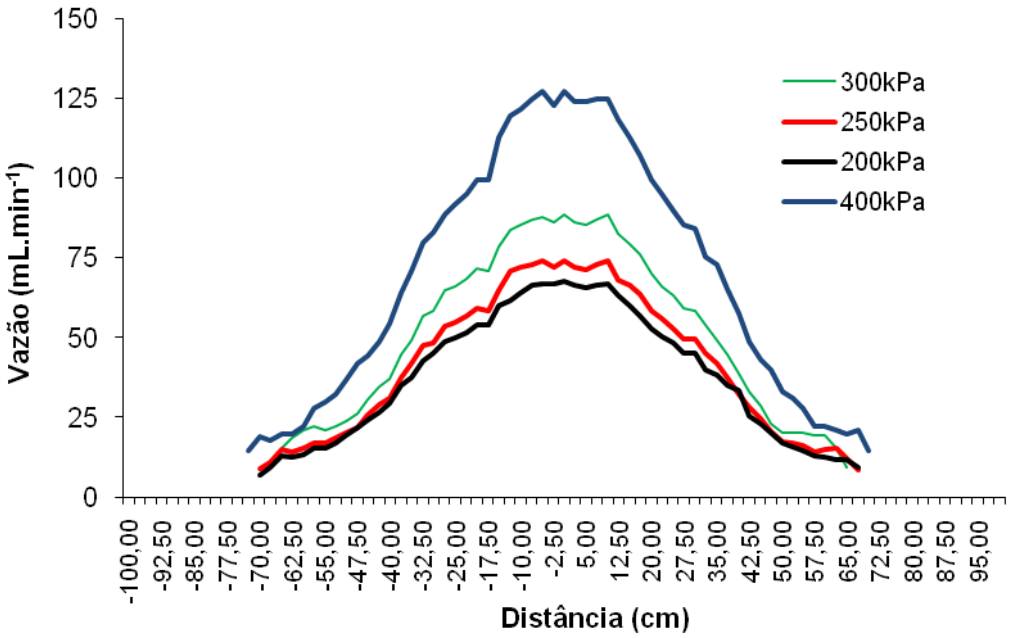

Figura 22 - Distribuição volumétrica transversal da ponta APE cinza na altura de 500 mm nas pressões de 200, 250, 300 e 400 kPa.

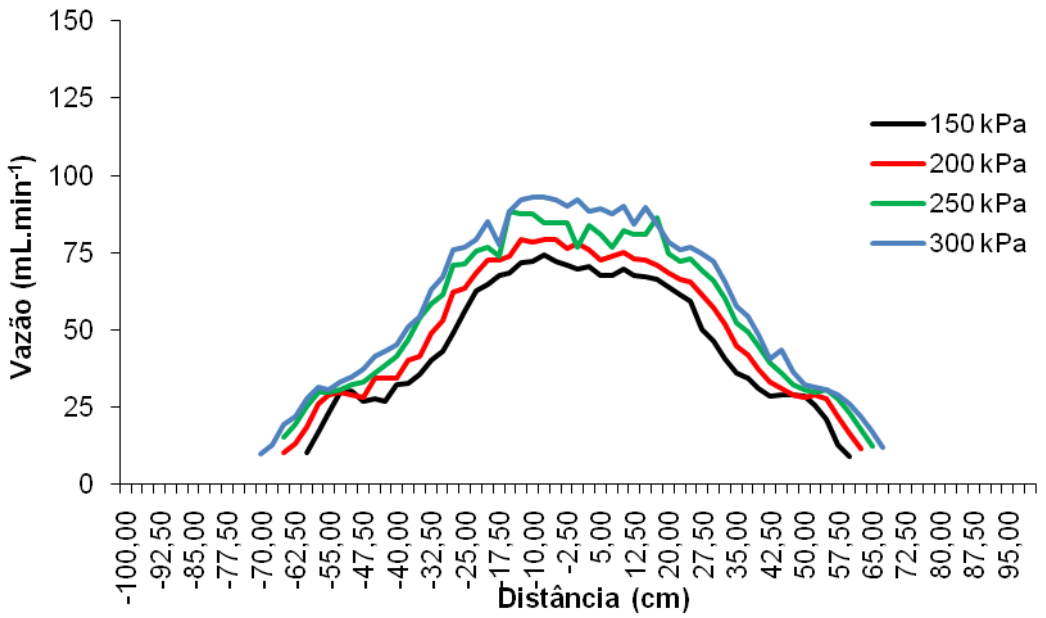

Figura 23 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI 11004 na altura de 500 mm nas pressões hidráulicas de 150, 200, 250 e 300 kPa.

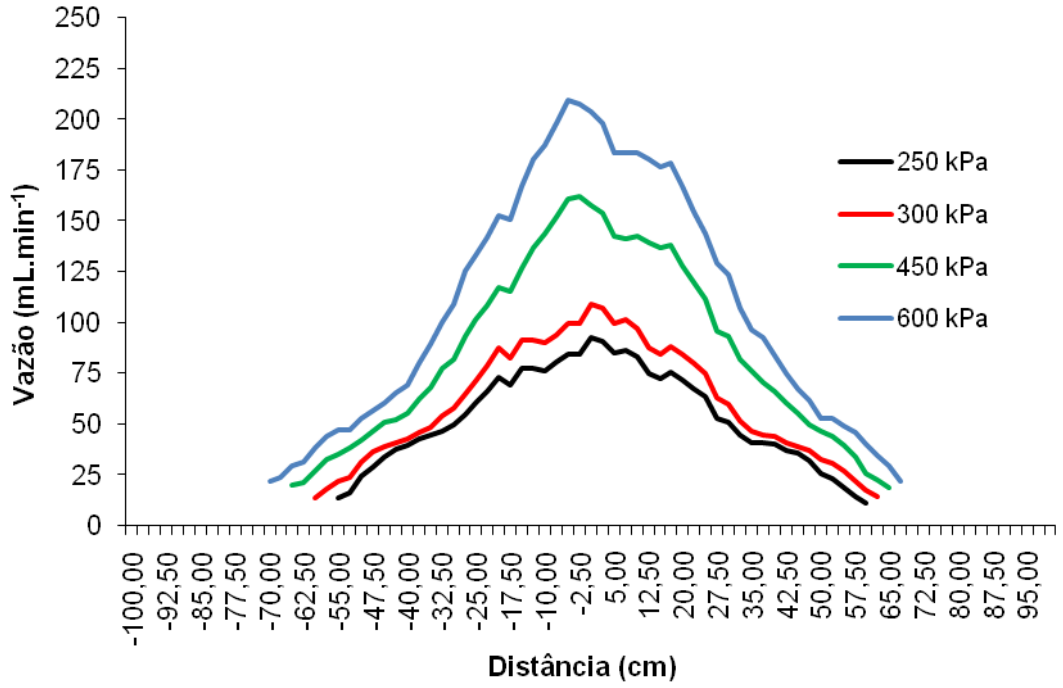

Figura 24 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI Twin 120 06 na altura de 500 mm e nas pressões hidráulicas de 250, 300, 450 e 600 kPa.

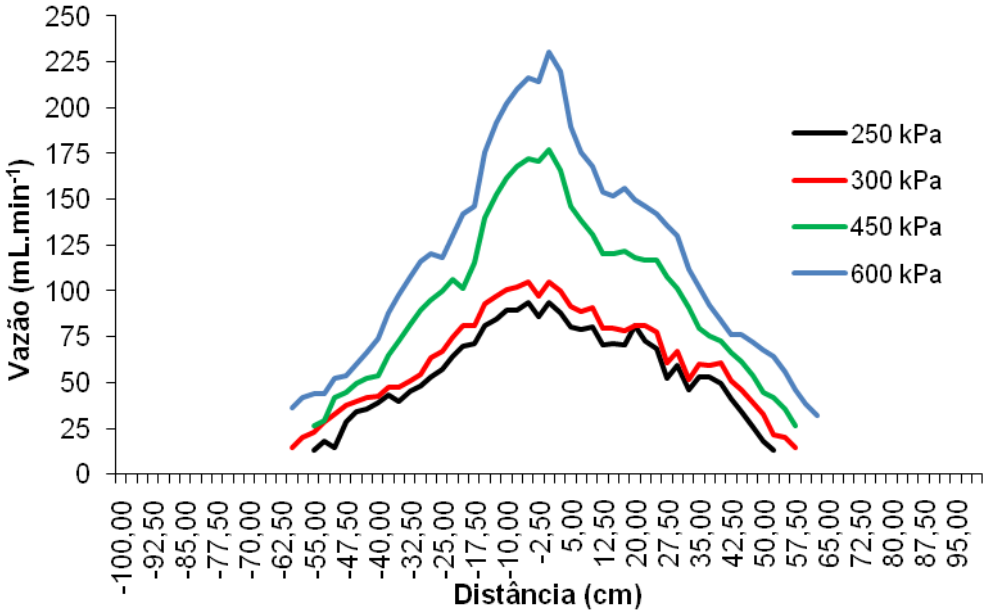

Figura 25 - Distribuição volumétrica transversal da ponta TD Hispeed 110 06 na altura de 500 mm e nas pressões hidráulicas de 250, 300, 450 e 600 kPa.

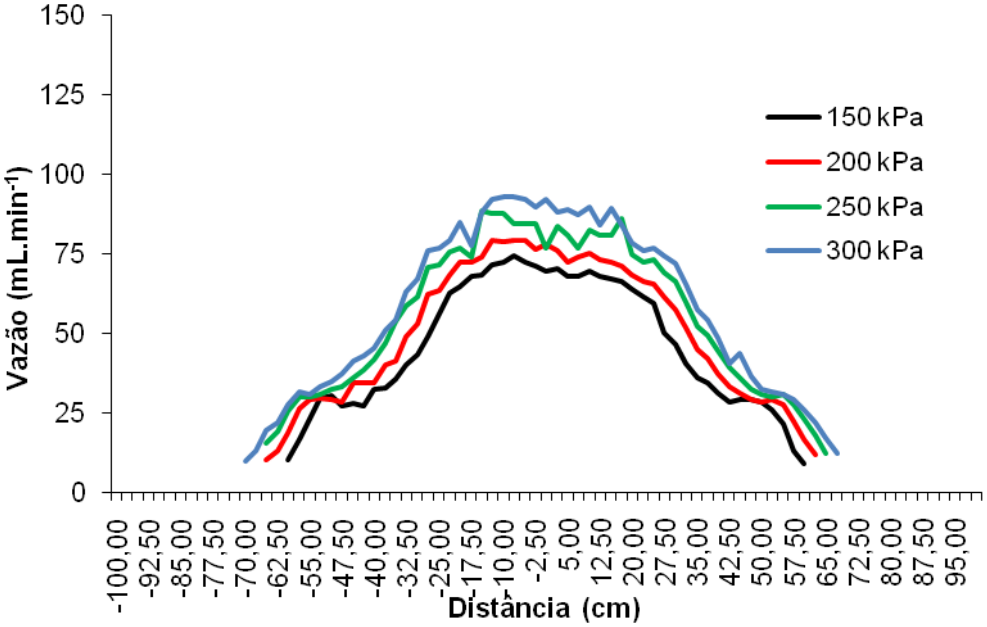

Figura 26 - Distribuição volumétrica transversal da ponta AXI 110 08 na altura de 500 mm e nas pressões hidráulicas de 150, 200, 250 e 300 kPa.

A tabela 3 apresenta os valores de faixa total, faixa efetiva e relação entre faixa efetiva e faixa total para cada modelo de ponta de pulverização estudada em função da variação da pressão de trabalho.

Tabela 3 - Valores de faixa total, faixa efetiva e relação entre faixa efetiva e faixa total para cada modelo de ponta de pulverização em diferentes pressões de trabalho.

Modelo de ponta de pulverização	Pressão de trabalho (kPa)	Faixa total (cm)	Faixa efetiva (cm)	Relação faixa efetiva e total (%)
APE CINZA	200	130,0	50	38,5
	250	137,5	50	36,4
	300	137,5	50	36,4
	400	142,5	50	35,1
AXI 110 04	150	117,5	50	42,6
	200	127,5	50	39,2
	250	132,5	50	37,7
	300	142,5	50	35,1
AXI TWIN 120 06	250	115,0	50	43,5
	300	120,0	50	41,7
	450	127,5	50	39,2
	600	137,5	50	36,4
TD HISPEED 11006	250	112,5	50	44,4
	300	117,5	50	42,6
	450	117,5	50	42,6
	600	125,0	50	40,0
AXI 110 08	150	120,0	50	41,7
	200	125,0	50	40,0
	250	127,5	50	39,2
	300	137,5	50	36,4

A tabela 4 apresenta os resultados do cálculo do coeficiente de variação na distribuição volumétrica transversal das pontas estudadas simulando-se a sobreposição das distribuições individuais em diferentes pressões de trabalho e no espaçamento entre pontas de 0,5 m.

Tabela 4 - Coeficiente de variação (CV%) da distribuição volumétrica transversal das pontas de pulverização estudadas em diferentes pressões de trabalho com espaçamento entre pontas de 0,5 m.

Ponta de Pulverização	**Pressão de trabalho (kPa)**	**CV(%)**
APE Cinza	200	8,5
	250	8,0
	300	7,1
	400	6,8
AXI 110 04	150	7,8
	200	7,5
	250	6,9
	300	6,6
AXI TWIN 120 06	250	9,9
	300	9,4
	450	8,6
	600	8,0
TD Hispeed 110 06	250	7,8
	300	7,5
	450	7,2
	600	5,9
AXI 110 08	150	9,5
	200	9,4
	250	9,1
	300	8,5

A ponta APE cinza, embora apresente somente 12,5 cm de variação na faixa total (tabela 3) em função da alteração da pressão hidráulica, apresenta grande alteração do padrão de distribuição em altas pressões tornando a distribuição volumétrica triangular ainda mais aparente conforme pode ser visto na curva para pressão de 400 kPa da figura 22.

Essa característica confere a esta ponta menores valores de CV% (6,8%) em pressões mais elevadas por melhorar o padrão de sobreposição entre os jatos de pulverização conforme pode ser visto na tabela 4.

A ponta AXI 11004 apresenta maior variação na faixa total se comparada a ponta APE CINZA, conforme pode ser visto na tabela 3, porém, apresenta pouca alteração no padrão de distribuição individual em função da variação da pressão hidráulica (Figura 23). Além disso, também ocorre diminuição do CV% em altas pressões por efeito dessa alteração do padrão de distribuição e do espectro de gotas mais fino (Tabela 4).

As pontas AXI 11008, a exemplo da ponta AXI 11004 apresentam variação da faixa total de 17,5 cm em função da alteração da pressão de trabalho (Tabela 3) e baixa variação do padrão de distribuição em função da variação da pressão hidráulica (Figura 26), porém, como para as demais pontas estudadas, ocorre diminuição do CV% na distribuição transversal com o incremento da pressão (Tabela 4).

As pontas AXI TWIN 120 06 e TD Hispeed 110 06 embora apresentem espectro de gotas totalmente diferentes, tem o mesmo padrão de distribuição volumétrica individual em função da variação da pressão hidráulica (Figuras 24 e 25) e tem pequena variação da faixa total em função da pressão hidráulica (Tabela 3). Também para essas pontas, obtiveram-se menores valores de CV% para pressões mais elevadas conforme pode ser visto na tabela 4.

Observa-se que para todas as pontas e pressões estudadas, os valores de coeficiente de variação foram inferiores a 10%. Esses resultados são considerados satisfatórios conforme citado por Langenakens (1999), e, portanto consideram-se como validadas as condições operacionais de altura (0,5 m), espaçamento entre pontas (0,5 m) e amplitude de pressão recomendadas pelo fabricante. Além disso, para todas as pontas estudadas, observa-se tendência de diminuição do CV% na distribuição volumétrica transversal com o aumento da pressão hidráulica, por efeito da alteração do padrão de distribuição individual e conseqüentemente do padrão de sobreposição entre os jatos de pulverização e também da redução do tamanho das gotas geradas.

4.2 Índice de Área Foliar

A área foliar média por planta foi de 1,58 m^2. Portanto, a relação entre área das folhas e do solo foi de 7,1 m^2 de folha / m^2 de solo (IAF=7,1).

4.3 Curva de calibração para o marcador Azul Brilhante FD&C N°1

As análises de absorbância dos 11 valores de concentração conhecidos da calda possibilitaram estabelecer uma equação de reta para conversão dos valores de absorbância para concentração do marcador (ppm) para cada amostra. A curva de calibração, bem como a equação que relaciona absorbância e concentração do marcador na amostra é apresentada na figura 27.

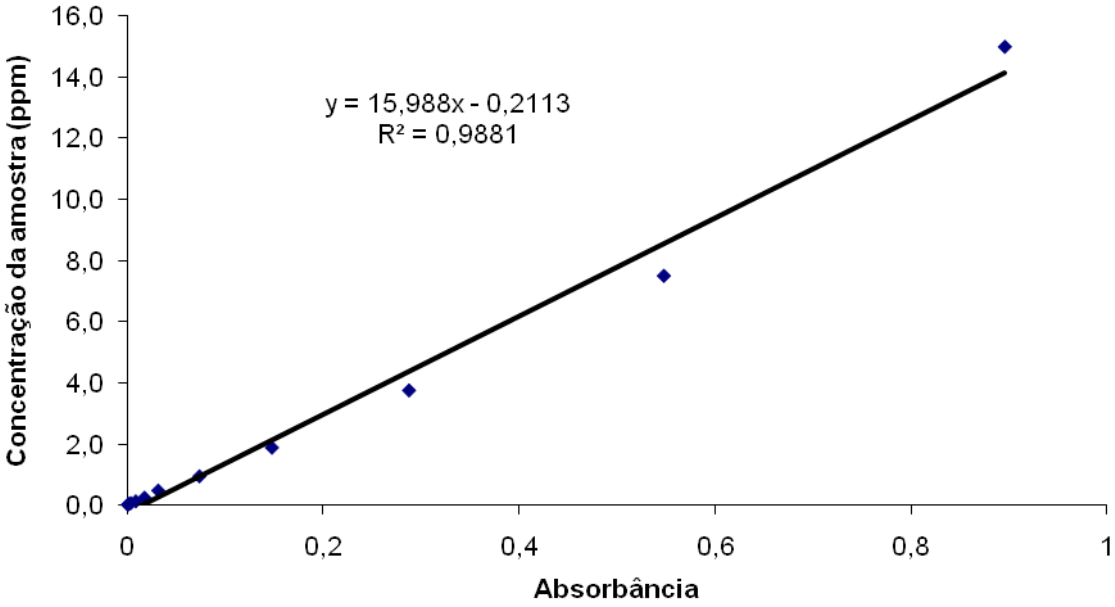

Figura 27 - Curva de regressão entre os parâmetros de absorbância e concentração da amostra para calibração do espectrofotômetro.

Observa-se um coeficiente de regressão elevado (R^2=0, 988) o que indica que o ajuste linear entre os parâmetros de concentração e absorbância foi adequado e que a faixa de comprimento de onda utilizada (640 ηm) foi eficiente em detectar concentração que variam de 0,01 a 16 ppm.

4.4 Condições ambientais

Os valores de temperatura e umidade do ar, bem como de velocidade do vento no momento da aplicação estão identificadas na tabela 5.

Tabela 5 - Condições ambientais no momento da aplicação.

Tratamento	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)		Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínimo	Máximo
T1 (Testemunha)	29,9	34,6	37	66	1,2	3,0
T2	29,9	33,4	39	64	0,7	3,4
T3	29,8	34,6	37	66	1,3	3,1
T4	29,1	36,4	48	64	1,0	4,6
T5	29,5	32,5	45	62	0,8	2,5

Observa-se grande variação da umidade relativa do ar ao longo do experimento, uma vez que esse parâmetro é fortemente influenciado pelo horário do dia conforme citado por Skuterud et al. (1998). A realização do experimento nessa situação foi ratificada por configurar uma condição típica para aplicação de agroquímicos em regiões quentes e secas como no caso do cerrado brasileiro e por propiciar uma condição crítica para avaliação comparativa do potencial das tecnologias estudadas.

A utilização do delineamento em blocos aleatorizados mostrou-se, portanto adequada para isolar a variabilidade devida às condições climáticas permitindo a comparação de médias de tratamentos em condições climáticas homogêneas.

4.5 Cobertura da pulverização

4.5.1 Estrato superior

A análise de variância com aplicação do teste F com 5% de significância constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 6).

Tabela 6 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato superior da planta.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	83,66	20,91	1,61 n.s
Tratamento	4	197,43	49,36	3,80 *
Resíduo	16	207,95	12,99	
Total	24	489,03		
CV%	14,45%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Uma vez constatada a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias, apresentado na tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta.

Tratamento	Cobertura (%)
T5 (AXI TWIN 12006)	27,84 a
T1 (Testemunha)	26,55 ab
T2 (APE CINZA)	25,99 ab
T4 (TD HISPEED)	24,68 ab
T3 (AXI 11008)	19,71 b
Média	24,95
DMS	6,98

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

No estrato superior houve diferença significativa na cobertura foliar segundo a ponta de pulverização utilizada. A aplicação com a ponta AXI TWIN 12006 (T5) foi significativamente superior a ponta AXI 11008 (T3), apresentando 41% a mais em cobertura foliar. As demais pontas tiveram desempenho intermediário e não diferiram significativamente.

Este resultado pode estar relacionado à produção de gotas mais finas pelas pontas de jato plano duplo quando comparadas com as pontas de jato plano

simples, o que favorece a alta cobertura do alvo. Alem disso, as pontas AXI 11008 (T3), caracterizadas como pontas de jato plano de uso ampliado, oferecem gotas de tamanho bastante variado (SPAN>1), o que pode ter afetado seu desempenho.

4.5.2 Estrato médio

A análise de variância com aplicação do teste F com 5% de significância não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados, conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 8).

Tabela 8 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato médio da planta.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	60,50	15,13	1,25 n.s
Tratamento	4	41,30	10,33	0,85 n.s
Resíduo	16	194,07	12,13	
Total	24	295,89		
CV%	29,09%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Embora não seja constatada a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias uma vez que esse procedimento permite comparações de médias duas a duas e difere da análise de variância com aplicação do teste F (PIMENTEL-GOMES, 2000).

O teste de comparações de médias seguindo o método de Tukey e significância de 5% é apresentado na tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato médio da planta.

Tratamento	Cobertura (%)
T5 (AXI TWIN 12006)	14,12 a
T4 (TD HISPEED)	12,67 a
T2 (APE CINZA)	11,51 a
T1 (Testemunha)	10,98 a
T3 (AXI 11008)	10,57 a
Média	11,97
DMS	6,71

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

Para o estrato médio da copa das plantas, não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados evidenciando que independente da ponta utilizada e da alta velocidade de deslocamento (35 $km.h^{-1}$), a quantidade de marcador que atinge as porções mais internas da planta não é influenciada pelo tipo de ponta e a cobertura do alvo não diferiu entre os tratamentos mesmo com o aumento da velocidade de deslocamento.

4.5.3 Estrato inferior

A análise de variância com aplicação do teste F com 5% de significância para os resultados obtidos para o estrato inferior da planta, não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 10).

Tabela 10 - Quadro de análise de variância para o parâmetro cobertura foliar (%) no estrato inferior da planta de soja.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	7,66	1,91	0,92 n.s
Tratamento	4	3,72	0,93	0,45 n.s
Resíduo	16	33,25	2,08	
Total	24	44,63		
CV%	28,71%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Seguindo o procedimento de análise, procedeu-se o teste de comparações de médias para os valores de cobertura no estrato inferior da planta.

O teste de comparações seguindo o método de Tukey e significância de 5% é apresentado na tabela 11.

Tabela 11 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta.

Tratamento	Cobertura (%)
T1 (Testemunha)	5,60 a
T3 (AXI 11008)	5,23 a
T5 (AXI TWIN 12006)	5,06 a
T2 (APE CINZA)	4,68 a
T4 (TD HISPEED)	4,53 a
Média	5,02
DMS	2,79

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

Também para o estrato inferior da copa das plantas, não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados evidenciando que independente da ponta utilizada e da alta velocidade (35 $km.h^{-1}$), a quantidade do marcador que atinge as porções mais internas da planta não é influenciada e a porcentagem de cobertura do alvo foi mantida mesmo com o aumento da velocidade de deslocamento.

Além de não haver diferença entre os tratamentos, observam-se valores de cobertura extremamente baixos, evidenciando que a penetração de gotas para todos

os tratamentos estudados na cultura da soja é altamente influenciada por condições de elevado IAF conforme relatado por Christovam et al.(2010).

Na figura 28 é mostrado um gráfico que relaciona a cobertura foliar de cada tratamento estudado por estrato da planta.

Embora a eficiência de cobertura nas aplicações em alta velocidade não difira estatisticamente da testemunha (15 km.h^{-1}), a distribuição de calda ao longo do perfil vertical da planta ainda é bastante heterogênea.

Outro ponto que merece destaque é que embora a ponta AXI 11008 apresente melhor distribuição de cobertura entre os estratos verticais da planta (figura 28), essa melhoria não se deve ao aumento da cobertura nos estratos médio e inferior da cultura, mas sim do decréscimo da cobertura no estrato superior da planta.

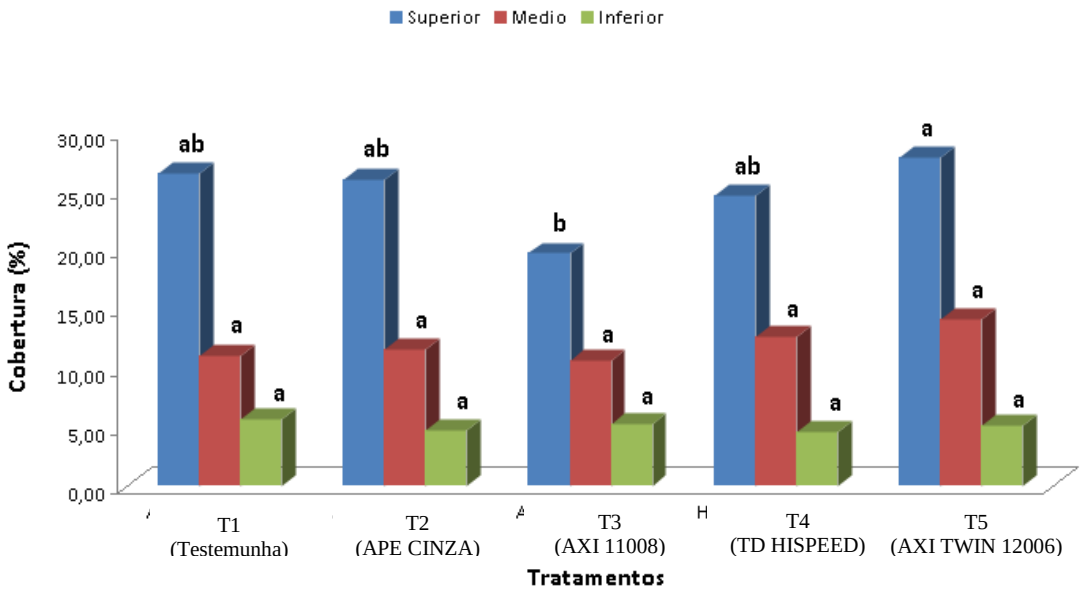

Figura 28 - Cobertura foliar (%) para cada tratamento nos respectivos estratos da planta de soja.

A utilização de jatos planos duplos seja com ou sem indução de ar não mostrou nenhuma evidência de superioridade em relação às pontas de jato plano simples para os estratos médios e inferiores da planta.

4.6 Depósito foliar

4.6.1 Estrato superior

A análise de variância (Teste F) constatou diferença estatística entre os tratamentos conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 12).

Tabela 12 - Quadro de análise de variância para o parâmetro depósito foliar (µg. cm^{-2}) no estrato superior da planta.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	0,33	0,08	8,69 n.s
Tratamento	4	0,12	0,03	3,24 *
Resíduo	16	0,15	0,01	
Total	24	0,60		
CV%	8,67%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Uma vez constatada a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias para o estabelecimento de um ranking entre os tratamentos, conforme mostrado na tabela 13.

Tabela 13 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta.

Tratamento	Depósito (µg.cm^{-2})
T2 (APE CINZA)	1,21 a
T5 (AXI TWIN 12006)	1,16 ab
T4 (TD HISPEED)	1,13 ab
T1 (Testemunha)	1,08 ab
T3 (AXI 11008)	1,00 b
Média	1,11
DMS	0,19

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

Os valores de depósito foliar revelaram para o estrato superior uma diferença significativa no desempenho das pontas de pulverização. Neste caso, o tratamento com a ponta APE Cinza (T2) foi superior estatisticamente ao tratamento com a ponta AXI 11008 (T3), apresentando 21% a mais em depósito foliar para os folíolos localizados na parte superior das plantas. Houve, portanto coerência de resultados entre as análises de cobertura e depósito foliar para o tratamento 3. A maior eficiência da ponta APE cinza (T2) pode ser justificada por essa ponta produzir espectro de gotas médio e de baixa variabilidade (Span próximo de 1) o que possibilita melhor penetração das gotas pela planta reduzindo a fração de perdas para o ambiente.

4.6.2 Estrato médio

A análise de variância com aplicação do teste F com 5% de significância não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 14).

Tabela 14 - Quadro de análise de variância para o parâmetro depósito foliar (µg. cm^2) no estrato médio da planta.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	0,07	0,02	1,15 n.s
Tratamento	4	0,02	0,01	0,28 n.s
Resíduo	16	0,23	0,01	
Total	24	0,31		
CV%	50,39%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Seguindo o procedimento de análise, procedeu-se o teste de comparações de médias para os valores de depósito foliar no estrato médio da planta, conforme apresentado na tabela 15.

Tabela 15 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato médio da planta.

Tratamento	Depósito (µg.cm^{-2})
T3 (AXI 11008)	0,27 a
T2 (APE CINZA)	0,25 a
T4 (TD HISPEED)	0,25 a
T1 (Testemunha)	0,24 a
T5 (AXI TWIN 12006)	0,19 a
Média	0,24
DMS	0,23

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

No estrato médio das plantas, não houve diferença estatística entre os tratamentos evidenciando que, de forma semelhante ao que ocorreu para análise de cobertura foliar, independente da ponta utilizada e da alta velocidade de deslocamento (35 km.h^{-1}), a quantidade do marcador que atinge as porções mais internas da planta não é influenciada e o depósito foliar não difere entre as diferentes pontas estudadas.

4.6.3 Estrato inferior

O quadro de análise de variância (Tabela 16) mostra que não houve diferença estatística entre os tratamentos para o estrato inferior da planta de soja.

Tabela 16 - Quadro de análise de variância para o depósito foliar (µg. cm^{-2}) no estrato inferior da planta.

FATOR	GL	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	4	0,01	0,001	2,38 n.s
Tratamento	4	0,01	0,001	1,91 n.s
Resíduo	16	0,01	0,001	
Total	24	0,03		
CV%	60,46%			

n.s – não significativo a 5% de probabilidade

Em seguida, procedeu-se o teste de comparações de médias para os valores de depósito foliar no estrato inferior da planta.

O teste de comparações seguindo o método de Tukey e significância de 5% é apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Valores médios de depósito foliar (µg. cm^2) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta.

Tratamento	Depósito (µg.cm^{-2})
T2 (APE CINZA)	0,05 a
T3 (AXI 11008)	0,05 a
T1 (Testemunha)	0,04 a
T4 (TD HISPEED)	0,03 a
T5 (AXI TWIN 12006)	0,02 a
Média	0,04
DMS	0,05

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%).

As pontas AXI Twin 120 06 e AXI 110 04 mostraram comportamento semelhante nos valores de depósito, podendo qualquer uma delas ser utilizada sem prejuízo a eficiência de aplicação.

As pontas de jato plano duplo com indução de ar TD Hispeed não diferiram significativamente de nenhuma outra ponta, indicando a possibilidade de serem utilizadas principalmente em condições climáticas adversas sem redução do potencial de cobertura e de depósito foliar.

Repetindo o que ocorreu para a análise de cobertura foliar, observa-se valores muito baixos de depósito para os estratos médio e inferior das plantas, provavelmente devido ao alto enfolhamento da cultura (IAF=7.1) que pode ter dificultado a chegada das gotas até as porções mais internas da planta, conforme relatado por Christovam et al. (2010).

Na figura 29 é mostrado um gráfico que relaciona o depósito foliar (µg. cm^{-2}) de cada tratamento estudado, em cada estrato da planta.

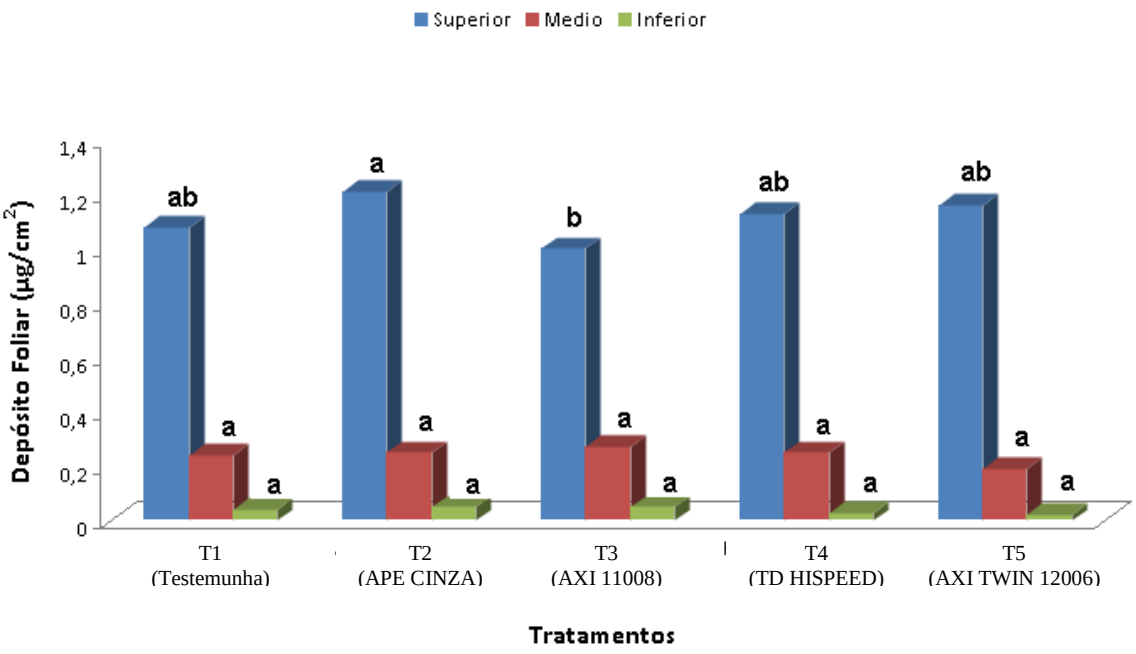

Figura 29 - Depósito Foliar (µg. cm^{-2}) analisada por método espectrofotométrico de cada tratamento nos respectivos estratos da planta.

4.7 Relação Cobertura x depósito

A relação entre os dois parâmetros de qualidade medidos, cobertura e depósito foliar, mostrou um comportamento diferenciado entre os estratos da planta. Assim, conforme pode ser visto na figura 30, enquanto os valores de depósito foram elevados no estrato superior, quando comparados com os valores de cobertura foliar, a relação se inverteu no estrato inferior, com valores de cobertura foliar superiores aos de depósito foliar.

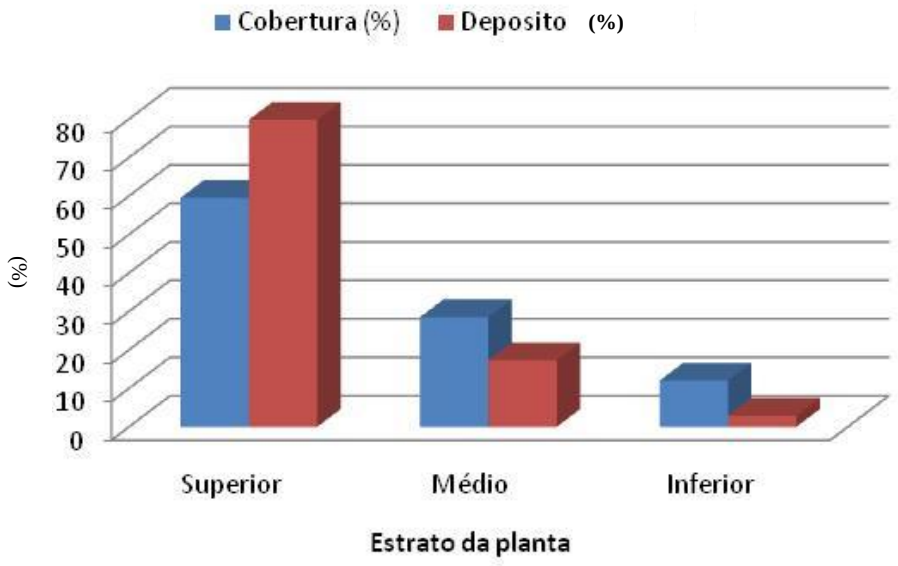

Figura 30 - Valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para todos os tratamentos em cada estrato da planta.

Pode-se considerar, portanto, que uma possível estratificação das gotas de diferentes tamanhos poderia favorecer as gotas maiores a gerar elevados depósitos com baixa cobertura na parte superior das plantas, enquanto que as gotas de menor tamanho proporcionariam baixos depósitos com maior cobertura nos estratos inferiores.

Para o estrato superior, esses resultados são coerentes com os obtidos por De Oliveira (2011) que relatou que gotas médias são mais eficientes que gotas finas ou grossas para o controle de ferrugem asiática da soja, provavelmente por elevar os níveis de depósito na planta. Já para os estratos médio e inferior da planta, o resultado é justificado pelas gotas de menor diâmetro possuírem maior capacidade de penetração na massa foliar, elevando a cobertura, porém, sem elevar o nível de depósito nas mesmas posições.

4.8 Estimativa de Perdas (%)

A tabela 18 apresenta os resultados do total de perdas (%) estimado por diferença de depósito em cada tratamento estudado.

Tabela 18 - Depósito total teórico na planta, depósito real determinado e estimativa de perdas totais (%) em cada tratamento estudado.

TRATAMENTOS	Depósito médio total (µg. cm^{-2})	Depósito médio na planta (µg. cm^{-2})	Estimativa de Perdas (%)
2 (APE CINZA)	0, 840	0,500	28,6 a
4 (TD HISPEED)	0, 840	0, 470	31,1 ab
5 (AXI TWIN 12006)	0, 840	0, 460	31,9 ab
1 (Testemunha)	0, 840	0, 450	32,8 ab
3 (AXI 11008)	0, 840	0, 440	33,6 b

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem significativamente (Tukey 5%)

Observa-se que a ponta APE cinza (T2) apresentou menor índice de perdas. Esse efeito é devido ao melhor aproveitamento das gotas de tamanho médio e mais uniformes pela planta. A ponta AXI 11008 (T3), repetindo o desempenho que obteve para cobertura e depósito foliar, apresentou o maior índice de perdas, provavelmente devido à alta variabilidade das gotas produzidas pelas pontas de jato plano estendido, favorecendo possíveis perdas para o ambiente.

O índice de perdas observado foi superior aos observados por Gil et al. (2008) que relatou perdas entre 10 e 20% e foram coerentes com os resultados encontrados por Pergher; Gubiani; Tonetto (1997) e por Chaim (2000).

5 CONCLUSÕES

A ponta APE cinza com espectro de gotas médio apresentou melhor desempenho tanto em depósito foliar no estrato superior da planta quanto na fração de perdas sendo assim a melhor opção para aplicações com alta velocidade de deslocamento.

Não houve influência do tipo dos cinco modelos de pontas de pulverização na cobertura e no depósito foliar da pulverização nas partes inferiores da planta para aplicações com alta velocidade de deslocamento.

REFERÊNCIAS

ABI SAAB, O.J.G. **Avaliação de cobertura e depósitos de agroquímicos em videiras com o uso de diferentes técnicas de aplicação e condições operacionais**. 2000. 84 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2000.

ANTUNIASSI, U.R; BONELLI, M.A.P.O. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS, 3., Botucatu, 2004. **Resumos**... Botucatu: FEPAF, 2004. p.48-51.

ANTUNIASSI, U.R.; BAIO F.H.R.; BIZARI, I.R. Sistema de suporte a decisão para seleção de pontas de pulverização em sistemas de aplicação de agroquímicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina. **Anais**... Londrina: FAPEAGRO, 2005, 2p. 1 CD-ROM.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. **ASABE S572**. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. St Joseph, 2004. 3p.

BALAN, M.G; ABI - SAAB, O.J.G.; SILVA, C.G.; RIO, A. Deposição de calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas, **Seminário de Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.2, p.293-298, 2008.

BAUER, F; RAETANO, C.G. - Perfis de distribuição volumétrica de pontas XR11003 e TXVK-4 em diferentes condições de Pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p. 364-373, 2004

BETTINI, P.C.; GADANHA JR, C.D.; RAMOS, H.H. Eficácia da penetração de gotas pulverizadas na copa do algodoeiro em diferentes alturas de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2004, Salvador.**Anais**... Salvador: UFBA, 2004.p 24-29

BUTLER-ELLIS, M.C.; MILLER, P.C.H. Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.82, n.1, p.289-296, 2002

CANTERI, M.G. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan. Revista **Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v.1, n.2, p.18-24, 2001.

CARLSEN,S.C.K.;SPLIID,N.H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application - Secondary drift (evaporation). **Chemosphere**, Amsterdam, v. 64, p. 787–794, 2006

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L.C. Avaliação de perdas na pulverização de agroquímicos na cultura do feijão. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10, p. 13-22, 2000.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de agroquímicos agrícolas**. São Paulo:Teejet, 1999. 15 p.

CHRISTOVAM, R.S.; RAETANO, C.G.; AGUIAR JUNIOR, H.O.; AMARAL, M.H.F.; PRADO, E.P; GIMENES, M.J.; KUNZ, V.L. Assistência de ar em barra de pulverização no controle da ferrugem asiática da soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.231-238, 2010

DE OLIVEIRA, M.A.P.; ANTUNIASSI, U.R. Eficácia do flutriafol e do flutriafol + tiofanato metílico aplicados com gotas finas ou médias no controle da ferrugem asiática da soja. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.26, n.1, p. 94-112, 2011

DERKSEN, R.C ; ZHU,H ; OZKAN, H.E ; HAMMOND, R.B ; DORRANCE, A.E ; SPONGBERG,A.L. Determining the influence of spray quality, nozzle type, spray volume and air-assisted application strategies on deposition of pesticides in soybean canopy. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v. 51, n.5, p. 1529-1537, 2008

ECS- European Committee for Standardization. EN 12761-2. Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection - Pt 2: Low crop sprayers. Brussels, 1997. 17 p.

GANDOLFO, M.A. Regulagem de pulverizadores. In: Tecnologia de aplicação de agroquímicos agrícolas III. COOPAVEL/COODETEC/BAYER Cascavel:CropScience, 2005. p.15-20.

GIL, Y. Influence of micrometeorological factors on pesticide loss to the air during vine spraying: Data analysis with statistical and fuzzy inference models. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.100, n.2, p. 184 – 197, 2008.

GILES, D.K.; AKESSON, N.B.; YATES, W.E. Pesticide Application Technology Research and Development and the Growth of the Industry. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v. 51, n.2, p. 397-403, 2008

GODOY, C.V.; FLAUSINO, A.M.; Santos, L.C.M.; DEL PONTE, E.M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina - PR. **Tropical Plant Pathology**, Londrina, v.34, n.1, p.56-61, 2009.

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; YU, Y.; KRAUSE, C.R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v.50, n.3, p. 745 – 754, 2007.

HALLEY, S.; VAN EE, G.; HOFMAN, V.; PANIGRAHI, S.; GU, H. Fungicide deposition measurement by spray volume, drop size, and sprayer system in cereal grains. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 24, n.1, p. 15 – 21, 2008

HOFFMANN, W.C, SALYANI, M. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.39, n.1, p. 17 - 22, 1996.

HUYGHEBAERT, B.; DEBOUCHE, C.; MOSTADE, O. Flow rate quality of new flat fan nozzles. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 44, n.4, p. 769–773, 2001

ISO – International Standardization Organization. ISO5682-1. Equipment for Crop Protection – Spraying equipment – pt 1: Test Methods for Sprayer Nozzles. France, 1996. 17p.

JOHNSTONE, D.R. Statistical description of spray drop size for controlled drop application. In: Symposium on controlled drop application,3., Oxford, 1978. Annals… Oxford: Whiley, 1978, p. 35-41

KLEIN, R.N. GOLUS, J.A. The effect of spray particle size and distribution on drift and efficacy of herbicides. International advances in Pesticides application. **Aspects of applied Biology**, Wellesbourne, v.71, p. 169-182, 2004

LANGENAKENS, J.**Spraying nozzles:** usability limits. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, ASAE,1999. p. 9.(ASAE Paper n.99-1027)

LEBEAU, F. Modeling the dynamic distribution of spray deposits. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 255 – 265, 2004.

LEFEBVRE, A.H. **Droplet Production**. In: MATTHEWS G.A, London: Application Technology for Crop Protection, 1993. p.35-54.

LIU, Q.; COOPER, S.E.; QI.L.; FU, Z. Experimental study of droplet transport time between Nozzles and Target. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.95, n. 2, p. 151 – 157, 2006.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. 2nd ed. London: Longman Scientific & Technical, 1992. 405p.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell Science, 2000. 432p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de agroquímicos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 140 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura.** São Paulo: EPU, 1980. v.1, 289 p.

MURPHY, S.D.; MILLER, P.C.H; PARKIN, C.S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 75, p. 127-137, 2000.

NASCIMENTO, J.M. ; SOUZA, C.M.A ; GAVASSONI,W.L ; BACCHI,L.M.A ; FENGLER,G.W. Controle de ferrugem asiática da soja utilizando-se diferentes pontas de pulverização em Maracaju-MS. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, La Habana, v. 18, n. 1, p17-22, 2009

NORDBO,E. Effects of nozzle size, travel speed and air assistance on deposition on artificial vertical and horizontal targets in laboratory experiments**. Crop Protection**, Amsterdam, v.11, n.1, p. 272 – 278, 1992.

OZKAN,H.E.; ZHU,H.; DERKSEN,R.C.; GULER,H.; KRAUSE,C. Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust. **Aspects of Applied Biology**, Wellebourne, v.77, p. 1-8, 2006

PALLADINI, L.A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111p. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2000.

PENCKOWSKI**,** L.H.; PODOLAN, M.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre a eficácia do controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. **Planta Daninha**, Londrina, v.21, n.3, 142-150, 2003.

PERECIN, D.; PERESSIN, V.A.; MATUO, T.; BRAZ, B.A.; PIO, L.C. - Padrões de distribuição de líquidos obtidos com bicos TF-VS4, TJ60-11006 e TQ 15006 em mesa de prova. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.2, p. 175-182, 1998.

PEREIRA, F.J.S. **Sistema de Comutação de pontas na barra de pulverização para ajuste do tamanho das gotas às condições climáticas e aplicação em taxas variáveis**. 2006. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2006.

PERGHER, G.; GUBIANI, R.; TONETTO, G. Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. **Crop protection**, Oxford, v.16,
n.1, p.25-33, 1997.

PERMIN, O.; JØRGERSEN, L.N.; PERSSON, K. Biological effect of herbicides and fungicides, deposition and drift hazards, when using different sizes of hydraulic flat fan nozzle for the application. **Tidsskrift for planteavl**, Kiev, v.96, n.5, p.531-542, 1992.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 2000.345p

PROKOP, M.; KEJKLICEK, R. Effect of adjuvants on spray droplet size of water. **Research and Agricultural Engineering**, Amsterdam, v.48, n.4, p. 144-148, 2002.

PROKOP,M.; VEVERKA,K. Influence of droplet spectra on the efficiency of contact and systemic herbicides, **Journal of Plant, Soil and Environment**, Prague, v.49, n.2, p.75-80, 2003.

RUEDELL, J. Tecnologia de aplicação de agroquímicos**. Plantio Direto**, Brasília, v.19, n.6, p.9-11, 2002.

SALYANI, M. Droplet size effect on spray deposition efficiency of citrus leaves. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.31, n.6, p.1680-1684, 1988.

SALYANI, M. Sprayer air energy demand for satisfactory spray coverage in citrus application. **Proc. Fla. State Hort. Soc.**, Florida, v.116, n.1, p.298-304, 2003.

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

SCUDELER, F.; FUGIKAWA, L.H.; RAETANO, C.G. Influência do tipo de ponta de pulverização e do volume de aplicação na deposição do traçador cobre na cultura da batata (*Solanum tuberosum L*.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS, 3., 2004. Botucatu. **Anais**...Botucatu:FEPAF, 2004. p.179-182.

SHARP, R.B – Spray deposit measurement by fluorescence. **Pesticide Science**,London, v.5, n.1, p.197-209, 1974

SMELT,J.H.; SMIDT,R.A.; HUIJSMANS,J.F.M. Comparison os spray deposition on apple leaves of captan and the dye brilliant sulfoflavine. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LES TECHNIQUES D'APPLICATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES, 2., 1993, Strasbourg. **Annales**…Strasbourg: British Crop Protection Council, 1993. p.191-197.

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

SKUTERUD, R.; BJUGSTAD, N.; TYLDUM, A.; TORRESEN, K.S. Effect of herbicide applied at different times of the day. **Crop Protection,** Guildford, v.17, n.1, p.41-46, 1998.

TEIXEIRA, M.M. Influência do volume de pulverização e do espectro de gotas na eficácia de tratamentos herbicidas. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, La Habana, v.11, n.1, p. 102 – 108, 2002.

VOLL, C.E.; CASTRO, J.A.V.; GADANHA JR, C.D. Uniformidade de distribuição volumétrica do bico de pulverização hidráulico de jato plano XR11003 sob diferentes condições operacionais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS, 3., Botucatu. **Resumos…**São Paulo: FEPAF, 2004. p. 256-259.

WOLF, R.E.;DAGGUPATI,N.P.Nozzle type effect on soybean canopy penetration. **Applied Engineering in Agriculture**,St Joseph, v.25, n.1, p.23-30, 2009.

WOMAC, A.R.; GOODWIN, J.C.; HART, W.E. **Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles**. St. Joseph:ASAE PAPER, 1997.p4.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J.; REDING, M.E.; CHAN, K.C. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.101, n.3, p. 1 -11, 2009.

ZHU, H. ; DORNER,J.W. ; ROWLAND,D.L. ; DERKSEN, R.C.; OZKAN, H.E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 39, n.2, p. 415-422, 1996